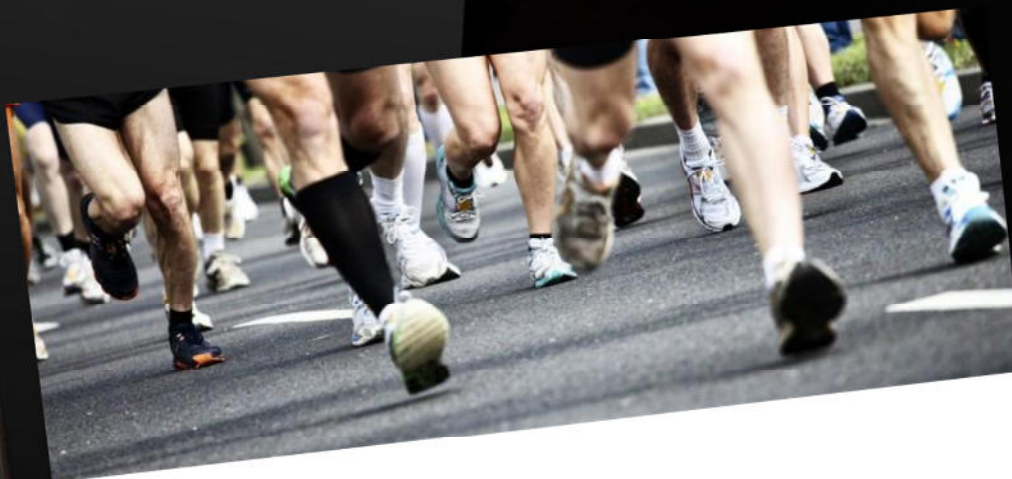
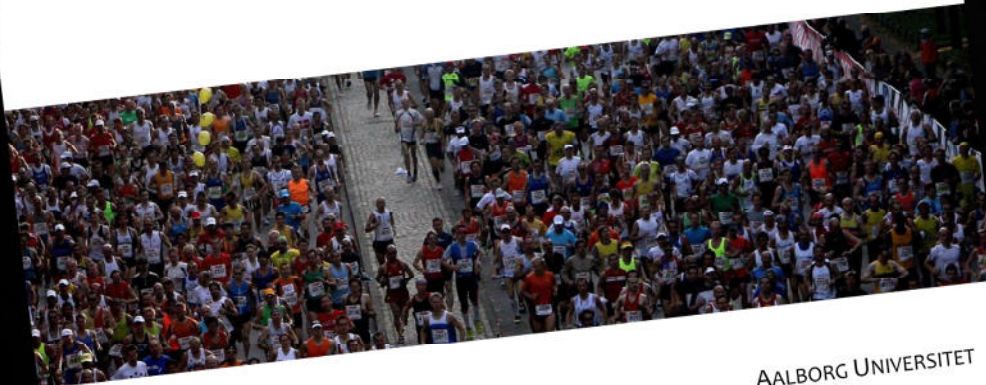




AUTOMATISK KALIBRERING AF PEDOMETER TIL SMARTPHONE

– FORBEDRET ESTIMERING AF DISTANCE OG FART



AALBORG UNIVERSITET
INSTITUT FOR PLANLÆGNING – SURVEYING AND MAPPING 4. SEMESTER
AF RICO HEJLSKOV MOGENSEN OG SØREN FYHN SMIDT

2015

Forside billeder fra:

(Albatros Travel A/S)

(Ronny Hartmann, 2013)

(OurImgs.com)

Titelblad

Titel:

Automatisk Kalibrering af Pedometer
til Smartphone
– forbedret estimering af distance og fart

Tema:

Speciale

Projektperiode:

2. februar – 10. juni 2015

Gruppemedlemmer:

Rico Hejlskov Mogensen

Søren Fyhn Smidt

Vejleder:

Jens Peter Cederholm

Oplagstal:

4

Sideantal:

122

Bilagsantal:

2 bilag samt bilagsDVD A-G

Synopsis:

Denne rapport bygger videre på det tidligere projekt *"Anvendelse af accelerometeret i en smartphone til estimering af distance og fart ved løb og gang"*. I det tidligere projekt er der udviklet en algoritme, der kan estimere skridtfrekvens, skridtlængde, distance og fart ved løb og gang. Algoritmen kræver en manuel kalibrering af skridtlængden, hvilken er besværlig for potentielle brugere at foretage.

Derfor er målet med dette speciale at udvikle en automatisk kalibrering af skridtlængden og indbygge denne i algoritmen fra det tidligere projekt. Algoritmen tænkes anvendt som supplement til GPS-positioner til forbedret estimering af distance og fart.

Projektet er opdelt i to faser.

I fase 1 undersøges forudsætningerne for udviklingen af en automatisk kalibrering, der baseres på data fra en smartphones accelerometer, GPS-modtager og barometer. Her er det bl.a. fundet, at der er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens.

I fase 2 udvikles algoritmen til den automatiske kalibrering. Algoritmen identificerer segmenter (af en løbetur), som er velegnede til en automatisk kalibrering. Til hvert identificeret segment beregner algoritmen en gennemsnitlig skridtfrekvens og skridtlængde. Med udgangspunkt i at der er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens, anvender algoritmen data fra identificerede segmenter til at estimere en lineær funktion, der beskriver skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen for en bruger. På baggrund af en sådan lineær funktion, der er forskellig for hver bruger, foretager algoritmen en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Til sidst undersøges, hvor nøjagtigt algoritmen kan estimere distancer.

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatterne.



Title page

Title:

Automatic calibration of a pedometer
for smartphones
– improved estimation of distance
and speed

Theme:

Master thesis

Project period:

February 2. – June 10. 2015

Project group:

Rico Hejlskov Mogensen

Søren Fyhn Smidt

Supervisor:

Jens Peter Cederholm

Number of copies:

4

Number of pages:

122

Number of appendices:

2 appendices incl. appendices DVD A-G

Abstract:

This report is an extension of a previous project called: *"Anvendelse af accelerometeret i en smartphone til estimering af distance og fart ved løb og gang"*. In the previous project, an algorithm was developed that is able to estimate the step frequency, stride length, distance and speed of a walking or running user. To use this algorithm a manual calibration of the stride length is needed which decreases the usability.

The goal of this master thesis is to eliminate the need of a manual calibration by developing a method which integrates an automatic calibration of the stride length into the previously developed algorithm. The algorithm developed in this project is to be considered as a future supplement to GPS that can improve the estimation of distance and speed.

The master thesis consists of two phases.

The first phase of the master thesis examines the prerequisites in order to further develop the algorithm by using the sensors in a smartphone. A linear relationship between the step frequency and the stride length is established in this phase.

The second phase of the master thesis further develops the algorithm originated from the previous project. The development of the algorithm relates to identifying segments of a run that can be used for an automatic calibration that determine the linear relationship between a user's step frequency and stride length. In the last part of the second phase it is examined how accurately the algorithm can estimate distances.

This report's content is freely accessible but release (with references) is only approved with acceptance from the authors.



Forord

Denne projektrapport er udarbejdet i forbindelse med specialet på 4. semester af landinspektørstudiets kandidatuddannelse "Surveying & Mapping" på Aalborg Universitetet. Projektrapporten er skrevet i perioden 2. februar til 10. juni 2015 med vejledning fra Jens Peter Cederholm.

Denne rapport henvender sig til alle der kan have en interesse i estimering af distance og fart ved løb og gang vha. smartphones, eller har en interesse i sensorintegration. For at læse rapporten kræves et grundlæggende kendskab til fejlteori. Igennem rapporten anvendes MATLAB til at foretage beregninger og programmere algoritmen udviklet igennem projektperioden. Et kendskab til programmering vil derfor give læseren en større forståelse, men det er ikke et krav for at kunne læse rapporten.

Til rapporten hører også en bilagsmappe med bilagene 1 og 2, samt en bilagsDVD indeholdende rapporten, bilagsmappen samt elektroniske bilag så som scripts. En henvisning til et kapitel i bilagsmappen skrives således "*bilag 1*" og en henvisning til bilagsDVD'en skrives som "*BilagsDVD A-1*".

Kildehenvisninger angives i rapporten som: forfatter(e), årstal for udgivelse, evt. sidetal. En henvisning til 3. semester rapporten som dette projekt bygger videre på, vil således blive henvist til som: (Mogensen, 2015). Henvises der til flere kilder skrevet af samme forfatter og samme år, vil kildehenvisningen blive skrevet som: (Mogensen, 2015 [1]) og (Mogensen, 2015 [2]). Henviser kilden til den forudgående sætning, er kildehenvisningen placeret inden sætningens punktum. Berører kilden derimod alle de forudgående sætninger, skrives kildehenvisningen efter punktummet.

Rapporten bygger videre på projektet "*Anvendelse af accelerometeret i en smartphone til estimering af distance og fart ved løb og gang*" (Mogensen, 2015), der blev udfærdiget på 3. semester. Rapporten fra 3. semester kan findes på bilagsDVD A-1. Når der igennem rapporten henvises til *Anvendelse af accelerometeret i en smartphone til estimering af distance og fart ved løb og gang* (Mogensen, 2015), skrives dette som "det tidligere projekt (Mogensen, 2015)".

Figurer og tabeller er i rapporten nummereret efter hvilket kapitel de er placeret i. Den første figur i andet kapitel vil således blive nummereret som: Figur 2.1. Kort, der vises igennem rapporten, er nordvendte med mindre andet er angivet.

Enheder i rapporten skrives uden mellemrum imellem tal og enhed. Eksempelvis skrives toogtyve meter som: 22,000m. I rapporten benævnes "GPS-positioner" flere gange. Der henvises her til GPS-positioner fra smartphonen. De enkelte gange der er målt positioner med en RTK-modtager, fremgår det tydeligt i teksten. I rapporten skrives ofte "fladt terræn". Her henvises til terræn, der er tilnærmelsesvist vandret.

Projektgruppen vil gerne takke René Korsgaard Brund for hjælp med lån af løbebånd og instruktion i anvendelsen heraf.

Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING	1
1.1	TIDLIGERE PROJEKT OM ESTIMERING AF DISTANCE OG FART VHA. ET ACCELEROMETER	2
1.1.1	ESTIMERING AF ANTAL SKRIDT	2
1.1.2	ESTIMERING AF SKRIDTLÆNGDE	4
1.1.3	UDVIKLINGSPOTENTIALER	5
2	PROBLEMFORMULERING	7
3	METODE FOR FASE 1 – FORUDSÆTNINGER FOR VIDEREUDVIKLING AF ALGORITME	9
3.1	PROJEKTAFGRÆNSNING	10
4	PROJEKTOPBYGNING	13

Fase 1

5	UNDERSØGELSE AF SAMMENHÆNG MELLEM SKRIDTLÆNGDE OG SKRIDTFREKVEN	19
5.1	FORSØG PÅ LØBEBÅND (FLADT TERRÆN)	19
5.1.1	RESULTATER	20
5.2	FORSØG I KUPERET TERRÆN	22
5.2.1	RESULTATER	23
6	SENSORER OG SENSORDATA	25
6.1	SENSORER I IPHONE 4s OG IPHONE 6	25
6.1.1	ACCELEROMETER	25
6.1.2	GPS-MODTAGER	26
6.1.3	BAROMETER	27
6.2	DATAINDSAMLING MED APPEN SENSORLOG	27
6.2.1	ACCELEROMETER-DATA	28
6.2.2	GPS-DATA	29
6.2.3	BAROMETER-DATA	29
6.3	TEST AF GPS-MODTAGER	29
6.3.1	STATISK TEST	30
6.3.2	DYNAMISK TEST	30
6.3.3	OPSAMLING PÅ TEST AF GPS	38
6.4	TEST AF BAROMETER	38
6.4.1	STATISK TEST	38
6.4.2	DYNAMISK TEST	40
6.4.3	OPSAMLING PÅ TEST AF BAROMETER	43
6.5	OPSAMLING	43

6.5.1	ACCELEROMETER	43
6.5.2	GPS-MODTAGER	43
6.5.3	BAROMETER	44
7	METODE TIL AUTOMATISK KALIBRERING	47
7.1	PRINCIPPET FOR AUTOMATISK KALIBRERING AF ALGORITMEN.....	47
7.2	EKSISTERENDE METODE TIL AUTOMATISK KALIBRERING.....	48
7.3	DISKUSSION AF METODE	51
7.4	OPSAMLING	54
8	OPSAMLING PÅ FASE 1	55

Fase 2

9	METODE FOR FASE 2 – UDVIKLING AF AUTOMATISK KALIBRERING	59
10	INDLEDENDE TEST TIL AUTOMATISK KALIBRERING	61
10.1	ESTIMERING AF LINEÆR SAMMENHÆNG MELLEM SKRIDTLÆNGDE OG SKRIDTFREKVENNS.....	62
10.2	NØJAGTIGHED PÅ ESTIMEREDE SKRIDTLÆNGDER	63
11	SEGMENTERING	67
11.1	IDENTIFIKATION AF RETTE LINJER.....	68
11.1.1	METODER TIL IDENTIFIKATION AF RETTE LINJER	68
11.1.2	ANVENDT METODE TIL IDENTIFIKATION AF RETTE LINJER	71
11.1.3	FLOWDIAGRAM TIL METODE 1	76
11.1.4	OPSAMLING PÅ IDENTIFIKATION AF RETTE LINJER.....	78
11.2	FRASORTERING AF GPS-POSITIONER MED DÅRLIG ESTIMERET NØJAGTIGHED	78
11.3	IDENTIFIKATION AF SEGMENTER MED ENSARTET SKRIDTFREKVENNS	80
11.4	IDENTIFIKATION AF FLADT TERRÆN	83
11.5	BEREGNING AF DATAPUNKT TIL SEGMENT	86
11.5.1	BEREGNING AF SKRIDTFREKVENNS TIL DATAPUNKT.....	86
11.5.2	BEREGNING AF SKRIDTLÆNGDE TIL DATAPUNKT.....	86
11.6	OPSAMLING PÅ SEGMENTERING	88
11.6.1	FLOWDIAGRAM OVER ALGORITMEN TIL SEGMENTERING	89
12	KALIBRERING AF SKRIDTLÆNGDE	93
12.1	ESTIMERING AF BEDSTE RETTE LINJE	93
12.2	ANALYSE AF KALIBRERINGSMETODE.....	94
12.2.1	KALIBRERING VED LØB MED KONSTANT TEMPO	95
12.2.2	KALIBRERING VED LØB I FLERE TEMPI	96
12.2.3	KALIBRERING MED DATA FRA FLERE LØBETURE	98
12.3	IMPLEMENTERING AF AUTOMATISK KALIBRERING I ALGORITMEN.....	99

12.3.1 FLOWDIAGRAM OVER ALGORITMEN MED INDBYGGET AUTOMATISK KALIBRERING	100
---	-----

13 TEST AF DEN UDVIKLEDE ALGORITME **103**

13.1 INDSAMLING AF DATA TIL TEST	103
--	-----

13.2 RESULTATER	104
-----------------------	-----

Afrunding

14 OPSAMLING PÅ FASE 2 **109**

15 KONKLUSION **113**

15.1 FASE 1	113
-------------------	-----

15.2 FASE 2	115
-------------------	-----

16 PERSPEKTIVERING **119**

17 LITTERATURLISTE **121**

1 Indledning

De senere år er salget af smartphones steget markant. I 2013 blev der solgt 1,0194 milliarder smartphones, mens der i 2014 blev solgt 1,3011 milliarder smartphones (International Data Corporation (IDC), 2015). Samtidigt indbygges der i stigende grad flere forskellige og mere avancerede sensorer i smartphones. Eksempler på sensorer der ofte er indbygget i smartphones er GPS-modtager, accelerometer, gyrometer, magnetometer, kamera, mikrofon, lys-sensor, barometer og fingeraftrykslæser. Disse sensorer kan hver for sig anvendes til en række forskellige formål, men ved at kombinere sensorerne med hinanden kan de anvendes til endnu flere formål. Dette skaber store forretningsmuligheder for innovative virksomheder.

Sundhed er et af de områder der i stigende grad sættes fokus på. Fitness-apps som f.eks. Endomondo, Strava, Runtastic, Nike+ Running, RunKeeper med flere anvendes i forbindelse med f.eks. løb og gang til at estimere position/rute, distance og fart. Hertil anvendes oftest den indbyggede GPS-modtager i en smartphone. GPS-teknologien er særligt velegnet til estimering af rute, distance og fart, men har imidlertid også en svaghed, idet teknologien afhænger af signaler fra satellitter. Dette betyder at GPS ikke fungerer indendørs, og at der i områder med f.eks. høj bebyggelse eller høje træer ofte kan være relativt store unøjagtigheder på GPS-positionerne. I projektet *"Anvendelse af accelerometeret i en smartphone til estimering af distance og fart ved løb og gang"* (Mogensen, 2015), der ses på bilagsDVD A-1, ses eksempler på områder, hvor afvigelserne på GPS-positionerne, i forhold til de reelle positioner, er relativt store. Store afvigelser på GPS-positionerne kan give en række problematikker, alt efter hvad GPS-positionerne anvendes til. I forbindelse med løb vil afvigelserne på GPS-positionerne resultere i store afvigelser på distance og fart, når disse estimeres på baggrund af GPS-positionerne. Ved indendørs færdsel vil det normalt ikke være muligt at anvende GPS, hvorfor det er relevant at anvende andre navigationsmetoder, som ikke afhænger af frit udsyn til himlen.

På baggrund af GPS-teknologiens svaghed er det derfor relevant at integrere GPS med andre sensorer, der kan anvendes til estimering af distance og fart og ikke afhænger af signaler fra eksterne kilder. F.eks. integreres et INS (Internal Navigation System) ofte med GPS-positioner til at bestemme positionen af fly. Ligeledes kan et odometer anvendes i samspil med GPS-positioner til at forbedre estimeringen af distancer i forbindelse med kørsel. Accelerometeret i en smartphone kan også anvendes til at estimere distance og fart uden at være afhængig af signaler fra eksterne kilder.

I det tidligere projekt (Mogensen, 2015) har den ene af forfatterne til dette projekt udviklet en algoritme, der kan estimere distance og fart på baggrund af observationer med accelerometeret i en smartphone. I det tidligere projekt anvendes udelukkende data fra accelerometeret. I dette projekt ønskes det at videreudvikle algoritmen fra det tidligere projekt, bl.a. ved at integrere GPS-positioner i algoritmen. Dermed kan dette projekt ses som en videreudvikling af det tidligere projekt *"Anvendelse af accelerometeret i en smartphone til estimering af distance og fart ved løb og gang"*.

1.1 Tidligere projekt om estimering af distance og fart vha. et accelerometer

I det tidligere projekt (Mogensen, 2015) er der udviklet en algoritme, der kan estimere tilbagelagt distance og fart ved løb og gang ud fra målte accelerationer med accelerometret i en smartphone. Målgruppen er motionister, der har en interesse i at anvende en smartphone til tracking af løbeture. Den overordnede metode, der anvendes i det tidligere projekt, er at estimere antallet af skridt og skridtlængden. Ud fra dette kan distancen og farten estimeres vha. følgende ligninger:

$$distance = \text{antal skridt} \times \text{skridtlængde}$$

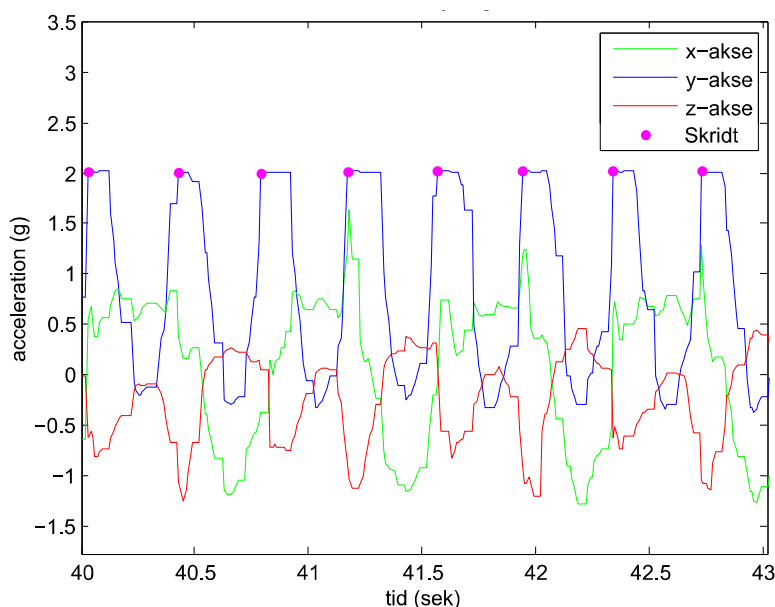
$$fart = \frac{distance}{tid}$$

Projektet bestod således hovedsageligt af to overordnede udfordringer:

1. Estimering af antal skridt
2. Estimering af skridtlængde

1.1.1 Estimering af antal skridt

I projektet blev der udført forsøg med 5 forsøgspersoner, der alle gik og løb 400m i forskellige tempi på en atletikbane. Under forsøgene var en smartphone vha. af en smartphoneholder fastspændt til den ene overarm, og smartphonens tre-aksede accelerometer blev anvendt til at måle accelerationer. På baggrund af en analyse af de indsamlede accelerometerdata, viste der sig et overordnet bølgeformet mønster i de vertikale accelerationer ved løb og gang. På figur 1.1 vises et eksempel på målte accelerationer langs det tre-aksede accelerometers x-, y- og z-akse ved roligt løb. Her repræsenterer hver bølgetop, i accelerationerne langs y-aksen, et skridt. Dermed kan antallet af skridt estimeres ved at tælle antallet af bølgetoppe i accelerationerne. Accelerometrene i en smartphone beskrives nærmere i afsnit 6.1.1 og 6.2.1 samt (Mogensen, 2015, s. 13-21).



Figur 1.1: x-, y- og z-accelerationer ved roligt løb med smartphone fastspændt til overarm. Skridt kan lokaliseres ud fra markante lokale maksimumspunkter i y-accelerationerne. Accelerationerne langs y-aksen flader ud så snart de når til 2g, hvilket skyldes, at det anvendte accelerometer kun kan måle accelerationer i intervallet $\pm 2g$.

I eksemplet, der ses på figuren, er smartphonen orienteret, således at y-aksen peger nedad mod underlaget, når armen hviler ned langs kroppen. På baggrund af en analyse af de indsamlede data viste det sig, at den bedst egnede akse til skridttælling er den akse, der er tættest på at være lodret, da der her ses det største udslag på accelerationerne.

Ud fra de indsamlede data blev der udviklet en algoritme, der automatisk kan lokalisere hvert markant lokalt maksimumpunkt (og dermed hvert skridt) i accelerationerne langs den akse, der er bedst egnet til skridttælling. Algoritmen fungerer igennem følgende tre trin:

1. Algoritmen foretager en udglatning af accelerationerne langs hver akse vha. et glidende gennemsnit (*moving average*).
2. Efterfølgende udpeges den bedst egnede akse ved at afgøre, hvilken akse der påvirkes mest af tyngdeaccelerationen (aksen tættest på lodret).
3. Dernæst søges efter maksimumspunkter som opfylder nogle nærmere bestemte kriterier, der gør at maksimumspunktet kan anses for at være et skridt.

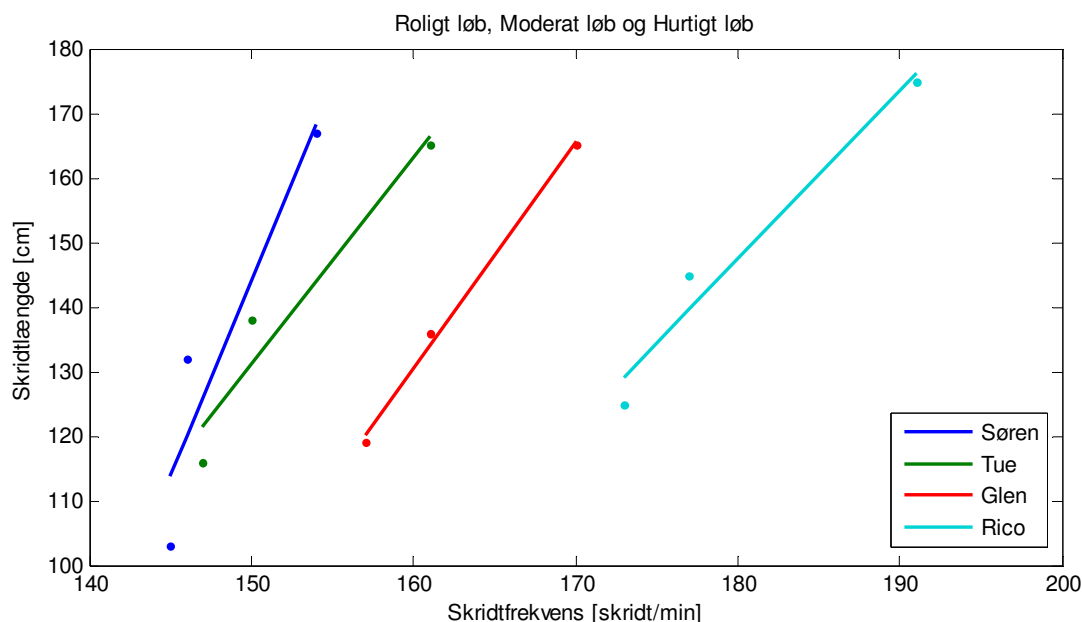
Denne proces udføres hver gang, der registreres nye observationer. Observationerne består af de registrerede accelerationer langs det tre-aksede accelerometers x-, y- og z-akse samt et tidsstempel til accelerationerne. I det tidligere projekt (Mogensen, 2015) indsamles der observationer med en frekvens på 100Hz. De tre trin gør algoritmen i stand til at estimere antallet af skridt. På baggrund af antallet af skridt og tiden mellem hvert skridt kan skridtfrekvensen (antal skridt pr. minut) ligeledes estimeres. Den udviklede algoritme er efterfølgende blevet testet på to personer i forskellige tempi, over en distance på 400m i hvert tempo. Algoritmen har været i stand til at bestemme mellem 99,7 og 100% af skridtene ved tempi fra gang og op til hurtigt løb, og 96,8% af skridtene ved spurt¹.

Hvis der ønskes en uddybende forklaring af, hvorledes algoritmen tæller antallet af skridt, og hvordan algoritmen er udviklet, henvises der til kapitel 9 i det tidligere projekt (Mogensen, 2015), der findes på bilagsDVD A-1.

¹ Ved test af spurt var distancen 100m

1.1.2 Estimering af skridtlængde

I det tidligere projekt blev der foretaget en analyse af sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens ved løb. På baggrund af analysen blev det vurderet, at der tilnærmelsesvist er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens ved løb. Hældningen og skæringen med 2.-aksen for denne lineære funktion er dog forskellig for hver person. Dette fremgår af figur 1.2.



Figur 1.2: Skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, udregnet for 4 forsøgspersoner, på baggrund af løb i tre forskellige tempi.

I det tidligere projekt blev der foretaget en manuel kalibrering/fastlæggelse af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen for hver forsøgsperson. Den manuelle kalibrering er foretaget på en atletikbane med en distance på 400m. Her er kalibreringen foretaget ved at filme de fire forsøgspersoner og tælle antal skridt. På baggrund af de talte antal skridt og tiden jævnfør videoen er skridtfrekvensen bestemt. På baggrund af den kendte distance og antal skridt er skridtlængden bestemt. Dernæst er skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen blevet estimeret som en lineær funktion.

Den manuelle kalibrering (lineær funktion) blev efterfølgende implementeret i algoritmen, der dermed både kan estimere skridtlængden og antallet af skridt. Ud fra skridtlængden og skridtfrekvensen kan algoritmen estimere distancen, og på baggrund af distancen og tiden kan algoritmen estimere farten. Det er undersøgt, hvor godt algoritmen er i stand til at estimere afstande, ved at to testpersoner har løbet en distance på 400m i forskellige tempi. Forskellen imellem den estimerede og den sande distance var her imellem 0,5 og 5,5% for alle tempi. Samtidig med at der blev indsamlet data til test af algoritmen, blev der indsamlet GPS-positioner med smartphonens GPS-modtager. Udregnes den samme distance ud fra afstandene mellem samtlige GPS-positioner fra smartphonen ligger fejlen imellem den udregnede og den sande distance på mellem 5,0 og 18,0%.

Hvis der ønskes en uddybende forklaring af, hvordan algoritmen estimerer skridtlængden, henvises der til kapitel 10 i det tidligere projekt (Mogensén, 2015). For en uddybende forklaring af hvordan algoritmen estimerer distance og fart, henvises der til kapitel 11.

1.1.3 Udviklingspotentialer

I det tidligere projekt er der flere mulige udviklingspotentialer. I det følgende beskrives de væsentligste mulige forbedringer, der kan arbejdes videre med. På baggrund af disse udviklingspotentialer udvælges der i problemformuleringen i næste kapitel, hvilke forbedringer der ønskes at arbejde videre med, samt hvilke problemstillinger der ønskes undersøgt med tilknytning hertil.

1. Automatisk kalibrering af skridtlængde

For at algoritmen, udviklet i det tidligere projekt, kan anvendes, er det nødvendigt forinden at have foretaget en manuel kalibrering/fastlæggelse af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Den manuelle kalibrering kræver, at en kendt distance løbes mindst to gange i forskellige tempi. En sådan kalibrering er besværlig for potentielle brugere. Desuden er det nødvendigt jævnligt at foretage en kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, som følge af at brugerens løbestil kan ændres over tid (Mogensen, 2015 [2]) (se eventuelt bilagsDVD A-1). Derfor er det nødvendigt jævnligt at foretage en kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

Derfor kunne det være interessant at udvikle en kalibrering, der foretages automatisk mens brugeren motionerer. En sådan automatisk kalibrering vurderes at kunne implementeres i algoritmen ved at integrere en smartphones GPS med algoritmen. GPS-positioner kan (når der er GPS-signal) anvendes til at estimere distancen, og skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt kan estimere antallet af skridt. Dette gør det muligt at estimere skridtlængden vha. følgende ligning:

$$\text{skridtlængde} = \frac{\text{distance}}{\text{antal skridt}}$$

Da skridtfrekvensen ligeledes kan estimeres vha. af den udviklede algoritme, bør det således være muligt løbende at kalibrere/justere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

2. Nærmere undersøgelse af sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens

I det tidligere projekt er den lineære sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens ved løb for hver forsøgsperson kun bestemt ud fra løb i tre tempi (roligt, moderat og hurtigt løb). Sammenhængen er derfor bestemt ud fra et tyndt datagrundlag. Derfor bør sammenhængen undersøges nærmere ved løb i flere tempi for at afgøre, om der er en lineær sammenhæng.

3. Integration af algoritme og GPS til forbedring af distanceestimering

Algoritmen, udviklet i det tidligere projekt, anvender udelukkende accelerometeret til estimering af distance. GPS-modtageren i en smartphone kan ligeledes anvendes til estimering af distance. Ved at kombinere GPS og den udviklede algoritme kan estimeringen af distance potentielt forbedres. Dette kan f.eks. gøres ved at vægte distancer beregnet vha. GPS i forhold til, hvor godt GPS-signal der er. Hvis der f.eks. er godt GPS-signal, kan distancer beregnet vha. GPS vægtes højt og distancer beregnet vha. algoritmen vægtes lavt. Hvis der derimod er dårligt GPS-signal, kan distancer beregnet vha. GPS vægtes lavt og distancer beregnet vha. algoritmen vægtes højt.

2 Problemformulering

I det tidligere projekt "*Anvendelse af accelerometeret i en smartphone til estimering af distance og fart ved løb og gang*" (Mogensen, 2015) er der udviklet en algoritme, der kan estimere antal skridt, skridtfrekvens, skridtlængde, distance og fart vha. accelerometeret i en smartphone. I dette projekt ønskes det at videreudvikle denne algoritme.

I afsnit 1.1.3 er forskellige mulige forbedringer af den udviklede algoritme nævnt. I dette projekt fokuseres der på disse udviklingspotentialer med henblik på at videreudvikle algoritmen. Af de omtalte udviklingspotentialer vurderes det, at nummer 1 og 3 begge vil være spændende at arbejde med, men at det er for omfattende at behandle begge emner inden for projektets tidsramme. Udviklingspotentiale nummer 2 ses som en forudsætning for, at udviklingspotentiale nummer 1 kan udvikles, idet den automatiske kalibrering forudsætter, at der er en sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens.

I dette projekt vælges at fokusere på udviklingspotentiale nummer 1 (automatisk kalibrering af skridtlængde) og udviklingspotentiale nummer 2, idet en sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens er en forudsætning for den automatiske kalibrering. Udviklingspotentiale nummer 3 fravælges i dette projekt. Det vælges at arbejde med de to udviklingspotentialer, da det ønskes at forbedre brugervenligheden for motionister ved at fjerne behovet for en manuel kalibrering.

Dette leder frem til problemformuleringen:

Hvordan kan en automatisk kalibrering af skridtlængden udvikles og indbygges i algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015), og hvilken nøjagtighed på estimerede distancer kan opnås?

3 Metode for fase 1 – Forudsætninger for videreudvikling af algoritme

Dette kapitel har, sammen med kapitel 9, til formål at beskrive projektets metodiske fremgangsmåde. Projektet opdeles i to faser, hvor forudsætningerne for at videreudvikle algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015) undersøges i fase 1. I fase 2 videreudvikles der på algoritmen for at kunne besvare spørgsmålet *”Hvordan kan en automatisk kalibrering af skridtlængden udvikles og indbygges i algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015), og hvilken nøjagtighed på estimerede distancer kan opnås?”*. I dette kapitel beskrives de metodiske overvejelser for fase 1, og i kapitel 9 beskrives de metodiske overvejelser for fase 2.

En automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen forudsætter at der er en sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens. I det tidligere projekt (Mogensen, 2015), er der fundet en sammenhæng på baggrund af et spinkelt datagrundlag. Derfor er det nødvendigt at undersøge sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens nærmere. Desuden vil det være relevant at undersøge om sammenhængen kun er gældende i fladt terræn.

Hvis det viser sig, at der er en forskel på sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens i fladt og kuperet terræn, er det relevant at undersøge, hvordan der på baggrund af data fra sensorer i en smartphone kan skelnes mellem de to terræntyper.

Jævnfør udviklingspotentiale nummer 1 kan distancer, til den automatiske kalibrering af skridtlængden, estimeres vha. en smartphones GPS. GPS-positioner er behæftet med fejl, som kan betyde, at der estimeres unøjagtige distancer. Derfor er det relevant at undersøge GPS-positionernes nøjagtighed, og hvordan fejlbidraget fra GPS-positioner kan nedbringes.

For at kunne udvikle en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen skal følgende underspørgsmål således besvares:

1. Hvilken sammenhæng er der mellem skridtlængde og skridtfrekvens, og er denne sammenhæng gældende i både fladt og kuperet terræn?
2. Hvordan kan der på baggrund af data fra sensorer i en smartphone skelnes mellem fladt og kuperet terræn?
3. Hvordan kan distancer til en automatisk kalibrering estimeres vha. en smartphones GPS-modtager, og hvilken nøjagtighed er der på GPS-positionerne?
4. Hvordan kan en automatisk kalibrering af skridtlængden foretages?

Til at besvare underspørgsmål 1 har projektgruppen undersøgt litteratur om emnet. Projektgruppen har ikke kunnet finde tilstrækkeligt litteratur, der påviser sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Derfor udføres der i stedet forsøg med henblik på at kunne beskrive sammenhængen. Der udføres forsøg på løbebånd, hvor der ved løb og gang indsamles data vedrørende skridtlængde og skridtfrekvens. Det formodes, at der er forskel på sammenhængen afhængig af, om der løbes i fladt eller kuperet terræn. Derfor udføres der forsøg i både fladt og kuperet terræn. På baggrund af det indsamlede data estimeres sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens.

Til at besvare underspørgsmål 2 undersøges det, om det er muligt at anvende GPS eller et barometer (indbygget i flere smartphones) til at bestemme højdeændringer. Det forventes at højdeændringer inden

for kortere tidsperioder kan bestemmes mere nøjagtigt med barometeret end med GPS-modtageren, idet barometerobservationer ikke påvirkes af forhindringer som bygninger, træer med mere. Til at afgøre om barometeret og GPS-modtageren er egnede til at afgøre om terrænet er fladt eller kuperet, undersøges de tekniske specifikationer, og der udføres statiske og dynamiske tests med barometeret og GPS-modtageren.

Til at estimere distancer jf. underspørgsmål 3 vælges det, at anvendes GPS-modtageren i en smartphone, fordi GPS er et autonomt positionssystem, der kan anvendes over hele verden uden at afhænge af lokale systemer. Ud fra erfaring fra et tidligere projekt (Mogensen & Smidt, 2014) fravælges INS (Inertial Navigation System) som metode til estimering af distance, da resultaterne fra projektet viste, at sensorerne i en smartphone ikke er anvendelige til dette formål. For at afklare hvilken nøjagtighed der kan opnås på GPS-positioner, og hvordan positionerne kan anvendes til en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, udføres statiske og dynamiske tests af GPS-modtageren. Dette sker ved at indsamle data med GPS-modtageren og med RTK, der anses som værende nær fejlfri (under gode GPS-forhold) sammenlignet med en smartphones GPS-modtager. Dernæst anvendes RTK-positioner som kontroldata ved visuelt at sammenligne GPS-positionerne med RTK-positionerne. Gennem en visuel analyse identificeres det, hvilke GPS-positioner der er anvendelige til en automatisk kalibrering.

Til at besvare underspørgsmål 4 undersøges eksisterende litteratur om automatisk kalibrering af skridtlængde. Denne litteratur giver inspiration til, hvordan en automatisk kalibrering vha. sensorerne i en smartphone kan udvikles. Med udgangspunkt i den eksisterende litteratur diskuteres det, hvordan en automatisk kalibrering af skridtlængden kan foretages.

3.1 Projektafgrænsning

Algoritmen udviklet i det tidligere projekt (Mogensen, 2015), og som videreudvikles i dette projekt, er tiltænkt at fungere på en smartphone. Algoritmen skal derfor fungere udelukkende vha. data indsamlet med smartphonens sensorer. I det tidligere projekt er accelerometeret anvendt til at bestemme skridt og skridtfrekvens. Resultatet heraf er tilfredsstillende, og projektgruppen ser derfor ikke behov for at forbedre resultatet af skridttællingen ved at inddrage andre sensorer til skridttælling. Til estimering af distance og til at afgøre om der løbes i fladt terræn, anvendes GPS-modtageren og barometeret i en smartphone, jævnfør ovenstående metodevalg. Øvrige sensorer inddrages ikke i projektet, selvom de eventuelt vil kunne forbedre resultatet af en automatisk kalibrering.

Ved det tidligere projekt var det en forudsætning, at smartphonen var fastspændt på overarmen, hvorfor det også er en forudsætning i dette projekt.

Algoritmen, udviklet i det tidligere projekt (Mogensen, 2015), er udviklet og testet på en iPhone 4s, men projektgruppen er også interesseret i at teste, hvad der kan opnås med den nyeste tilgængelige teknologi. Derfor er det valgt at tage udgangspunkt i både en iPhone 4s og en iPhone 6.

Dette projekt tager udgangspunkt i gang og løb men fokuserer, ligesom i det tidligere projekt (Mogensen, 2015), på løb. I videreudviklingen af algoritmen fokuseres der derfor på løb, og igennem rapporten udføres de fleste forsøg således også kun med løb. Projektgruppen har således valgt, at hovedparten af undersøgelserne og tests af algoritmen kun udføres på løb. Projektgruppen forventer, at principperne for løb vil kunne overføres til gang, hvor det dog kan være nødvendigt at ændre værdierne på enkelte parametre.

Til at indsamle data med en smartphone vælger projektgruppen at bruge appen SensorLog. Netop denne app er valgt, da projektgruppen har gode erfaringer med SensorLog fra to tidligere projekter. Samtidig er SensorLog anvendt til at indsamle data til algoritmen fra det tidligere projekt, der videreudvikles i dette projekt.

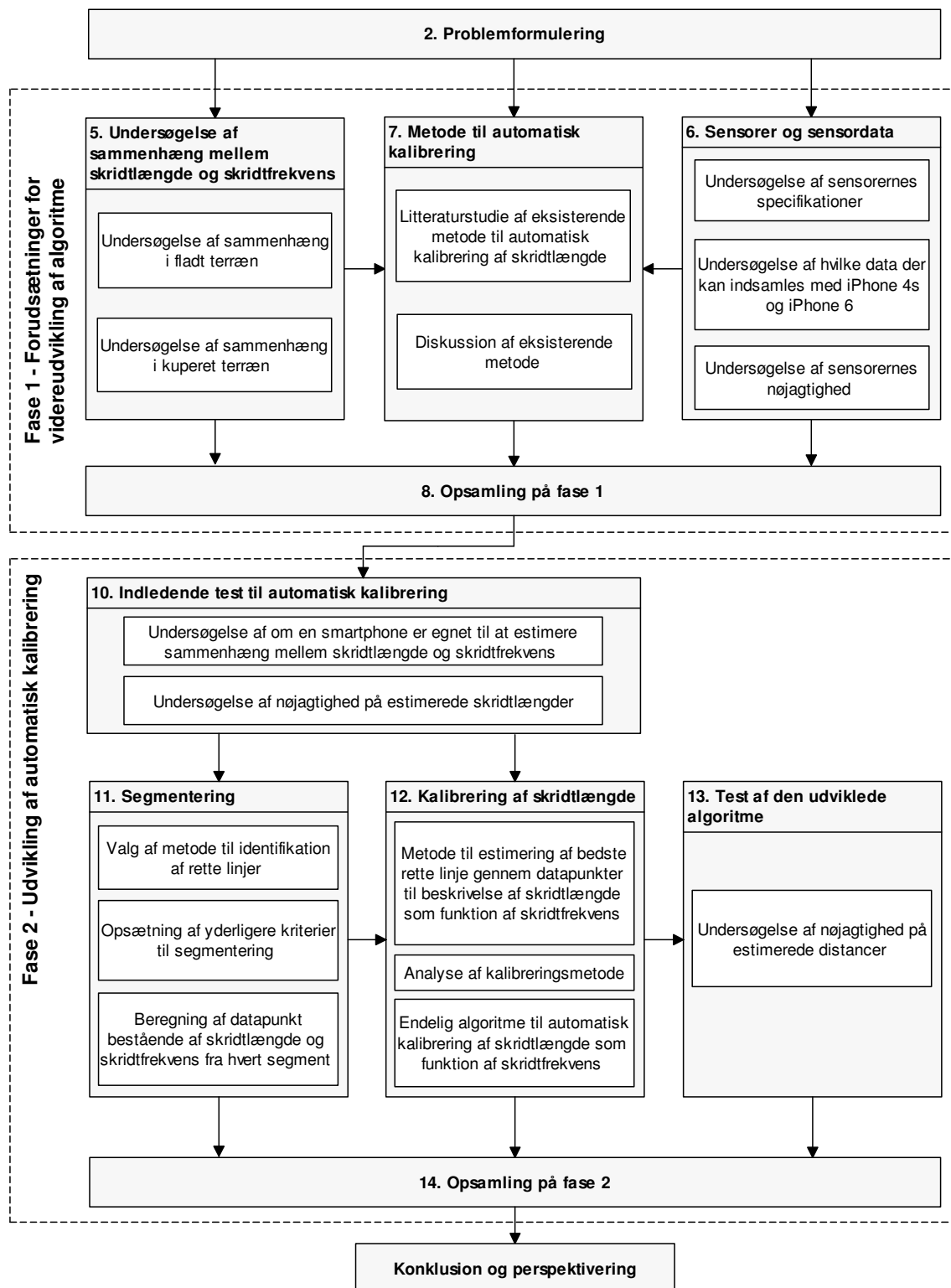
Ved løb i kuperet terræn viser det sig at løbestilen ændres i forhold til ved løb i fladt terræn, og skridtlængde og skridtfrekvens er forskellig afhængig af, om der løbes op ad bakke eller ned ad bakke. For at simplificere problemet med forskellige løbestile, afhængigt af terrænhældninger, vælger projektgruppen at begrænse projektet til udvikling af en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen i fladt terræn. Desuden er skridttællingsalgoritmen, udviklet i det tidligere projekt (Mogensen, 2015), kun gennemtestet i fladt terræn. Hvis der opnås tilfredsstillende resultater med den automatiske kalibrering i fladt terræn, kan der efterfølgende arbejdes med at videreudvikle algoritmen til også at fungere i kuperet terræn.

Igennem projektets første fase afgrænses projektet til følgende:

- Der fokuseres på at udvikle en automatisk kalibrering, der fungerer i fladt terræn.
- Appen SensorLog anvendes til dataindsamling.
- Der fokuseres på at udvikle en automatisk kalibrering, der anvender følgende sensorer fra iPhone 4s og iPhone 6:
 - GPS-modtager – til at estimere distancer
 - Accelerometer – til skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015) som kan bestemme antal skridt samt skridtfrekvens.
 - Barometer i iPhone 6 – til at afgøre om terrænet er fladt eller kuperet.

4 Projektopbygning

Formålet med dette kapitel er at give et overblik over projektets struktur. Indholdet af hvert kapitel beskrives, og sammenhængene mellem kapitlerne illustreres i strukturdiagrammet, der ses på figur 4.1. Den viden der opnås gennem kapitel 5-8 (fase 1) anvendes efterfølgende i kapitel 9-14 (fase 2) til udvikling af en automatisk kalibrering af skridtlængden. Da kapitlerne i fase 2 bygger videre på den opnåede viden og resultater fra fase 1, kan det være vanskeligt at forstå beskrivelsen af fase 2 til fulde, inden kapitlerne er læst. Derfor kan dette afsnit med fordel læses igen på et senere tidspunkt, når der opnås en større viden om projektets indhold.



Figur 4.1: Strukturdiagram for projektet. Strukturdiagrammet viser sammenhængene mellem de enkelte afsnit i projektet. Desuden er det vist, hvilke analyser der foretages, og hvilke væsentlige emner der belyses i de enkelte afsnit.

Kapitel 5 – Undersøgelse af sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens

Til udviklingen af en automatisk kalibrering af skridtlængde som funktion af skridtfrekvens tager projektgruppen udgangspunkt i, at der er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Dette gøres på baggrund af en analyse fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015). Denne analyse bygger imidlertid på et spinkelt datagrundlag. Formålet med dette kapitel er derfor, gennem forsøg på løbebånd, at foretage en nærmere undersøgelse af sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens ved at inddrage gang og løb i flere tempi. Dermed kan det be- eller afkræftes, om der er en lineær sammenhæng ved gang og løb i fladt terræn. Derudover undersøges gennem forsøg i kuperet terræn, om der er forskel på sammenhængen, afhængig af om det er fladt eller kuperet terræn.

Kapitel 6 – Sensorer og sensordata

Til at foretage en automatisk kalibrering af skridtlængden ønsker projektgruppen, at anvende accelerometeret, GPS-modtageren og barometeret i en iPhone 4s og iPhone 6 (barometer findes kun i iPhone 6). Formålet med dette kapitel er at få en grundlæggende viden om sensorerne og data indsamlet med sensorerne, der anvendes i projektet. Derfor undersøges sensorerne nærmere i dette kapitel, hvor der bl.a. fokuseres på, hvilken nøjagtighed der kan forventes ved anvendelse af sensorerne. Resultaterne af disse tests vil senere anvendes til at afgøre, hvordan data fra sensorerne kan anvendes til at foretage en automatisk kalibrering af skridtlængden.

Kapitel 7 – Metode til automatisk kalibrering

I dette kapitel undersøges en eksisterende metode til automatisk kalibrering af skridtlængde som funktion af skridtfrekvens ved gang. Formålet med dette er at inddrage eksisterende litteratur inden for området, hvilket kan give inspiration til, hvordan en automatisk kalibrering kan foretages ved løb. Dernæst diskuteres principperne fra den eksisterende metode til automatisk kalibrering. På baggrund af diskussionen præsenteres i et senere afsnit 11.1 nye metoder, som projektgruppen vurderer potentielt vil give en bedre kalibrering.

Kapitel 8 – Opsamling på fase 1

Dette kapitel afrunder fase 1 ved kort at beskrive de fundne væsentligste resultater og pointer fra kapitlerne i fase 1. Til sidst opsummeres de fundne parametre, som skal danne grundlag for videreudviklingen af algoritmen i fase 2.

Kapitel 9 – Metode for fase 2 – Udvikling af automatisk kalibrering

Dette kapitel har til formål at beskrive den metodiske fremgangsmåde for fase 2. Igennem besvarelserne af underspørgsmålene til fase 1, er der opstået behov for at foretage nye analyser i fase 2. Ud fra resultaterne fundet i fase 1, opstilles i dette afsnit nye underspørgsmål der skal besvares igennem fase 2.

Kapitel 10 – Indledende test til automatisk kalibrering

I dette kapitel udføres en indledende analyse, hvor det undersøges, om sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens, estimeret ved løb på løbebånd, også kan estimeres ud fra GPS-positioner og skridttællingsalgoritmen. Der udføres en test som "best case" – under gode forhold på en lang lige og flad vej, med gode GPS-forhold. Analysen udføres med to formål. For det første for at undersøge om der kan opnås en lignende sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens, som ved testen på løbebånd. For det andet for at undersøge, hvor meget indflydelse distancen imellem to GPS-positioner har på nøjagtigheden af skridtlængden udregnet herudfra.

Kapitel 11 – Segmentering

Formålet med dette kapitel er at udvikle en algoritme, der automatisk kan identificere strækninger/segmenter, der består af data, som er velegnet til at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Til hvert velegnet segment beregnes et "datapunkt" (indeholdende gennemsnitlig skridtfrekvens og gennemsnitlig skridtlængde). Disse datapunkter anvendes i kapitel 12 til at estimere sammenhængen mellem skridtlængden og skridtfrekvensen. Udviklingen af algoritmen til at identificere segmenter baseres på analyserne fra fase 1.

Kapitel 12 – Kalibrering af skridtlængde

Dette kapitel har til formål at estimere en "bedste ret linje" gennem datapunkter, der beregnes med algoritmen udviklet i kapitel 11. Den bedste rette linje beskriver skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen på baggrund af data fra identificerede segmenter. Det er denne bedste rette linje som anvendes til en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. I dette kapitel opstilles det matematiske grundlag for estimeringen af den bedste rette linje, og der udføres tests for at undersøge, om der kan foretages en fornuftig automatisk kalibrering på baggrund af forskellige datasæt. På baggrund af resultater fra disse tests, færdigudvikles algoritmen.

Til sidst i kapitlet vises et flowdiagram over den færdigudviklede algoritme til automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

Kapitel 13 – Test af den udviklede algoritme

Dette kapitel har til formål at teste den udviklede algoritme. Algoritmen testes ved at sammenholde distancer estimeret vha. algoritmen med distancer opmålt ud fra ortofoto. Ud fra testene vurderes det, hvor godt algoritmen er i stand til automatisk at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

Kapitel 14 – Opsamling på fase 2

Dette kapitel afrunder fase 2 ved kort at beskrive de væsentligste resultater og pointer fra kapitlerne i fase 2.

Kapitel 15 – Konklusion

I dette kapitel beskrives projektets væsentligste resultater og konklusioner, og det konkluderes om problemformuleringen er løst.

Kapitel 16 – Perspektivering

I dette kapitel beskrives algoritmens videreudviklingsmuligheder samt andre overvejelser, som projektgruppen mener, der er relevante at arbejde videre med.

FASE 1

5 Undersøgelse af sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens

I det tidligere projekt (Mogensen, 2015) er sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens for hver forsøgsperson bestemt ud fra løb i tre tempi (roligt, moderat og hurtigt løb). Herudfra blev det vurderet, at der tilnærmelsesvist er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Da denne vurdering er baseret på løb i kun tre forskellige tempi, er det relevant at undersøge sammenhængen nærmere ved at udføre forsøg i flere tempi. Herudfra vil det kunne be- eller afkræftes, om der er en lineær sammenhæng ved løb. Derfor foretages der i dette kapitel først et forsøg på løbebånd for at undersøge sammenhængen nærmere. Dernæst foretages endnu et forsøg med løb i kuperet terræn for at undersøge, om der er samme sammenhæng ved løb i kuperet terræn som ved løb i fladt terræn.

5.1 Forsøg på løbebånd (fladt terræn)

For at undersøge sammenhængen nærmere udføres et forsøg med gang og løb på et løbebånd. Årsagen til at forsøget udføres på et løbebånd er, at det derved er lettere at styre den fart, forsøgspersonen går eller løber med. På et løbebånd kan farten manuelt indstilles til en bestemt værdi, og farten holdes derefter konstant på den indstillede værdi, indtil farten manuelt ændres. Der er imidlertid også en ulempe ved at udføre forsøget på et løbebånd, idet der ikke nødvendigvis ses samme løbestil ved løb på løbebånd som ved udendørs løb. Forskning viser dog at der ses samme biomekaniske mønstre ved løb på løbebånd som ved løb udenfor (van Ingen Schenau, 1980), og det vurderes derfor, at løb på løbebånd vil give et retvisende billede af sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens.

Til at udføre forsøget har projektgruppen fået adgang til et af UCN's (University College Nordjylland) løbebånd. I løbebåndet er der indbygget en række tryksensorer, der gør det muligt at få detaljerede målinger af, hvordan trykket fordeles ved hvert skridt. Vha. løbebåndet og tilknyttet software kan der automatisk genereres en rapport, som bl.a. beregner gennemsnitlig skridtlængde og skridtfrekvens over en brugerbestemt tidsperiode. Desuden er det muligt at generere en tekstfil med rå data fra sensorerne, indsamlet med en frekvens på 100Hz. Tekstfilen består af tidsstempler, de aflæste værdier for fodens tryk på løbebåndet og den tilbagelagte afstand. Derudover er der koblet et videokamera til systemet, således at der optages en video, der er synkroniseret med tidsstemplerne.

Forsøget er todelt, idet der først udføres forsøg med gang og herefter forsøg med løb. Forsøgene ved gang udføres således at forsøgspersonen starter med at gå i 90sek i et tempo på 3km/t. Derefter øges tempoet med 1km/t og forsøgspersonen går igen i 90sek. Dette fortsættes indtil forsøgspersonen har gået i et tempo på 7km/t.

Efterfølgende skifter forsøgspersonen fra gang til løb og løber med 9km/t i 90sek. Derefter øges tempoet med 1km/t og forsøgspersonen løber igen i 90sek. Dette fortsættes indtil forsøgspersonen ikke kan løbe hurtigere eller ikke føler sig tryk ved at løbe hurtigere.

Det vælges at holde tiden konstant i hvert tempo, da softwaren tilknyttet løbebåndet kan opsættes til at indsamle data i et bestemt antal sekunder. Dermed skal projektgruppen ikke koncentrere sig om at starte og stoppe dataindsamlingen ved hvert delforsøg på et bestemt tidspunkt. Dette styres automatisk af softwaren. Der kan dog argumenteres for, at det vil være fornuftigere at holde antallet af skridt

konstant, da dette vil medføre, at de beregnede gennemsnitlige skridtlængder og skridtfrekvenser vil være baseret på samme antal observerede skridt. I praksis vil dette imidlertid være vanskeligt at styre, idet softwaren ikke giver mulighed for automatisk at indsamle data i en periode, der svarer til et bestemt antal skridt.

Det forventes at tage 30-60min at gennemføre forsøget med én forsøgsperson. Da løbebåndet kun kan lånes i kortere perioder, er det begrænset, hvor mange forsøgspersoner det er muligt at inddrage. Derfor er kun to forsøgspersoner sat til at gennemføre forsøget.

5.1.1 Resultater

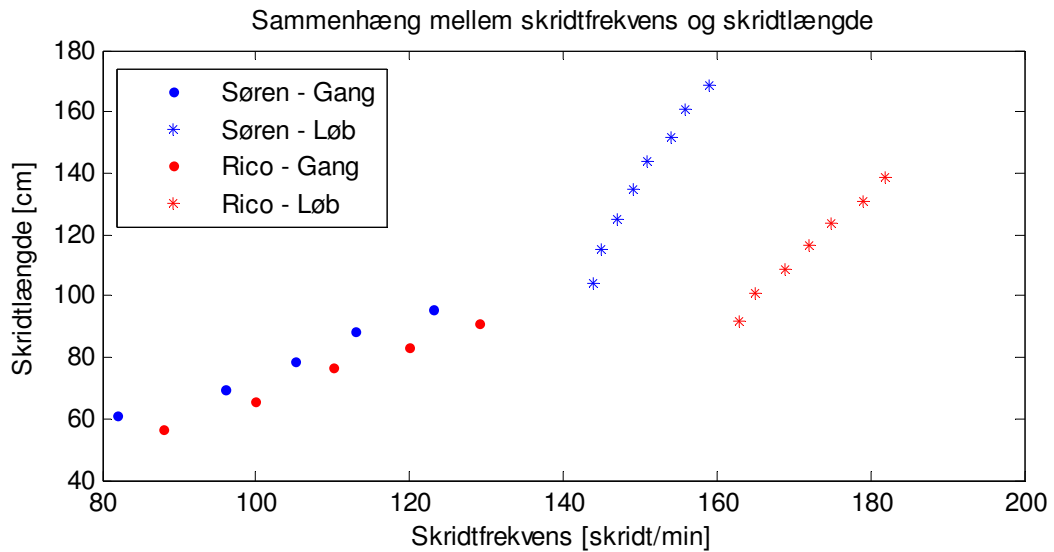
De indsamlede data fra forsøget ses på bilagsDVD'en i mappe B. I mappen findes for hver forsøgsperson: Tekstfiler med rå data, rapporter med diverse data om løbestilen (inkl. skridtlængde og skridtfrekvens) samt videooptagelser.

Tabel 5.1 viser forsøgsdata vedrørende skridtfrekvens og skridtlængde fra rapporten:

Fart [km/t]	Søren (184cm)		Rico (178cm)	
	Gnsn. skridtfrekvens [skridt/min]	Gnsn. skridtlængde [cm]	Gnsn. skridtfrekvens [skridt/min]	Gnsn. skridtlængde [cm]
3	82	61	88	56,5
4	96	69,5	100	66
5	105	79	110	76,5
6	113	88,5	120	83,5
7	123	95,5	129	91
9	144	104	163	92
10	145	115	165	101
11	147	125	169	108,5
12	149	135	172	116,5
13	151	144	175	124
14	154	152	179	131
15	156	161	182	138,5
16	159	168,5	-	-

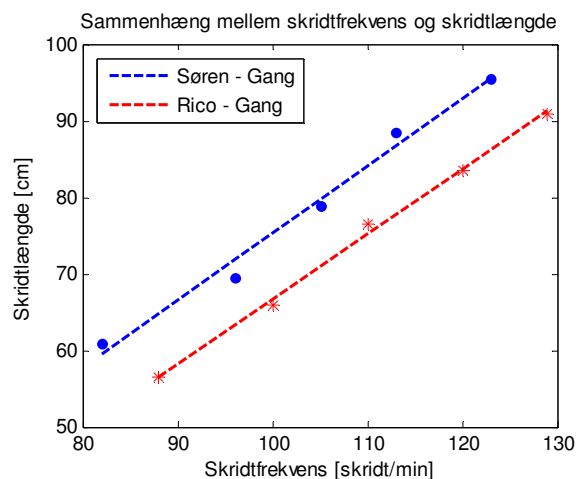
Tabel 5.1: Forsøgsdata fra forsøg på løbebånd – Skridtfrekvens og skridtlængde for begge forsøgspersoner i alle målte tempi. Rico har problemer med en skade og måtte derfor stoppe efter at have løbet med en fart på 15 km/t.

Figur 5.1 viser skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen for hver forsøgsperson. Plottet er udarbejdet på baggrund af dataene fra tabel 5.1.

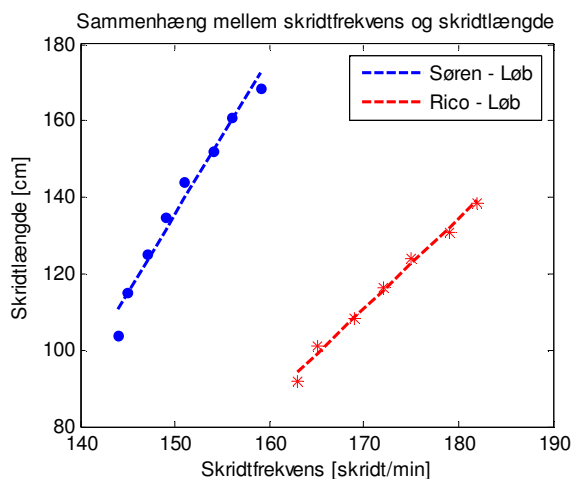


Figur 5.1: Plot af forsøgsdata

Det ses, at der er markant forskel på sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens ved sammenligning af de to forsøgspersoner. Dette gælder særligt ved løb. Derfor er det ikke muligt at lave en generel beskrivelse af sammenhængen mellem skridtfrekvens og skridtlængde. Desuden ses det, at sammenhængen er forskellig, afhængig af om det er løb eller gang. Ved løb er der eksempelvis tendens til, at skridtlængden er den parameter, der stiger mest når tempoet øges, hvorimod det ved gang er skridtfrekvensen, der er den parameter, der primært stiger i takt med, at tempoet øges. Denne tendens blev ligeledes observeret i det tidligere projekt, hvorfor der i algoritmen fra det tidligere projekt skelnes mellem, om et skridt er gang eller løb. Ud fra figuren ses endvidere, at der for hver forsøgsperson tilnærmelsesvist er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens, hvis dataene splittes op i gang og løb. Dette fremgår af figur 5.2 og 5.3, der viser dataene fra hhv. gang og løb samt en "bedste ret linje" estimeret på baggrund af dataene vha. simpel mindste kvadraters princip.



Figur 5.2: Plot af skridtlængde som funktion af skridtfrekvens ved gang



Figur 5.3: Plot af skridtlængde som funktion af skridtfrekvens ved løb

På baggrund af forsøgsresultaterne vurderes det således, at der tilnærmelsesvist er en lineær sammenhæng mellem skridtfrekvens og skridtlængde ved både gang og løb. Derfor arbejdes der i det videre projektforsøg med, at den automatiske kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen kan udføres med en lineær funktion.

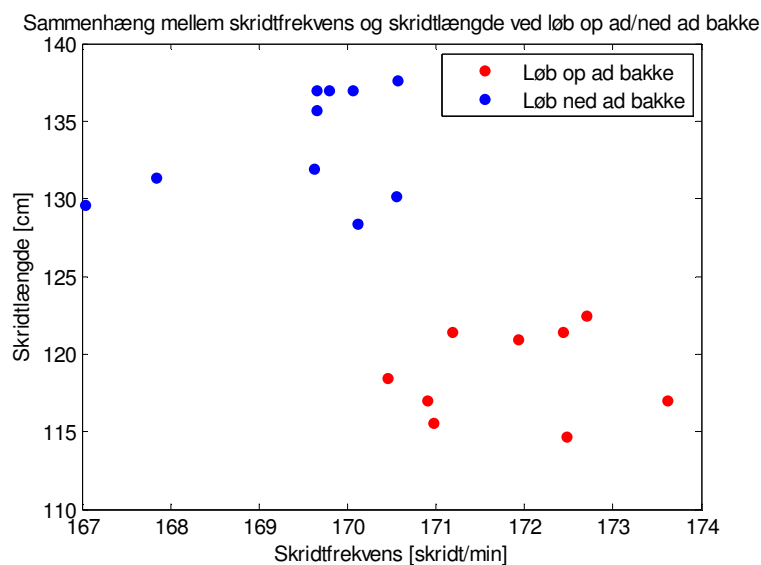
5.2 Forsøg i kuperet terræn

Projektgruppen forventer, at sammenhængen, mellem skridtlængde og skridtfrekvens ved løb i kuperet terræn, er forskellig fra sammenhængen ved løb i fladt terræn. For at få denne forventning be- eller afkræftet er der udført et forsøg, hvor der er indsamlet data ved løb op ad bakke og ved løb ned ad bakke i samme tempo. Der er løbet i et jævnt og roligt tempo op og ned ad bakke 10 gange². For hvert løb opad og hvert løb nedad er den gennemsnitlige skridtlængde beregnet ud fra den tilbagelagte afstand (opmålt med RTK) og antallet af skridt (estimeret med skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt (Mogenssen, 2015)).

² Én af gangene der blev løbet op ad bakken, blev dataindsamlingen fejlagtigt stoppet inden toppen af bakken. Derfor er der kun anvendt data fra 9 gennemløb op ad bakke.

5.2.1 Resultater

Figur 5.4 viser resultaterne fra forsøget. Det ses at der er en tydelig forskel i forhold til løb i fladt terræn. Ved løb op ad bakke løbes der med en større skridtfrekvens og kortere skridtlængde, mens der ved løb ned ad bakke løbes med en mindre skridtfrekvens og længere skridtlængde. Den lineære sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens kan således ikke overføres direkte til løb i kuperet terræn. Derfor må der tages højde for, om der løbes i fladt eller kuperet terræn. Jævnfør afsnit 6.4.2 kan barometeret i en iPhone 6 anvendes til at afgøre, om der løbes i fladt eller kuperet terræn. Projektgruppen vælger, at der i dette projekt fokuseres på løb i fladt terræn, da projektgruppen vurderer, at det er for omfangsrigt at medtage kuperet terræn. Det ønskes derfor i det videre projektforsøg at anvende barometeret til at afgøre, om der løbes i fladt terræn.



Figur 5.4: Plot af skridtlængde som funktion af skridtfrekvens ved løb i kuperet terræn.

Til ovenstående forsøg er der kun indsamlet data med én forsøgsperson. Da hver person har en individuel løbestil, er det ikke givet, at der vil opnås samme resultater med andre forsøgspersoner. Projektgruppen forventer imidlertid, at det er en generel tendens, og antager derfor, at et lignende resultat vil opnås med andre forsøgspersoner.

I dette kapitel er den lineære sammenhæng (fundet i det tidligere projekt (Mogensen, 2015)) blevet bekræftet. I kapitlet er det fundet, at skridtfrekvensen og skridtlængden er forskellig, selvom der løbes i det samme tempo, når der løbes i kuperet terræn. For at kunne beskrive sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens i kuperet terræn vil der derfor være behov for at udføre yderligere tests, hvor der løbes i forskellige tempi i kuperet terræn med forskellige hældninger. Samtidig vil det betyde, at en senere udvikling af en algoritme, der automatisk kan kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen i kuperet terræn, vil kræve, at der skal indsamles betydelige mængder data til gennemtestning af den udviklede algoritme. Projektgruppen vælger derfor at fokusere på løb i fladt terræn.

6 Sensorer og sensordata

I kapitel 5 er den lineære sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens blevet bekræftet. I dette kapitel undersøges sensorerne, som skal anvendes til at udføre en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen jf. kapitel 3. I (Mogensen, 2015) er der til indsamlingen af data benyttet en iPhone 4s. I dette projekt er der både en iPhone 4s og en iPhone 6 til rådighed ved indsamlingen af data. Der ses derfor i det følgende på sensorer, der er indbygget i de to telefonmodeller, og som vil blive anvendt til videreudvikling af algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015). Dernæst beskrives det, hvorledes data fra sensorerne indsamles vha. appen SensorLog. Slutteligt foretages forskellige tests af iPhone's GPS-modtagere og barometer. Det testes, hvorledes GPS-modtagerne registrerer positioner i områder med gode og dårlige GPS-forhold. Det testes, hvor godt relative højdeændringer kan bestemmes vha. barometeret. Disse tests skal anvendes som grundlag for den automatiske kalibrering.

6.1 Sensorer i iPhone 4s og iPhone 6

I en iPhone 4s og iPhone 6 findes en række forskellige sensorer. I det følgende undersøges kun sensorerne valgt i kapitel 3.1. På tabel 6.1 ses en liste over de sensorer, der anvendes i projektet, fra hhv. en iPhone 4s og en iPhone 6.

Sensorer anvendt i projektet	
iPhone 4s	iPhone 6
Tre-akset accelerometer	2 tre-aksede accelerometre
GPS-modtager	GPS-modtager
	Barometer

Tabel 6.1: Oversigt over sensorer fra iPhone 4s og iPhone 6. (Apple Inc., 2015 [1]) (Apple Inc., 2015 [2])

Det har kun været muligt at finde de tekniske specifikationer for accelerometrene. Dette er gjort ved at undersøge, hvilke komponenter der sidder i de to smartphones og dernæst undersøge producentens specifikationer for komponenten. En nærmere undersøgelse af nøjagtigheden på observationer fra GPS-modtagere og barometer foretages derfor gennem forsøg i afsnit 6.3 og 6.4.

6.1.1 Accelerometer

Accelerometrene i smartphones består reelt set normalt af tre accelerometre, der sidder vinkelret i forhold til hinanden, så de tilsammen beskriver et kartesisk koordinatsystem med en x-, y- og z-akse, se evt. figur 6.1. Når der i rapporten skrives om "et accelerometer", menes der således et modul bestående af tre accelerometre, der sidder vinkelret på hinanden og udgør et kartesisk højrehåndssystem.

En iPhone 4s indeholder et accelerometer fra ST Microelectronics. iPhone 6 indeholder derimod to accelerometre, hvoraf det ene accelerometer er sammenbygget med et tre-akset gyrometer. Accelerometrene i iPhone 6 er fremstillet af hhv. Bosch og InvenSense. For at undersøge om de

forskellige accelerometre er velegnet i projektet, er det undersøgt hvor mange g^3 de enkelte accelerometre er i stand til maksimalt at måle, hvor små accelerationsforandringer de er i stand til at måle og hvor mange målinger de er i stand til at registrere i sekundet. Accelerometrenes ydeevne afhænger både af specifikationerne fra fabrikanten, og af hvilke indstillinger Apple anvender, da det er muligt, f.eks. at indstille hvor mange g accelerometeret maksimalt skal kunne registrere. Det angivne måleinterval i tabel 6.2 er således angivet efter det interval, der er fundet ved at udsætte hhv. iPhone 4s og 6 for store accelerationer, og matche det med intervallet opgivet for accelerometrene. Der er angivet samme interval for både Bosch og InvenSenses accelerometer, da det ikke vides, hvilket af accelerometrene i iPhone 6, som benyttes til at registrere accelerationer i appen SensorLog, der er anvendt til at teste accelerometeret. Den anvendte app bliver beskrevet nærmere i afsnit 6.2.

Mindste registrerbare accelerationsændring er udregnet som i (Mogensen, 2015, s. 14), hvor registrerbare accelerationsændringer fra f.eks. Boschs accelerometer er: $\frac{16g}{2^{14}} \approx 0,001g$.

På tabel 6.2 ses en oversigt over de tre accelerometre og deres specifikationer.

	iPhone 4s	iPhone 6	
	ST Microelectronics	Bosch	InvenSense
Måleinterval	$\pm 2g$	$\pm 8g$	$\pm 8g$
Mindste registrerbare accelerationsændring	$\approx 0,001g$	$\approx 0,001g$	$\approx 0,0002g$
Data output i bit	12bit	14bit	16bit
Maks data output pr. sekund	1000Hz	2000Hz	4000Hz

Tabel 6.2: Specifikationerne for de tre accelerometre. Der findes ét accelerometer i iPhone 4s og to i iPhone 6. De viste specifikationer er til dels fundet fra (STMicroelectronics, 2009), (Robert Bosch GmbH, 2014) og (InvenSense Inc., 2014), og dels udregnet herudfra.

Ud over specifikationerne for accelerometrene, har systematiske og tilfældige fejl også indflydelse på resultatet af målingerne. I (Mogensen, 2015, s. 21) er det vurderet, at fejlbidraget fra de systematiske og tilfældige fejl er minimale, i forhold til de accelerationer der opnås ved gang og løb (se evt. figur 1.1), og det blev derfor vurderet ikke at give problemer i forbindelse med skridttællingsalgoritmen. Det antages, at de systematiske og tilfældige fejl på målinger fra de anvendte accelerometre i iPhone 6 er i en størrelsesorden, der er bedre end eller svarer til de systematiske og tilfældige fejl, der ses ved iPhone 4s, da iPhone 6 har nyere/bedre hardware. Derfor vurderes det, at de systematiske og tilfældige fejl heller ikke har indflydelse på videreudviklingen til iPhone 6.

6.1.2 GPS-modtager

I både iPhone 4s og iPhone 6 er der indbygget GPS-modtagere, der anvender både GPS og GLONASS satellitter til positionsbestemmelse. Desuden anvender begge iPhones "Assisted GPS". Apple skriver, at assisted GPS bruges til hurtigere at lokalisere de synlige GPS-satellitter og bestemme en initierende position af smartphonen vha. lokale trådløse netværk (Apple Inc., 2015 [3]).

³ g er et udtryk for den målte acceleration, hvor én g svarer til den gennemsnitlige tyngdeacceleration målt ved havoverfladen.

Apple oplyser ikke, hvilken nøjagtighed man kan forvente på en GPS-position. Men de oplyser at deres forskellige services, som f.eks. *Maps* angiver nøjagtigheden af en lokation ved at vise en blå cirkel, hvor størrelsen af cirklen angiver nøjagtigheden. (Apple Inc., 2015 [4]) Apple forklarer ikke nærmere, hvordan en cirkel er et udtryk for nøjagtigheden af GPS-positionen, eller hvordan nøjagtigheden er beregnet. Derfor er der set nærmere på funktioner til programmering af apps til iOS. Her er det muligt at få oplyst en "*HorizontalAccuracy*" og en "*VerticalAccuracy*", som angiver nøjagtigheden i meter i hhv. planet og højden. (Apple Inc., 2014 [1])

Efter at have set på GPS-positioner fra en iPhone 4s, i forbindelse med udviklingen af algoritmen i det tidligere projekt (Mogensen, 2015), formoder projektgruppen, at Apples software foretager en filtrering af GPS-positionerne. For at få en idé om hvilken nøjagtighed, der kan forventes på GPS-positionerne, og hvordan Apple foretager filtrering af GPS-positionerne, udføres, i afsnit 6.3, forskellige forsøg med en iPhone 4s og en iPhone 6. Forsøgene foretages i to områder, ét område med gode GPS-forhold og ét område med dårlige GPS-forhold.

6.1.3 Barometer

I iPhone 6 er der indbygget et barometer. Ved anvendelse af barometeret beregner Apple relative højder (mere om dette i afsnit 6.2.3). Det har ikke været muligt at finde informationer vedrørende barometerets specifikationer eller fabrikanten af barometeret, og der vides derfor heller ikke noget om nøjagtigheden af den beregnede relative højde. Jf. afsnit 3.1 fokuseres der på fladt terræn. For at undersøge om den oplyste relative højde, jf. barometeret, kan bruges til at identificere, om et område er fladt eller ej, udføres tests, hvor barometerobservationer sammenholdes med GPS- og RTK-positioner. Der udføres desuden en test i kuperet terræn, hvor det undersøges, hvorledes barometeret registrerer faktiske højdeændringer. Resultaterne af disse tests anvendes som et udtryk for nøjagtigheden af de beregnede relative højder jf. barometeret. Begge tests er beskrevet i afsnit 6.4.2.

6.2 Dataindsamling med appen SensorLog

Til at indsamle data fra sensorerne i iPhone 4s og iPhone 6 eksisterer der flere forskellige apps. I projektet er det valgt at anvende appen *SensorLog*. Appen er valgt da projektgruppen i to tidligere projekter – (Mogensen & Smidt, 2014) og (Mogensen, 2015) – har benyttet appen og har gode erfaringer med den.

SensorLog er en gratis app, der er udviklet til Apples styresystem iOS. Den er i stand til at indsamle data med en frekvens på op til 100Hz. SensorLog kan anvendes til indsamling af data med både iPhone 4s og iPhone 6. Dataene kan gemmes i en kommasepareret CSV-fil, hvilket algoritmen i det tidligere projekt også er baseret på. Til iPhone 4s, er det muligt at indsamle data vedrørende GPS-position samt 2D- og 1D-nøjagtighed af GPS-positionen. Desuden kan der indsamles data fra accelerometeret med en brugervalgt frekvens på op til 100Hz. De samme data kan indsamles med iPhone 6, men derudover er det også muligt at indsamle data med det indbyggede barometer, der kan registrere højdeforandringer og tryk. (Thomas, 2014)

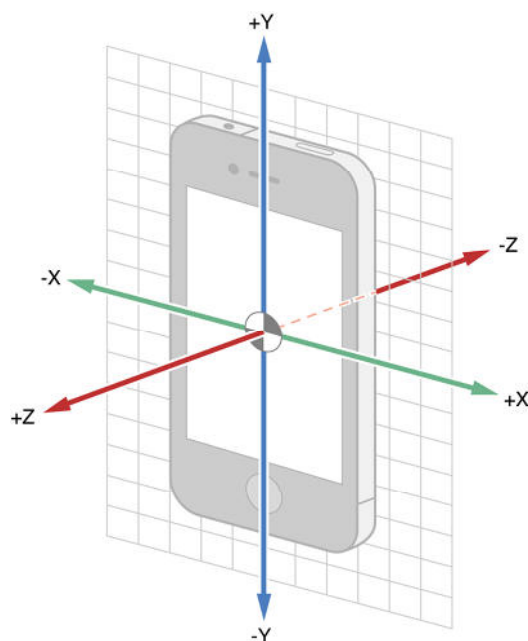
I dette projekt er projektgruppen interesseret i data fra accelerometeret, barometeret og GPS-modtageren. Udvikleren af SensorLog skriver, at appen bruger følgende af Apples iOS klasser/objekter til at indsamle data: *CMAccelerometer*, *CLLocation* og *CMAltimeter* (Thomas, 2014). Der ses derfor nærmere på, hvilke relevante data, der, vha. SensorLog, kan indsamles med disse klasser/objekter.

6.2.1 Accelerometer-data

Af accelerometer-data, der kan indsamles vha. *CMAccelerometer*, er projektgruppen interesseret i:

- Målte accelerationer langs x-, y-, og z-aksen
- Tidsstempel

Accelerometrene i de to smartphones er alle tre-aksede accelerometre. En illustration af aksernes orientering for både iPhone 4s og iPhone 6 ses på figur 6.1. Accelerometrene måler en acceleration langs hhv. x-, y-, og z-aksen, og den målte acceleration fra hver akse er at finde i CSV-filen fra SensorLog (Apple Inc., 2010 [2]). Tidsstemplet til målingerne kommer fra Apples klasse *CMLogItem* som angiver tidspunktet, hvorpå en måling er blevet foretaget. Der angives både et klokkeslæt og tidsforskellen mellem den første observation og den aktuelle observation (Apple Inc, 2010 [2]). I SensorLog er det muligt at definere hvor mange observationer, der ønskes indsamlet pr. sekund. Det er muligt at vælge op til 100 Hz, så frem sensorerne understøtter dette. Jævnfør tabel 6.2 har accelerometrene i både iPhone 4s og iPhone 6 en maksimal dataindsamlingsfrekvens på 1000Hz eller derover. (Thomas, 2014) Det vælges at indsamle data med 100Hz for at sikre, at der er tilstrækkeligt med data i forbindelse med test og videreudvikling af algoritmen fra det tidligere projekt. Hvis det viser sig at algoritmen fungerer med en mindre frekvens, kan de overskydende observationer evt. fjernes fra datasættene for at lette udregningerne, hvorimod det ikke er muligt at tilføje yderligere observationer, med mindre der foretages ekstra forsøg.



Figur 6.1: Viser hvorledes accelerometerets akser er defineret i en iPhone. Accelerometeret måler accelerationer langs hver af de tre akser. (Apple Inc., 2013, s. 61)

6.2.2 GPS-data

Af GPS-data, der kan indsamles vha. *CLLocation*, er projektgruppen interesseret i følgende:

- Position i planet
- Højden
- Nøjagtighed på 2D-position og højden.
- Tidsstempel

SensorLog giver en 2D-position og en højde. 2D-positionen er givet i WGS 84-koordinater (Apple. Inc, 2010 [1]). Højden bliver givet i meter over havoverfladen, men det vides ikke, hvilken geoidemodell dette bygger på. I (Mogensen & Smidt, 2014) antages det, at geoidemodellen er EGM2008, og dette antages derfor også i dette projekt. Projektgruppen er dog kun interesseret i relative højder, og absolutte koter er derfor ikke nødvendige, hvorfor det ikke nærmere undersøges, hvilken geoidemodell der er anvendt. Nøjagtigheden på vertikale og horisontale positioner bliver oplyst i meter, men det oplyses ikke hvordan nøjagtigheden er defineret. (Apple Inc., 2014 [2])

6.2.3 Barometer-data

Af barometer-data, der kan indsamles vha. *CMAAltitudeData*, er projektgruppen interesseret i⁴:

- Lufttrykket (til udregning af relative højder)
- Relative højder beregnet af Apple
- Tidsstempel

Der er to måder, hvorpå ændringer i højden kan bestemmes vha. barometeret i en iPhone 6. Apples objekt *CMAAltitudeData* giver både en aflæst værdi for trykket i kilopascal (som sammen med andre parametre kan anvendes til at beregne højder, se afsnit 6.4.1) og en udregnet værdi for relative højder i meter på baggrund af ændringer i trykket. (Apple Inc., 2014 [3]) (Apple Inc., 2014 [4]) Det vides ikke, hvordan den relative højde er udregnet, og det undersøges derfor nærmere i afsnit 6.4.1. Desuden undersøges nøjagtigheden af de relative højder igennem tests i afsnit 6.4.

6.3 Test af GPS-modtager

I forbindelse med at de sensorer, der anvendes i projektet, er blevet undersøgt i afsnit 6.1, har det vist sig at være nødvendigt at teste sensorerne, for at undersøge deres nøjagtigheder, og herigennem også om de kan anvendes i det videre projektforløb. De forskellige tests kan senere anvendes til at afgøre, hvordan GPS-positioner og barometerdata kan anvendes i udviklingen af en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

I dette afsnit udføres først en statisk test af GPS-modtageren og dernæst udføres to dynamiske tests af GPS-modtageren, én i et område med gunstige GPS-forhold og én i et område med dårlige GPS-forhold. Den statiske test udføres for at beregne spredningen på GPS-positionerne til sammenligning med de oplyste spredninger fra Apple. De dynamiske tests udføres for at undersøge, om der foretages en filtrering af data og samtidig få et indblik i, hvor/hvordan GPS-positionerne bliver registreret ved løb. Ved de dynamiske tests indsamles RTK-positioner sideløbende med GPS-positioner, således RTK-positioner

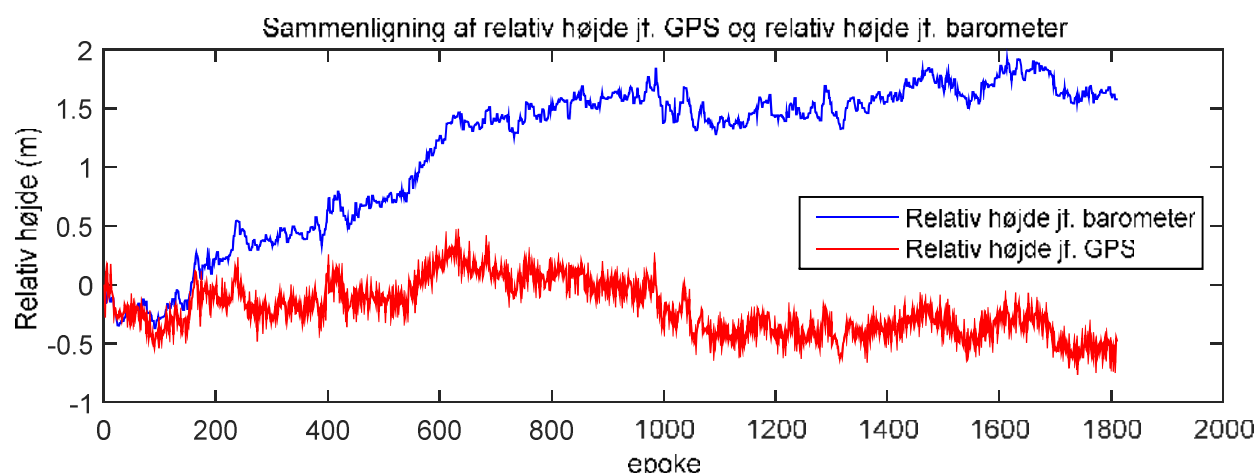
⁴ iPhone 4s har ikke et indbygget barometer, hvorfor dette afsnit kun er relevant for iPhone 6.

efterfølgende kan anvendes som kontroldata til sammenligning med GPS-positionerne. Derved kan det undersøges om tracéet ud fra GPS-positionerne stemmer overens med tracéet ud fra RTK-positionerne.

6.3.1 Statisk test

En statisk test af GPS-modtageren er udført for at bestemme spredningen på GPS-positionerne. Forsøget er udført ved at indsamle data over ca. 30 minutter indeholdende i alt 1810 epoker, svarende til ca. én observation i sekundet. Imens data er indsamlet har begge smartphones ligget stille på jorden.

Testen viser at 2D-koordinaterne til samtlige GPS-positioner gennem hele forsøget er identiske. Igennem forsøget er højdekoordinaten identisk på iPhone 4s, hvorimod der ses en lille spredning ved iPhone 6 på 0,625m. Dette betyder at Apple foretager en filtrering af GPS-positioner. Projektgruppen er af den opfattelse at Apple anvender accelerometeret og/eller gyrometeret til at afgøre, om smartphonen ligger stille. Hvis den ikke er i bevægelse, vurderer projektgruppen, at den samme GPS-position fastholdes, indtil smartphonens accelerometer/gyrometer registrerer at smartphonen er i bevægelse. Projektgruppen mener at den lille spredning på højdekoordinaterne fra iPhone 6 skyldes, at barometeret også indgår i udregningen af højdekoordinater. Relative højder jf. barometeret har igennem forsøget haft små udsving, hvilket relativt stemmer overens med udsvingene i højden fra GPS-positionerne. Dette tyder på, at de angivne GPS-højder, fra en iPhone 6, bestemmes ved også at anvende barometeret. De relative højder jf. GPS og jf. barometer er plottet på figur 6.2.



Figur 6.2: Plot af registrerede højdeændringer fra GPS og barometer, imens iPhone 6 har ligget stille i ca. 30 minutter.

Resultatet af den statiske test betyder, at det ikke er muligt at sammenholde de udregnede spredninger med Apples oplysninger om nøjagtigheden på en GPS-position.

6.3.2 Dynamisk test

For at undersøge GPS-positionernes nøjagtighed under bevægelse og for at få en idé om, hvordan Apples software foretager filtrering af GPS-positioner, udføres dynamiske tests med GPS-modtageren i en iPhone 4s og iPhone 6. Testene udføres under løb, ved at sammenligne positioner fra smartphonenes GPS-modtagere med RTK-positioner fra en *Leica GPS1200* RTK. Under testene er smartphonene placeret på overarmen, og RTK-modtagerens antenne er fastspændt på en rygsæk. Placeringen af smartphonene og RTK-modtageren kan ses på figur 6.3. Højdeforskydningen mellem smartphonenes antenner og RTK-modtagerens antenne er uden betydning, idet projektgruppen udelukkende er interesseret i relative

højder. Forskydningen mellem antennerne i planet vurderes at have en meget lille betydning i forhold til den forventede nøjagtighed på smartphonens GPS-modtager. Derfor tages der ikke højde for denne forskydning ved sammenligning af plane GPS-positioner.



Figur 6.3: Placering af RTK og smartphone under de dynamiske tests. Placeringen af iPhone 4s er markeret med rød cirkel. iPhone 6 er placeret på samme måde på modsatte arm.

Testen udføres i to områder i Aalborg by. Det ene område er udvalgt som et område med gode GPS-forhold, og det andet område er udvalgt som et område med dårlige GPS-forhold. Der er valgt et område med gode GPS-forhold og et område med dårlige GPS-forhold for at undersøge, hvorledes nøjagtigheden og den påståede filtrering af GPS-positioner udmønter sig under forskellige forhold.

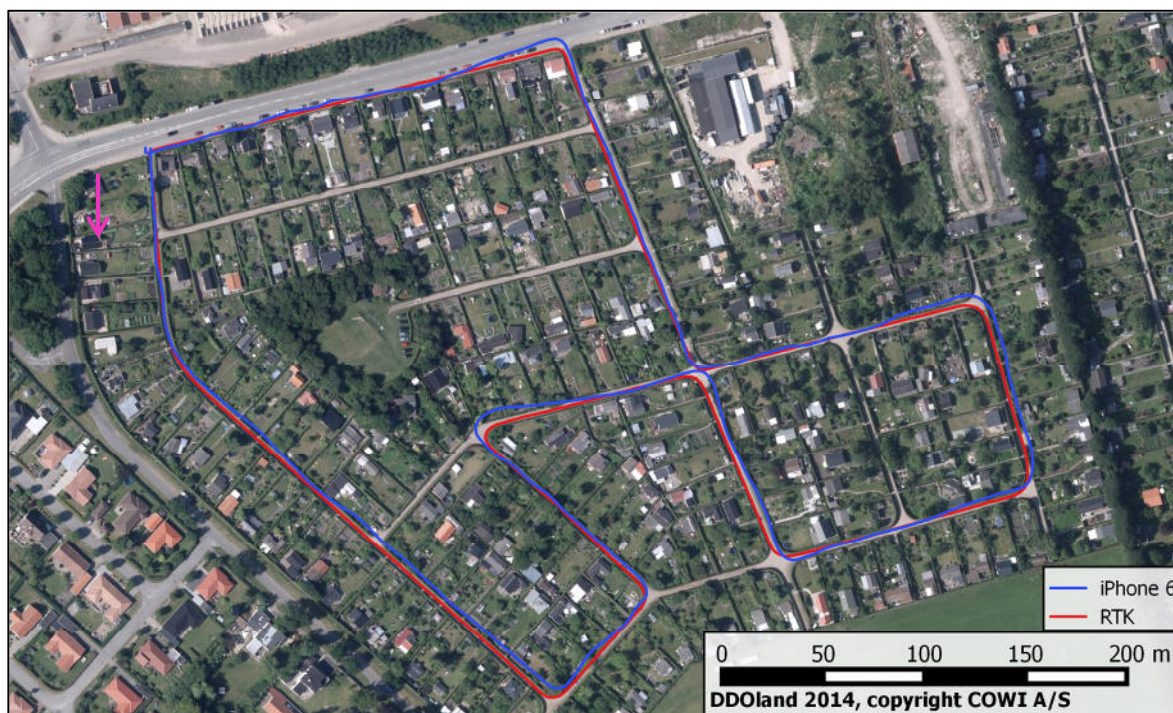
Test i et område med gode GPS-forhold

Til at teste hvad der kan forventes af GPS-modtageren i iPhone 4s og iPhone 6 under gode GPS-forhold, er der valgt et kolonihaveområde i Aalborg, hvor der i hele området er frit udsyn til himlen i alle retninger med undtagelse af enkelte steder med mindre træer. Den planlagte rute kan ses på figur 6.4. Der er valgt en rute med mange knæk for at se, hvorledes Apples påståede filtrering af GPS-positioner håndterer pludselige retningskift under gode GPS-forhold.



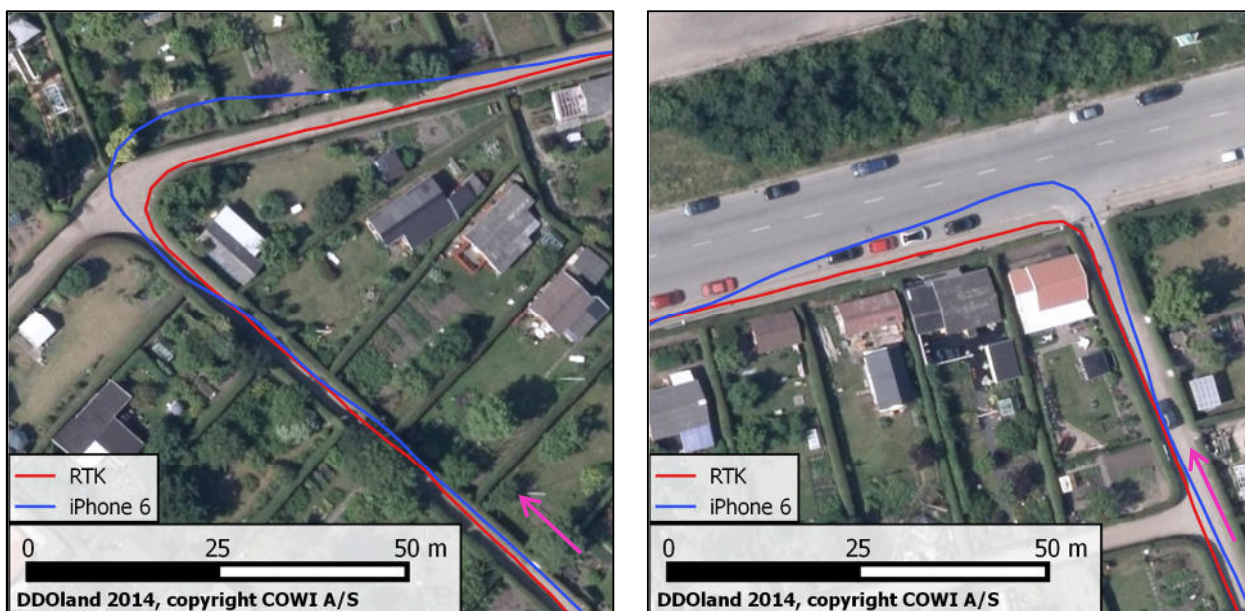
Figur 6.4: Kort med den planlagte rute for test af GPS i områder med gode GPS-forhold. Ruten er markeret med rødt og starter ved pilen i øverste venstre hjørne, og slutter samme sted. Baggrundskort fra Google Maps.

Den planlagte rute er gennemløbet tre gange. Én gang af Søren og to gange af Rico. Søren's løbestil medførte at RTK-modtagerens antenne svingede en del. Derfor har Rico været forsøgsperson på resten af de dynamiske tests. På figur 6.5 ses et af gennemløbene i terrænet med gode GPS-forhold. Den røde linje angiver data indsamlet med RTK og den blå linje data indsamlet med iPhone 6. Ved alle tre gennemløb er den samme rute løbet i den samme retning.



Figur 6.5: Kort der viser, hvorledes et gennemløb registreres med GPS af hhv. iPhone 6 og Leicas GPS1200 RKT. Løberetningen er markeret med en pil i øverste venstre hjørne.

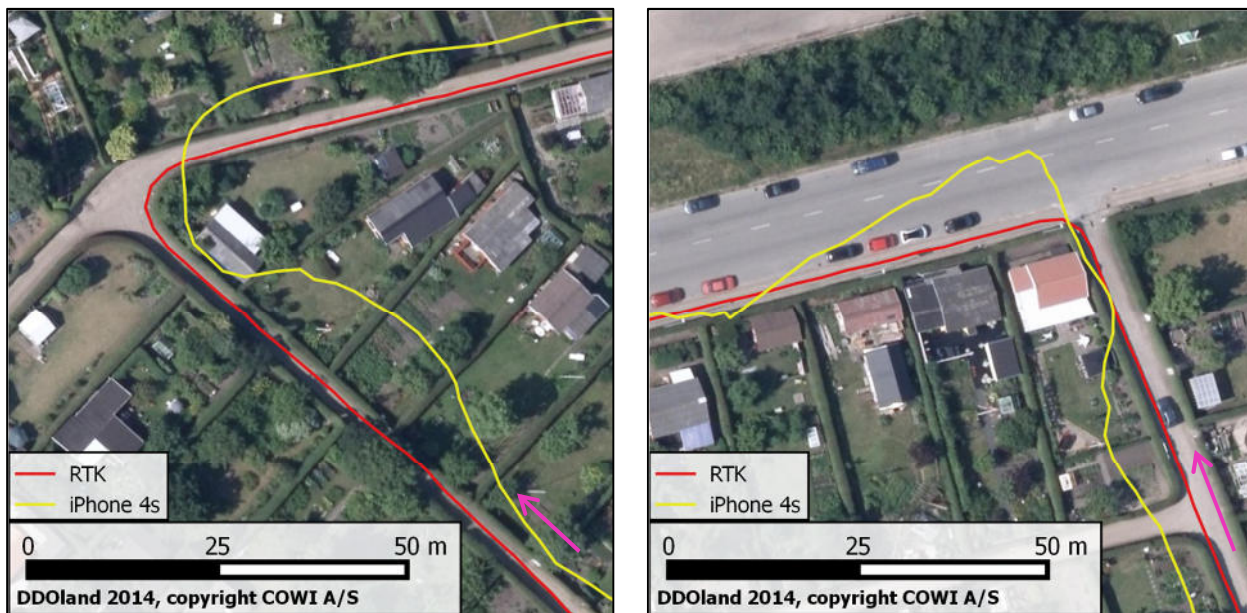
Sammenlignes de to datasæt fra det samme gennemløb visuelt, ses det at GPS-positionerne indsamlet med RTK fint følger GPS-positionerne indsamlet med iPhone 6. Dog er der en tendens til at iPhone-positionerne fortsætter i en lige linje, efter at RKT-positionerne – og vejen – er drejet. Dette tyder på, at Apples software udfører en filtrering af GPS-positionerne, hvor der laves en forudsigelse af den næste GPS-position ud fra forudgående GPS-positioner, hvilket bidrager til en "forsinkelse" af registreringen af svinget. To eksempler herpå kan ses på figur 6.6.



Figur 6.6: Kortudsnit med to eksempler på hvorledes der er en forsinkelse på registrerede sving på GPS-positionerne fra iPhone 6. Løberetningen er angivet med en pil i nederste højre hjørne.

På figur 6.7 ses data fra iPhone 4s fra samme gennemløb som på figur 6.6. Der ses de samme tendenser til, at GPS-modtageren er langsommere til at registrere retningsskift. GPS-positionerne fra en iPhone 4s varierer dog mere end GPS-positionerne fra en iPhone 6. Dette kan skyldes flere ting: GPS-modtageren er bedre i iPhone 6, iPhone 6 bruger andre/bedre sensorer til at assistere i udregningen af GPS-positioner eller der bruges en anden/bedre filtreringsmetode til at bestemme GPS-positioner. Derudover kan det have betydning, at de to smartphones er placeret på hver deres overarm, idet det derved er forskelligt, hvordan signalerne fra satellitterne forstyrres af kroppen.

Kort med spor fra samtlige gennemløb er at finde på bilagsDVD mappe C-2.



Figur 6.7: Kortudsnit der viser to eksempler på, hvorledes der er en forsinkelse på registreringen af sving jf. GPS-positionerne fra iPhone 4s. Løberetningen er angivet med en pil i nederste højre hjørne, og data er indsamlet under samme gennemløb som ved figur 6.6.

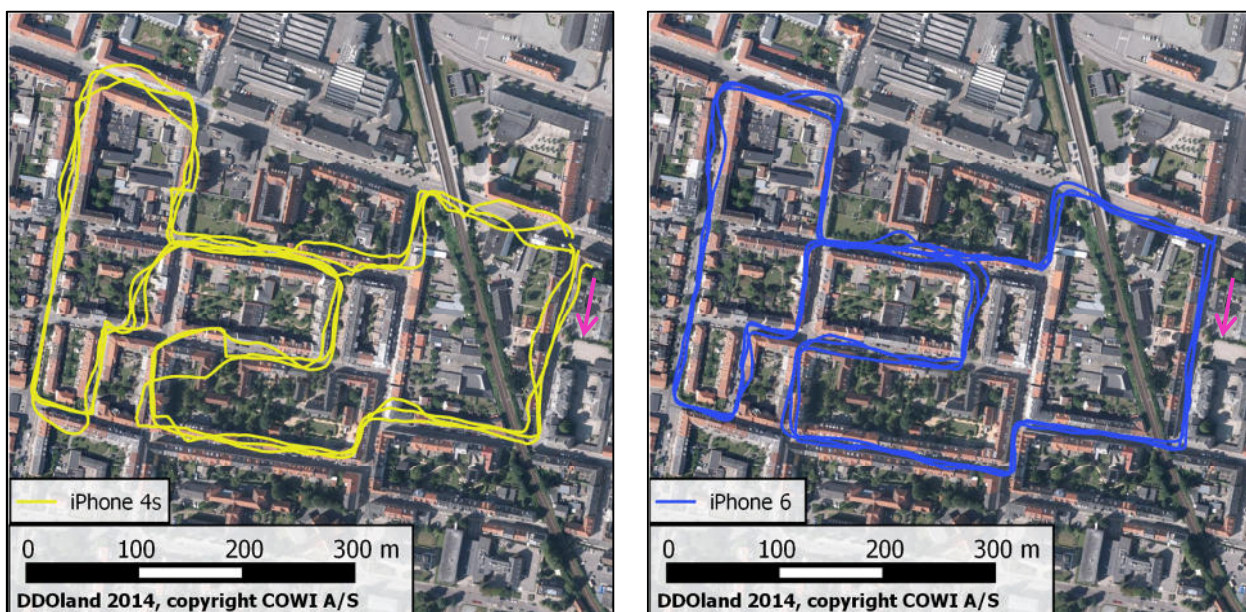
Test i et område med dårlige GPS-forhold

For at undersøge nærmere om GPS-modtageren i iPhone 4s og iPhone 6 anvender en filtrering og/eller andre sensorer til at hjælpe med at bestemme en GPS-position, udføres en test i et område med dårlige GPS-forhold. Samtidig kan tests i denne type område give et billede af, hvad der kan forventes af GPS-modtageren i iPhone 4s og iPhone 6 under dårlige GPS-forhold. Det valgte område er et område i Aalborg by, som er domineret af høje bygninger og smalle gader. Den planlagte rute kan ses på figur 6.8. Der er valgt en rute, som har mange knæk, for at se, hvorledes filtreringen af GPS-positioner håndterer pludselige retningsskift under dårlige GPS-forhold.



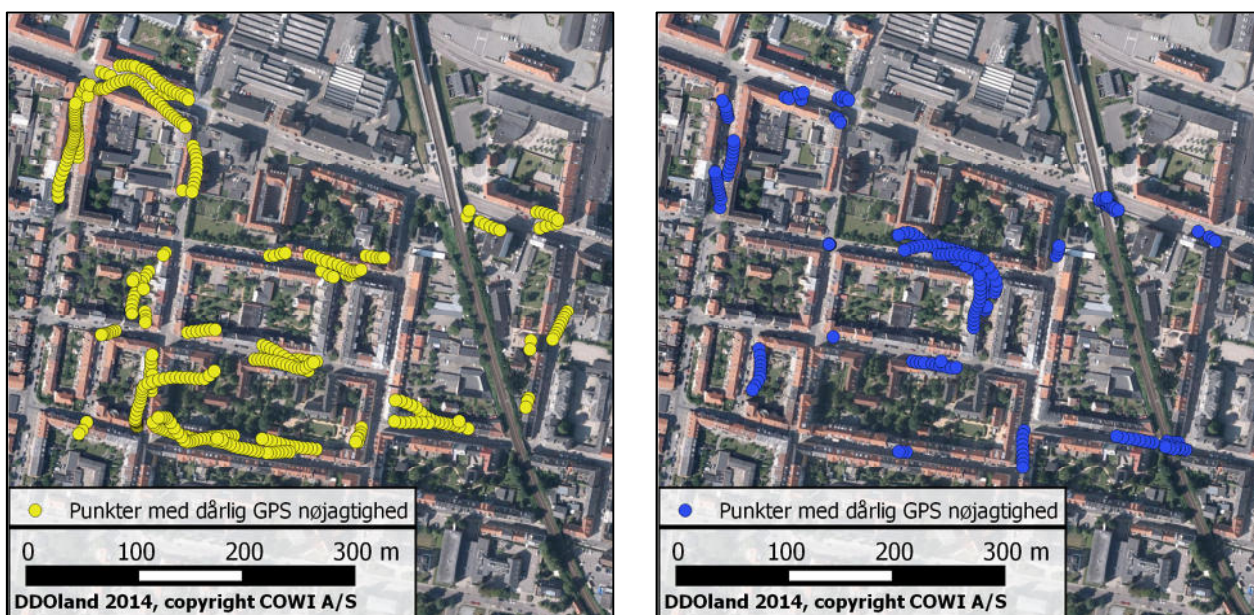
Figur 6.8: Kort med den planlagte rute for test af GPS i et område med dårlige GPS-forhold. Ruten er markeret med rødt og starter ved pilen i højre side, og slutter samme sted. Baggrundskort er fra Google Maps.

På figur 6.9, ses en oversigt over de tre gennemløb for hhv. iPhone 4s og iPhone 6. Her kan det ses, at der er væsentligt større udsving på positionerne fra iPhone 4s. Årsagerne hertil kan være de samme som beskrevet ved testen i området med gode GPS-forhold.



Figur 6.9: Oversigtskort over tre gennemløb i testområdet med dårlige GPS-forhold. I venstre side ses GPS-positionerne for iPhone 4s og i højre side GPS-positionerne for iPhone 6. Løberetningen er angivet med en pil i højre side.

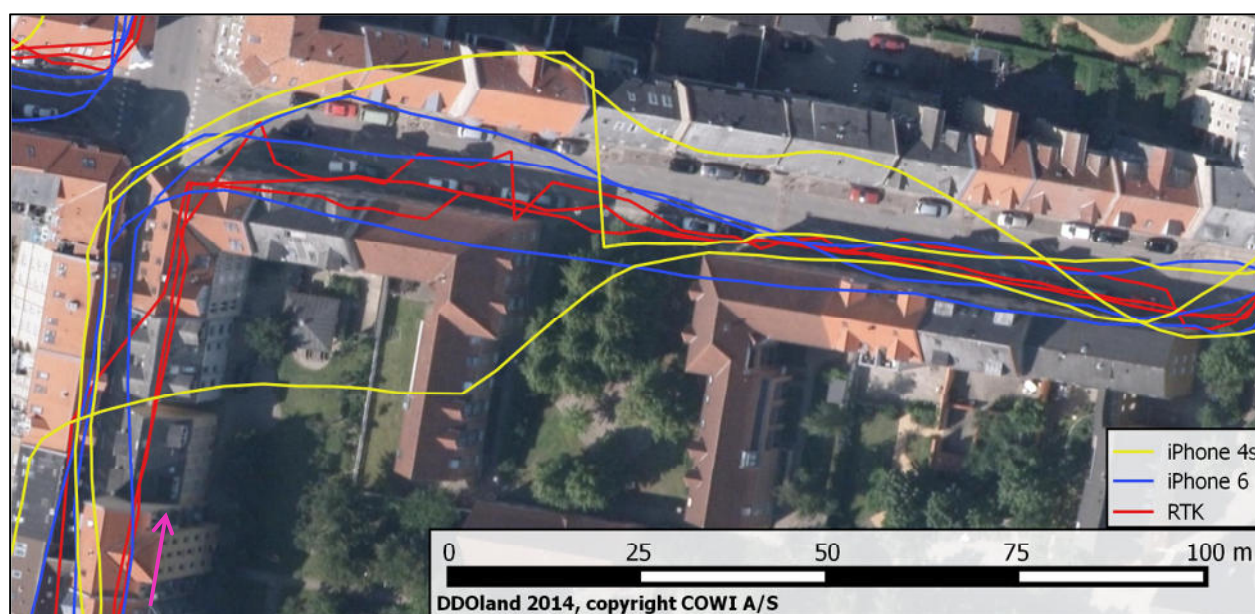
Nøjagtigheden i planet, der oplyses af *CLLocation* (jf. afsnit 6.2.2), bliver oplyst til at være enten 5m eller 10m med undtagelse af én GPS-position fra de tre gennemløb, hvor nøjagtigheden oplyses til at være 30m. På figur 6.10, er der vist alle de positioner, som er oplyst til at have en nøjagtighed på 10m eller dårligere. Her kan det ses at der er væsentligt flere GPS-positioner med en dårlig nøjagtighed for iPhone 4s, end for iPhone 6.



Figur 6.10: Plot af GPS-positioner med en oplyst nøjagtighed på 10m eller dårligere for hhv. iPhone 4s og iPhone 6.

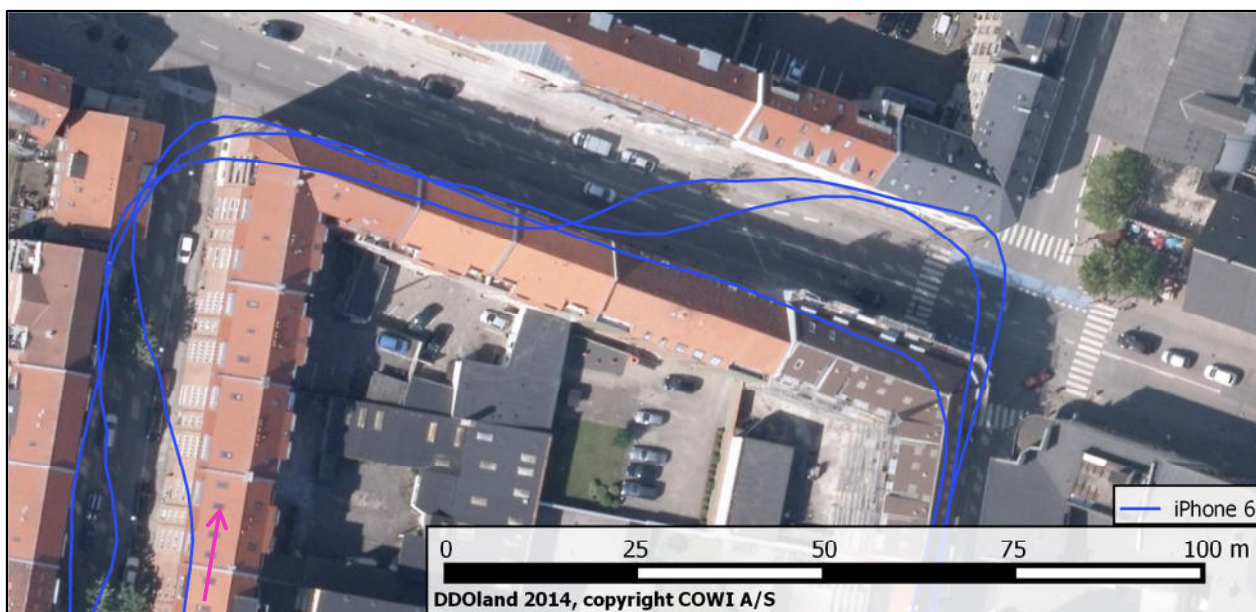
Selvom der er forskel på, hvorledes kroppen blokerer for en del af udsynet til GPS-satellitterne, alt efter om smartphonen er placeret på højre eller venstre arm, er der langt flere punkter der er markeret med dårligt signal for iPhone 4s. Dette er både gældende når der er løbet i nordlig og sydlig retning samt i østlig og vestlig retning.

Ses der på et udsnit af den gennemløbne rute på figur 6.11, kan det ses, at nøjagtigheden på positionerne jævnfør RTK-modtageren flere steder varierer relativt meget. På vejen der løber nord/syd er flere af RTK-positionerne på det "forkerte" fortov sammen med flere af positionerne fra de to iPhones. Ses der på vejen der løber øst/vest, er der ligeledes flere meget skarpe knæk som følge af unøjagtig positionsbestemmelse på GPS-positionerne fra RTK-modtageren. Derimod er der langt færre skarpe knæk på GPS-positionerne fra iPhone 4s og iPhone 6. Dette mener projektgruppen kan ses som et udtryk for, at der sker en filtrering af GPS-positionerne i smartphonesene, da positionsbestemmelse med GPS herfra ellers må forventes at være væsentligt dårligere end med RTK.



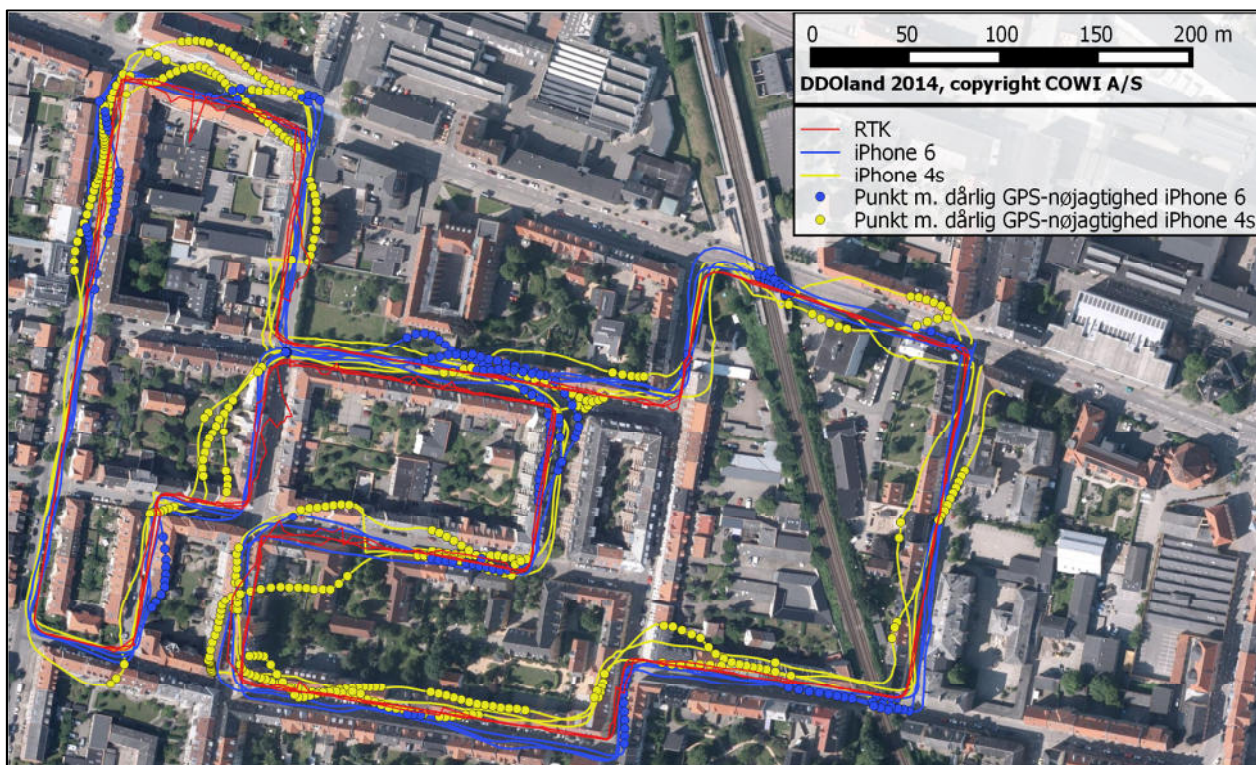
Figur 6.11: Udsnit af data fra RTK, iPhone 4s og iPhone 6 for tre gennemløb i område med dårlige GPS-forhold. Løberetningen er angivet med en pil i venstre hjørne.

Projektgruppen vurderer også at Apples software bruger andre sensorer end GPS-modtageren til at estimere en position. Dette kan dels ses i den statiske test, hvor iPhone 4s opgiver den præcis samme koordinat i højden og i planet over en periode på ca. 30 minutter, hvorimod der er et lille udsving i koten for iPhone 6, som stemmer overens med udsvingene fra barometeret. Dette tyder altså på, at andre sensorer også spiller ind på udregningen af positioner. Et andet eksempel herpå, kan ses på figur 6.12. Her ses de tre gennemløb for iPhone 6. Alle tre ture er løbet på fortovet, men på to af turene er der løbet i en bue ud på cykelstien for at løbe uden om andre fodgængere. Her vurderer projektgruppen at iPhone 6's sensorer har registreret et retningsskifte ud mod vejen, men ikke det blødere retningsskifte tilbage på fortovet. Dette medfører at iPhonens andre sensorer estimerer positionerne til at fortsætte i en lige linje helt over til den anden side af vejen, inden der stoles nok på GPS-positionerne til at positionen bliver rettet tilbage til den korrekte side af vejen, idet der drejes om et hjørne.



Figur 6.12: Eksempel hvor projektgruppen vurderer, at andre sensorer har indvirket på bestemmelse af positionen. Eksemplet er for iPhone 6. Løberetningen er angivet med en pil i nederste venstre hjørne.

Områder hvor der er store afvigelser på GPS-positionerne, er typisk i områder hvor det oplyses, at 2D-nøjagtigheden er 10m eller dårligere. Dette ses på figur 6.13, hvor der er plottet de GPS-positioner, der er angivet til at have en nøjagtighed på 10m eller dårligere. Derfor vurderes det, at den oplyste nøjagtighed kan anvendes som fingerpeg om den aktuelle nøjagtighed.



Figur 6.13: Oversigt over områder med dårlig GPS-nøjagtighed jf. Apples software. Områderne med GPS-positioner med dårlig nøjagtighed er også typisk de samme områder, som hvor GPS-positionerne afviger mest fra den sande rute.

Dette tyder på, at det, i forbindelse med den automatiske kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, vil være fornuftigt ikke at anvende GPS-positioner med en nøjagtighed på 10m eller dårligere.

6.3.3 Opsamling på test af GPS

I gennem tests af GPS-modtagerne i en iPhone 4s og iPhone 6, er der fundet flere indikationer på, at GPS-positionerne ikke er "rå" GPS-positioner, men derimod positioner som er estimeret vha. data fra flere sensorer og filtrering af positionerne. I den statiske test er det fundet at GPS-positionerne ikke forandres med mindre smartphonen er i bevægelse. Her anvendes altså andre sensorer til at afgøre om telefonen er stillestående eller i bevægelse. Ud fra figur 6.12 ser det ud til at andre sensorer også anvendes til at bestemme bevægelsesretningen, eventuelt ud fra en vægtning af hvor meget der stoles på GPS-positioner kontra data fra andre sensorer. Projektgruppen vurderer desuden, at der foretages en filtrering af data, hvor der laves en forudsigelse af, hvor næste position forventes at være. Dette kan ses ved, at der er en forsinket registrering af sving, både i områder med gode GPS-forhold og i områder med dårlige GPS-forhold, hvilket også bidrager til, at bratte retningsændringer bliver afrundede. I nogle af områderne med dårlige GPS-forhold giver GPS-positionerne fra RTK-modtageren en "savsakket linje" som følge af dårlig nøjagtighed på positionerne. I de samme områder danner GPS-positionerne fra smartphonene linjer, der er langt mere lige og generelt med meget blødere og mindre udsving.

6.4 Test af barometer

I dette afsnit udføres forskellige tests af barometeret i en iPhone 6 for at undersøge om, barometeret kan anvendes til at afgøre om løb eller gang foregår i fladt terræn. Først udføres en statisk test, hvor iPhonen har ligget stille under hele dataindsamlingsperioden. Den statiske test udføres for at undersøge, hvordan Apple udregner relative højder og for at få et indblik i, om de registrerede højder fra barometeret drifter over tid. Efter den statiske test udføres to forskellige dynamiske test, hvor der løbes med iPhonen fastspændt på den ene overarm. De to dynamiske tests foregår i hhv. fladt terræn og kuperet terræn for at undersøge, om barometeret kan anvendes til at bestemme, om terrænet er fladt eller kuperet.

6.4.1 Statisk test

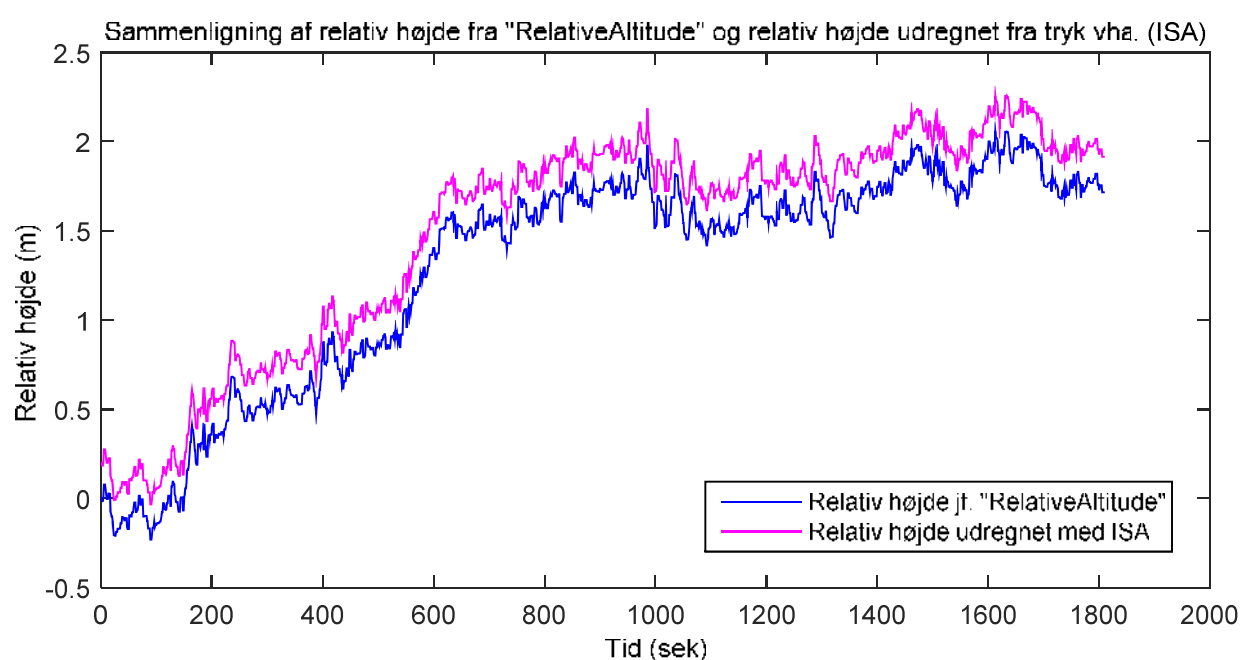
Det er muligt at beregne ændringen af højden ud fra det aflæste tryk sammen med andre observationer vedrørende atmosfæriske forhold, så som temperatur ved havoverfladen, tryk ved havoverfladen, luftdensiteten mv. Dette er oplysninger der kun kan anskaffes vha. eksterne kilder. Jævnfør kapitel 3.1, ønskes det at udvikle en app, der ikke benytter sig af eksterne kilder, og derfor vil det ikke være muligt at inddrage andre observationer end trykket. En løsning er at bruge standarder for de øvrige parametre, idet de er blevet standardiseret i "*1976 International Standard Atmosphere (ISA)*". De konstante værdier er fastsat for troposfæren og gælder fra havoverfladen og op til troposfærens øvre grænse. Højden kan derfor estimeres vha. følgende formel: (Shelquist, An Introduction to Air Density and Density Altitude Calculations, 2015):

$$H = 44,3308 - 4,94654 * P^{0,190263}$$

Hvor H er højden givet i km, og P er det målte tryk i pascal.

Da det kun er relative højder, der er interessante, er det ikke nærmere undersøgt, hvorledes koordinatsystemets nulpunkt er defineret.

For at undersøge om den relative højde, som bliver beregnet igennem Apples *CMAltitudeData*, er udregnet ud fra det aflæste tryk igennem den standardiserede *1976 International Standard Atmosphere (ISA)* formel, udføres først en test med data anvendt til den statiske GPS-test. Til testen anvendes det samme datasæt som i afsnit 6.3.1, hvor der sammenlignes relative højder over ca. 30 minutter. *CMAltitudeData* giver udelukkende relative højder, som har nulpunkt i den kote som iPhone 6 er placeret i ved dataindsamlingens start. Højder udregnet ud fra *ISA* formelen er derimod absolutte højder. Disse bliver derfor omregnet til at have et nulpunkt, som ligger forskudt med 0,2m i forhold til de relative højder jf. *CMAltitudeData* for at have det bedste sammenligningsgrundlag. Resultatet ses på figur 6.14 (se evt. MATLAB-filen på bilagsDVD mappe C-3 for stor størrelse). Her er det helt tydeligt, at det er den samme formel der anvendes. Projektgruppen ser derfor ingen fordel i selv at udregne relative højder i det videre projektførløb. Når der således i det videre projektførløb henvises til højder jævnfør barometer, er det derfor højder jævnfør *CMAltitudeData*.



Figur 6.14: Plot af relative højder fra hhv. *CMAltitudeData*s "RelativeAltitude" og udregnet fra *ISA* formelen fra (Shelquist, 2015, s. formel 12). Funktionen for højder udregnet med *ISA* er forskudt med 0,2m for at gøre det nemmere at sammenligne graferne.

Undersøges de relative højder nærmere, ses det, at de relative højdemålinger i løbet af hele dataindsamlingsperioden (ca. 30min) ligger i intervallet -0,2m – 2,1m. For at afgøre om der løbes i fladt terræn skal der imidlertid kun ses på de relative højder inden for en langt mindre tidsperiode. Inden for tidsperioder på ca. 200 sekunder varierer den relative højde maksimalt med ca. 0,8m. Inden for tidsperioder på ca. 20 sekunder varierer den relative højde maksimalt med 0,5m. Disse størrelser giver en idé om, hvilken maksimal afvigelse der kan forventes ved estimering af relative højder inden for bestemte tidsperioder. For at afgøre om der løbes i fladt terræn, vurderes at en maksimal afvigelse på mindre end én meter er acceptabel. På baggrund af dette vurderes at barometeret inden for korte tidsrum er velegnet til at afgøre, om løb eller gang foregår i fladt terræn. Resultatet kan dog muligvis se anderledes ud, hvis testen foretages på et andet tidspunkt, da højder bestemt ud fra barometeret afhænger af flere atmosfæriske forhold, som nævnt i starten af dette afsnit. Desuden er det ikke sikkert

at der opnås samme resultat, hvis barometeret testes, mens det er i bevægelse. Derfor foretages i det følgende yderligere tests af barometeret, mens det er i bevægelse.

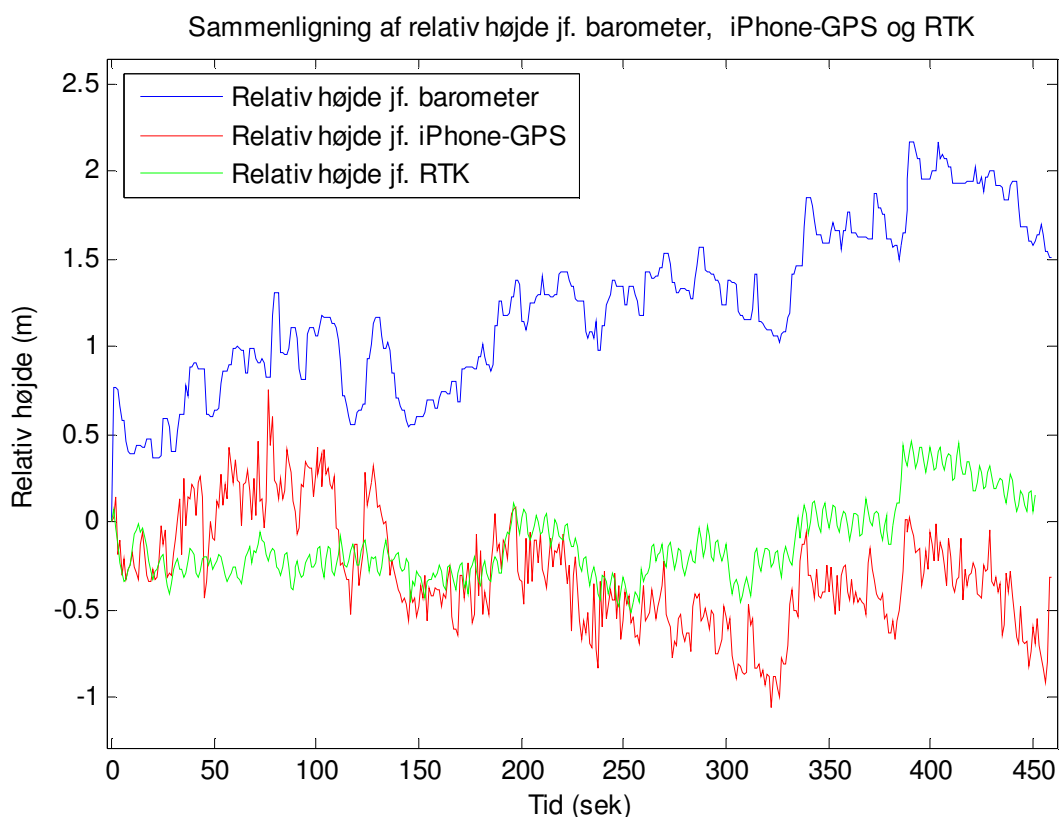
6.4.2 Dynamisk test

I dette afsnit foretages to dynamiske tests af barometeret i hhv. fladt terræn og kuperet terræn. Begge tests foretages i områder med gunstige GPS-forhold, således de relative højder kan sammenholdes med nøjagtige RTK-målinger. De dynamiske tests foretages i løb for at undersøge barometeret under de samme forhold, som barometeret ønskes at anvendes under.

Test i fladt terræn

Til at undersøge barometeret mens det er i bevægelse, genbruges dataene indsamlet til test af GPS-modtageren i et område med gode GPS-forhold, se evt. figur 6.5. Testen foretages for at undersøge, om barometeret kan holde en nøjagtighed, der kan anvendes til at fastslå, om løb eller gang foregår i fladt terræn. Området er relativt fladt, og de præcise højdeændringer er desuden registreret med RTK.

Figur 6.15 viser et plot af dataene fra ét af de tre gennemløb i området. I løbet af de første få sekunder registreres en relativt markant højdeændring med barometeret. Dette har vist sig at være en generel tendens ved en række af de indsamlede datasæt. Hvis der ses bort fra de første få sekunder, varierer de relative højder maksimalt med ca. 0,6m inden for tidsperioder på 20 sekunder og ca. 1,0m inden for tidsperioder på 200 sekunder. Resultatet stemmer således godt overens med det resultat, der blev opnået ved den statiske test.



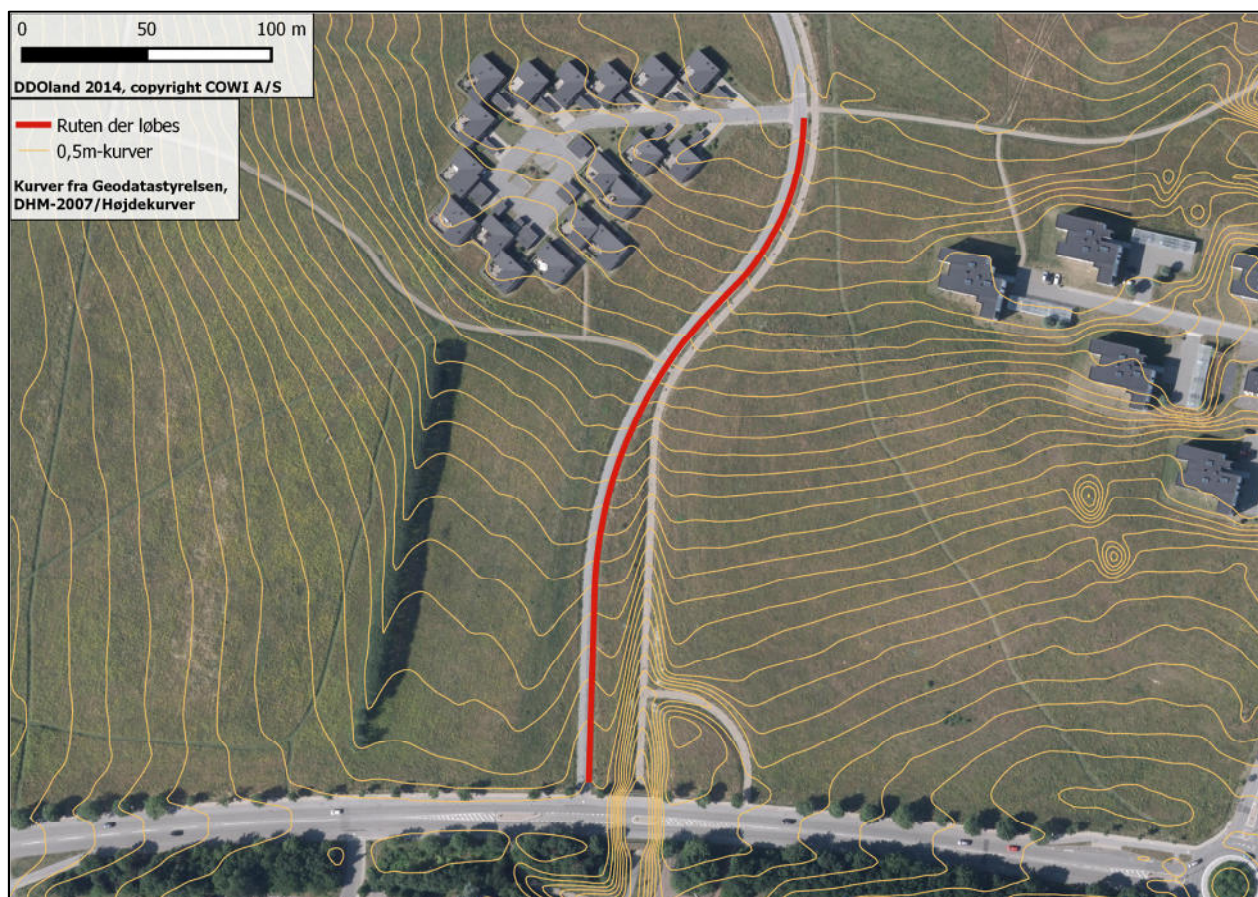
Figur 6.15: Plot af relative højder jævnfør barometer, GPS i iPhone 6 og RTK i fladt terræn.

Sammenlignes de relative højder jf. GPS-modtageren i iPhone 6 med de relative højder jf. barometeret, ses det, at højderne fra GPS-modtageren varierer mere inden for korte tidsperioder. Projektgruppen er interesseret i den relative højde inden for korte tidsperioder, og projektgruppen mener derfor, at barometeret er velegnet til at afgøre, om der løbes i fladt terræn. Samtidig er barometeret mere robust end GPS, da barometeret ikke er afhængig af udefrakommende signaler. Derfor vurderes det, at barometeret er bedre egnet til at afgøre om terrænet er fladt end GPS-modtageren. Tendenserne fra plottet går igen ved de to øvrige gennemløb. Plots fra samtlige gennemløb ses i bilagsDVD mappe C-4.

Test i kuperet terræn

Udover testen i det flade terræn, udføres der en test med løb i kuperet terræn. Denne test udføres for at undersøge, hvorledes de relative højder registreres ved løb op ad bakke og løb ned ad bakke.

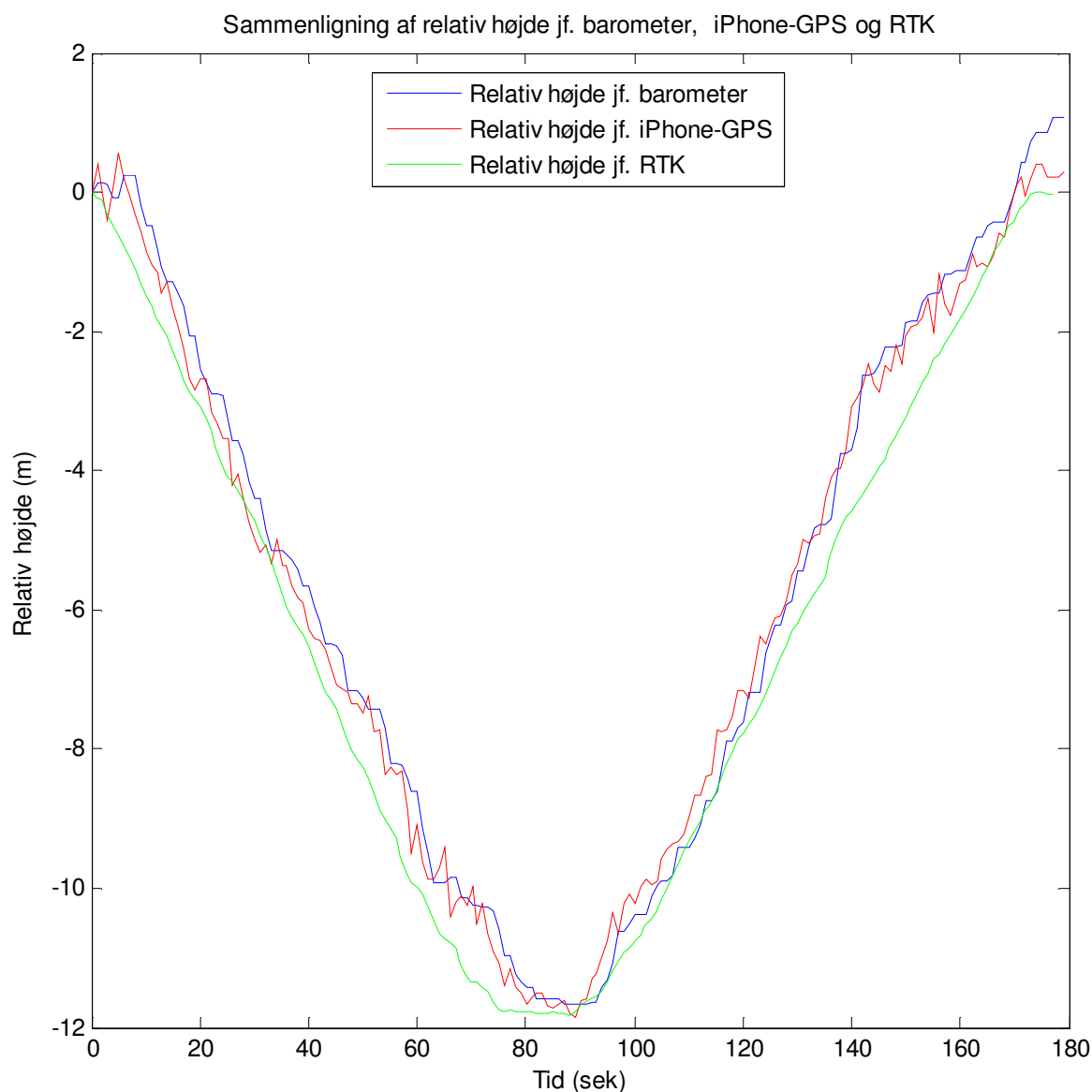
Forsøget udføres ved at sammenholde relative højder jf. barometeret i iPhone 6 med relative højder jf. RTK. Smartphone og RTK placeres som ved tests af GPS-modtager, se evt. figur 6.3. Forsøget udføres i den sydvestlige del af Aalborg i et meget åbent område, hvor der er en markant bakke, der stiger fra syd mod nord. Testområdet ses på figur 6.16.



Figur 6.16: Kort med ruten der løbes ved test af barometer i kuperet terræn. Terrænet stiger fra syd mod nord.

Der startes på toppen af bakken og løbes nedad mod syd. Ved foden af bakken holdes en pause på nogle få sekunder, inden der vendes om og løbes op ad bakken til startpositionen. Denne procedure gentages 5 gange, således der fås 5 datasæt.

Figur 6.17 viser et plot af dataene fra ét af de 5 gennemløb. Der er valgt at vise det gennemløb, hvor der ses de største afvigelser mellem højder jf. RTK og højder jf. barometer. Generelt ses dog de samme tendenser ved plots af de øvrige gennemløb, som er at finde på bilagsDVD mappe C-4. Det ses at der ikke er så markante "spikes" i højderne jf. barometeret, som det er tilfældet med højderne jf. GPS'en i iPhone'en. De relative højder jf. barometeret afviger maksimalt med ca. 1,0m inden for tidsperioder på 20 sekunder. Ses der over hele dataindsamlingsperioden (180 sekunder), afviger barometer-højderne maksimalt med ca. 1,5m i forhold til RTK-højderne. Dette er en anelse større afvigelser end ved den statiske test og ved testen i fladt terræn. Barometeret er dog fint i stand til at registrere højdeændringer både ved en stigning og et fald, og det vurderes derfor, at barometeret er anvendeligt til at afgøre, om der løbes i kuperet terræn.



Figur 6.17: Plot af relative højder jf. barometer, GPS i iPhone 6 og RTK i kuperet terræn.

6.4.3 Opsamling på test af barometer

I fladt terræn afviger de relative højder maksimalt med ca. 0,6m inden for tidsperioder på 20 sekunder og ca. 1,0m inden for tidsperioder på 200 sekunder. I kuperet terræn afviger de relative højder maksimalt med ca. 1,0m inden for tidsperioder på 20 sekunder og ca. 1,5m inden for tidsperioder på 180 sekunder. På baggrund af disse resultater vurderes det, at barometeret er anvendeligt til at afgøre, om der løbes i fladt eller kuperet terræn.

6.5 Opsamling

Dette afsnit har til formål at give et overblik over sensorerne i iPhone 4s og iPhone 6. Afsnittet beskriver, hvilke specifikationer der er fundet om accelerometrene, GPS-modtagerne og barometeret og opsummerer resultaterne af testene af GPS-modtagerne og barometeret.

6.5.1 Accelerometer

Accelerometeret anvendes til at registrere antallet af skridt og dermed skridtfrekvensen vha. skridttællingsalgoritmen.

Accelerometrene i iPhone 4s og i iPhone 6 måler accelerationer langs hhv. x-, y-, og z-aksen. I iPhone 4s er det muligt at registrere accelerationer imellem $\pm 2g$ og i iPhone 6 imellem $\pm 8g$. De målte accelerationer med et hertil hørende tidsstempel kan gemmes i en CSV-fil igennem appen SensorLog. Det er muligt at indsamle og gemme registrerede accelerationer med op til 100Hz, hvilket er valgt i projektet. Til hver måling er der desuden tilknyttet et tidsstempel, der angiver hvornår hver måling er foretaget.

Målinger med accelerometeret er behæftet med flere tilfældige og systematiske fejl. Igennem det tidligere projekt (Mogensen, 2015, s. 21) er det vurderet, at disse fejl ikke giver problemer for skridttællingsalgoritmen.

6.5.2 GPS-modtager

GPS-modtageren ønskes anvendt til at bestemme afstande til en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

GPS-positioner kan gemmes i en CSV-fil med et hertil hørende tidsstempel igennem appen SensorLog. Igennem tests er det fundet, at der bliver registreret en GPS-position for ca. hvert sekund. 2D-positioner bliver registreret i WGS 84-koordinater, og projektgruppen antager at højder bliver angivet i forhold til geoidmodellen EGM2008.

Til hver GPS-position oplyses bl.a. et tidsstempel og "*HorizontalAccuracy*" samt "*VerticalAccuracy*". Igennem samtlige tests af GPS-modtagerne er den horisontale nøjagtighed altid blevet opgivet til enten 5 eller 10m, med én undtagelse hvor nøjagtigheden blev opgivet til 30m. Under den dynamiske test af GPS-modtageren er det fundet, at de områder hvor der er relativt store afvigelser imellem de registrerede GPS-positioner og den korrekte rute, typisk er områder hvor GPS-positionens oplyste 2D-nøjagtighed er på 10m eller derover. Projektgruppen mener derfor, at disse positioner er uegnede til beregning af distancer, som kan anvendes i en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

Projektgruppen er af den overbevisning at Apple anvender andre sensorer til at estimere en GPS-position, og at der samtidig foretages en filtrering af GPS-positionerne. Anvendelsen af andre sensorer til at bestemme GPS-koordinater ses bl.a. i den statiske test. Her er 2D-koordinaterne for GPS-positionerne

identisk igennem hele forsøget. Dette mener projektgruppen kan skyldes, at der anvendes accelerometer og/eller gyrometer til at bestemme, at iPhoneen ikke bevæger sig og derfor genbruger den samme GPS-position igennem hele det statiske forsøg. Desuden er det fundet, at der er en sammenhæng imellem de beregnede relative højder jævnfør barometeret og højder jævnfør GPS-modtageren i iPhone 6, som havde en lille spredning på 0,625m igennem den statiske test. iPhone 4s har ikke et barometer, og højdekoordinaten for iPhone 4s var identisk igennem hele forsøget.

Igennem en visuel sammenligning af GPS-positioner fra iPhone 4s og iPhone 6 samt GPS-positioner fra en RTK-modtager, mener projektgruppen, at der foretages en filtrering af GPS-positionerne. Der er fundet en tendens til, at GPS-positioner fra de to smartphones fortsætter i en ret linje efter RTK-modtageren registrerer et sving. Dette mener projektgruppen skyldes, at Apples software laver en forudsigelse af den næste GPS-position, baseret på de forudgående positioner, hvilket medfører en forsinket registrering af retningsskift med de to iPhones. Filtringen af GPS-positionerne ses også i områder med dårlige GPS-forhold. Her er der mange skarpe "knæk" på GPS-positionerne fra RTK-modtageren, hvorimod knækkene er langt færre og blødere jævnfør GPS-positionerne fra iPhone 4s og iPhone 6.

Ved den dynamiske test er det fundet, at iPhone 4s har væsentligt større udsving fra den korrekte rute end iPhone 6. Dette gør sig både gældende i områder med gode og dårlige GPS-forhold. Projektgruppen mener, der kan være flere årsager til, at iPhone 6 opnår bedre resultater. Det kan skyldes en bedre GPS-modtager, der foretages en bedre filtrering af data, eller at der inddrages andre/bedre sensorer til at hjælpe med at bestemme en GPS-position.

6.5.3 Barometer

I afsnit 3.1 beskrives det, at der ønskes at fokusere på fladt terræn. Til at afgøre om løb eller gang foregår i fladt terræn, ønskes barometeret anvendt. Det skal bemærkes, at det kun er iPhone 6, som har et indbygget barometer.

For at undersøge om barometeret er i stand til at identificere, om et område er fladt eller ej, er der foretaget en række tests. Først er det igennem en statisk test fundet, at de direkte udlæste relative højder fra Apples software *CMAAltitudeData*, er beregnet efter de standardiserede værdier fra "1976 International Standard Atmosphere (ISA)". Når der i det videre projektforsøg henvises til højder beregnet vha. barometer, henvises der således til de relative højder beregnet igennem *CMAAltitudeData*.

Projektgruppen har besluttet, at terræn der har en maksimal ændring i højden på 1m, inden for en tidsperiode på 200s, kan betragtes som fladt terræn. Det er testet om barometeret kan anvendes til at registrere højdeændringer på under én meter igennem tre tests: En statisk test, en dynamisk test i fladt terræn og en dynamisk test i kuperet terræn. I den statiske test varierer den relative højde med maksimalt 0,8m over en periode på ca. 200 sekunder og maksimalt 0,5m over en periode på ca. 20 sekunder. Den dynamiske test foretaget under løb gav et lignende resultat. Her er forskellen imellem de relative højder jævnfør barometer og jævnfør RTK-modtageren på maksimalt 1,0m over en periode på ca. 200 sekunder og maksimalt 0,6m over en periode på ca. 20 sekunder ved fladt terræn. Ved kuperet terræn er de relative forskelle i højden imellem GPS- og RTK-modtageren på maksimalt 1,5m for en tidsperiode på 180 sekunder og 1,0m over 20 sekunder.

Projektgruppen er kun interesseret i de relative højder indenfor korte tidsperioder. Det vurderes derfor at barometeret, over kortere tidsperioder, kan anvendes til at afgøre, om der løbes i et fladt terræn. Projektgruppen understreger, at det er muligt, at resultatet vil se anderledes ud, hvis de samme tests

foretages på andre tidspunkter, da relative højder jævnfør barometeret er afhængig af atmosfæriske forhold.

7 Metode til automatisk kalibrering

I kapitel 1 er det beskrevet, hvorledes der i (Mogensen, 2015) er udviklet en algoritme, der er i stand til at bestemme antal skridt, skridtfrekvens, skridtlængde, distance og fart. I kapitel 5 er det, igennem test på løbebånd, fundet, at skridtlængden kan beskrives som en lineær funktion af skridtfrekvensen. For at algoritmen fra det tidligere projekt kan estimere skridtlængde, distance og fart kræves først en manuel kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Den manuelle kalibrering kræver, at en kendt distance tilbagelægges i mindst to⁵ forskellige tempi, og at tiden samt antallet af skridt i hvert tempo er kendt. På baggrund af disse data kan der foretages en manuel kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

I dette kapitel undersøges, hvorledes det er muligt at erstatte den manuelle kalibrering med en automatisk kalibrering. Først beskrives, hvorledes det principielt er muligt at foretage en automatisk kalibrering, og der undersøges en eksisterende metode til automatisk kalibrering. Herefter diskuteres den eksisterende metode. På baggrund af diskussionen af den eksisterende metode, præsenteres der andre metoder, som projektgruppen mener potentielt vil give et bedre resultat.

7.1 Princippet for automatisk kalibrering af algoritmen

En automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen kan principielt foretages, hvis mindst to sæt data med de følgende tre parametre kendes:

1. Distance
2. Antal skridt over den kendte distance
3. Tiden det har taget at tilbagelægge den kendte distance.

To af de tre parametre til en automatisk kalibrering kan allerede bestemmes vha. algoritmen udviklet i det tidligere projekt, da algoritmen er i stand til automatisk at beregne tiden og antallet af skridt. Principielt er der således "kun" behov for en metode, der automatisk kan bestemme en distance, for at der kan udføres en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

Til at estimere distancer ønsker projektgruppen at anvende smartphonens GPS-modtager jf. kapitel 3. Ved hjælp af algoritmen udviklet i det tidligere projekt og distancer estimeret ud fra GPS-positioner, er det principielt muligt at estimere de tre parametre til automatisk at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Dette kan gøres ved at:

1. estimere en distance ud fra afstanden imellem GPS-positioner
2. bestemme antal skridt over den estimerede distance vha. algoritmen fra det tidligere projekt
3. bestemme tidsforskellen imellem den første og sidste GPS-position til den estimerede distance.

Når disse tre parametre er kendt, kan skridtlængden estimeres ud fra distancen divideret med antal skridt, og skridtfrekvensen kan estimeres ud fra antal skridt divideret med tiden jf. formlerne i afsnit 1.1. Når der er indsamlet mindst to sæt data med de tre parametre, er det muligt at udføre en automatisk kalibrering ved at estimere en funktion, der beskriver sammenhængen mellem skridtlængden og skridtfrekvensen.

⁵ Testen skal udføres i to tempi, da det kræver mindst to punkter at estimere en ret linje.

Unøjagtige distancer estimeret ud fra GPS-positioner forventes at have stor indflydelse på kalibreringen af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, da en unøjagtig estimeret distance vil resultere i en unøjagtig estimeret skridtlængde. Det skal derfor overvejes, hvilke GPS-positioner der anvendes til at beregne distancer, som den automatiske kalibrering kan baseres på. For at få et indblik i problemstillingerne i forbindelse med at estimere distancer til den automatiske kalibrering af algoritmen, undersøges der i det følgende afsnit, hvorledes et eksisterende produkt er blevet udviklet til at foretage en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen ved gang.

7.2 Eksisterende metode til automatisk kalibrering

I det følgende undersøges det, igennem et litteraturstudie af programmet AutoGait beskrevet i (Cho, Mun, Lee, Kaiser, & Gerla, 2010), hvorledes en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen kan udføres vha. GPS. AutoGait er et produkt udviklet til automatisk kalibrering af en skridttæller, der også kan udregne tilbagelagte distancer.

Udviklerne af AutoGait tager udgangspunkt i litteratur der påviser, at der ved gang er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens, hvor skridtlængden stiger i takt med at skridtfrekvensen øges. AutoGait består af et pedometer⁶ og GPS fra en mobiltelefon, hvilket anvendes til automatisk at lave en profil af brugerens gangmønster. Dette gøres ved at estimere den lineære sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens, som det skulle være muligt at estimere for alle personer, uanset kropsbygning og alder. Hvis kalibreringen af skridtlængden bliver udført manuelt vha. én kendt distance og antal skridt, vil kalibreringen af pedometeret kun udregne den korrekte distance, hvis der efterfølgende benyttes det samme gangmønster. Der vil således ikke blive taget hensyn til varierende gangmønstre, hvor skridtlængden varierer. AutoGait udregner derfor en skridtlængde som funktion af skridtfrekvensen for at tage hensyn til et varierende gangmønster. Dette gøres vha. GPS-positioner, der anvendes til at estimere tilbagelagt distance. Under en udendørs gåtur vil der således blive registeret GPS-positioner vha. smartphonens GPS-modtager. Disse positioner bliver delt op i forskellige linjestykker, eller "segmenter", ud fra nogle nærmere beskrevne parametre. Til hvert segment beregnes en gennemsnitlig skridtfrekvens og gennemsnitlig skridtlængde. Ved at indsamle flere segmenter er det muligt, gennem lineær regression, at beskrive skridtlængden som en lineær funktion af skridtfrekvensen. Den estimerede funktion, der estimerer skridtlængden ud fra skridtfrekvensen, kan herefter anvendes til at estimere distance og fart på steder, hvor der ikke er GPS-signal, eller når GPS'en slukkes for at spare strøm.

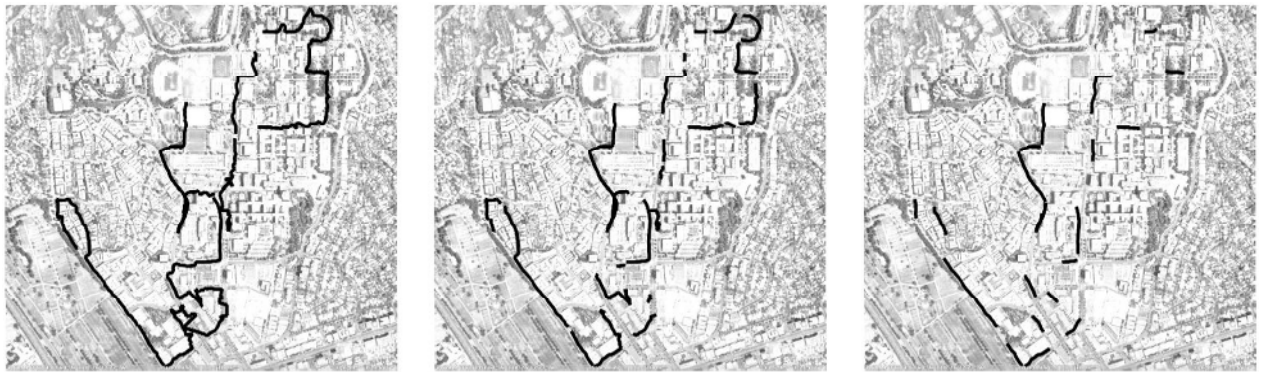
AutoGait opnår gode estimater af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, selvom der anvendes en billig GPS i en smartphone, som beskrives til at have en nøjagtighed på fem til ti meter. Fejlraten (afvigelse i procent i forhold til den sande distance) på den estimerede længde af et segment kan i nogle tilfælde være større end 100%, hvis der anvendes få GPS-positioner. Derfor anvendes der i AutoGait udelukkende segmenter med mere end 10 GPS-positioner. Dermed får usikkerheden på GPS-positionerne mindre indflydelse. For at reducere fejlbidraget fra GPS-positionerne behandler AutoGait dataene igennem følgende tre trin:

1. Opdeling af GPS-positioner i segmenter
2. Udglatning af GPS-positioner
3. Identifikation af segmenter der kan anses for at være rette linjer

⁶ En skridttæller der er i stand til både at tælle skridt og bestemme den tilbagelagte distance.

1. Først foretages segmenteringen. Her laves en "grovfejlsøgning", hvor det undersøges, om brugeren står stille, om der igennem segmentet er foretaget urealistiske bevægelser som følge af unøjagtige GPS-positioner, og om længden af segmentet er for kort til at få et fornuftigt resultat grundet størrelsen på fejlbidraget fra GPS-positionerne.
2. Herefter udglattes GPS-positionerne i hvert enkelt segment. Udglatningen sker vha. metoden *convolution*.
3. Udglatning af GPS-positioner bidrager til, at ellers skarpe hjørner bliver afrundet. Derfor ledes der til sidst efter lige segmenter, så fejl fra afrundede hjørner ikke får indflydelse på den udregnede distance. Samtidig kan der også frasorteres punkter, der er vedhæftet fejl, som ikke er blevet rettet igennem udglatningen. Disse fejl ville ellers kunne have resulteret i en væsentligt længere udregnet distance end den sande distance.

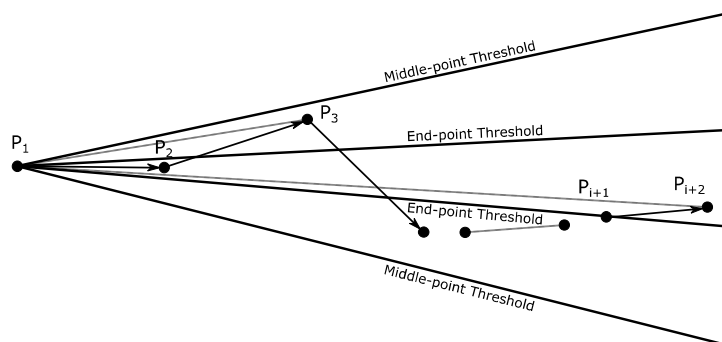
En illustration af hvorledes de tre trin virker i AutoGait, kan ses på figur 7.1.



Figur 7.1: På de tre billeder ses, hvorledes AutoGait udfører de tre trin til at identificere segmenter. På det første billede ses de rå GPS-positioner. På det andet billede ses resultatet af udglatningen og opdelingen i segmenter (trin 1 og 2). På det tredje billede ses de segmenter, som er fundet til at være rette linjer (trin 3). Billede fra (Cho, Mun, Lee, Kaiser, & Gerla, 2010)

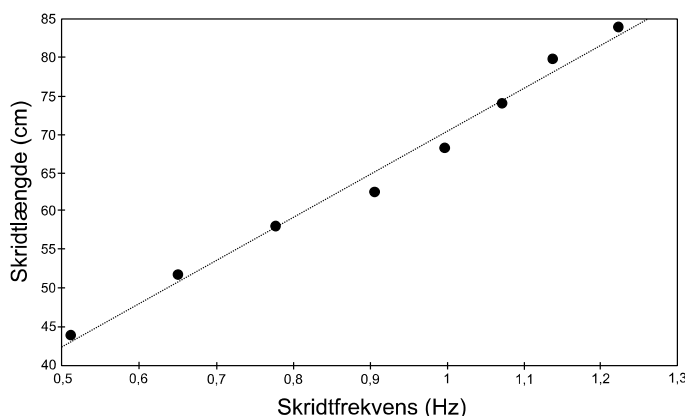
For at finde lige segmenter undersøger AutoGait retningsændringer igennem segmentet. Først fastlægges en udgangsretning bestemt ud fra retningen mellem segmentets første to GPS-positioner, P_1 og P_2 (se figur 7.2). Dernæst beregnes vinklen mellem vektoren $\overline{P_1P_3}$ og udgangsretningen ($\overline{P_1P_2}$). Er vinklen under en fastsat grænse (*Middle-point Threshold*, se figur 7.2), fortsættes med at beregne vinklen mellem vektoren $\overline{P_1P_4}$ og udgangsretningen. Er denne vinkel ligeledes under *Middle-point Threshold*, fortsættes til næste position. Dette fortsættes med de efterfølgende positioner.

Algoritmen søger efter det størst mulige antal GPS-positioner, således at vinklen mellem $\overline{P_1P_{i+2}}$ og udgangsretningen er mindre end en fastsat grænse kaldt *End-point Threshold* (se figur 7.2), samt at vinklen mellem udgangsretningen og vektoren $\overline{P_1P_i}$ for alle punkter er mindre end *Middle-point Threshold*. Hvis mindst 10 GPS-positioner opfylder ovenstående kriterier, anses punkterne for at kunne beskrive en ret linje, og linjestykket gemmes derfor som et segment. *Middle-point Threshold* og *End-point Threshold* er i AutoGait på hhv. 35° og 10° .



Figur 7.2: Identifikation af segmenter der kan anses for at være rette linjer. Vinklen for *Middle-point* og *End-point Threshold* er udregnet ud fra udgangsretningen $\overline{P_1P_2}$. Figur tegnet efter (Cho, Mun, Lee, Kaiser, & Gerla, 2010, s. 119)

Til hvert enkelt segment beregnes den gennemsnitlige skridtfrekvens og skridtlængde, der tilsammen beskriver et datapunkt (skridtfrekvens, skridtlængde). Hvis der indsamles datapunkter fra flere segmenter, er det muligt, vha. lineær regression, at estimere den bedste rette linje gennem alle datapunkterne. Den estimerede lineære funktion beskriver skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, som vist på figur 7.3.



Figur 7.3: Viser et eksempel på en estimeret lineær funktion til at beskrive skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen vha. datapunkter. Tegnet efter (Cho, Mun, Lee, Kaiser, & Gerla, 2010, s. 121)

AutoGait er blevet testet på en udendørsbane. Her blev det fundet, at den mest nøjagtige bestemmelse af længden er opnået vha. segmentering, udglatning og anvendelse af lige segmenter. Resultatet var langt bedre end ved anvendelse af pedometre, hvor skridtlængden bliver manuelt kalibreret. Med AutoGait er der opnået bedre resultater end med andre undersøgte automatiske kalibreringer. Der er opnået bedre resultater end ved en automatisk kalibrering som anvender rå GPS-positioner, og der er opnået bedre resultater end ved anvendelse af automatisk kalibrering, der anvender udglattede GPS-positioner, men ikke tager hensyn til, om det er lige segmenter, der anvendes.

Det opnåede resultat, ved anvendelse af AutoGait på banetesten, gav en afvigelse på under 1,5% i forhold til den sande distance. Udviklerne af AutoGait vil gerne undersøge om programmet kan anvendes til løb. De påpeger, at der er en anden fysiologisk model end ved gang, og der skal derfor skelnes imellem, om der registreres gang eller løb. (Cho, Mun, Lee, Kaiser, & Gerla, 2010)

Artiklen om AutoGait af (Cho, Mun, Lee, Kaiser, & Gerla, 2010) findes på bilagsDVD D-1.

7.3 Diskussion af metode

Projektgruppen mener at programmet AutoGait som udgangspunkt anvender en fornuftig metode til at udføre en automatisk kalibrering. Dette understøttes også af AutoGaits testresultater, der giver en afvigelse på ned til 1,5% imellem en udregnet og sand distance. I det følgende vil projektgruppen diskutere de tre trin som AutoGait anvender til at afgøre, hvilke GPS-positioner der anvendes til kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. I forbindelse hermed diskuteres også beregningen af datapunkter.

Trin 1: Opdeling af GPS-positioner i segmenter

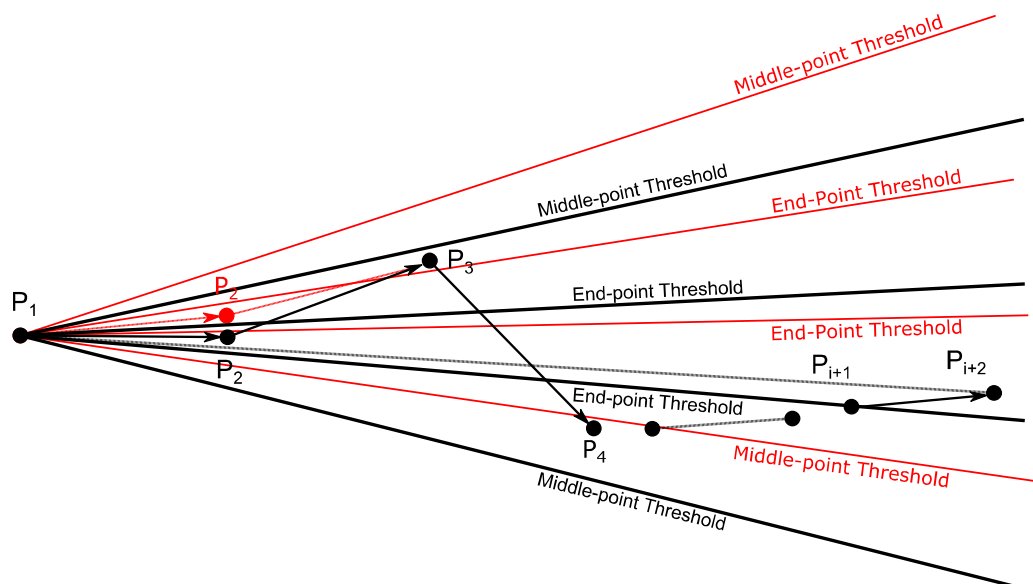
AutoGait opdeler først data i segmenter ved, at undersøge om brugeren (ifølge GPS-positionerne) står stille eller foretager urealistiske bevægelser, som skyldes unøjagtige GPS-positioner. Sådanne GPS-positioner frasorteres og anvendes således ikke til den automatiske kalibrering. Projektgruppen mener det er fornuftigt at foretage dette trin, da der ikke bør arbejdes videre med unøjagtigt data. Derfor ønsker projektgruppen at implementere dette i algoritmen i dette projekt. Frasorteringen af unøjagtige GPS-positioner kan udføres ved at frasortere positioner, hvor den horisontale nøjagtighed er på 10m eller derover, jf. afsnit 6.5.2. Til at undersøge om brugeren står stille, går eller løber, ønsker projektgruppen at anvende skridtfrekvensen fra skridttællingsalgoritmen. Udover at undersøge om brugeren står stille eller bevæger sig urealistisk, bør projektgruppens algoritme også undersøge om brugeren løber i et fladt terræn, jf. kapitel 3, da løb i kuperet terræn jævnfør afsnit 5.2 giver en anden løbestil, og hermed også grundlag for forkert kalibreringsdata. Til dette formål er det muligt at anvende iPhone 6's barometer for at opnå en bedre nøjagtighed på højdeændringer.

Trin 2: Udglatning af GPS-positioner

AutoGait udglatter GPS-positioner ud fra de omkringliggende GPS-positioner vha. *convolution*. GPS-positioner fra GPS-modtageren i iPhone 4s og iPhone 6, er allerede filtreret automatisk, som det ses i afsnit 6.3. Derfor vurderer projektgruppen, at der som udgangspunkt ikke er behov for yderligere filtrering af GPS-positionerne. Hvis det viser sig, at der er behov for yderligere filtrering af data, bør der anvendes en filtreringsmetode, der kan fungere i realtid, og som kan fungere, selvom det fulde datasæt endnu ikke er til rådighed. Samtidig må filtreringsmetoden ikke være for beregningskrævende. Et eksempel på en sådan filtreringsmetode kunne være *moving average*.

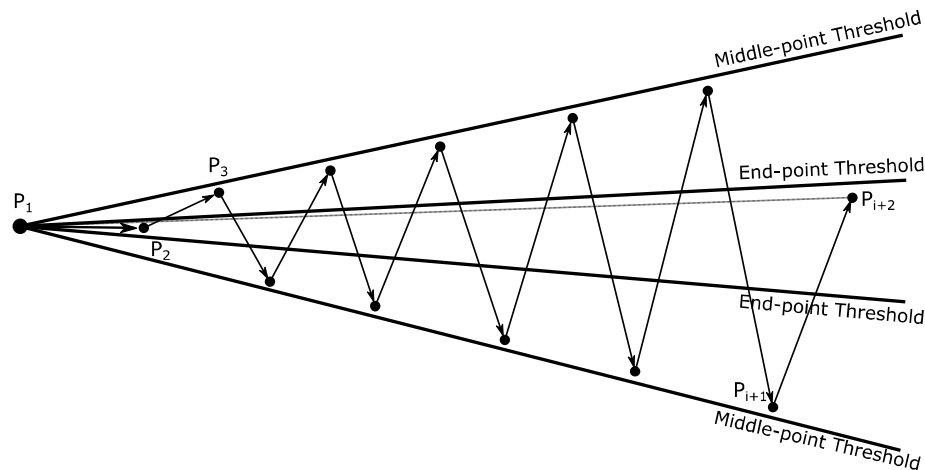
Trin 3: Identifikation af segmenter der kan anses for at være rette linjer

AutoGait leder efter segmenter med rette linjer, da deres filtreringsmetode resulterer i, at ellers skarpe hjørner bliver afrundet, og de ønsker derfor ikke at benytte disse data i den videre kalibrering. Projektgruppen ønsker ligeledes at bruge lige segmenter af to årsager. For det første ved projektgruppen ikke, hvilken filtrering Apple foretager af GPS-positionerne, men filtreringen ser ud til at afrunde hjørner. For det andet tilstræbes det at finde segmenter, der er lige, da det vurderes at give en ensartet løbestil igennem hele segmentet, hvilket forventes at give de mest retvisende data til at beskrive skridtlængden som en funktion af skridtfrekvensen. Ligeledes forventes det, at en række unøjagtige GPS-positioner ikke vil komme til at indgå i segmenter, hvis der søges efter rette linjer. Projektgruppen mener, at AutoGait ikke nødvendigvis anvender den bedste metode til at lede efter segmenter, der kan betragtes som rette linjer, da AutoGait tager udgangspunkt i vinkler. Projektgruppen ser som udgangspunktet to problemstillinger i forhold til identifikation af lige segmenter i AutoGait. Til at identificere segmenter med rette linjer bruger AutoGait to nabopunkter til fastlæggelse af en udgangsretning. En lille forskydning i retningen imellem disse punkter vil derfor have stor indflydelse på, om efterfølgende punkter bliver vurderet til at danne en ret linje, som giver et segment, se figur 7.4.



Figur 7.4: Illustration af hvordan en lille ændring i placeringen af P_2 har indflydelse på om de resterende punkter ligger inden for grænserne, der gør at punkterne kan betragtes som liggende på en ret linje. Det ændrede punkt P_2 er markeret med rød, og grænseværdierne hertil er ligeledes tegnet med rød.

Samtidig ses der i AutoGaits metode på, om punkter ligger indenfor en grænse, der er givet ud fra en vinkel. Det betyder at punkter, der ligger langt fra et potentielt segments begyndelse, vil kunne svinge meget og samtidig blive betragtet som liggende på en ret linje, hvorimod de samme punkter ikke vil blive betragtet som liggende på en ret linje, hvis de er placeret tættere på begyndelsen af segmentet, se figur 7.5.



Figur 7.5: Illustration af hvorledes punkter kan svinge mere og mere og stadig blive betragtet som en ret linje, i takt med at afstanden til segmentets start vokser.

Et alternativ kunne derfor være en segmenteringsmetode, der anvender en fast maksimal afstand fra en GPS-position til en estimeret ret linje til at afgøre, om der er tale om et lige segment. Ligeledes bør det overvejes, om der findes et alternativ til at benytte to nabopunkter til at give udgangsretningen for et segment.

Beregning af datapunkter og estimering af bedste rette linje gennem datapunkterne

I AutoGait består et datapunkt af et segments gennemsnitlige skridtfrekvens og gennemsnitlige skridtlængde. Ud fra dette beregnes der, vha. mindste kvadraters princip, en bedste ret linje, som anvendes til den automatiske kalibrering. Projektgruppen mener, at dette generelt er en fornuftig fremgangsmåde for en automatisk kalibrering. Anvendelsen af en gennemsnitlig skridtlængde og skridtfrekvens er dog kun fornuftig, hvis det igennem trin 1-3 er muligt at frasortere store udsving på skridtfrekvensen, som kan påvirke den udregnede gennemsnitlige skridtfrekvens.

Projektgruppen mener det vil være fornuftigt, at vægte datapunkter i forhold til segmentlængden, så datapunkter fra lange segmenter får en stor vægt i forhold til datapunkter fra korte segmenter. Yderligere kan det overvejes, om datapunkternes alder også skal indgå som en del af vægtningen.

Projektgruppen mener at mindste kvadraters princip, vil være en fornuftig estimeringsmetode, men det bør stadig overvejes, hvorledes datapunkterne skal vægtes, og om skridtlængden og skridtfrekvensen skal vægtes forskelligt.

7.4 Opsamling

I dette kapitel er princippet bag en automatisk kalibrering beskrevet med udgangspunkt i resultaterne fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015) og AutoGait (Cho, Mun, Lee, Kaiser, & Gerla, 2010). Udviklerne af AutoGait tager udgangspunkt i litteratur, der påviser en lineær sammenhæng imellem skridtlængden og skridtfrekvensen ved gang. I kapitel 5 har projektgruppen fundet, at der også er en lineær sammenhæng ved løb.

Det er i princippet muligt at udføre en kalibrering af skridtlængden som en lineær funktion af skridtfrekvensen, hvis der for mindst to segmenter kendes distancen, antal skridt over distancen og start- samt sluttiden til hvert segment. Skridttællingsalgoritmen udviklet i det tidligere projekt er allerede i stand til at bestemme antal skridt samt tidspunktet for hvert skridt. Der er således kun behov for at kunne bestemme en distance. Til dette vil projektgruppen anvende GPS-modtageren i en smartphone.

Afvigelser på estimerede distancer, ud fra GPS-positioner, vil have indflydelse på kalibreringen af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Til at minimere fejlbidraget fra distancer udregnet fra GPS-positioner behandler AutoGait dataene igennem tre trin, inden der udregnes en distance til et segment. Disse tre trin og de anvendte metoder hertil har projektgruppen diskuteret.

AutoGait laver en udglatning af GPS-positionerne. GPS-positionerne fra iPhone 4s og iPhone 6 bliver automatisk filtreret, så projektgruppen vil som udgangspunkt ikke foretage yderligere filtrering, men hvis det viser sig nødvendigt, vil projektgruppen anvende en filtreringsmetode, der kan fungere i realtid.

AutoGait undersøger igennem GPS-positionerne, om brugeren står stille eller foretager urealistiske bevægelser. Dette vil projektgruppen også indarbejde i algoritmen, men projektgruppen vil i stedet anvende skridtfrekvensen til at bestemme om brugeren står stille. Derudover vil projektgruppen også undersøge om terrænet er fladt og frasortere GPS-positioner med en estimeret horisontal nøjagtighed på 10m eller derover.

AutoGait identificerer lige segmenter, hvilket projektgruppen også ønsker. Dette gøres bl.a. for at undgå afrundede hjørner som følge af filtreringen. Desuden forventes det, at lige segmenter giver en ensartet løbestil igennem hele segmentet. Projektgruppen mener, der kan findes bedre metoder til at identificere rette linjer end AutoGaits metode. Derfor vil projektgruppen i afsnit 11.1.1 beskrive andre metoder, som kan anvendes til at identificere rette linjer.

AutoGait beregner datapunkter bestående af identificerede segmenters skridtfrekvenser og skridtlængder. På baggrund af dette udregnes en bedste ret linje. Dette ønsker projektgruppen også at gøre ved udviklingen af en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Projektgruppen mener dog, at hvert datapunkt bør vægtes i forhold til dets nøjagtighed, og eventuelt dets alder, i estimeringen af den bedste rette linje. I projektet skal det overvejes, hvilken type lineær regression, der skal anvendes ved estimering af den bedste rette linje.

8 Opsamling på fase 1

I indledningen til projektet er det beskrevet, hvorledes der i det tidligere projekt (Mogensen, 2015) er udviklet en skridtællingsalgoritme, der kan estimere skridtfrekvens, skridtlængde, distance og fart. Denne algoritme ønsker projektgruppen at arbejde videre med, så den kan kalibreres automatisk. For at kunne udvikle en algoritme, der kan foretage en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, er en række parametre undersøgt. Igennem kapitel 3 er der opstillet en række underspørgsmål. Besvarelsen af disse spørgsmål i fase 1 giver sammen med skridtællingsalgoritmen fra det tidligere projekt forudsætningerne for at kunne videreudvikle algoritmen til at indbefatte en automatisk kalibrering.

I kapitel 3 er der opstillet følgende underspørgsmål, som er besvaret igennem kapitlerne i fase 1:

1. Hvilken sammenhæng er der mellem skridtlængde og skridtfrekvens, og er denne sammenhæng gældende i både fladt og kuperet terræn?
2. Hvordan kan der på baggrund af data fra sensorer i en smartphone skelnes mellem fladt og kuperet terræn?
3. Hvordan kan distancer til en automatisk kalibrering estimeres vha. en smartphones GPS-modtager, og hvilken nøjagtighed er der på GPS-positionerne?
4. Hvordan kan en automatisk kalibrering af skridtlængden foretages?

I kapitel 1 er det beskrevet, hvordan der i det tidligere projekt er påvist en tilnærmelsesvis lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Denne sammenhæng er i kapitel 5 blevet bekræftet igennem forsøg på løbebånd. Det er desuden påvist, at denne sammenhæng ikke er gældende ved løb i kuperet terræn. Derfor ønsker projektgruppen, at algoritmen skal kunne bestemme, om et segment er fladt eller kuperet. Hermed er underspørgsmål 1 besvaret.

I kapitel 6 er der, igennem en undersøgelse af sensorerne i iPhone 4s og iPhone 6, fundet, at "GPS-positionerne", indsamlet med appen SensorLog, ikke er "rå" GPS-positioner. Det er fundet, at der indgår andre sensorer til bestemmelsen af positioner, og at der foretages filtrering af GPS-positionerne. Dette medfører bl.a. at skarpe retningsændringer, som f.eks. ved sving i et vejkrøds, bliver afrundet. Filtreringen af GPS-positionerne medfører ligeledes, at der er en forsinket registrering af sving. Igennem kapitlet er der således fundet flere problemer i forbindelse med bestemmelse af distancer ud fra GPS-positioner. For at opnå det bedste estimat af en distance ønsker projektgruppen kun at anvende GPS-positioner med en god estimeret nøjagtighed. Hvilken betydning fejl på den estimerede distance har på beregning af skridtlængden er ikke blevet bestemt. For at nedbringe fejl på estimerede distancer ønskes det at finde lige segmenter for at undgå at medtage afrundede hjørner som følge af en filtrering af GPS-positionerne. En forsinket registrering af sving kan dog ikke identificeres ved at finde lige segmenter. Derfor skal det overvejes, hvordan en forsinket registrering af sving på anden vis kan håndteres. I afsnit 6.4.2 er det fundet, at barometeret i en iPhone 6 vil være i stand til at bestemme, om et segment er fladt eller kuperet. Kapitel 6 besvarer hermed underspørgsmål 2 og delvist underspørgsmål 3. Da GPS-positionernes nøjagtighed kun er vurderet visuelt, vælges det, at der i fase 2 skal undersøges, hvilken betydning unøjagtigheden på GPS-positionerne har på estimeringen af skridtlængden.

I kapitel 7 er det undersøgt, hvorledes programmet AutoGait identificerer lige segmenter og foretager en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen ved gang. Dette er gjort for at få inspiration til, hvorledes der kan søges efter lige segmenter og foretages en automatisk kalibrering af

skridtlængden. Projektgruppen mener ikke, at AutoGait anvender den bedste metode til at bestemme, om et potentielt segment er en ret linje, hvorfor projektgruppen vil undersøge andre metoder til at identificere lige segmenter. Projektgruppen ønsker, at algoritmen skal være i stand til at identificere, om brugeren står stille ved at undersøge udsving i skridtfrekvensen. Ligeledes bør skridtfrekvensen være stabil i et segment, der skal anvendes til at bestemme et datapunkt, som beskriver skridtlængden til en given skridtfrekvens. Efter der er indsamlet tilstrækkeligt med segmenter, skal algoritmen udvikles til at kunne estimere den bedste rette linje ud fra datapunkter, bestemt ud fra de enkelte segmenter, og som beskriver skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Der skal her tages stilling til, hvordan denne funktion skal estimeres. Kapitel 7 besvarer hermed underspørgsmål 4.

Igen fase 1 har projektgruppen således besvaret underspørgsmålene, stillet i kapitel 3. I forbindelse med at underspørgsmålene er blevet besvaret igennem kapitlerne i fase 1, er der fundet en række yderligere parametre, som projektgruppen vurderer, bør indgå i udviklingen af en algoritme, der er i stand til automatisk at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Parametrene der er fundet i fase 1, og som ønskes indarbejdet i udviklingen af algoritmen i fase 2, er:

- Skridtællingsalgoritmen fra (Mogensen, 2015) skal anvendes uforandret til at bestemme antal skridt.
- Der er som udgangspunkt ikke behov for yderligere filtrering af GPS-positioner.
- Det skal undersøges nærmere, hvilken betydning GPS-positioners nøjagtighed har på estimerede skridtlængder.
- Algoritmen skal identificere segmenter, hvor brugeren har bevæget sig i en ret linje.
- Algoritmen skal frasortere GPS-positioner med dårlig estimeret nøjagtighed.
- Algoritmen skal kontrollere om skridtfrekvensen er stabil igennem et potentielt segment. Hvis skridtfrekvensen ikke er stabil, skal der ikke registreres et segment
- I algoritmen skal barometeret anvendes til at frasortere potentielle segmenter der indeholder kuperet terræn.
- En bedste ret linje skal estimeres ud fra datapunkter beregnet for hvert segment. Denne bedste rette linje skal anvendes til at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

FASE 2

9 Metode for fase 2 – Udvikling af automatisk kalibrering

Igennem fase 1 er en række underspørgsmål undersøgt, hvilke danner grundlag for videreudviklingen af algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015). Ved besvarelsen af underspørgsmålene i fase 1 er der fundet yderligere parametre, som bør implementeres i algoritmen gennem fase 2.

For at besvare problemformuleringen *”Hvordan kan en automatisk kalibrering af skridtlængden udvikles og indbygges i algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015), og hvilken nøjagtighed på estimerede distancer kan opnås?”* skal følgende underspørgsmål først besvares:

1. I fase 1 er der ved forsøg på løbebånd fundet, at der er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Kan der estimeres en tilsvarende lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens vha. GPS-modtageren i en smartphone og skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015)?
2. Hvilken betydning har fejlbidraget fra GPS-positioner på estimering af skridtlængder?
3. Med udgangspunkt i resultaterne fra fase 1, hvordan skal algoritmen fra det tidligere projekt videreudvikles, så der identificeres segmenter, der er anvendelige til kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen?
 - a. Hvilken metode skal anvendes til at identificere lige potentielle segmenter, og hvordan skal metoden implementeres i algoritmen?
 - b. Hvordan skal der tages højde for unøjagtige GPS-positioner?
 - c. Hvordan sikres det, at der kun identificeres segmenter med ensartet skridtfrekvens, således der tages højde for afbrydelser i løberytmen, der resulterer i en ændret løbestil?
 - d. Hvordan sikres det, at der kun findes segmenter i fladt terræn, jf. projektafgrænsningen i afsnit 3.1?
4. Hvordan skal algoritmen beregne datapunkter, så de beskriver et segments gennemsnitlige skridtlængde og skridtfrekvens.
5. Hvordan skal algoritmen vægte de beregnede datapunkter?
6. Hvordan skal en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen indarbejdes i algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015)?
7. Hvor godt kan distancer estimeres ved at anvende en udviklet automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen?

Til at besvare ovenstående underspørgsmål opdeles fase 2 i fire overordnede kapitler.

Til at besvare spørgsmål 1 og 2, udføres i kapitel 10 forsøg under ”bedst mulige forhold”. For at kunne besvare spørgsmål 1, udføres således en test, hvor der løbes 1km i forskellige tempi, og sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens estimeres på samme måde som ved forsøget på løbebånd i kapitel 5. Det vælges at opdele distancen, der er løbet i testen under bedst mulige forhold, i mindre lige store segmenter og udregne den gennemsnitlige skridtlængde til hvert segment. Herigennem kan det undersøges, hvilken betydning segmentlængden har på nøjagtigheden af den udregnede skridtlængde. Dermed kan underspørgsmål 2 besvares.

Underspørgsmål 3 og hertil hørende underpunkter besvares i kapitel 11. For at kunne videreudvikle algoritmen fra det tidligere projekt til at være i stand til at identificere segmenter, som er brugbare til at udføre en automatisk kalibrering, skal der indarbejdes en række parametre fundet i fase 1. Disse parametre indarbejdes i algoritmen i takt med at underspørgsmålene 3.a til 3.d besvares. Projektgruppen vælger at videreudvikle algoritmen, ved først at undersøge underspørgsmål 3.a. For at besvare dette

beskrives forskellige metoder til identifikation af rette linjer, og på baggrund af dette udvælges en metode, der arbejdes videre med. Parametre til den valgte metode undersøges gennem tests, og efter der er fundet tilfredsstillende parametre, implementeres disse i algoritmen. Herefter undersøges underspørgsmål 3.b til 3.d. Rækkefølgen hvormed problemstillingerne løses følger den ovenstående liste. Rækkefølgen er valgt ud fra et ønske om først at løse de problemstillinger, der vurderes at have størst effekt på segmenteringen, og herefter løse problemer der har en mindre og mindre effekt på segmenteringen. Underspørgsmål 3.a og 3.b omhandler identifikation af GPS-positioner, der er velegnede til at indgå i et potentielt segment. Underspørgsmål 3.c og 3.d omhandler parametre i de fundne potentielle segmenter.

Årsagen til at problemstillingen i underspørgsmål 3.d implementeres som et kriterie til sidst er, at projektgruppen har valgt at teste de andre parametre i et område med fladt terræn, hvorfor alt data bør blive identificeret som fladt terræn. I fase 1 er det fundet, at barometeret er en bedre/mere robust metode til at identificere, om terrænet er fladt eller kuperet, og projektgruppen vil derfor indarbejde barometerdata i algoritmen. Da barometeret kun findes i iPhone 6, er det kun denne smartphonemodel videreudviklingen af algoritmen baseres på. Hermed besvares underspørgsmål 3 og tilhørende underpunkter.

Underspørgsmål 4 besvares i afsnit 11.5. I afsnittet beskrives først det matematiske grundlag for at beregne en gennemsnitlig skridtlængde og skridtfrekvens til hvert identificeret segment. Herefter beskrives det, hvordan algoritmen kan videreudvikles til at kunne beregne et datapunkt til hvert identificeret segment, hvilket besvarer underspørgsmål 4.

Underspørgsmål 5 og 6 besvares i kapitel 12. I kapitlet beskrives det matematiske grundlag for, hvordan der estimeres en bedste ret linje, der beskriver skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen på baggrund af datapunkter beregnet i kapitel 11. Herigennem beskrives det, hvordan datapunkter vægtes i forhold til segmentlængden. Hermed besvares underspørgsmål 5. Efter der er opstillet det matematiske grundlag for estimering af en linje, der beskriver skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, implementeres dette i videreudviklingen af algoritmen. Det er denne estimerede linje, der danner grundlag for den automatiske kalibrering. For at undersøge om algoritmen giver en fornuftig automatisk kalibrering, udføres en analyse af kalibreringsmetoden. Igennem analysen undersøges det, om det er muligt at estimere skridtlængden som en funktion af skridtfrekvensen fra en enkelt løbetur i samme tempo, eller om der er behov for at sammensætte data fra flere løbeture, for at opnå et godt resultat. På baggrund af analysen vurderes det, hvordan den automatiske kalibrering skal implementeres i algoritmen, hvormed underspørgsmål 6 løses.

Underspørgsmål 7 besvares i kapitel 13. I kapitlet laves en analyse af den udviklede algoritme, hvor det undersøges, hvor godt algoritmen er i stand til at estimere distancen på en rute løbet over flere gange og i forskellige tempi. Forskellen mellem den korrekte distance og den estimerede distance er således et udtryk for, hvor godt distancer kan estimeres ved hjælp af den videreudviklede algoritme. Hermed besvares underspørgsmål 7.

10 Indledende test til automatisk kalibrering

Ved forsøg på løbebånd i afsnit 5.1 blev det påvist, at der er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Ved forsøget på løbebånd blev skridtlængde og skridtfrekvens bestemt vha. software tilknyttet løbebåndet. I dette kapitel undersøges gennem forsøg om skridttællingsalgoritmen, fra det tidligere projekt, sammen med GPS-modtageren i en smartphone kan anvendes til at estimere den lineære sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Dette er afgørende for at kunne foretage en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, idet kalibreringen skal foregå udelukkende vha. data indsamlet med smartphonen. Desuden undersøges det, hvilken betydning længden på et segment har på nøjagtigheden af den estimerede skridtlængde.

Der er udført et forsøg med løb på Langelinie, der er en flad (nær vandret) lige asfaltvej i et åbent område med gunstige GPS-forhold. Den på figur 10.1 og 10.2 viste rute er 1km. Ruten er løbet af to forsøgspersoner. Den ene har løbet ruten i fire tempi med en tilstræbt fart på hhv. 10km/t, 12km/t, 14km/t og 16km/t. Den anden har løbet ruten i tre tempi med en tilstræbt fart på hhv. 9km/t, 11km/t og 13km/t. Det er forsøgt at holde konstant fart i hvert tempo. De reelle gennemsnitlige tempi for hvert gennemløb var 10,0km/t, 12,0km/t, 13,8km/t og 15,8km/t samt 9,4km/t, 10,6km/t og 12,5km/t.



Figur 10.1: Den røde linje viser ruten, der er løbet på Langelinie, en flad lige vej. Strækningen er 1km.



Figur 10.2: Viser Langelinie set mod vest.

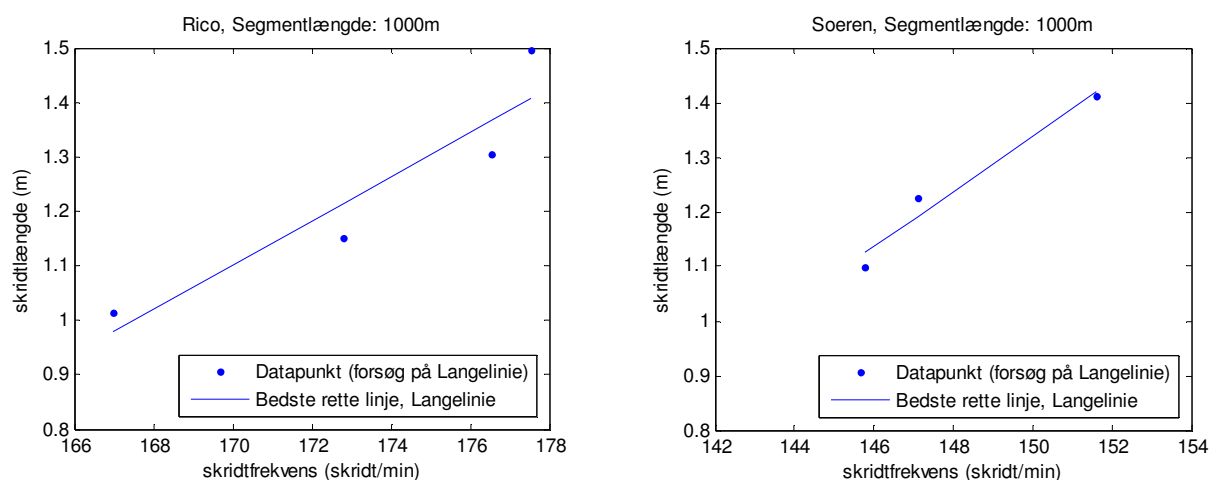
10.1 Estimering af lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens

For hvert tempo er den gennemsnitlige skridtfrekvens og skridtlængde estimeret. Den gennemsnitlige skridtfrekvens er bestemt vha. skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015) (beregningen af skridtfrekvens beskrives nærmere i afsnit 11.5.1). Den gennemsnitlige skridtlængde er bestemt vha. følgende formel:

$$gns.skridtlængde = \frac{distance}{gns.skridtfrekvens * tid}$$

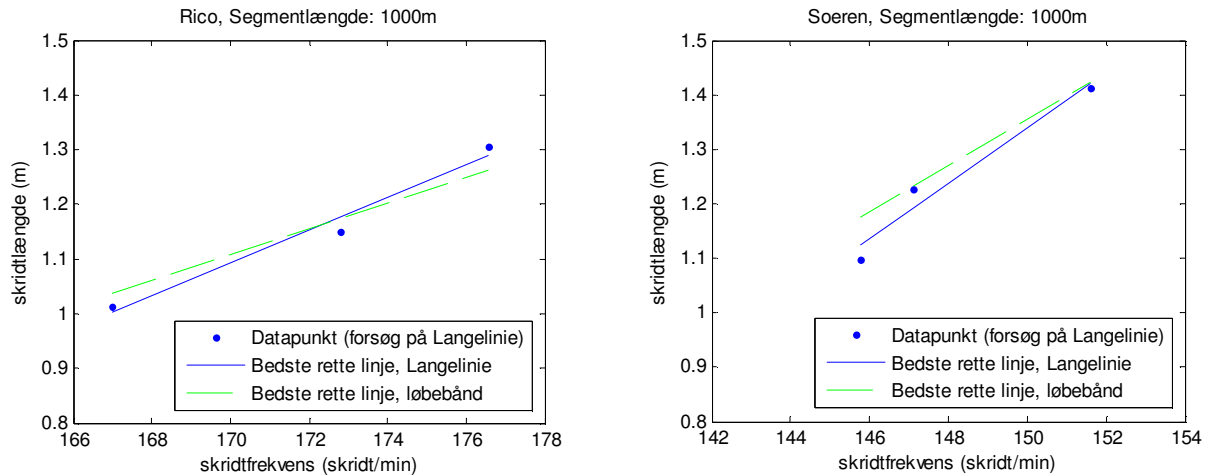
hvor *distance* er den direkte afstand mellem den første og sidste GPS-position, og *tid* er tiden fra den første GPS-position til den sidste GPS-position.

Figur 10.3 viser datapunkter for skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen for hvert af de tempi, der er løbet med. Figuren viser desuden den bedste rette linje estimeret vha. simpel mindste kvadraters princip. Anvendelsen af simpel mindste kvadraters princip betyder, at de observerede skridtfrekvenser betragtes som værende fejlfri i udjævningen. Der anvendes simpel mindste kvadraters princip i stedet for generel mindste kvadraters princip, idet fejl på de beregnede skridtfrekvenser vurderes at være ubetydelige sammenlignet med fejl på de estimerede skridtlængder. Alt data er indsamlet med en iPhone 6 og vil derfor i princippet kunne anvendes til den automatiske kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.



Figur 10.3: Skridtlængde som funktion af skridtfrekvens. Data fra forsøg på Langelinie. Fra venstre mod højre repræsenterer datapunkterne 10km/t, 12km/t, 14km/t og 16km/t for Rico og 9km/t, 11km/t og 13km/t for Soeren.

Den lineære sammenhæng, der blev påvist i afsnit 5.1.1, ses overordnet også i dette forsøg. Dog ser det ud til at datapunktet fra 16km/t for Rico afviger, idet skridtlængden øges mere end skridtfrekvensen sammenlignet med de øvrige datapunkter. Ved 16km/t fik Rico smerter i venstre baglår pga. en skade, hvilket kan have påvirket løbestilen i dette tempo. Derfor frasorteres dette datapunkt, og der estimeres en ny bedste ret linje. På figur 10.4 ses den nye bedste rette linje gennem datapunkter fra forsøget på Langelinie sammen med den bedste rette linje fra forsøget på løbebånd (se afsnit 5.1.1 figur 5.2 og 5.3).



Figur 10.4: Skridtlængde som funktion af skridtfrekvens. Data fra løb med 16km/t er frasorteret og derfor ikke anvendt til at estimere den bedste rette linje.

Det ses at linjerne ligger forholdsvis tæt op ad hinanden. Det vurderes at de mindre forskelle kan skyldes en eller flere af følgende årsager:

- Forskel på løbestil afhængig af om der løbes på løbebånd eller på asfalt.
- Dag-til-dag forskel på løbestil
- Der løbes med konstant fart på løbebånd, mens farten kan variere ved løb på Langelinie, idet forsøgspersonen her selv har forsøgt at holde konstant fart ud fra følelsen.
- Der løbes i færre tempi på Langelinie end ved løb på løbebånd, hvilket resulterer i færre datapunkter.
- Der løbes i andre tempi ved løb på Langelinie end ved løb på løbebånd.

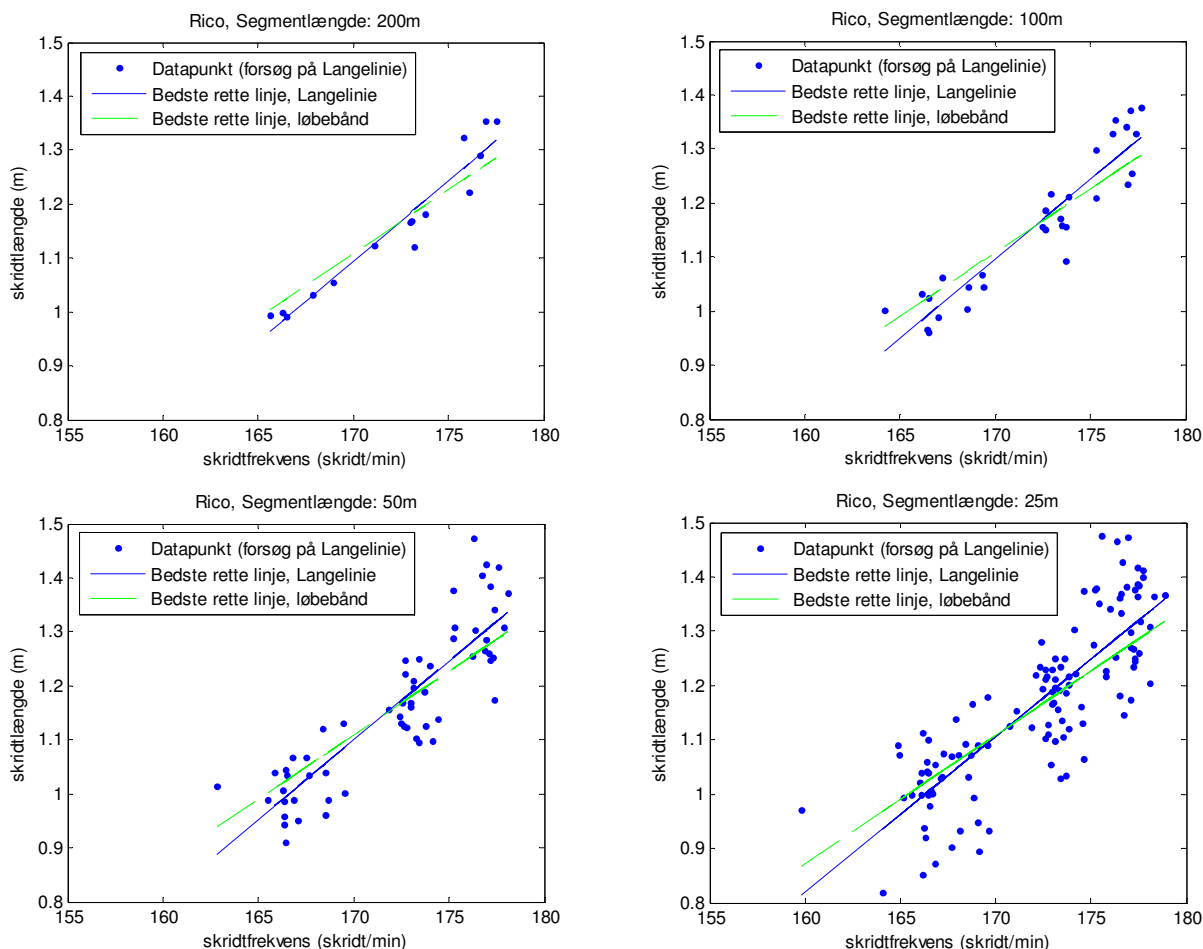
På baggrund af det tilgængelige data, vurderes det, at skridttællingsalgoritmen sammen med GPS-modtageren er anvendelig til at estimere den lineære sammenhæng mellem skridtfrekvensen og skridtlængden i et område med gunstige GPS-forhold, og hvor der er løbet i forskellige tempi. På baggrund af forsøget vurderes det derfor, at en automatisk kalibrering, vha. data indsamlet udelukkende med en smartphone, er mulig.

10.2 Nøjagtighed på estimerede skridtlængder

Datapunkterne, der ses på figur 10.5, er beregnet på baggrund af lange lige segmenter på 1km. Jo længere et segment er, jo mindre er fejlraten (afvigelse i procent i forhold til den sande distance) på distancen bestemt ud fra GPS-positionerne⁷. Da distancen anvendes til estimering af skridtlængden, betyder dette, at nøjagtigheden på den estimerede skridtlængde til hvert datapunkt ligeledes afhænger af distancen på et segment. I det følgende undersøges derfor nøjagtigheden på estimerede skridtlængder ved forskellige segmentlængder. Dette sker ved at opsplitte den tilbagelagte strækning på 1km i flere mindre stykker/segmenter. Derved opnås flere datapunkter per tempo, men datapunkterne bestemmes med en dårligere nøjagtighed.

⁷ Da nøjagtigheden på afstanden mellem to GPS-positioner er uafhængig af afstanden, udgør GPS-positionernes fejlbidrag en mindre procentdel af distancen, jo længere et segment er.

Figur 10.5 viser datapunkter samt estimerede bedste rette linjer på baggrund af segmenter med længderne 200m, 100m, 50m og 25m. Dataene er fra løb af Rico i tempiene 10, 12 og 14km/t.

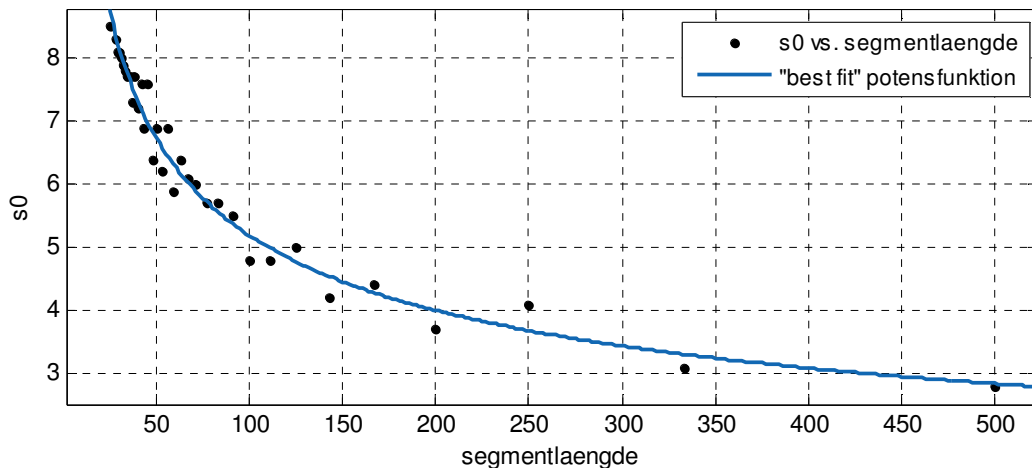


Figur 10.5: Skridtlængde som funktion af skridtfrekvens. Figuren viser datapunkter og estimerede bedste rette linjer fra segmenter på hhv. 200m, 100m, 50m og 25m.

Af figuren fremgår det, at datapunkterne afviger mere fra den estimerede bedste rette linje, jo kortere segmentlængder der anvendes. Dette viser, at der er en større spredning på den estimerede skridtlængde til et datapunkt, jo kortere segmenterne er. Tabel 10.1 viser spredningen på vægtenheden ved forskellige segmentlængder fra udjævningen udført på samme måde som på figur 10.5, mens figur 10.6 viser spredningen på vægtenheden som funktion af segmentlængden. Plots af samtlige udregnede datapunkter og estimerede bedste rette linjer ved forskellige segmentlængder findes på bilagsDVD mappe E.

Længde [m]	1000	500	333	250	200	167	143	125	111
Spredning [cm]	–	2,8	3,1	4,1	3,7	4,4	4,2	5,0	4,8
Længde [m]	100	91	83	77	71	67	63	59	56
Spredning [cm]	4,8	5,5	5,7	5,7	6,0	6,1	6,4	5,9	6,9
Længde [m]	53	50	48	45	43	42	40	38	37
Spredning [cm]	6,2	6,9	6,4	7,6	6,9	7,6	7,2	7,7	7,3
Længde [m]	36	34	33	32	31	30	29	28	25
Spredning [cm]	7,7	7,7	7,8	7,9	8,0	8,1	8,1	8,3	8,5

Tabel 10.1: Spredning på vægtenheden ved anvendelse af forskellige segmentlængder. Segmentlængderne er fremkommet ved at dividere 1km med forskellige heltal.



Figur 10.6: Spredningen på vægtenheden som funktion af segmentlængden. Figuren er udarbejdet på baggrund af dataene, der ses i tabel 10.1. Den blå linje er estimeret vha. MATLABs "Curve Fitting Tool" og er "den bedste potensfunktion" gennem punkterne. Segmentlængde er i meter, mens spredningen er i centimeter.

Det ses at sammenhængen mellem segmentlængden og spredningen kan beskrives vha. en potensfunktion med ligningen:

$$\sigma_0 = a * \text{segmentlængde}^b.$$

Den estimerede potensfunktion har koefficienterne $a = 28,89$ og $b = -0,3732$. Spredningen på vægtenheden er et udtryk for nøjagtigheden på den skridtlængde, der kan estimeres ud fra et segment med den pågældende segmentlængde. Dette betyder, at jo længere et segment er, jo bedre nøjagtighed kan skridtlængden estimeres med. Derfor ønsker projektgruppen, ved udviklingen af den automatiske kalibrering, at vægte estimerede datapunkter (skridtfrekvens, skridtlængde) ud fra segmentlængden. Projektgruppen vælger således at den estimerede potensfunktion skal anvendes til at beskrive den forventede spredning på skridtlængden inden for et segment på baggrund af segmentets længde. Spredningen på skridtlængden kan efterfølgende anvendes til at vægte datapunktet. Vægtning af datapunkter beskrives nærmere i afsnit 12.1.

For at undgå for store spredninger på skridtlængderne og for at opnå et vis antal skridt til bestemmelse af hvert datapunkt, vælges det desuden, at et segment skal have en længde på minimum 50m, for at det

anvendes til bestemmelse af et datapunkt. Når samtlige kriterier i algoritmen er indarbejdet, kan der eventuelt eksperimenteres med at ændre på denne minimumlængde for at undersøge, hvilken indflydelse dette har på resultatet af kalibreringen.

11 Segmentering

Formålet med dette kapitel er at udvikle en algoritme, der kan identificere segmenter, som er velegnede til kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen og på baggrund af disse identificerede segmenter beregne datapunkter (skridtlængde, skridtfrekvens) til den automatiske kalibrering. I dette kapitel beskrives, hvordan GPS-positioner inddeles i segmenter, der opfylder forskellige kriterier, som gør GPS-positionerne egnede til kalibrering. I kapitel 7 er det fundet, at segmenter der er velegnede til kalibrering, er segmenter, hvor GPS-positionerne kan anses for at ligge på en ret linje. For at der kan udvikles en algoritme, der er i stand til at identificere segmenter, som er velegnet til en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, skal der først tages stilling til, hvilken metode projektgruppen anser som værende bedst egnet. Dette skal gøres, da projektgruppen ikke mener, at den eksisterende metode (beskrevet i afsnit 7.2) er den mest fornuftige. Herefter undersøges det igennem forsøg, hvor meget GPS-positioner må afvige fra at ligge på en ret linje og stadig anses som værende en del af et lige segment. Ligeledes undersøges det, hvordan der kan frasorteres de GPS-positioner, som indgår i den forsinkede registrering af sving, som er beskrevet i afsnit 6.3.2.

Efter at have udviklet en algoritme til at identificere rette linjer, præsenteres i afsnit 11.1.3 et flowdiagram, der viser processerne bag identifikation af rette linjer. Algoritmen danner basis for den videre udvikling, og kan derfor anses som udgangspunktet for algoritmen til kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

Efter at have udviklet en algoritme der kan identificere lige segmenter, ønsker projektgruppen at udvide algoritmen med en række parametre. Først skal der frasorteres GPS-positioner med dårlig estimeret nøjagtighed, så algoritmen ikke anvender data, der anses som værende behæftet med store fejl. Herefter skal det undersøges, om skridtfrekvensen er stabil, for at der kan udregnes en brugbar skridtfrekvens til det fundne segment. Slutteligt skal det undersøges om terrænet er fladt eller kuperet, da det i afsnit 5.2 er fundet, at der ikke er den samme lineære sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens ved løb i kuperet og fladt terræn.

Når disse kriterier er indbygget i algoritmen, skal algoritmen udvikles, så der til hvert segment kan beregnes et datapunkt, som beskriver skridtlængden til en given skridtfrekvens. Disse datapunkter skal anvendes til at estimere den lineære funktion, der anvendes til den automatiske kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Til sidst i kapitlet præsenteres et flowdiagram over algoritmen til segmentering og beregning af datapunkter.

Igennem kapitlet udvikles og indarbejdes følgende punkter således i algoritmen, der bliver præsenteret sidst i kapitlet:

- Identifikation af lige segmenter.
 - Metode til identifikation af lige segmenter.
 - Bestemmelse af parametre til identifikation af lige segmenter.
- Frasortering af GPS-positioner med dårlig estimeret nøjagtighed.
- Frasortering af potentielle segmenter med uensartet skridtfrekvens.
- Frasortering af potentielle segmenter i kuperet terræn.
- Beregning af datapunkt der beskriver sammenhængen mellem skridtlængden og skridtfrekvensen i et segment.

11.1 Identifikation af rette linjer

Jævnfør kapitel 9 ønskes det at udvikle en algoritme, der kan identificere segmenter, hvor der er løbet i en tilnærmelsesvist ret linje. Formålet med dette afsnit er at udvikle en sådan algoritme. I dette afsnit beskrives forskellige mulige metoder til at identificere rette linjer. På baggrund af overvejelser vedrørende de forskellige metoder, udvælger projektgruppen én metode at arbejde videre med. Denne metode undersøges, og parametre til metoden testes og fastlægges. Til sidst i afsnittet vises et flowdiagram over den udviklede metode.

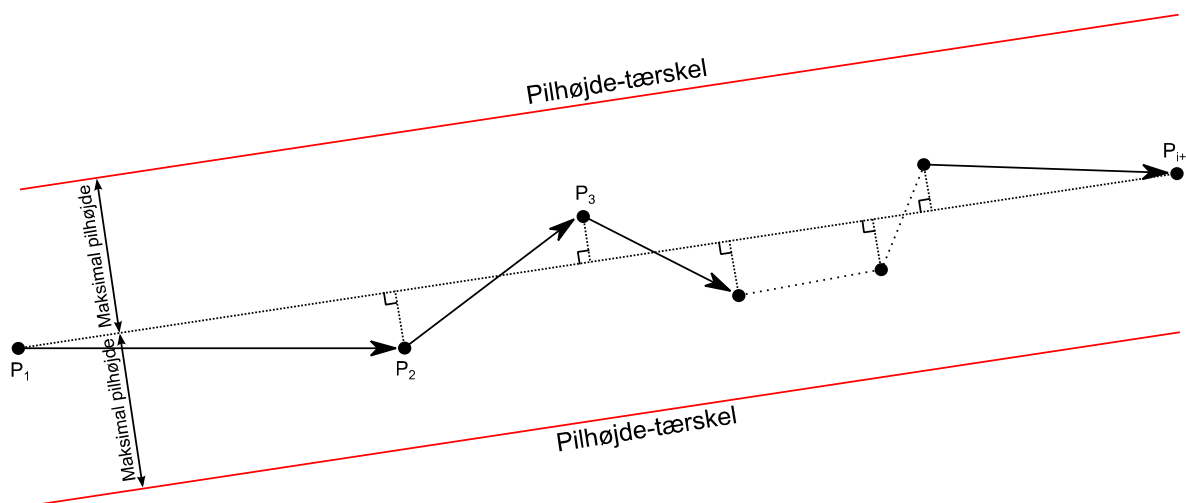
11.1.1 Metoder til identifikation af rette linjer

I afsnit 7.2 er beskrevet, hvordan AutoGait identificerer rette linjestykker og anvender disse som segmenter til kalibrering af skridtlængden. Men metoden der anvendes i AutoGait er blot én af flere metoder til at identificere lige segmenter og ikke nødvendigvis den bedste. I dette afsnit beskrives derfor andre mulige metoder til identifikation af rette linjestykker ud fra GPS-positionerne. Metoderne er udtænkt af projektgruppen og inspireret af metoden udviklet i AutoGait.

I dette afsnit udvælges en metode, der arbejdes videre med. Derefter undersøges det, hvordan metoden virker med forskellige kriterier, og til sidst præsenteres et flowdiagram for algoritmen, der identificerer rette linjer.

Metode 1

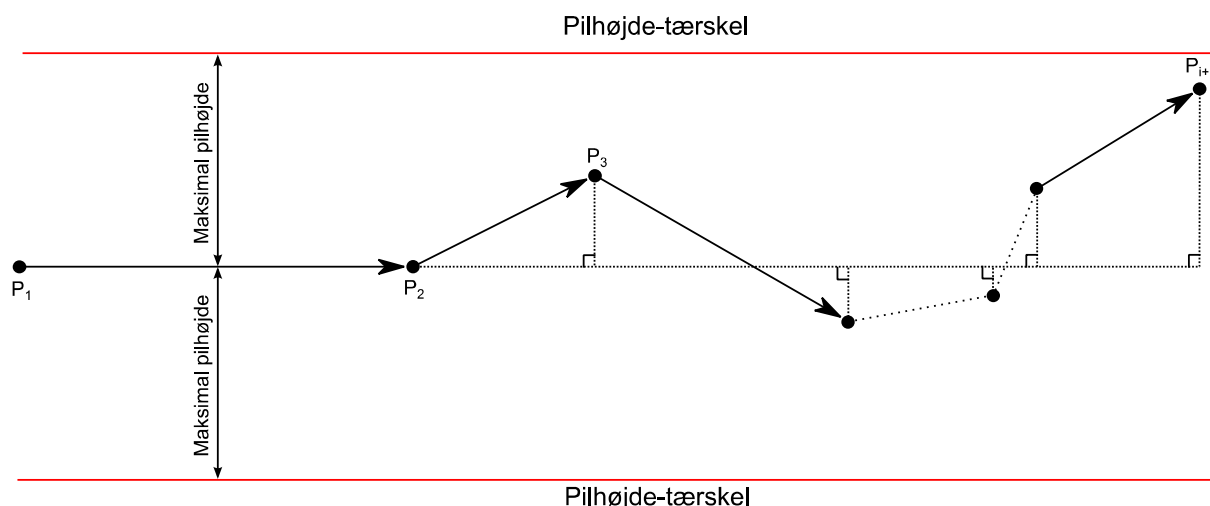
Ved metode 1 bestemmes først linjen, der defineres af P_1 og P_{i+1} (se figur 11.1). Herefter beregnes afstanden (pilhøjden) mellem P_i og linjen defineret af punkterne P_1 og P_{i+1} til hvert punkt (P_i) mellem de to yderste GPS-punkter (P_1 og P_{i+1}). Hvis én af pilhøjderne til P_i overskrider en fastsat tærskelværdi (Pilhøjde-tærskel), anses punkterne for ikke at ligge på en ret linje. Metoden søger efter det størst mulige antal GPS-punkter, hvor det opfyldes at pilhøjderne til hvert punkt P_i er mindre end pilhøjde-tærsklen. Hvis afstanden mellem punkterne P_1 og P_{i+1} er større end en fastsat distance og samtlige punkter (P_i) opfylder ovenstående kriterie, anses GPS-punkterne for at kunne beskrive en ret linje. Derfor gemmes et segment, der består af de GPS-punkter, der anses for at beskrive en ret linje. Segmentets længde bestemmes som afstanden mellem segmentets yderpunkter P_1 og P_{i+1} .



Figur 11.1: Metode 1 – Identifikation af segmenter der indeholder GPS-positioner, som kan anses for at ligge på en ret linje.

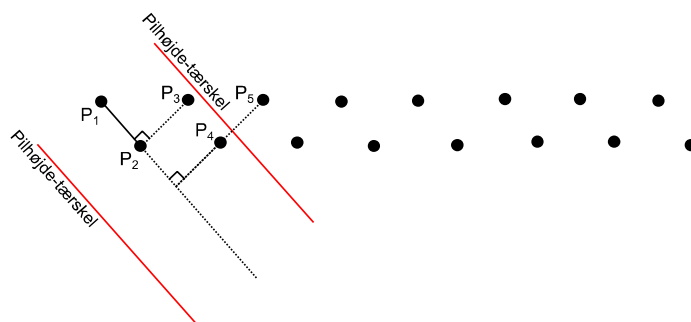
Metode 2

Ved metode 2 beregnes, ligesom ved metode 1, pilhøjder imellem punkter og en ret linje. Med denne metode defineres linjen dog på en anden måde. Med metode 2 defineres linjen af punkterne P_1 og P_2 (se figur 11.2). Til hvert af de efterfølgende punkter (P_i) beregnes afstanden (pilhøjden) mellem P_i og linjen defineret af punkterne P_1 og P_2 . Hvis én af pilhøjderne overskrider en fastlagt tærskel-værdi (pilhøjde-tærskel), anses punkterne for ikke at ligge på en ret linje. Metoden søger efter det størst mulige antal GPS-punkter, hvor det opfyldes, at pilhøjden er mindre end pilhøjde-tærsklen. Resten af metode 2 er identisk med metode 1.



Figur 11.2: Metode 2 – Identifikation af segmenter der indeholder GPS-positioner, som kan anses for at ligge på en ret linje.

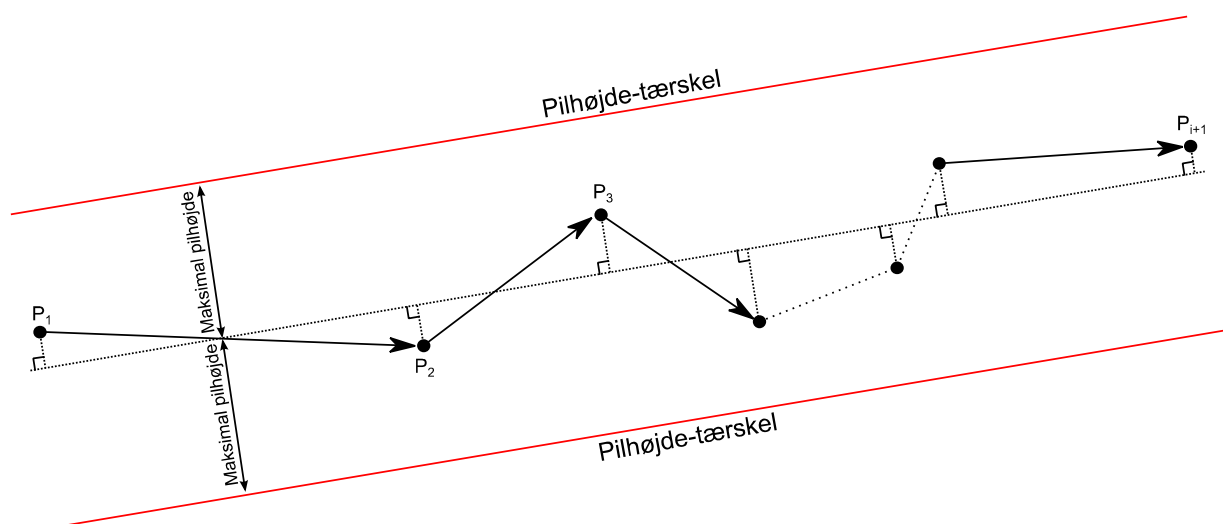
Forskellen mellem metode 1 og 2 ligger således i, hvilken linje der beregnes pilhøjder på baggrund af. Ved metode 1 beregnes der pilhøjder på baggrund af linjen defineret af punkterne P_1 og P_{i+1} , og ved metode 2 beregnes der pilhøjder på baggrund af linjen defineret af punkterne P_1 og P_2 . En fordel ved metode 2 i forhold til metode 1, er at linjen, der beregnes pilhøjder ud fra ikke ændres for hvert nyt GPS-punkt, der registreres. Derfor forventes det at metoden er mindre beregningskrævende. Prisen for at anvende den mindre beregningskrævende metode er, at linjen, der beregnes pilhøjder ud fra, er mindre velegnet til at afgøre om efterfølgende punkter ligger på en ret linje. Hvis der skal findes et segment, kræver metoden, at linjen udregnet ud fra punkterne P_1 og P_2 er tilnærmelsesvist parallel med det linjestykke de efterfølgende GPS-punkter eventuelt kan betragtes at ligge på. Figur 11.3 viser således et tænkt eksempel hvor GPS-positionerne kan anses for at ligge på en ret linje ved anvendelse af metode 1, men hvor de ikke kan anses for at ligge på en ret linje ved anvendelse af metode 2. Derfor er metode 2 følsom over for "zigzag" i GPS-positionerne som følge af tilfældige fejl på GPS-positionerne.



Figur 11.3: Ved metode 2 er retningen af linjen, defineret af punkterne P_1 og P_2 , afgørende for, om efterfølgende punkter kan anses for at ligge på en ret linje. I det viste eksempel vil der således ikke registreres et segment, til trods for at punkterne reelt set ligger på en tilnærmelsesvist ret linje.

Metode 3

Ved metode 3 anvendes generel mindste kvadraters princip til at estimere den bedste rette linje gennem punkterne fra P_1 til P_{i+1} (se figur 11.4). Hvis residualen til ét af punkterne (P_i) overskrider en fastsat tærskelværdi anses punkterne for ikke at ligge på en ret linje. Metoden søger efter det størst mulige antal GPS-punkter, hvor det opfyldes at residualerne til samtlige punkter er mindre end den fastsatte tærskelværdi. Resten af metode 3 er identisk med metode 1 og 2.



Figur 11.4: Metode 3 – Mindste kvadraters princip anvendes til identifikation af segmenter, der kan anses for at være rette linjer

Metode 3 forventes at give et resultat, der ligger tæt op ad det resultat, der vil opnås med metode 1. Ligesom med metode 1 er det nødvendigt at beregne en ny linje for hver gang et nyt GPS-punkt registreres. Derfor er metoden mere beregningskrævende end metode 2. Det forventes desuden at metoden er mere beregningskrævende end metode 1, idet samtlige punkter fra P_1 til P_{i+1} skal anvendes til at estimere linjen, hvorimod det med metode 1 kun er endepunkterne, der anvendes til at bestemme linjen.

På baggrund af disse overvejelser, og da det ønskes at fokusere på én metode, vælges det at arbejde videre med metode 1, velvidende at metode 3 muligvis giver mere retvisende resultater. I videre

undersøgelser kunne der eksperimenteres med metode 3 for at undersøge om, der vil kunne opnås bedre resultater ved anvendelse af denne metode frem for metode 1.

11.1.2 Anvendt metode til identifikation af rette linjer

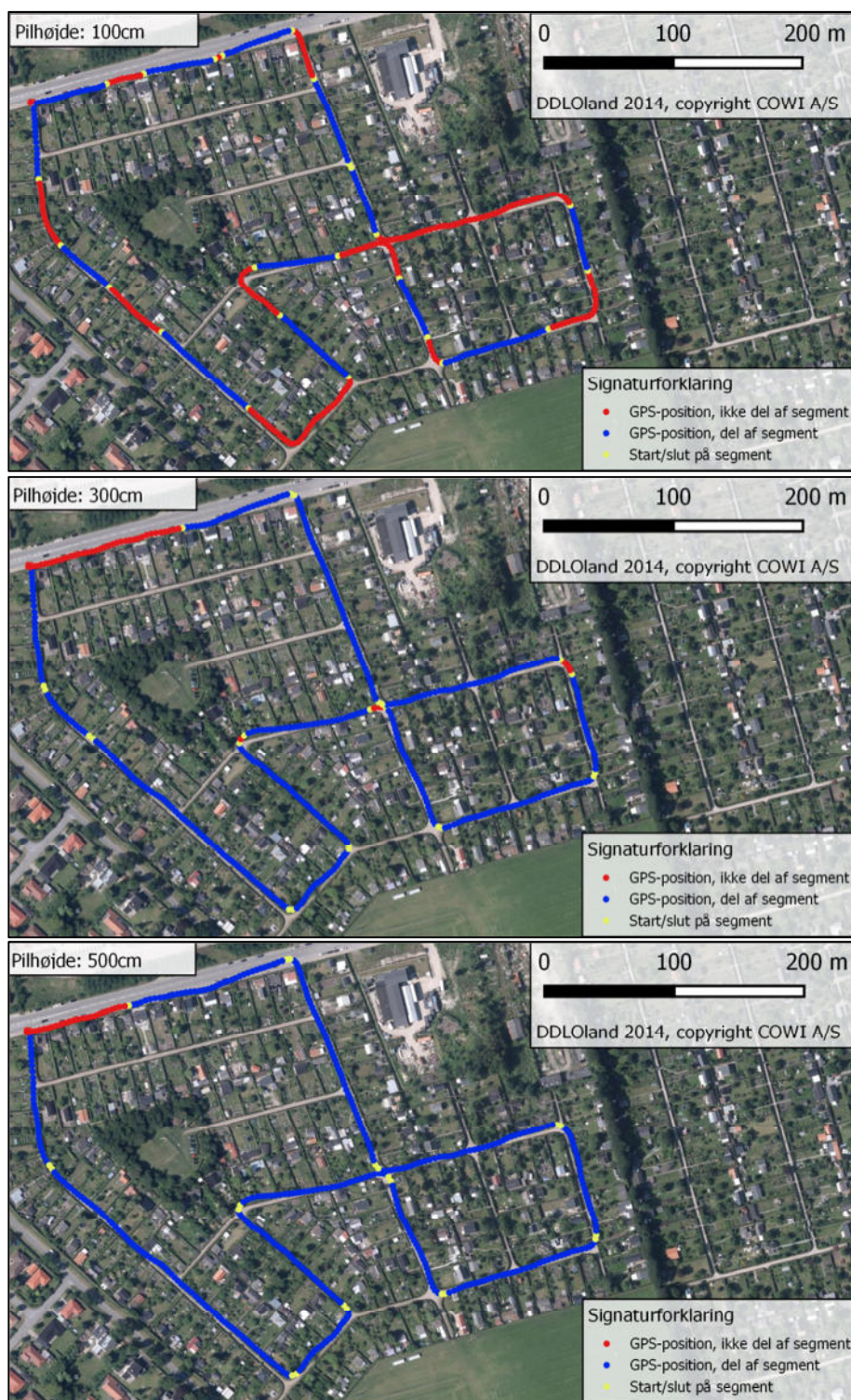
Da det er valgt at fokusere på metode 1, undersøges der i dette afsnit, hvilken pilhøjde-tærskel der giver de mest retvisende segmenter ved anvendelse af metode 1. Dette sker gennem en visuel undersøgelse. I udvælgelsen af pilhøjden lægges der vægt på, at der reelt er løbet i en ret linje ved de registrerede segmenter. I afsnit 10.2 er det vist, at nøjagtigheden på estimerede skridtlængder er bedre, jo længere et segment er. Derfor lægges der i udvælgelsen af pilhøjden ligeledes vægt på, hvor lange segmenter der opnås. I dette afsnit præsenteres udregnede segmenter med tre forskellige pilhøjder for at give eksempler på, hvilke resultater der opnås med forskellige pilhøjder. Opnåede resultater med øvrige pilhøjder er ligeledes undersøgt. Det vurderes imidlertid, at det vil være for omfattende at inddrage samtlige undersøgelser i denne rapport.

Figur 11.5 viser udregnede segmenter med pilhøjder på hhv. 1m, 3m og 5m ved løb i et område med gode GPS-forhold. Her giver en pilhøjde på 1m mange korte segmenter. Flere steder hvor der er løbet i en ret linje, registrerer algoritmen pilhøjder større end én meter, hvilket resulterer i at et segment afsluttes. Andre steder registreres ikke segmenter til trods for, at der er løbet ligeud, da segmentlængderne ikke bliver større end 50m. Derfor vurderes at 1m er en for lille pilhøjde.

En pilhøjde på 3m registrerer segmenter de steder, der er løbet i en ret linje, og segmenterne afsluttes og startes, når der er sving. Derfor vurderes at en pilhøjde på 3m, ud fra figur 11.5, er en passende pilhøjde.

Med en pilhøjde på 5m opnås stort set samme segmenter som med en pilhøjde på 3m. Der ses dog en forskel ved det bløde sving i den vestligste del af figur 11.5. En pilhøjde på 5m resulterer i ét segment mindre, idet det accepteres, at der drejes mere i det bløde sving, inden pilhøjde-tærsklen overskrides. I områder med mange bløde sving vil dette resultere i, at der udregnes for korte segmentlængder, idet længden beregnes som den direkte afstand imellem den første og sidste GPS-position i et segment. Derfor vurderes, at en pilhøjde-tærskel på 5m er for stor.

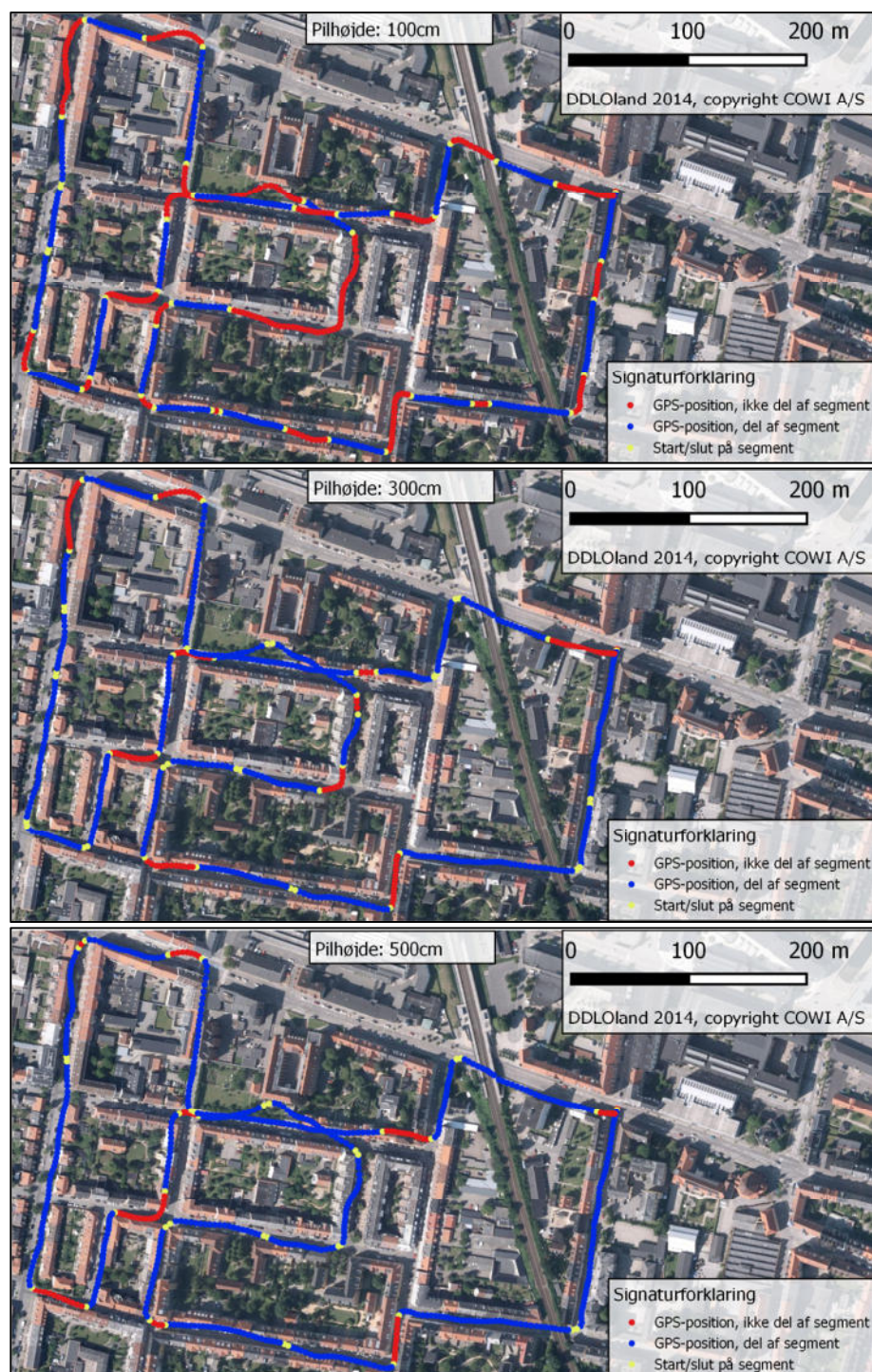
Årsagen til at der på billederne med pilhøjder på 3m og 5m i figur 11.5 ikke registreres et segment ved rutens slutning er, at pilhøjde-tærsklen ikke overskrides, inden dataindsamlingen slutter. Pilhøjdetærsklen skal overskrides, for at der registreres et segment, idet dette fungerer som et stopkriterie for et segment.



Figur 11.5: Identifikation af rette linjer i et område med gode GPS-forhold. Figuren viser identificerede segmenter, der består af GPS-positioner, som anses for at ligge på en ret linje. Der er anvendt pilhøjder på hhv. 1m, 3m og 5m.

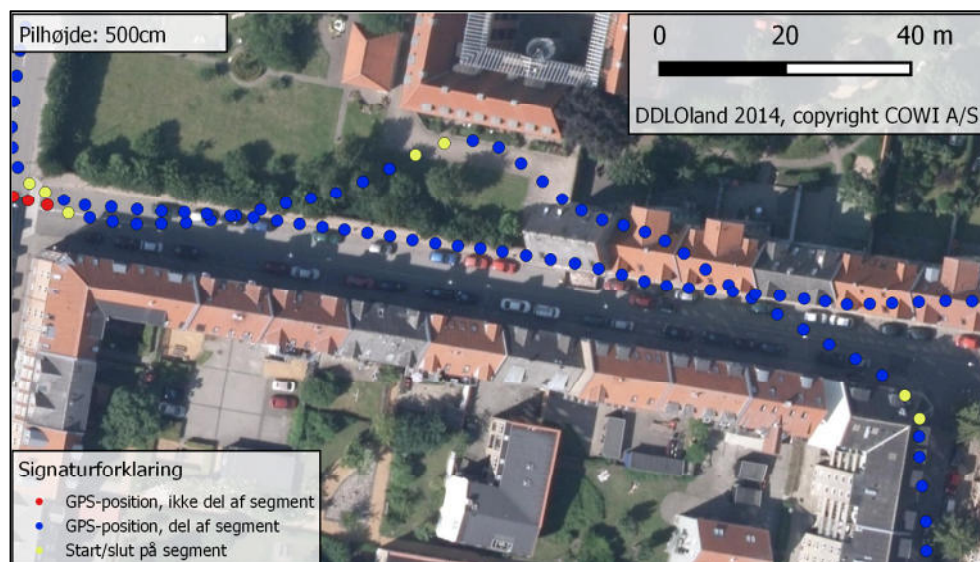
Figur 11.6 viser opnåede segmenter ved løb i et område med dårlige GPS-forhold. I dette område resulterer en pilhøjde på 1m i mange korte segmenter og manglende registrering af segmenter i områder, hvor der er løbet ligeud. Derfor vurderes, som ved løb i området med gode GPS-forhold, at en pilhøjde på 1m er for lille.

Pilhøjder på hhv. 3m og 5m identificerer overordnet set de steder, der er løbet ligeud. Sammenlignes resultaterne fra de to pilhøjder med hinanden, er det vanskeligt at afgøre, hvilken pilhøjde der giver de mest retvisende segmenter. En pilhøjde på 5m giver generelt set længere segmenter, hvor der er løbet ligeud, hvilket taler for, at dette er en bedre pilhøjde end 3m. Det vurderes dog, at der accepteres for store sving, som lige så godt kunne have været den reelle løbne rute. Et eksempel herpå ses i det nordvestligste hjørne af figur 11.6. Derfor vurderer projektgruppen at en pilhøjde på 5m er for stor.



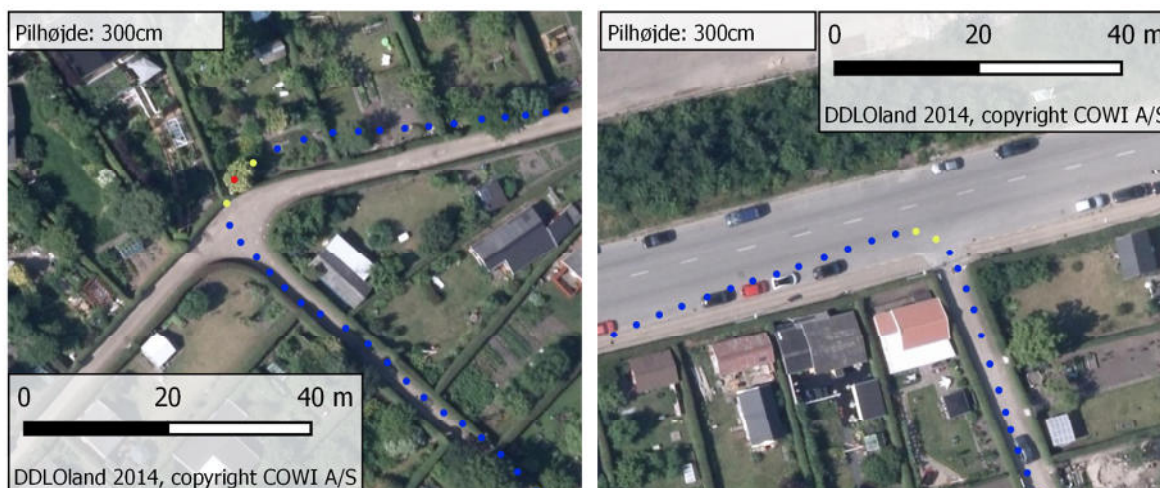
Figur 11.6: Identifikation af rette linjer i et område med dårlige GPS-forhold. Der er anvendt pilhøjder på hhv. 1m, 3m og 5m.

På figur 11.7 ses et udsnit for området med dårlige GPS-forhold. I dette udsnit registreres der segmenter – når der anvendes en pilhøjde på hhv. 3 og 5m – til trods for at GPS-positionerne afviger relativt meget fra den reelle løberute. Som det fremgår af figur 6.10 bliver GPS-positionerne i dette område oplyst til at have en dårlig nøjagtighed (10m eller derover), og GPS-positionerne bliver derfor senere frasorteret (hvilket beskrives i afsnit 11.2). Det er således ikke et problem, at algoritmen identificerer en ret linje ud fra GPS-positionerne.



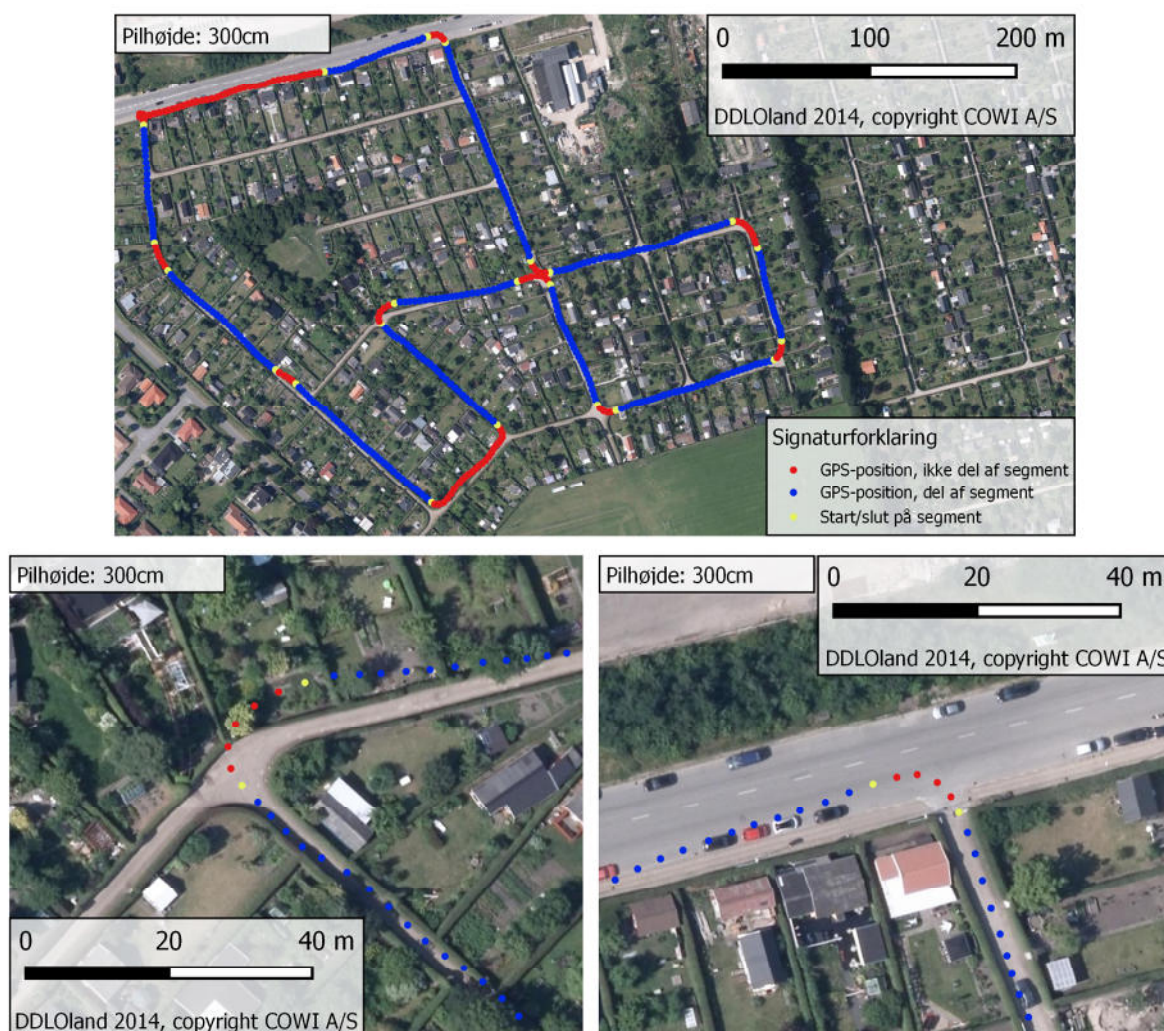
Figur 11.7: Område hvor der identificeres en ret linje, til trods for at GPS-positionerne afviger relativt meget fra den reelle løberute.

Når der drejes i et sving, er der, som beskrevet i afsnit 6.3.2, en forsinkelse på registreringen af svinget jævnfør GPS-positionerne. Dette medfører, at de beregnede segmenter bliver for lange i forhold til, hvordan der reelt er løbet. Eksempler på dette ses på figur 11.8.



Figur 11.8: Eksempler på for lange segmenter grundet forsinkelse på registrering af sving jævnfør GPS-positionerne. Eksemplerne stammer fra test af GPS-modtageren under gode forhold foretaget i afsnit 6.3.2.

For at undgå at segmenterne bliver for lange inden hvert sving, vælges det at afkorte hvert fundet segment med de 2 sidste GPS-positioner. Desuden er der en tendens til, at det næstkommende segment, efter et sving, starter i selve svinget. Derfor afkortes hvert fundet segment ligeledes med de 2 første GPS-positioner. Minimumslængden på et segment (50m) ændres tilsvarende således, at det er det afkortede segment, der skal være minimum 50m. Eksempler på resultatet heraf ses på figur 11.9.



Figur 11.9: Eksempler på opnåede segmenter med en pilhøjde på 3m og med afkortning af hvert segment ved segmentets start og slutning.

På baggrund af den opnåede erfaring fra undersøgelserne i dette afsnit, vurderes det, at en pilhøjde på 3m giver de mest retvisende segmenter. Udover det der er beskrevet i dette afsnit, er der foretaget lignende undersøgelser af, hvilke resultater der opnås med andre pilhøjder samt yderligere data. Disse undersøgelser underbygger at en pilhøjde på 3m giver retvisende lige segmenter. Når samtlige kriterier i algoritmen er indarbejdet, kan der eventuelt eksperimenteres med andre pilhøjder for at undersøge, hvilken indflydelse dette har på resultatet.

11.1.3 Flowdiagram til metode 1

For at få et overblik over processerne i den udviklede algoritme, der identificerer rette linjer ud fra GPS-positionerne, præsenteres i dette afsnit et flowdiagram over den udviklede algoritme. Flowdiagrammet ses på figur 11.10, og i det følgende beskrives algoritmen. Algoritmen er tiltænkt at fungere i realtid, og behandler derfor data som om det indsamles i realtid, selvom det i projektet først indlæses i algoritmen efter alt data er indsamlet. Det viste flowdiagram er overordnet og viser således ikke samtlige trin og beregninger. Der vises f.eks. ikke, hvordan pilhøjder beregnes. Disse beregninger er ikke medtaget, idet det vurderes, at de vil forvirre mere end de gavner. Hvis det ønskes at se samtlige trin og beregninger, henvises der til den endelige algoritme, der ses på bilag 1 og bilagsDVD G-1.

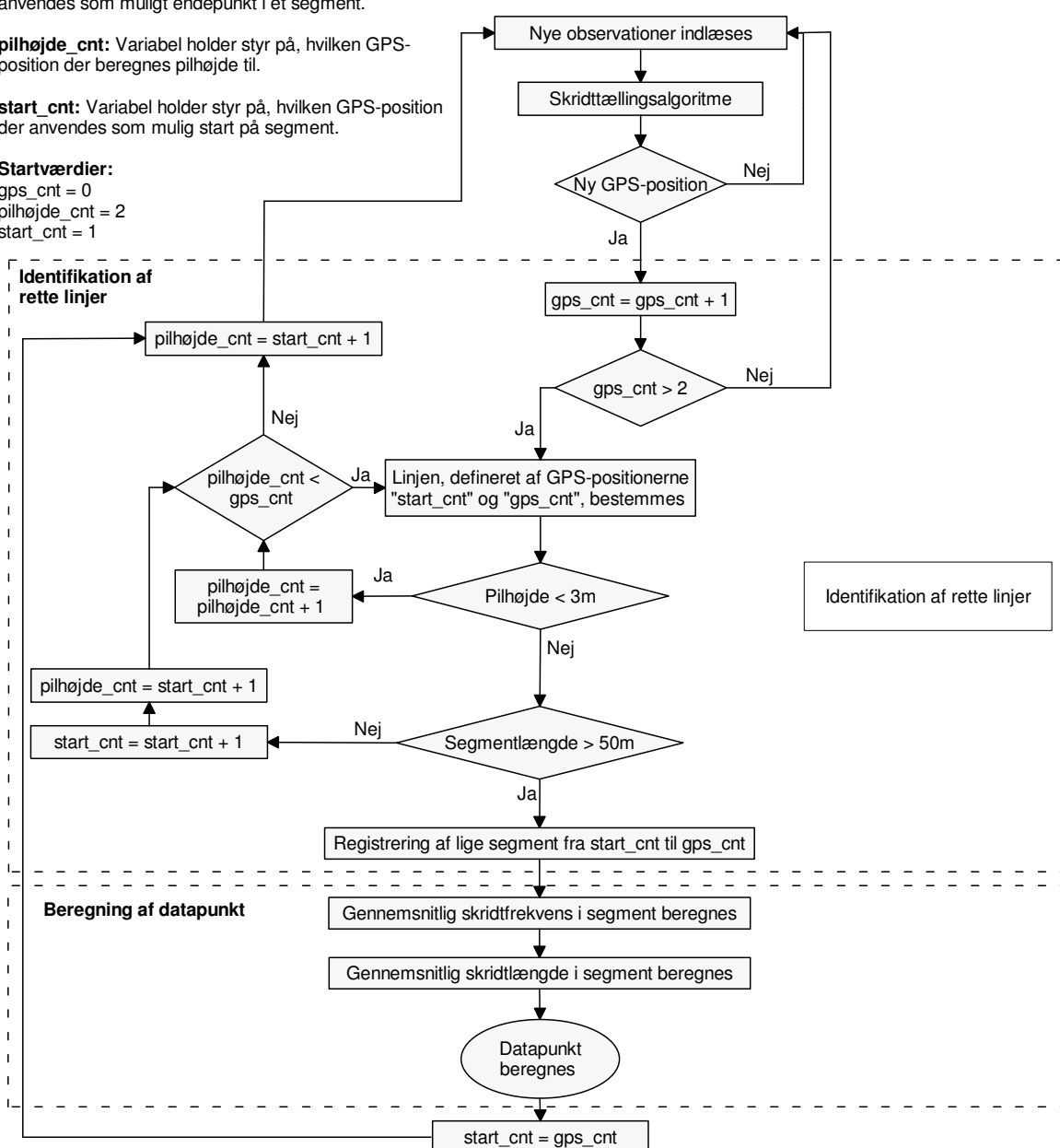
gps_cnt: Variabel holder styr på, hvor mange gps-positioner der er indlæst, samt hvilken GPS-position der anvendes som muligt endepunkt i et segment.

pilhøjde_cnt: Variabel holder styr på, hvilken GPS-position der beregnes pilhøjde til.

start_cnt: Variabel holder styr på, hvilken GPS-position der anvendes som mulig start på segment.

Startværdier:

gps_cnt = 0
pilhøjde_cnt = 2
start_cnt = 1



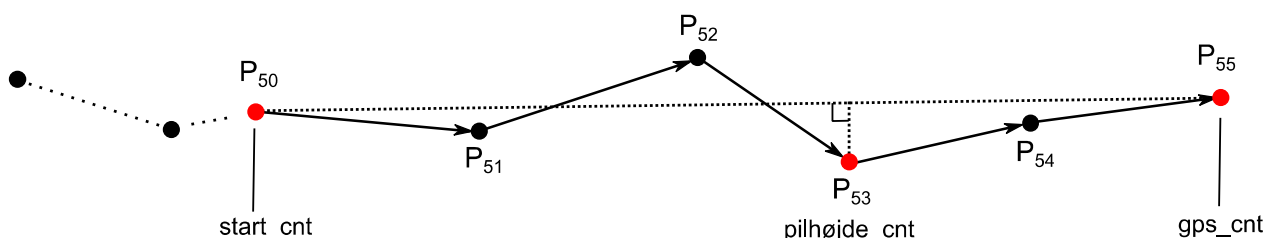
Figur 11.10: Flowdiagram over algoritmen til identifikation af lige segmenter.

Algoritmen starter med at indlæse nye observationer. Nye observationer kan bestå af accelerationer (til skridttælling) og GPS-positioner samt tilhørende tidsstempler. Accelerationer indsamles med en frekvens på 100Hz, mens GPS-positioner indsamles med en frekvens på 1Hz.

Når der indlæses nye accelerationer aktiveres skridttællingsalgoritmen, der blev udviklet i det tidligere projekt (Mogensen, 2015). Skridttællingsalgoritmen estimerer antallet af skridt og skridtfrekvensen, der senere anvendes til beregning af gennemsnitlig skridtfrekvens og skridtlængde i et segment⁸.

Når der indlæses en ny GPS-position, påbegyndes undersøgelsen af, om GPS-positionen kan anses for at være en del af en ret linje.

Ved identifikationen af rette linjer opereres der med tre centrale variabler: *gps_cnt*, *pilhøjde_cnt* og *start_cnt*. *Gps_cnt* tæller antallet af GPS-positioner og holder styr på, hvilken GPS-position der anvendes som muligt endepunkt i et segment. *Pilhøjde_cnt* holder styr på, hvilken GPS-position der beregnes pilhøjde til. *Start_cnt* holder styr på, hvilken GPS-position der anvendes som muligt startpunkt i et segment. Pilhøjden beregnes i forhold til linjen, der defineres af GPS-positionerne *start_cnt* og *gps_cnt*. Figur 11.11 viser et eksempel på anvendelsen af de tre variabler.



Figur 11.11: Eksempel der viser hvordan variablerne *start_cnt*, *pilhøjde_cnt* og *gps_cnt* anvendes ved identifikation af rette linjer. De røde prikker repræsenterer de tre variabler. I det viste eksempel er *start_cnt* = 50, *pilhøjde_cnt* = 53 og *gps_cnt* = 55.

Når linjen er bestemt og pilhøjden beregnet, kontrolleres om pilhøjden er mindre end 3m. Hvis dette kriterie opfyldes stiger *pilhøjde_cnt* med én, således at der beregnes pilhøjde til næste GPS-position. Hvis *pilhøjde_cnt* "indhenter" *gps_cnt*, således at *pilhøjde_cnt* ikke længere er mindre end *gps_cnt*, genstartes *pilhøjde_cnt*, således den er én større end *start_cnt*. Derefter indlæses nye observationer, *gps_cnt* stiger med 1, og beregningen af om pilhøjden er mindre end 3m for alle positionerne imellem *start_cnt* og *gps_cnt* startes forfra igen.

Hvis pilhøjden er større end 3m, kontrolleres om segmentlængden er mindre eller større end 50m. Hvis segmentlængden er mindre end eller lig med 50m stiger *start_cnt* med én og *pilhøjde_cnt* nulstilles, således den er én større end *start_cnt*. Hvis segmentlængden derimod er større end 50m, registreres et nyt segment, hvor GPS-positionerne anses for at ligge på en ret linje.

På baggrund af det lige segment kan der efterfølgende beregnes en gennemsnitlig skridtfrekvens og skridtlængde, hvilket tilsammen udgør et datapunkt til kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Når et nyt datapunkt er registreret sættes *start_cnt* til *gps_cnt* og *pilhøjde_cnt* sættes til at være én større end *start_cnt*, hvorefter der indlæses nye observationer.

⁸ Et flowdiagram for skridttællingsalgoritmen udviklet i det tidligere projekt (Mogensen, 2015) kan ses i bilag 2.

I de efterfølgende afsnit implementeres yderligere kriterier for, hvornår der registreres et segment, og i afsnit 11.5 beskrives, hvordan den gennemsnitlige skridtfrekvens og skridtlængde beregnes, således et datapunkt kan bestemmes.

11.1.4 Opsamling på identifikation af rette linjer

I afsnit 11.1.2 er det beskrevet, hvordan der søges efter GPS-positioner, der kan anses for at ligge på en ret linje. Den udviklede metode er testet med forskellige pilhøjder, og herudfra er det vurderet, at en pilhøjde på 3m giver de mest retvisende segmenter, idet der opnås forholdsvis lange lige segmenter, uden at der tillades for store sving grundet en stor pilhøjde.

Ved sving er der en tendens til en forsinkelse i registreringen af svinget jævnfør GPS-positionerne. Dette medfører at segmenterne bliver for lange ved anvendelse af metoden til identifikation af lige segmenter. Derfor afkortes segmenterne med de to sidste GPS-positioner. Desuden er der en tendens til at et segment starter og slutter midt i et sving. Derfor afkortes segmenterne ligeledes med de to første GPS-positioner i et segment. De afkortede segmenter skal være mindst 50m for at segmentet registreres og anvendes til kalibrering. I afsnittet er der således udviklet en algoritme til identifikation af rette linjer. Følgende kriterier skal være opfyldt for at der registreres et segment:

- $Pilhøjde < 3m$
- $Segmentlængde \text{ (afkortet med de to første og sidste positioner)} > 50m$

11.2 Frasortering af GPS-positioner med dårlig estimeret nøjagtighed

I afsnit 6.3.2 er det vist, at der i områder hvor den oplyste nøjagtighed, jævnfør *CLLocation*, er 10m eller dårligere, typisk er områder, hvor GPS-positionen afviger fra den reelle position. Derfor blev det valgt, at disse GPS-positioner ikke skal anvendes til beregning af distancer til kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Dvs. at følgende kriterie skal være opfyldt for, at en GPS-position anvendes i et segment:

$$\text{Oplyst plan nøjagtighed} < 10m$$

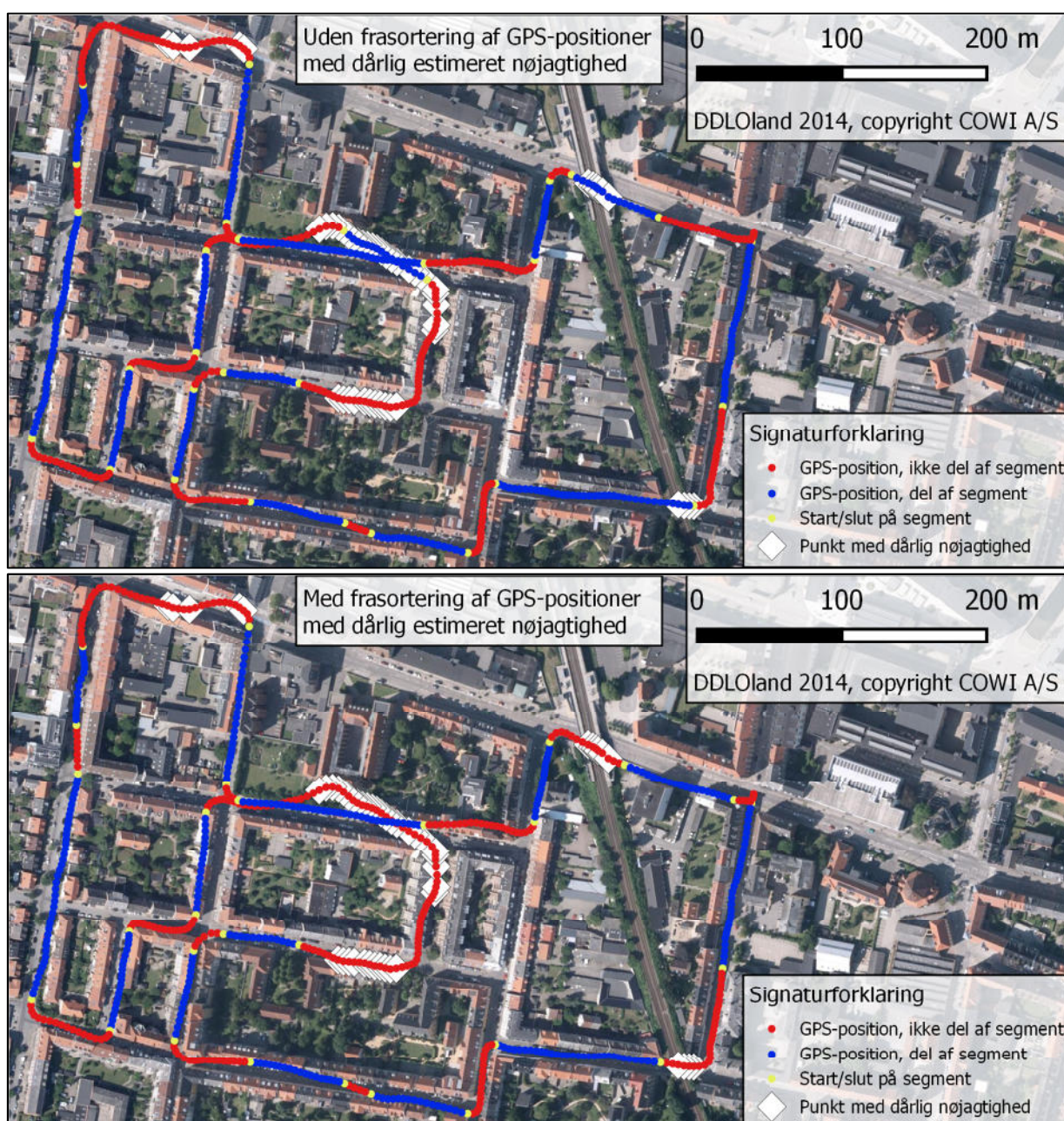
I algoritmen indbygges dette kriterie ved at kontrollere om nøjagtigheden på alle GPS-positionerne i et potentielt segment er bedre end 10m. Dette sker ved at undersøge om alle mellempunkterne (*pilhøjde_cnt*) er mindre end 10m (se evt. figur 11.11). Hvis kriteriet opfyldes til hver GPS-position, anses de som værende egnede til at indgå i et segment. Hvis blot én af GPS-positionerne har en oplyst nøjagtighed på 10m eller derover, identificeres der ikke et segment, medmindre segmentlængden er over 50m. De to første og sidste positioner frasorteres i et segment jf. identifikation af rette linjer (se evt. afsnit 11.1.2), hvorfor det ikke er nødvendigt at kontrollere om *start_cnt* og *gps_cnt* har en oplyst nøjagtighed på 10m eller derover.

For at undersøge om implementeringen af dette kriterie virker, testes algoritmen i området med dårlige GPS-forhold fra afsnit 6.3.2. Figur 11.12 viser identificerede segmenter **uden** og **med** kriteriet om frasortering af GPS-positioner med en estimeret nøjagtighed på 10m eller derover. I området i midten af figur 11.12, hvor der er flere unøjagtige GPS-positioner, identificeres et segment, når kriteriet **ikke** implementeres i algoritmen. Efter implementering af kriteriet, identificeres der derimod ikke et segment.

Dermed frasorteres GPS-positioner, der afviger væsentligt fra den reelle løberute, således de ikke anvendes til beregning af et datapunkt.

I den østlige del af ruten gennemskæres området af en jernbane i nord/sydlig retning. Denne jernbane blev der løbet under ved forsøget. Når der er løbet under jernbanen, er der registreret unøjagtige GPS-positioner. Derfor bliver disse positioner ligeledes ikke anvendt efter implementering af kriteriet.

På baggrund af ovenstående vurderes det, at implementeringen af kriteriet fungerer efter hensigten, idet der ikke identificeres segmenter med GPS-positioner, som har en oplyst dårlig nøjagtighed.



Figur 11.12: Øverst: Identificerede segmenter **uden** frasortering af GPS-positioner med en oplyst nøjagtighed på 10m eller derover. Nederst: Identificerede segmenter **med** frasortering af GPS-positioner med en oplyst nøjagtighed på 10m eller derover.

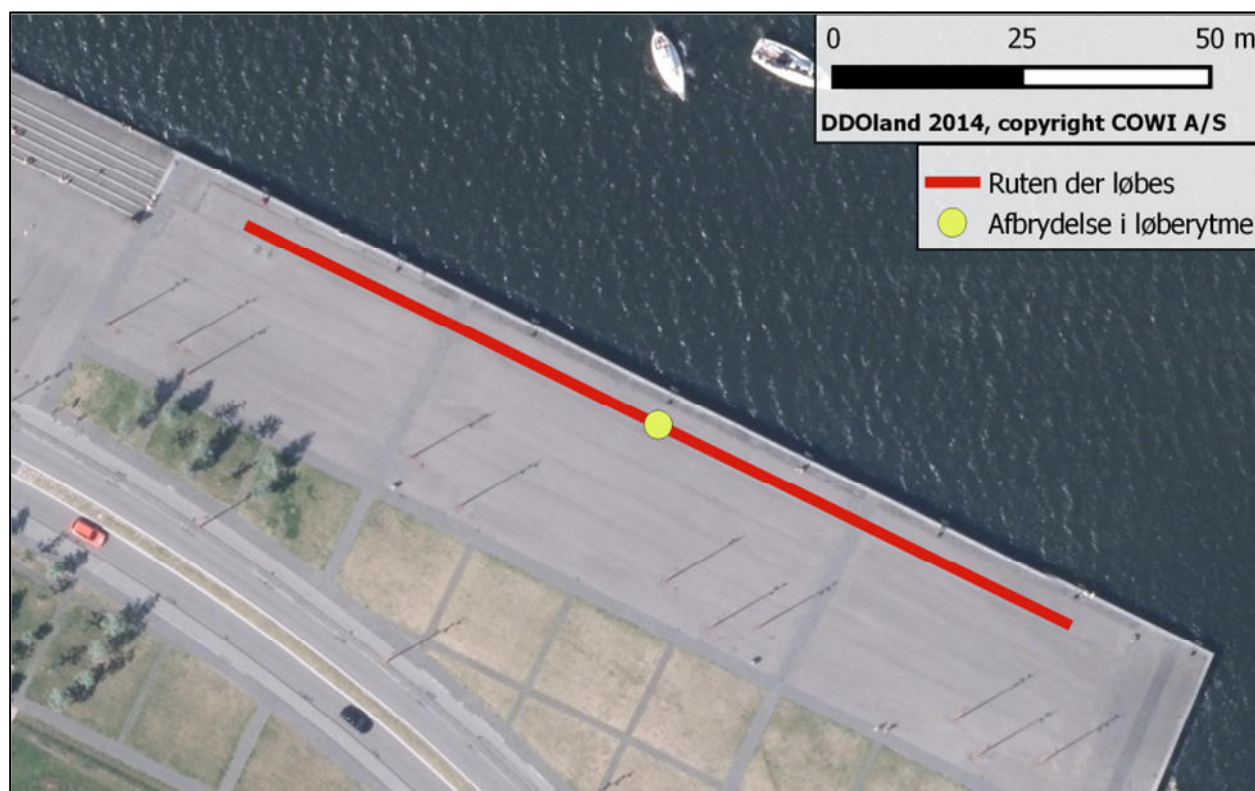
11.3 Identifikation af segmenter med ensartet skridtfrekvens

I dette afsnit undersøges, hvordan skridtfrekvensen påvirkes af forskellige afbrydelser i løbertymen. Her betegnes afbrydelser i løbertymen som skift fra normalt løb til stop, gang, meget langsomt løb, hop eller lignende. Sådanne afbrydelser forventes at påvirke løbestilen, således at den lineære sammenhæng mellem skridtfrekvens og skridtlængde ikke er gældende. Derfor ønskes det, at lokalisere sådanne problematiske områder, så der ikke oprettes segmenter med data herfra. De problematiske områder forventes at kunne lokaliseres ud fra en ændring i skridtfrekvensen.

Derfor er der udført forsøg, hvor det undersøges, hvordan skridtfrekvensen påvirkes af forskellige afbrydelser i løbertymen. Der er løbet i et område med jævnt underlag, der består af asfalt. Forsøget er gennemført ved Aalborg Havn ved at løbe den på figur 11.13 viste rute flere gange, og for hver gang ruten er løbet, er der indlagt en afbrydelse midt på ruten. Følgende afbrydelser i løbertymen er blevet testet:

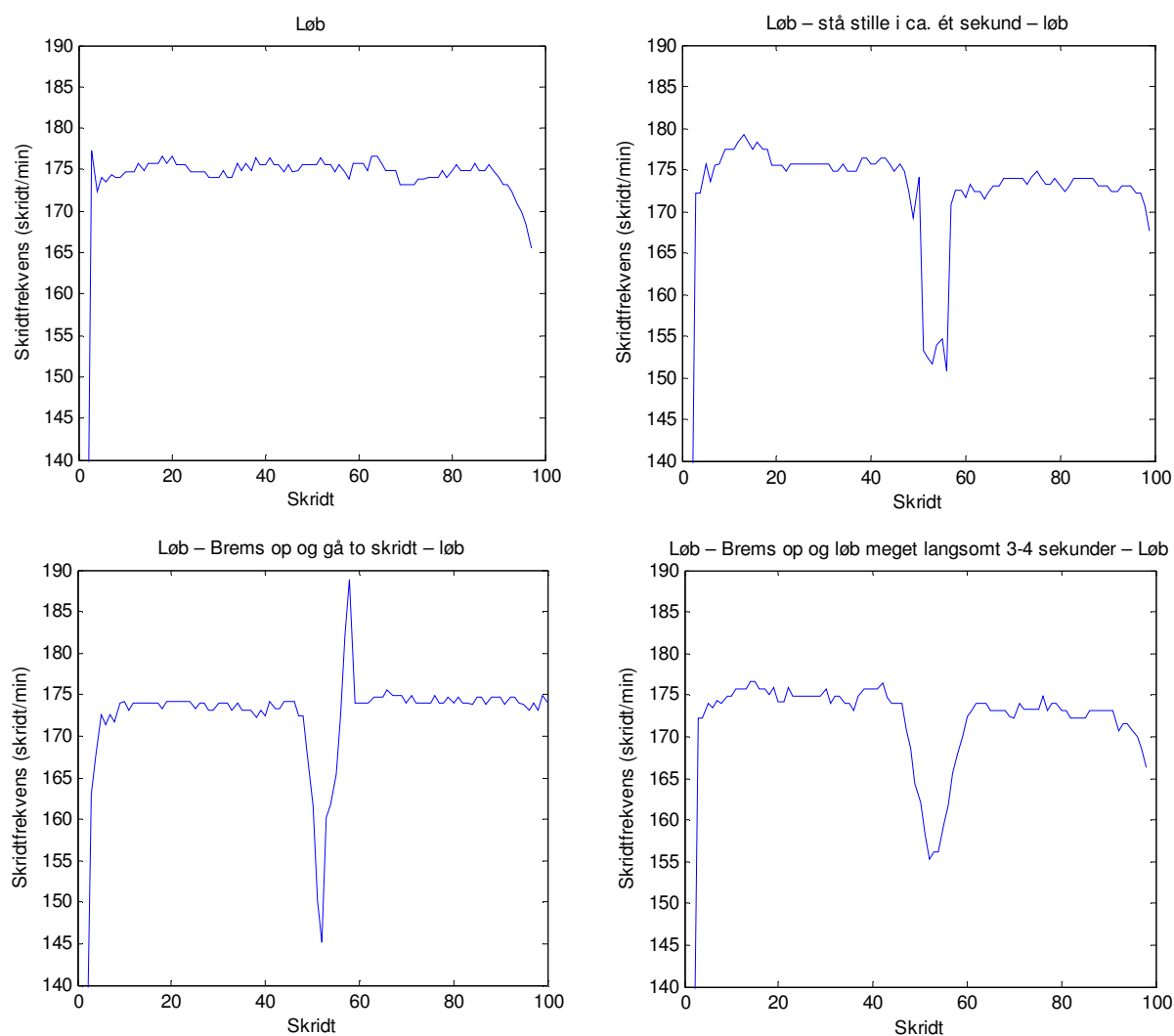
- Løb – stå stille i ca. ét sekund – løb
- Løb – Brems op og gå to skridt – løb
- Løb – Brems op og løb meget langsomt 3-4 sekunder – Løb

Hvert delforsøg er foregået således, at der løbes i normalt tempo hen mod den på figur 11.13 gule prik. Her foretages afbrydelsen i løbertymen, hvorefter der fortsættes i normalt tempo resten af ruten.



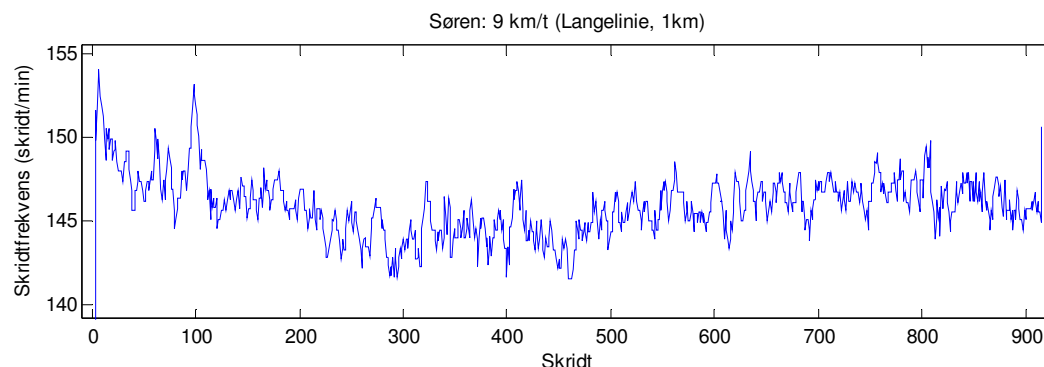
Figur 11.13: Rute til forsøg med afbrydelser i løbertymen. Midt på ruten foretages en afbrydelse i løbertymen. Ruten er ca. 120m.

Til hvert delforsøg er skridtfrekvensen til hvert skridt beregnet vha. skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015). Skridtfrekvensen er beregnet som et glidende gennemsnit (*moving average*) på baggrund af de seneste 6 skridt. Figur 11.14 viser skridtfrekvensen for hvert delforsøg og for en tur uden en afbrydelse.



Figur 11.14: Skridtfrekvens (beregnet som et glidende gennemsnit ud fra de seneste 6 skridt) ved forsøg med afbrydelser i løbertymen.

Af figuren fremgår det tydeligt, hvornår afbrydelsen indtræffer, idet skridtfrekvensen falder væsentligt. Hvert delforsøg er udført 3 gange og resulterer i en ændring af skridtfrekvensen på mindst 15 skridt/min. Ved delforsøget med løb uden en afbrydelse varierer skridtfrekvensen med ca. 5 skridt/min. Ses der på skridtfrekvensen fra forsøget på Langelinie varierer skridtfrekvensen generelt set ligeledes med 5 skridt/min. Dette fremgår af figur 11.15 og er desuden gældende for de øvrige løbeture på Langelinie. Plots af skridtfrekvens for forsøg på Langelinie ses på bilagsDVD mappe F.



Figur 11.15: Skridtfrekvens (beregnet som et glidende gennemsnit ud fra de seneste 6 skridt) ved forsøg på Langelinie

Derfor kan en afbrydelse i løbertymen i et potentielt segment identificeres ved at kontrollere, om forskellen mellem den højeste og den laveste skridtfrekvens, der er registreret i et potentielt segment, er større end 15 skridt/min. Dette implementeres i algoritmen ved at finde den maksimale og den minimale skridtfrekvens, der er registreret mellem GPS-positionerne `start_cnt` og `pilhøjde_cnt`. Hvis forskellen mellem den maksimale og den minimale skridtfrekvens overstiger 15 skridt/min, kontrolleres om det potentielle segment er længere end 50m (se eventuelt figur 11.18). Hvis det er længere end 50m, identificeres et segment (hvis øvrige kriterier overholdes), hvor udsvinget i skridtfrekvensen er segmentets stopkriterie. Hvis det potentielle segment ikke er længere end 50m, identificeres der ikke et segment.

Dvs. at følgende kriterie skal være opfyldt for, at der kan registreres et segment:

$$\text{maksimal skridtfrekvens} - \text{minimal skridtfrekvens} < 15 \text{ skridt/min}$$

hvor *maksimal skridtfrekvens* og *minimal skridtfrekvens* løbende beregnes på baggrund af samtlige skridt mellem GPS-positionerne `start_cnt` og `pilhøjde_cnt`.

Da skridtfrekvensen beregnes vha. et glidende gennemsnit på baggrund af de seneste 6 skridt, vil afbrydelser i løbertymen registreres med en forsinkelse på 3 skridt. I forbindelse med dette projekt og det tidligere projekt (Mogensen, 2015) er der ikke registreret løb med en skridtfrekvens på mindre end 140 skridt/min. Løb med denne skridtfrekvens svarer til at der går $\frac{60\text{sek}}{140\text{skridt/min}} = 0,43\text{sek/skridt}$.

Det vil sige at der går 1,29 sekunder pr 3 skridt. Da de to sidste GPS-positioner (svarende til 2 sekunder) i et segment frasorteres, jævnfør afsnit 11.1.2, giver forsinkelsen ikke anledning til problemer, idet der frasorteres skridt fra en længere periode end forsinkelsen fra det udregnede glidende gennemsnit.

11.4 Identifikation af fladt terræn

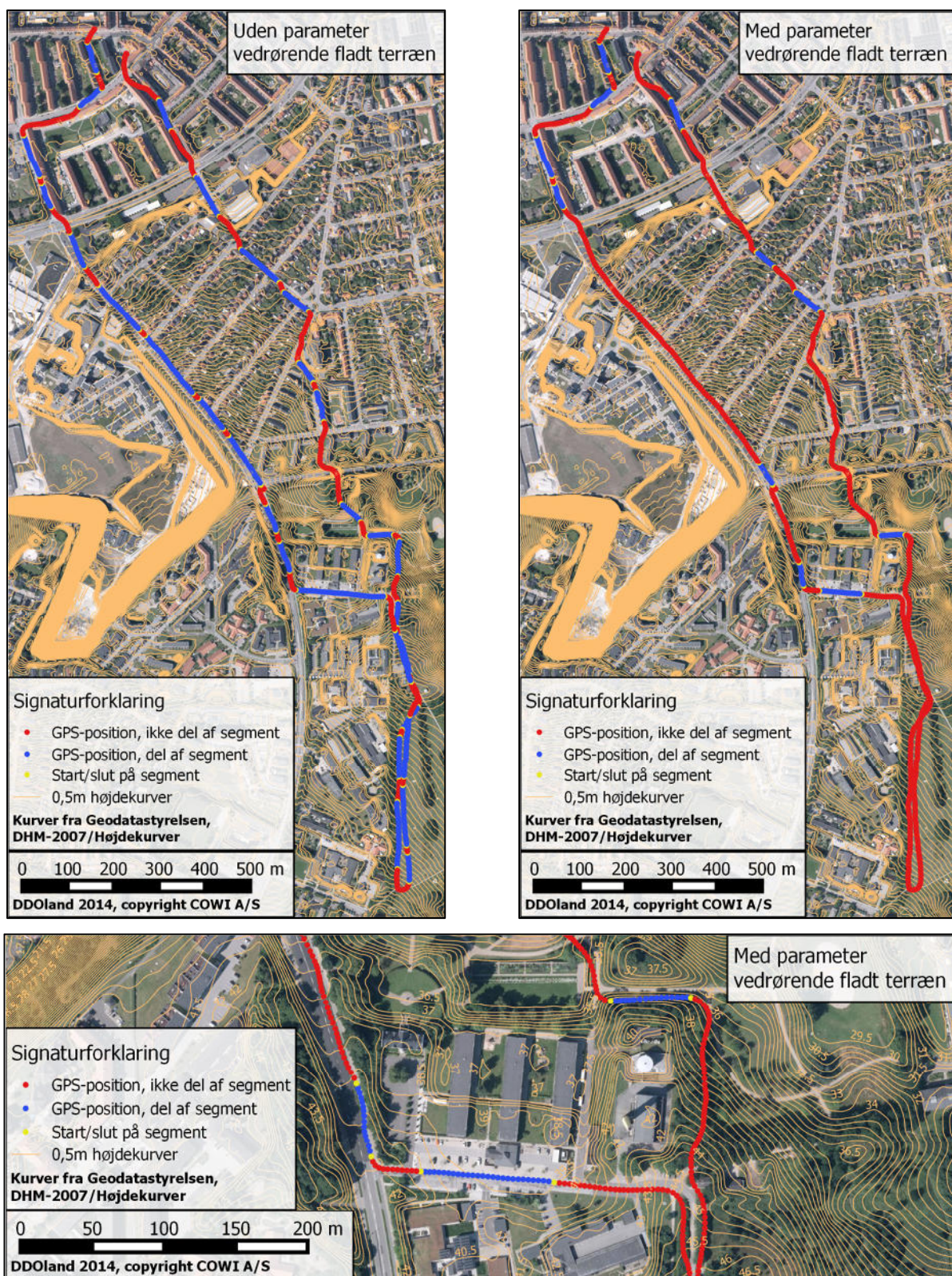
I kapitel 5, er det fundet at den lineære funktion, som beskriver sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens, forandres alt efter, om der løbes i fladt eller kuperet terræn. I kapitel 3.1 blev projektet derfor begrænset til at fokusere på fladt terræn. I afsnit 6.4 er det beskrevet, at barometeret er velegnet til at vurdere, om terrænet er fladt eller kuperet. I afsnittet er det fundet, at højdeændringer registreret med barometeret i fladt terræn maksimalt afviger med 1,0m fra højdeændringer registreret med RTK over en periode på 200 sekunder. For kuperet terræn er afvigelsen mellem registrerede højdeændringer fra hhv. RTK og barometeret på maksimalt 1,5m over en periode på 180 sekunder. Ud fra dette vurderes det, at det er muligt at bestemme, om et potentielt segment er fladt eller ej. Barometeraflæsninger inkorporeres i algoritmen på en sådan måde, at hvis differencen imellem de relative højder fra barometeret er større end 1,0m i et potentielt segment, anses det for at være kuperet. Følgende kriterie skal således være opfyldt, for at et potentielt segment kan anses for at være fladt og hermed kan anvendes som et segment:

$$\text{maksimal højde} - \text{minimal højde} < 1,0\text{m}$$

Kriteriet indbygges i algoritmen ved, at der i algoritmen søges efter den maksimale og minimale højde fra et potentielt segments start (start_cnt) og frem til den nyeste beregnede GPS-position (gps_cnt). Når minimumsværdien trækkes fra maksimumsværdien, skal resultatet være under 1,0m, for at et segment anses for at være fladt og derfor kan anvendes til kalibreringen af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. En illustration af variablerne kan eventuelt ses på figur 11.11.

For at undersøge resultatet af implementeringen af dette kriterie, udføres test af algoritmen. Algoritmen testes først i et kuperet terræn for at teste, om der frasorteres potentielle segmenter som følge af, at højdekriteriet overskrides. Herefter testes kriteriet i et terræn, der anses for at være fladt, for at undersøge om kriteriet resulterer i, at der frasorteres segmenter, som ikke bør frasorteres. Til at vurdere om terrænet er fladt eller kuperet, er der anvendt højdekurver fra Geodatastyrelsen.

På figur 11.16 ses en løbetur, hvor det meste af turen er foregået i kuperet terræn. Inden der indføres et kriterie om, at forskellen på den relative højde i et potentielt segment ikke må overstige 1,0m, findes der mange segmenter i det kuperede terræn. Efter at kriteriet indføres, fjernes de fleste af segmenterne, da de ikke længere opfylder kriteriet. Nederst på figur 11.16 ses et udsnit af løbeturen efter, at kriteriet er indført. Her kan det ses, at de tre fundne segmenter stemmer overens med 0,5m-højdekurverne fra GST. Projektgruppen vurderer ud fra testen, at kriteriet tilfredsstillende frasorterer potentielle segmenter indeholdende kuperet terræn.



Figur 11.16: På figuren ses et før og efter billede af segmenter identificeret af algoritmen. Til venstre er den hidtidige algoritme. Til højre er der indført en parameter, så højdeforskellen inden for et potentielt segment, jf. barometeret, ikke må overskride en grænse på 1,0m. Nederst ses et udsnit af ruten med parameteren implementeret for at give et mere detaljeret billede af, om terrænet er fladt eller kuperet, de steder hvor der findes segmenter.

For at kontrollere at der ikke frasorteres segmenter i fladt terræn, foretages endnu en undersøgelse. På figur 11.17, ses et gennemløb i fladt terræn. Øverst ses de steder som algoritmen identificerer som velegnede segmenter inden højdekriteriet indføres. Nederst ses den samme rute efter højdekriteriet indføres. Der ses ingen forskel, hvorfor projektgruppen vurderer, at implementeringen af det nye kriterie ikke resulterer i, at der frasorteres data, der ikke bør frasorteres.



Figur 11.17: På figuren ses et før og efter billede af segmenter identificeret af algoritmen. Øverst er den hidtidige algoritme. Nederst er der indført en parameter så højdeforskellen inden for et potentielt segment, jf. barometeret, ikke må overskride en grænse på 1,0m.

11.5 Beregning af datapunkt til segment

Ud fra kriterierne beskrevet i afsnit 11.1-11.4 identificerer algoritmen segmenter, der anses som værende egnet til beregning af datapunkter, der kan beskrive sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Det vil sige, at algoritmen automatisk identificerer, hvilket data, der skal anvendes til kalibreringen af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. I dette afsnit beskrives, hvordan der beregnes datapunkter på baggrund af dataene fra hvert segment.

Et datapunkt består af en estimeret skridtlængde og en estimeret skridtfrekvens og beregnes til hvert segment, algoritmen identificerer. Det vil sige, at der til hvert segment skal estimeres en skridtlængde og en skridtfrekvens.

11.5.1 Beregning af skridtfrekvens til datapunkt

Et segment beregnes ud fra GPS-positioner. Derfor starter og slutter et segment altid i en GPS-position. Skridt registreres derimod uafhængigt af GPS-positioner. Derfor er der et synkroniseringsproblem med registrering af skridt og GPS-positioner i et segment. Hvis antallet af skridt i et segment divideres med tidsforskellen imellem den første GPS-position i et segment og den sidste GPS-position i et segment, giver dette således problemer, idet der opereres med hele antal skridt. For at tage højde for dette beregnes skridtfrekvensen vha. en anden metode, hvor der opereres med decimaler ved beregningen af skridtfrekvensen. Beregningen af skridtfrekvens foregår vha. følgende beregninger.

Skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015) beregner en "rå" skridtfrekvens til hvert eneste skridt vha. følgende ligning:

$$r\grave{a}_skridtfrekvens(k) = \frac{1 \text{ skridt}}{tid(k) - tid(k - 1)}$$

hvor (k) angiver det nuværende skridt og $(k - 1)$ angiver det foregående skridt,
 $tid(k)$ angiver tiden til det nuværende skridt, og $tid(k - 1)$ angiver tiden til det foregående skridt.

Skridtfrekvensen til et datapunkt beregnes som gennemsnittet af de "rå" skridtfrekvenser til hvert skridt i et segment vha. følgende ligning:

$$skridtfrekvens_segment = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n r\grave{a}_skridtfrekvens(j)$$

hvor $skridtfrekvens_segment$ er den gennemsnitlige skridtfrekvens i et segment,
 n er antallet af skridt i et segment,
 j er skridtnummeret i et segment.

11.5.2 Beregning af skridtlængde til datapunkt

Til beregning af skridtlængde gælder samme synkroniseringsproblemer som ved beregning af skridtfrekvens. Derfor vælges det ikke at operere med hele antal skridt i beregningen. Antallet af skridt i et segment beregnes i stedet ud fra følgende ligning:

$$antal_skridt_i_segment = skridtfrekvens_segment \cdot tid_i_segment$$

hvor $tid_i_segment$ er tidsforskellen imellem tidsstempet til den første GPS-position i et segment og tidsstempet til den sidste GPS-position i et segment.

Segmentlængden beregnes som den direkte afstand imellem den første og sidste GPS-position i et segment. Årsagen til at der vælges at beregne den direkte afstand, er at hvert segment anses som værende en ret linje efter implementeringen af kriteriet vedr. identifikation af rette linjer (afsnit 11.1.2). I projektet arbejdes der med kortprojektion UTM32/ETRS89, og afstanden mellem GPS-positioner er således påvirket af en afstandsafhængig fejl, da der i projektet ikke foretages afstandskorrektion. Projektgruppen vurderer, at størrelsen på den afstandsafhængige fejl er uden betydning sammenlignet med fejl på GPS-positionerne, idet et segments længde typisk er mellem 50 og 200m.

Den gennemsnitlige skridtlængde til segmentet beregnes efterfølgende vha. følgende ligning:

$$\textit{skridtlængde_segment} = \frac{\textit{segmentlængde}}{\textit{antal_skridt_i_segment}}$$

Dermed beregner algoritmen både den gennemsnitlige skridtfrekvens og den gennemsnitlige skridtlængde til hvert segment. Disse to værdier udgør tilsammen et datapunkt for hvert segment, der skal anvendes til den automatiske kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Et datapunkt defineres således som følgende:

$$\textit{datapunkt} = (\textit{skridtfrekvens_segment} , \textit{skridtlængde_segment})$$

11.6 Opsamling på segmentering

Igennem dette kapitel er det beskrevet, hvorledes der er udviklet en algoritme, der er i stand til at identificere lige segmenter og beregne datapunkter, der er egnede til at bestemme sammenhængen mellem skridtlængden og skridtfrekvensen. Til at identificere lige segmenter, er der i afsnit 11.1.1 valgt en metode, der undersøger afstanden mellem en linje (defineret af et segments start- og slutpunkt) og mellempunkterne. Afstanden mellem linjen og et mellempunkt kaldes for en pilhøjde. Pilhøjde-tærsklen er fastsat til 3m ud fra undersøgelser foretaget i afsnit 11.1.2. Efter at have valgt en metode til at identificere lige segmenter, er det i afsnit 11.1.2 undersøgt, hvorledes der kan tages højde for, at sving registreres for sent grundet Apples filtrering af GPS-positionerne. Denne problemstilling er løst ved at frasortere de to første og sidste GPS-positioner i et segment. I afsnit 10.2 er det desuden vurderet, at længden på et segment ikke bør være under 50m.

På baggrund af ovenstående er der udviklet en algoritme til identifikation af rette linjer. Denne algoritme er blevet præsenteret igennem et flowdiagram i afsnit 11.1.3. I de efterfølgende afsnit er beskrevet yderligere parametre, der bliver tilføjet som kriterier i algoritmen.

Først er der i afsnit 11.2 indført et kriterie, der stiller krav til, hvor god den estimerede nøjagtighed til en GPS-position skal være. I gennem denne parameter fjernes således alle potentielle segmenter, der indeholder GPS-positioner med dårlig oplyst nøjagtighed. I afsnit 6.3.2, er det fundet at GPS-positioner med en estimeret plan nøjagtighed på 10m eller derover ikke bør anvendes, hvilket er den grænse, som indføres i algoritmen.

Efter at have fundet lige segmenter, hvor GPS-positioner med dårlig estimeret nøjagtighed er frasorteret, er skridtfrekvensen undersøgt i afsnit 11.3. I gennem forsøg er det undersøgt, om der ud fra skridtfrekvensen kan registreres forskellige afbrydelser i løbertymen i et potentielt segment. Desuden er det testet, hvor meget skridtfrekvensen varierer i segmenter løbet under gode forhold for at afklare, hvor meget denne kan variere under gode forhold. Ud fra en vurdering af hvor meget skridtfrekvensen kan variere under gode forhold, og hvor meget skridtfrekvensen ændres ved afbrydelser i løbertymen, er der fastlagt en grænse for, hvor meget skridtfrekvensen maksimalt må variere i et segment. Den fastlagte grænse er sat til en forskel på 15skridt/min mellem den maksimale og minimale skridtfrekvens i et segment.

I afsnit 5.2 er det fundet, at sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens er forskellig, alt efter om der løbes i fladt eller kuperet terræn. I afsnit 6.4 er det testet, om barometret er i stand til at skelne mellem fladt og kuperet terræn. Her er det fundet at barometret kan bestemme om terrænet er fladt indenfor 1m. Projektgruppen betragter derfor segmenter, hvor forskellen mellem den maksimale og minimale højde er under 1m, som værende vandrette segmenter. Ud fra denne betragtning er det undersøgt, om det vha. dette kriterie er muligt at frasortere data indsamlet i områder, hvor der er løbet i kuperet terræn. Bagefter er det undersøgt, om den samme parameter fejlagtigt frasorterer områder med fladt terræn. Begge undersøgelser viser, at hvis den relative højde maksimalt må variere med 1m i et segment, frasorteres potentielle segmenter, som er løbet i kuperet terræn, korrekt, uden at der frasorteres segmenter, der er løbet i fladt terræn.

Efter disse kriterier er blevet opsat, er det beskrevet, hvorledes algoritmen udregner datapunkter på baggrund af den gennemsnitlige skridtlængde og skridtfrekvens for de fundne segmenter. Et datapunkt bliver således beskrevet som: $\text{datapunkt} = (\text{skridtfrekvens_segment}, \text{skridtlængde_segment})$.

Alle disse parametre giver tilsammen en videreudviklet algoritme, som er i stand til at bestemme datapunkter, der beskriver sammenhængen imellem skridtlængde og skridtfrekvens.

11.6.1 Flowdiagram over algoritmen til segmentering

I afsnit 11.1-11.5 er der indført en række nye kriterier, og det er beskrevet, hvorledes et datapunkt beregnes. Dette er bygget ind i algoritmen fra afsnit 11.1.3, figur 11.10. Et flowdiagram over den videreudviklede algoritme kan ses på figur 11.18. Flowdiagrammet er, som ved det første flowdiagram, overordnet og beskriver således, hvorledes de enkelte kriterier indgår i algoritmen, men ikke hvorledes de specifikt beregnes. Hvis det ønskes at se samtlige trin og beregninger henvises der således til den endelige algoritme, der ses på bilag 1 og på bilagsDVD G-1.

Videreudviklingen af algoritmen har stadig samme udgangspunkt som algoritmen til identifikation af lige segmenter. Observationer indlæses således stadig med en frekvens på 100Hz og består altid af accelerometer-observationer. Dertil kommer GPS-positioner med en frekvens på 1Hz. Som noget nyt tilføjes også barometerobservationer med en frekvens på ca. 0,77Hz (pr. 1,3 sekund).

Hvorledes skridttællingsalgoritmen og identifikationen af rette linjer fungerer, er beskrevet i afsnit 11.1.3, og beskrives derfor ikke nærmere her.

Ved beregning af lige segmenter anvendes følgende variabler: *gps_cnt*, *pilhøjde_cnt* og *start_cnt*, hvor *start_cnt* angiver starten på et potentielt segment, *gps_cnt*, angiver den seneste GPS-position og det potentielle endepunkt på segmentet. *Pilhøjde_cnt* er en variabel, der altid "løber" imellem *start_cnt* og *gps_cnt*. Algoritmen, til at identificere lige segmenter, anvender *pilhøjde_cnt* til at kontrollere, om mellempunkterne i et potentielt segment ligger indenfor pilhøjde-tærsklen på 3m. Ved indførelsen af de tre nye kriterier i algoritmen, til beregning af datapunkter, anvendes de samme variabler.

Samtidig med at der udregnes en pilhøjde til GPS-positionen til *pilhøjde_cnt*, undersøges det også, om GPS-positionens estimerede plane nøjagtighed er under 10m. Hvis dette ikke er tilfældet, kontrolleres det, om segmentlængden er større end 50m. Hvis segmentlængden er større end 50m, registreres et nyt segment. Hvis segmentlængden derimod er mindre end eller lig med 50m stiger *start_cnt* med én og *pilhøjde_cnt* nulstilles, således den er én større end *start_cnt*. Den plane nøjagtighed for GPS-positionerne kontrolleres således ikke for det første og sidste punkt i et segment (*start_cnt* og *gps_cnt*). Men da de første og sidste to GPS-positioner frasorteres i forbindelse med identifikation af lige segmenter (jf. afsnit 11.1.2), er dette uden betydning.

Hvis den estimerede plane nøjagtighed er bedre end 10m, kontrolleres det, om der er en stabil skridtfrekvens i det potentielle segment. Dette kontrolleres ved at finde den højeste og den laveste skridtfrekvens fra *start_cnt* til og med *pilhøjde_cnt*. Herefter kontrolleres det, om forskellen mellem den laveste og den højeste skridtfrekvens er under 15skridt/min. Hvis dette ikke er tilfældet, kontrolleres det, om segmentlængden er større end 50m. Hvis segmentlængden er større end 50m, registreres et nyt segment. Hvis segmentlængden derimod er mindre end eller lig med 50m, stiger *start_cnt* med én og *pilhøjde_cnt* nulstilles, således den er én større end *start_cnt*.

Hvis intervallet i skridtfrekvensen er mindre end 15 skridt/min, kontrolleres det, om det potentielle segment er fladt (vandret) ifølge barometerobservationerne. Til hver GPS-position tilknyttes den nyeste observerede højde jævnfør barometeret. Da GPS-positionerne bliver indlæst med en frekvens på 1Hz og barometerobservationerne med kun 0,77Hz, vil den samme højde i nogle tilfælde blive tilknyttet to fortløbende GPS-positioner. Kriteriet om fladt terræn undersøges på samme måde som for stabil

skridtfrekvens. Der findes den maksimale og minimale registrerede højde imellem `start_cnt` og `pilhøjde_cnt`. Det kontrolleres, om forskellen mellem disse er mindre end 1m. Hvis dette ikke er tilfældet, kontrolleres det om segmentlængden er større end 50m. Hvis segmentlængden er større end 50m, registreres et nyt segment. Hvis segmentlængden derimod er mindre end eller lig med 50m stiger `start_cnt` med én og `pilhøjde_cnt` nulstilles, således den er én større end `start_cnt`.

Når der er registreret et segment fra `start_cnt` til `gps_cnt`, forkortes segmentet med de to første og sidste GPS-positioner. Til segmentet beregnes den gennemsnitlige skridtfrekvens og skridtlængde, som gemmes til et datapunkt. Desuden gemmes længden af segmentet som bliver anvendt i afsnit 12.1.

gps_cnt: Variabel holder styr på, hvor mange gps-positioner der er indlæst, samt hvilken GPS-position der anvendes som muligt endepunkt i et segment.

pilhøjde_cnt: Variabel holder styr på, hvilken GPS-position der beregnes pilhøjde til.

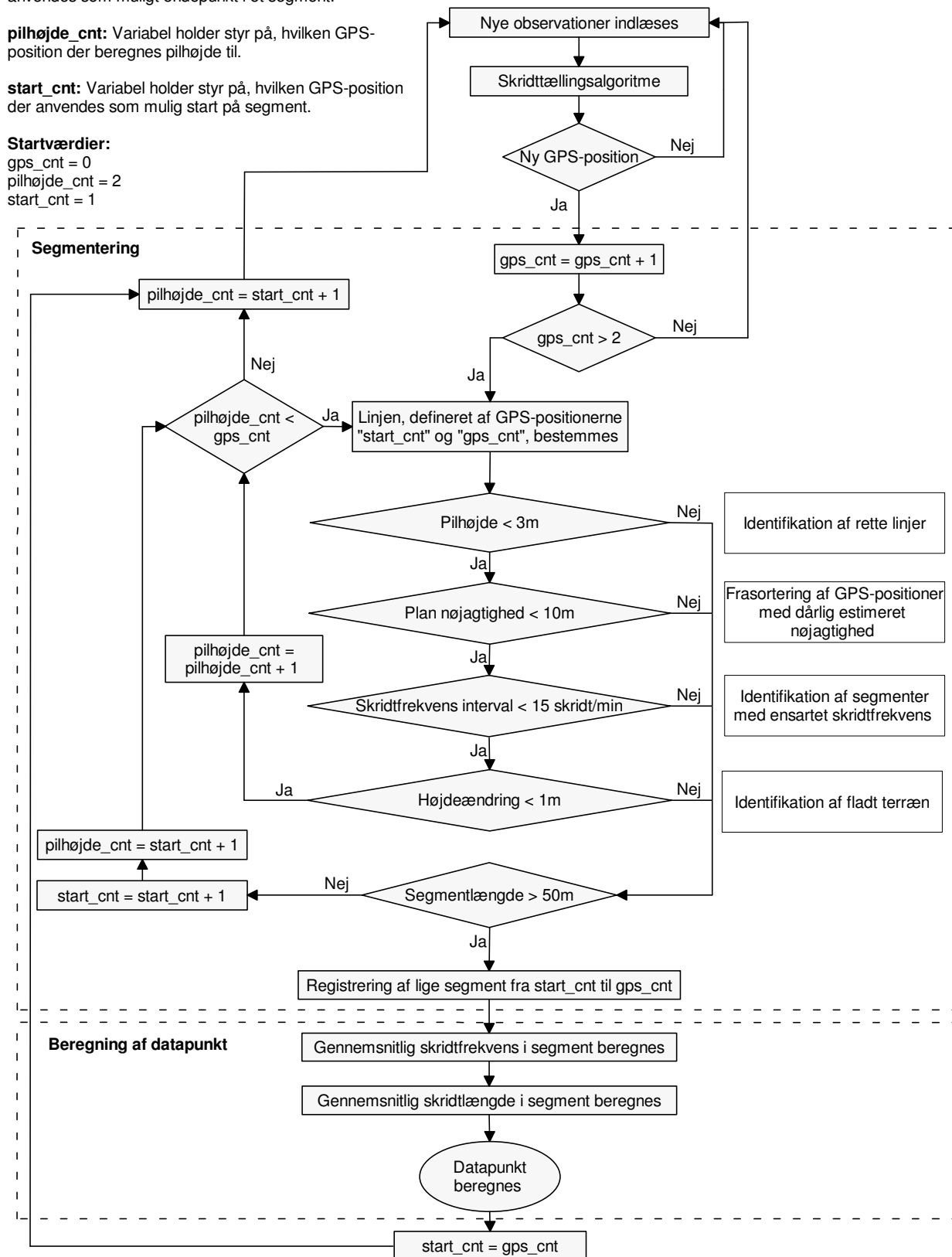
start_cnt: Variabel holder styr på, hvilken GPS-position der anvendes som mulig start på segment.

Startværdier:

gps_cnt = 0

pilhøjde_cnt = 2

start_cnt = 1



Figur 11.18: Flowdiagram over algoritmen til segmentering og beregning af datapunkter.

12 Kalibrering af skridtlængde

I kapitel 11 er beskrevet, hvordan algoritmen identificerer segmenter og på baggrund af data herfra beregner datapunkter (skridtfrekvens, skridtlængde), der anses som værende egnede til kalibrering af skridtlængden. I dette kapitel beskrives, hvordan de beregnede datapunkter anvendes til kalibrering af skridtlængden. Først beskrives, hvilken metode der anvendes til estimering af en bedste ret linje gennem datapunkterne, og hvordan datapunkterne vægtes i forhold til længden af segmentet, de er beregnet på baggrund af. Dernæst foretages tests af kalibreringsmetoden på baggrund af data fra forskellige løbeture. På baggrund af disse tests vælges, hvordan kalibreringen skal implementeres i algoritmen, hvilket efterfølgende beskrives. I afsnit 12.3.1 præsenteres den endelige algoritme til estimering af distance og fart og med en indbygget automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

12.1 Estimering af bedste rette linje

Skridtlængden kalibreres ved at estimere den lineære sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens for en person. Når sammenhængen er estimeret kan skridtlængden til hvert skridt estimeres ud fra skridtfrekvensen, der bestemmes af skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015).

I det tidligere projekt (Mogensen, 2015, s. 74) viser resultater, at skridttællingsalgoritmen tæller antallet af skridt korrekt ved gang, roligt løb, moderat løb og hurtigt løb, hvis der ses bort fra det første og sidste skridt efter/før en standsning ved løb. I algoritmen i dette projekt vil det første og sidste skridt ikke indgå i beregningen af et datapunkt, idet de to første og to sidste GPS-positioner i et segment frasorteres. Erfaringer fra dette projekt viser ligeledes, at antallet af skridt tælles korrekt. Da antallet af skridt tælles korrekt, beregnes skridtfrekvensen i et segment ligeledes med stor nøjagtighed. Derfor beregnes skridtfrekvensen til et datapunkt også med stor nøjagtighed.

Skridtlængden i et segment estimeres på baggrund af segmentlængden (beregnet ud fra GPS-positioner) og antallet af skridt (estimeret vha. skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015)). I kapitel 11.2 er det beskrevet, hvordan algoritmen frasorterer unøjagtige GPS-positioner, så disse ikke indgår i beregningen af skridtlængden i et segment. Til trods for dette kan segmentlængden ikke estimeres nøjagtigt på grund af de generelle unøjagtigheder, der er tilknyttet GPS-positionerne. En unøjagtig segmentlængde smitter af på nøjagtigheden på skridtlængden i et segment, således at skridtlængden til et datapunkt ikke, ligesom skridtfrekvensen, kan bestemmes med stor nøjagtighed.

Derfor vurderes, at det er rimeligt at betragte den beregnede skridtfrekvens til et segment som værende fejlfri sammenlignet med den beregnede skridtlængde til et segment. På baggrund af dette vælges at anvende simpel mindste kvadraters princip til at estimere den bedste rette linje gennem datapunkterne. Ved anvendelse af simpel mindste kvadraters princip i dette projekt, er det således kun skridtlængderne, der indgår som observationer i beregningerne. I udjævningen betragtes skridtfrekvenserne således som konstanter. Linjen, der skal estimeres, beskrives ud fra følgende ligning:

$$skridtlængde_segment = a \cdot skridtfrekvens_segment + b$$

Hvor a og b er de ubekendte koefficienter der skal estimeres, $skridtlængde_segment$ er skridtlængden til hvert datapunkt og $skridtfrekvens_segment$ er skridtfrekvensen til hvert datapunkt.

For at estimere den bedste rette linje gennem datapunkterne opstilles observationsligningen:

$$\bar{b} = A\hat{x} - \hat{r}$$

Observationsligningen består af observationsvektoren $\bar{b}$ (beregnet skridtlængde til hvert segment), designmatricen A , de estimerede koefficienter $\hat{x}$ og de estimerede residualer $\hat{r}$:

$$A = \begin{bmatrix} \text{skridtfrekvens_segment}_1 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ \text{skridtfrekvens_segment}_p & 1 \end{bmatrix}, \bar{b} = \begin{bmatrix} \text{skridtlængde_segment}_1 \\ \vdots \\ \text{skridtlængde_segment}_p \end{bmatrix}, \hat{x} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}, \hat{r} = \begin{bmatrix} \hat{r}_1 \\ \vdots \\ \hat{r}_p \end{bmatrix}$$

Hvor p er antallet af datapunkter/segmenter.

Koefficienterne til linjens ligning estimeres vha. følgende ligning:

$$\hat{x} = (A^T C A)^{-1} A^T C \bar{b}$$

Hvor C er vægtmatricen for observationerne.

I afsnit 10.2 er det beskrevet, at der er en sammenhæng mellem segmentlængden og nøjagtigheden på den estimerede skridtlængde i et segment. Jo længere et segment er, jo bedre er nøjagtigheden på den estimerede skridtlængde. Sammenhængen mellem segmentlængden og spredningen på skridtlængden beskrives, jævnfør afsnit 10.2, vha. følgende ligning:

$$\sigma_{\text{skridtlængde_segment}} = 28.89 * \text{segmentlængde}^{-0.3732}$$

Hvor $\sigma_{\text{skridtlængde_segment}}$ er spredningen på den estimerede skridtlængde i et segment.

Denne sammenhæng til at vægte datapunkterne ud fra segmentlængden anvendes således, at datapunkter beregnet ud fra et langt segment vægtes højt, mens datapunkter beregnet ud fra et kort segment vægtes lavt. Vægten c_i til et datapunkt defineres som den inverse af variansen til skridtlængden til et datapunkt $\text{skridtlængde_segment}_i$ (Cederholm, 2000, s. 13):

$$c_i = \frac{1}{\sigma_{\text{skridtlængde_segment}_i}^2}$$

Vægtmatricen C defineres således som:

$$C = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & c_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & c_p \end{bmatrix}$$

På baggrund af ovenstående beregninger kan der estimeres en bedste ret linje gennem datapunkterne, hvorved skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen kalibreres.

I det følgende testes det om kalibreringsmetoden fungerer i praksis. Dette sker ved at indsamle en række datapunkter fra forskellige løbeture og på baggrund af disse undersøge, om der kan opnås en fornuftig kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

12.2 Analyse af kalibreringsmetode

I dette afsnit undersøges den udviklede kalibreringsmetode med datasæt fra forskellige løbeture af én forsøgsperson (Rico). Formålet med dette afsnit er at undersøge, om kalibreringsmetoden beskrevet i

afsnit 12.1 kan implementeres direkte i algoritmen, eller om metoden skal modificeres. Kalibreringsmetoden undersøges med tre forskellige datasæt:

- Én løbetur i by med løb i konstant tempo
- Én løbetur i by med løb i flere tempi
- 6 løbeture i by med løb i flere tempi

På baggrund af hvert af de tre datasæt kalibreres skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen ved at estimere en ret linje gennem datapunkterne fra det respektive datasæt. Dernæst ses der nærmere på de beregnede datapunkters indbyrdes beliggenhed, og det vurderes, om den kalibrerede skridtlængde som funktion af skridtfrekvens er anvendelig.

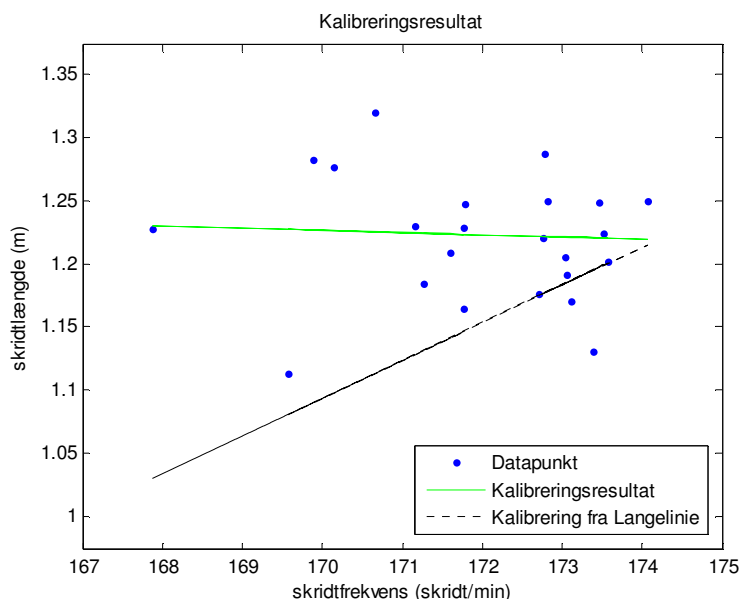
12.2.1 Kalibrering ved løb med konstant tempo

Først undersøges om der kan opnås en brugbar kalibrering af skridtlængden ved løb i konstant fart. Ruten der er løbet i konstant fart fremgår af figur 12.1 og er 4,5km:



Figur 12.1: Løberute langs Aalborg Havnefront. Der er løbet i konstant fart

Det ses, at der primært er fundet segmenter langs havnefronten, hvor der har været gode GPS-forhold, der er løbet ligeud og løbet uden opbremsninger pga. trafik. Figur 12.2 viser kalibreringen af skridtlængden på baggrund beregnede datapunkter fra løbeturen.



Figur 12.2: Kalibreret skridtlængde som funktion af skridtfrekvens på baggrund af datapunkter fra løb i konstant fart langs Aalborg Havnefront. Figuren viser desuden kalibreringen fra løb på Langelinie (se afsnit 10.1) med løb i tempiene 10, 12 og 14 km/t.

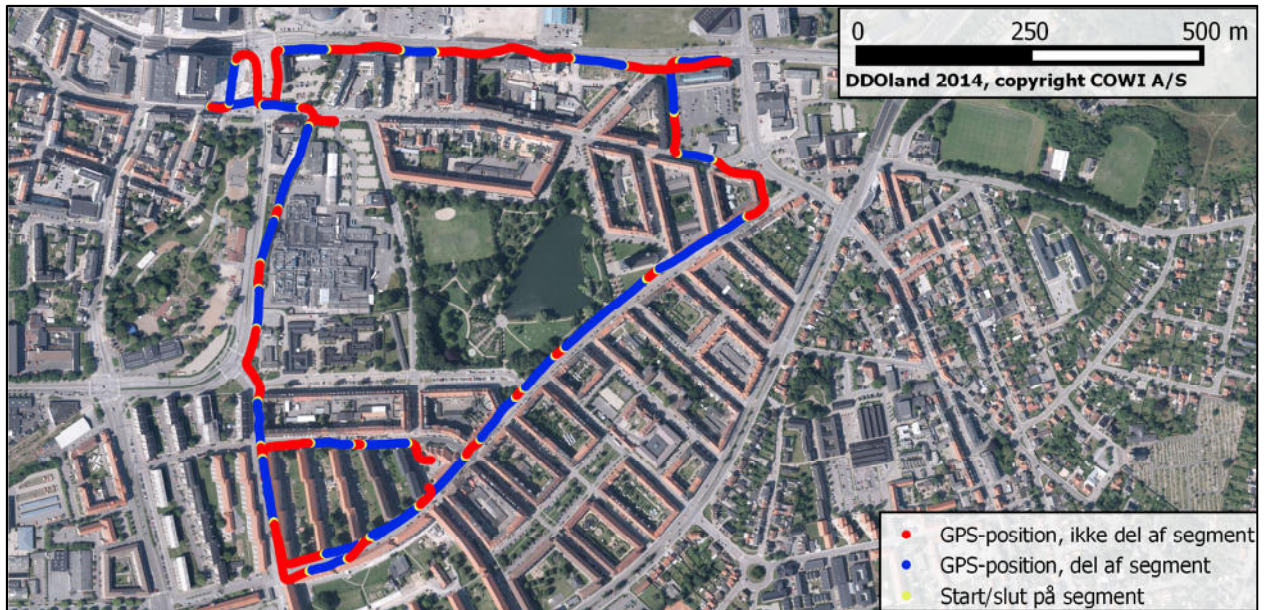
Det ses, at der til trods for, at der er løbet med nogenlunde konstant fart, er forholdsvis stor variation i både skridtfrekvens og skridtlængde. Den lineære sammenhæng fra løb ved Langelinie ses imidlertid ikke. Variationen i skridtlængden vurderes til i mindre grad at skyldes en varierende skridtlængde, men primært at skyldes nøjagtigheden på GPS-positionerne, der anvendes til at beregne datapunkterne, idet variationen stemmer nogenlunde overens med den variation, der ses ved forsøget på Langelinie (se evt. figur 10.5). Da skridtfrekvensen i et segment estimeres med stor nøjagtighed, betyder variationen i skridtfrekvensen, at der er løbet med varierende skridtfrekvens. Projektgruppen vurderer at dette kan skyldes en række parametre, heriblandt varierende underlag, omgivelserne der løbes i, trafik, træthed, mindre højdeforskelle (under 1m) m.m., hvilket kan påvirke løbestilen.

Den estimerede linje har en lille negativ hældning og afviger meget fra den estimerede linje fra forsøget på Langelinie i kapitel 10. Fordelingen af datapunkterne gør, at der ikke skal ret meget til, for at der estimeres en linje, der er forskellig fra den, der er estimeret. Hvis blot et par af de yderligt liggende datapunkter frasorteres, kan det ændre meget på kalibreringsresultatet. For at undgå urealistiske kalibreringer (estimerede linjer), kan der ved implementeringen i algoritmen vælges ikke at anvende kalibreringen, hvis der enten er en negativ hældning eller en meget stor positiv hældning.

Da der ved løb i nogenlunde konstant tempo ikke opnås et brugbart kalibreringsresultat, undersøges der i stedet, om der kan opnås en bedre estimeret linje ved løb i flere tempi.

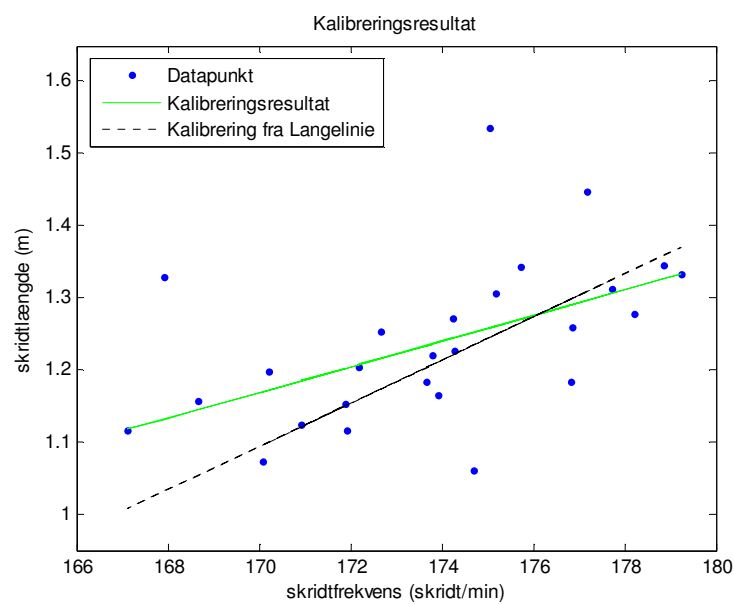
12.2.2 Kalibrering ved løb i flere tempi

For at undersøge kalibreringsresultatet fra løb i flere tempi, er der løbet en tur på 3,8km i flere tempi i Øgadekvarteret i Aalborg by. Den første ca. $\frac{1}{3}$ af turen er der løbet i roligt tempo, den anden ca. $\frac{1}{3}$ af turen er der løbet i moderat tempo og den sidste ca. $\frac{1}{3}$ af turen er der løbet i hurtigt tempo. Figur 12.3 viser ruten der er løbet:



Figur 12.3: Løberute i Ø-gadekvarteret i Aalborg by. Der er løbet i flere tempi.

Der er registreret segmenter fordelt over hele løbeturen, hvilket betyder at der er indsamlet datapunkter i samtlige tempi. Figur 12.4 viser kalibreringen af skridtlængden på baggrund af de beregnede datapunkter.



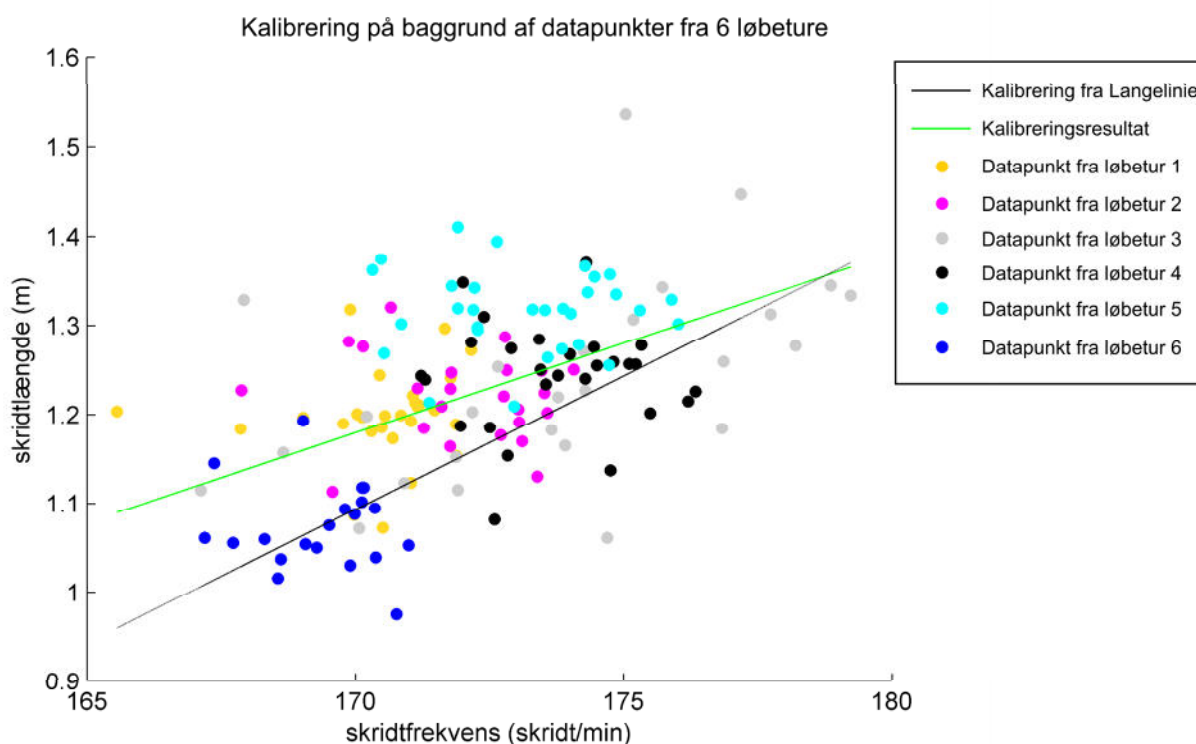
Figur 12.4: Kalibreret skridtlængde som funktion af skridtfrekvens på baggrund af datapunkter fra løb i flere tempi i Ø-gadekvarteret i Aalborg by.

Da der er løbet i flere tempi, ses der her en større variation i skridtfrekvensen end ved løbeturen med konstant fart. Der er opnået en linje, der tilnærmelsesvist ligner linjen fra Langelinie. Det vurderes, at forskellen kan skyldes dag-til-dag-variation i løbestilen. Dermed kan den kalibrerede skridtlængde fra løbeturen i Ø-gadekvarteret være mere retvisende den pågældende dag end den kalibrerede skridtlængde fra løb på Langelinie.

Ved at kalibrere skridtlængden med data fra løb i flere tempi, vurderes det, at der umiddelbart opnås en fornuftig kalibrering af skridtlængden. Derfor vurderes det, at der er behov for at indsamle data i flere tempi, for at der kan opnås et brugbart kalibreringsresultat.

12.2.3 Kalibrering med data fra flere løbeture

Det er hensigten at en automatisk kalibrering skal kunne foretages løbende på baggrund af tilgængeligt data fra tidligere løbeture. Det undersøges derfor, om der kan estimeres en fornuftig linje, til kalibrering af skridtlængden, på baggrund af datapunkter fra flere forskellige løbeture. Der er løbet 6 forskellige ture i Aalborg by, hvor der sammenlagt er tilbagelagt 21,2km. Hovedparten af de tilbagelagte kilometer er løbet i roligt eller moderat tempo, mens en mindre del er løbet i meget roligt eller hurtigt tempo. På figur 12.5 ses kalibreringen på baggrund af de beregnede datapunkter fra de 6 løbeture.



Figur 12.5: Kalibreret skridtlængde som funktion af skridtfrekvens på baggrund af datapunkter fra 6 forskellige løbeture i Aalborg by. Hver farve repræsenterer datapunkter fra én løbetur.

Det ses at datapunkterne ligger meget spredt, og at der umiddelbart ikke er en tydelig lineær sammenhæng mellem skridtfrekvens og skridtlængde ud fra dataene. Farverne på figuren viser, hvilken løbetur datapunkterne stammer fra. De mørkeblå datapunkter er fra en løbetur i meget roligt tempo. De grå datapunkter er fra en løbetur med løb i forskelligt tempo (fra meget roligt til hurtigt tempo). De øvrige datapunkter er fra løbeture i roligt til moderat tempo. Det ses, at der er forskel på løbestilen fra løbetur til løbetur. På nogle løbeture ligger datapunkterne over den estimerede rette linje, mens de ved andre løbeture ligger under den estimerede rette linje. Det vurderes at dette kan skyldes en række parametre, heriblandt dag-til-dag-variation i løbestil, varierende underlag, omgivelserne der løbes i, trafik, træthed, mindre højdeforskelle (under 1m) m.m., hvilket påvirker løbestilen. En stor del af variationen i skridtlængden vurderes desuden at skyldes nøjagtigheden på GPS-positionerne.

Det ses endvidere at den kalibrerede skridtlængde afviger relativt meget fra den kalibrerede skridtlængde fra løb på Langelinie, hvilket indikerer, at løbestilen ved flere af de 6 ture har været forskellig fra løbestilen ved Langelinie.

På grund af en varierende løbestil vurderer projektgruppen, at der på baggrund af forudgående data aldrig vil kunne estimeres en ret linje, der med stor nøjagtighed kan anvendes til estimering af distance og fart ved kommende løbeture. Ved implementeringen i algoritmen kan der tages højde for dette ved at kontrollere om nye datapunkter fra den aktuelle løbetur afviger meget fra den kalibrerede skridtlængde (på baggrund af data fra forudgående løbeture). Hvis afvigelsen er større end en fastsat værdi, kan der eventuelt udelukkende anvendes data fra den aktuelle løbetur. Dette vil imidlertid kræve, at der er indsamlet tilstrækkeligt med datapunkter ved den aktuelle løbetur.

Kalibreringsmetoden er udelukkende testet med data fra løb af én forsøgsperson. Forsøgspersonen har desuden haft problemer med en skade i det ene baglår, hvilket kan have påvirket resultaterne. Der vil muligvis ses andre resultater med andre forsøgspersoner. Derfor kunne det være interessant at teste metoden med en række øvrige forsøgspersoner.

Til trods for at løbestilen varierer fra løbetur til løbetur, forventer projektgruppen, at kalibrerede skridtlængder med fordel vil kunne anvendes i områder, hvor GPS-signalet er dårligt. I kapitel 13 foretages tests af, hvor nøjagtigt der kan beregnes distancer ud fra kalibrerede skridtlængder.

I det følgende afsnit beskrives, hvordan kalibreringsmetoden implementeres i algoritmen.

12.3 Implementering af automatisk kalibrering i algoritmen

Som udgangspunkt ønskes det, at algoritmen kan foretage kalibrering af skridtlængden i realtid. Derfor tager implementeringen af kalibreringsmetoden i algoritmen udgangspunkt i, at algoritmen principielt skal kunne fungere i realtid på en smartphone. Det vides imidlertid ikke, om en smartphone har tilstrækkeligt beregningskraft til at kunne foretage beregningerne i realtid. Hvis dette ikke er tilfældet, er der beregninger i dette afsnit, som ikke vil kunne implementeres. I så fald må kalibreringen i stedet udvikles med henblik på at kunne fungere efter endt løbetur.

Algoritmen udvikles således, at der, forinden hver ny løbetur, anvendes datapunkter fra tidligere løbeture til at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen (estimeret ret linje gennem eksisterende datapunkter). Den kalibrerede skridtlængde ud fra tidligere løbeture anvendes som en initierende kalibreret skridtlængde. Hver gang der under den nye løbetur indsamles et nyt datapunkt, anvendes dette datapunkt til at opdatere den rette linje til estimering af skridtlængden. Dette sker ved at inkludere den nye observation i estimeringen af den rette linje, der estimeres som beskrevet i afsnit 12.1. I videre undersøgelser kan der eksperimenteres med at vægte datapunkter efter deres alder. Dermed vil der kunne tages højde for en eventuelt løbende ændring i løbestilen.

I afsnit 12.2 ses det, at der ved løb i konstant fart er opnået en negativ hældningskoefficient på den estimerede linje ved kalibreringen. I dette projekt er denne tendens observeret ved flere løbeture med konstant fart. For at undgå negative hældningskoefficienter vælges det ikke at anvende den estimerede linje, hvis hældningskoefficienten er negativ. Ligeledes vælges det ikke at anvende den estimerede linje, hvis hældningskoefficienten er urealistisk stor. Ud fra erfaringer fra dette projekt samt det tidligere projekt (Mogensen, 2015), vurderes det, at det er urealistisk med retvisende hældningskoefficienter på

mere end 0,1 m/(skridt/min). Hvis hældningskoefficienten er negativ eller urealistisk stor, vælges i stedet at anvende den vægtede gennemsnitlige skridtlængde, der beregnes vha. følgende ligning:

$$\widehat{skridtlængde} = \frac{\sum_{i=1}^p (c_i \cdot skridtlængde_segment_i)}{\sum_{i=1}^p c_i}$$

hvor $\widehat{skridtlængde}$ er den vægtede gennemsnitlige skridtlængde,

p er antallet af datapunkter,

c_i er vægten til den estimerede skridtlængde til et datapunkt og beregnes som beskrevet i afsnit 12.1,

$skridtlængde_segment$ er den estimerede skridtlængde til et datapunkt.

Det vil sige, at skridtlængden estimeres vha. den estimerede rette linje, hvis følgende kriterie opfyldes:

$$0 < Hældningsoefficient > 0,1$$

Hvis kriteriet derimod ikke opfyldes estimeres skridtlængden ved at beregne $\widehat{skridtlængde}$.

Ved at indbygge dette kriterie undgås at anvende en urealistisk estimeret ret linje som følge af, at der kun er indsamlet data fra løb med ensartet fart.

12.3.1 Flowdiagram over algoritmen med indbygget automatisk kalibrering

Figur 12.6 viser flowdiagrammet for den endelige algoritme, der kan estimere antal skridt, skridtfrekvens, skridtlængde, distance og fart ved løb og automatisk kalibrere skridtlængden ved at estimere sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens for brugeren. Kalibreringen er udviklet til principielt at kunne fungere og opdateres i takt med, at der indsamles nye datapunkter under en løbetur. Dermed skal brugeren ikke tænke på kalibreringen. Med den indbyggede kalibreringsmetode kan der opbygges en individualiseret løbeprofil til hver bruger. I det følgende beskrives flowdiagrammet for algoritmen.

Algoritmen anvender indledningsvist eksisterende datapunkter (skridtfrekvens, skridtlængde) fra tidligere løbeture til at foretage en initierende kalibrering af skridtlængden. Dette sker ved at estimere en ret linje gennem datapunkterne.

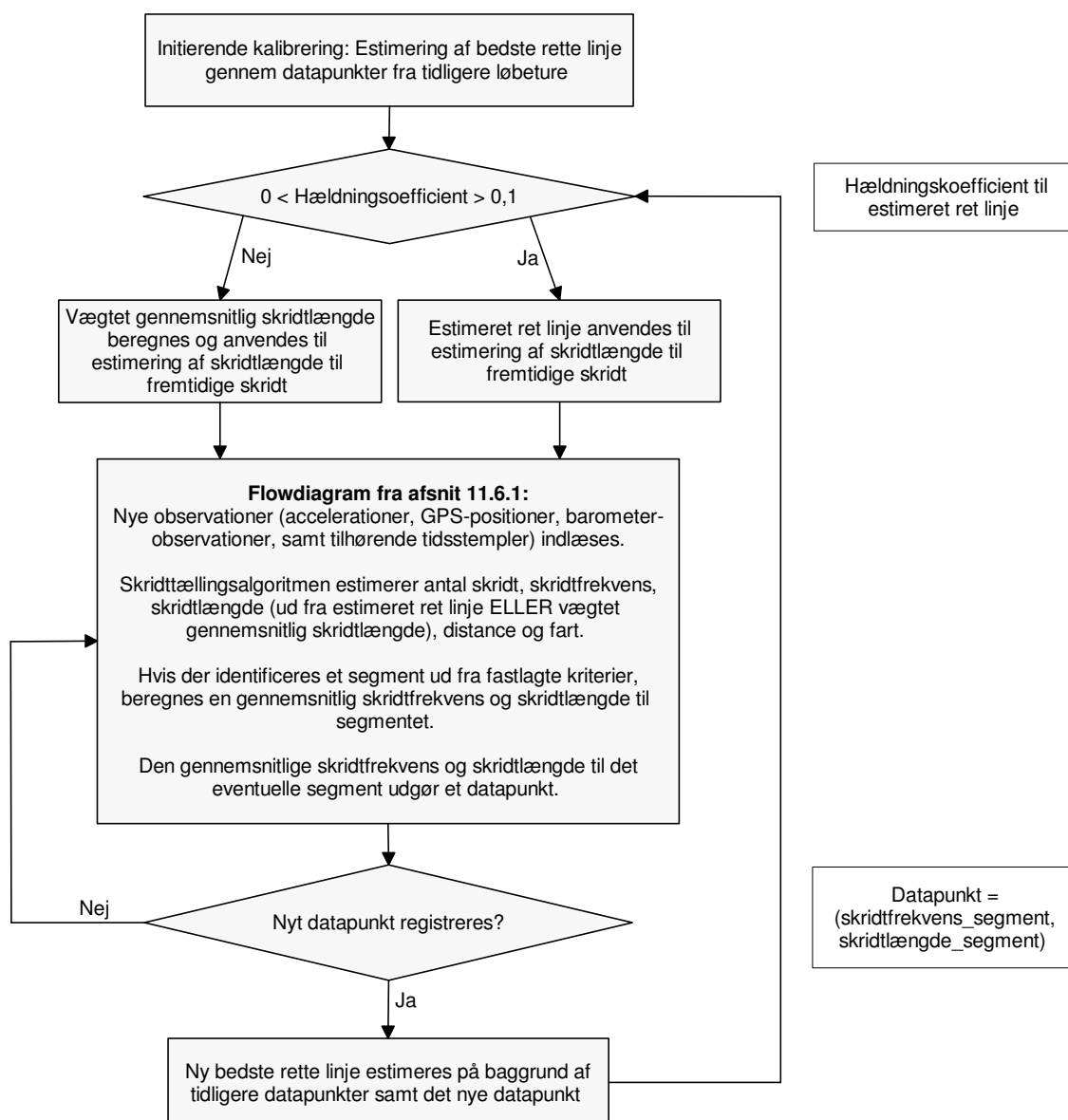
Dernæst kontrolleres det, om den estimerede linje har en hældningskoefficient, der ligger inden for intervallet 0,0 – 0,1 m/(skridt/min). Hvis hældningskoefficienten ligger inden for dette interval, anvendes den estimerede linje til at estimere skridtlængden til hvert skridt ved den aktuelle løbetur. Hvis hældningskoefficienten **ikke** ligger inden for intervallet, beregnes i stedet en vægtet gennemsnitlig skridtlængde ud fra indsamlede datapunkter. Denne beregnede skridtlængde anvendes efterfølgende til fremtidige skridt.

Dernæst påbegyndes processerne vist i flowdiagrammet på figur 11.18 i afsnit 11.6.1. Her anvendes skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015) til at estimere antal skridt, skridtfrekvens, skridtlængde distance og fart⁹. Skridtlængden estimeres enten ud fra den estimerede rette linje eller ud fra den vægtede gennemsnitlige skridtlængde. Der søges ligeledes efter nye segmenter, der er egnede som kalibreringsdata. Hvis der registreres et nyt segment, beregnes den gennemsnitlige skridtlængde og skridtfrekvens i segmentet. Dermed beregnes et nyt datapunkt.

⁹ Et flowdiagram for skridttællingsalgoritmen udviklet i det tidligere projekt (Mogensen, 2015) kan ses i bilag 2.

Så længe der **ikke** registreres et nyt datapunkt, fortsætter processerne vist i flowdiagrammet på figur 11.18 fra afsnit 11.6.1. Hvis der registreres et nyt datapunkt, estimeres en ny ret linje på baggrund af tidligere registrerede datapunkter samt det nye registrerede datapunkt. Dermed foretages på ny en kalibrering, hvilket opdaterer skridtlængden som funktion skridtfrekvensen. Denne nykalibrerede skridtlængde som funktion af skridtfrekvens anvendes efterfølgende til estimering af skridtlængden til fremtidige skridt, hvis hældningskoefficienten ligger inden for det fastlagte interval.

Den endelige algoritme ses i bilag 1 og på bilagsDVD G-1.



Figur 12.6: Flowdiagram for den endelige algoritme til automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

13 Test af den udviklede algoritme

Dette kapitel har til formål at teste den udviklede algoritme i forhold til nøjagtighed på estimerede distancer. Algoritmen testes ved at sammenligne distancer målt ud fra et ortofoto med distancer estimeret vha. algoritmen og herigennem undersøge, hvor godt distancer kan estimeres. I kapitlet beskrives først, hvordan der er indsamlet data til testen. Dernæst præsenteres og vurderes resultaterne.

13.1 Indsamling af data til test

Data til test af algoritmen er indsamlet i perioden fra den 21/5 – 3/6 2015. Der er indsamlet data med en iPhone 6 med to forsøgspersoner (Rico og Søren). Begge forsøgspersoner har løbet den samme rute i Ø-gadekvarteret i byen Aalborg en række gange. Ruten er 3247m og foregår i fladt terræn på fortov og asfalt. Ruten fremgår af figur 13.1.



Figur 13.1: Rute til test af algoritme. Ruten er 3247m (opmålt ud fra et ortofoto).

Rico har løbet testruten 7 gange i forskellige tempi, og Søren har løbet ruten 3 gange i forskellige tempi. Ved hvert gennemløb er det forsøgt at løbe i et konstant tempo. Tabel 13.1 viser informationer om hvert gennemløb.

Rico			Søren		
Gennemløb	Dato	Fart [km/t]	Gennemløb	Dato	Fart [km/t]
1	21/05-2015	14,15	1	22/05-2015	9,60
2	26/05-2015	14,34	2	28/05-2015	11,16
3	26/05-2015	12,97	3	03/06-2015	11,01
4	28/05-2015	12,19			
5	28/05-2015	12,94			
6	02/06-2015	14,54			
7	02/06-2015	13,48			

Tabel 13.1: Informationer om hvert gennemløb af testruten på 3247m.

13.2 Resultater

Ved hvert gennemløb af testruten anvendes algoritmen til at estimere distancen. Da der er indsamlet data fra tidligere løbeture med Rico, er det muligt at anvende en initierende kalibrering af skridtlængden på baggrund af beregnede datapunkter fra tidligere løbeture. Dette er ikke muligt med Søren, idet der ikke tidligere er indsamlet data med Søren. Til at foretage en initierende kalibrering af skridtlængden ved hvert gennemløb med Rico anvendes datapunkter fra de 6 løbeture i afsnit 12.2.3.

Resultaterne fra testløbene med Rico fremgår af tabel 13.2.

Resultater fra test med Rico (Initierende kalibrering ud fra datapunkter fra 6 tidligere løbeture)						
Gennemløb	Dato	Fart [km/t]	Estimeret distance [m]	Fejlrate	GPS-distance [m]	Fejlrate
1	21/05-2015	14,15	3213	0,1%	3293	1,4%
2	26/05-2015	14,34	3268	0,6%	3278	1,0%
3	26/05-2015	12,97	3406	4,9%	3287	1,2%
4	28/05-2015	12,19	3611	11,2%	3243	-0,1%
5	28/05-2015	12,94	3482	7,3%	3263	0,5%
6	02/06-2015	14,54	3296	1,5%	3286	1,2%
7	02/06-2015	13,48	3447	6,2%	3286	1,2%
Gennemsnit			3389	4,5%	3277	0,9%

Tabel 13.2: Resultater fra test med Rico. Ved hvert gennemløb er der foretaget en initierende kalibrering af skridtlængden på baggrund af de 6 løbeture fra afsnit 12.2.3.

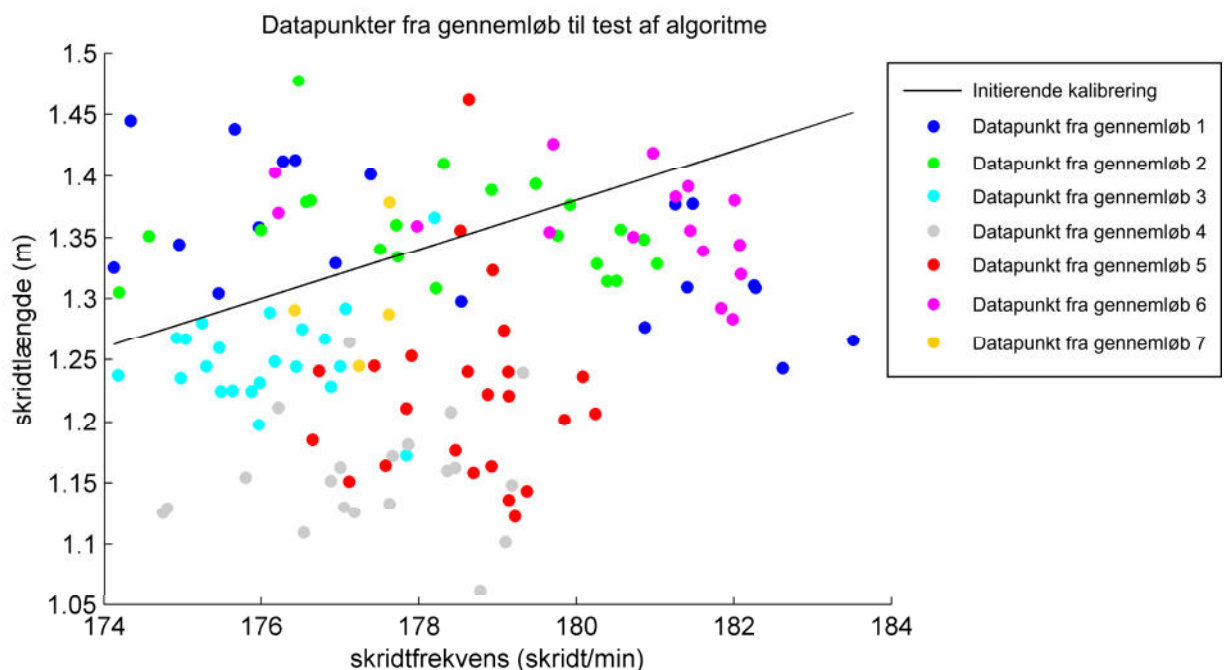
Fejlratene er beregnet i procent af den "sande" distance (opmålt ud fra et ortofoto). Fejlratene er således beregnet efter følgende ligning:

$$Fejlrate = \frac{(distance_{algoritme} - distance_{ortofoto})}{distance_{ortofoto}}$$

GPS-distancer er beregnet på baggrund af samtlige GPS-positioner ved at beregne afstanden mellem to fortløbende GPS-positioner.

Af tabel 13.2 fremgår det at fejlraten på den estimerede distance varierer mellem 0,1 og 11,2%. De mindste fejlraters ses ved løb i hurtigt tempo (gennemløb 1, 2 og 6), mens de største fejlraters ses ved løb i roligt tempo (gennemløb 3, 4 og 5) og løb i moderat tempo (gennemløb 7). De store fejlraters ved løb i roligt og moderat tempo kan være et udtryk for, at Rico ikke løber med samme skridtfrekvens og skridtlængde, hver gang han løber i roligt/moderat tempo.

Figur 13.2 viser datapunkter fra samtlige gennemløb af testruten af Rico samt den initierende kalibrering på baggrund af data fra de 6 tidligere løbeture i afsnit 12.2.3. Sammenlignes figuren med figur 12.5 ses det, at der generelt er løbet med højere skridtfrekvens ved løbeturene fra testen end ved løbeturene, der er anvendt til den initierende kalibrering. Denne ændring i løbestilen kan muligvis skyldes at Ricos langvarige skade i baglåret har været i bedring i løbet af den sidste del af projektperioden. Da skadesforløbet kan have påvirket resultatet, kunne det være interessant at teste algoritmen med løbere, der ikke er skadet.



Figur 13.2: Datapunkter fra samtlige gennemløb af Rico samt initierende kalibrering ud fra datapunkter fra 6 tidligere løbeture.

Af figuren fremgår det endvidere, at der er stor variation på datapunkterne, hvilket indikerer, at der er løbet med varierende løbestil. Selvom der er løbet med varierende tempo der spænder fra roligt til hurtigt, er det ikke umiddelbart til at se en lineær sammenhæng mellem skridtlængden og skridtfrekvensen. På grund af den relativt store variation i datapunkterne vil der således aldrig kunne

estimeres en bedste ret linje, der kan beskrive skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen ved samtlige gennemløb. For at opnå lavere fejlrate vurderes det derfor, at algoritmen skal videreudvikles til at kontrollere, om datapunkter fra den aktuelle løbetur afviger væsentligt fra den bedste rette linje estimeret ud fra tidligere løbeture. Hvis dette er tilfældet kan algoritmen udelukkende anvende datapunkter fra den aktuelle løbetur.

Tabel 13.3 viser resultater fra løb med Rico og Søren, hvor der kun er anvendt datapunkter fra den aktuelle løbetur. Da algoritmen kræver en initierende kalibrering, anvendes dataene fra de 6 tidligere løbeture i afsnit 12.2.3 til at foretage en initierende kalibrering for Rico. Denne kalibrering anvendes dog kun indtil, der er indsamlet tre datapunkter under den aktuelle løbetur. Når der er indsamlet tre datapunkter, foretages en ny kalibrering udelukkende på baggrund af disse tre datapunkter. Resten af turen opdateres skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen udelukkende på baggrund af nye datapunkter. For Søren er der udover testdataene ikke indsamlet andet data end dataene fra forsøget udført på Langelinie i kapitel 10. Derfor anvendes den estimerede bedste rette linje fra forsøget på Langelinie til at foretage en initierende kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

Resultater fra test med Rico (Kun datapunkter fra aktuel løbetur anvendes til kalibrering)						
Gennemløb	Dato	Fart [km/t]	Estimeret distance [m]	Fejlrate	GPS-distance [m]	Fejlrate
1	21/05-2015	14,15	3287	1,2%	3293	1,4%
2	26/05-2015	14,34	3391	4,4%	3278	1,0%
3	26/05-2015	12,97	3312	2,0%	3287	1,2%
4	28/05-2015	12,19	3350	3,2%	3243	-0,1%
5	28/05-2015	12,94	3278	1,0%	3263	0,5%
6	02/06-2015	14,54	3267	0,6%	3286	1,2%
7	02/06-2015	13,48	3441	6,0%	3286	1,2%
Gennemsnit			3332	2,6%	3277	0,9%
Resultater fra test med Søren (Kun datapunkter fra aktuel løbetur anvendes til kalibrering)						
Gennemløb	Dato	Fart [km/t]	Estimeret distance [m]	Fejlrate	GPS-distance [m]	Fejlrate
1	22/05-2015	9,60	3399	4,7%	3292	1,4%
2	28/05-2015	11,16	3273	0,8%	3244	-0,1%
3	03/06-2015	11,01	3334	2,7%	3309	1,9%
Gennemsnit			3335	2,7%	3282	1,1%

Tabel 13.3: Resultater fra test med Rico og Søren, hvor der kun anvendes datapunkter fra den aktuelle løbetur.

Af tabellen ses det, at fejlraterne varierer mellem 0,6 og 6,0%. Der opnås således generelt mindre fejlrater, hvis der kun anvendes datapunkter fra den aktuelle løbetur til at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Derfor vurderes, at algoritmen med fordel kan videreudvikles til udelukkende at anvende datapunkter fra den aktuelle tur, hvis datapunkterne afviger væsentligt fra den bedste rette linje estimeret ud fra tidligere løbeture.

Resultaterne viser, at der generelt estimeres mere nøjagtige distancer på baggrund af GPS-positionerne end på baggrund af algoritmen. Dette var forventeligt, og algoritmen er også kun tiltænkt som supplement til GPS-positioner. Dette kan udføres ved eksempelvis at anvende distancer beregnet vha. algoritmen sammen med distancer beregnet vha. GPS-positioner til at estimere distance. I områder med dårligt GPS-signal kan distancer beregnet vha. algoritmen således vægtes højere end distancer beregnet vha. GPS-positioner. I områder med godt GPS-signal kan distancer beregnet vha. algoritmen derimod vægtes lavere end distancer beregnet vha. GPS-positioner. Hvis der løbes i områder, hvor GPS-positionering ikke er muligt kan distancer beregnes udelukkende vha. algoritmen.

På baggrund af resultaterne præsenteret i dette afsnit, vurderes det, at den udviklede algoritme til kalibrering af skridtlængden kan erstatte en manuel kalibrering og anvendes sammen med algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015) til estimering af distance. Der er dog behov for yderligere tests med en række forsøgspersoner, inden det endeligt kan konkluderes om algoritmen med fordel kan anvendes som supplement til GPS-positioner til forbedring af estimering af distance. På grund af en stor variation på datapunkterne (bl.a. som følge af dag-til-dag-variation på løbestil, varierende underlag, omgivende miljø m.m.) vil der dog aldrig kunne estimeres en bedste ret linje, der med stor nøjagtighed kan beskrive skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen for fremtidige løbeture. Derfor vurderes det, at der er behov for enten at give datapunkter fra den aktuelle løbetur en stor vægt sammenlignet med tidligere datapunkter, eller kun at anvende datapunkter fra den aktuelle løbetur til at kalibrere skridtlængden i tilfælde, hvor nye datapunkter afviger meget fra datapunkter fra tidligere løbeture.

14 Opsamling på fase 2

I fase 2 er der udarbejdet en algoritme til automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Algoritmen til automatisk kalibrering er videreudviklet ud fra algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015). Udviklingen af algoritmen er udført på grundlag af forudsætningerne fundet i fase 1. I kapitel 9 er der opstillet en række underspørgsmål til problemformuleringen, som det har været nødvendigt at undersøge og besvare for at kunne udvikle algoritmen. Disse underspørgsmål var følgende:

1. I fase 1 er der ved forsøg på løbebånd fundet, at der er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Kan der estimeres en tilsvarende lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens vha. GPS-modtageren i en smartphone og skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015)?
2. Hvilken betydning har fejlbidraget fra GPS-positioner på estimering af skridtlængder?
3. Med udgangspunkt i resultaterne fra fase 1, hvordan skal algoritmen fra det tidligere projekt videreudvikles, så der identificeres segmenter, der er anvendelige til kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen?
 - a. Hvilken metode skal anvendes til at identificere lige potentielle segmenter, og hvordan skal metoden implementeres i algoritmen?
 - b. Hvordan skal der tages højde for unøjagtige GPS-positioner?
 - c. Hvordan sikres det, at der kun identificeres segmenter med ensartet skridtfrekvens, således der tages højde for afbrydelser i løbertymen, der resulterer i en ændret løbestil?
 - d. Hvordan sikres det, at der kun findes segmenter i fladt terræn, jf. projektafgrænsningen i afsnit 3.1?
4. Hvordan skal algoritmen beregne datapunkter, så de beskriver et segments gennemsnitlige skridtlængde og skridtfrekvens.
5. Hvordan skal algoritmen vægte de beregnede datapunkter?
6. Hvordan skal en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen indarbejdes i algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015)?
7. Hvor godt kan distancer estimeres ved at anvende en udviklet automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen?

Igennem besvarelser af underspørgsmålene i fase 2 er der udviklet en algoritme, der automatisk kan kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

I kapitel 10 er der foretaget en indledende test til udviklingen af en automatisk kalibrering. Her er det igennem forsøg fundet, at det er muligt, vha. mindste kvadraters princip, at estimere en bedste ret linje, der beskriver skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, udelukkende vha. datapunkter estimeret ud fra GPS-modtageren og skridttællingsalgoritmen. Det er desuden undersøgt, hvilken indflydelse GPS-positionernes nøjagtighed har på den beregnede skridtlængde. Der er fundet en sammenhæng mellem segmentlængden og nøjagtigheden på estimerede skridtlængder. Sammenhængen kan beskrives vha. en potensfunktion, hvor det gælder, at jo længere et segment er, jo bedre nøjagtighed kan skridtlængden estimeres med. Den estimerede bedste rette linje fra testen i kapitel 10 afviger en smule fra linjen estimeret vha. løbebånd i kapitel 5. Denne afvigelse kan ikke alene tilskrives spredningen på de estimerede skridtlængder. Projektgruppen vurderer derfor, at der findes en række parametre, som det ikke umiddelbart er muligt at eliminere igennem algoritmen. Den indledende test giver svar på underspørgsmål 1 og 2.

I kapitel 11 er der udviklet den første del af algoritmen til automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. I kapitlet er det beskrevet, hvordan der identificeres segmenter, der er velegnede til at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen efter. Herefter er der beskrevet, hvorledes der kan beregnes datapunkter ud fra de fundne segmenter. Med udgangspunkt i kapitel 7, er der udviklet en metode til at identificere potentielle segmenter, hvor GPS-positionerne ligger på, hvad der kan betragtes som en ret linje. Med udgangspunkt i disse lige segmenter er der indført tre yderligere kriterier, som skal være opfyldt, for at der registreres et segment, der anses som værende anvendeligt til kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Dernæst er det beskrevet, hvorledes der på baggrund af de registrerede segmenter beregnes datapunkter, som beskriver sammenhængen mellem skridtlængden og skridtfrekvensen. Til sidst i kapitel 11, er der udarbejdet et flowdiagram over den udviklede algoritme, der kan identificere segmenter, som er velegnede til at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, og på baggrund af disse segmenter beregne datapunkter. Kapitel 11 giver hermed svar på underspørgsmål 3 og 4, samt hertil hørende underpunkter.

I kapitel 12 er algoritmen videreudviklet til at kunne anvende datapunkterne (beregnet med algoritmen i kapitel 11) til at estimere en lineær funktion, der kan anvendes til at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. I algoritmen anvendes simpel mindste kvadraters princip til at estimere den bedste rette linje gennem datapunkterne, som beskriver sammenhængen mellem skridtlængden og skridtfrekvensen i de fundne segmenter. I kapitlet er det matematiske grundlag opstillet, og det er beskrevet, hvorledes det er valgt at vægte datapunkterne i udjævningen. Det er analyseret, hvor godt algoritmen er i stand til at estimere en ret linje, der beskriver sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Igennem analysen har det vist sig, at løb i ét tempo ikke giver en tilfredsstillende estimeret ret linje. Derfor er det besluttet, at algoritmen skal gemme beregnede datapunkter fra tidligere løbeture og også anvende disse i kalibreringen. Der er lavet nye undersøgelser af kalibreringen der også benytter datapunkter fra tidligere løbeture, og der er estimeret en bedste ret linje ud fra datapunkterne. Det er konkluderet at denne linje kan anvendes til en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, men at der er ukendte parametre, som resulterer i små variationer i sammenhængen mellem skridtlængden og skridtfrekvensen fra løbetur til løbetur. Disse variationer kan der umiddelbart ikke korrigeres for igennem algoritmen. På baggrund af analysen af kalibreringsmetoden er det beskrevet, hvordan den automatiske kalibrering er implementeret i algoritmen. Til sidst i kapitel 12 er der præsenteret et flowdiagram over den færdigudviklede algoritme til automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Igennem kapitel 12 er underspørgsmål 5 og 6 blevet besvaret.

I kapitel 13 er den udviklede algoritme testet. Algoritmen er først testet på én forsøgsperson, hvor der er anvendt datapunkter fra tidligere løbeture til at foretage en initierende kalibrering af skridtlængden. Med dette udgangspunkt er der beregnet en gennemsnitlig fejlrate på 4,5% på den estimerede distance fra algoritmen i forhold til distancen opmålt ud fra ortofoto. Ved at undersøge plots af datapunkterne (anvendt til testen) ses en så stor variation på datapunkterne, at det ikke vil være muligt at estimere en lineær sammenhæng, som gælder for alle testløbene. Derfor er der i stedet udført tests, hvor den indledende kalibrering kun anvendes indtil, der findes 3 datapunkter i det aktuelle løb, hvorefter den automatiske kalibrering udelukkende anvender datapunkter fra det aktuelle løb. Dette er testet på to forsøgspersoner ud fra hhv. 7 og 3 løbeture, hvor den gennemsnitlige fejlrate nu er udregnet til 2,6% og 2,7%. Igennem kapitel 13 er underspørgsmål 7 således besvaret.

AFRUNDING

15 Konklusion

I dette projekt er der taget udgangspunkt i en skridttællingsalgoritme, udviklet i et tidligere projekt (Mogensen, 2015), der er tiltænkt som supplement til GPS-positioner til estimering af distance og fart. Algoritmen i det tidligere projekt kan estimere skridtfrekvens, skridtlængde, distance og fart, men kræver en manuel kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, for at der kan estimeres skridtlængde, distance og fart. En sådan manuel kalibrering bør jævnligt foretages, da løbestilen kan ændres over tid. Derfor er den manuelle kalibrering besværlig for potentielle brugere, og projektgruppen havde derfor et ønske om at forbedre brugervenligheden for motionister ved at udvikle en automatisk kalibrering af skridtlængden.

Dette førte til følgende problemformulering:

Hvordan kan en automatisk kalibrering af skridtlængden udvikles og indbygges i algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015), og hvilken nøjagtighed på estimerede distancer kan opnås?

Problemformuleringen er besvaret igennem to faser i projektet. I fase 1 er forudsætningerne for at udvikle en automatisk kalibrering af skridtlængden undersøgt. I fase 2 er den automatiske kalibrering udviklet og indbygget i algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015), hvorefter nøjagtigheden på estimerede distancer er undersøgt.

15.1 Fase 1

I fase 1 blev følgende underspørgsmål stillet:

1. Hvilken sammenhæng er der mellem skridtlængde og skridtfrekvens, og er denne sammenhæng gældende i både fladt og kuperet terræn?
2. Hvordan kan der på baggrund af data fra sensorer i en smartphone skelnes mellem fladt og kuperet terræn?
3. Hvordan kan distancer til en automatisk kalibrering estimeres vha. en smartphones GPS-modtager, og hvilken nøjagtighed er der på GPS-positionerne?
4. Hvordan kan en automatisk kalibrering af skridtlængden foretages?

Underspørgsmål 1

Gennem forsøg på løbebånd og forsøg med løb i kuperet terræn er sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens undersøgt. Forsøgsresultaterne har vist at sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens, ved løb i fladt terræn, kan beskrives vha. en lineær funktion, der er forskellig for hver forsøgsperson. Resultaterne har desuden vist at den lineære funktion, der ses ved løb i fladt terræn, ikke er gældende ved løb i kuperet terræn. Derfor blev det vurderet, at algoritmen skal være i stand til automatisk at skelne mellem fladt og kuperet terræn. For at kunne beskrive sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens i kuperet terræn er der behov for store mængder data med løb op ad bakker og løb ned ad bakker med forskellige hældningsgrader. Derfor blev det valgt at fokusere på at udvikle en algoritme, der kan kalibrere skridtlængden i fladt terræn.

Underspørgsmål 2 og 3

Det er valgt at algoritmen skal anvende accelerometeret, GPS-modtageren og barometeret til at foretage en automatisk kalibrering af skridtlængden og beregne distance og fart. Accelerometeret anvendes til at

estimere antallet af skridt og skridtfrekvensen. GPS-modtageren anvendes til at estimere distancer. Barometeret anvendes til at bestemme om der løbes i fladt eller kuperet terræn.

På baggrund af resultater fra det tidligere projekt er det vurderet, at accelerometeret kan bestemme antallet af skridt med stor nøjagtighed. Derfor er accelerometeret ikke undersøgt nærmere i dette projekt. Gennem forsøg med en iPhone 4s og en iPhone 6 er der foretaget en visuel undersøgelse af nøjagtigheden på GPS-positioner og højder bestemt vha. barometeret. Herudfra er det vurderet, at barometeret er velegnet til at bestemme, om der løbes i fladt eller kuperet terræn. Det er desuden fundet, at der, af Apples software, foretages filtrering af GPS-positionerne, hvilket medfører, at skarpe sving bliver afrundet, og at der er en forsinket registrering af sving. Derudover er det fundet, at positioner, der af Apples software oplyses til at have en estimeret nøjagtighed på 10m eller dårligere, ofte er positioner med en reel dårlig nøjagtighed.

På baggrund af undersøgelserne er det vurderet, at den bedste nøjagtighed på estimerede distancer, opnås ved kun at beregne distancer ud fra GPS-positioner, der kan anses for at ligge på en ret linje, og som har en oplyst nøjagtighed bedre end 10m. Derfor blev det vurderet at den automatiske kalibrering skal baseres på GPS-positioner, der overholder disse kriterier. Der er ikke fundet en præcis angivelse af nøjagtigheden på GPS-positionerne igennem fase 1. Derfor er det igennem underspørgsmål 2 i fase 2 undersøgt, hvilken betydning GPS-positionernes unøjagtighed har på udregningen af skridtlængden.

Underspørgsmål 4

Ved at studere en eksisterende metode til automatisk at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, er det undersøgt, hvordan en automatisk kalibrering af skridtlængden skal foretages. På baggrund af undersøgelsen er det vurderet, at algoritmen skal identificere segmenter, der består af data, som er velegnet til at kalibrere skridtlængden. Til hvert segment, der kan anses som værende velegnet til kalibrering, skal der beregnes et datapunkt (skridtfrekvens, skridtlængde), der består af den gennemsnitlige skridtfrekvens og skridtlængde i et segment. På baggrund af indsamlede datapunkter skal der estimeres en bedste ret linje gennem datapunkterne vha. mindste kvadraters princip. Denne bedste rette linje beskriver skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen og kan anvendes til automatisk at kalibrere skridtlængden. Det er desuden vurderet, at skridtfrekvensen skal være stabil i et segment, for at det anses som velegnet til kalibrering.

I fase 1 blev forudsætningerne for at kunne udvikle en automatisk kalibrering således undersøgt, og på baggrund af disse blev der opstillet retningslinjer for, hvordan algoritmen skulle udvikles. Disse retningslinjer var følgende:

- Skridtællingsalgoritmen fra (Mogensen, 2015) skal anvendes uforandret til at bestemme antal skridt.
- Der er som udgangspunkt ikke behov for yderligere filtrering af GPS-positioner.
- Det skal undersøges nærmere, hvilken betydning GPS-positioners nøjagtighed har på estimerede skridtlængder.
- Algoritmen skal identificere segmenter, hvor brugeren har bevæget sig i en ret linje.
- Algoritmen skal frasortere GPS-positioner med dårlig estimeret nøjagtighed.
- Algoritmen skal kontrollere om skridtfrekvensen er stabil igennem et potentielt segment. Hvis skridtfrekvensen ikke er stabil, skal der ikke registreres et segment
- I algoritmen skal barometeret anvendes til at frasortere potentielle segmenter der indeholder kuperet terræn.
- En bedste ret linje skal estimeres ud fra datapunkter beregnet for hvert segment. Denne bedste rette linje skal anvendes til at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen.

15.2 Fase 2

Med udgangspunkt i undersøgelserne i fase 1 er følgende underspørgsmål stillet i fase 2:

1. I fase 1 er der ved forsøg på løbebånd fundet, at der er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Kan der estimeres en tilsvarende lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens vha. GPS-modtageren i en smartphone og skridttællingsalgoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015)?
2. Hvilken betydning har fejlbidraget fra GPS-positioner på estimering af skridtlængder?
3. Med udgangspunkt i resultaterne fra fase 1, hvordan skal algoritmen fra det tidligere projekt videreudvikles, så der identificeres segmenter, der er anvendelige til kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen?
 - a. Hvilken metode skal anvendes til at identificere lige potentielle segmenter, og hvordan skal metoden implementeres i algoritmen?
 - b. Hvordan skal der tages højde for unøjagtige GPS-positioner?
 - c. Hvordan sikres det, at der kun identificeres segmenter med ensartet skridtfrekvens, således der tages højde for afbrydelser i løbertymen, der resulterer i en ændret løbestil?
 - d. Hvordan sikres det, at der kun findes segmenter i fladt terræn, jf. projektafgrænsningen i afsnit 3.1?
4. Hvordan skal algoritmen beregne datapunkter, så de beskriver et segments gennemsnitlige skridtlængde og skridtfrekvens.
5. Hvordan skal algoritmen vægte de beregnede datapunkter?
6. Hvordan skal en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen indarbejdes i algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015)?
7. Hvor godt kan distancer estimeres ved at anvende en udviklet automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen?

Underspørgsmål 1 og 2

Gennem et "best case-forsøg" er det undersøgt, om der kan foretages en brugbar kalibrering udelukkende på baggrund af data indsamlet med en iPhone 6. Forsøgsresultaterne viste, at dette er muligt, idet der ud fra resultaterne ses en lineær sammenhæng mellem skridtlængden og skridtfrekvensen. Desuden er det gennem forsøget undersøgt, hvilken sammenhæng der er mellem længden på et segment og nøjagtigheden på den estimerede skridtlængde. Undersøgelsen viste at sammenhængen kan beskrives vha. en potensfunktion, og at nøjagtigheden på skridtlængden er bedre, jo længere et segment er. Derfor blev det besluttet at den estimerede potensfunktion skal anvendes til at vægte datapunkter i forhold til segmentlængden.

Underspørgsmål 3 og 4

Med udgangspunkt i fase 1 er der udviklet en algoritme, der automatisk kan identificere segmenter, der er velegnede til at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Der er således udviklet en algoritme, der kan identificere lige segmenter, der opfylder forskellige kriterier, der vedrører underpunkt 3a – 3d. Disse kriterier er fastsat på baggrund af forskellige forsøg, hvor det er undersøgt, hvilken effekt kriterierne har på identifikationen af segmenter. Når algoritmen identificerer et segment beregnes et datapunkt ved at beregne den gennemsnitlige skridtfrekvens og skridtlængde i segmentet.

Underspørgsmål 5 og 6

På baggrund af beregnede datapunkter estimerer algoritmen en lineær funktion, der beskriver skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Denne funktion estimeres vha. simpel mindste kvadraters princip og anvendes til at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. I udjævningen vægtes datapunkterne i forhold til segmentlængden vha. potensfunktionen, der tidligere blev estimeret.

Gennem en analyse er det undersøgt, hvor godt algoritmen er i stand til at kalibrere skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. Analysen viste, at der skal være løbet i flere tempi, for at der kan opnås et fornuftigt kalibreringsresultat. Hvis der kun er løbet i et tempo, kan der i visse tilfælde opnås en negativ hældning på den lineære funktion, der beskriver skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen. For at undgå dette er algoritmen modificeret, således at en vægtet gennemsnitlig skridtlængde anvendes i tilfælde, hvor hældningskoefficienten er negativ eller urealistisk stor.

Dermed er en automatisk kalibrering af skridtlængden udviklet og indbygget i algoritmen fra det tidligere projekt (Mogenssen, 2015). Den endelige algoritme fremgår af figur 12.6.

Underspørgsmål 7

Det er undersøgt, hvor nøjagtigt algoritmen kan estimere distancer ved løb på fortovej og asfalt i en by. Der er foretaget en test med én forsøgsperson, hvor der er anvendt datapunkter fra 6 tidligere løbeture til at foretage en initierende kalibrering af skridtlængden. Denne test resulterede i fejlrate på den estimerede distance på mellem 0,1 og 11,2% og en gennemsnitlig fejlrate på 4,5%.

Desuden er der foretaget en test med to forsøgspersoner, hvor den initierende kalibrering kun anvendes indtil, der er indsamlet 3 datapunkter på den aktuelle løbetur, hvorefter skridtlængden udelukkende kalibreres på baggrund af datapunkter fra den aktuelle løbetur. Dermed tages der højde for en ændring i løbestilen fra tidligere løbeture til den aktuelle løbetur ved primært at anvende data fra den aktuelle løbetur. Denne test resulterede i fejlrate på mellem 0,6 og 6,0% og en gennemsnitlig fejlrate på 2,7%.

Undersøgelsen har vist, at der på grund af en stor variation på datapunkterne (bl.a. som følge af dag-til-dag variation på løbestil, varierende underlag, omgivende miljø m.m.) aldrig vil kunne foretages en kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, der med stor nøjagtighed kan anvendes til at estimere skridtlængden ved fremtidige løbeture. Derfor er det nødvendigt at vægte datapunkter fra den aktuelle løbetur højere end datapunkter fra tidligere løbeture. Alternativt kan der kun anvendes datapunkter fra den aktuelle løbetur til at kalibrere skridtlængden, hvis datapunkterne fra den aktuelle løbetur afviger væsentligt fra datapunkter fra tidligere løbeture. For at kunne afgøre hvordan der skal tages højde for en varierende løbestil, vurderes det, at der er behov for yderligere data indsamlet over en længere periode.

Både under udviklingen og testningen af algoritmen er der primært indsamlet data med én forsøgsperson. Forsøgspersonen har desuden været plaget af en skade, hvilket kan have påvirket forsøgsresultaterne. Derfor understreges det, at algoritmen bør testes med flere forsøgspersoner for at kunne validere testresultaterne.

Undersøgelsen har vist, at der generelt estimeres mere nøjagtige distancer på baggrund af GPS-positioner end på baggrund af algoritmen. Ud fra resultaterne vurderes det dog, at algoritmen potentielt kan supplere GPS-positioner til forbedring af estimering af distance i områder med dårligt GPS-signal. Der er imidlertid behov for yderligere tests med flere forsøgspersoner, inden det med sikkerhed kan konkluderes, om algoritmen med fordel kan supplere GPS-positioner.

I fase 2 er udviklet en automatisk kalibrering på baggrund af undersøgelserne i fase 1. Denne automatiske kalibrering er indbygget i algoritmen fra det tidligere projekt (Mogensen, 2015), og nøjagtigheden af kalibreringen er undersøgt. Dermed er algoritmen videreudviklet til at kunne foretage en automatisk kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, hvorudfra algoritmen kan estimere skridtfrekvens, skridtlængde, distance og fart. Hermed er spørgsmålet stillet i problemformuleringen i kapitel 2 løst.

16 Perspektivering

Igenennem projektperioden har projektgruppen fundet en række områder vedrørende den automatiske kalibrering, der kunne være interessant at arbejde videre med, men som ligger ud over problemformuleringen eller der ikke har været tid til at undersøge til bunds inden for projektperioden.

I projektet er det fundet at en persons løbestil kan variere fra dag til dag af flere årsager som f.eks. underlag, omgivelser der løbes i, trafik, træthed, vejrforhold, mindre højdeforskelle, spændingsniveau, diæt, humør, motivation m.m. Dermed vil en ret linje estimeret på baggrund af datapunkter fra tidligere løbeture ikke nødvendigvis resultere i nøjagtige estimerede skridtlængder under en ny løbetur. Derfor er det relevant at undersøge, hvordan der kan tages højde for dette. Det er muligt at identificere en løbestil, der afviger fra tidligere løbestile, ved at kontrollere, om nye datapunkter afviger meget fra den estimerede linje ud fra tidligere datapunkter. Det vurderes dog, at der er behov for yderligere data til at afgøre, hvordan skridtlængden skal estimeres hvis nye datapunkter afviger fra tidligere datapunkter. Hvis der indsamles yderligere data over en længere periode, vil der eventuelt kunne findes et mønster i, hvilken løbestil der løbes med fra dag til dag. Måske vil sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens ved forskellige løbestile kunne estimeres, hvorved algoritmen, på baggrund af nye datapunkter, automatisk identificerer, hvilken løbestil der løbes med på den aktuelle løbetur. Alternativt kan der udelukkende anvendes datapunkter fra den aktuelle løbetur, hvis nye datapunkter afviger fra tidligere datapunkter.

I rapporten anvender den udviklede algoritme som udgangspunkt samtlige datapunkter, indsamlet fra tidligere løbeture, til at kalibrere skridtlængden. En persons løbestil kan imidlertid ændres over tid. Derfor vil det være relevant at undersøge, om nye datapunkter med fordel kan vægtes højere end ældre datapunkter i kalibreringen. Desuden er det relevant at undersøge nærmere, hvor mange datapunkter der bør anvendes til kalibreringen. Det vurderes, at der er behov for mere data, indsamlet over en længere periode, for at dette kan undersøges.

Til estimering af den bedste rette linje er der anvendt simpel mindste kvadraters princip, idet den estimerede skridtfrekvens anses som værende fejlfri sammenlignet med den estimerede skridtlængde. I videre undersøgelser kan det forsøges at anvende andre udjævningsmetoder (herunder robuste) og undersøge, om der herved kan opnås bedre resultater.

Algoritmen er programmeret i MATLAB og ikke til en smartphone. Det kunne være interessant at overføre algoritmen til en smartphone og derved undersøge, om beregningskraften i en smartphone er tilstrækkelig til, at algoritmen kan fungere i realtid.

Den udviklede algoritme kan kun kalibrere skridtlængden i fladt terræn. I videre arbejde kan sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens undersøges nærmere i kuperet terræn med forskellige hældninger. Hvis sammenhængen kan estimeres ved løb i terræn med forskellige hældninger, kan algoritmen eventuelt videreudvikles til at kunne kalibrere skridtlængden i kuperet terræn, idet barometeret kan anvendes til at estimere terrænets hældning. Dette vil kræve betydelige mængder data fra løb i kuperet terræn med forskellige hældninger. For at kunne undersøge dette systematisk, kan der f.eks. udføres forsøg på løbebånd, som kan indstilles til forskellige hældninger.

I projektet er det vurderet, at sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens er forskellig afhængig af, hvilket underlag der løbes på. Derfor er det relevant at foretage nærmere undersøgelser af,

hvilken betydning forskellige underlag har på sammenhængen mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Kan sammenhængen estimeres for hver terræntype, kan det undersøges, om det er muligt at videreudvikle algoritmen til at kunne identificere terræntypen. Hvis dette ikke er muligt kan brugeren eventuelt manuelt vælge terræntype inden en løbetur påbegyndes. Dermed vil der muligvis kunne opnås en mere nøjagtig estimering af distancen.

Den udviklede algoritme er tiltænkt som et supplement til GPS-positioner. Algoritmen kan f.eks. integreres med GPS-positioner gennem et Kalman filter. Hvis der løbes i et område med dårligt GPS-signal, kan distancer beregnet vha. algoritmen vægtes højere end distancer beregnet vha. GPS-positioner. Hvis der derimod løbes i et område med godt GPS-signal, kan distancer beregnet vha. algoritmen vægtes lavere end distancer beregnet vha. GPS-positioner.

I projektet er der fokuseret på løb, men det forventes at algoritmen ligeledes vil kunne anvendes ved gang. Derfor kunne det være interessant at undersøge, hvilken nøjagtighed der kan opnås på estimerede distancer ved gang ved eksempelvis at gentage projektets forsøg med gang i stedet for løb.

Fremadrettet kan det undersøges om den udviklede algoritme kan integreres med data fra sensorer, der kan anvendes til at bestemme retning (f.eks. gyrometer eller magnetometer), med henblik på at udvikle et indendørs positioneringssystem. Hvis et sådant system kan udvikles, og hvis der kan opnås en fornuftig nøjagtighed på estimerede distancer, vil dette f.eks. kunne anvendes til at navigere i en stor bygning, finde varer i et indkøbscenter, finde en parkeret bil i en parkeringskælder eller lignende.

Fremadrettet kan det undersøges om dataindsamlingsfrekvensen kan nedsættes fra 100Hz, uden at det går ud over nøjagtigheden på estimerede distancer. Dette vil være særligt relevant, hvis det viser sig, at den udviklede algoritme er for beregningskrævende til en smartphone.

Projektet er begrænset til udvikling af en algoritme, der fungerer, hvis smartphonen er placeret på overarmen. Det kunne være interessant at undersøge, om denne restriktion kan fjernes, således det bliver underordnet, hvordan smartphonen bæres.

Til at estimere skridtlængden vha. den udviklede algoritme, anvendes det, at der er en lineær sammenhæng mellem skridtlængde og skridtfrekvens. Af flere forskellige årsager kan løbestilen dog variere fra løbetur til løbetur, hvorfor der aldrig vil kunne udføres en kalibrering af skridtlængden som funktion af skridtfrekvensen, der med stor nøjagtighed kan anvendes til at estimere skridtlængden ved fremtidige løbeture. Derfor kan det undersøges, om skridtlængden vil kunne estimeres mere nøjagtigt ved at anvende andre metoder til estimering af skridtlængde eller ved at supplere med andre metoder. Skridtlængden vil eventuelt kunne estimeres ud fra forskellen på den maksimale og minimale acceleration inden for et skridt. Denne metode til estimering af skridtlængde vil eventuelt kunne anvendes sammen med metoden, der anvendes i dette projekt.

17 Litteraturliste

- Albatros Travel A/S. (u.d.). *www.adventure-marathon.com*. Hentede 7. Juni 2015 fra Half Marathon Copenhagen: <http://half-marathon-copenhagen.com/>
- Apple Inc. (27. April 2010 [2]). *CMLogItem*. Hentede 18. Februar 2015 fra Developer: https://developer.apple.com/library/ios/documentation/CoreMotion/Reference/CMLogItem_Class/index.html#//apple_ref/occ/instp/CMLogItem/timestamp
- Apple Inc. (27. Marts 2010 [2]). *CMAccelerometerData*. Hentede 12. Februar 2015 fra Developer: https://developer.apple.com/library/ios/documentation/CoreMotion/Reference/CMAccelerometerData_Class/#//apple_ref/doc/uid/TP40009671-CH1-SW3
- Apple Inc. (2013). Event Handling Guide for iOS. *Cupertino*. Apple Inc. Hentet fra <https://developer.apple.com/library/ios/documentation/EventHandling/Conceptual/EventHandlingiPhoneOS/EventHandlingiPhoneOS.pdf>
- Apple Inc. (17. September 2014 [1]). *CLLocation*. Hentede 12. Februar 2015 fra Developer: https://developer.apple.com/library/ios/documentation/CoreLocation/Reference/CLLocation_Class/#//apple_ref/occ/instp/CLLocation/altitude
- Apple Inc. (17. September 2014 [2]). *CLLocation*. Hentet fra Developer: https://developer.apple.com/library/ios/documentation/CoreLocation/Reference/CLLocation_Class/#//apple_ref/occ/instp/CLLocation/timestamp
- Apple Inc. (17. September 2014 [3]). *CMAltimeter*. Hentede 12. Februar 2015 fra Developer: https://developer.apple.com/library/ios/documentation/CoreMotion/Reference/CMAltimeter_class/#//apple_ref/c/tdef/CMAltitudeHandler
- Apple Inc. (17. September 2014 [4]). *CMAltitudeData*. Hentede 12. Februar 2015 fra Developer: https://developer.apple.com/library/ios/documentation/CoreMotion/Reference/CMAltitudeData_class/#//apple_ref/occ/instp/CMAltitudeData/pressure
- Apple Inc. (2015 [1]). *iPhone 4s Tech Specs*. Hentede 11. Februar 2015 fra Apple: <http://www.apple.com/asia/iphone-4s/specs/>
- Apple Inc. (2015 [2]). *iPhone 6*. Hentede 11. Februar 2015 [2] fra Apple: <http://www.apple.com/asia/iphone-6/specs/>
- Apple Inc. (5. Februar 2015 [3]). *iOS 6: Understanding Location Services*. Hentede 12. Februar 2015 fra Apple: <http://support.apple.com/en-us/HT202588>
- Apple Inc. (3. Februar 2015 [4]). *iOS 7: Understanding Location Services*. Hentede 12. Februar 2015 fra Apple: <http://support.apple.com/en-us/HT201357>
- Apple Inc. (16. September 2010 [1]). *Core Location Data Types Reference*. Hentede 12. Februar 2015 fra Developer: https://developer.apple.com/library/ios/documentation/CoreLocation/Reference/CoreLocationDataTypesRef/index.html#//apple_ref/c/tdef/CLLocationAccuracy
- Cederholm, P. (2000). *Udjævning* (2. udg.).

- Cho, D.-K., Mun, M., Lee, U., Kaiser, W. J., & Gerla, M. (Marts 2010). AutoGait: A mobile platform that accurately estimates the distance walked. *PerCom, IEEE Computer Society*, s. 116-124.
- International Data Corporation (IDC). (29. Januar 2015). *In a Near Tie, Apple Closes the Gap on Samsung in the Fourth Quarter as Worldwide Smartphone Shipments Top 1.3 Billion for 2014*. Hentet fra IDC - Analyze the Future: <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS25407215>
- InvenSense Inc. (3. Maj 2014). *MPU-6500 Six-Axis (Gyro + Accelerometer) MEMS MotionTracking™ Devices*. Hentede 11. Februar 2015 fra InvenSense: <http://www.invensense.com/mems/gyro/documents/PS-MPU-6500A-01.pdf>
- Mogensen, R. H. (21. Januar 2015 [2]). Fremlæggelse til projektet "Anvendelse af accelerometeret i en smartphone til estimering af distance og fart ved løb og gang". Aalborg.
- Mogensen, R. H. (2015). *Anvendelse af accelerometeret i en smartphone til estimering af distance og fart ved løb og gang*.
- Mogensen, R. H., & Smidt, S. F. (2014). *Dead Reckoning Med Smartphone*. Aalborg: Aalborg Universitet.
- Mogensen, R. H., & Smidt, S. F. (2014). *Dead Reckoning Med Smartphone*. Aalborg: Aalborg Universitet.
- OurImgs.com. (u.d.). <http://ourimgs.com/>. Hentede 8. juni 2015 fra Iphone 6 Plus Transparent Cover: <http://ourimgs.com/iphone-6-plus-transparent-cover.html>
- Robert Bosch GmbH. (01. August 2014). *BMA280*. Hentede 11. Februar 2015 fra Bosch Sensortec: http://ae-bst.resource.bosch.com/media/products/dokumente/bma280/BST-BMA280-DS000-11_published.pdf
- Ronny Hartmann. (9. august 2013). *AFP Photo*. Hentede 8. juni 2015 fra Twin Cities: http://www.twincities.com/life/ci_24031522/top-7-autumn-marathons-around-world
- Shelquist, R. (13. Februar 2015). *An Introduction to Air Density and Density Altitude Calculations*, Formel 12. Hentede 18. Februar 2015 fra Shelquist Engineering: http://wahiduddin.net/calc/density_altitude.htm
- Shelquist, R. (13. Februar 2015). *An Introduction to Air Density and Density Altitude Calculations*. Hentede 18. Februar 2015 fra Shelquist Engineering: http://wahiduddin.net/calc/density_altitude.htm
- STMicroelectronics. (Juli 2009). *LIS331DLH*. Hentede 11. Februar 2015 fra ST life.augmented: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00213470.pdf>
- Thomas, B. (13. December 2014). *SensorLog*. Hentede 12. Februar 2015 fra iTunes App Store: <https://itunes.apple.com/us/app/sensorlog/id388014573?mt=8>
- van Ingen Schenau, G. J. (1980). Some fundamental aspects of the biomechanics of overground versus treadmill locomotion. *Medicine and science in sports and exercise*, Vol. 12(4), s. 257–261.