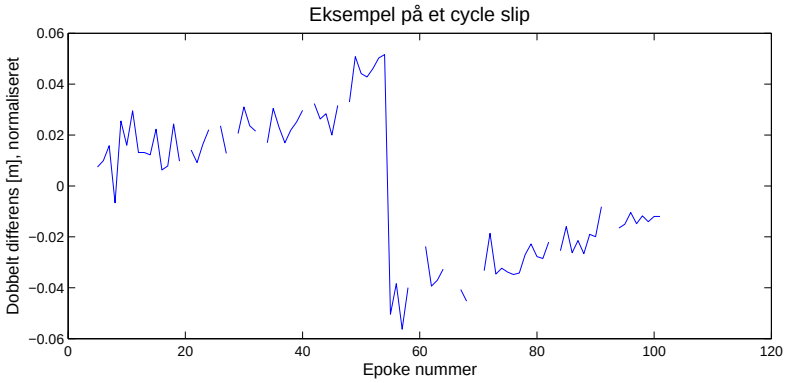
Cycle Slips

Et studium af cycle slips i billige enkeltfrekvente GPS modtagere



Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen

Speciale, Landinspektørstudiet 2010
Under vejledning af Peter Cederholm
Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITET

L-Studienævnet
Fibigerstræde 11, 9220 Aalborg Ø
Telefon: 9940 8341
www.lsn.aau.dk

Titel

Cycle slips i billige enkelt-frekvente GPS modtagere

Tema

Afgangsprojekt/Speciale, Measurements Science

Forfatter



Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen
niels@khrasmussen.dk
Telefon: 6060 6574

Vejleder

Peter Cederholm

Antal sider

100

CD vedlagt

www

Egne scripts og rapport vil kunne findes indtil år 2015 på www.nielskhrasmussen.dk / projekter

Synopsis

Dette projekt tager sit afsæt i autostyring til landbruget efter tidligere projekters antagelse om observationer fri for cycle slips. Ni forskellige metoder til håndtering af cycle slips præsenteres og to - brug af doppler observationer og tripel differens - udvælges og afprøves gennem forsøg. Med fire forskellige billige enkeltfrekvente GPS modtagertyper udføres i alt 14 delforsøg. En stor del af rapporten præsenteres resultaterne af disse forsøg. Til slut konkluderes at modtagerne kan benyttes til autostyringsformål men at der kræves omfattende tjek af data forinden.

Abstract on the back page.

Anerkendelse

Min dybeste respekt og anerkendelse går til Peter Cederholm for stor støtte og yderst konstruktiv og god vejledning.

Indholdsfortegnelse

Forside i

Synopsis iii

Indholdsfortegnelse v

Figurliste viii

Tabelliste xi

1 Indledning og tilgang 1
- 1.1 Idéer . . . 1
- 1.2 Undren . . . 2
- 1.3 Marked . . . 3
- 1.4 Initierende spørgsmål . . . 5

2 Om Cycle Slips 7
- 2.1 Generelt om cycle slips . . . 7
- 2.2 Metoder til håndtering af cycle slips . . . 9
  - 2.2.1 Lavere ordens polynomiums fit og ekstrapolering . 10
  - 2.2.2 Brug af doppler observationer . . . 11
  - 2.2.3 Brug af kodeobservationer . . . 12
  - 2.2.4 Differentieret faseobservationer . . . 13
  - 2.2.5 Tripel differens . . . 13
  - 2.2.6 Skema af differencer . . . 15
  - 2.2.7 Forudsigelse med et Kalman filter . . . 16
  - 2.2.8 Flere frekvenser . . . 17
  - 2.2.9 Anvendelse af INS . . . 18

2.3 Foreløbig problemformulering 18

3 Afgrænsning og problemformulering 19
3.1 Afgrænsning 19
3.2 Problemformulering 22

4 Teori 23
4.1 Tripel differenser 25
4.2 Doppler 26
4.3 Squaring 29
4.4 Cycle slip værdier 29
4.5 11 årig cyklus 30

5 Forsøgsplanlægning 32
5.1 Præsentation af modtagere 32
5.2 Præsentation af software 33
5.3 Præsentation af RINEX 34
5.4 Præsentation af kode 36
5.5 Forsøgsplan 36

6 Resultater 39
6.1 Oversigt over forsøg med tilhørende filnavne 39
6.2 Garmin observationerne 41
6.3 Fastlæggelse af grænser 42
6.4 Huller i data 43
6.5 Overblik over forsøgene 44
6.6 Om efterfølgende plots og beskrivelser 45
6.7 Forsøg "mu" 46
6.7.1 Antaris LEA 4T 46
6.7.2 Antaris TIM-LP - ″mu″ forsøg 50
6.7.3 Garmin 12XL - ″mu″ forsøg 53
6.7.4 Magellan AC12 - ″mu″ forsøg 55
6.7.5 Opsummering "mu" forsøg 58
6.8 Forsøg "mm" 58
6.8.1 Antaris LEA 4T 58
6.8.2 Antaris TIM-LP ″mm″ forsøg 61
6.8.3 Magellan AC12 - ″mm″ forsøg 64

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

6.8.4 Opsummering "mm" forsøg 69
6.9 Forsøg "d5" 70
6.9.1 Antaris LEA 4T 70
6.9.2 Antaris TIM-LP - ″d5″ forsøg 74
6.9.3 Garmin 12XL - ″d5″ forsøg 77
6.9.4 Opsummering "d5" forsøg 79
6.10 Forsøg "1k" 80
6.10.1 Antaris LEA 4T 80
6.10.2 Antaris TIM-LP - ″1k″ forsøg 83
6.10.3 Garmin 12XL - ″1k″ forsøg 88
6.10.4 Opsummering "1k" forsøg 90
6.11 Generelle træk 90

7 Afslutning **92**
7.1 Sammenfatning 92
7.2 Konklusion 93
7.3 Perspektivering 94

A Forsøgsprocedure **96**

Litteraturliste **98**

Stikordsregister **100**

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Figurliste

1.1 Viser et eksempel på en billig GPS modtager. 3

2.1 Viser et hop i dobbelt differentieret data - et cycle slip. . . 7
2.2 Viser eksempel på polynomiumsfit. 11

3.1 Viser et eksempel på en billig antenne. 20

4.1 Viser et eksempel på dobbelt differentieret data. 24
4.2 Viser et hop i dobbelt differentieret data. 25
4.3 Viser et eksempel på en tripel differens. 26
4.4 Viser de solspot aktiviteten fra år 2000 til 2010 [5]. 31

5.1 Viser billeder af de fire billige modtagere. 33
5.2 Viser et eksempel på observationsdata. 35

6.1 Viser hvordan en bygning danner en afskærende vinkel. . 40
6.2 Residualplot Antaris LEA 4T "mu" forsøg. 46
6.3 Efter doppler metode Antaris LEA 4T "mu" forsøg. 47
6.4 Doppler master detektions plot Antaris LEA 4T "mu" forsøg. 48
6.5 Doppler rover detektions plot Antaris LEA 4T "mu" forsøg. 48
6.6 Tripel differens detektions plot Antaris LEA 4T "mu" forsøg. 49
6.7 Residualplot Antaris TIM-LP "mu" forsøg. 50
6.8 Efter doppler metode Antaris TIM-LP "mu" forsøg. 50
6.9 Doppler master detektions plot Antaris TIM-LP "mu" forsøg. 51
6.10 Doppler rover detektions plot Antaris TIM-LP "mu" forsøg. 52
6.11 Tripel differens detektions plot Antaris TIM-LP "mu" forsøg. 52
6.12 Residualplot Garmin 12XL "mu" forsøg. 53
6.13 Efter tripel differens Garmin 12XL "mu" forsøg. 54

6.14 79 cycle slips i Garmin 12XL "mu" forsøg. 54
6.15 Residualplot Magellan AC12 "mu" forsøg. 55
6.16 Tripel differens detektions plot Magellan AC12 "mu" forsøg. 56
6.17 Doppler master detektions plot Magellan AC12 "mu" forsøg. 57
6.18 Doppler rover detektions plot Magellan AC12 "mu" forsøg. 57
6.19 Residualplot Antaris LEA 4T "mm" forsøg. 59
6.20 Doppler master detektions plot Antaris LEA 4T "mm" forsøg. 59
6.21 Doppler rover detektions plot Antaris LEA 4T "mm" forsøg. 60
6.22 Tripel differens detektions plot Antaris LEA 4T "mu" forsøg. 60
6.23 Residualplot Antaris TIM-LP "mm" forsøg. 61
6.24 Efter doppler metode Antaris TIM-LP "mm" forsøg. 62
6.25 Doppler master detektions plot Antaris TIM-LP "mm" forsøg. 62
6.26 Doppler rover detektions plot Antaris TIM-LP "mm" forsøg. 63
6.27 Tripel differens detektions plot Antaris TIM-LP "mm" forsøg. 63
6.28 Residualplot Magellan AC12 "mm" forsøg. 64
6.29 Efter tripel differens Magellan AC12 "mm" forsøg. 65
6.30 Koordinatvarianser efter tripel differenser. 66
6.31 Doppler master detektions plot Magellan AC12 "mm" forsøg. 67
6.32 Doppler rover detektions plot Magellan AC12 "mm" forsøg. 67
6.33 Tripel differens detektions plot Magellan AC12 "mm" forsøg. 68
6.34 Efter doppler metode Magellan AC12 "mm" forsøg. 69
6.35 Residualplot Antaris LEA 4T "d5" forsøg. 70
6.36 Efter doppler metode Antaris LEA 4T "d5" forsøg. 71
6.37 Doppler master detektions plot Antaris LEA 4T "d5" forsøg. 72
6.38 Doppler rover detektions plot Antaris LEA 4T "d5" forsøg. . 72
6.39 Tripel differens detektions plot Antaris LEA 4T "d5" forsøg. 73
6.40 Efter tripel differens Antaris LEA 4T "d5" forsøg. 73
6.41 Residualplot Antaris TIM-LP "d5" forsøg. 74
6.42 Efter doppler metode Antaris TIM-LP "d5" forsøg. 75
6.43 Doppler master detektions plot Antaris TIM-LP "d5" forsøg. 75
6.44 Doppler rover detektions plot Antaris TIM-LP "d5" forsøg. . 76
6.45 Tripel differens detektions plot Antaris TIM-LP "d5" forsøg. 76
6.46 Efter tripel differens Antaris TIM-LP "d5" forsøg. 77
6.47 Residualplot Garmin 12XL "d5" forsøg. 77
6.48 Efter tripel differens Garmin 12XL "d5" forsøg. 78
6.49 Tripel differens detektions plot Garmin 12XL "d5" forsøg. . 79
6.50 Residualplot Antaris LEA 4T "1k" forsøg. 80

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

6.51 Doppler master detektions plot Antaris LEA 4T "1k" forsøg. 81
6.52 Doppler rover detektions plot Antaris LEA 4T "1k" forsøg. . 81
6.53 Efter doppler metode Antaris LEA 4T "1k" forsøg. 82
6.54 Tripel differens detektions plot Antaris LEA 4T "1k" forsøg. 82
6.55 Efter tripel differens Antaris LEA 4T "1k" forsøg. 83
6.56 Residualplot Antaris TIM-LP "1k" forsøg. 83
6.57 Doppler master detektions plot Antaris TIM-LP "1k" forsøg. 84
6.58 Doppler rover detektions plot Antaris TIM-LP "1k" forsøg. . 85
6.59 Efter doppler metode Antaris TIM-LP "1k" forsøg. 85
6.60 Koordinat variation efter doppler metode 86
6.61 Tripel differens detektions plot Antaris TIM-LP "1k" forsøg. 87
6.62 Efter tripel differens Antaris TIM-LP "1k" forsøg. 87
6.63 Residualplot Garmin 12XL "1k" forsøg. 88
6.64 Efter tripel differens Garmin 12XL "1k" forsøg. 89
6.65 Tripel differens detektions plot Garmin 12XL "1k" forsøg. . 89

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Tabelliste

2.1 Viser en oversigt over forskellige differenstyper i GNSS. . 14
2.2 Viser princippet i skema af differencer [2, side 209]. 15

3.1 Viser en opsummering på hvilke afgrænsninger der er lavet. 22

4.1 Viser en sammenligning af et gennemsnit og metoden i ligning 4.1. 28
4.2 Viser hvor der forventes cycle slips. 30

5.1 Tabellen viser en oversigt over kanaler og pris for de fire modtagere. 33
5.2 Viser en oversigt over programmer til dataindsamling. . . 34
5.3 Viser en oversigt over filformat og oversættelsesprogram. 34

6.1 Viser en oversigt over de indsamlede filer. 41
6.2 Viser variablen "maxhul" i forsøgene. 44
6.3 Viser antal steder i datasættet med et hul på netop en epoke. 44
6.4 Viser antallet af cycle slips i de enkelte forsøg. 45

Forord

Målgruppe

For at kunne forstå og forholde sig til cycle slip problematikken kræves et grundlæggende kendskab til satellit positionering. Det vil derfor være nærliggende i denne rapport at beskrive den relevante teori omkring GNSS positionering. Imidlertid vil dette kræve ret omfattende forklaringer og ligge udenfor projektets fokus der er på cycle slips. Rapporten indeholder derfor ikke en generel indførelse i de GPS/GNSS og de algoritmer der ligger bag positionering. Dette er beskrevet i dusinvis af lærebøger meget bedre end det vil kunne fremstilles i løbet af projektperioden. Men da der som nævnt kræves et grundlæggende kendskab til satellit positionering må dette nødvendigvis forudsættes kendt og projektrapportens målgruppe begrænses herved væsentligt til folk der har et professionelt kendskab til GNSS.

GPS/GNSS - terminologi

Gennem hele rapporten er forkortelsen GPS brugt. Det skyldes ene og alene at det er det alment kendte system. Den beskrevne teori gælder lige så vel for det europæiske Galileo samt det russiske Glonass der i stor udstrækning har samme virkemåde som GPS.

Sprog

Det har været overvejet hvilket sprog dette afgangsprojekt skulle skrives på. Dansk blev valgt ud fra overvejelser om at os der er indenfor feltet her i Danmark trods alt taler dansk til hinanden og der ikke har været nogle indikationer eller mål af at projektet skulle læses af folk udenfor landets grænser. Litteraturen der er brugt er på engelsk - med en enkelt undtagelse. Det drejer sig om den danske [9] der hovedsageligvis er brugt til at finde danske ord og begreber for nogle af de mange termer indenfor GNSS området. Det er et område der næsten udelukkende skrives i på engelsk. Med det danske sprog vælges også

dansk tegnsætning. Komma repræsenterer dermed separation mellem heltallige værdier og decimal værdier og punktum fungerer som tusindtalsseparator.

Matlab

Alle beregninger er foretaget i Mathworks Matlab version 7.10.0 (R 2010 a). Matlab er valgt da undervisere på Aalborg Universitet har udviklet GNSS kode til Matlab som der kan bruges til at tage afsæt i. I princippet kunne et hvilket som helst andet programmerings sprog anvendes - det kunne muligvis have nogle fordele - men det vil kræve megen tid at sætte sig ind i et nyt sprog of det ville fjerne fokus fra studiet af GNSS.

LaTeX

Rapporten er skrevet i layoutsystemet TEX gennem makropakken LATEX med skrifttypen KP Sans-Serif i størrelse 11, med MiKTeX 2.8 som distributionssystem, pdfTeX som compiler og WinEdt 6.0 som editor. BibTeX 0.99c er brugt til litteraturliste. Som følge af valget af dette layoutsystem er brugt referencestilen "plain" hvor referencer angives i firkantede paranteser indeholdende et nummer, fx [2].

En oversigt over figurer hhv. tabeller kan ses kan findes mellem indholdsfortegnelsen og dette forord. Her er foruden tabellen eller figurens navn listet den tilhørende tekst i kursiv. Gennem rapporten er tabel tekster skrevet over tabellen og figurteksten under den pågældende figur. Navnet figur bruges om alle typer af billeder såvel fra det virkelige liv som fra Matlab.

Litteratur

Den skrevne litteratur omkring cycle slips i lærebøger er forholdsvis begrænset. Guochang Xu [15] har et kapitel 8 om Cycle Slip Detection and Ambiguity Resolution og Hofmann-Wellenhof [2] har et afsnit 9.1.2 Cycle slip detection and repair. Til gengæld findes et et utal af artikler om emnet, hvilket, som det fremgår af litteraturlisten, er blevet benyttet i stor udstrækning til dette projekt.

Interaktive link

I rapporten er nogle navne skrevet med lyseblå skriftfarve, fx Niels. Dette angiver at der bagved teksten ligger et interaktivt link. Således åbner en browser www.nielskhrasmussen.dk ved tryk på linket. Endvidere er nogle ord og tal trykt med rød skrift, fx 1, hvilket angiver at et klik i den interaktive .pdf vil bringe læseren frem til det pågældende kapitel, figur

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

eller tabel. I dette tilfælde kapitel 1, Indledning. Slutteligt angiver et tal i mørkeblå farve, fx [2] en reference til litteraturlisten bagerst i rapporten. Således henviser [2] til GPS Theory and Practice af Hofmann-Wellenhof og Lichtenegger.

Stikords register

For at øge overskueligheden og lette en eventuel efterfølgende tilbagevenden til bestemt afsnit er rapporten forsynet med små stikord i ydermargenen. Disse stikord kan slås op bagerst i rapporten på siden med overskriften af samme navn. Endvidere er en søgbar .pdf version af rapporten vedlagt sammen med fremstillede Matlab scripts på den til rapporten hørende CD - hvis indhold i øvrigt også er at finde på www.nielskhrasmussen.dk/projekter.

Metode

Projektet og rapporten er rent metodisk bygget klassisk op med nærværende forord før en problemanalyse der fører frem til en problemformulering. Denne løses i en problembehandling med tests og resultater og der sluttes af med en konklusion og en perspektivering. Metoden beskrevet i [4] er blevet brugt som udgangspunkt hvorefter den er blevet tilpasset netop dette projekt. I problemanalysen beskrives kendte metoder til håndtering af cycle slips. Problemformuleringen er det centrale spørgsmål som besvares ved teori og forsøg hvorigennem der skabes resultater til brug for konklusionen.

Læsevejledning

Som start på hvert kapitel forklares den overordnede metodiske tilgang til kapitlet. Disse indledninger er ment som en hjælp til at se den overordnede struktur i rapporten, men eftersom ingen facts præsenteres her kan de springes over og der kan gås direkte til første afsnit. Omvendt skulle det også være muligt kun at læse indledningerne på kapitlerne for at få en god fornemmelse for hvad der følger i kapitlerne. Ønskes en samlet oversigt over alle kapitler findes en sammenfatning af disse i afsnit 7.1 side 92.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Kapitel 1

Indledning og tilgang

I dette første kapitel vil projektets begyndelse blive beskrevet. I afsnit 1.1 beskrives de to idéer der går forud for hele projektet og på baggrund heraf opstilles en undren i afsnit 1.2. Herudfra laves i afsnit 1.3 en analyse af den opstillede undren og slutteligt opstilles i afsnit 1.4 det initierende spørgsmål.

Kapitlet fungerer således som en introduktion til projektet med de indledende spørgsmål og tanker. I andet kapitel præsenteres hvad cycle slips er, hvornår det opstår, karakteristika mv.

1.1 Idéer

Idéen til projektet er udsprunget to stedet. Dels som en del af landinspektørstudiet og dels som en udspringer af et fritidsjob med salg af RTK udstyr.

Idé 1

Som en del af landinspektørstudiet blev 7., 8. og 9. semester taget under Institut for Elektroniske systemer, E-Studienævnet, på Aalborg Universitet ved Dansk GPS Center. En del af idéen til at arbejde med cycle slips opstod under mit arbejde med differentiel GPS på niende semester. Vi var tre i gruppen og antog at de observationer vi fik ud af de GPS modtagere vi arbejde med var fri for cycle slips. Det ikke var tilfredsstillende at gøre denne antagelse om at observationerne var fri for cycle slips - det må undersøges nærmere.

Idé 2

En anden del af idéen er opstået fra arbejde med salg af autostyring til landbrugsmaskiner for firmaet Agrovo. Her blev dyre RTK anlæg solgt, til priser mellem 100.000 og 250.000 kroner. Det har undret at anlæggene skal være så dyre når du der sælges af dem i stor stil - i flere år har maskinstyring været det største marked for salg af RTK anlæg. Kunne man erstatte disse dyre RTK anlæg med billigere enkeltfrekvente modtageranlæg, var der et marked for salg. Idéen blev forstærket ved tanken om at det ikke var nødvendigt at designe systemer til basislinie længder på 10-20 km men blot omkring en kilometer og at nøjagtigheden af enkelt frekvente modtagere kan komme ned på centimeter niveau, se fx [1]. Selvom afstandene mellem markerne i landbruget bliver større og der bliver længere og længere mellem markerne så vil det kunne accepteres at forudsætte afstandene mellem master og rover stadig er små. Det emne behandles videre i afsnit 1.3. Cycle slips er man nød til at forholde sig ved enhver form for GNSS faseobservationer og relevansen af cycle slip håndtering forstærkes kun af at billigere hardware forventes at ville levere flere fejl end dyr. En billigere modtager må forventes at levere flere cycle slips end en dyr modtager under de samme betingelser.

1.2 Undren

På baggrund af de to idéer opstilles følgende undren:

Findes der billige GNSS modtagere med tilhørende antenner der kan levere faseobservationer af en tilstrækkelig kvalitet til at kunne bruges til autostyring?

For at kunne svare på dette må gives et eksempel på hvad der findes af billige GNSS modtagere og undersøge hvad der kræves for at kunne bruges til autostyring hvilket følger i det kommende afsnit.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

1.3 Marked

Et eksempel på en billige modtager kunne være en som vist et billede af i figur 1.1.



Figur 1.1: Viser et eksempel på en billig GPS modtager.

Modtageren der ses i figur 1.1 er produceret af Sweiziske u-blox. Den er enkeltfrekvent, har 16 kanaler, måler 54 x 54 x 24 mm og har mulighed for at give faseobservationer som output. Prisen for denne er 2250 kroner i et evaluation kit. Prisen for selve GPS enheden er ca. 700 kroner i u-blox online shop. Tilsvarende dette eksempel på en billig modtager findes andre lignende modtagere der også bærer muligheden for faseobservationer som output. Fælles for disse billige modtagere er at de er enkeltfrekvente.

Med hensyn til autostyring er der flere forskellige systemer på det Danske marked her i 2010. Mange af dem har samme virkemåde - fire forskellige virkemåder vil her blive beskrevet. Men forinden lige en ultra kort introduktion til autostyring.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Autostyring kan overtage styringen af et køretøj. Retningen kan således holdes konstant hvorimod hastighed og redskaber fortsat styres af føreren. Den retning der kan styres med autostyring har en præcision og nøjagtighed det er umuligt for et menneske at opnår hvilket har relativt store økonomiske såvel som arbejdsmiljømæssige fordele. De økonomiske fordele findes i mindre overlap med deraf følgende besparelse af brændstof, udsæd, gødning, kemikalier mv. De arbejdsmiljømæssige fordele findes i mindre udbrændthed hos føreren

Landsdækkende referencenet

Den første type af autostyringssystemer virker på samme måde som det kendes fra landmålingsverdenen. Her bruges et landsdækkende kommercielt net af referencestationer som der ringes op til og modtages data fra vha. en mobiltelefon. Fordelen er at der kan opereres i hele nettets område og ulempen er at det er ret dyrt at bruge en mobiltelefon til modtagelse af data, selvom prisen nu ved disse erhvervskontrakter er på et helt andet niveau end det kendes fra den private verden.

Egen referencestation

En anden type af autostyringssystemer virker ved at man selv etablerer en referencestation på et højt punkt, fx i toppen af en silo. Her købes så en licens til en bestemt frekvens som ens system så arbejder på og dermed kan man modtage referencedata fra sin egen referencestation vha. et radio link. Fordelen her er at nøjagtigheden er høj i nærheden (et bud er op til 10 km.) af referencestationen men der kan være problemer når man kommer ud for langt væk fra referencestationen.

Mobil reference i rør

En tredje type af systemer virker ved at man har støbt nogle rør ned i kanten af sine marker hvorefter man medbringer en mobil referencestation og placerer oven i dette rør. Således vil referencestationen stå det samme sted år efter år og man vil kunne genfinde de samme spor. Der oprettes et "lokalt" radio link imellem modtager og referencestation. Ulemperne er at der kræves en eller anden form for batteri medbragt til referencestationen og den har således en begrænset tid den kan anvendes før batterier må oplades eller udskiftes samt besværet med at flytte den mobile referencestation.

Mobil reference

Den fjerde og sidste type af autostyringssystemer der nævnes her

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

virker ved at man medbringer en referencestation ud til marken og stiller den et eller andet tilfældigt sted i nærheden af hvor man skal køre. Systemet er da i stand til at beregne en absolut position på referencestationen indenfor et par minutter og der etableres derefter et radiolink imellem referencestation og rover/traktor hvorefter systemet kan bruges til at holde retningen. Ulempen er her at over nogle timer kan koordinaterne drive og man vil ikke være i stand til at genfinde de spor man kørte i for et par timer siden. Med andre ord er der den høj relative nøjagtighed hvorimod den absolutte nøjagtighed er ringe.

Pris autostyring

Alle disse fire virkemåder har deres fordele og ulemper som beskrevet. Men fælles for alle anlæg er at de koster fra ca. 100.000 til 250.000 kroner. Et forbehold skal dog tages hertil. Det er at en bidragende faktor til denne pris på autostyring ligger i forhold der ikke har at gøre med GPS, såsom den styringsenhed der bruges til at kontrollere det hele der sidder inde i maskinen.

Tanke

Et system med billige enkeltfrekvente modtagere til autostyring tænkes at fungere som den tredje eller fjerde nævnte type i det ovenstående, således at afstanden mellem master og og rover nedbringes til et absolut minimum. Det antages at der maksimalt er en kilometers afstand imellem master og rover. I marker der er over en kilometer lange kan den så placeres i midten hvorefter markerne kan være op til to kilometer. Og stadigvæk vil referencestationen være inden for en radius af en kilometer.

Så snart der arbejdes med faseobservationer kan cycle slips opstå. I hvor høj grad cycle slips opstår afhænger foruden af de fysiske modtagebetingelser af kvaliteten af den software der benyttes i modtageren [2, side 205] hvilket må undersøges nærmere.

1.4 Initierende spørgsmål

I afsnit 1.2 undredes over om der mon fandtes billige GNSS modtagere og antenner. I ovenstående afsnit 1.3 er fundet at der findes billige modtagere der har faseobservationer som output, men at disse

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

er enkeltfrekvente og vi har sluttet at cycle slips må forventes at opstå i disse. Sekundært er argumenteret for at afstanden mellem master og rover kan holdes på en kilometer.

På baggrund af indledningen er opstilles det initierende spørgsmål:

Hvilke metoder findes til at findes til at håndtere cycle slips?

Dette spørgsmål arbejdes der videre med i det efterfølgende kapitel.

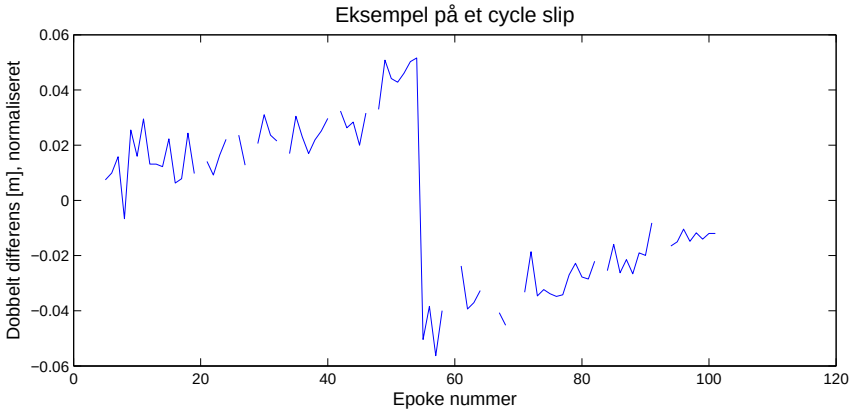
©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Kapitel 2

Om Cycle Slips

Dette andet kapitel vil starter med en generel introduktion til cycle slips i afsnit 2.1. Herefter følger en oversigt over og beskrivelse af metoder til håndtering af cycle slips i afsnit 2.2 og på baggrund af dette opsættes i afsnit 2.3 en foreløbig problemformulering.

2.1 Generelt om cycle slips



Figur 2.1: Viser et hop i dobbelt differentieret data - et cycle slip.

Se figur 2.1. Et cycle slip er populært sagt et hop i en faseobser- *Acquisition*
vation. Ved start af modtagerne vil den søge igennem de forskellige

PRN koder og i et vist frekvensbånd indtil trackingen af signalet kan startes - dette betegnes acquisition. For faseobservationers vedkommende startes herefter en tæller af hele bølgelængder ift. starttidspunktet og outputtet fra en given epoke er så et øjebliks billede af denne tæller. Hvor stor en forskel der er på faseværdierne fra en epoke til den næste vil ændre sig som følge af bevægelse af satellitterne, og evt. modtageren. Denne forskel vil over en kort periode ligge på et nogenlunde konstant niveau, med et vist støjniveau. Over en længere periode vil forskellen ændre sig som følge af om satellitten kommer tættere på eller længere væk fra modtageren. Opstår der et pludseligt hop i disse faseobservationer kan der være tale om et cycle slip. Et cycle slip vil være en heltallig værdi.

Et typisk eksempel på et cycle slip kan ses i figur 2.1. Eksemplet er typisk grundet hullerne omkring det hoppet. Bemærk at det ikke er et opstillet eksempel, men taget ud af et af forsøgene. Dog er værdiaksen normaliseret for at få en idé om hoppets størrelse - læg mærke hertil. Det er fra ca. + 5 cm til ca. -5 cm, hvilket netop svarer til en halv bølgelængde som er 9,5 cm. Hullerne omkring cycle slippet vidner om at der har været vanskeligere modtager forhold.

Hofmann-Wellenhof et. al. [2, side 205] deler årsagen til cycle slip op i tre:

1. Forhindringer for signalet: Træer, bygninger, bjerge etc.
2. Dårligt signal/støj forhold (Signal to Noise Ratio, SNR) som følge af ionosfære forstyrrelser, multipath eller hurtige bevægelser
3. Fejl i modtagerens software

Miljø

Cycle slip problematikken optræder og bliver mere tydelig jo vanskeligere miljø der modtages i. Udenfor tættere bebygget område spiller beplantning såsom læhegn og skove ind. Indenfor tættere bebygget område kan bygninger og andre fysiske forhold i høj grad fremprovokere cycle slips.

Cycle slip problematikken deles op fire emner/problemstillinger jf. [16]:

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

1. En *detektering* af cycle slippet
2. Beregning af *størrelsen* af slippet
3. *Validering* af cycle slippet
4. *Fjernelse* af cycle slippet

Opdeling

Detektering af cycle slip går ud på at finde ud af hvornår der er tale om et cycle slip, fx epoke 2177 i et post processerings tilfælde. Beregningen af størrelsen af slippet går ud på at få beregnet antallet af hele bølgelængder som observationen er "hoppet". Valideringen af cycle slip kan fx ske ved at sammenligne flere forskellige metoder der løber parallelt, ved at se om det forbedrer løsningen eller ved en visuel vurdering. Således kunne fx et cycle slip der kun findes i en ud af tre forskellige metoder forkastes. Fjernelsen af cycle slippet foregår ved at tillægge den beregnede cycle slip værdi til den eksisterende periodekonstant for satellitten.

Længere varighed

Det skal i denne forbindelse nævnes at er cycle slippet af *længere varighed* vælges næppe at reparere dette, men i stedet at kassere observationerne fra satellitten indtil disse ligger på et mere konstant niveau og herefter bestemme en ny periodekonstant. Dette giver imidlertid en ubekendt mere i observationsligningerne og vil derfor give en overbestemmelse mindre [15, side 168].

Reparation

Et cycle slip af kendt størrelse kan fjernes ved at tillægge denne kendte størrelse til den første observation med cycle slip samt alle efterfølgende observationer fra denne satellit.

2.2 Metoder til håndtering af cycle slips

De væsentligste metoder til behandling af cycle slip er som følger [14], [15]:

1. Lavere ordens polynomiums fit og ekstrapolering
2. Brug af doppler observationer [12] [11]

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

3. Brug af kodeobservationer [15, side 167]
4. Differentieret faseobservationer [15, side 168]
5. Tripel differens
6. Skema af differencer [2]
7. Forudsigelse med et Kalman filter
8. Flere frekvenser
9. Anvendelse af INS

Metoderne vil i de følgende ni underafsnit blive præsenteret.

2.2.1 Lavere ordens polynomiums fit og ekstrapolering

Idéen med et lavere ordens polynomiumsfit er at beregne et polynomium på baggrund af et antal punkter forud for observationen og med dette polynomium forudsige den nuværende observation. Er afvigelsen mellem den forudsagte værdi og den aktuelle værdi "for stor" kan der være tale om et cycle slip. Fordelen ved polynomiumsfittet er at det kan tage højde for en eventuel tendens blandt de forudgående punkter det baseres på.

Et polynomium $f(t)$ af grad n har følgende forskrift:

$$f(t) = a_n t^n + a_{n-1} t^{n-1} + a_{n-2} t^{n-2} + \ldots + a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \qquad (2.1)$$

hvor a_i, $i = 0, 1, \ldots, n$ er konstanter.

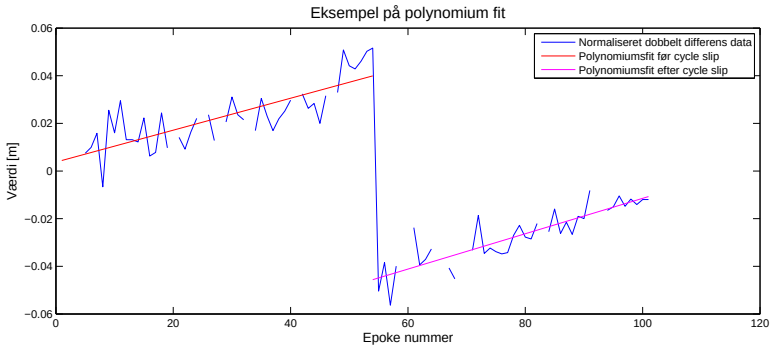
Antal punkter og grad

Graden af polynomiet kan variere fra 1 (en ret linie) til i princippet uendeligt. Imidlertid er der to forhold der gør dette hhv. umuligt og uhensigtsmæssigt. Det første er at polynomiet ikke kan bestemmes hvis det er af højere grad end antallet af kendte punkter. Det andet forhold er at der vil der være en øget risiko for fejl hvis graden af polynomiet ligger tæt på antallet af punkter det bestemmes ud fra. Netop dette faktum er baggrunden for at metoden kaldes lavere ordens polynomiums fit - der skal være en vis afstand fra graden af polynomiet til antallet af

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

punkter. Metoden indeholder således to ubekendte der må fastlægges i hvert enkelt tilfælde. Den ene er antallet af punkter som polynomiet bestemmes ud fra og den anden er graden af polynomiet.

Et eksempel på polynomiumsfit ses i figur 2.2



Figur 2.2: Viser eksempel på polynomiumsfit.

På figur 2.2 ses to første ordens polynomiumsfit med et cycle slip imellem sig. Cycle slippet sker fra epoke 54 til epoke 55. Det første røde polynomiums fit er baseret på data fra epoke 1 til 54 og det andet lilla polynomiums fit er baseret på data efter cycle slippet, epoke 55 til 100. Beregnes størrelsen af cycle slippet ud fra polynomiums fittene beregner det sig til 8,5 cm hvilket skal ses i forhold til en halv bølgelængde på 9,5 cm, som nævnt i afsnit 2.1.

2.2.2 Brug af doppler observationer

Doppler effekten er det frekvensskifte der sker som følge af at satellitterne bevæger sig relativt i forhold til modtageren. Satellitten bevæger sig i sin bane med ca. 3.87 km/s [8, side 484]. Doppler frekvens skiftet kan være helt op til 5 kHz og er typisk til rådighed som et af outputtene fra modtagerne.

Doppler shift målinger fra en GNSS modtager er ikke påvirket af cycle slips da det er et udtryk for svingninger per tidsenhed. Med andre ord et øjebliksbillede af faseobservationernes fart. Da det ikke påvirket af cycle

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

slips og kan det dermed bruges til detektering og reparation heraf.

Den mest oplagte måde at bruge doppler på er at tage den forudgående observation, tillægge doppler og gange med tidsintervallet mellem epokerne og se hvor meget det fraviger fra den nuværende observation. Men den metode der bruges her er som foreskrevet i [12] hvor både den forrige og den nuværende doppler observation benyttes:

$$\phi_{k+1} = \phi_k + \sqrt{\dot{\phi}_k \dot{\phi}_{k+1}} \Delta t \tag{2.2}$$

hvor ϕ er lig faseobservationer, $\dot{\phi}$ er fase hastigheden eller doppler observation, Δt er tidsintervallet mellem epokerne og hvor $k+1$ er et index for epoken efter epoke k.

Mere teori omkring doppler Integration samt uddybende forklaring til 2.2 følger i afsnit 4.2.

2.2.3 Brug af kodeobservationer

Et faktum er det at cycle slips kan opstå i faseobservationer hvorimod kodeobservationer ikke kan indeholde eventuelle cycle slips. Eftersom at begge typer af observationer er output fra en modtager, giver det intuitivt mening at kodeobservationer kan bruges til at detektere cycle slips.

Der hersker imidlertid også det faktum at støjniveauet i kodeobservationer er mange gange større end i faseobservationer - i øvrigt en af de væsentligste grunde til at vi overhovedet bruger tid på faseobservationer. Hvor mange gange støjniveauet i kodeobservationer er større end i faseobservationer er som med så meget andet afhængigt af den enkelte modtager - hvilken kvalitet af hardware der bruges, men som tommelfinger regel kan siges at støjniveauet i kodeobservationer er på meter niveau hvorimod det i faseobservationer er på millimeter niveau. Cycle slips der går ud langt ud over støjniveauet for kodemålingen ved dermed kunne detekteres, men en bestemmelse af en heltallig størrelse vil pga. af støjniveauet ikke være mulig.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Ligning 2.3 viser hvordan kode observationer kan udnyttes. Δ_t indikerer at der arbejdes med differensen mellem to på hinanden følgende epoker. Såfremt $\Delta_t N = 0$ er der intet cycle slip.

$$\Delta_t R = \lambda \Delta_t \phi - \lambda \Delta_t N + \epsilon \tag{2.3}$$

[15, side 167] hvor Δ_t er tiden fra en epoke til den næste, R er en kodeobservation, λ er bølgelængden, ϕ er en faseobservation, N er periodekonstanten, og ϵ er restfejlen.

2.2.4 Differentieret faseobservationer

Differenser

Eftersom cycle slips er *hop* i faseobservationer er det nærliggende at trække fase observationerne fra hinanden for derved at lokalisere disse hop. Dette kan gøres på flere forskellige måde og opskrives ligeså forskelligt hvilket ses i denne og de to følgende metoder, tripel differens og skema af differenser.

Nærværende metode går ud på at differentiere blot en enkelt frekvens, hvilket ses i den følgende ligning 2.4 hvor Δ_t indikerer at den tilhørende observation fra den nuværende epoke fratrækkes den tidligere epoke [15, side 168]:

$$\lambda \Delta_t \Phi = \Delta_t \rho - \Delta_t(\delta t_r - \delta t_e)c + \lambda \Delta_t N + \varepsilon \tag{2.4}$$

og λ er bølgelængden af fasen, hvor Φ indikerer faseobservation, ρ er den geometriske afstand mellem satellit og modtager, δt_r er modtagerens urfejl (r for reception), δt_e er satellittens urfejl (e for emission), N er den heltallige periodekonstant og ε er lig restfejlen.

Således kan et pludseligt hop opstået i en fase såvel detekteres som størrelsen kan bestemmes.

2.2.5 Tripel differens

En tripel differens er to dobbelt differenser til to på hinanden følgende epoker trukket fra hinanden. Opstår der et spring i en tripel differens hvormed værdien pludseligt adskiller sig væsentligt fra de forudgående

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

værdier kan der være tale om et cycle slip. I tripel differentierede faseobservationer fjernes periodekonstanterne. Tripel differenser har det karakteristika at de dannes over tid og er derfor korrelerede over tid.[7, side 407]

Differenstyper

Ved en enkelt differens kombineres observationer fra hver enkelt satellit til to forskellige modtagere. Der laves en enkelt differens per satellit og således kan der ved fx 10 synlige satellitter laves op til 10 enkelt differenser. To enkelt differenser fra to forskellige satellitter kan så efterfølgende kombineres hvorved dobbelt differenser dannes. En dobbelt differens involverer dermed observationer fra to forskellige satellitter til to forskellige modtagere fra samme epoke. Eftersom der med eksemplet med 10 satellitter er binomial(10,2)=45 måder at kombinere to enkelt differenser på kan der umiddelbart laves op til 45 dobbelt differencer. Imidlertid vil de 36 af dem være afhængige af de 9 første (linear)kombinationer og dermed vil kun de ni dobbelt differenser være uafhængige.

Tabel 2.1: Viser en oversigt over forskellige differenstyper i GNSS.

Differens type	**Observationer**	**Kombination af**	**Fejl der fjernes**
Enkelt	To observationer	To modtagere	Satellit-bane- & -ur-fejl Ionos- & tropos-fære fejl
Dobbelt	To enkelt differencer	To satellitter og to modtagere	Modtagerens urfejl
Tripel	To dobbelt differencer	To epoker	Periodekonstanterne

I tabel 2.1 ses en oversigt over de differenstyper vi arbejder med. Den generelle fordel ved at danne disse differencerne er at systematiske fejl elimineres jf. tabellen og at dette er en langt større fordel end den fejlforplantning der sker. Enkelt differenser er ukorrelerede. En dobbelt differens alene er også ukorreleret, men så snart der laves mere end en dobbelt differens vil disse være korrelerede da observationerne fra referencesatellitten "genbruges". Tripel differenser er højt [8, side 459] korrelerede da en tripel differens imellem to epoker t_1 og t_2 vil være afhængig af tripel differensen til epokerne før, t_0 og t_1. Og disse tripel

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

differenser vil være afhængig af t_{-1} og t_0. Hvis en faseobservation antages at have variansen σ^2 vil en dobbelt differens have variansen $4\sigma^2$ og en tripel differens variansen $8\sigma^2$ ifølge [15, side 105-110].

Mere teori omkring tripel differenser følger i afsnit 4.1.

2.2.6 Skema af differencer

Idéen her er at der ved differenser mellem mere end to epoker opstår en forstærkelse af en eventuel hop - et hop der kunne være et cycle slip [2, side 209]. Se princippet i tabel 2.2.

Tabel 2.2: Viser princippet i skema af differencer [2, side 209].

t_i	$y(t_i)$	y^1	y^2	y^3	y^4
t_1	0				
		0			
t_2	0		0		
		0		ϵ	
t_3	0		ϵ		-3ϵ
		ϵ		-2ϵ	
t_4	ϵ		$-\epsilon$		3ϵ
		0		ϵ	
t_5	ϵ		0		$-\epsilon$
		0		0	
t_6	ϵ		0		
		0			
t_7	ϵ				

Her sker et cycle slip ϵ ved t_4. Ved y^1 vil cycle slippet kunne ses af samme størrelse. Men pointen ligger i at cycle slippet bliver fordoblet i y^3 og tredoblet i y^4. Denne forstærkelse af cycle slippet gør umiddelbart detekteringen nemmere. Dette skal dog ses i forhold til den fejlforplantning der sker. De tilfældige fejl der findes vokser som følge af kombinationerne og dermed bliver støjniveauet også større, jo flere differenser der laves. Der gælder den generelle fejlforplantningslov, at for den vilkårlige differentiable funktion g af de stokastiske variable $X_1, X_2, \ldots, X_n$ der er

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

givet ved

$$Y = g(X_1, X_2, \ldots, X_n) \tag{2.5}$$

Er variansen

$$\sigma_y{}^2 = \left(\frac{\delta g}{\delta X_1}\right)^2 \sigma_1{}^2 + \left(\frac{\delta g}{\delta X_2}\right)^2 \sigma_2{}^2 + \ldots + \left(\frac{\delta g}{\delta X_n}\right)^2 \sigma_n{}^2 + 2\sum_{i<j} \frac{\delta g}{\delta X_i}\frac{\delta g}{\delta X_j}\sigma_{ij} \tag{2.6}$$

hvor σ_i er spredningen for $X_i = X_1, X_2, \ldots, X_n$.

Skema af differenser kan bruges på flere såvel differentierede som udifferentierede observationer og indeholder derved de to forudgående metoder, tripel differencer og differentieret faseobservationer, der kan betragtes om undertilfælde heraf. Disse to undertilfælde er dog medtaget for at tydeliggøre hvad princippet er og viser de forskellige måder det kan opskrives på og dermed kompleksiteten i problemstillingen. Desuden er de medtaget da de er nævnt som separate metoder i litteraturen.

Arbejdes der med udifferentierede data vil de være påvirket af en stribe af systematiske fejl, se tabel 2.1, og skema af differenser vil give stærkt korrelerede data. Laves derimod en antagelse om at alle systematiske fejl er blevet fjernet ved enkelt og dobbelt differenserne kan antages at faseobservationerne kun er påvirket af tilfældige fejl. Dermed er observationerne uafhængige og sidste led i ligning 2.6 kan der ses bort fra.

2.2.7 Forudsigelse med et Kalman filter

Kalman filteret et et sæt af algoritmer til at opstille en model for ens observationer. Det er en opfindelse gjort af Rudolf Emil Kalman og publiceret første gang i 1960. Det virker rekursivt hvilket vil sige at gamle observationer ikke gemmes direkte (med store pladskrav til følge), men gemmes indirekte gennem de forskellige elementer i filteret.

Med en a priori viden om observationernes opførsel kan med et Kalman filter opstilles en model for hver satellit hvormed den næste observation

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

kan forudsiges. Dermed kan cycle slips detekteres hvis den observerede værdi ligger for langt fra den forudsagte værdi.

Haves observationer over tid med et vist støjniveau er det med et Kalman filter muligt at komme tættere på den sande værdi Dette gøres med et vægtet gennemsnit hvor observationer med den mindste usikkerhed vægtes højt og observationer med høj usikkerhed vægtes lavt. Som input til et Kalman filter til cycle slip håndtering kan bruges de forventede spredninger på observationerne samt eventuel maksimal kinematik / bevægelse. De forventede spredninger på observationerne findes bedst eksperiment. Der opstilles et filter for hver satellit eller dobbelt differens.

Kalman filteret giver mulighed for at kombinere flere forskellige observations typer hvilket kan udnyttes i kinematiske tilfælde da fysikkens love kan indbygges i filteret. Til anvendelse til cycle slip håndtering kan fx en maksimal acceleration indeholdes i filteret, hvilket vil forbedre estimatet.

2.2.8 Flere frekvenser

Haves en fler-frekvent modtager giver dette mulighed for cycle slip bestemmelse. Traditionelt vil dette være en dobbelt frekvent men kan lige så godt være en tripel frekvent. Opstår cycle slippet i den ene frekvens kan det detekteres med andre frekvenser. Sammenlignes forskellen mellem to på hinanden følgende epokers faseobservationer i en frekvens med ligeså to faseobservationer til en anden frekvens skulle dette gerne ligge på et nogenlunde konstant niveau. Inspireret af [8, side 458] kan dette i et dobbelt frekvent tilfælde opskrives som:

$$\Delta_t \lambda_1 \phi_1 = \Delta_t \lambda_2 \phi_2 + \varepsilon \tag{2.7}$$

hvor Δ_t angiver forskellen mellem to på hinanden følgende observationer, 1 hhv. 2 med sænket skrift angiver index for to forskellige frekvenser fx L1 og L2, λ angiver bølgelængden, ϕ angiver en faseobservation og ε angiver restfejlen.

Cycle slip vil da kunne detekteres såfremt der ikke er opstået et lige stort cycle slip i begge frekvenser samtidig. Endvidere kan det give prob-

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

lemer hvis cycle slippet er af størrelser der er linear kombinationer af 77 og 60. Det skyldes at faktoren imellem disse to tal netop er faktoren imellem L1 og L2 bærebølgen. I satellitterne sidder en oscillator som udsender en grundfrekvens og denne ganges så op med 154 og 120 for at generere L1 hhv. L2 bærebølgen.

2.2.9 Anvendelse af INS

Kombineres en GPS modtager med et Inertial Navigation System, forkortet INS, kan dette hjælpe med at detektere og reparere cycle slips. INS består af små accelerometre der måler accelerationen langs x, y, og z samt gyroskoper der kan måle rotationer. Med INS er det muligt at lave dead reckoning hvorved ens position bestemmes ud fra tidligere positioner. Observationer fra INS har en høj nøjagtighed over kort tid men dårlig over lang tid.

2.3 Foreløbig problemformulering

I afsnit 2.1 blev givet en generel introduktion til cycle slips forud for en oversigt over metoder til håndtering af cycle slip i afsnit 2.2. På baggrund af dette og det initierende spørgsmål i afsnit 1.4 fremsættes nu en foreløbig problemformulering:

Kunne faseobservationer fra billige modtagere, efter cycle slip håndtering, tænkes at have en kvalitet der kunne bruges for autostyring?

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Kapitel 3

Afgrænsning og problemformulering

I dette tredje kapitel vil i afsnit 3.1 blive foretaget en afgrænsning der sammen med den foreløbige problemformulering danner grundlag for den endelige problemformulering i afsnit 3.2.

3.1 Afgrænsning

Som nævnt i afsnit 1.3 er de billige modtagere enkeltfrekvente. Metoder til håndtering af cycle slips der involverer flere frekvenser på samme tid kan dermed fravælges.

Antal frekvenser

For at gennemføre konceptet om billige modtagere vælges også billige antenner med deraf følgende øget risiko for multipath indvirken. Et eksempel på en billig antenne ses i figur 3.1. Den er fra Sweiziske u-blox og måler 39 x 48 mm og følger med et evaluation kit.

Antenner



Figur 3.1: Viser et eksempel på en billig antenne.

Antal modtagere

For at styrke resultatet af de anvendte metoder bruges flere typer af modtagere. Generelt set gælder at jo flere typer af modtagere der bruges til at efterprøve teorien med jo mere sikker kan man være på at mønstre der går igen fra modtager til modtager ikke skyldes den enkelte modtagertype, men mere generelle forhold. Der er fire forskellige modtagertyper til rådighed på Aalborg Universitet hvilket vurderes som et passende antal modtagere at efterprøve med. Eftersom der laves differentiel GPS benyttes der to modtagere af hver typer, hvilket medfører at der i alt vil benyttes otte modtagere.

Længden af basislinier

Som bekendt går signalet på dets vej de cirka 20.162,61 km [3, side 38] fra satellitterne til jordens overflade igennem forskellige atmosfæriske lag med forstyrrelser til følge. Den korteste basislinje, nul-basislinjen, fås ved at splitte antenne signalet fra en enkelt antenne til to forskellige modtager. Herved haves nøjagtig de samme betingelser for observationerne fra de to forskellige modtagere. Så snart der arbejdes med to forskellige antenner vil der være en forskel i de atmosfæriske betingelser hvormed der med dobbelt differentierede observationer vil opstå dobbelt differentierede forstyrrelser. Omend størrelsen af forstyrrelserne generelt set vil være af mindre størrelsesorden end de udifferentierede. Generelt set gælder at jo længere væk fra hinanden modtagerne befinder sig jo større forskel vil der være i de atmosfæriske forhold for de to signaler og dermed vil støjniveauet stige med stigende længde af basislinjen. I afsnit 1.3 blev der argumentere for at basislinien kan holdes på max en kilometer som følge af en marks udstrækning og at der tænkes på et system med en mobil referencestation der medbringes fra mark til mark

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

og placeres enten i et genfindeligt og eventuelt på anden måde indmålt rør eller blot opstilles et tilfældigt sted. På denne baggrund begrænses længden af basislinien til 1 km.

Kinematik

Der skal tages stilling til hvorvidt modtageren skal stå stille (statisk tilfælde) eller bevæge sig (kinematisk tilfælde) ved forsøg for at efterprøve teorierne. Håndteringen af cycle slips forsimples i det tilfælde at der arbejdes med statiske data. I det tilfælde der er en acceleration vil hastigheden ændrer sig og det vil være sværere at detektere slippene. En modtager under bevægelse kunne også tænkes at fremprovokere cycle slips. Det til trods vurderes det dog at være muligt at efterprøve cycle slip teorierne til trods for at modtagerne står stille og der vælges dermed at observere med modtagere der er opstillet statisk.

Multipath

Multipath kan opstå ved at signaler reflekteres af bygninger og lignende og derved går en længere vej end vi regner med. Dyre choke Ring antenner der ikke kan modtage venstre hånds cirkulære polariserede signaler samt signaler fra lave vinkler kan reducere problemet men det er ingen fuldstændig løsning thi signaler kan reflekteres to gange og af høje genstande. Er sidstnævnte to betingelser tilstede hjælper choke ring antenner ikke. Desuden fylder choke ring antenner mere, er tungere og endeligt er de som nævnt også dyrere end antenner brugt for billige modtagere. Den eneste måde hvormed vi med sikkerhed kan eliminere multipath er ved en nul basislinie. Men da en sådan ikke er målet med dette projekt må der afgrænses til ikke at berøre multipath og dette må derfor betragtes som en ubekendt i de senere beskrevne eksperimenter.

Real time

I praksis vil der i dette projekt blive arbejdet i post processering. Men da idéen med projektet er at at bruge projektet til autostyring i landbruget som beskrevet i kapitel 1 vil imidlertid blive fokuseret på real time algoritmer og der benyttes således ikke baglæns filtrering.

Udvælgelse

På baggrund af ovenstående afgrænsninger samt projektets i tidsrammer i øvrigt udvælges to metoder, doppler integration og tripel differenser, som der arbejdes videre med.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Tabel 3.1: Viser en opsummering på hvilke afgrænsninger der er lavet.

Modtager type:	Enkelt frekvente
Antenne type:	Billige antenner
Antal modtagere:	4 x 2 = 8
Længden af basislinjen:	Op til 1 km
Ingen kinematik:	Statisk
Multipath:	Ses der bort fra
Processerings type:	Real time algoritmer
Metoder:	Doppler integration og tripel differens

I tabel 3.1 ses en opsummering på afgrænsningerne.

3.2 Problemformulering

I den foreløbige problemformulering i afsnit 2.3 blev fremsat spørgsmålet om hvorvidt faseobservationer fra billige modtagere kunne bruges til autostyring. I dette kapitel er foretaget en afgrænsning af denne problemstilling hvilket bringer os frem til det centrale spørgsmål hvorom hele projektet drejer:

Givet fire forskellige typer af billige enkeltfrekvente GNSS modtagere, hvor mange cycle slips detekteres da ved forskellige forhold ved brug af doppler integration og tripel differenser? Og hvor stor er forskellen på mængden af cycle slips modtagerne iblandt?

For at besvare disse spørgsmål må der udføres forsøg hvilket der følger en planlægningen af i kapitel 5. Forinden bliver den nødvendige teori forud for forsøgene præsenteret i det følgende kapitel 4.

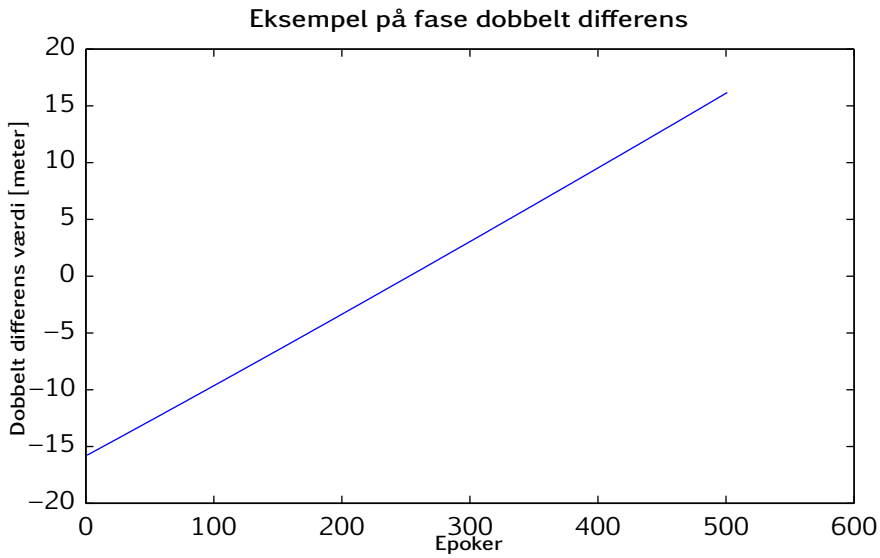
©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Kapitel 4

Teori

I dette kapitel beskrives den anvendte teori, det værende sig hovedsageligvis tripel differenser der følger i afsnit 4.1 og brug af doppler observationer i afsnit 4.2. Herudover er der afsnit 4.3 om squaring, de værdier cycle slips kan antage i afsnit 4.4 og slutteligt kort omkring solindstrålingens cyklus i afsnit 4.5.

Til en start vises et eksempel på en dobbelt differens i figur 4.1.

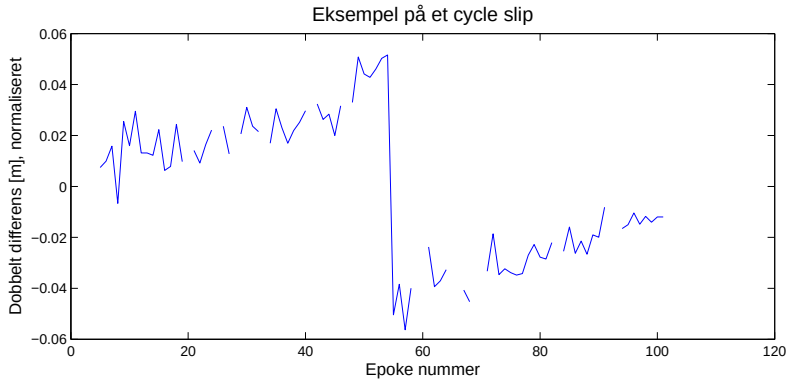


Figur 4.1: Viser et eksempel på dobbelt differentieret data for en enkelt satellit. Data er normaliseret ved at fratrække middelværdien for de 500 epoker.

I eksemplet på dobbelt differentierede data i figur 4.1 ses en stigende værdi hvilket skyldes at satellitten er bevæger sig relativt i forhold til modtageren. Her hvor værdierne vokser, fra epoke til epoke, bevæger satellitten sig væk fra modtageren.

I figur 4.2 er vist et eksempel på et hop i dobbelt differentieret data - et cycle slip.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



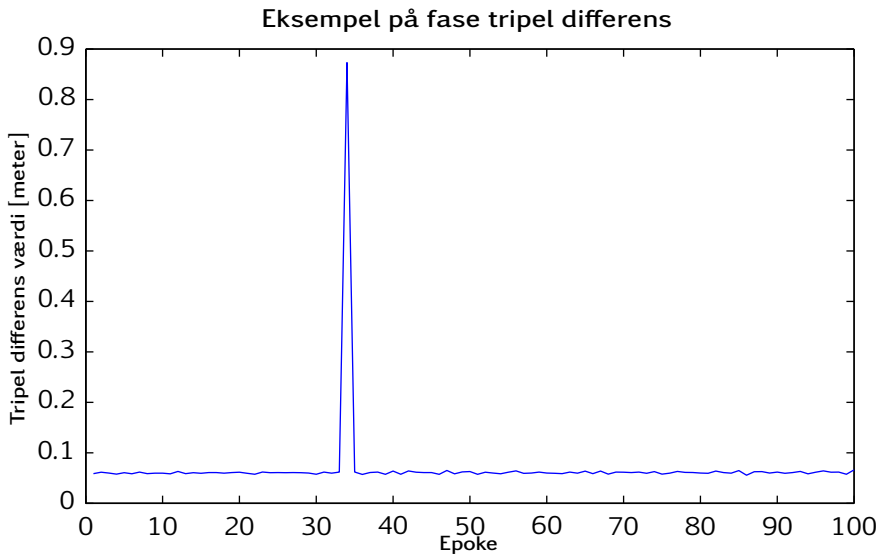
Figur 4.2: Viser et hop i dobbelt differentieret data. Bemærk de huller der er i datasættet omkring cycle slippet.

I teorien skal størrelsen af et som som vist i figuren så være et multipla af en hel eller en halv bølgelængde. I dette tilfælde er afvigelsen fra en halv bølgelængde mellem de to polynomiumsfit 10 procent.

4.1 Tripel differenser

Tripel differenser er som nævnt i afsnit 2.2.5 forskellen mellem to dobbelt differenser. Denne forskel vil være nogenlunde konstant medmindre der fx opstår et cycle slip, se figur 4.3.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 4.3

I figur 4.3 ses hvordan tripel differenser ligger på et nogenlunde konstant niveau, med et vist støjniveau, og at der til en epoke pludselig opstår en stor værdiforskel, et "spike", et hop. Dette kunne fx være et hop som vist i figur 4.2 der i tripel differensen giver et udsalg.

Dobbelt differentierede fasemålinger kan være af størrelsesordenen op til +- 100.000 meter og varierer på millimeter niveau. Variationen mellem de enkelte epoker er den vi ser i tripel differensen. Plottes dobbelt differenser for forskellige satellitter i samme koordinatsystem med epokenummeret ud af første aksen og dobbelt differens værdien op ad anden aksen vil de ligne vandrette linjer, da der kan være meget stor forskel på værdierne fra satellit til satellit.

4.2 Doppler

Indledningsvis skal nævnes at dette afsnit bygger videre på afsnit 2.2.2.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Doppler effekten er velkendt størrelse indenfor fysikken beskrevet første gang af Christian Doppler i 1842. Den er et udtryk det frekvensskifte der sker i radiobølger mellem en afsender og en modtager som følge af at modtageren bevæger sig relativt i forhold til afsenderen. Det blev brugt i TRANSIT, som var det første Amerikanske satellitbaserede positioneringssystem - forud for det nuværende NAVSTAR GPS.

Doppler observationer fra de fire modtagere kommer ud i RINEX filerne med observationsnavnet D1. D står for doppler og 1 står for at det er fra L1. Enheden er Hertz, forkortet Hz. Et eksempel på en doppler observation er 4466.462 hvilket er et udtryk for hvor mange svingninger der er per sekund netop når observationen foretages. Ganges dette med bølgelængden, her 0.19 m, fås 849 meter. Dette er så et udtryk for hvor langt satellitten har bevæget sig i forhold til modtageren på et sekund.

Til cycle slip håndtering bruges den følgende ligning 4.1 jf. [12].

$$\phi_{k+1} = \phi_k + \sqrt{\dot{\phi}_k \dot{\phi}_{k+1}} \Delta t \tag{4.1}$$

hvor ϕ_{k+1} er den forudsagte fase observation, ϕ_k er fase observationen for epoken k, $\dot{\phi}_k$ er doppler observationen til epoken k og $\dot{\phi}_{k+1}$ er doppler observationen til epoken $k+1$.

Formel 4.1 tager en slags gennemsnit af hastigheden for den sidste og nuværende epoke og tillægger sidste faseobservation for at forudsige den nuværende faseobservation. At multiplicere to tal og efterfølgende uddrage kvadratroden kontra at lægge to tal sammen og dividere med to (gennemsnit) giver en form for robusthed hvilket kan illustreres med følgende tabel 4.1.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Tabel 4.1: Viser en sammenligning af et gennemsnit og metoden i ligning 4.1.

Tal 1	Tal 2	Metode - ligning 4.1	Gennemsnit	Forskel mellem metoder
1	1	1	1	0
1	4	2	2.5	0.5 lavere
1	9	3	5	2 lavere
2	8	4	5	1 lavere
5	5	5	5	0
2	18	6	10	4 lavere

En doppler observation er et øjebliksbillede hvorimod andre kode og faseobservationer tæller kontinuert. Derfor kan der i doppler observationer ikke opstå cycle slips og det er dette faktum vi udnytter til at detektere cycle slips i faseobservationerne. Doppler observationer måles i Hertz (Hz).

Doppler frekvensen kan også udledes af faseobservationerne ved at fratrække to på hinanden følgende observationer. Denne faseobservation genererede doppler frekvens vil være påvirket af mindre støj end den af modtageren genererede doppler frekvens da denne sidstnævnte er målt over et meget lille tidsinterval hvorimod førstnævnte er målt over et længere [10].

Doppler observationer kombineres ikke som kender det fra kode og faseobservationer. Dermed behandles en satellit, en rinex fil, ad gangen.

En satellit der kommer nærmere vil have en kortere og kortere pseudoafstand fra epoke til epoke og dermed give en positiv doppler værdi. En satellit der bevæger sig længere og længere væk vil have en længere pseudoafstand fra epoke til epoke og dermed have et negativt doppler skift [13, side 324].

Doppler effekten kan opstå af tre ting. Først og fremmest satellit bevægelse, og dernæst eventuel kinematik af modtageren. Men også

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

modtager urfejl kan generere doppler skift [13, side 370].

4.3 Squaring

Squaring er en teknik som GPS modtager kan benytte sig af og vi har en formodning af netop de fire billige modtagere vi har med at gøre benytter sig af squaring da der derved arbejdes med halve bølgelænger i stedet for hele. Ved squaring mistes alt hvad der er påmoduleret signalet, dvs. koder og navigationsmeddelelse.

Squaring står overfor kode korrelation som giver mulighed for at læse efemeriderne.[6, afsnit 7.11]

4.4 Cycle slip værdier

Cycle slips er per definition heltallige værdier. Derfor vil cycle slips i den perfekte teoretiske situation have værdier som det følger af tabel 4.2. Tabellen går kun til 10 men fortsætter i princippet videre opad. Nu er alting sjældent så perfekt så derfor må vi søge i et bånd omkring disse størrelser. Fx kunne ved 4 multipla af halve bølgelængder søges fra 37 cm til 39 cm. Hvis det skulle vise sig at udsvingene er noget der ligner jævnt spredt ud, er det en indikation af at det ikke er cycle slips.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

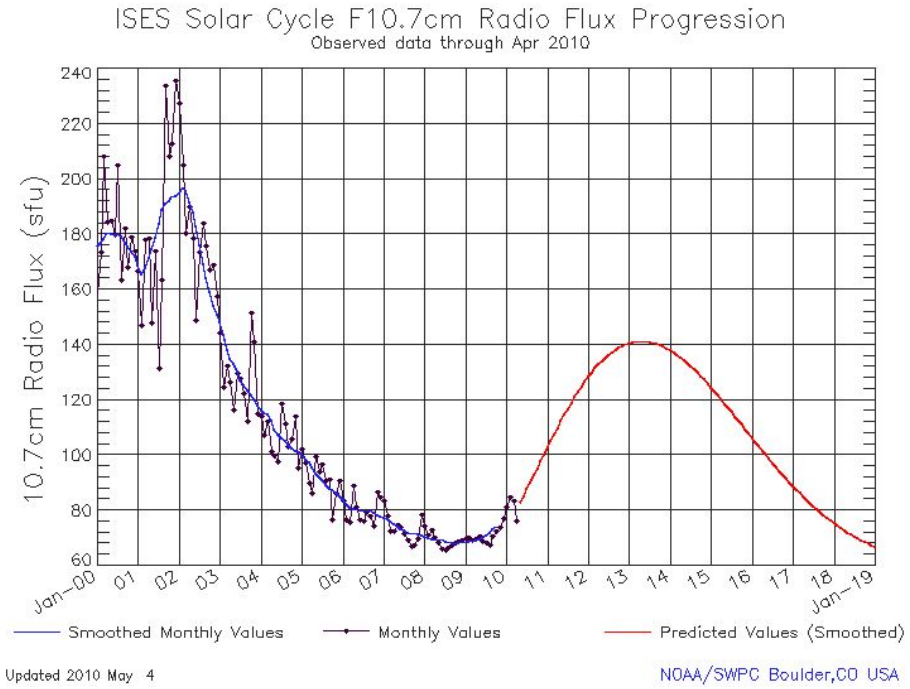
Tabel 4.2: Viser hvor der forventes cycle slips.

Antal multipla af halve bølgelængder	Antal bølgelængder	Størrelse
1	0,5	9,5 cm
2	1	19,0 cm
3	1,5	28,5 cm
4	2	38,1 cm
5	2,5	47,6 cm
6	3	57,1 cm
7	3,5	66,6 cm
8	4	76,1 cm
9	4,5	85,6 cm
10	5	95,1 cm
⋮	⋮	⋮

4.5 11 årig cyklus

Solindstrålingen svinger i en 11 årig cyklus. Svingerne indenfor de seneste 10 år fremgår af den følgende figur 4.4.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 4.4: Viser de solspot aktiviteten fra år 2000 til 2010 [5].

Det ses af figur 4.4 at solindstrålingen her i 2010 befinder sig på et lavt niveau ift. cyklussen der toppede i 2002 og forudsiges at gøre det igen i år 2013. Vi kan dermed forvente i de kommende to-tre år at observere større atmosfæriske forstyrrelser.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Kapitel 5

Forsøgsplanlægning

I dette kapitel følger en præsentation af det hard- og software, herunder et dataformat, der bruges til dataindsamlingen.

5.1 Præsentation af modtagere

Som nævnt i afsnit 3.1 vælges der at tage udgangspunkt i de billige enkeltfrekvente modtager Aalborg Universitet har til rådighed. Billeder af modtagerne kan ses i figur 5.1 og i tabel 5.1 ses antal kanaler og pris.



Figur 5.1: Viser billeder af de fire billige modtagere.

Tabel 5.1: Tabellen viser en oversigt over kanaler og pris for de fire modtagere.

Navn	# kanaler	Pris
u-blox Antaris LEA 4T	16	2250 kr
u-blox Antaris TIM-LP	12	2250 kr
Garmin 12XL	12	Ukendt
Magellan AC12	12	7500 kr

Priserne i tabel 5.1 er oplyst af Peter Cederholm. For at øge overskueligheden i resten af rapporten udelades u-blox i navnet de to af modtagerne i det efterfølgende.

5.2 Præsentation af software

I princippet kunne startes hel fra bunden med at skrive kode til at indlæse det binære data fra de enkelte modtagere i Matlab. Dette er af-

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

prøvet i andet projektet og erfaringen viser at det ikke er realistisk at nå dette. I stedet tages afsæt i eksisterende software. Først og fremmest bruges eksisterende programmer til datalogning som det fremgår af tabel 5.2.

Tabel 5.2: Viser en oversigt over programmer til dataindsamling.

Modtager	Program	Version
Antaris LEA 4T	u-Center	5.06
Antaris TIM-LP	u-Center	5.06
Garmin 12 XL	Async	1.21
Magellan AC12	Acom32	3.00.02

Herudover blev brugt to forskellige programmer til oversættelse af de rå datafiler, se tabel 5.3.

Tabel 5.3: Viser en oversigt over filformat og oversættelsesprogram.

Modtager	Filformat	Oversættelsesprogram
Antaris LEA 4T	.ubx	Teqc
Antaris TIM-LP	.ubx	Teqc
Garmin 12 XL	.g12	Gar2rnx_1_48
Magellan AC12	.log	Teqc

Efter oversættelse fra de rå, binære filer haves alle filer i RINEX format - hvilket følger en forklaring af i det følgende afsnit.

5.3 Præsentation af RINEX

RINEX står for The Receiver Indepent Exchange Format og startede omkring år 1989 som et forsøg at lave et ens data format til udveksling af GPS data fra forskellige modtagere - hvilket langt hen ad vejen er lykkedes. Her i 2010 er vi kommet til version 3.00 - men i forsøgene er dog brugt version 2.11. RINEX er et ASCII format hvor alle tal har tildelt et bestemt antal pladser. En RINEX fil kan i version 3.00 være af tre forskellige typer. Det kan være en observationsfil med observationsdata, en

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

navigationsfil med navigationsdata eller en meteorologifil med meteorologiske data. I format 2.10 er også satellit- og modtager- ur-data-filer. I figur 5.2 vises et eksempel på observationsdata.

```
     2.11           OBSERVATION DATA    G (GPS)             RINEX VERSION / TYPE
teqc  2010Mar17                        20100503 18:22:10UTCPGM / RUN BY / DATE
MSXP|IAx86-PII|bcc32 5.0|MSWin95->XP|486/DX+                COMMENT
-Unknown-                                                   MARKER NAME
-Unknown-           -Unknown-                               OBSERVER / AGENCY
-Unknown-           U-BLOX              -Unknown-           REC # / TYPE / VERS
-Unknown-           UBLOX           NONE                    ANT # / TYPE
  3427688.5822   603003.5921  5327038.2098                  APPROX POSITION XYZ
        0.0000        0.0000       0.0000                  ANTENNA: DELTA H/E/N
     1     0                                                WAVELENGTH FACT L1/2
     4    L1    C1    S1    D1                             # / TYPES OF OBSERV
 SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9]                COMMENT
  L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9)                  COMMENT
  2010     5     3    16    57    8.0030000     GPS         TIME OF FIRST OBS
                                                            END OF HEADER
 10  5  3 17  0 23.0030000  0 10G26G28G22G09G12G17G15G18G11G27
  62830109.526 8  20949948.844          50.000         4466.462
  80579303.199 7  24327509.207          46.000         2110.044
 101394070.862 8  24091346.051          49.000         5304.067
  62127201.903 8  20816183.189          49.000         6579.191
                  24367711.430          30.000         8695.086
  81921568.049 8  22784180.012          49.000         6089.794
  81835136.008 7  22467942.664          47.000         2421.899
  77872207.595 7  23812362.571          46.000         3472.044
 113964455.975 7  25284222.660          42.000         4986.797
  70468586.300 8  21504123.032          48.000         5697.095
 10  5  3 17  0 24.0030000  0 10G26G28G22G09G12G17G15G18G11G27
  62825643.868 8  20949098.879          50.000         4465.198
  80577193.564 7  24327107.816          46.000         2109.006
 101388767.626 8  24090336.939          49.000         5302.742
  62120623.241 8  20814931.372          49.000         6578.713
                  24366055.754          29.000         8696.026
  81915479.290 8  22783021.457          49.000         6088.715
  81832714.597 7  22467481.743          47.000         2420.927
  77868736.416 7  23811702.150          46.000         3470.783
 113959470.272 7  25283273.524          42.000         4984.806
  70462890.165 8  21503038.998          48.000         5696.106
 10  5  3 17  0 25.0030000  0 10G26G28G22G09G12G17G15G18G11G27
  62821179.008 8  20948249.253          49.000         4464.617
  80575084.178 7  24326706.400          46.000         2109.469
 101383465.078 8  24089327.584          49.000         5302.834
  62114045.174 8  20813679.659          48.000         6577.805
```

Figur 5.2: Viser et eksempel på observationsdata.

I figur 5.2 er første kolonne L1 faseobservationer, anden kolonne C/A kode data, tredje kolonne SNR go fjerde kolonne doppler frekvensen på L1. Værdien af C/A kode data viser en direkte afstand imellem satellitten og modtageren, fx 20.949.948,844 meter mellem modtageren og satellit 26 den 10. maj 2010 klokken 17:00:23,003 (urfejlspåvirket) GPS tid. Værdierne af faseobservationerne starter med en mere eller mindre tilfældig startværdi - den ambiguity vi senere bestemmer ved positionering. Tilvæksten fra en faseobservation til en anden faseobservation vil cirka udgøres af doppler værdien da der er er et sekund mellem observationerne. Et eksempel på den første faseobservation er at 62.825.643,868 - 62.830.109,29 er lig -4.465,661 hvilket cirka lig doppler dopplerobservationen til anden epoke, 4.465,198.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

5.4 Præsentation af kode

RINEX filer kan behandles på mange måder og af mange forskellige stykker software. Fx er det muligt at importere RINEX filer i Leica Geo Office og beregne det der. Imidlertid er det stærkt begrænset hvad man kan få ud af Leica Geo Office af information om hvordan resultaterne fremkommer. Netop af denne grund er valgt at benytte Matlab software scripts da der herved er mulighed for at se hvad der foregår. Et sæt af scripts der kan klare opgaven er skrevet af vejleder på projektet Peter Cederholm. Disse scripts beregner basislinie, urfejl, koordinater, residualvektorer mv., ud fra en model som ligger tæt op ad den Hofmann Wellenhof [2, side 262] har beskrevet.

Ved brug af dette sæt af er der nogle ting at være opmærksom på. Fx skal der indsættes approksimale modtagerpositioner i headeren fra u-blox filerne. Alle disse indledende manøvrer er beskrevet i appendiks A.

Generelt om disse Matlab scripts kan siges at de består af ca. 33 styks der startes med start.m hvori de opsættende parametre indstilles såsom koordinater til masterstation, cutoff vinkel og eventuelt udeladte satellitter. Eftersom scriptene stadig er under udarbejdelse har de ikke (endnu) en form der vil gøre det meningsfuldt at offentliggøre dem. An af hensyn til censor på dette projekt vil de blive brændt på en enkelt CD-rom, men vil ellers ikke blive videre distribueret.

5.5 Forsøgsplan

Formålet er jf. problemformuleringen, side 18 at undersøge mængden af cycle slips under forskellige forhold. I afsnit 1.3 og afsnit 3.1 er argumenteret for basislinielængder på op til en kilometer.

Vi har en hypotese/forventning om at cycle slips i højere grad opstår under problemfyldte modtagebetingelser planlægges forsøg under vanskeligere forhold. Disse tilnærmes ved at placere den ene modtager med en bygning i ca. 45 grader mod syd, da der er størst chance for

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

at se satellitter mod syd pga. konstellationen i GPS. Dernæst ønskes varierende basislinielængder for at se hvilken indflydelse dette har på mængden af cycle slips. For at sikre den samme afskærende vinkel hver gang planlægges at flytte masteren i stedet for normalt roveren, da alle forsøg udføres som statiske. Masteren kan så placeres med frit udsyn til himmelen i forskellige afstande fra roveren.

Der planlægges fire forsøg med hver af de fire forskellige modtagere.

observations-frekvens

Eftersom at satellitterne bevæger sig med 3,87 kilometer i sekundet er det rå output fra en modtager på ingen måde statisk. En epoke observation er et øjebliksbillede af observationerne på et givent tidspunkt. Jo længere der er imellem epokerne jo større forskel/differens vil der være mellem observationerne. Jo større forskel/differens der er imellem epokerne jo sværere vil det være at detektere et cycle slip. Derfor vælges 1 Hz observations frekvens, dvs. en observation i sekundet i stedet for fx 20 sekunder mellem observationerne.

Indsamlings-periode

Ud fra studier af kortere stumper af data fra de billige modtagere vurderes det at 10 minutters indsamlingsperiode med 1 Hz frekvens er for lidt. Og da der haves en viden om at dataindsamlingen godt kan volde problemer vurderes det passende med en halv times times data, dvs. 1.800 epoker. Rent praktisk indsamles der typisk i 30-40 minutter hvorefter datasættet skæres til således der endes op med filer med netop 1.800 epoker.

For hvert forsøg sammenlignes dataene for de fire modtagere for at se om der er forskelle modtagerne iblandt.

Alt i alt bliver dette til følgende fire forsøg:

1. Basislinje på ca. 1 meter niveau uden forhindringer (benævnes senere "mu")
2. Basislinje på ca. 1 meter niveau med forhindringer (benævnes senere "mm")
3. Basislinje på ca. 50 meter med forhindringer (benævnes senere "d5")

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

4. Basislinje på ca. 1 kilometer med forhindringer (benævnes senere "1k")

Gennem alle forsøg bruges en og samme antenne. Den i figur 3.1 præsenterede u-blox antenne.

Spørgsmål der besvares

For at gøre det helt klart hvorfor de enkelte forsøg laves opstilles spørgsmål der ønskes at besvares med de enkelte forsøg.

1. Hvilken indflydelse har forhindringer på mængden af cycle slips?
2. Hvilken indflydelse har støjniveauet (længden af basislinjen) for hvor nemt det er at detektere cycle slips?
3. Under de givne omstændigheder er der da forskel på mængden af cycle slips for de fire modtagere?

En mere specifik procedure for hvordan data blev indsamlet findes i appendiks A side 96.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Kapitel 6

Resultater

I dette kapitel bliver resultaterne af de udførte forsøg præsenteret. Kapitlet indeholder 64 plots. Alle disse plots er medtaget for at give den samme struktur i hvert forsøg. Ved sammenligning af figurerne henledes igen opmærksomheden på de meget forskellige skaleringer af anden aksen.

I afsnit 6.1 gives en oversigt over forsøgene. I afsnit 6.2 gives en specifik kommentar til Garmin modtageren, i afsnit 6.3 fastlægges grænserne der bruge for cycle slip detektering og i afsnit 6.4 beskrives et opstået problem med huller i data. I afsnit gives et overblik over forsøgene og resten af kapitlet præsenteres i afsnit .

6.1 Oversigt over forsøg med tilhørende filnavne

Som planlagt er der lavet fire forsøg der navngives som følger:

- mu = En meters basislinie uden forhindringer
- mm = En meters basislinie med forhindringer
- d5 = 50 meter basislinie med forhindringer
- 1k = 1 kilometer basislinie med forhindringer

Som en kontrol af længden af basislinierne blev punkterne målt med traditionelt RTK udstyr. De faktiske afstande blev 1,002 meter, 4,611

meter, 53,672 meter og 1013,114 meter, respektivt. Et billede af hvordan roveren stod med en afskærende vinkel i mm, d5 og 1k forsøgene kan ses i figur 6.1.



Figur 6.1: Viser hvordan en bygning danner en afskærende vinkel i 45 grader i forsøgene med forhindringer. Antennentypen på billedet er kun brugt til opsætning af dette billede.

Udgangspunktet var at indsamle data med alle fire modtagere for hvert forsøg. Der viste sig imidlertid mange problemer med Magellan AC12 modtagerne og disse blev derfor ikke benyttet i de to sidste forsøg, d5 og 1k. Dermed blev indsamlet 14 datasæt, hver bestående af en master og en rover, i alt 28 filer, som det fremgår af tabel 6.1 der viser en

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

oversigt herover.

Tabel 6.1: Viser en oversigt over de indsamlede filer - alle i RINEX filformat. Efter modtagernavnet står m for master og r for rover.

Modtager	**mu** Meter uden forhindring	**mm** Meter med forhindring	**d5** 50 meter basislinie	**1k** 1 kilometer basislinie
Antaris LEA 4T - m	ny_ma_mu	ny_ma_mm	ny_ma_d5	ny_ma_1k
Antaris LEA 4T - r	ny_ro_mu	ny_ro_mm	ny_ro_d5	ny_ro_1k
Antaris TIM-LP - m	gl_ma_mu	gl_ma_mm	gl_ma_d5	gl_ma_1k
Antaris TIM-LP - r	gl_ro_mu	gl_ro_mm	gl_ro_d5	gl_ro_1k
Garmin 12XL - m	ga_ma_mu	ga_ma_mm	ga_ma_d5	ga_ma_1k
Garmin 12XL - r	ga_ro_mu	ga_ro_mm	ga_ro_d5	ga_ro_1k
Magellan AC12 - m	ma_ma_mu	ma_ma_mm	-	-
Magellan AC12 - r	ma_ro_mu	ma_ro_mm	-	-

6.2 Garmin observationerne

Doppler observationer fra Garmin modtagerne har vist sig at være fejlbehæftet.

Doppler observationerne i alle filer fra Garmin modtageren ligger mellem 27.000 og 35.000 Hz hvilket er over den værdi doppler frekvensskiftet kan antage. Endvidere har datasættet ga_ro_mm.rinex vist sig, efter 1 minut og 13. sekunder, at indeholde et pludseligt skift i observationerne. Fra en epoke til næste er der ingen sammenhæng imellem faseobservationerne og kodeobservationerne kommer til at ligge i størrelsesordenen 310 til 330 mio. Hvad der er den specifikke årsag kan vi kun gætte på.

Som nævnt i afsnit 5.2 er der til indsamling af data fra Garmin modtagerne brugt programmet Async og til oversættelse programmet Gar2rnx_1_48. Disse to programmer er begge skrevet af Antonio Tabernero Galan. På hans hjemmeside fremgår, at det er hans overbevisning, at det næppe har være intentionen fra producenten Garmins side, at få observationer ud på den måde det bliver gjort. At få lavet en læser på den måde han

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

gøre er en kombination af dygtighed, held og kvalificerede gæt.

Hvad der ydermere fremgår af hjemmesiden er at programmet Async er udvikle til firmware revision 4.53. Soft- og firm-ware på de Garmin modtagere vi arbejder med er af version 4.57. Denne forskel i firmware version kan være en mulig forklaring på den periodiske fejl der er opstået.

6.3 Fastlæggelse af grænser

De to metoder der bruges til cycle slip detektering og reparation i forsøgene, doppler metoden og tripel differens, giver udslag såfremt cycle slips opstår. Eftersom der vil være et givent støjniveau skal der dermed fastlægges en grænse for hvornår en observation registreres som et cycle slip og hvornår den ikke gør.

Ud fra mange iagttagelser af de forskellige modtagere fastlægges grænsen til 5 cm i tripel differens metoden og 50 cm i doppler metoden.

Grænsen på 5 cm i tripel differenserne giver ikke anledning til større problemer. Et cycle slip er per definition en heltallig værdi, men eftersom de fire modtagertyper der bruges i forsøgene alle arbejder med halve (L1) bølgelængder, er det mindste forekommende cycle slip ca. 9,5 cm. Støjniveauet er omkring +- 1-2 cm.

Støjniveau i doppler observationerne fra Magellan modtagerne har vist sit at være konstant og på et niveau cirka 10 gange større end i u-blox modtagerne, ca. +- 5 meter, se fx figur 6.17 eller figur 6.18. Det høje støjniveau gør at ingen af Magellan doppler observationerne kan bruges til cycle slip håndtering.

Grænsen på 50 cm i doppler metoden medfører at cycle slips på op til 2,5 bølgelængder ikke detekteres og dette må haves in mente ved vurdering af metoden såvel som dens resultater.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

6.4 Huller i data

Flere steder blev observeret at der mangler en enkelt epoke til en eller flere satellitter. Fra sidste observation fra satellitten før hullet og til første observation efter hullet sker en ændring i værdierne der overstiger støjniveauet markant. Det vil sige at modtageren vælger en helt ny periodekonstant. Havde der ikke været dette hul havde der været tale om et cycle slip. Men med hullets eksistens kan vælges at kalde det et hul og ikke tænke i cycle slips.

Hvornår man vil tale om et cycle slip er således et definitions spørgsmål. Det kan fremføres at mangler der en observation til en eller flere epoker er der tale om et hul og en ny periodekonstant må bestemmes. Det kan også fremføres at mangler der fx "blot" en enkelt epoke og der er et spring imellem observationerne på hver sin side af den manglende epoke så er der tale om et cycle slip. Sidstnævnte kan repareres ved at ekstrapolere for at få en værdi til den (eller de) manglende epoker.

I den smule lærebogs litteratur der er skrevet om cycle slips (jf. forord, side xii) står skrevet at er cycle slippet af *længere varighed* må en ny periodekonstant bestemmes. Der er ingen tvivl om at er der flere minutter hvor en satellit forsvinder, så må en ny periodekonstant bestemmes. Omvendt, mangler kun observationer til en enkelt epoke, så kan man vælge at bibeholde periodekonstanten og så lade cycle slips håndterings metoder fange eventuelle cycle slips der måtte opstå. I visse tilfælde vil det også være muligt at bestemme en ny periodekonstant ved ethvert hul. Det kan dog give problemer hvis der arbejdes med data med mange huller.

Det er således en afvejning der må ske. Jo større/længere en konstant der vælges jo mere upræcis bliver cycle slip bestemmelsen - der skal ekstrapoleres over et længere stykke. Omvendt giver det observationsligninger med færre ubekendte og dermed større overbestemmelse.

Med de indsamlede data har det vist sig umuligt at beregne 4 ud af de 13 datasæt hvis der bestemmes en ny periodekonstant såfremt der opstår et hul på en enkelt epoke. Der er derfor fastsat en variablen "max-

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

hul" for hver datasæt der fastsætter hvor mange epoker der må/skal mangle observationer til før en ny periodekonstant bestemmes. Dette fremgår af den følgende tabel 6.2.

Tabel 6.2: Viser variablen "maxhul" i forsøgene - den afgør hvor mange epoker der må mangle før der laves en ny periodekonstant.

Modtager	**mu** Meter uden forhindringer	**mm** Meter med forhindringer	**d5** 50 meter basislinie	**1k** 1 kilometer basislinie
Antaris LEA 4T	0	0	0	0
Antaris TIM-LP	0	0	0	0
Magellan AC12	0	0	-	-
Garmin 12XL	2	-	1	2

Nogle datasæt har vist sig meget hullede og der er lavet en lille analyse heraf, se tabel 6.3. Af denne fremgår det antal steder hvor der er et hul på netop en epoke. Det kunne fx være at der var observationer til satellit fem i epoke frem til epoke 100 og at der var observationer fra epoke 102 og fremefter men at observationen til epoke 101 mangler.

Tabel 6.3: Viser antal steder i datasættet med et hul på netop en epoke.

Modtager	**mu** Meter uden forhindringer	**mm** Meter med forhindringer	**d5** 50 meter basislinie	**1k** 1 kilometer basislinie
Antaris LEA 4T	0	0	0	36
Antaris TIM-LP	0	0	0	3
Garmin 12XL	1759	-	145	3454
Magellan AC12	0	11	-	-

6.5 Overblik over forsøgene

Forud for præsentationen af forsøgene gives i dette afsnit et overblik over antallet af cycle slips i hvert af forsøgene, se tabel 6.4.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Tabel 6.4: Viser antallet af cycle slips i de enkelte forsøg. dop = doppler metode og tri = tripel differens. Se afsnit 6.3 for kommentering af tal i parentes, Magellan AC12 doppler observationer.

Forsøg:	**mu** Meter uden forhindring		**mm** Meter med forhindring		**d5** 50 meter basislinie		**1k** 1 km. basislinie	
Modtager/metode	dop	tri	dop	tri	dop	tri	dop	tri
Antaris LEA 4T	12	0	0	0	12	5	22	27
Antaris TIM-LP	40	0	20	0	41	16	60	31
Garmin 12XL	-	79	-	-	-	6	-	23
Magellan AC12	(17531)	0	(4832)	6	-	-	-	-

6.6 Om efterfølgende plots og beskrivelser

I de følgende afsnit 6.7 til og med afsnit 6.10 beskrives forsøgene hver for sig. Forud for læsning af afsnittene henledes opmærksomheden på det som følger i nærværende afsnit.

Ved sammenligning af figurerne skal iagttages de meget forskellige skaleringer af anden aksen, som nævnt i indledningen til dette kapitel. Af grafiske hensyn er hver satellit repræsenteret ved en farve, men såfremt det ønskes kan der ses bort fra ved den første fortolkning af figuren. Derimod har farverne og de dertil hørende satellit numre betydning ved sammenholdelse med skyplots og elevationsplots. Til hvert forsøg startes med at vise hvordan residualplottet ser ud før cycle slip håndtering. Det vil sige at disse figurer viser residualerne under den antagelse at der ingen cycle slips findes. Herefter vises residualplots efter cycle slip håndtering, dvs. enten med brug af doppler metoden eller tripel differens metoden. Disses overskrifter indeholder ikke "residualplot" men "Efter doppler metode" eller "Efter tripel differens". Med andre ord er plots indeholdende disse to sætninger lige så meget residualplot som dem der indeholder ordet "residualplot". Ordet "residualplot" er udeladt af pladshensyn i overskriften.

Residualplot er valgt til at vise forbedringerne af cycle slip håndter-

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

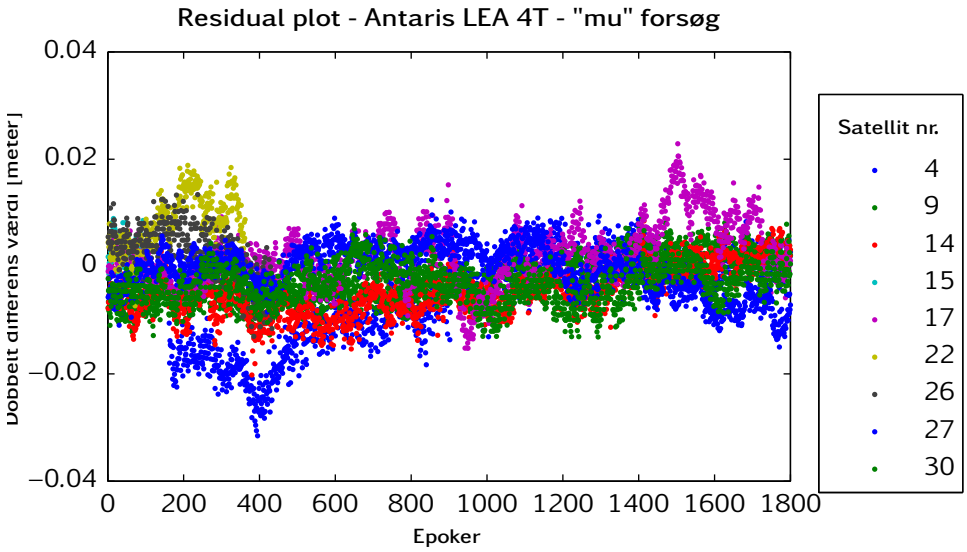
ing. I sidste ende er det dog ofte koordinatvarianser der har interesse. Af pladshensyn er koordinatvarianserne ikke medtaget i hver enkelt forsøg, men i et par af forsøgene er de dog medtaget for at givet et indtryk af sammenhængen imellem residualplot og koordinatvarianser.

6.7 Forsøg "mu"

Det startes her med ″mu″ forsøget hvor begge modtagere står placeret med frit udsyn til satellitterne.

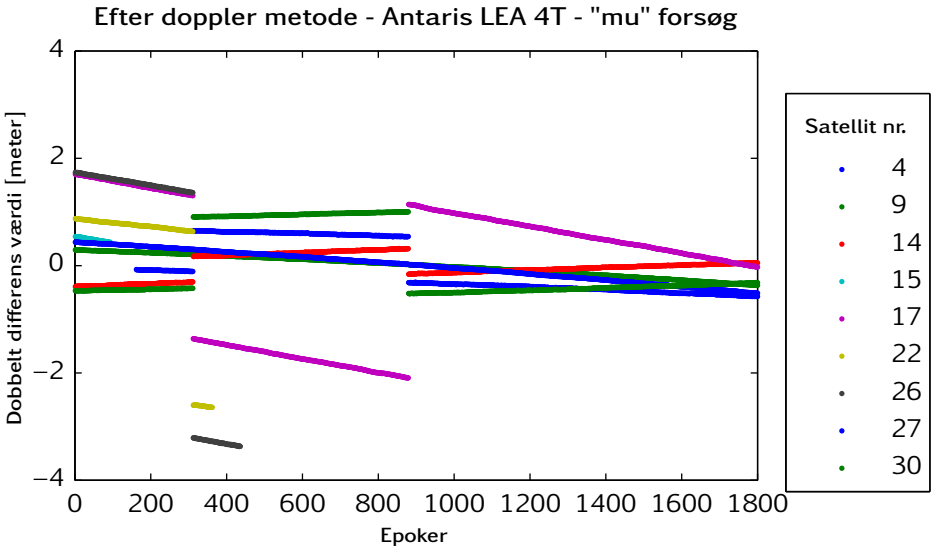
6.7.1 Antaris LEA 4T

Sammenholdes figur 6.2 før cycle slip håndtering med figur 6.3 efter doppler metoden, ses en klar forringelse.



Figur 6.2

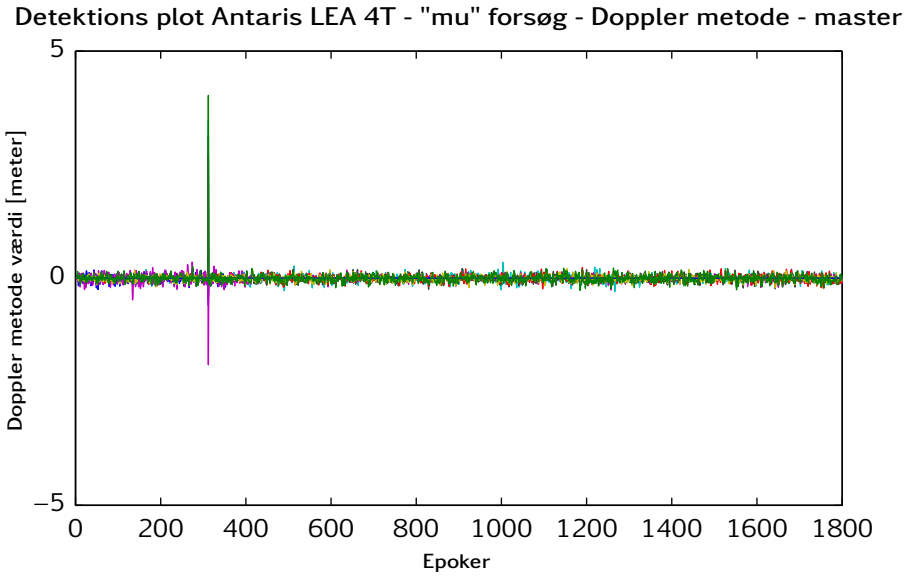
©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



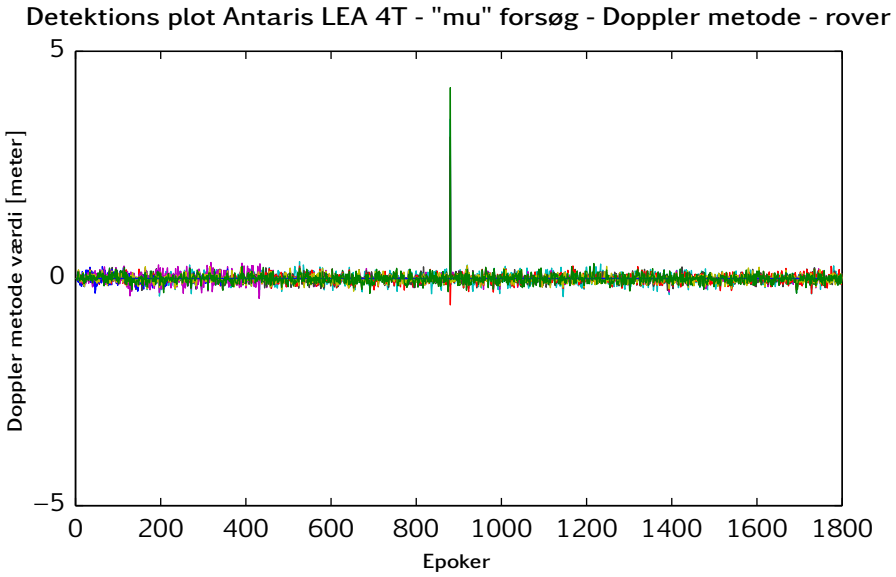
Figur 6.3

Det kan ses på figur 6.3 at det er to steder det går galt hvilket stemmer med de to steder på figur 6.4 og figur 6.5 hvor der er detekteret cycle slips.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.4

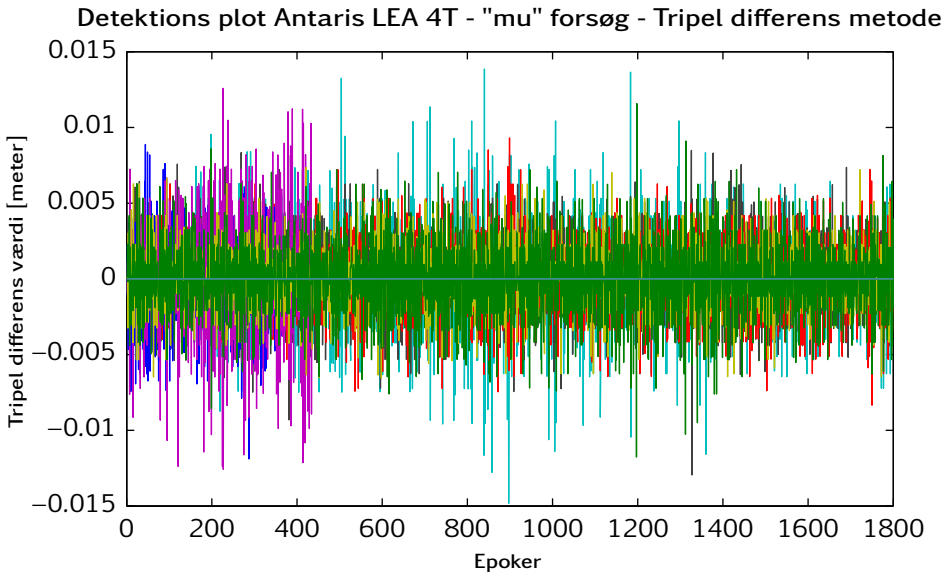


Figur 6.5

Som det fremgår af tabel 6.4 fandtes ingen cycle slips med tripel differens metoden. Dette kan også ses på figur 6.6 hvor der ingen "spikes"

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

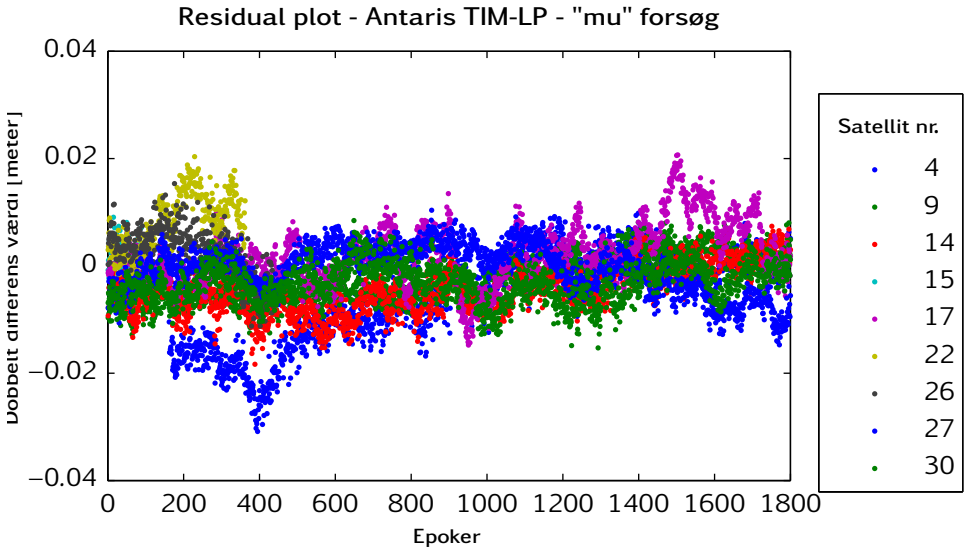
er.



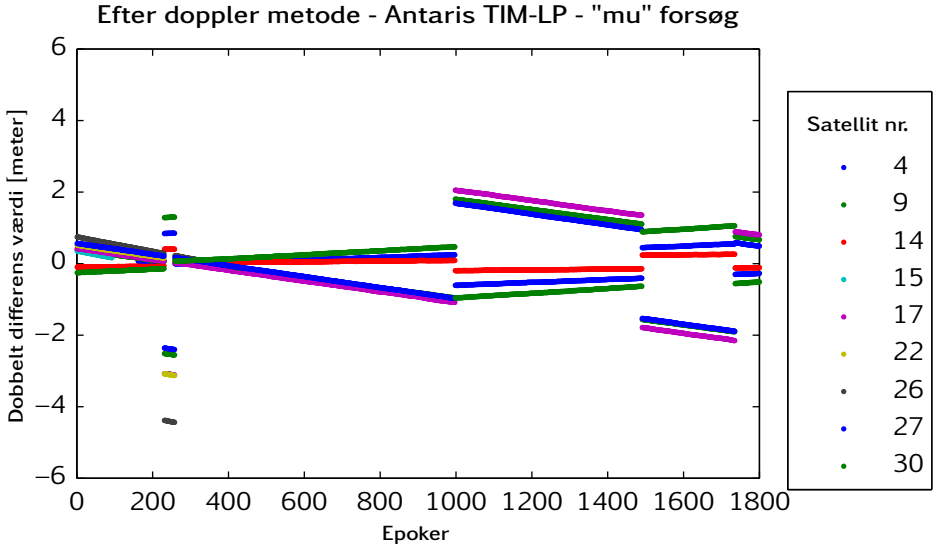
Figur 6.6

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

6.7.2 Antaris TIM-LP - ″mu″ forsøg



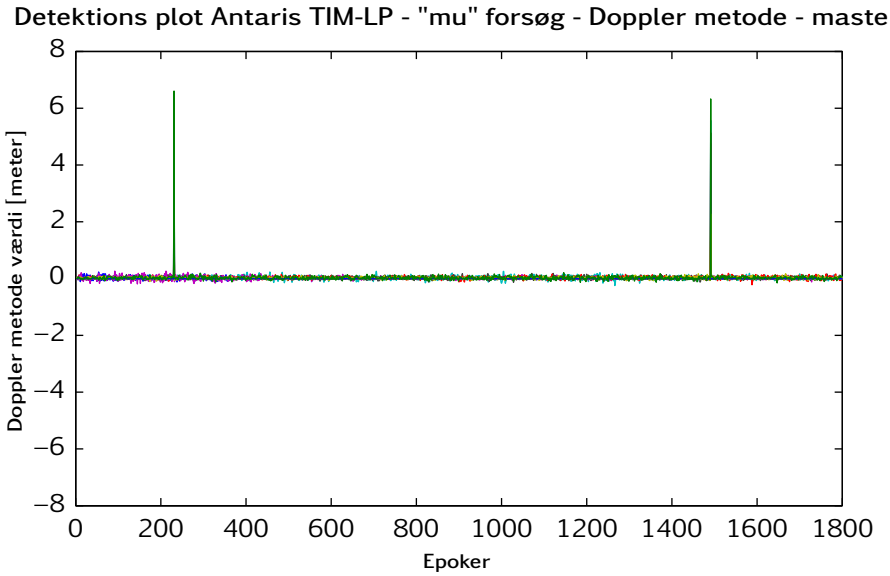
Figur 6.7



Figur 6.8

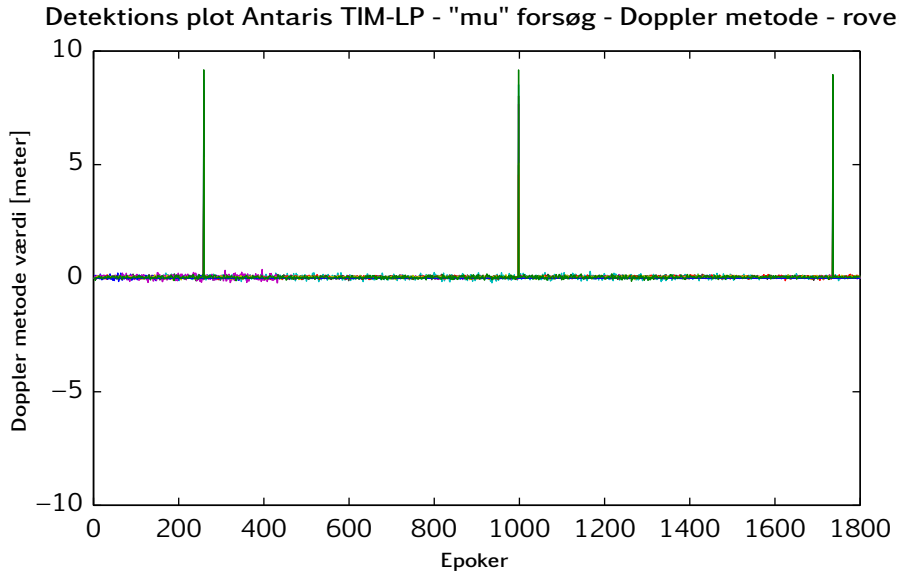
©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Ved sammenholdelse af figur 6.7 og figur 6.8 ses det samme billede som gør sig gældende ved sidste forsøg. Doppler observationerne i figur 6.9 og figur 6.10 har fem spikes og disse fire steder ses hop i residualplottet efter doppler observationer, figur 6.8.



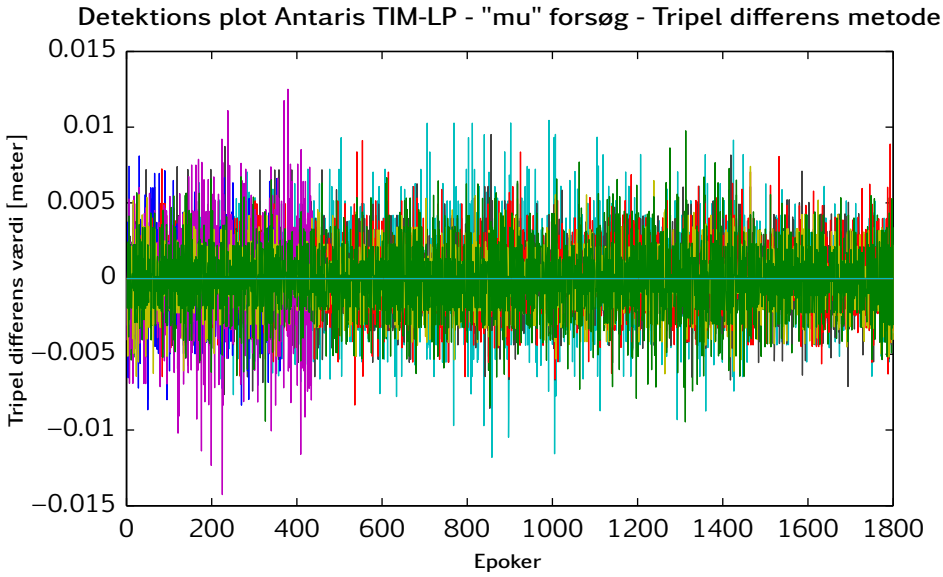
Figur 6.9

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.10

Der er ingen cycle slips i tripel differenserne, se figur 6.11

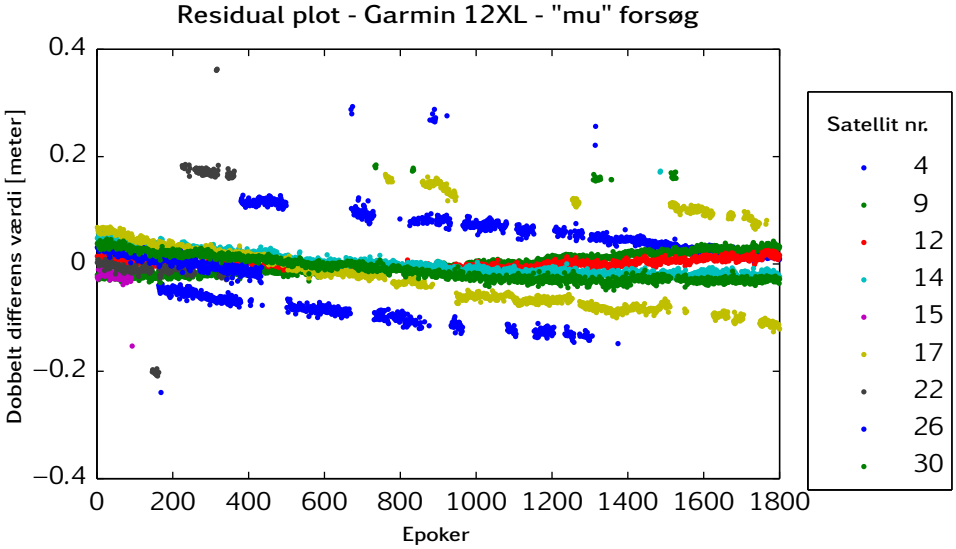


Figur 6.11

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

6.7.3 Garmin 12XL - "mu" forsøg

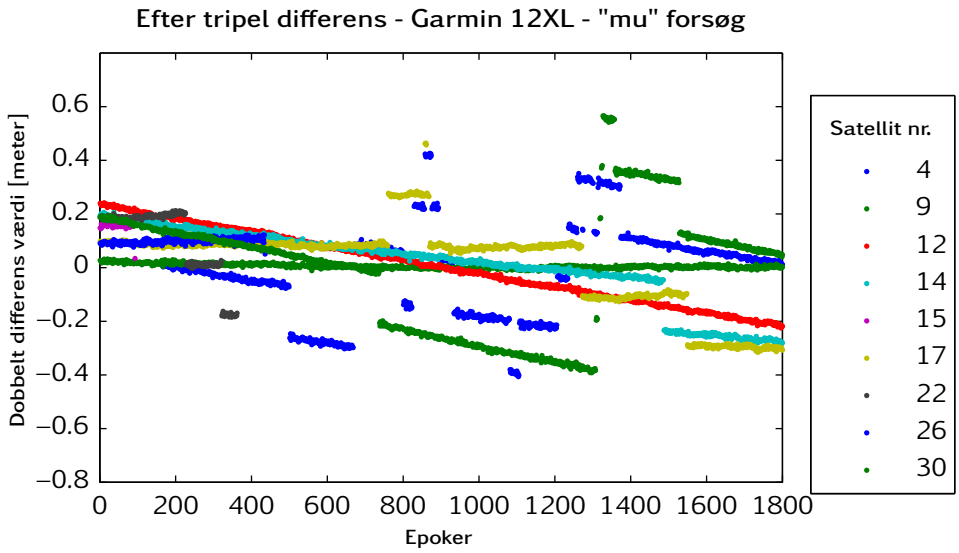
Eftersom Garmin modtagernes doppler observationer var defekte kan vi her kun vurdere på tripel differenserne. Før cycle slip håndtering ser det ud som på figur 6.12



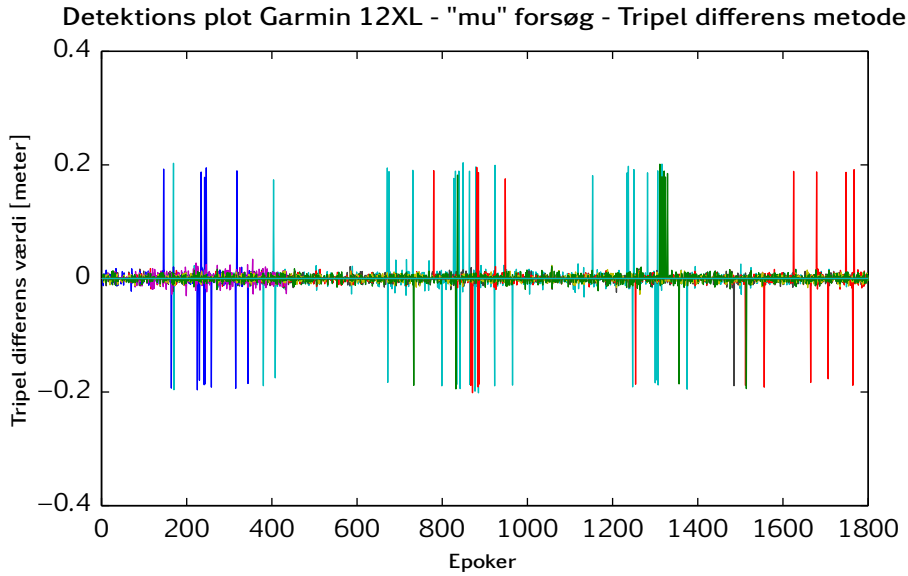
Figur 6.12

Så detekteres der 79 cycle slips jf. figur 6.14 og efter tripel differens håndtering ser det ud som følger i figur 6.13:

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.13



Figur 6.14: Viser de 79 cycle slips der detekteres i forsøget.

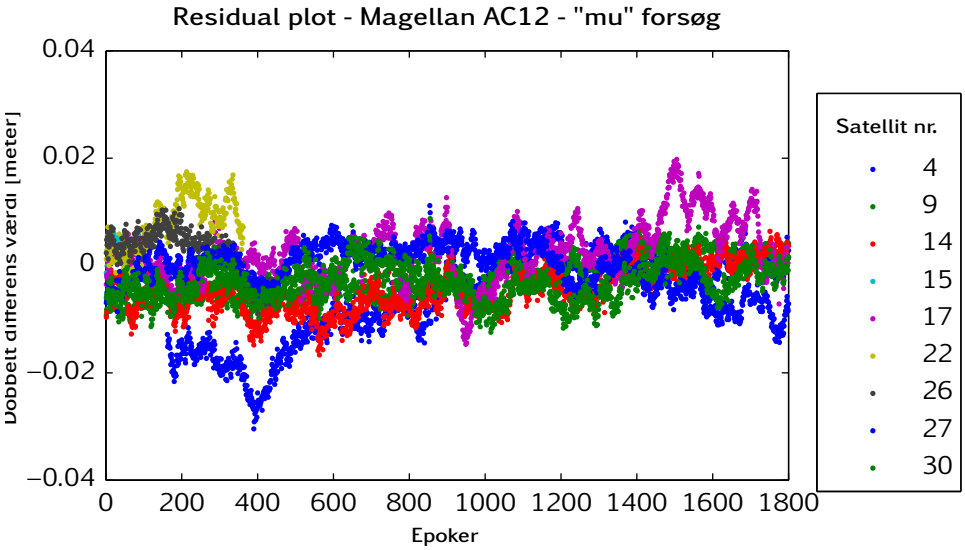
Ved sammenholdelse af figur 6.12 før cycle slip håndtering med figur 6.13 efter cycle slip ses at det er blevet mere spredt. Dog kan anes

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

at visse data blevet mere sammenholdende. Her er det vigtigt at have huske at variablen "maxhul", jf. tabel 6.2 er sat til to, hvilket har den indflydelse at der ved huller i data på en eller to epoker ikke bliver bestemt en ny periodekonstant. Det er ikke et problem såfremt der ingen spring sker i faseobservationerne, men sker der et spring/hop - vi kan kalde det er cycle slip - så vil det give en fejl. I lige netop dette datasæt er der 1759 steder i datasættet, jf. tabel 6.3, hvor der netop mangler en observation. Set i forhold til de 9858 observationer der er i hele datasættet udgør dette 18 procent.

6.7.4 Magellan AC12 - "mu" forsøg

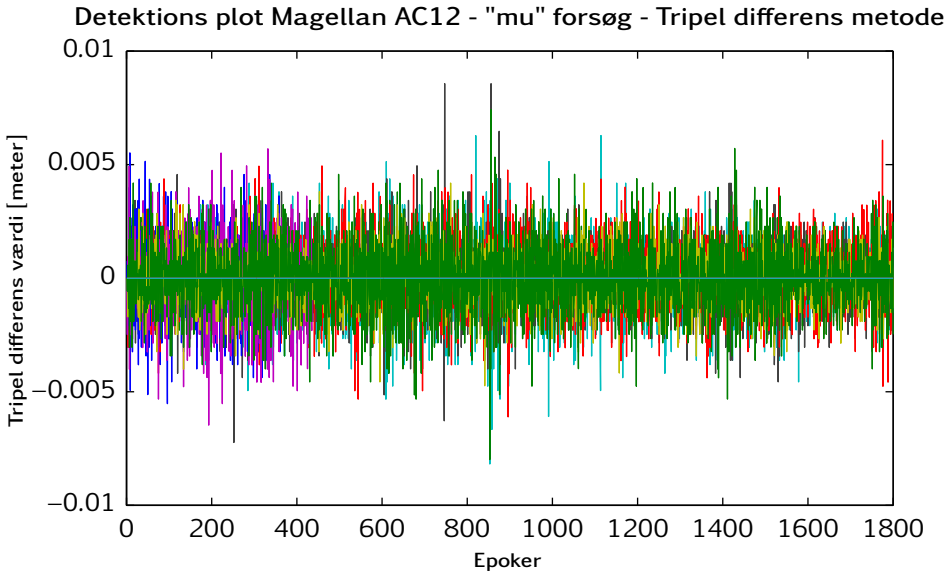
I dette forsøg detekteres ingen cycle slips. Den følgende figur 6.15 viser dermed det ene residualplot der såvel kan være før som efter cycle slip håndtering da der ingen ændring sker.



Figur 6.15

Tripel differenserne i figur 6.16 detekterer ingen cycle slips.

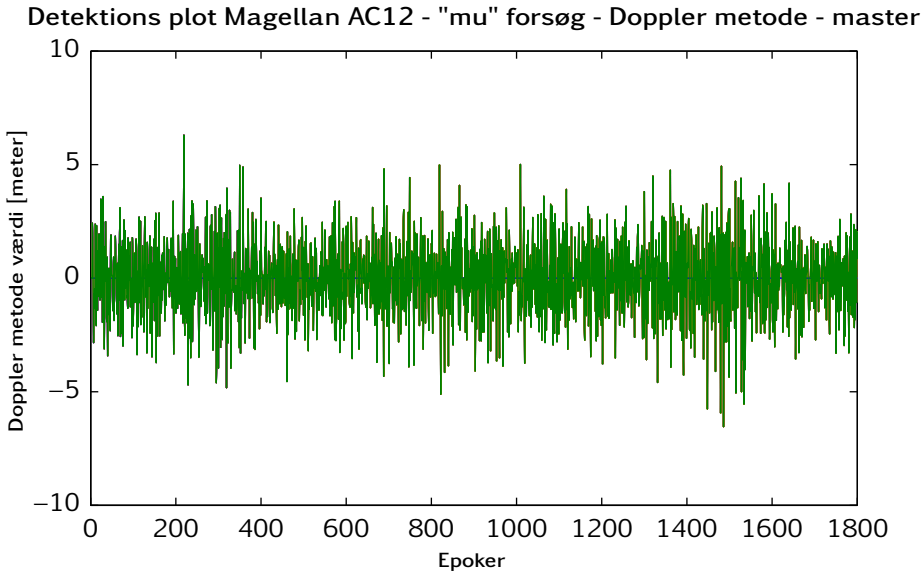
©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



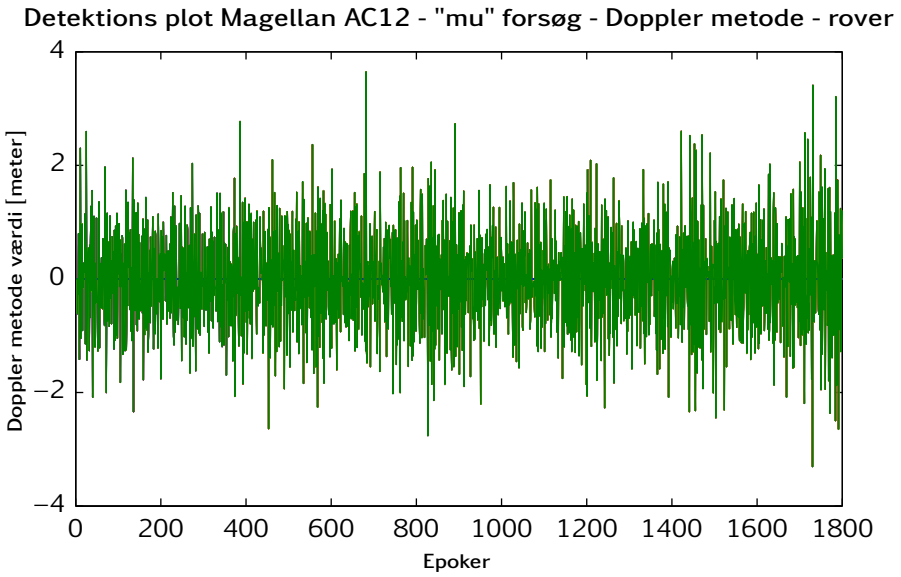
Figur 6.16

Som beskrevet i afsnit 6.3 er støjniveauet i Magellan AC12 doppler observationer cirka 10 gange større end i u-blox Antaris LEA 4T og u-blox Antaris TIM-LP, se figur 6.18 og figur 6.17.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.17



Figur 6.18

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

6.7.5 Opsummering "mu" forsøg

I det første delforsøg med Antaris LEA 4T haves før cycle slip håndtering en variation på cm niveau. Med doppler metoden sås en forringelse de to steder hvor denne havde detekteret cycle slips. Tripel differens metoden fandt ingen cycle slips.

I det andet delforsøg med Antaris TIM-LP ses, som nævnt i afsnit 6.7.2, det samme billede som i første delforsøg. Variation på cm niveau, doppler metoden spolerer observationerne og tripel differens metoden finder ingen cycle slips.

I tredje delforsøg med Garmin 12XL repareres 79 cycle slips med tripel differenser men uden den vilde effekt. Dette datasæt indeholder mange huller, hele 18 procent af observationerne. Variationen forbliver på decimeter niveau.

I fjerde delforsøg med Magellan AC12 detekteres ingen cycle slips - variation på cm niveau.

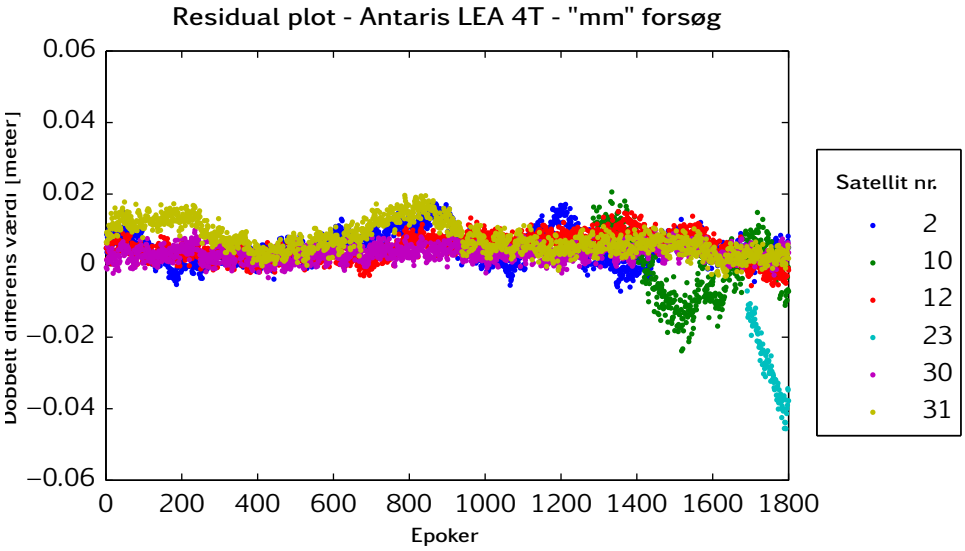
6.8 Forsøg "mm"

I dette afsnit behandles forsøget med en meter basislinie og med forhindringer for den ene af modtagerne i en afskærende vinkel på 45 grader mod syd. Den samme forhindring som der er i ″d5″ og ″1k″ forsøg.

6.8.1 Antaris LEA 4T

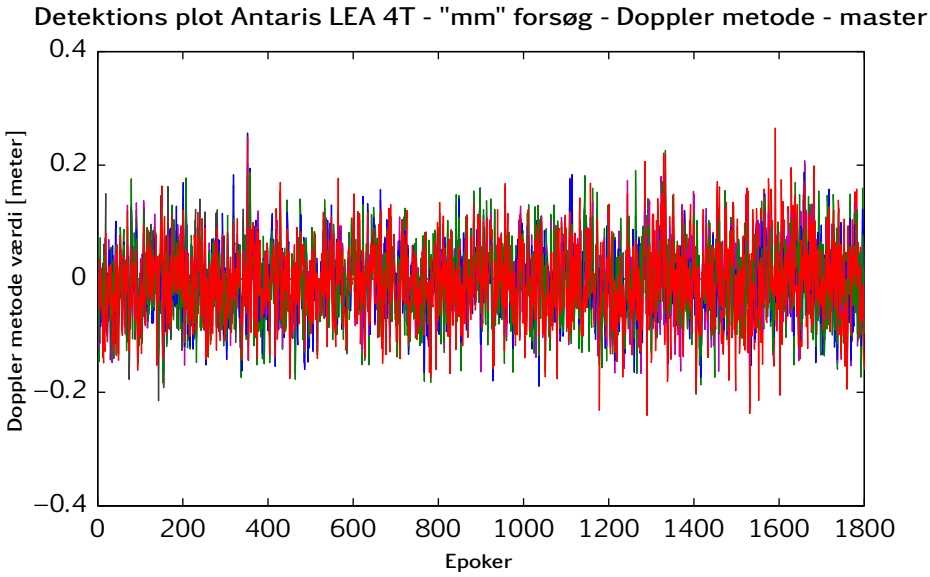
På figur 6.19 ses hvordan residualplottet ser ud før cycle slip håndtering.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



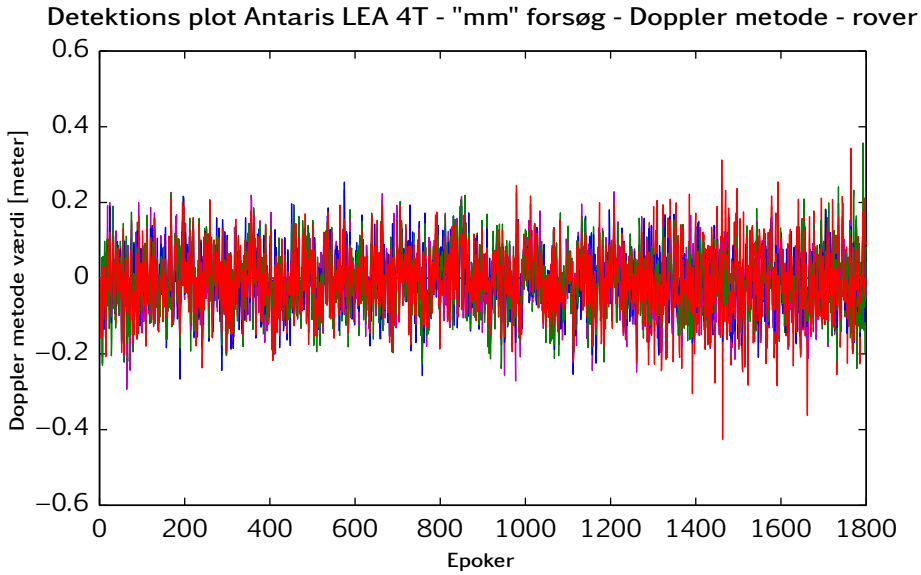
Figur 6.19

De følgende tre plots, figur 6.20, 6.21 og 6.22 viser at der ingen cycle slips ses i dette forsøg.

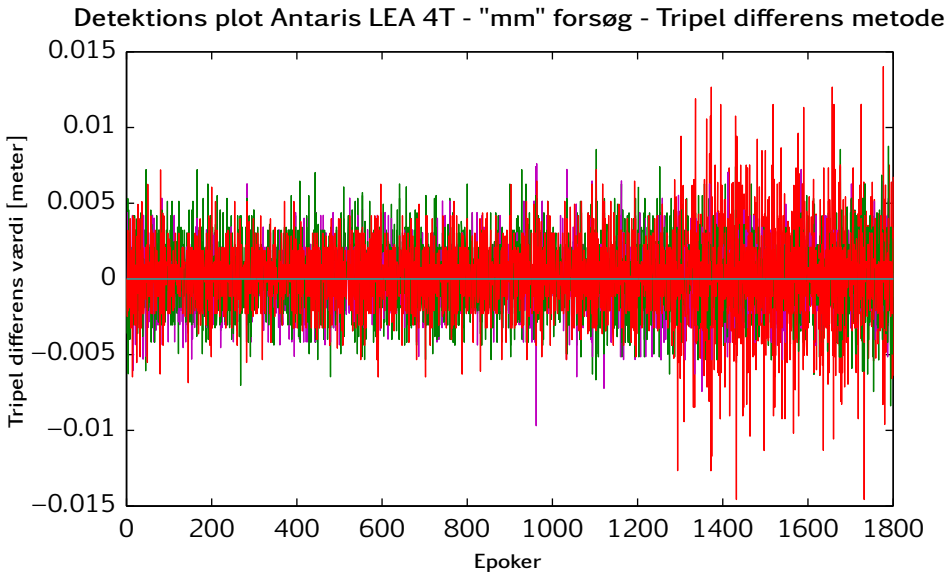


Figur 6.20

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.21

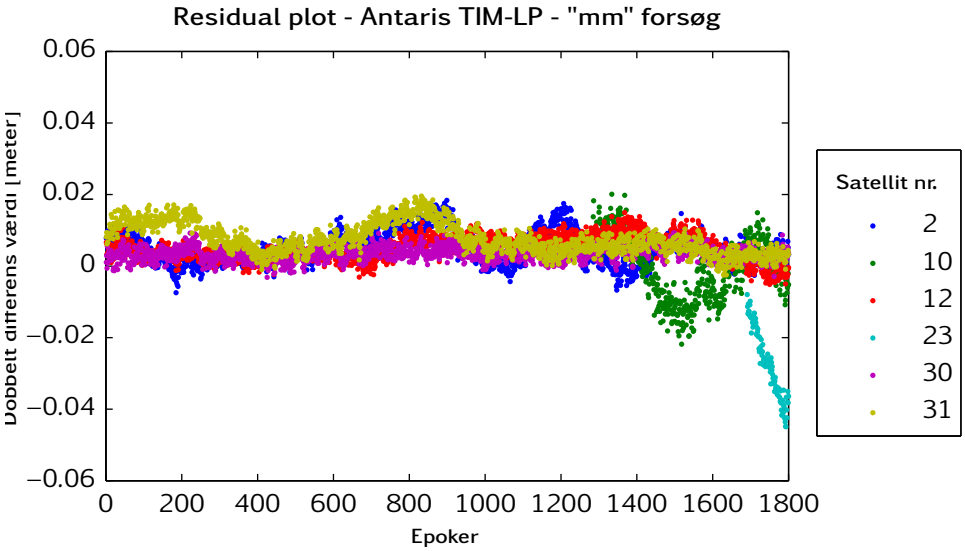


Figur 6.22

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

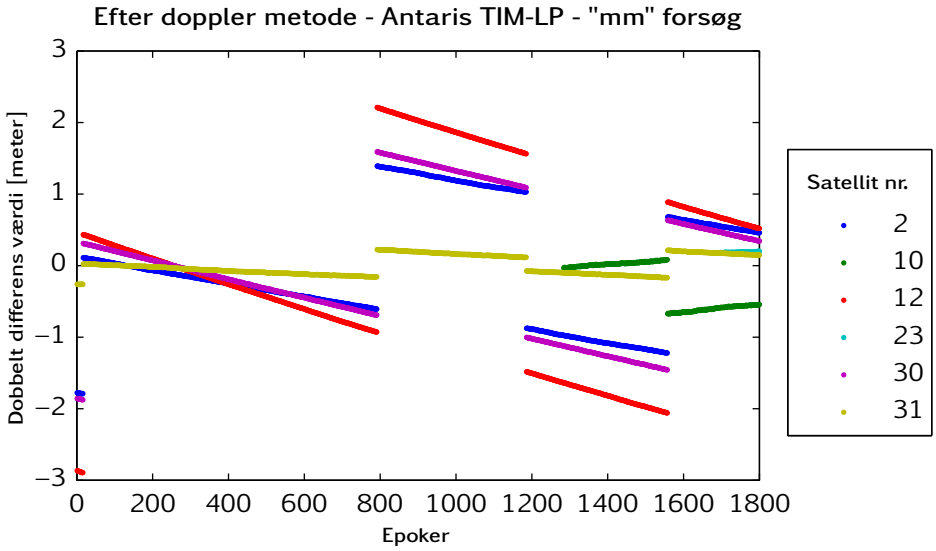
6.8.2 Antaris TIM-LP ″mm″ forsøg

Dette forsøg viser det samme billede som i afsnit 6.7.1 og afsnit 6.7.2. Et residualplot med variationer på cm. niveau før cycle slip håndtering, figur 6.23, og efter doppler metoden på meter niveau, figur 6.24. Tripel differens metoden detekterer ingen cycle slips, se figur 6.27



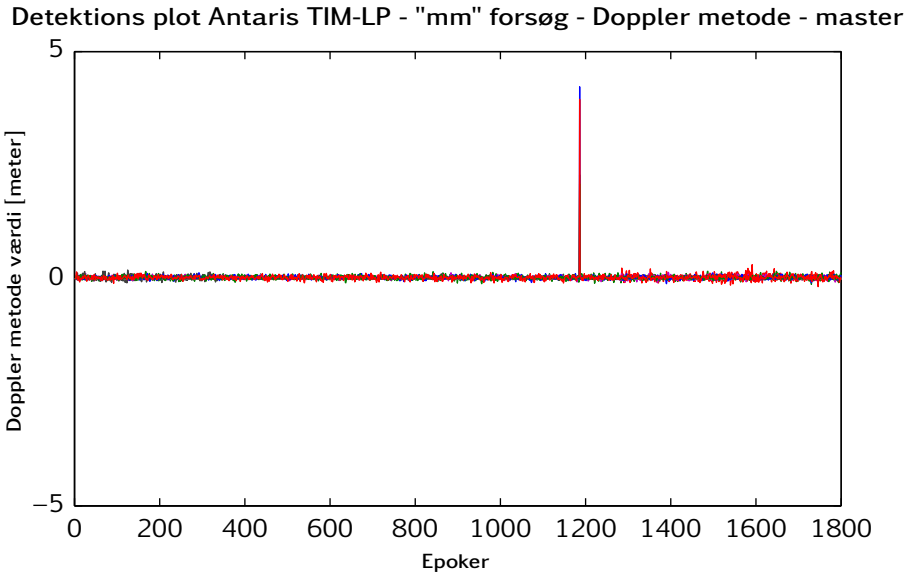
Figur 6.23

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



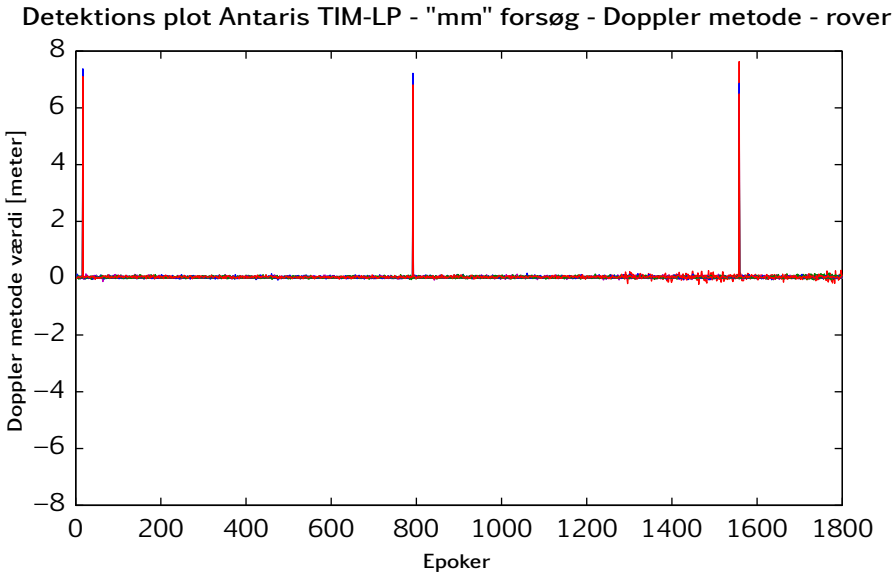
Figur 6.24

I figur 6.25 og figur 6.26 ses de fire spikes der giver udslag i residualplottet efter cycle slip håndtering, figur 6.24.

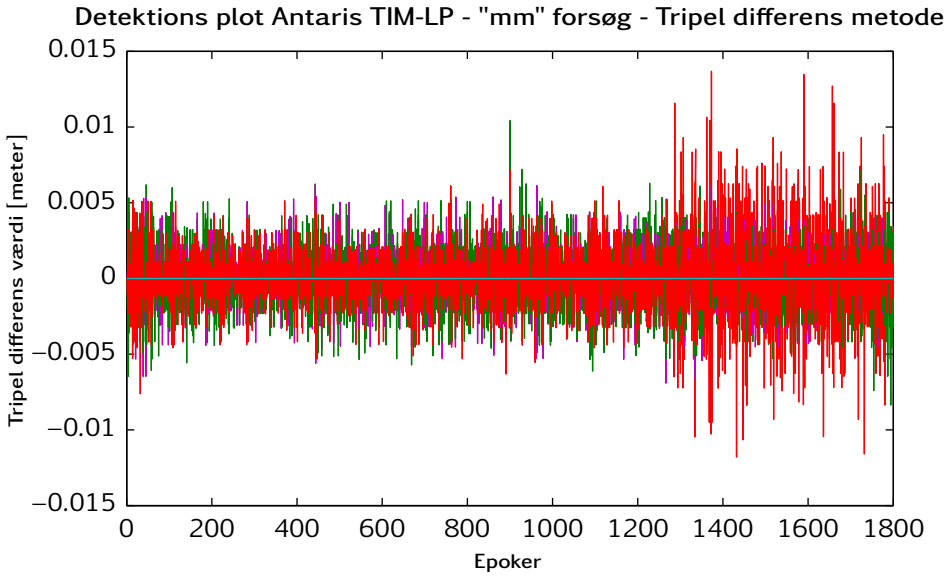


Figur 6.25

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.26



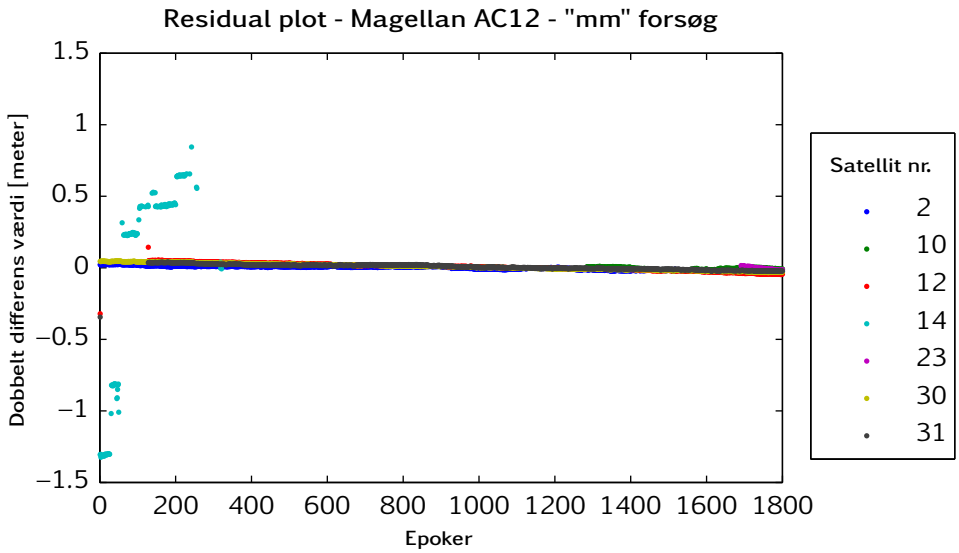
Figur 6.27

Efter dette delforsøg følger *ikke* Garmin 12XL modtageren da observationerne fra denne var fejlbehæftet jf. afsnit 6.2.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

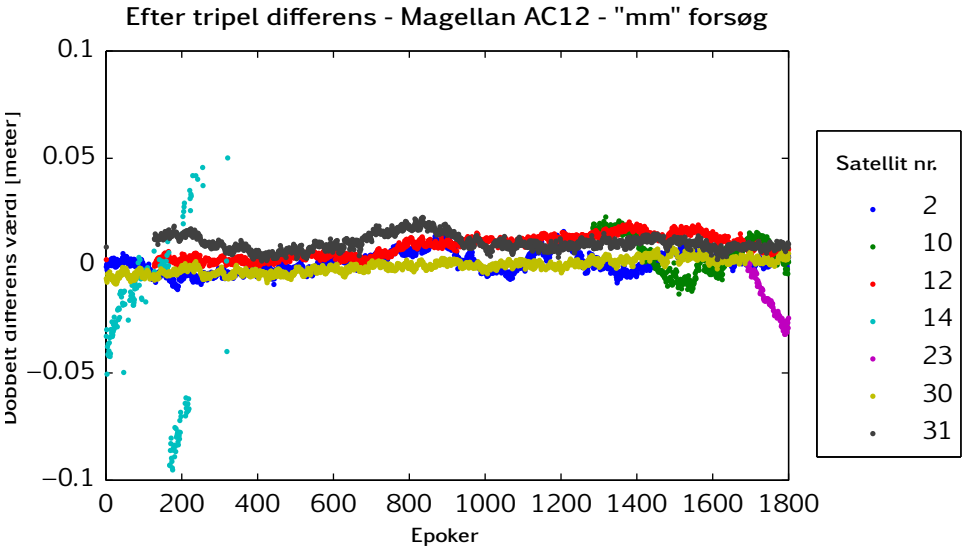
6.8.3 Magellan AC12 - ″mm″ forsøg

I dette forsøg gør tripel differenserne en forskel - sammenhold figur 6.28 med figur 6.29.



Figur 6.28

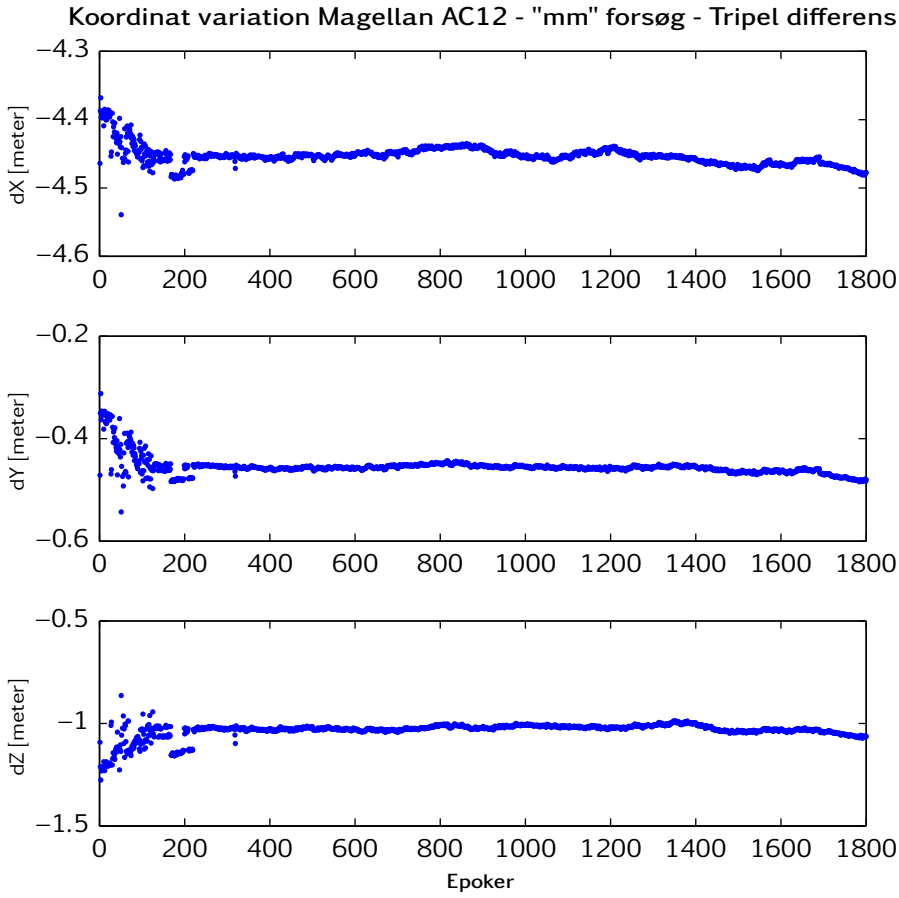
©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.29

I figur 6.30 ses de til forsøget hørende koordinatvarianser.

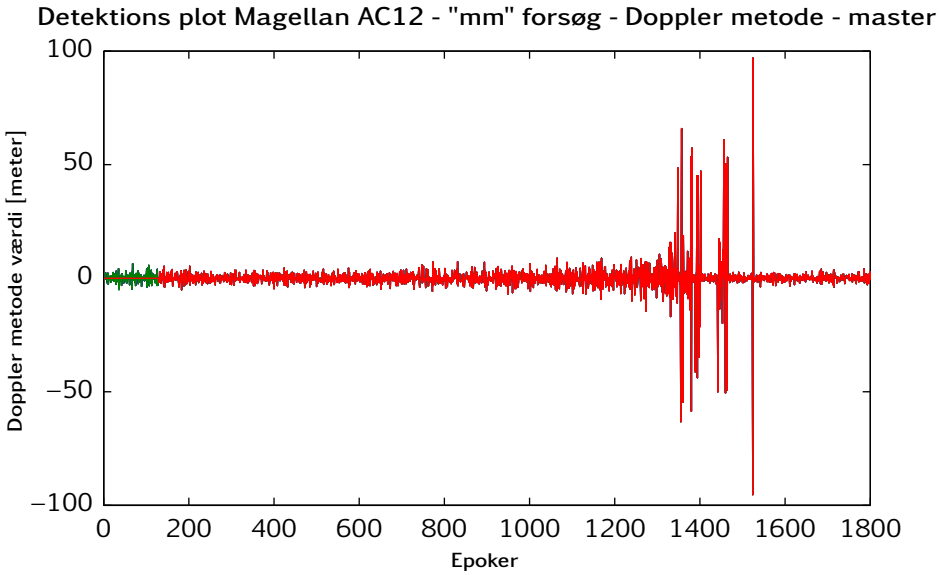
©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



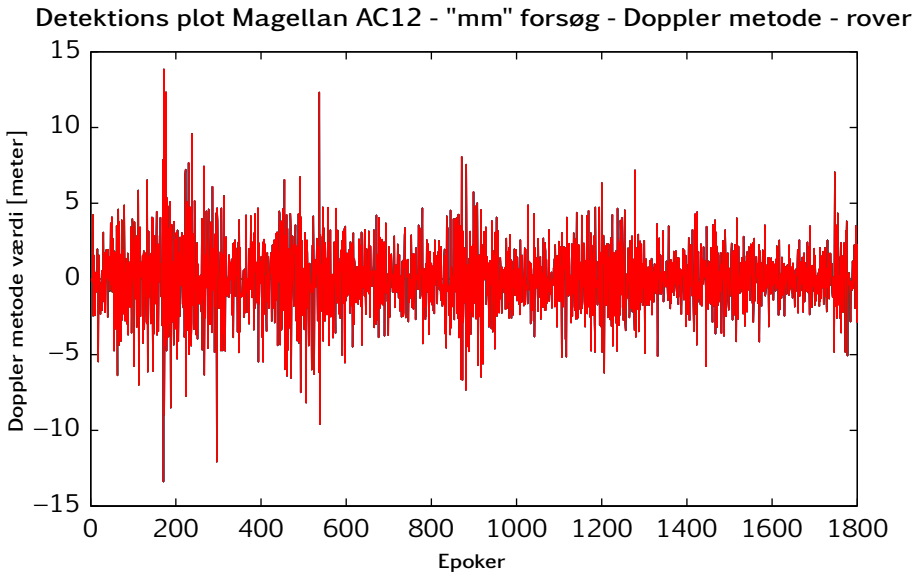
Figur 6.30

Doppler observationerne fra Magellan AC12 modtagerne i figur 6.31 og figur 6.32 svinger som nævnt i afsnit 6.3.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

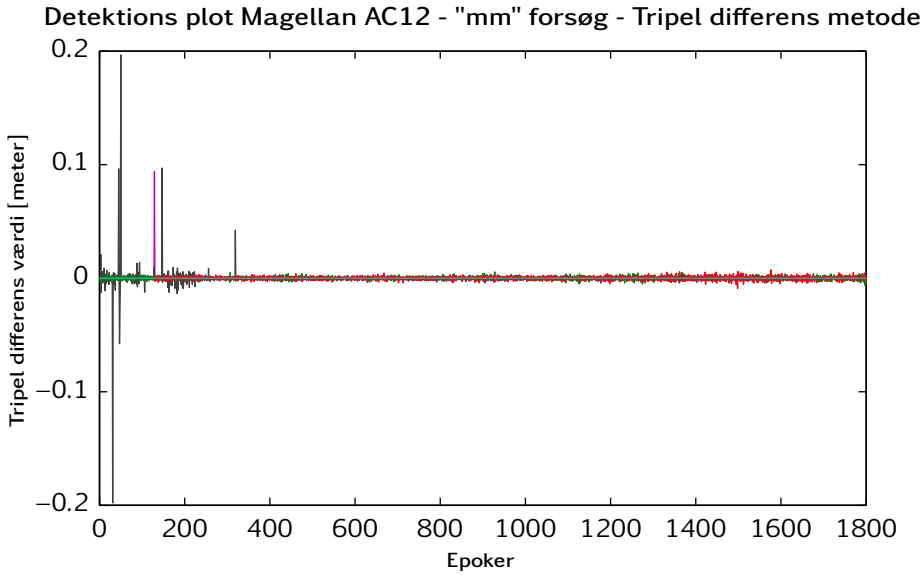


Figur 6.31



Figur 6.32

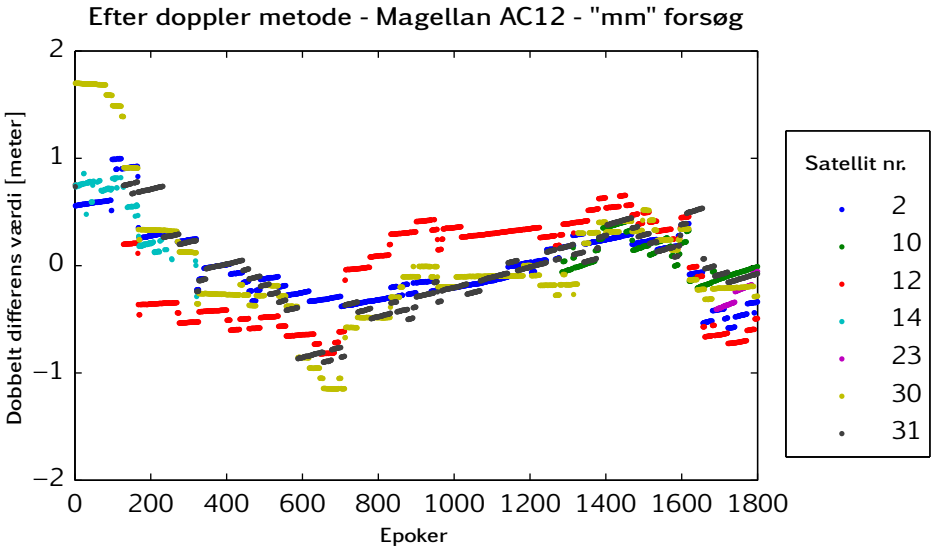
©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.33

I figur 6.33 ses de seks cycle slips der forbedrer billedet fra figur 6.28 til figur 6.29. Endeligt ses i figur 6.34 hvordan det ser ud hvis observationerne repareres med de 4832 cycle slips der findes ved at forsøge at benytte doppler metoden i figur 6.31 og figur 6.32.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.34

6.8.4 Opsummering "mm" forsøg

I det første delforsøg med Antaris LEA 4T fandtes ingen cycle slips - variation på cm. niveau.

I det andet delforsøg med Antaris TIM-LP, er der før cycle slip håndtering en variation på cm niveau men doppler metoden spolerer residualplottet tre steder og efterfølgende er der en variation på meter niveau. Tripel differenserne finder ingen cycle slips.

Garmin 12XL modtagerens observationer var fejlbehæftet og derfor ikke medtaget, se afsnit 6.2.

I det tredje delforsøg med Magellan AC12 forbedrer tripel differenserne residualplottet fra meter niveau til cm niveau ved fjernelse af seks cycle slips. Doppler metoden spolerer igen resultatet og efter denne er der variationer på meter niveau.

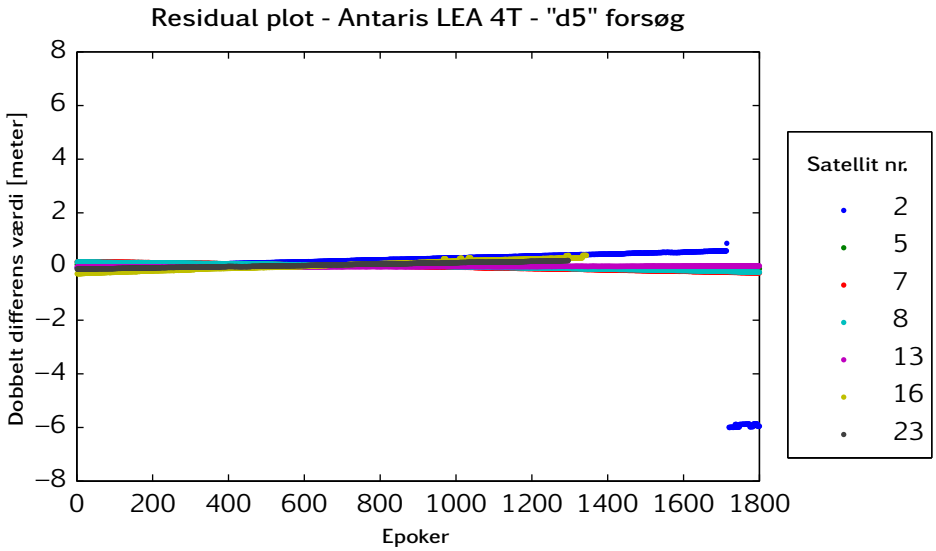
©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

6.9 Forsøg "d5"

I dette afsnit beskrives forsøget med 50 meter basislinie og med forhindringer for den ene af modtagerne i 45 grader mod syd.

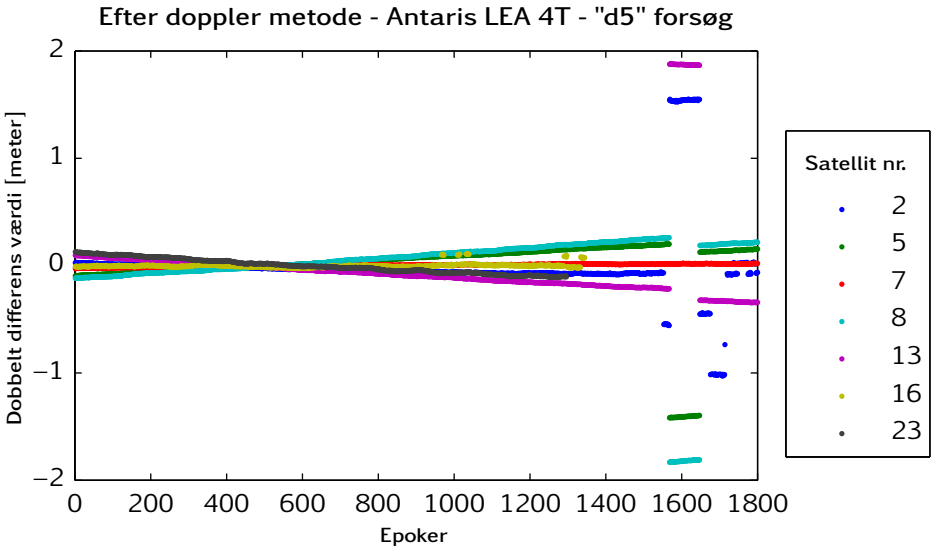
6.9.1 Antaris LEA 4T

Dette delforsøg adskiller sig fra de hidtil beskrevne ved at doppler metoden hjælper. Først se i figur 6.35 hvordan residualplottet ser ud før cycle slip håndtering og sammenhold da med figur 6.36 efter doppler metoden.



Figur 6.35

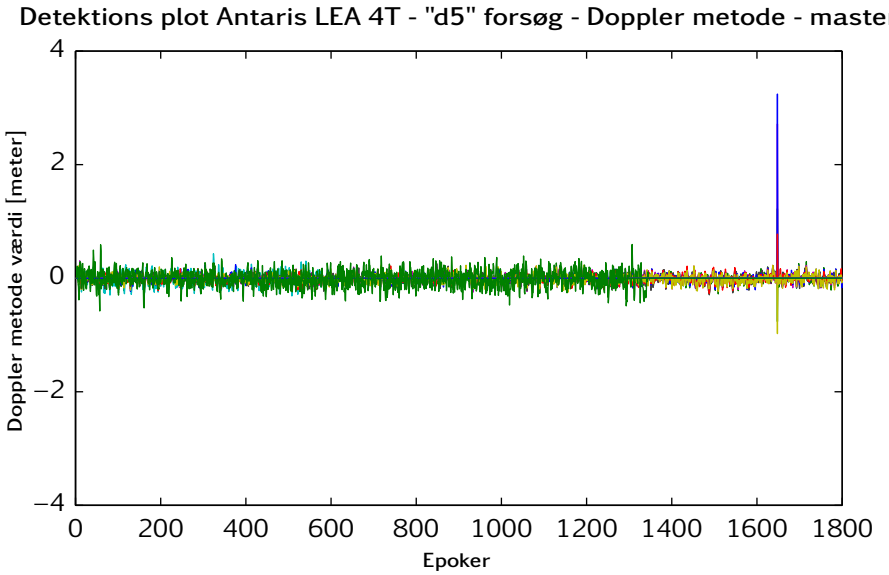
©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



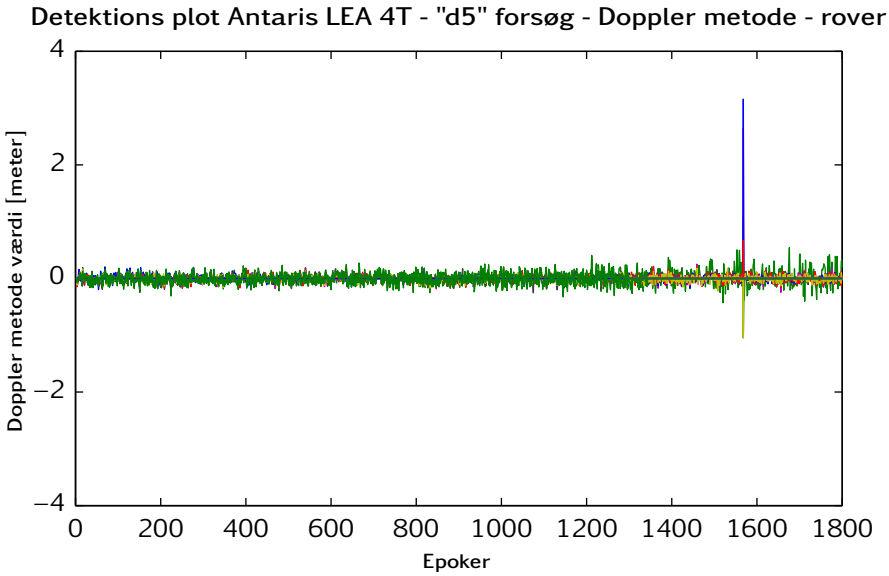
Figur 6.36

Der ses en forbedring fra figur 6.35 til figur 6.36 omend der stadig er variationer på meter niveau. Det er tydeligt at se på doppler detekterings figurerne 6.37 og 6.38, at det er de to spikes der laver ændringen.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.37

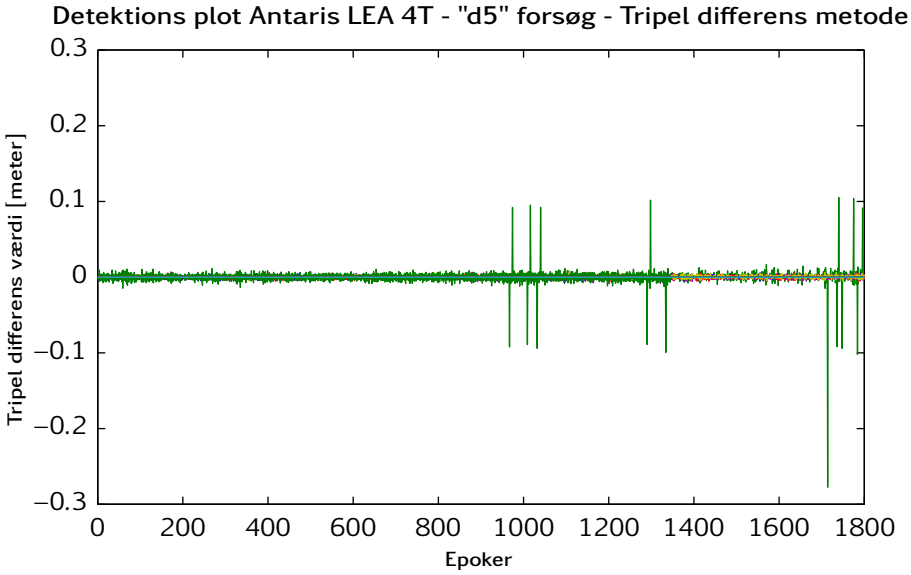


Figur 6.38

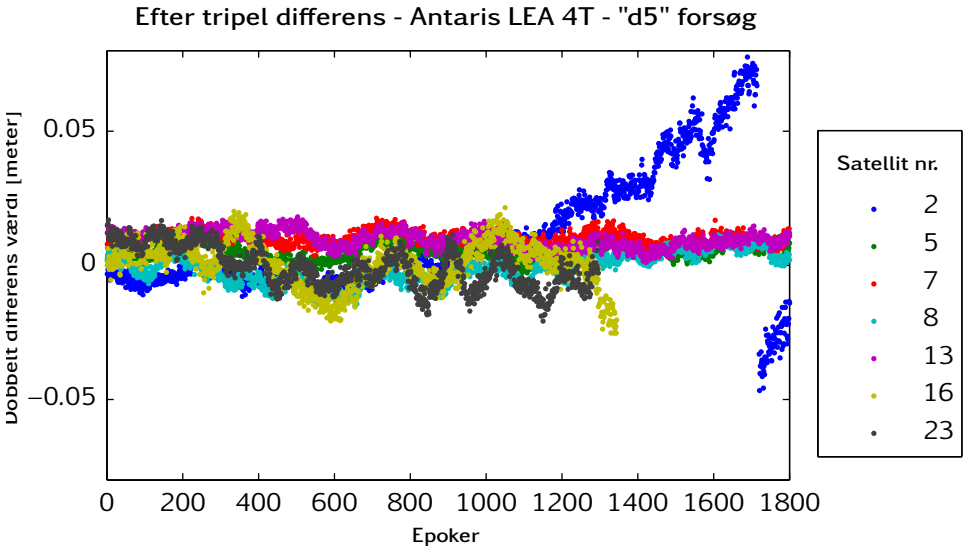
Tripel differenserne i figur 6.39 giver i dette forsøg en væsentlig forbedring. Variationen kommer ned på ca. 7 cm i forhold til den variation på op til

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

ca. 6 meter i figur 6.35.



Figur 6.39

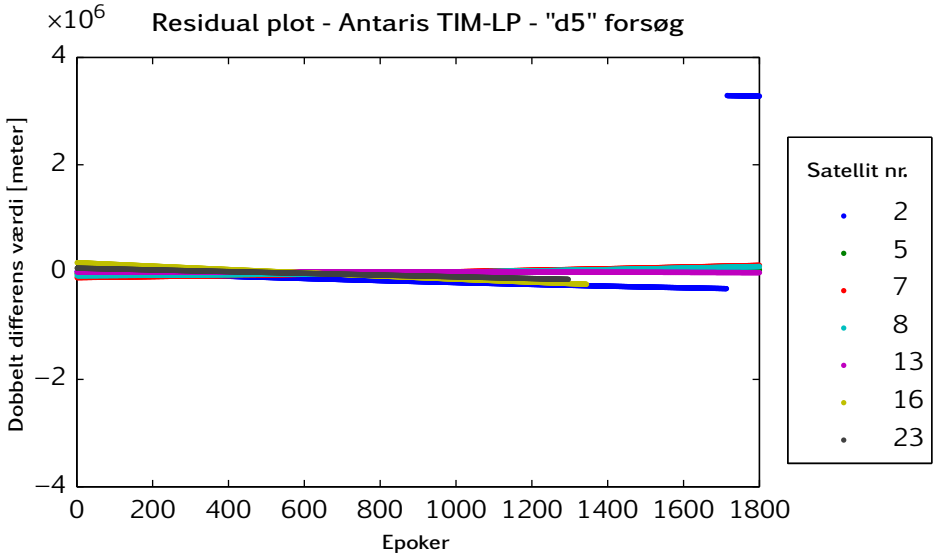


Figur 6.40

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

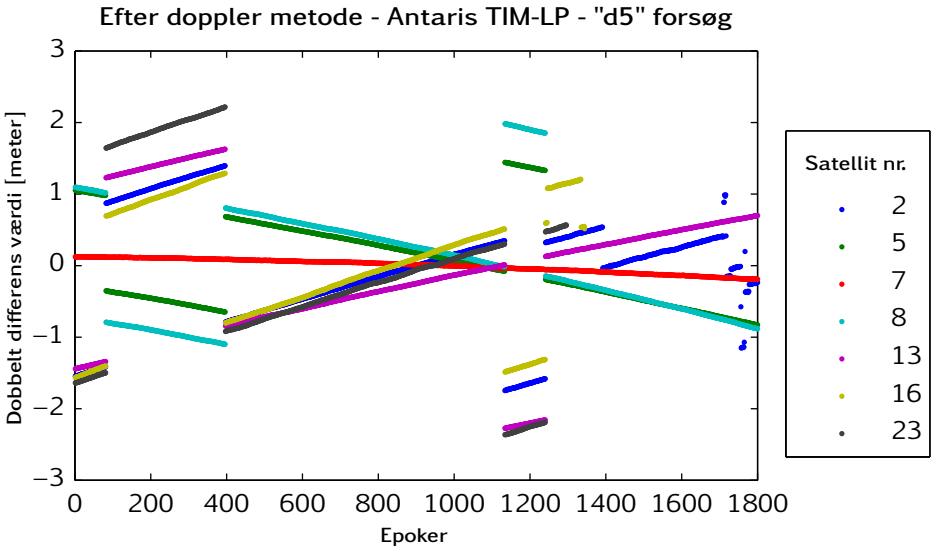
6.9.2 Antaris TIM-LP - ″d5″ forsøg

I dette forsøg kan virkelig ses effekten af cycle slip håndtering. I figur 6.41 før cycle slip håndtering er støjniveau på op til ca. 3000 km. Efter doppler er støjniveauet neden på meter niveau omend det et tydeligt der er steder hvor det går galt, se figur 6.42.

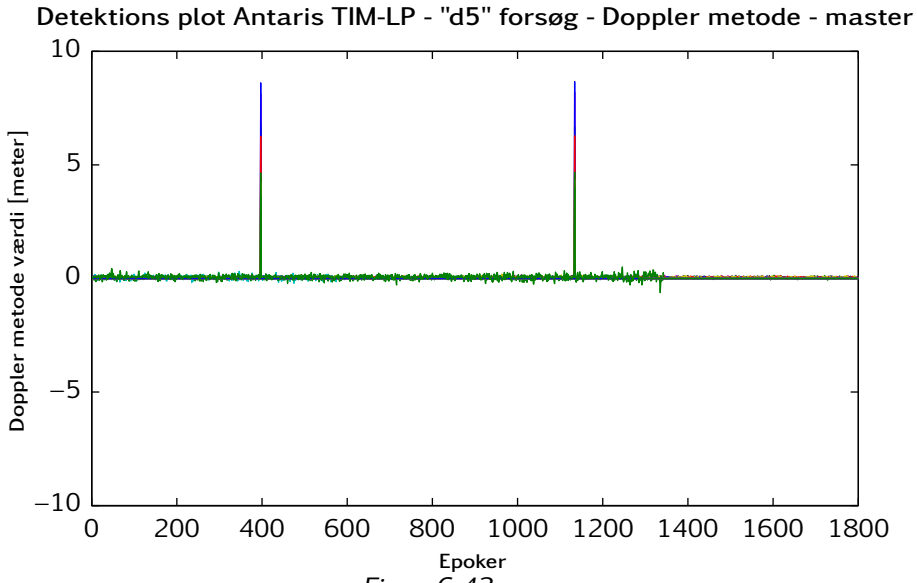


Figur 6.41

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



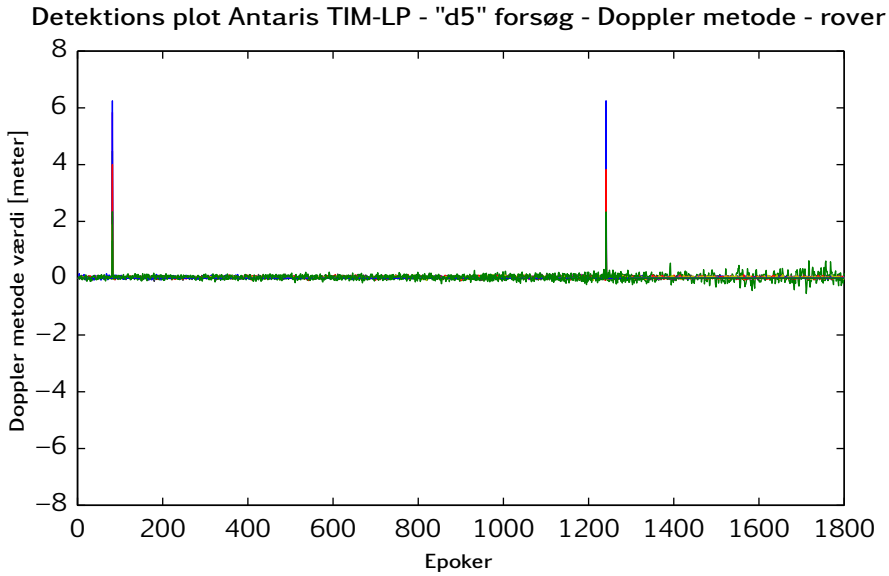
Figur 6.42



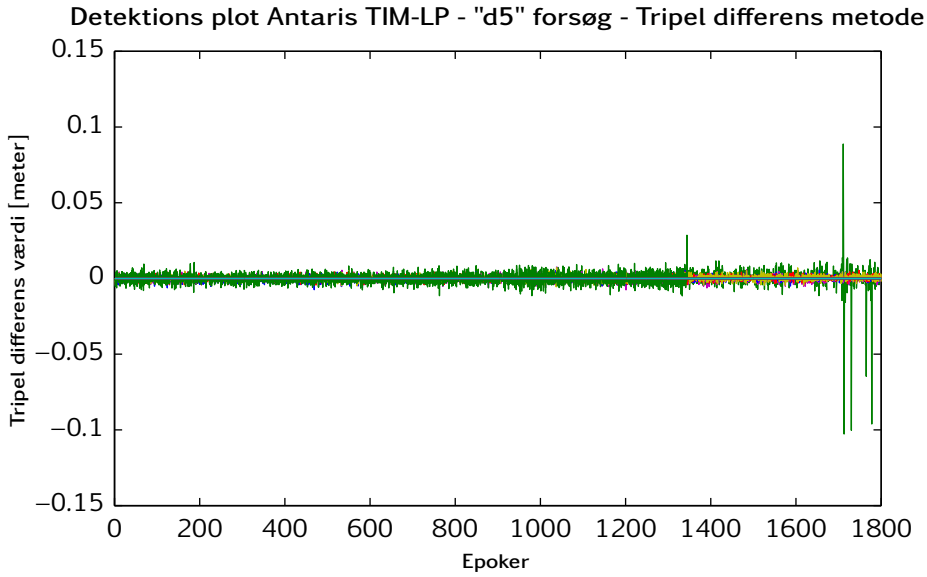
Figur 6.43

I figur 6.43 og figur 6.44 ses tydeligt de (sammenlagt) fire steder hvor der er fundet cycle slips.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



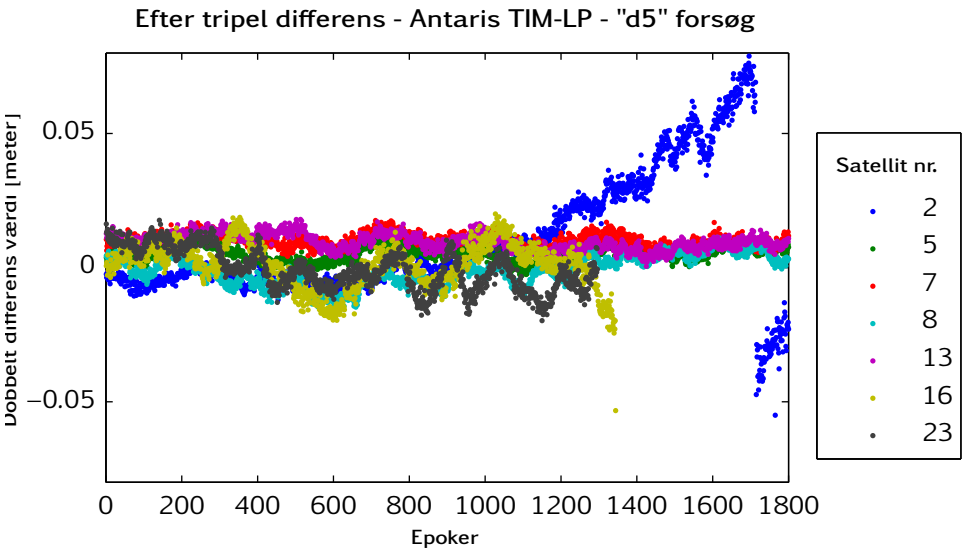
Figur 6.44



Figur 6.45

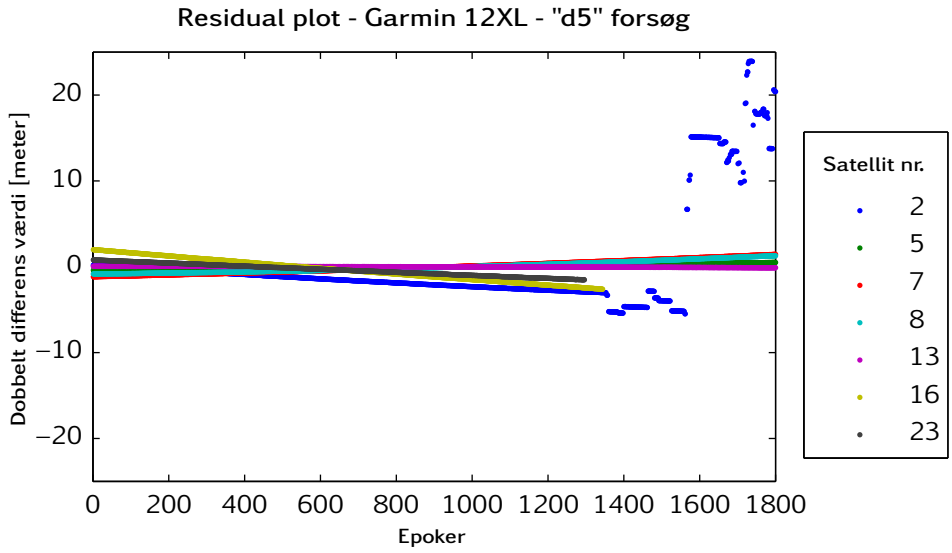
Med tripel differens metoden i figur 6.45 fremkommer residualplottet i figur 6.46.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.46

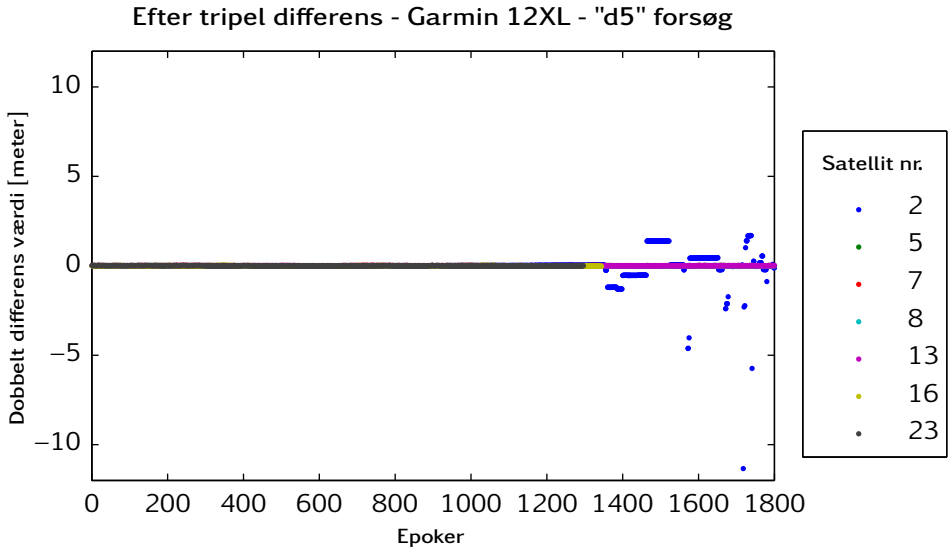
6.9.3 Garmin 12XL - ″d5″ forsøg



Figur 6.47

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

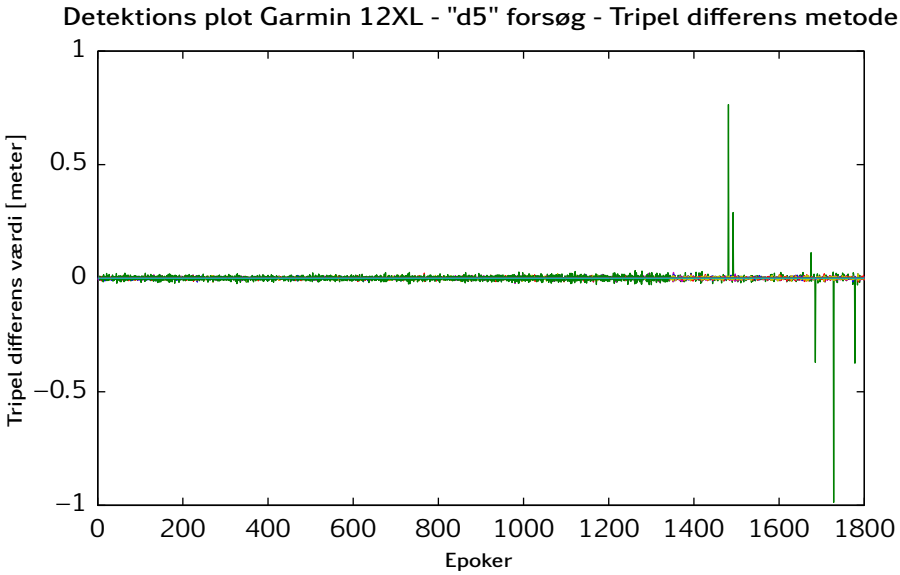
Sammenholdes figur 6.47 før cycle slip håndtering med figur 6.48 efter tripel differenser ses en svag forbedring. Her er variablen "maxhul" jf. tabel 6.2 sat til 1.



Figur 6.48

I figur 6.49 ses de seks cycle slip der repareres for at få figur 6.48.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.49

Som nævnt i afsnit 6.1 blev Magellan AC12 modtageren ikke benyttet i dette ″d5″ forsøg og i det sidste ″1k″ forsøg.

6.9.4 Opsummering "d5" forsøg

I det første delforsøg med Antaris LEA 4T hjælper doppler metoden omend variationen såvel før som efter er på meter niveau. Med tripel differenser nedbringes residualplottet til cm niveau.

I det andet delforsøg med Antaris TIM-LP, ses samme billede som i første delforsøg - bare endnu tydeligere. Før cycle slip håndtering er variationer op til 3000 km. Doppler metoden bringer variationerne til meter niveau og tripel differenserne til cm niveau.

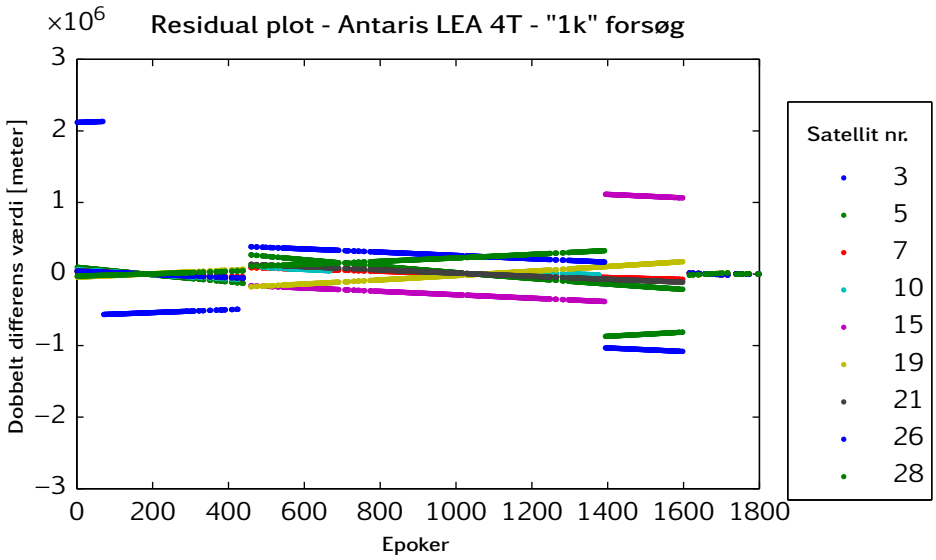
I det tredje delforsøg med Garmin 12XL ses en svag forbedring med tripel differenser men stadigvæk residualplot på meter niveau.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

6.10 Forsøg "1k"

I dette afsnit vises plots fra de tre forsøg der er lavet med en kilometers basislinie.

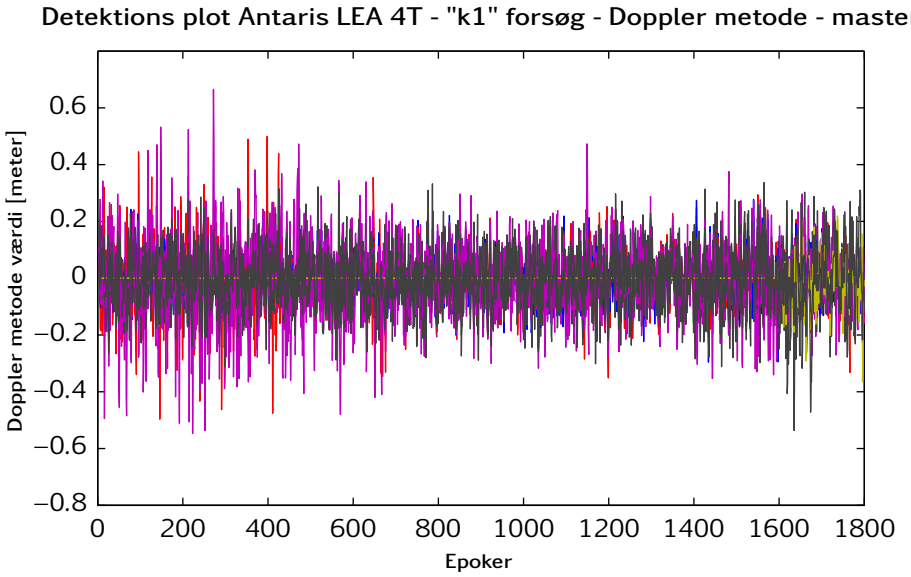
6.10.1 Antaris LEA 4T



Figur 6.50

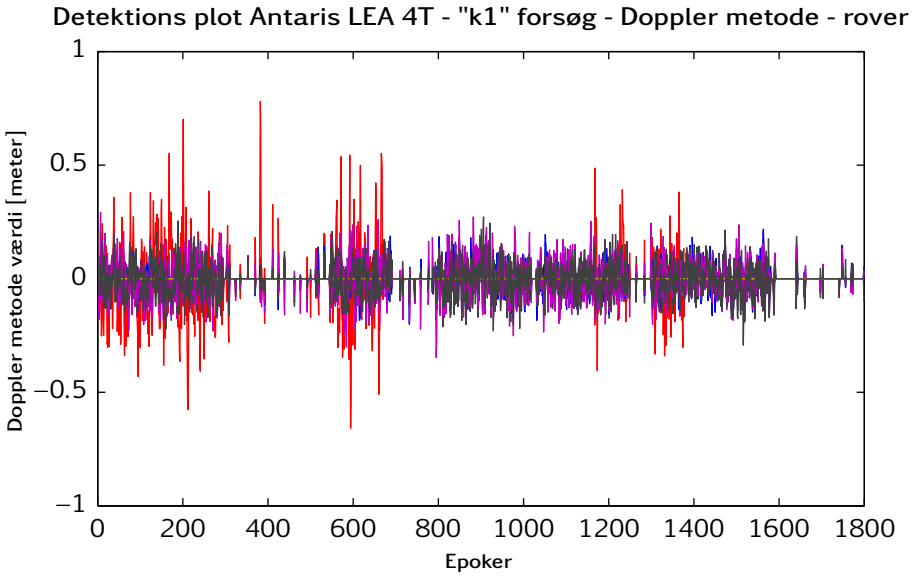
I dette forsøg lykkedes det ikke hvor hverken tripel doppler metoden eller tripel differens metoden at komme ned på en centimeter variation. I figur 6.50 ses hvordan det ser ud før cycle slip håndtering.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



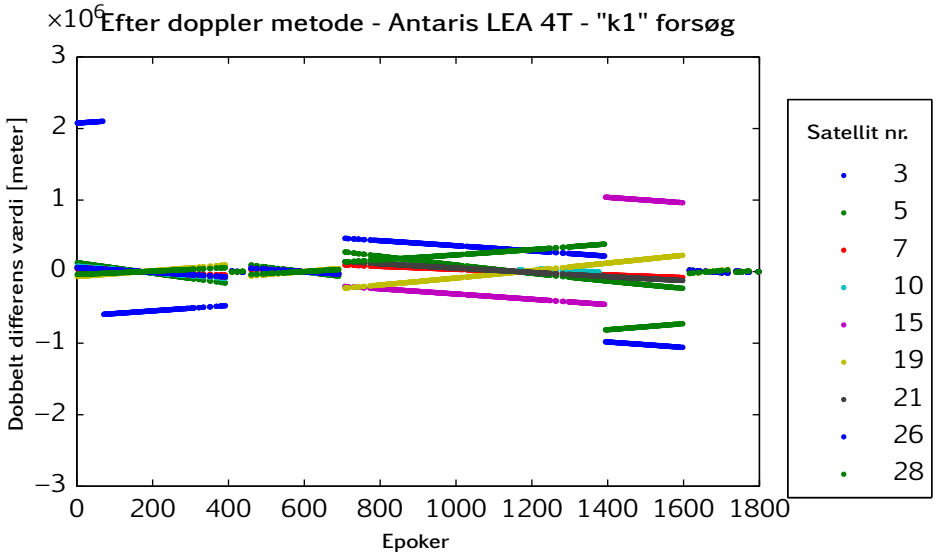
Figur 6.51

Ved hjælp af doppler metoden i figur 6.51 og figur 6.52 detekteres sammenlagt 22 cycle slips og det kommer til at se ud som i figur 6.53.



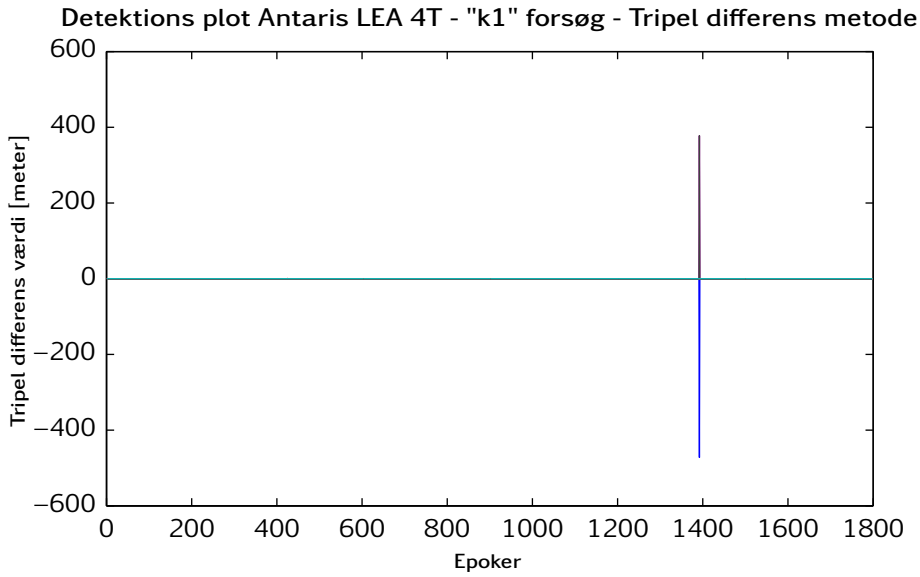
Figur 6.52

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



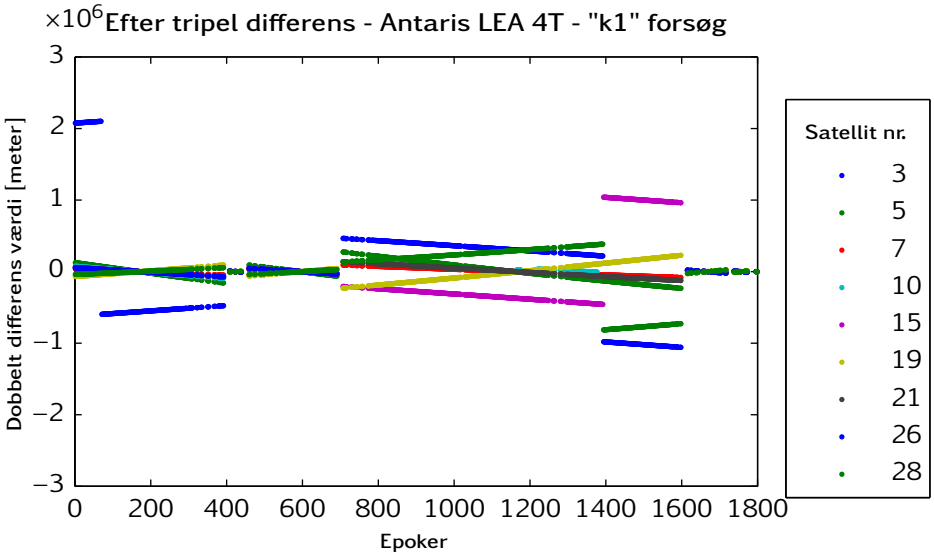
Figur 6.53

Tripel differens metoden i figur 6.54 detekterer 27 cycle slips, men der er stadig meget store residualer, se figur 6.55.



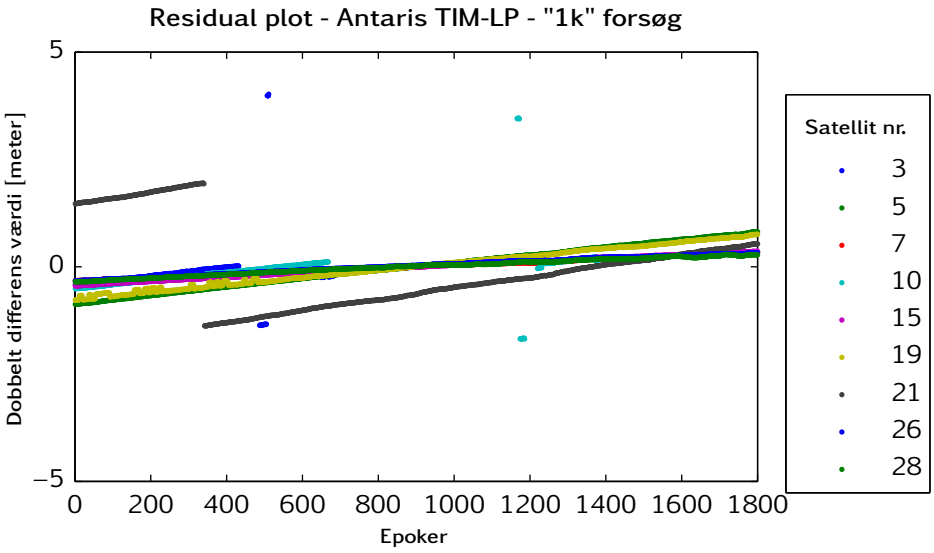
Figur 6.54

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.55

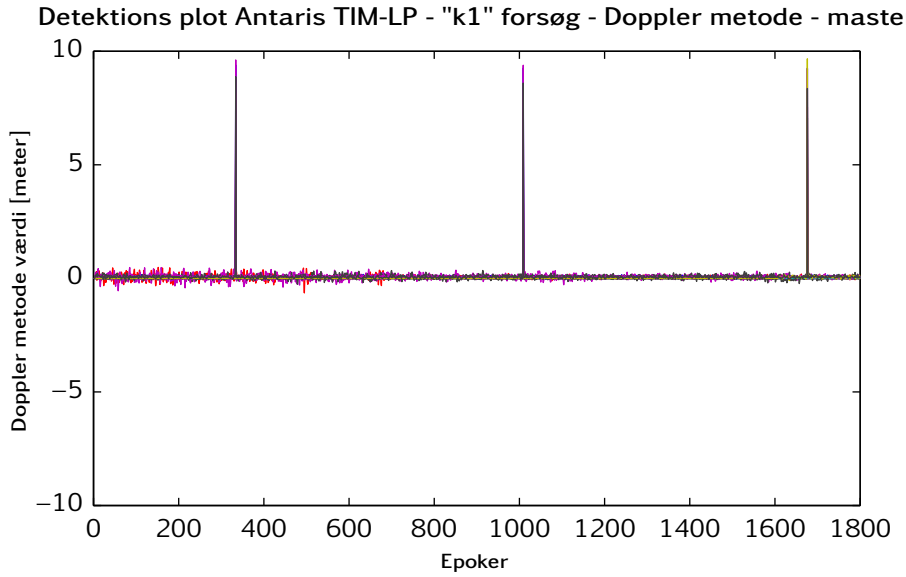
6.10.2 Antaris TIM-LP - ”1k” forsøg



Figur 6.56

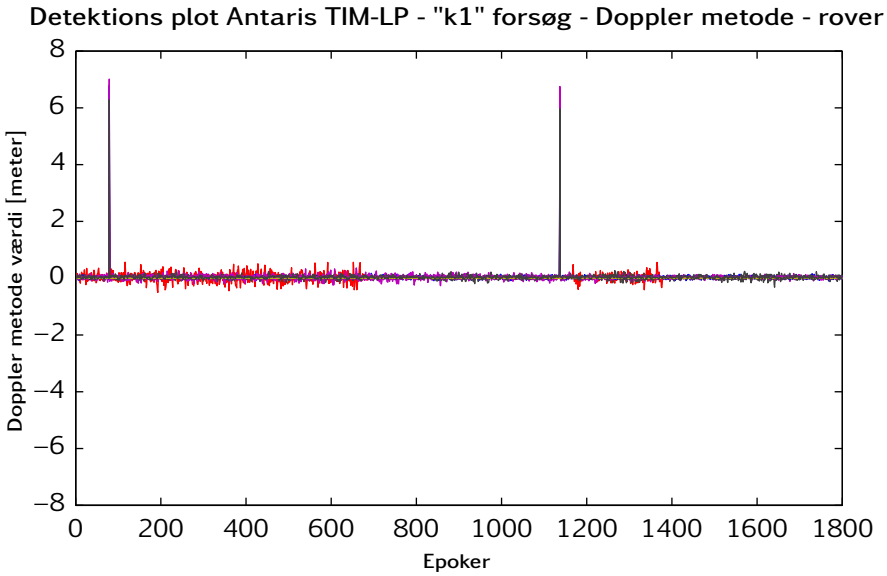
©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

I dette forsøg fås et mere varierende residualplot med doppler metoden, hvorimod der med tripel differens metoden opnås en variation på centimeter niveau.

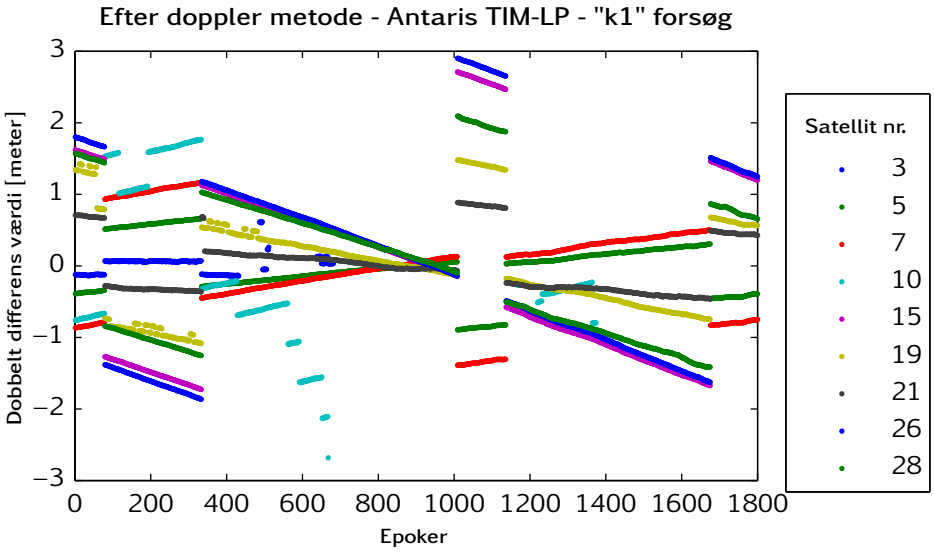


Figur 6.57

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



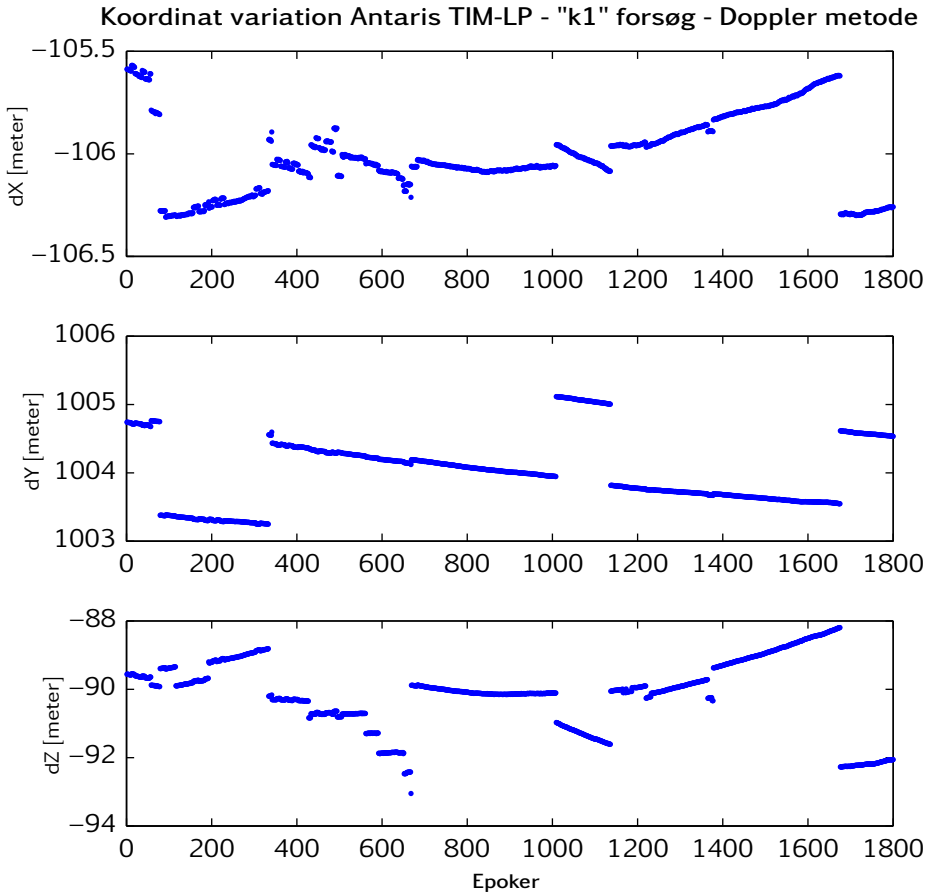
Figur 6.58



Figur 6.59

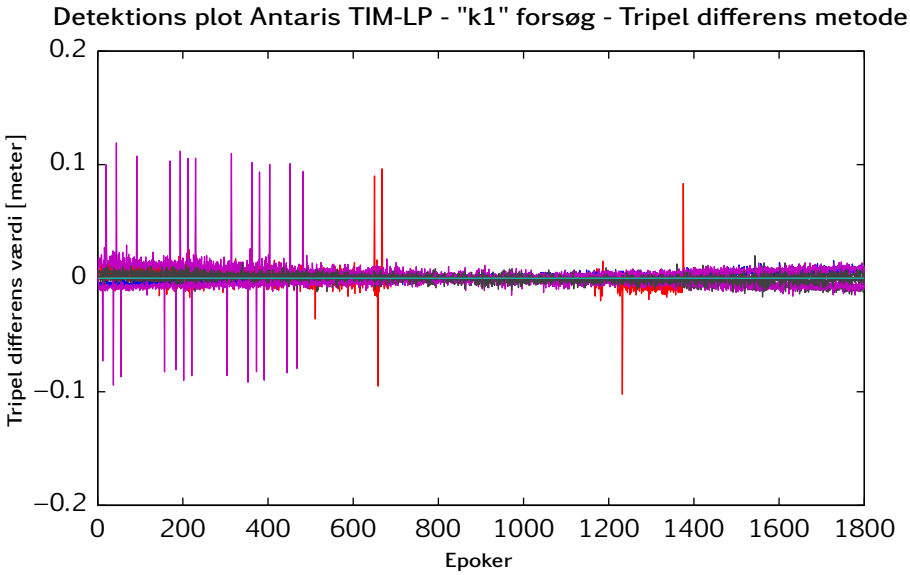
I figur 6.60 ses koordinatvariationen der hører til residualplottet i figur 6.59.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



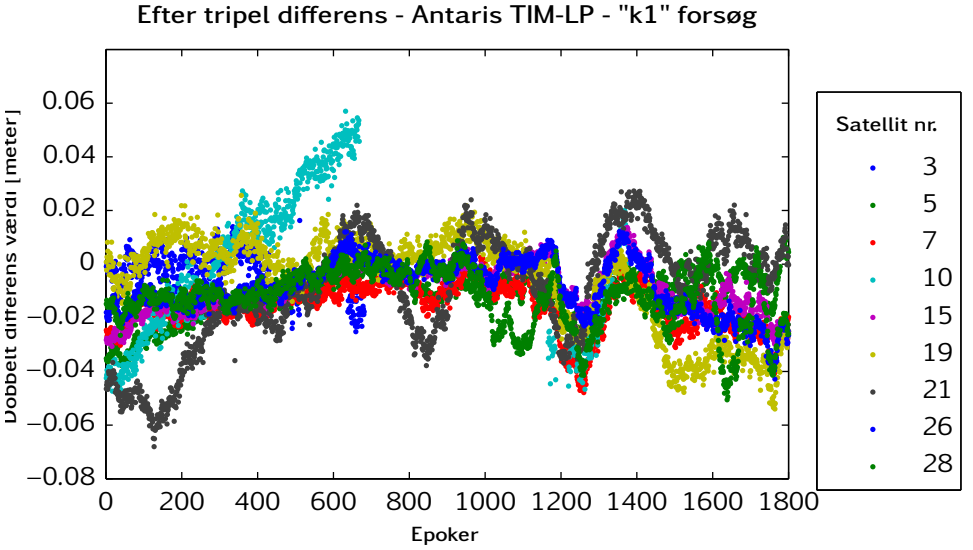
Figur 6.60

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.61

I figur 6.61 ses de 31 cycle slips der detekteres og repareres hvilket giver det stærkt forbedrede residualplot i figur 6.62.

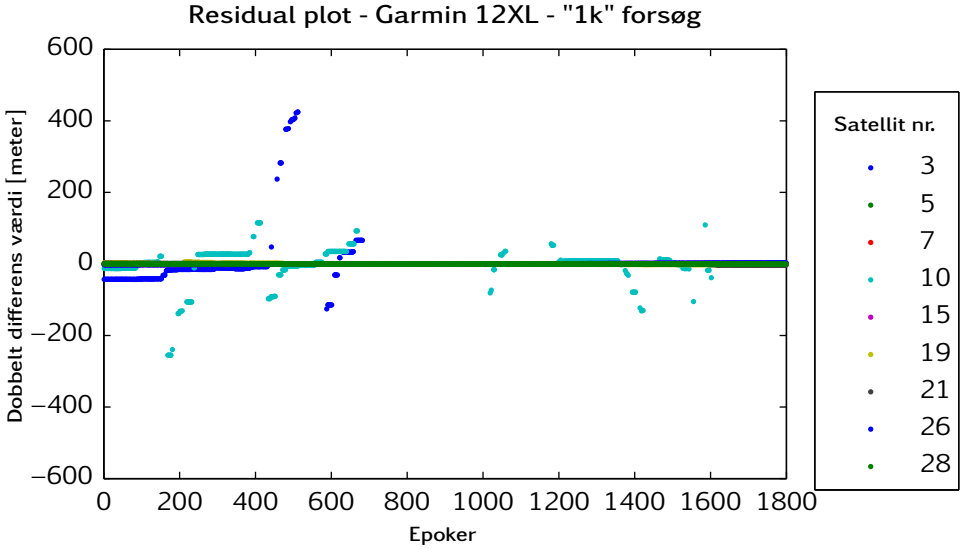


Figur 6.62

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

6.10.3 Garmin 12XL - ″1k″ forsøg

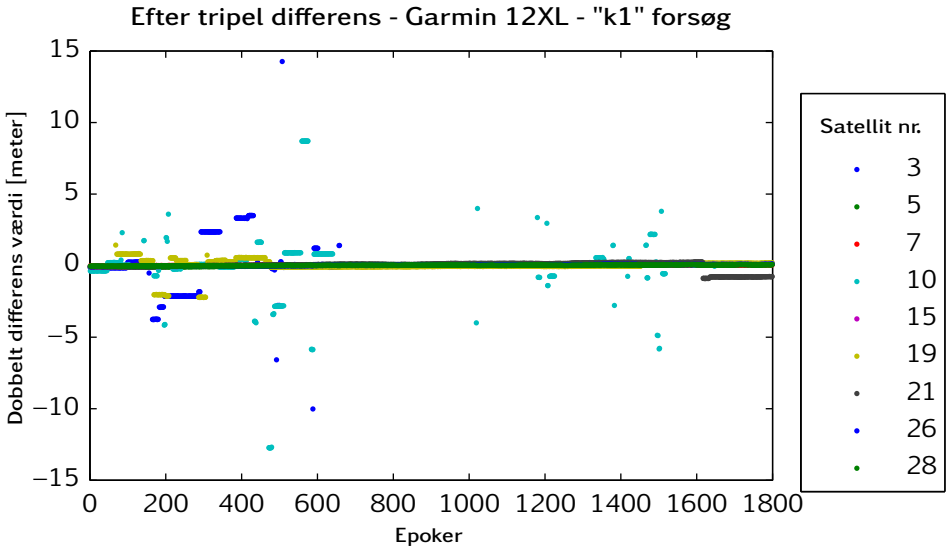
I dette sidste delforsøg viser tripel differens metoden sin værdi for sidste gang. På residualplottet før cycle slip håndtering i figur 6.63 er der variationer på op til ca. 500 meter.



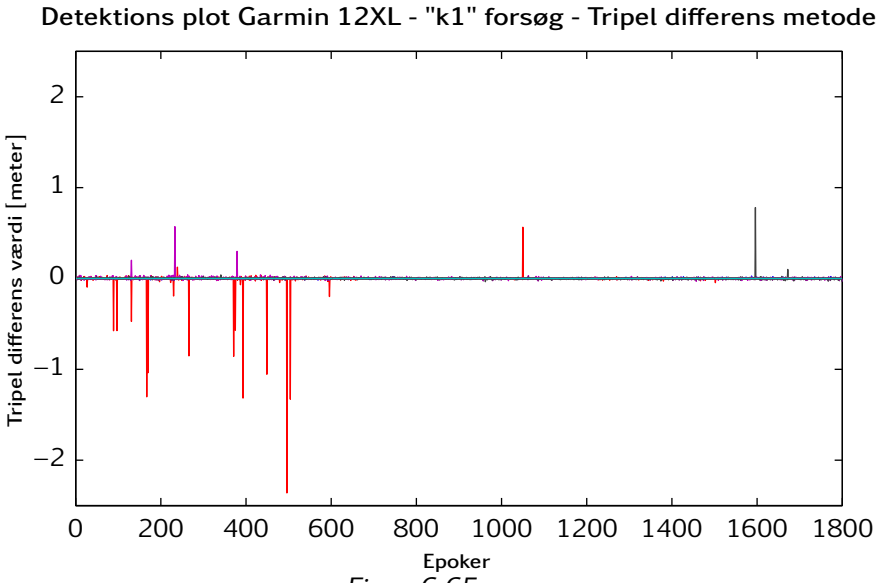
Figur 6.63

I figur 6.65 detekteres de 23 cycle slips og efter cycle håndtering er variationerne i figur 6.64 reduceret til at være på op til 15 meter. I delforsøget er variablen ″maxhul″ jf. tabel 6.2 sat til 2.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010



Figur 6.64



Figur 6.65

Som nævnt i afsnit 6.1 blev Magellan AC12 modtageren ikke benyttet i dette ″d5″ forsøg og i det sidste ″1k″ forsøg.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

6.10.4 Opsummering "1k" forsøg

I det første delforsøg med Antaris LEA 4T reparerer både doppler metoden og tripel differenserne nogle cycle slips, men det hjælper ikke synderligt og variationerne er fortsat omkring 10^6.

I det andet delforsøg med Antaris TIM-LP, indfører doppler metoden lidt systematiske fejl mens tripel differenserne nedbringer støjniveauet fra meter niveau til cm niveau.

I det tredje delforsøg med Garmin 12XL hjælper tripel differenserne ved at nedbringe varianserne fra nogle hundrede meter til nogle meter.

6.11 Generelle træk

Om de to benyttede metoder kan siges at tripel differens metoden er ret effektiv og forbedrer i mange tilfælde resultatet. Doppler metoden hjælper i nogle tilfælde men er hæmmet af ikke at kunne detektere cycle slips på op til 50 cm. Metoden viser også nogle klare systematisk fejl i residualplottene. Der er lodrette linier hvor det er tydeligt at det ″går galt″. I ″d5″ forsøget hjælper doppler dog både Antaris LEA 4T og Antaris TIM-LP.

Ud fra mængden af cycle slips, tabel 6.4, tegner sig et billede af flere cycle slips med længere basislinier. I ″mu″ og ″mm″, dvs. forsøg med basislinier på meter niveau fandt tripel differenserne ingen cycle slips, i ″d5″ 5 cycle slips og i ″1k″ 27 cycle slips.

Der er væsentlige forskelle modtagerne imellem. De to u-blox modtagere, Antaris LEA 4T og Antaris TIM-LP viste et stykke hen ad vejen lignende resultater. Men Garmin og Magellan modtagerne skiller sig ud og har vist sig svære at have med at gøre. Doppler observationerne fra Garmin modtageren var decideret fejlbehæftede og tripel differenserne kunne ikke reparere de tilbageværende spring da der var mange steder med huller i data. Magellan modtagerne viste sig så svære at indsamle data fra at de kun blev benyttet i to af de fire hovedforsøg og her viste doppler observationerne et ubrugeligt højt støjniveau og tripel differ-

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

enserne.

Som det implicit fremgår af de manglende datasæt har det vist sig udfordrende at få data indsamlet og det er her der vurderes de største udfordringer i at bruge de billige enkeltfrekvente modtagere til autostyring. Er modtageforholdene gode og outputtet fra modtagerne så godt som det kan være, så er det her vist at varianserne kan komme ned på cm niveau hvilket vurderes tilstrækkeligt til autostyring. Dette kan ses af det ene af de to plot af koordinatvarianser der er medtaget i rapporten. I figur 6.30, ses at koordinatvariansen holdes på cm niveau ved residualplot på cm niveau. Denne variation vurderes tilstrækkeligt til at kunne bruges til autostyring, hvilket der følger mere om i det afsluttende kapitel.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Kapitel 7

Afslutning

Som en afslutning på rapporten og projektet vil i dette kapitel først følge en sammenfatning i afsnit 7.1 forud for konklusionen i afsnit 7.2 der afsluttes med en perspektivering i afsnit 7.3.

7.1 Sammenfatning

I første kapitel beskrives de to tilgangsvinkler til projektet og der opstilles en undren og det initierende spørgsmål.

I andet kapitel præsenteres ni forskellige metoder til håndtering af cycle slips og i tredje kapitel afgrænses projektet til at arbejde videre med to ud af de ni præsenterede metoder. Doppler metoden og tripel differenser er indeholdt i projektet problemformulering i slutningen af tredje kapitel. I fjerde kapitel beskrives udvidet teori omkring doppler metoden og tripel differenserne samt lidt mere speciel teori der er nødvendig for forståelsen. I femte kapitel planlægges der forsøg der udføres hvis resultater præsenteres i det omfattende sjette kapitel. Med fire forskellige billige enkeltfrekvente modtagertyper laves 14 delforsøg i fire overordnede forsøg.

Garmin modtageren har ud over problemer med doppler observationerne også problemer med huller i data. Bemærkelsesværdigt er det at det er i "mu" forsøget hvor modtagebetingelserne har været mest optimale at der er er opstået huller i 18 procent af observationerne hvilket vidner

om en ustabilitet i modtageren.

7.2 Konklusion

I problemformuleringen side 22 er opstillet spørgsmålet om mængden af cycle slips ved forskellige forhold og forskellen modtagerne iblandt. Gennem resultaterne i kapitel 6 er det vist at flere forhold må tages i betragtning ved denne vurdering. Antallet af cycle slips kan ses i tabel 6.4 side 45. Men hvad der ikke fremgår af denne tabel er fx huller i data og fejlagtige data som er forhold der må tages i betragtning ved vurdering af anvendeligheden til autostyring.

Outputtet fra modtagerne har således vist sig at være mindre raffineret end det kendes fra geodætiske modtagere og der vil derfor kræves mere kodning for at tage hånd om alle disse problemer der opstår med data hen ad vejen. I dette projekt hvor der arbejdes i post processerings mode, findes disse fejl nemt ved eftersyn af visuelle plots, men skal processen automatiseres så software kan tage højde for det, vil kræves omfattende kodning.

Kan problemerne med fejlbehæftede data håndteres, og huller i data sorteres fra på en sådan måde at det ikke forstyrrer de tilbageværende observationer vurderes det muligt at benytte modtagerne til autostyring. Outputtet fra modtagerne må på ingen måde tages for givet men skal hele hele tiden tjekkes.

Et gennemgående træk er det at der opstår flere cycle slips med længere basislinier hvilket vidner de mere forskellige veje som signalet følger på dets vej fra satellitterne til modtagerne.

Omkring metoderne konkluderes at tripel differenser er effektive til detektion og reparation af cycle slips men det til trods er ingen fuldkommen løsning. Det er ikke givet at data har en form der gør det anvendeligt for autostyring efter tripel differenserne. Doppler metoden har problemer med at detektere små størrelse af cycle slips. Støjniveauet er større hvilket giver en mere usikker håndtering end ved det mindre støjniveau

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

i tripel differenser. Endvidere har ikke alle doppler observationer fra de billige modtagere vist sig pålidelige.

7.3 Perspektivering

Projektet har været enormt interessant. For at komme dertil hvor der kan siges noget meningsfuldt omkring cycle slips kræves en viden omkring GPS og den måde der positioneres på. Projektet har således tjent som en god indgangsvinkel til at lære noget mere om GPS. Mange spændende områder indenfor arbejdsområdet er været undersøgt som en del af projektet. Der er opstået flere spændende idéer om emner der kunne undersøges som ikke har været undersøgt som en del af projektet.

Det kunne være spændende at undersøge signal/støjforhold, Signal to Noise Ratio, SNR, og se om der var sammenhæng imellem dette og forekomsten af cycle slips.

Gennem hele projektet er det antaget af der ikke har været multipath. Områderne modtagerne var placeret i ved indsamlingen af data var præget af naturlige vækster og uden voldsomt reflekterende overflader i umiddelbar nærhed. Men det til trods kunne det være spændende at undersøge om det var muligt at finde multipath i de indsamlede data.

I projektet tages også udgangspunkt i en visuel bestemmelse af grænserne for hvornår der er tale om et cycle slip og hvornår der ikke er. Det kunne være spændende om det var muligt at lave noget der kunne automatisk kunne bestemme disse grænser for på en måde at tage højde for forskellige modtageres forskellige støjniveau.

Det kunne også være spændende at undersøge forskellige antenners indflydelse på cycle slips. I dette projekt er der arbejdet med en og samme antennetype for ikke at have den som variabel også. Men det kunne være spændende at undersøge i hvor høj grad forskellige antenner påvirker mængden af cycle slips.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Sidste kommentar bliver et forhold der ikke er blevet behandlet men som er tydeligt ved detektionsplottene - det faktum er at størrelsen af cycle slippene passer med multipla af halve bølgelængder.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Appendiks A

Forsøgsprocedure

I dette appendiks vil blive beskrevet hvad der er gjort før, under og efter forsøgene. Dette tjener to formål. Det første er dokumentation for hvordan forsøgene er udført og det andet er at lette andre der skulle have lyst til at udføre forsøg med modtagerne.

Klargøring

- Markere målepunkter
- Indmåle målepunkter med landmålings GPS
- Tage billeder af opstilling
- uBlox: Tilkoble RXM-RAW meddelelse
- Magellan: Slå WAAS (WAS) meddelelse fra (giver 12 kanaler i stedet for 10), tilkoble raw position (PBN) og data (MCA)
- Garmin: Tilrette .bat fil med +doppler og indsamlingstid

Under forsøg

- Nedskrive filnavne der bliver logget til
- Registrere de punkter der måles i

- Nedskrive hvilket udstyr der benyttes
- Nedskrive hvilke modtagere der er rovere og hvilke der er mastere

Oversættelse

- Magellan: teqc -O.obs CA+L1+D1+S1 optagefilnavn.log > nytfilnavn.rinex
- u-blox: teqc optagefilnavn.ubx > nytfilnavn.rinex
- Garmin: gar2rnx_1_48 garminfilnavn.bin -rinex -f -reset +doppler Bestemmer selv output-navn (fx site1091.10O)

Efterbehandling

- Nedskrive hvornår hver observationsfil starter og slutter
- Beslutte start og sluttidspunkt med præcis 30 minutters interval
- Tilskære hver RINEX fil til 30 minutter
- Tilføje approx modtager position i toppen af u-blox observationsfiler
- Lave skyplot
- Lave elevationsplot
- Nedskrive referencesatellit
- Råfilerne gemmes i en mappe og der arbejdes videre med kopi af disse

Processering

- Antal cs med tripel
- Antal cs med doppler
- Beregne basislinje ud fra rådata (ingen cs korrektion)
- Beregne basislinjer med cs håndtering

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Litteraturliste

[1] *ProMark 3 RTK datasheet*. Magellan Professional. https://www.navtechgps.com/Downloads/PM3RTK.pdf, set d. 8. juni 2010.

[2] J.Collins B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger. *GPS Theory and Practice, fifth revised edition*. Springer Wien New York, 2001. ISBN: 3-211-83534-2.

[3] James J. Spilker Jr. Bradford W. Parkinson, editor. *Global Positioning System: Theory and Applications Volume I*. Progress in Astronautics and Aeronautics, 1996. ISBN: 1-56347-106-X.

[4] Lars Brodersen. *Pixivejledning i projektmetode*. Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet, 2005. http://people.land.aau.dk/~lars/for_students/pixivejledning_projektmetode.pdf, set 15. marts 2010.

[5] by Amateur Radio Station VE3EN. *Solar Cycle 24.com*. NOAA/SWPC Boulder, CO USA, 2010. http://solarcycle24.com/flux.htm, set d. 8. juni 2010.

[6] et. al. David Wells. *Guide to GPS Positioning, lecture note no. 58*. University of New Brunswick Department of Geodesy and Geomatics Engineering, 1999. http://gauss.gge.unb.ca/Guide_to_GPS_Positioning.html, set d. 8. september 2010.

[7] Christopher J. Hegarty Elliot D. Kaplan. *Understanding GPS, Principles and Applications, Second Edition*. Artech House, 2006. ISBN 1 58053 894 0.

[8] Kai Borre Gilbert Strang. *Linear Algebra, Geodesy, and GPS*. Wellesley-Cambridge Press, 1997. ISBN 0-9614088-6-3.

[9] Anna B. O. Jensen Keld Dueholm, Mikkel Laurentzius. *GPS*. Nyt Teknisk Forlag, 2005. 3. udgave.

[10] Richard B. Langley Luis Serrano, Donghyun Kim. *A GPS Velocity Sensor: How Accurate Can It Be? - A First Look*. ION NTM 2004, 26-28 January 2004, San Diego, CA, 2004.

[11] M. Wei M.E. Cannon, K.P. Schwarz and D. Delikaraoglou. *A consistency test of airborne GPS using multiple monitor stations*. Springer-Vederlag, 1991.

[12] S. P. Mertikas og C. Rizos. *On-line detection of abrupt changes in the carrier-phase measurements of GPS*. Journal of Geodesy, 1997.

[13] Per Enge Pratap Misra. *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance*. Ganga-Jamuna Press, 2001. 0-9709544-0-9.

[14] Chris Rizos. *Principles and Practice of GPS Surveying*. Satellite Navigation and Positioning Lab, 2000. http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/principles_gps.htm,7.3.5 Detection and Repair of Cycle Slips. Set 2. februar 2010.

[15] Guochang XU. *GPS Theory, Algorithms and Applications, 2nd Edition*. Springer, 2007. ISBN: 978-3-540-72714-9.

[16] Stefan Knedlik Zhen Dai and Otmar Loffeld. *Instantaneous Triple-Frequency GPS Cycle-Slip Detection and Repair*. Hindawi Publishing Corporation - International Journal of Navigation and Observation, Volume 2009.

©Niels Kaare Hjaltelin Rasmussen, 2010

Stikordsregister

Acquisition, 7
Antal frekvenser, 19
Antal modtagere, 20
Antal punkter og grad, 10
Antenner, 19, 92

Differens-typer, 14
Differenser, 13

Egen referencestation, 4

GPS/GNSS - terminologi, viii

Idé 1, 1
Idé 2, 2
Indsamlings-periode, 37
Interaktive link, ix

Kinematik, 21

Længden af basislinier, 20
Længere varighed, 9
Læsevej-ledning, x
Lands-dækkende referencenet, 4
LaTeX, ix
Litteratur, ix

Matlab, ix
Metode, x
Miljø, 8
Mobil reference, 4
Mobil reference i rør, 4
Multipath, 21

observations-frekvens, 37
Opdeling, 9

Pris autostyring, 5

Real time, 21
Referencer, ix
Referencesystem, ix
Reparation, 9

Sprog, viii
Stikords register, x

Tanke, 5
Teksteditor, ix

Udvælgelse, 21

Målgruppe, viii

Abstract

This project takes offset in autosteering systems for the agricultural industry and assumptions in earlier project about observations free of cycle slips. Nine different methods for cycle slips handling are presented and two of them - the use of doppler observations and triple difference - is tested out. With four different single frequency GPS receivers 14 small tests are made. In the end it is concluded that the receivers can be used for autosteering but only after comprehensive checks of the data before use.