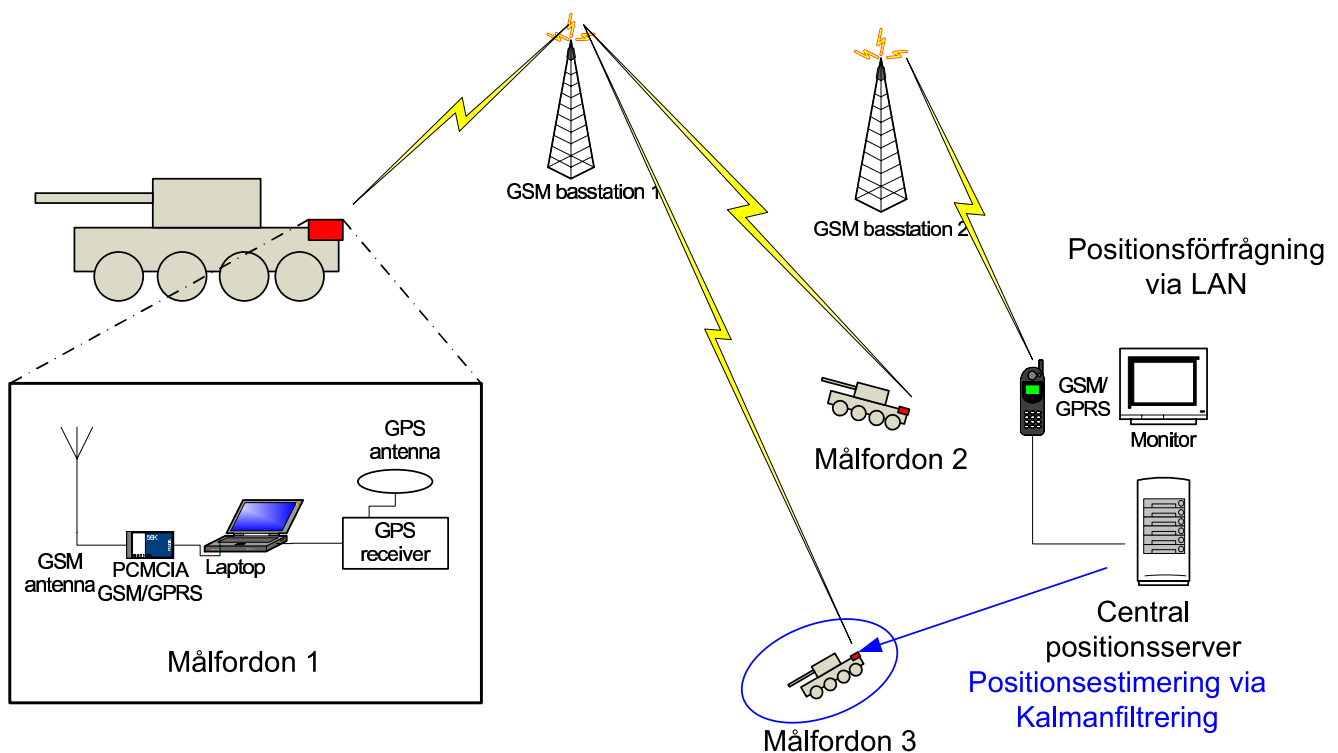


Marcus Almqvist, Veronika Andersson, Robin Björling, Josefin Frisk, Ann-Catrin Johansson, Lisa Nordström, Lotta Persson, Per Skoglar, Morgan Ulvklo

## QWIP/MASP-systemet: Målspelesarkitektur för fältförsök med rörliga markmål



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Sensorteknik

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--1333--SE

September 2004

ISSN 1650-1942

**Teknisk rapport**

Marcus Almqvist, Veronika Andersson, Robin Björling, Josefin Frisk, Ann-Catrin  
Johansson, Lisa Nordström, Lotta Persson, Per Skoglar, Morgan Ulvklo

## QWIP/MASP-systemet: Målsplansarkitektur för fältförsök med rörliga markmål

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                        |                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Utgivare</b><br>Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI<br>Sensorteknik<br>Box 1165<br>581 11 Linköping                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Rapportnummer, ISRN</b><br>FOI-R--1333--SE                          | <b>Klassificering</b><br>Teknisk rapport |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Forskningsområde</b><br>4. Ledning, informationsteknik och sensorer |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Månad, år</b><br>September 2004                                     | <b>Projektnummer</b><br>E3057            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Delområde</b><br>42 Spaningssensorer                                |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Delområde 2</b>                                                     |                                          |
| <b>Författare/redaktör</b><br>Marcus Almqvist                      Lotta Persson<br>Veronika Andersson                      Per Skoglar<br>Robin Björling                      Morgan Ulvklo<br>Josefin Frisk<br>Ann-Catrin Johansson<br>Lisa Nordström                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Projektledare</b><br>Morgan Ulvklo                                  |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Godkänd av</b><br>Jonas Nygårds                                     |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b><br>Försvarsmakten                 |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b><br>Jonas Nygårds      |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                        |                                          |
| <b>Rapportens titel</b><br>QWIP/MASP-systemet: Målsplansarkitektur för fältförsök med rörliga markmål                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                        |                                          |
| <b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b><br><p>Rapporten beskriver inledande utveckling av ett skalbart system för kontroll av målspel vid fältförsök som innefattar flera rörliga markmål. Systemet har utvecklats i samverkan med Linköpings Universitet. Estimering av markfordonens koordinater sker via Kalmanfiltrering av GPS-data och realtidsdistribution till styrbara sensorsystem sker via GSM/GPRS. Även postprocessning för estimering av markfordon attitydvinklar berörs via mer avancerade filtreringstekniker. Då utnyttjas fasskillnaden mellan GPS-signalernas bärvåger från tre GPS-antenner monterade i en fast geometri på ett fordon.</p> <p>Avsikten med systemet är att på ett smidigt sätt kunna hantera fältförsök som innefattar ett större antal markfordon som skall registreras av flera styrbara sensorsystem. Dessutom beräknas målens positioner och deras attitydvinklar för att bl.a. utgöra referensunderlag vid validering av ATR-algoritmer (automatic target recognition).</p> <p>De preliminära resultaten för filtrering och distribution av målens koordinater är uppmuntrande och systemet kan uppskattningsvis hantera hundratalet fordon givet att fördröjningen som uppstår i GPRS-kommunikationen inte är för hög för det aktuella sensorsystemet. Det anskaffade systemet kan idag hantera fem rörliga mål.</p> <p>De preliminära resultaten från postprocessning av fordons attitydvinklar ger goda resultat vid simulerade GPS-data. Däremot måste mer tid läggas på förbearbetning av antalet lösningsförslag då reella GPS-data nyttjas eftersom prestanda inte motsvarar de förväntade.</p> |                                                                        |                                          |
| <b>Nyckelord</b><br>Målspel, positionsestimering, orienteringsestimering, realtidsdistribution, Kalmanfilter, markmål, GPS, GSM/GPRS, QWIP/MASP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                        |                                          |
| <b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Språk</b> Svenska                                                   |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                        |                                          |
| <b>ISSN</b> 1650-1942                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Antal sidor:</b> 58 s.                                              |                                          |
| <b>Distribution enligt missiv</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Pris:</b> Enligt prislista                                          |                                          |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                    |                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Issuing organization</b><br>FOI – Swedish Defence Research Agency<br>Sensor Technology<br>P.O. Box 1165<br>SE-581 11 Linköping                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Report number, ISRN</b><br>FOI-R--1333--SE                      | <b>Report type</b><br>Technical report |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Programme Areas</b><br>4. C4ISTAR                               |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Month year</b><br>September 2004                                | <b>Project no.</b><br>E3057            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Subcategories</b><br>42 Surveillance Sensors                    |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Subcategories 2</b>                                             |                                        |
| <b>Author/s (editor/s)</b><br>Marcus Almqvist                      Lotta Persson<br>Veronika Andersson                      Per Skoglar<br>Robin Björling                      Morgan Ulvklo<br>Josefin Frisk<br>Ann-Catrin Johansson<br>Lisa Nordström                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Project manager</b><br>Morgan Ulvklo                            |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Approved by</b><br>Jonas Nygårds                                |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Sponsoring agency</b><br>Swedish Armed Forces                   |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Scientifically and technically responsible</b><br>Jonas Nygårds |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                    |                                        |
| <b>Report title (In translation)</b><br>The QWIP/MASP system: Target positioning system for field trials including moving ground targets                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                    |                                        |
| <b>Abstract (not more than 200 words)</b><br><p>The report describes the initial development of a scalable system for controlling field trials containing several moving ground targets. The system has been developed in cooperation with Linköping University. A Kalman filter, processing GPS data, is used for estimating the coordinates of ground targets, and the real time distribution of these to controllable sensor systems is achieved using GSM/GPRS. The orientation of a ground target (three angles) is estimated using more advanced filtering techniques, based on phase differences between signals received by three GPS antennas mounted on each target.</p> <p>The purpose of the system is to facilitate field trials containing several ground targets that should be registered by multiple controllable sensor systems. The position and orientation of a ground target also constitutes ground truth in the validation process of ATR methods (automatic target recognition).</p> <p>The preliminary results of filtering and data distribution are encouraging, and the system can probably handle hundreds of targets provided the delay in GPRS communication is not too high. The actual system can today handle 5 moving targets.</p> <p>The preliminary result of post processing of target orientation is good on simulated GPS data. However, on real GPS data, the performance is not good enough, and more effort has to be put in the preprocessing step to achieve a better initialization of the system.</p> |                                                                    |                                        |
| <b>Keywords</b><br>ground targets, position estimation, orientation estimation, real-time distribution, Kalman filter, GPS, GSM/GPRS, QWIP/MASP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                    |                                        |
| <b>Further bibliographic information</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Language</b> Swedish                                            |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                    |                                        |
| <b>ISSN</b> 1650-1942                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Pages</b> 58 p.                                                 |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Price acc. to pricelist</b>                                     |                                        |





# Innehåll

|          |                                                                             |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Systembeskrivning</b>                                                    | <b>7</b>  |
| 1.1      | Arbetsform . . . . .                                                        | 7         |
| 1.2      | Inledning . . . . .                                                         | 7         |
| 1.3      | Teori . . . . .                                                             | 8         |
| 1.3.1    | GPS - Global Positioning System . . . . .                                   | 8         |
| 1.3.2    | GPRS - General Packet Radio Service . . . . .                               | 10        |
| 1.4      | Fordonsmodell . . . . .                                                     | 10        |
| 1.5      | Översikt simuleringsmiljön . . . . .                                        | 10        |
| 1.6      | Översikt RDMK . . . . .                                                     | 11        |
| 1.6.1    | Simulerade data . . . . .                                                   | 12        |
| 1.6.2    | Data i realtid . . . . .                                                    | 12        |
| 1.6.3    | Loggade data . . . . .                                                      | 12        |
| 1.6.4    | Kommunikation - JForward . . . . .                                          | 12        |
| 1.6.5    | Bestämning av standardavvikelser . . . . .                                  | 12        |
| 1.6.6    | Kameran . . . . .                                                           | 13        |
| 1.6.7    | Resultat RDMK . . . . .                                                     | 14        |
| 1.7      | Översikt AVE . . . . .                                                      | 15        |
| 1.7.1    | Integer ambiguity . . . . .                                                 | 17        |
| 1.7.2    | Beräkning av basvektorer . . . . .                                          | 18        |
| 1.8      | Översikt Dataloggning . . . . .                                             | 19        |
| 1.8.1    | Resultat Dataloggning . . . . .                                             | 20        |
| 1.9      | Sammanfattning och framtida arbete . . . . .                                | 21        |
| <b>2</b> | <b>Funktionsbeskrivningar</b>                                               | <b>23</b> |
| 2.1      | Simuleringsmiljö . . . . .                                                  | 23        |
| 2.1.1    | <i>sim_environment()</i> . . . . .                                          | 23        |
| 2.1.2    | <i>track_generator()</i> . . . . .                                          | 23        |
| 2.1.3    | <i>real_state_generator()</i> . . . . .                                     | 24        |
| 2.1.4    | <i>enu2neu()</i> . . . . .                                                  | 24        |
| 2.1.5    | <i>measure_time_generator()</i> . . . . .                                   | 25        |
| 2.1.6    | <i>real_data_generator()</i> . . . . .                                      | 25        |
| 2.1.7    | <i>get_sensor_positions()</i> . . . . .                                     | 25        |
| 2.1.8    | <i>GPS_data_generator()</i> . . . . .                                       | 26        |
| 2.2      | Kalmanfilter RDMK . . . . .                                                 | 26        |
| 2.2.1    | <i>Kalman1_RDMK_Sim_plot()</i> . . . . .                                    | 28        |
| 2.2.2    | <i>Kalman1_RDMK_RealTime()</i> , <i>parallell_KalmanRDMK_XX()</i> . . . . . | 29        |
| 2.2.3    | <i>parallell_kalmanRDMK_sim_XX()</i> . . . . .                              | 30        |
| 2.2.4    | <i>camera_smooth()</i> . . . . .                                            | 30        |
| 2.2.5    | <i>probability()</i> . . . . .                                              | 31        |
| 2.2.6    | <i>total_probability()</i> . . . . .                                        | 31        |
| 2.2.7    | Resultat RDMK . . . . .                                                     | 32        |

|          |                                                                        |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3      | Attitydvinkelestimering . . . . .                                      | 34        |
| 2.3.1    | <i>angle()</i> . . . . .                                               | 34        |
| 2.3.2    | <i>attitude_estimation()</i> . . . . .                                 | 34        |
| 2.3.3    | <i>baseline_2()</i> . . . . .                                          | 34        |
| 2.3.4    | <i>calc_base()</i> . . . . .                                           | 35        |
| 2.3.5    | <i>calc_N_cand()</i> . . . . .                                         | 35        |
| 2.3.6    | <i>convert()</i> . . . . .                                             | 36        |
| 2.3.7    | <i>error_calc()</i> . . . . .                                          | 36        |
| 2.3.8    | <i>estimate_N_2()</i> . . . . .                                        | 36        |
| 2.3.9    | <i>extract_cand_stat()</i> . . . . .                                   | 37        |
| 2.3.10   | <i>global_constants</i> . . . . .                                      | 37        |
| 2.3.11   | <i>loaddata2()</i> . . . . .                                           | 37        |
| 2.3.12   | <i>reduce_N()</i> . . . . .                                            | 38        |
| 2.3.13   | <i>remove_bad_sats()</i> . . . . .                                     | 38        |
| 2.3.14   | <i>remove_elements()</i> . . . . .                                     | 38        |
| 2.3.15   | Resultat AVE . . . . .                                                 | 39        |
| 2.3.16   | Förslag till förbättring AVE . . . . .                                 | 43        |
| 2.4      | Dataloggning . . . . .                                                 | 43        |
| 2.4.1    | Filer för dataloggning . . . . .                                       | 44        |
| 2.4.2    | Anpassning och kompilering . . . . .                                   | 45        |
| 2.4.3    | Cgpsrec::InitGPS . . . . .                                             | 45        |
| 2.4.4    | Cgpsrec::nWriteMsgDr . . . . .                                         | 45        |
| 2.4.5    | Cgpsrec::Update . . . . .                                              | 45        |
| 2.4.6    | Cgpsrec::pGetGpsCoordPtr . . . . .                                     | 45        |
| 2.4.7    | Cgpsrec::pGetGpsRawPtr . . . . .                                       | 45        |
| 2.4.8    | Resultat Dataloggning . . . . .                                        | 45        |
| <b>3</b> | <b>Användarhandledning</b>                                             | <b>47</b> |
| 3.1      | Simuleringsmiljö . . . . .                                             | 47        |
| 3.1.1    | Bestämning av inparametrar . . . . .                                   | 47        |
| 3.2      | RDMK - Kalmanfilter . . . . .                                          | 47        |
| 3.2.1    | Parametrar . . . . .                                                   | 47        |
| 3.2.2    | Prediktion av tillstånd för flera fordon samtidigt i realtid . . . . . | 48        |
| 3.2.3    | Köra med loggade data . . . . .                                        | 49        |
| 3.3      | Att koppla upp sig som fordon mot servern . . . . .                    | 49        |
| 3.4      | Attitydvinkelestimering . . . . .                                      | 50        |
| 3.4.1    | Användning med simulerade data . . . . .                               | 50        |
| 3.4.2    | Användning med loggade data . . . . .                                  | 50        |
| 3.5      | Dataloggning . . . . .                                                 | 50        |
| 3.5.1    | Hårdvara . . . . .                                                     | 50        |
| 3.5.2    | Mjukvara . . . . .                                                     | 51        |
| 3.6      | Pilotkarta . . . . .                                                   | 52        |
| 3.6.1    | Funktion . . . . .                                                     | 53        |
| 3.6.2    | Inställningar . . . . .                                                | 54        |
| 3.7      | Survey . . . . .                                                       | 54        |
| 3.7.1    | Funktion . . . . .                                                     | 54        |
| 3.7.2    | Underfunktioner . . . . .                                              | 54        |
| 3.7.3    | Inställningar . . . . .                                                | 55        |
| 3.7.4    | Att tänka på . . . . .                                                 | 55        |

# Kapitel 1

## Systembeskrivning

### 1.1 Arbetsform

Arbetet som redovisas i rapporten har delvis bedrivits som ett samarbetsprojekt mellan FOI IR-system och Reglerteknik vid institutionen för systemteknik vid Linköpings Universitet. Samarbetet har genomförts som en reglerteknisk projektkurs där sju elever medverkat från högre årskurs vid Y-linjen. Projektarbetet har innefattat följande delmoment; litteratursökning, teorigenomgång, implementering och vidareutveckling av algoritmer och simuleringsmiljö, systembygge samt fältförsök. Systemet nyttjades skarpt första gången under september månad 2004 vid fältförsök i Kvarn i regi av projekten SE-MARK och Sensornod för spaning och övervakning.



**Figur 1.1.** QWIP/MASP-systemet är ett helikopterbaserat mätsystem med tillhörande navigationskapacitet. Systemet medger datainsamlingar under realistiska former för att verifiera algoritmutveckling inom bildanalys och autonomi och även ge signaturunderlag för IR-modellering.

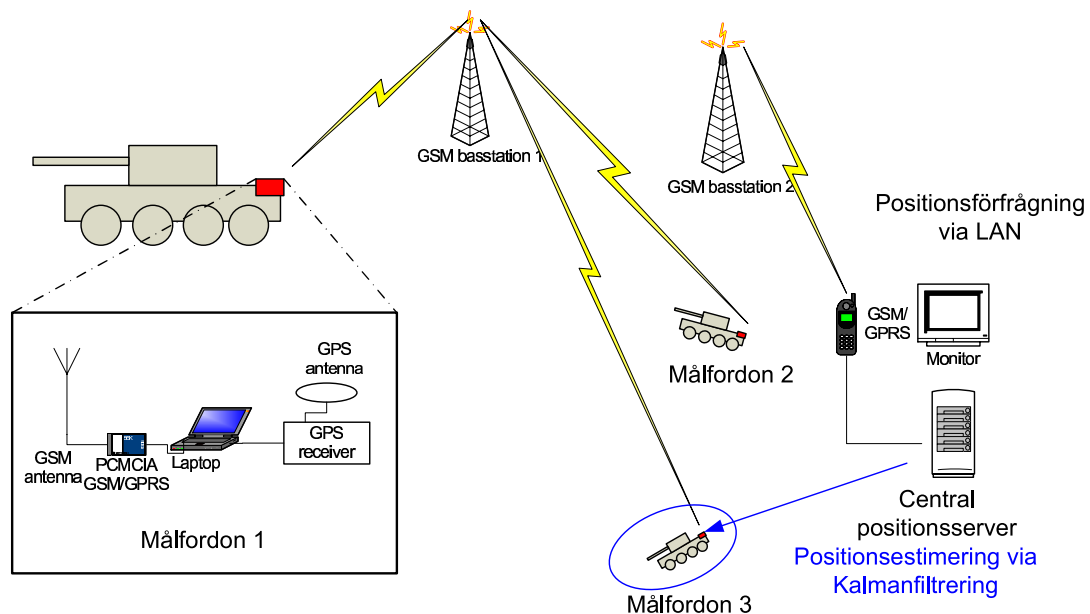
### 1.2 Inledning

Avsikten med arbetet är att på ett smidigt sätt kunna hantera fältförsök som innefattar ett större antal markfordon som skall registreras av flera styrbara sensorsystem. Målens positioner och deras attitydvinklar skall beräknas för att utgöra referensunderlag vid validering av ATR-algoritmer (automatic target recognition) och distributionen av positioner möjliggör simulerad positionsinvisning från andra sensorsystem. Det aktuella

sensorsystemet är QWIP/MASP-systemet, ett UAV-surrogat som hanteras som en fritt hängande last, utrustat med en styrbar EO/IR-gimbal med tillhörande högpresterande navigations- och datalagringssystem (se figur 1.1).

Målspearsarkitekturen har två huvudområden:

- RDMK: realtidsdistribution av målkoordinater. Detta system, som visas i figur 1.2, estimerar via Kalmanfilter rörliga fordons positioner i realtid och distribuerar dessa till en central positionsserver till vilken sensorsystem kan ansluta sig för att prenumerera på uppdateringar av målpositioner. Systemet utnyttjar nyare typer av handburna GPS-enheter, med möjlighet till framtida korrigering via WAAS/EGNOS. Dessa enheter har visat relativt god förmåga till god positionsbestämning även under skylande vegetation. Kommunikationen baseras på GPRS-kommunikation över GSM-nätet.
- AVE: attitydvinklestimering hos mål. Detta system, som visas i figur 1.3, består av algoritmer för attitydvinklestimering baserad på flera mer avancerade GPS-mottagare på ett och samma fordon. AVE innehåller även en dataloggningsdel där fasinformationen hos GPS-signalen loggas för att efterbearbetning ska kunna genomföras.



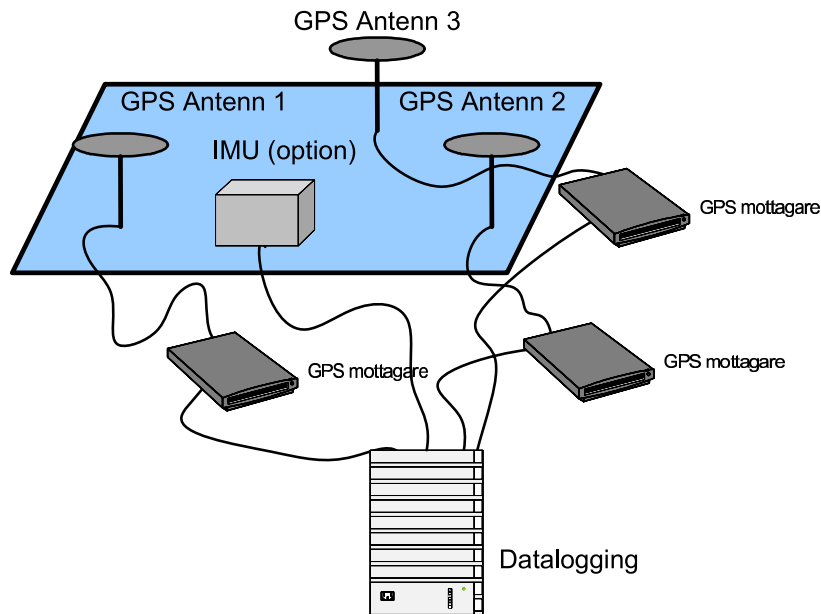
Figur 1.2. Arkitekturen för realtidsdistribution av målkoordinater (RDMK).

En simuleringsmiljö i Matlab har utvecklats för generering av GPS-data för algoritmutvecklingen och realtidsdistributionen. Generering av navigationsdata sker med hjälp av enkla fordonsmodeller.

## 1.3 Teori

### 1.3.1 GPS - Global Positioning System

GPS-satelliterna skickar ut signalmönster, elektroniska signaler där samma signalmönster genereras av mottagaren, som jämför sitt mönster med det mottagna för att mäta avståndet mellan mottagare och satellit. Satelliten sänder ut två sorters mönster, carrier, med en längd på tjugocentimeter och en noggrannhet på en millimeter och code,



**Figur 1.3.** Arkitekturen för attitydvinklestimering (AVE).

med en i princip obegränsad längd och en noggrannhet på en meter. Avståndet som mäts av carrier kallas carrier phase och avståndet som mäts av code kallas code phase. På grund av att carrier-mönstret är kort kommer avståndet att vara carrier phase plus ett stort obekant heltal, integer ambiguity. Integer ambiguity kan bestämmas genom att följa satelliter under en viss tid. [1]

Trots att satelliterna är utrustade med atomur drar sig klockorna en miljarddels sekund var tredje timme. För att åtgärda detta övervakas satelliterna från en kontrollstation på jorden. Satellitklockans fel beräknas och inkluderas i det meddelande som satelliten skickar ut. GPS-mottagaren korregerar tiden från satelliten med felet för att få det korrekta värdet. Om avstånden till alla satelliter mäts exakt samtidigt kommer alla mätningar innehålla samma fel orsakat av fel i mottagarklockan. Mottagarklockans fel kan inkluderas som en av de obekanta som ska lösas ut. Sedan tidigare har vi tre obekanta, (X, Y, Z), för att få ut positionen. För att lösa ut fyra obekanta behövs fyra ekvationer, alltså behöver avstånden till minst fyra satelliter mätas. [1]

Exaktheten i de beräknade positionerna beror också på hur exakt vi känner till satelliternas lägen. Satelliternas banor övervakas och deras predikterade banor skickas till satelliterna som i sin tur skickar vidare till mottagarna. [1]

Jonosfären innehåller laddade partiklar som påverkar hastigheten hos code och carrier. Jonosfärens påverkan på signalen är frekvensberoende. Ju högre frekvens desto mindre påverkan. Alla GPS-satelliter skickar information på två frekvenser, L1 och L2. Mottagare med hög precision tar emot båda signalerna för att avlägsna jonosfärens påverkan, genom att mäta skillnaden i avstånd. Även troposfären orsakar fördröjningar som elimineras med matematiska modeller. [1]

Satelliternas geometri påverkar felet i positionsbestämningen. Om fyra satelliter befinner sig nära varandra resulterar en meters fel i uppmätt distans till satelliterna i tiotals eller hundratals meter fel i den beräknade positionen. Om många satelliter är utspridda på himlen så blir felet i positionen mindre än 1.5 meter för en meters fel i uppmätt distans.

Den påverkan som satelliternas geometri har på positionsfelet kallas GDOP, Geometric Dilution Of Precision, och innebär förhållandet mellan positionsfel och fel i uppmätt distans. HDOP anger förhållandet i horisontalplan och VDOP i vertikalplan. [1]

### 1.3.2 GPRS - General Packet Radio Service

Data från sändaren delas upp i paket och sänds i upp till åtta tidsluckor till mottagaren där informationen sätts ihop igen. Den teoretiska maximala datahastigheten för GPRS är 171.2 Kbit/s när alla åtta tidsluckor används, men i praktiken är datatakten lägre. Nätverksoperatören tillåter inte att en användare använder alla tidsluckor. Medeldatahastigheten är 56 Kbit/s. I ett kretskopplat nätverk, som det markbundna telenätet, etableras en förbindelse mellan sändare och mottagare som är öppen under hela samtalet. Linjen är då stängd för andra samtal. I ett paketförmedlat (packet-switched) nätverk är förbindelsen mellan sändare och mottagare bara öppen när data sänds. [4]

Det finns olika typer av GPRS-telefoner. Typ 1 kan inte sända och ta emot samtidigt medan typ 2 kan det. Telefonerna är även indelade i klasser. Klass A telefoner klarar simultan talöverföring (via GSM) och dataöverföring (via GPRS). Klass B telefoner kan vara uppkopplade mot både kretskopplade och paketförmedlade tjänster men bara använda en av dessa i taget. Klass C telefoner kan vara uppkopplade antingen mot kretskopplad eller paketförmedlade tjänster men inte samtidigt. [2]

## 1.4 Fordonsmodell

I simuleringsmiljön representeras fordonen på två olika sätt beroende på om simuleringen ska användas till realtidsdistribution av målkoordinater eller till attitydvinklestimering. För realtidsdistributionen används ett punktformigt fordon där punkten är utplacerad mitt på en tänkt bakaxel. För attitydvinklestimeringen beskrivs fordonet istället av tre punkter där två av dessa ligger symmetriskt på fordonets bakaxel och den tredje mitt på fordonets framaxel.

## 1.5 Översikt simuleringsmiljön

För att skapa simulerade banor används funktioner vilka först omvandlar data som fås genom att man klickar på en karta för att lagra koordinater till en spline. Därefter skapas en styrlag med styrvinkel utifrån en fordonmodell med två bakhjul och ett främre styrehjul utefter denna spline. För att få fordonets tillstånd uttryckt i huvudsensorpositionen flyttas hastighetsvektor och position till en punkt mitt emellan bakhjulen.

Position och hastighetsvektor används senare för att ta fram z-position, rollvinkel, pitchvinkel och yawvinkel. Detta görs med hjälp av att den verkliga z-positionen kan plockas ur ett 3D-nät över samma karta som används vid framtagning av splinen ovan. Rikttningsvektorer i framriktning, uppriktning och vänsterriktning hos fordonet tas fram för att användas till att bilda en rotationsmatris ur vilken rollvinkel, pitchvinkel och yawvinkel kan beräknas. För att koordinater och vinklar ska stämma med de som sedan fås från GPS-mottagare i verkligheten måste transformationer av vinklar och koordinater ske till NEU <sup>1</sup>, RT90.

För att skapa verklighetstrogn mätdata plockar vi bara ut mätdata vid vissa bestämda tidpunkter, GPS-sensorer får t.ex. mätdata varje eller varannan sekund. Detta går att

---

<sup>1</sup>North (x), East (y), Up (z)

ändra. Givet inbördes placering på fordonet i förhållande till mitt mellan bakhjulen ska koordinater för de olika GPS-sensorerna beräknas. Simulerade GPS-data skapas med hjälp av funktioner i Matlabs Satellite Navigation Toolbox (satnav-toolbox). Här kan olika brus och störningar påverkas via parametrar.

## 1.6 Översikt RDMK

RDMK innebär att målkoordinater skickas till en central dator som står i förbindelse med sensorstyrningsdatorn. Flera rörliga fordon, klienter, skattar med hjälp av GPS sina positioner och sänder denna information till en server via GPRS. Se en översikt av systemet på figur 1.4. I realtid distribueras positioner för alla mål till en central dator som skattar positionen för målen och sammanställer dem så att den flygburna sensorutrustningen kan styras att följa fordon. Målpositioner genereras i en sådan form att andra processer/datorer kan erhålla positionerna, men även i form av enkla målspar i grafisk form på en skärm, överlagrade på en karta. Ett Kalmanfilter har skapats i Matlab



**Figur 1.4.** System som används som fordon, i RDMK-delen, för att logga data, en laptop med GPRS-kort och inkopplad GPS-mottagare.

och används i servern för att göra positionsskattningen. Kalmanfiltret kan hantera indata i form av simulerad data, loggad data och verklig data i realtid. Vi har använt extended, alltså olinjära, Kalmanfilter, ett för simulerade data och ett för skattning i realtid och loggad data. (Se 2.2 för en beskrivning av hur vårt Kalmanfilter ser ut.) Kalmanfiltret fungerar på samma sätt oavsett om det gäller data i realtid, loggad data eller simulerade data. Tillståndsvektorer i Kalmanfiltret består av position i RT90 koordinater, kurs och kursändring, det vill säga färdriktningsvinkeln i radianer räknat från x till y och dennas vinkelhastighet och skalär hastighet i meter per sekund.



### 1.6.1 Simulerade data

Vid simulerade data laddas en datafil som skapats i simuleringsmiljön in till Kalmanfiltret för att mätuppdateringar ska kunna göras. Initiering av tillstånd sker genom att de antar det första värdet ur mätdata från simuleringen. Även kovariansmatriser,  $R$  för mätbrus och  $P$  för skattningsfelet, initieras med hjälp av information från mätdata i första samplet. Kovariansmatrisen för bruset,  $Q$ , antas vara konstant. Under varje iteration (tidpunkt, en sekund mellan varje just) kontrolleras om det för denna tid finns mätdata. Om det inte finns mätdata görs endast en prediktion av nästa tillstånd. Finns det mätdata uppdateras denna prediktion med hjälp av Kalmanförstärkning gånger prediktionsfelet.

### 1.6.2 Data i realtid

Vid realtidskörning hanteras flera fordon samtidigt. Det är egentligen inte ett filter för varje fordon som körs, eftersom parallell exekvering inte finns i Matlab, utan programmet använder sig av tillståndsmatriser för varje fordon och skickar föregående tillstånd för alla fordon sekventiellt till Kalmanfiltret för prediktion av nästa tillstånd.

Under varje iteration hämtas meddelanden, se 1.6.4, förutsatt att det finns, under en sekund från meddelandeservern. Då man sedan ska göra en prediktion av nästa tillstånd i Kalmanfiltret skickas GPS-meddelandet för det aktuella fordonet med till filtret för att en mätuppdatering ska kunna utföras. Finns inget GPS-meddelande för det aktuella fordonet görs endast en prediktion av nästa tillstånd baserad på tidigare tillstånd och kovariansmatriser.

För att kunna plotta var fordonen befinner sig laddas en karta över området in. Det finns flera plotfunktioner för att lätt kunna urskilja olika fordon och även för att se vad som är GPS-indata och kovariansmatriser för skattningsfelet.

### 1.6.3 Loggade data

Vid simulering med loggad data laddas istället loggad data från en loggfil vilka sedan plockas in vid rätt tidpunkter för att användas på samma sätt som i realtid.

### 1.6.4 Kommunikation - JForward

JForward är ett ramverk för kommunikation som använder publisher-subscriber design över ett TCP-nätverk. En publisher (distributör) är en process som skickar data till servern och en subscriber (prenumerant) är en process som tar emot data från servern. Prenumeranten anger vilken typ av meddelanden som den ska ta emot, det vill säga prenumerera på. JForward-servern kan användas för kommunikation mellan datorer som inte kan skapa serverprocesser, till exempel datorer bakom en brandvägg eller datorer anslutna till Internet via GSM-telefoner med GPRS. JForward-servern tar emot meddelanden som skickas till den och skickar ut till alla prenumeranter som prenumererar på den typen av meddelanden. Servern har en buffert med utgående meddelanden för varje prenumeration. Det betyder att den publicerande processen alltid kan skicka nya meddelanden till servern även om prenumeranterna inte tar emot dessa lika ofta som de publiceras. Vissa meddelanden kommer att kastas bort om inte prenumeranten läser tillräckligt ofta. [6]

### 1.6.5 Bestämning av standardavvikelser

I mätbrusets kovariansmatris  $R$ , ingår  $\sigma_v$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_\rho$ . Standardavvikelsen för hastigheten i horisontalplan,  $\sigma_v$ , sätts initialt till 0,1 som motsvarar en decimeter per sekund som kan

antas vara rimligt. Standardavvikelsen för hastigheten i vertikalled,  $\sigma_z$ , sätts även den till 0,1.  $\sigma_\rho$  som påverkar standardavvikelseerna för x-, y- och z-position sätts initialt till åtta ( [5] sid 262). Standardavvikelsen för kurs,  $\sigma_\theta$ , räknas fram till  $\frac{\sigma_x}{v}$  (se nedan för härledning). Om hastigheten är mindre än tre  $\sigma_v$  sätts  $\sigma_\theta$  till  $2\pi$ , som motsvarar ett varv. Detta görs för att  $\sigma_\theta$  då är väldigt osäker och det största värde som  $\sigma_\theta$  kan anta är  $2\pi$ . I processbrusets kovariansmatris, Q, ingår  $\sigma_{va}$  och  $\sigma_{wa}$ . Standardavvikelsen för hastigheten,  $\sigma_{va}$ , sätts till 0,1 som motsvarar hastighetsändringen som resultat av maximal acceleration under en sekund. Standardavvikelsen för vinkelhastigheten,  $\sigma_{wa}$ , sätts till  $\frac{\pi}{4}$  som motsvarar vinkelhastighetsändringen som resultat av maximal acceleration under en sekund.

### Standardavvikelsen för färdriktningsvinkeln, $\sigma_\theta$

$$\theta = \tan\left(\frac{v_y}{v_x}\right) \approx \frac{1}{1 + \left(\frac{\hat{v}_y}{\hat{v}_x}\right)^2} \left(\frac{v_y}{v_x} - \frac{\hat{v}_y}{\hat{v}_x}\right) \quad (1.1)$$

$$v_y = \hat{v}_y + e_y \quad (1.2)$$

$$v_x = \hat{v}_x \quad (1.3)$$

$$\theta \approx \frac{1}{1 + \left(\frac{\hat{v}_y}{\hat{v}_x}\right)^2} \left(\frac{\hat{v}_y + e_y}{\hat{v}_x} - \frac{\hat{v}_y}{\hat{v}_x}\right) \quad (1.4)$$

$$v_y \ll v_x \quad (1.5)$$

Eftersom  $v_y$  är mycket mindre än  $v_x$  tas gränsvärdet av  $\theta$  då  $\hat{v}_y$  går mot noll.

$$\theta \longrightarrow \frac{e_y}{\hat{v}_x}, \quad \hat{v}_y \longrightarrow 0 \quad (1.6)$$

$$\sigma_\theta^2 = \text{var}(\theta) = E\{(\theta - \hat{\theta}) * (\theta - \hat{\theta})^T\} \quad (1.7)$$

$$E\{e_y^2\} = \sigma_v^2 \quad (1.8)$$

$$E\{e_y\} = 0 \quad (1.9)$$

$$\sigma_\theta^2 = \frac{\sigma_v^2}{v^2} \quad (1.10)$$

### Inställning av Kalmanfiltret

För att förbättra Kalmanfiltrets prestanda justeras de skattade standardavvikelseerna.

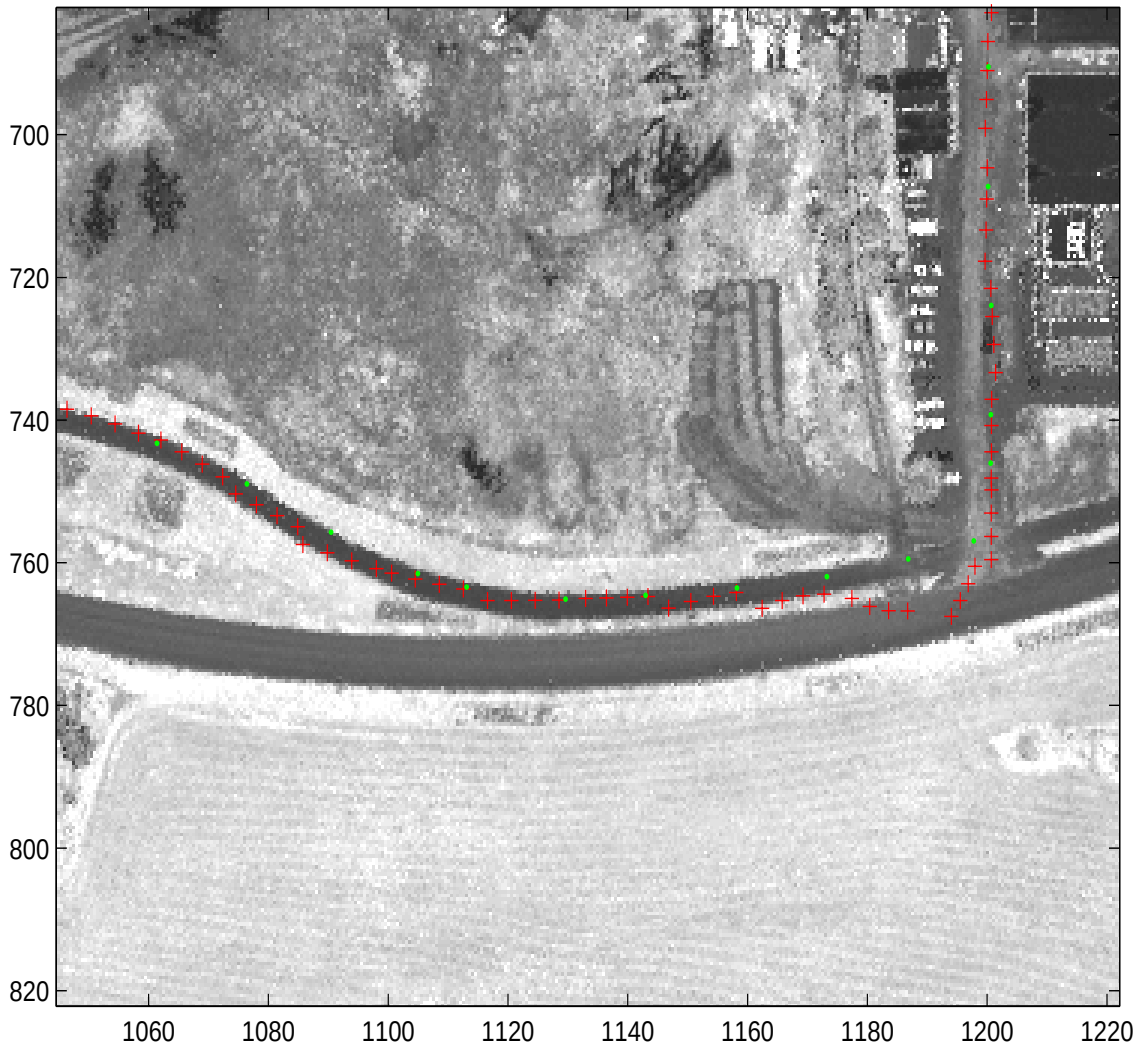
#### 1.6.6 Kameran

För att kameran ska röra sig mjukt när den följer referenspunkter på marken tas ett medelvärde/ en tyngdpunkt fram för de olika fordonens predikterade positioner. Tyn-gdpunkterna lågpasfilteras innan de skickas till kameran för att minska ryckiga kamera rörelser.

För att beräkna sannolikheten att ett fordon syns i kamerans bildplan transformeras skattningen av positionen och kovariansmatrisen till kamerans bildplan och sedan till pixlar. Sannolikheten fås genom att beräkna hur många standardavvikelse avståndet mellan skattningen av positionen och kanten på bildplanet motsvarar.

### 1.6.7 Resultat RDMK

Kalmanfiltret lyckas skatta positionen tillräckligt bra, se figur 1.5. Även om det fungerar bra nu finns det möjligheter för finjustering för att filtret ska bli ännu bättre om det finns behov av det. Observera hur prediktionen till en början går på rak bana och sedan snabbt svänger in då cyklisten svänger i kröken i figur 1.5. Stora variationer i hdop och

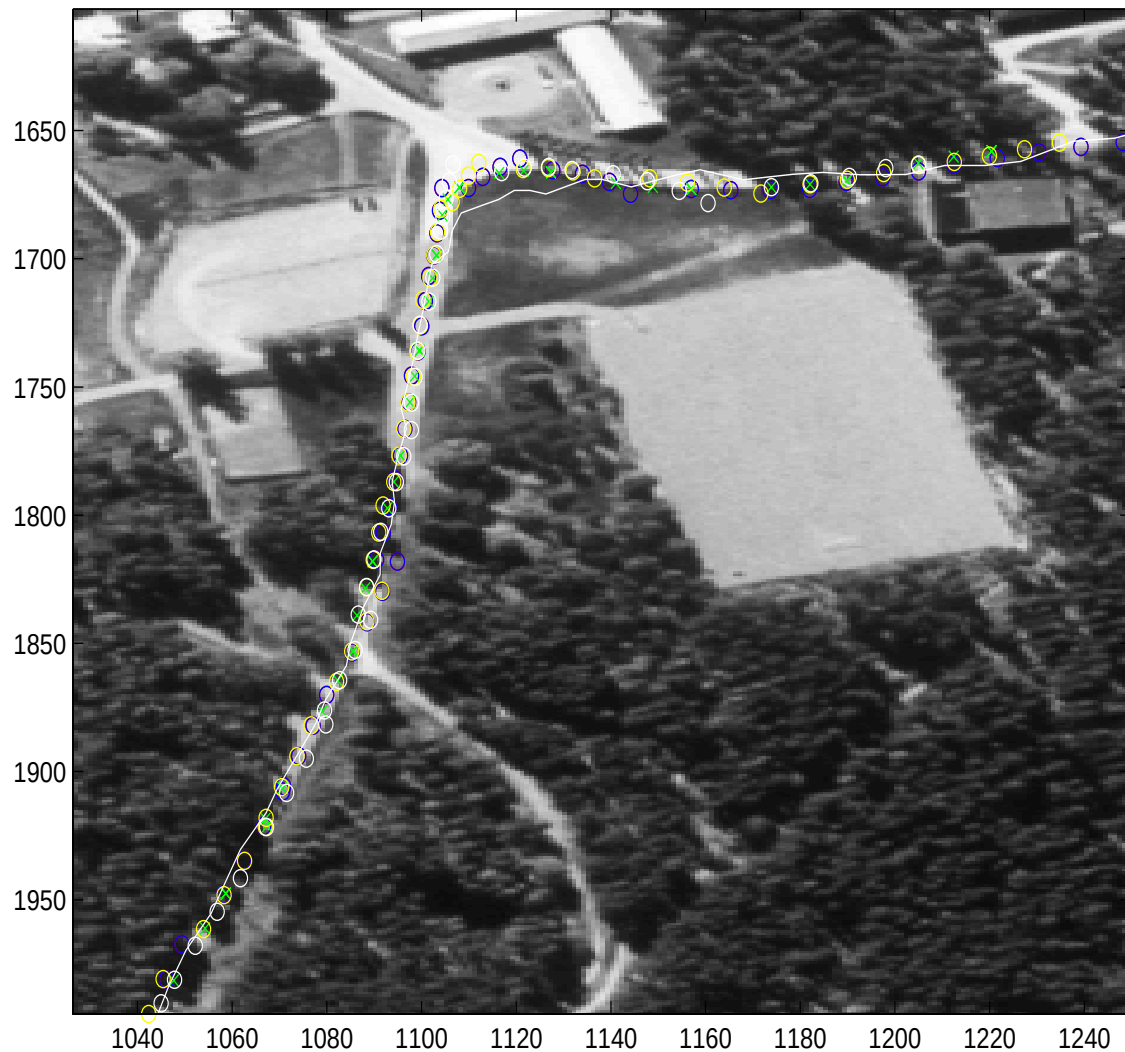


**Figur 1.5.** Prediktion av position av en cyklist i realtid, gröna punkter är GPS-data och röda kryss är Kalmanfiltrets prediktion.

vdop resulterade i orimligt stora kovarianser och därmed skattningar som stämde dåligt överens med mätningarna. För att åtgärda detta sattes hdop och vdop till konstanta värden, medelvärden av uppmätta data.

För att kompensera för tidsfördröjningar vid skattningen av framtida positioner som ska skickas till kameran predikteras tillstånden ytterligare ett antal sekunder in i framtiden. Beroende på aktuell tidsfördröjning, på grund av GPRS-kommunikationen, väljs sedan rätt prediktion ut.

För att kameran ska röra sig mjukare räknas en tyngdpunkt, för flera fordon, ut ur fordonens predikterade positioner. När tillräckligt många tyngdpunkter kommit in sker en lågpasstrerering. Detta fungerar bra, se figur 1.6.



**Figur 1.6.** camera\_smooth är körd på loggade data från Kvarn med ett fordon som förskjutits i tiden. Resultatet blir fyra fordon som kör efter varandra. Ringar och kryss motsvarar fordonens prediktioner och den vita heldragna linjen visar kamerans bana.

Koden för att beräkna sannolikheten att ett fordon syns i kameran verkar fungera men behöver testas mer.

## 1.7 Översikt AVE

AVE står för attitydvinklestimering. Denna består av efterbearbetning av loggad navigationsdata för estimering av målens attitydvinklar. Algoritmen behöver tre GPS-antennar.

För att skapa attityden för ett fordon vars position har genererats via simuleringar eller verkliga data krävs flera steg. Till att börja med ska en integer ambiguity, ett okänt heltal  $N$ , beräknas, se 1.7.1. Ambiguityn räknas ut genom att först bestämma de bästa satelliterna baserat på deras höjd på himlavalvet, ju högre höjd desto bättre information fås från satelliten i fråga. Här används geometri för att hitta rimliga kandidater på ambiguityn. Internt minskas antalet kandidater av  $N$  med en metod baserad på [3] och

beskrivs utförligare i 1.7.1.

De kandidater som erhålls följs genom att man för varje tidpunkt räknar ut vad dessa kandidater ger för längd på baslinjen <sup>2</sup> mellan GPS-sensorerna. Basen beräknas på liknande sätt som den beräknas i satnav-toolboxen, genom att använda ICP <sup>3</sup>, vilken fås i simuleringsmiljön från satnav-toolboxen. Basvektorerna kan därefter räknas ut med minsta kvadratmetoden. Om den framräknade längden på basvektorn skiljer sig för mycket från den, på förhand kända, sanna längden förkastas kandidaten. Beräkningen fortsätter tills endast en kandidat återstår per baslinje, vilken då är det slutgiltiga estimatet. Om inte alla falska kandidater hinner sällas bort på den givna datasekvensen (så att det återstår fler än en kandidat för ena baslinjen) väljs den kandidat som har minst medelfel.

Då det okända heltalet beräknats ska baslinjerna mellan GPS-sensorerna bestämmas. När basvektorn finns att tillgå konstrueras en rotationsmatris, se nedan för detaljerna, ur vilken attityden därefter kan beräknas genom trigonometri.

### Beräkning av vinklar

Vi söker en rotationsmatris  $R$  som satisfierar ekvationerna [3]

$$\begin{aligned} b_1 &= R s_1 \\ b_2 &= R s_2 \end{aligned}$$

där  $s$  är enhetsvektorer till sensorerna i referenssystemet och  $b$  är enhetsvektorer i det kroppsfixa referenssystemet.

Rotationsmatrisen  $R$  kan då beräknas genom

$$R = M_u M_g^T$$

där

$$M_g = (\bar{g}_1, \bar{g}_2, \bar{g}_3) \quad (1.11)$$

$$M_u = (\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3) \quad (1.12)$$

och

$$g_1 = s_1 \quad (1.13)$$

$$g_2 = \frac{s_1 \times s_2}{|s_1 \times s_2|} \quad (1.14)$$

$$g_3 = g_1 \times g_2 \quad (1.15)$$

samt

$$u_1 = b_1 \quad (1.16)$$

$$u_2 = \frac{b_1 \times b_2}{|b_1 \times b_2|} \quad (1.17)$$

$$u_3 = u_1 \times u_2 \quad (1.18)$$

<sup>2</sup>Basvektorn är vektorn från en huvudsensor till en annan GPS-sensor

<sup>3</sup>Integrated carrier phase i meter

Med hjälp av trigonometri kan nu vinklarna beräknas ur rotationsmatrisen som:

$$\text{roll} = \arctan\left(\frac{-R(2, 3)}{R(3, 3)}\right) \quad (1.19)$$

$$\text{pitch} = \arcsin(R(1, 3)) \quad (1.20)$$

$$\text{yaw} = \arctan\left(\frac{R(1, 2)}{-R(1, 1)}\right) \quad (1.21)$$

### 1.7.1 Integer ambiguity

Integer ambiguity är det okända antalet hela våglängder som skiljer de båda signalerna åt som når GPS-mottagarna. Då vi på förhand vet längden på baslinjen mellan GPS-mottagarna kan det okända heltalet  $N$  beräknas. Det som krävs är fyra satelliter och då dessa är utspridda på himlen kan tre double difference carrier phase beräknas. Carrier phase är den fas som detekteras då signalen från satelliterna når respektive GPS-mottagare. Först kan single difference beräknas som skillnaden i fas eller accumulated delta range mellan två GPS-mottagare. Därefter bestäms double difference genom att ta skillnaden hos single difference mellan referenssatelliten och övriga satelliter. Detta ger tre ekvationer ur vilka möjliga kandidater på  $N$  kan bestämmas genom att dessa söks på ytan till en sfär med radie lika med den fixa baslinjens längd (se nedan). [3]

### Beräkning av integer ambiguity

$\lambda$  är carrier våglängden,  $\Phi$  är fasen,  $N$  är integer ambiguity och  $\delta d = (\Delta x \ \Delta y \ \Delta z)^T$  är vektorn från huvudmottagaren till en annan GPS-mottagare [3]. På matrisform ger det:

$$A\delta d + W = 0 \quad (1.22)$$

där  $A$  är en  $3 \times 3$  matris och

$$W = (w_1 w_2 w_3)^T \quad (1.23)$$

där

$$w_i = \lambda \nabla \Delta N_i - \nabla \Delta \Phi_i$$

(1.22) ger

$$\delta d = -A^{-1}W$$

kvadrering ger

$$d^2 = \delta d^T \delta d = W^T (AA^T)^{-1} W \quad (1.24)$$

där  $d^2$  är kvadraten på den kända längden av baslinjen.  $AA^T$  är en positivt definit matris som kan Cholesky-uppdelas till en produkt av vänstertriangulära matriser,  $L$ . Således  $AA^T = LL^T$ .

Även  $L^{-1}$  är en vänstertriangulär matris och genom att definiera

$$\mathbf{L}^{-1} = \begin{pmatrix} l_{11} & 0 & 0 \\ l_{21} & l_{22} & 0 \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} \end{pmatrix} \quad (1.25)$$

$$B = l_{11}w_1$$

$$C = l_{21}w_1 + l_{22}w_2$$

$$D = l_{31}w_1 + l_{32}w_2 + l_{33}w_3$$

kan (1.24) skrivas som

$$d^2 = B^2 + C^2 + D^2 \quad (1.26)$$

Baslinjen, som inte kan vara längre än  $d$ , samt att lösningen ska ligga på ytan på sfären med radie  $d$  medför att (1.26) leder till ekvationerna

$$\begin{aligned} |B| &\leq d \\ |C| &\leq (d^2 - B^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (1.27)$$

Från (1.27) kan nu  $N_1$  sökas i området

$$\lambda^{-1}\left(\frac{-d}{l_{11}} + \nabla\Delta\Phi_1\right) \leq \nabla\Delta N_1 \leq \lambda^{-1}\left(\frac{d}{l_{11}} + \nabla\Delta\Phi_1\right) \quad (1.28)$$

För varje  $\nabla\Delta N_1$  i intervallet 1.28 kan  $w_1$  beräknas och därmed  $B$ .  $\nabla\Delta N_2$  kan då beräknas från (1.27)

$$\lambda^{-1}\left(\frac{-(d^2 - B)^{1/2} - l_{21}w_1}{l_{22}} + \nabla\Delta\Phi_2\right) \leq \nabla\Delta N_1 \leq \lambda^{-1}\left(\frac{(d^2 - B)^{1/2} - l_{21}w_1}{l_{22}} + \nabla\Delta\Phi_2\right) \quad (1.29)$$

Därefter kan  $w_1$  och  $w_2$  beräknas och därigenom är både  $B$  och  $C$  kända vilket leder till att (1.26) ger

$$\nabla\Delta N_3 = \frac{\pm (d^2 - B^2 - C^2)^{1/2} - E}{\lambda l_{33}} \quad (1.30)$$

### 1.7.2 Beräkning av basvektorer

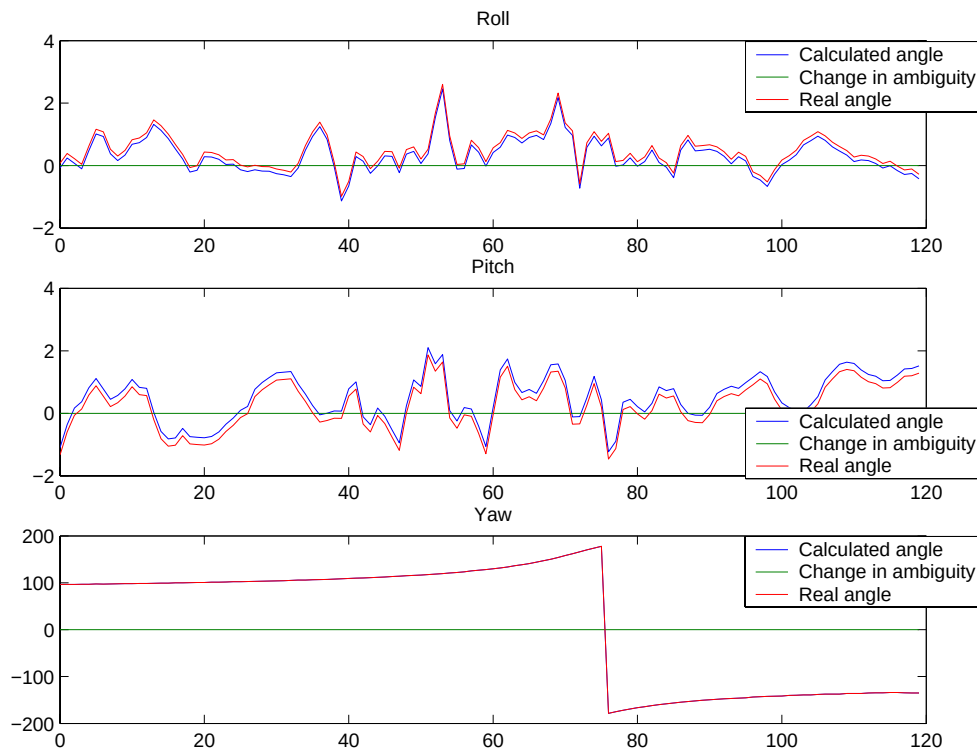
Basvektorn är vektorn från en huvudsensor till en annan GPS-sensor. Utifrån beräknade double difference, normerade satellitvektorer och känd integer ambiguity kan basvektorerna beräknas med hjälp av

$$DD_{cp} = Hb + N\lambda$$

där  $DD_{cp}$  är double difference carrier phase, matrisen  $H$  är skillnaden mellan enhetsvektorerna mellan de olika satelliterna och  $b$  är den okända basvektorn.  $N$ :et är det kända heltalet integer ambiguity. [5]

### Resultat AVE

Attitydvinklestimeringen fungerar bra för simulerade data. En viss bias finns dock på de beräknade vinklarna, något större i roll och pitch än i yaw, se figur 1.7, jämfört med de vinklar som genererats i simuleringsmiljön. Biasen ser ut att vara beroende av längden på baslinjerna. Beräkningen av vinklar fungerar inte lika bra för loggade data som för simulerade. Resultaten har varit blandade. Med tanke på att det ibland har fattats



**Figur 1.7.** Simulerade data, här syns biasen i roll- och pitchvinklen.

kandidater som ger tillräckligt bra resultat så kan det vara en idé att se över  $reduce\_N()$ , men när en bra kandidat väl har hittats så ger systemet bra resultat. En lyckad körning som har gjorts är på data där plattformen låg still på en plan yta, pekandes mot norr, se figur 1.8.

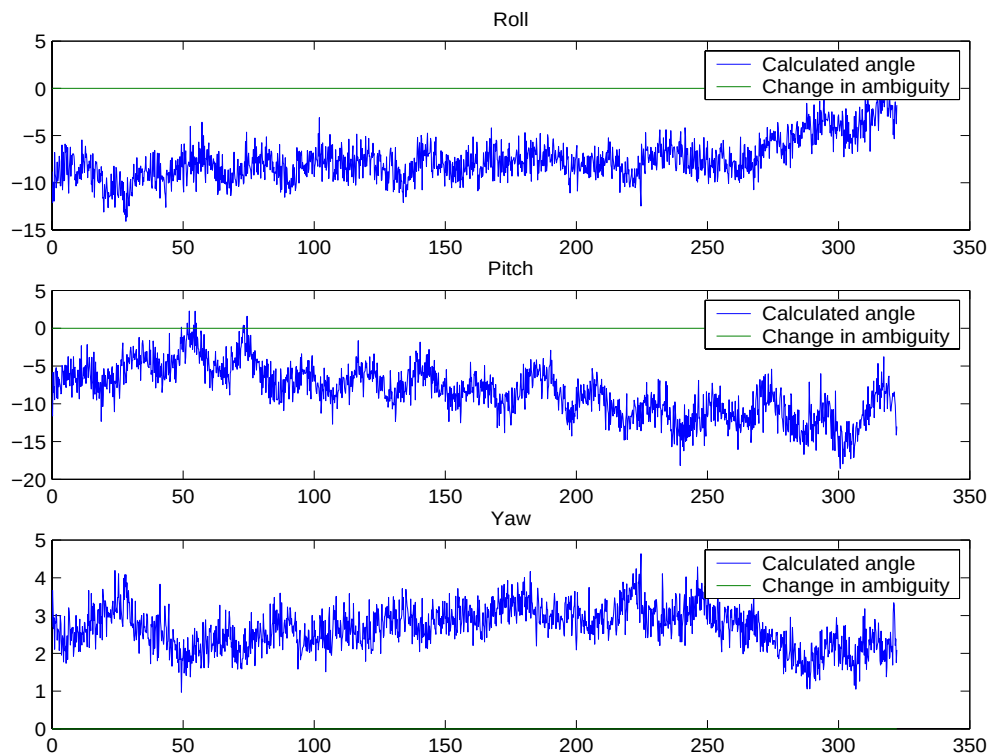
## 1.8 Översikt Dataloggning

Dataloggning sker på en PC. Systemet kan logga data från tre ALLSTAR GPS:er. GPS-antennerna monteras på ett stativ och baslinjerna mäts noggrant, se bild 1.9. Systemet förbehandlar loggad data så att det blir lätt att lägga in i Matlab. Loggningsprogrammet är objektorienterat och skrivet i C++.

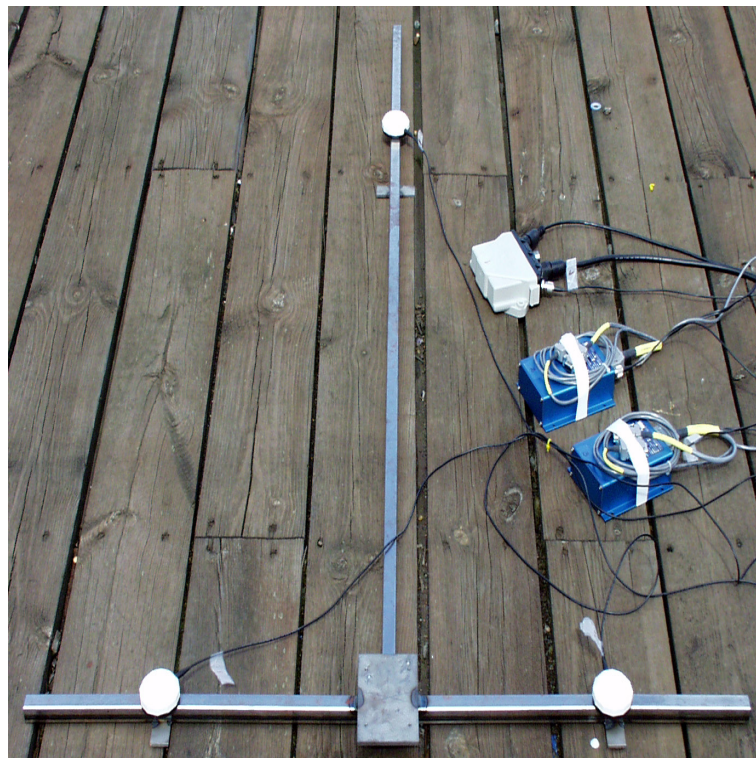
Programmet för dataloggning är skapat med multi-process design. För varje mottagare som ska loggas skapas en ny process. Varje process initieras genom att skapa objektet GPSSensor av klassen Cgpsrec. GPSSensor kopplar ett kommunikationsobjekt till en serieport samt hämtar data och avkodar denna. Ett antal structer skapas för att temporärt spara data (navigationslösningen, gemensam information om mätningar till satelliterna och rådata från mätning till satellit). Initieringen avslutas med att de meddelanden man är intresserad av efterfrågas.

Loggningen börjar med att vänta på data från serieporten eller tangentbordet. Då data kommer avkodas den av GPSSensor. Om meddelande om navigationslösning kommer sparas det endast i GPSCoord, men om meddelande om rådatamätning kommer skrivs detta till fil tillsammans med den senaste navigationslösningen. Om någon tangent trycks avslutas loggningsprocessen samt huvudprogrammet.





**Figur 1.8.** Loggade data, stillastående platform.



**Figur 1.9.** System som används för att logga data till AVE-delen, systemet ska så småningon sitta på taket på fordon.

### 1.8.1 Resultat Dataloggning

Tester har visat att programmet klarar att logga data från 3 mottagare med meddelande 21 och meddelande 23 upp till 10 Hz. Under dessa test var rådata tillgängliga från 20

upp till 9 satelliter. Programmet är plattformsoberoende och kan lätt flyttas till ny loggningsdator.

## 1.9 Sammanfattning och framtida arbete

Under året har ett skalbart system för kontroll av måspel vid fältförsök som innefattar flera rörliga markmål utvecklats i samverkan med Reglerteknik vid Linköpings Universitet.

Estimering av markfordonens koordinater sker via Kalmanfiltrering av GPS-data och realtidsdistribution till styrbara sensorsystem sker via GSM/GPRS. Även postprocessning för estimering av markfordon attitydvinklar berörs via mer avancerade filtreringstekniker. Då utnyttjas fasskillnaden mellan GPS-signalernas bärvåger från tre GPS-antennerna monterade i en fast geometri på ett fordon. Avsikten med systemet är att på ett smidigt sätt kunna hantera fältförsök som innefattar ett större antal markfordon som skall registreras av flera styrbara sensorsystem. Dessutom beräknas målens positioner och deras attitydvinklar för att bl.a. utgöra referensunderlag vid validering av ATR-algoritmer (automatic target recognition).

De preliminära resultaten för filtrering och distribution av målens koordinater är uppmuntrande och systemet kan uppskattningsvis hantera hundratalet fordon givet att fördröjningen som uppstår i GPRS-kommunikationen inte är för hög för det aktuella sensorsystemet. Det anskaffade systemet kan idag hantera fem rörliga mål.

De preliminära resultaten från postprocessning av fordons attitydvinklar ger goda resultat vid simulerade GPS-data. Däremot måste mer tid läggas på förbearbetning av antalet lösningsförslag då reella GPS-data nyttjas eftersom prestanda inte motsvarar de förväntade.



# Kapitel 2

## Funktionsbeskrivningar

### 2.1 Simuleringsmiljö

I simuleringsmiljön skapas rutter där sedan GPS-data tas fram för att användas till att testa Kalmanfilter och attitydskattningsalgoritm.

#### 2.1.1 *sim\_environment()*

Simuleringsmiljön anropas genom kommandot *sim\_environment*. Användaren markerar punkter i kartan över FOI-området som laddas in och därigenom genereras en bana.

#### Utparametrar

**th\_gps** - tidpunkter för utdata

**s** - nummer på GPS-mottagare

**xrt, yrt, zrt** - koordinater

**th\_gps** - kursvinkel RDMK

**roll, pitch, yaw** - vinklar AVE

**vog\_gps** - hastighet

**HDOP, VDOP** - standardavvikelse i horisontal och vertikalplan

**drvec** - accumulated delta range från GPS

**sat\_id** - satellitid från GPS

#### 2.1.2 *track\_generator()*

Detta är en funktion som använder sig av en karta där data samlas in, via funktionen *get\_path\_new*, genom att man klickar på den. Dessa kartkoordinater används för att skapa en spline, detta görs genom att använda den inbyggda matlabfunktionen *interp1* med metoden kubisk spline. Därefter skapas en styrlag med styrvinkel utifrån en fordonmodell med två bakhjul och ett främre styrhjul utefter denna spline via funktionen *get\_control*. Härifrån erhålls styrvinkel och vinkeln hos fordonet jämfört med koordinatsystemet tillsammans med x- och y-koordinater och även den skalära farten som är satt till ett konstant värde. Därefter skapas vinkelhastigheten, med hjälp av en enkel approximation, och även hastighetsvektorer i x- och y-led. För att få fordonets tillstånd uttryckt utifrån huvudsensorpositionen flyttas hastighetsvektor och position från en punkt vid framhjulet till en punkt mitt emellan bakhjulen med hjälp av mekaniklagar. Efter som koordinaterna är uttryckta i kartkoordinater korrigeras dessa till RT90-koordinater, omkastade till ENU <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>East (x), North (y), Up (z)

## Inparametrar

**SAMPEL\_FACTOR** - en parameter för att utvariablerna ska få begränsad storlek. Denna *sampel\_factor* är alltså den sampelfrekvens som används för att plocka ut endast en del av de bildade utvariablerna.

## Utparametrar

**time** - tidvektor

**x, y** - x- och y-position i RT90 koordinater, ENU

**v, vx, vy** - skalär hastighet, hastighetsvektor

**th\_track** - fordonets kurs i radianer från x till y

Allt utifrån en punkt mitt emellan bakhjulen.

### 2.1.3 *real\_state\_generator()*

Position och hastighetsvektor används senare i *real\_state\_generator* för att ta fram z-position, rollvinkel, pitchvinkel och yawvinkel. I *real\_state\_generator* används en funktion, *tripodFOIJJL*, som tar position i x- och y-koordinater samt hastighetsvektorn som inparametrar och räknar sedan, med hjälp av ett 3D-nät över en karta över FOI- och campusområdet, ut den verkliga z-positionen. För att kunna skapa en rotationsmatris ur vilken rollvinkel, pitchvinkel och yawvinkel kan beräknas, beräknas riktningsektorer i framriktning, uppriktning och vänsterriktning hos fordonet. Dessa bildar en rotationsmatris genom att i fordonets koordinatsystem är x-axeln framriktningen, y-axeln är vänsterriktning och z-axeln är uppriktningen. Rollvinkeln går runt x-axeln från y till z, pitchvinkeln går runt y-axeln från x till -z och yawvinkeln går runt z-axeln från x till y, se Rotationsmatris 2.1 där r är rollvinkel, p är pitchvinkel och y är yawvinkel.

$$\begin{pmatrix} \cos(p)\cos(y) & -\cos(p)\sin(y) & \sin(p) \\ \sin(r)\sin(p)\cos(y) + \cos(r)\sin(y) & -\sin(r)\sin(p)\sin(y) + \cos(r)\cos(y) & -\cos(p)\sin(r) \\ -\cos(r)\sin(p)\cos(y) + \sin(r)\sin(y) & \cos(r)\sin(p)\sin(y) + \sin(r)\cos(y) & \cos(r)\cos(p) \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

r = rollvinkel, p = pitchvinkel, y = yawvinkel.

För att få kartans koordinater att stämma med det riktiga systemet sker en del koordinattransformationer i denna funktion.

## Inparametrar

**time** - tidvektor

**x, y** - banans x- och y-koordinater, som skapades i *track\_generator*

**vx, vy** - fordonets hastighetsvektor

## Utparametrar

**z** - z-position

**roll, pitch, yaw** - rollvinkel, pitchvinkel och yawvinkel

### 2.1.4 *enu2neu()*

För att koordinater och vinklar ska stämma med de som sedan fås från GPS:er i verkligheten måste vi transformera erhållna vinklar och koordinater från ENU till NEU. Detta görs i *enu2neu()*.

### 2.1.5 *measure\_time\_generator()*

För att skapa verklighetstrogna mätdata används en funktion *measure\_time\_generator* vilken som inargument tar önskad total simuleringstid, starttid för varje GPS-sensor och tid mellan mätsampel för varje sensor. Denna levererar sedan en tidvektor och en tillhörande vektor innehållandes nummer på den sensor som erhåller mätsampel vid denna tidpunkt.

#### Inparametrar

**t\_tot** - önskad total simuleringstid  
**t\_s\_start** - starttid för varje GPS-sensor  
**delta\_t\_s** - tid mellan mätsampel för varje sensor

#### Utparametrar

**t\_m, s** - tidvektor och en tillhörande vektor innehållandes nummer på den sensor som erhåller mätsampel vid denna tidpunkt.

### 2.1.6 *real\_data\_generator()*

Vi är enbart intresserade av informationen från *real\_state\_generator* vid de tider då en GPS-sensor mottar information. Således skapas och används bara mätdata från *real\_state\_generator* vid de tider som angivits i *measure\_time\_generator*. Detta sker i funktionen *real\_data\_generator*.

#### Inparametrar

**x, y, z** - koordinater vid tiden t\_m från sensor s\_m  
**roll, pitch, yaw** - vinklar vid tiden t\_m från sensor s\_m  
**v** - skalär hastighet vid tiden t\_m från sensor s\_m  
**time, t\_m** - tidvektorer  
**s\_m** - aktuell sensor  
**t\_0** - simuleringens starttid

#### Utparametrar

**xv, yv, zv, rollv, pitchv, yawv, vog\_true, t, s** - mätdata vid tiden t från sensor s

### 2.1.7 *get\_sensor\_positions()*

Givet inbördes placering på fordonet i förhållande till mitt emellan bakhjulens koordinater för de olika GPS-sensorerna beräknas. Detta görs med hjälp av funktionen *get\_sensor\_positions*. Positionerna för sensorerna är givna i koordinater i fordonets koordinatsystem och transformeras med hjälp av rotationsmatrisen till koordinater i det stora systemet.

#### Inparametrar

**xv, yv, zv, rollv, pitchv, yawv, s** - mätdata från sensor s

#### Utparametrar

**xrt, yrt, zrt** - sensorpositioner

### 2.1.8 *GPS\_data\_generator()*

För att kunna utnyttja funktioner i Matlabs satnav-toolbox behöver koordinaterna transformeras från RT90 till ECEF i funktionen *rt2ecef* och efter funktionen *GPS\_data\_generator* transformeras de sedan tillbaka till RT90-koordinater med *ecef2rt*. I funktionen *GPS\_data\_generator* skapas simulerade GPS-data, så som satellitpositioner och gps-positioner, med hjälp av funktioner i **Matlabs satnav-toolbox**. Här kan olika brus och störningar påverkas via parametrar. Parametrarna ändras i filen *global\_constants*.

#### Inparametrar

**x, y, z** - koordinater för sensor s

**vog\_true, th\_true** - skalär hastighet och kursvinkel för sensor s

**t** - tidvektor

**s** - aktuell sensor

#### Utparametrar

**xgps, ygps, zgps** - koordinater från GPS

**HDOP, VDOP** - standardavvikelse i horisontalplan från GPS

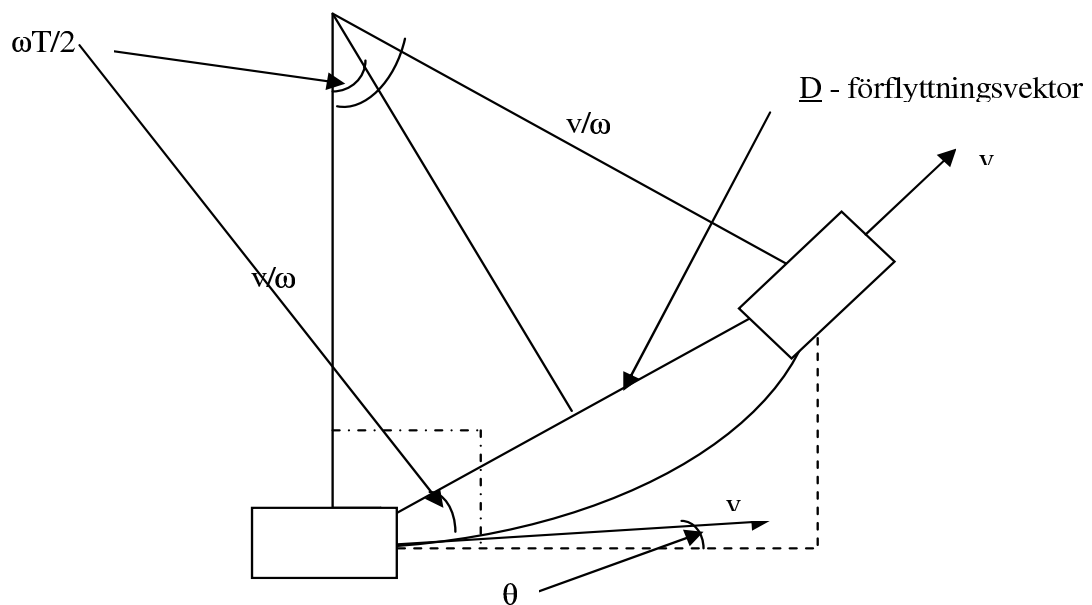
**vog\_gps, th\_gps** - skalär hastighet och kursvinkel från GPS

**adrvect** - accumulated delta range från GPS

**sat\_id** - satellitid från GPS

## 2.2 Kalmanfilter RDMK

Vi har använt extended, alltså olinjära, Kalmanfilter, ett för simulerade data och ett för skattning i realtid och loggade data. Kalmanfiltret i realtid och för loggade data och det för simulerade data fungerar på samma sätt. Indata ska vara x-, y- och z-koordinater. Formatet på indata ska vara RT90, NEU. Course, det vill säga färdriktningsvinkeln, ska vara i radianer räknat från x till y och hastigheten ska vara skalär i meter per sekund.



**Figur 2.1.** Härledning av prediktionsmodell för Kalmanfiltret,  $|D| = 2 \frac{v}{\omega} \sin \frac{\omega T}{2}$ .

## Kalmanfiltret

Processmodell:

$$X(t+T) = f(X(t)) + g(X(t)) \cdot w_1(t) \quad w_1(t) \in N(0, Q_X) \quad (2.2)$$

$$Z(t+T) = \lambda(Z(t)) + \varphi(Z(t)) \cdot n_1(t) \quad n_1(t) \in N(0, Q_Z) \quad (2.3)$$

Prediktion:(Härledning se 2.1)

$$X(t+T) = f(X(t)) \quad (2.4)$$

$$(2.5)$$

$$Z(t+T) = \lambda(Z(t)) \quad (2.6)$$

där  $f = (f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4 \ f_5)$  och  $\lambda = (\lambda_1 \ \lambda_2)$

$$\begin{aligned} f_1 &= x(t+T) \\ &= x(t) + 2 \cdot v(t) \frac{1}{\omega(t)} \sin\left(\omega(t) \cdot \frac{T}{2}\right) \cdot \cos\left(course(t) + \omega(t) \cdot \frac{T}{2}\right) \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} f_2 &= y(t+T) \\ &= y(t) + 2 \cdot v(t) \frac{1}{\omega(t)} \sin\left(\omega(t) \cdot \frac{T}{2}\right) \cdot \sin\left(course(t) + \omega(t) \cdot \frac{T}{2}\right) \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\text{där} \quad \frac{1}{\omega(t)} \sin\left(\omega(t) \cdot \frac{T}{2}\right) = \frac{T}{2} \quad \text{då} \quad \omega(t) = 0 \quad (2.9)$$

$$f_3 = course(t+T) = course(t) + \omega(t) \cdot T \quad (2.10)$$

$$f_4 = v(t+T) = V_v \cdot v(t) \quad (2.11)$$

$$f_5 = \omega(t+T) = \omega_\omega \cdot \omega(t) \quad (2.12)$$

$$\lambda_1 = z(t+T) = z(t) + T \cdot \dot{z}(t) \quad (2.13)$$

$$(2.14)$$

$$\lambda_2 = \dot{z}(t+T) = \dot{z}(t) \quad (2.15)$$

Mätmodell:

$$X_{\text{mät}}(t+T) = h(X(t)) + w_2(t) \quad w_2(t) \in N(0, R_{X(t)}) \quad (2.16)$$

$$Z_{\text{mät}}(t+T) = \gamma(Z(t)) + n_2(t) \quad n_2(t) \in N(0, R_{Z(t)}) \quad (2.17)$$

Vi mäter endast x, y, z, kurs, course och hastighet, v, vilket ger att dessa tillstånd återfinns som diagonalelement hos  $X_{\text{mät}}$  och  $Z_{\text{mät}}$  ( $h_{4 \times 5}$ , nollor i sista kolumnen).



Taylorutveckling/linjärisering:

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \omega} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_5}{\partial x} & \dots & \frac{\partial f_5}{\partial \omega} \end{pmatrix} \quad \mathbf{\Lambda} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \lambda_1}{\partial x} & \dots & \frac{\partial \lambda_1}{\partial \omega} \\ \frac{\partial \lambda_2}{\partial x} & \dots & \frac{\partial \lambda_2}{\partial \omega} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{G} = \mathbf{g}(\hat{X}(t)) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial v} & \frac{\partial f_1}{\partial \omega} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_5}{\partial v} & \frac{\partial f_5}{\partial \omega} \end{pmatrix} \quad \Phi = \varphi(\hat{Z}(t)) = \mathbf{I}$$

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial x} & \dots & \frac{\partial h_1}{\partial \omega} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial h_5}{\partial x} & \dots & \frac{\partial h_5}{\partial \omega} \end{pmatrix} \quad \mathbf{\Gamma} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \gamma_1}{\partial x} & \dots & \frac{\partial \gamma_1}{\partial \omega} \\ \frac{\partial \gamma_2}{\partial x} & \dots & \frac{\partial \gamma_2}{\partial \omega} \end{pmatrix}$$

Kovariansmatriser:

$$\mathbf{R}_{x(t)} = \text{diag} \left( \frac{\sigma_\rho^2 \cdot \text{hdop}^2}{2}, \frac{\sigma_\rho^2 \cdot \text{hdop}^2}{2}, \sigma_{\text{course}}^2, \sigma_v^2 \right) \quad (2.18)$$

$$\mathbf{Q}_{x(t)} = \text{diag} (\sigma_v^2, \sigma_\omega^2) \quad (2.19)$$

$$\mathbf{P}_{x(t-T)} = \text{diag} \left( \frac{\sigma_\rho^2 \cdot \text{hdop}^2}{2}, \frac{\sigma_\rho^2 \cdot \text{hdop}^2}{2}, \sigma_{\text{course}}^2, \sigma_v^2, \sigma_\omega^2 \right) \quad (2.20)$$

Vid initiering av  $P_x$  multipliceras alla diagonalelement utom det sista med tre för att de ska vara stora, det råder stor osäkerhet i prediktering när man börjar.

$$\mathbf{R}_{z(t)} = \text{diag} (\sigma_\rho^2 \cdot \text{vdop}^2) \quad (2.21)$$

$$\mathbf{Q}_z = \text{diag} (0, \sigma_z^2) \quad (2.22)$$

$$\mathbf{P}_{z(t-T)} = \text{diag} (R_{z(t)}, \sigma_z^2) \quad (2.23)$$

Vid initiering av  $P_z$  multipliceras första diagonalelementet med tre för att det ska vara stort, det råder stor osäkerhet i prediktering när man börjar. Mätuppdatering:

$$K_{x(t)} = P_{x(t|t-T)} \cdot H^T \cdot (H \cdot P_{x(t|t-T)} \cdot H^T + R_{x(t)})^{-1} \quad (2.24)$$

$$K_{z(t)} = P_{z(t|t-T)} \cdot \Gamma^T \cdot (\Gamma \cdot P_{z(t|t-T)} \cdot \Gamma^T + R_{z(t)})^{-1} \quad (2.25)$$

$$P_{x(t)} = P_{x(t|t-T)} - P_{x(t|t-T)} \cdot H^T \cdot (H \cdot P_{x(t|t-T)} \cdot H^T + R_{x(t)})^{-1} \cdot H \cdot P_{x(t|t-T)} \quad (2.26)$$

$$P_{z(t)} = P_{z(t|t-T)} - P_{z(t|t-T)} \cdot \Gamma^T \cdot (\Gamma \cdot P_{z(t|t-T)} \cdot \Gamma^T + R_{z(t)})^{-1} \cdot \Gamma \cdot P_{z(t|t-T)} \quad (2.27)$$

$$P_{x(t|t-T)} = F \cdot P_{x(t)} \cdot F^T + G \cdot Q_x \cdot G^T \quad (2.28)$$

$$P_{z(t|t-T)} = \Lambda \cdot P_{z(t)} \cdot \Lambda^T + Q_z \quad (2.29)$$

$$X(t+T) = X(t+T) + K_{x(t)} \cdot (X_{\text{mät}(t)} - H \cdot X(t+T)) \quad (2.30)$$

$$Z(t+T) = Z(t+T) + K_{z(t)} \cdot (Z_{\text{mät}(t)} - H \cdot Z(t+T)) \quad (2.31)$$

### 2.2.1 *Kalman1\_RDMK\_Sim\_plot()*

För data skapade i simuleringsmiljön används *Kalman1\_RDMK\_Sim\_plot()*. Funktionen laddar in en datafil som skapats i simuleringsmiljön och använder datafilen för att göra

mätuppdateringar. Initiering av tillstånd sker genom att de antar det första värdet ur mätdata från simuleringen. Även kovariansmatriser,  $\mathbf{R}$  för mätbrus och  $\mathbf{P}$  för skattningsfelet, initieras med hjälp av information från mätdata i första samplet. Kovariansmatrisen för bruset hos hastighet och vinkelhastighet,  $\mathbf{Q}$ , antas vara konstant. Under varje iteration (tidpunkt, en sekund mellan varje just nu) kontrolleras om det för denna tid finns mätdata. Om det inte finns mätdata görs endast en prediktion av nästa tillstånd. Finns det mätdata uppdateras denna prediktion med hjälp av Kalmanförstärkning gånger prediktionsfelet. Se 2.2 hur Kalmanfiltret fungerar.

## Inparametrar

**simfile** - den datafil från simuleringsmiljön som ska användas

### 2.2.2 *Kalman1\_RDMK\_RealTime()*, *parallell\_KalmanRDMK\_XX()*

För realtidsskattning används *parallell\_KalmanRDMK\_FOI()*, som i sin tur använder *Kalman1\_RDMK\_RealTime()*, då data samlas in vid FOI-området och *parallell\_KalmanRDMK\_KVARN()* då data samlas in vid Kvarnområdet. *parallell\_KalmanRDMK\_XX()* sköter hantering av flera fordon samtidigt. Det är egentligen inte ett filter för varje fordon som körs parallellt eftersom parallell exekvering inte finns i Matlab utan programmet använder sig av tillståndsmatriser för varje fordon och skickar föregående tillstånd för alla fordon sekventiellt till Kalmanfiltret *Kalman1\_RDMK\_RealTime()* för prediktion av nästa tillstånd. Denna insamling av data sker så länge som man valt att köra while-loopen. Det finns inget sätt att avsluta datainsamlingen innan loopen är klar och samtidigt kunna spara undan data.

Under varje iteration hämtas meddelanden, förutsatt att det finns, under en sekund från meddelandeservern. Då man sedan ska göra en prediktion av nästa tillstånd i Kalmanfiltret skickas GPS-meddelandet för det aktuella fordonet med till filtret för att en mätuppdatering ska kunna utföras. Finns inget GPS-meddelande för det aktuella fordonet görs endast en prediktion av nästa tillstånd baserad på tidigare tillstånd och kovariansmatriser. Alla GPS-meddelanden sparas undan i en loggfil för att sedan kunna återanvändas.

Eftersom det finns tidsfördröjningar i GPRS-kommunikationen kommer det att behövas korrigering av de positionsdata som skickas till kameran. Detta tas om hand i avsnittet send to camera och fungerar så att man predikterar tillstånden ytterligare ett antal sekunder in i framtiden. Det skapas en vektor med prediktioner för varje sekund fram till en given tid och ur denna vektor kan man senare, beroende på aktuell tidsfördröjning, välja ut vilken prediktion som gäller och ska användas i kameran.

För att kunna plotta var fordonen befinner sig laddas en karta över området. Det skapas plotfunktioner för att lätt kunna urskilja olika fordon och även för att se vad som är GPS-indata och plotta kovariansellipsoider för skattningsfelet.

## Inparametrar

**N** - (till *parallell\_KalmanRDMK\_XX()*) antalet fordon som ska följas

**alt** - sträng, smooth, prob eller camoprob beroende på om man vill köra *camera\_smooth()*, *probability()* eller båda under körningen

### 2.2.3 *parallell\_kalmanRDMK\_sim\_XX()*

Vid simulering med loggade data används istället för *parallell\_kalmanRDMK\_XX()* *parallell\_kalmanRDMK\_sim\_XX()*. Här laddas loggade data från en loggfil vilka sedan plockas in vid rätt tidpunkter för att användas på samma sätt som i realtid. Det är viktigt att hålla ordning på hur ofta data är skickade i logfilen.

#### Inparametrar

**logfile** - datafil i vilken loggade data finns sparade

**alt** - sträng, smooth, prob eller camoprob beroende på om man vill köra *camera\_smooth()*, *probability()* eller båda under simuleringen

**N** - antalet fordon som följs under simuleringen

#### Inställning av Kalmanfiltret

För att förbättra Kalmanfiltrets prestanda justeras de skattade standardavvikelserna för hastighet, kurs,  $\dot{z}$ , vinkelhastighet och  $\sigma_\rho$  som påverkar standardavvikelse för x och y position. För hastighet och kurs justeras även standardavvikelsen för bruset på dessa. För att få vägledning om hur dessa ska ändras, undersöks plottar av skattningsfelet jämfört med standardavvikelser. För att få bra prestanda ska skattningsfelet för en variabel ska ligga med ca 63 % innanför  $\sigma$  för denna variabel och helt innanför  $2\sigma$ . Det var i detta fallet mycket svårt att åstadkomma detta för alla variabler, men resultatet blev ändå ett bra fungerande filter.

### 2.2.4 *camera\_smooth()*

*camera\_smooth* anropas av *parallell\_kalmanRDMK\_XX* / *parallell\_kalmanRDMK\_sim\_XX* varje gång GPS-data från alla fordon kommit in. Funktionen tar fram ett medelvärde/en tyngdpunkt för de olika fordonens positioner och lågpasfiltrerar tyngdpunkterna så att kameran ska röra sig mjukt och inte hoppa mellan olika punkter.

Funktionen plockar ut prediktioner av fordonens positioner för en viss tidsfördröjning, **T\_c**, ur **x\_c**, **y\_c** och **z\_c** som innehåller positionsskattningar för flera olika tidsfördröjningar. Positionerna summeras över alla fordon och tyngdpunkten fås genom att dividera med antalet fordon. Tyngdpunkten läggs till vektorer, **x\_log**, **y\_log** och **z\_log**. Om dessa vektorer hunnit bli tillräckligt stora sker en lågpasfiltrering med ett **Butterworthfilter**. De först inkomna punkterna filtreras inte, eftersom det då inte finns tillräckligt med punkter för att filtreringen ska bli bra. När filtrering sker sparas den nya tyngdpunkten efter de gamla i **x\_log**. **x\_log** filtreras och den sista filtrerade punkten sparas i **X\_cam**. **X\_cam** kommer till slut att innehålla de första punkterna ofiltrerade och resten av punkterna filtrerade. **X\_cam** plottas sedan i *parallell\_kalmanRDMK\_XX*. **X\_cam** sparas även över till **x\_log**. Det betyder att när en ny tyngdpunkt läggs till **x\_log** så kommer den att filtreras tillsammans med redan filtrerade punkter.

#### Inparametrar

**X\_cam**, **Y\_cam**, **Z\_cam** - vektorer med de första tyngdpunkterna ofiltrerade och övriga punkter filtrerade

**x\_average**, **y\_average**, **z\_average** - vektor med tyngdpunkter

**x\_c**, **y\_c**, **z\_c** - positionsprediktioner för olika tidsfördröjningar

**T\_c** - maxtidsfördröjning

**N** - antalet fordon

### Utparametrar

**X\_cam, Y\_cam, Z\_cam** - vektorer med de punkter kameran ska titta på filtrerade  
**x\_average, y\_average, z\_average** - tyngdpunkter

#### 2.2.5 *probability()*

Probability anropas av *parallell\_kalmanRDMK\_XX()* och tar in gimbalens position, den punkt kameran tittar på, fordonens predikterade positioner och kovarianser och beräknar sannolikheten att fordonen syns i kamerans bildplan.

En rotationsmatris **R** och en translationsmatris **T** beräknas för att överföra koordinater från ett fast koordinatsystem på marken till kamerans koordinatsystem. Fordonets skattade position transformeras till kamerans koordinatsystem enligt formeln  $P_{kam} = R \cdot P_{fast} - R \cdot T$ . Kovariansmatrisen transformeras till kamerans koordinatsystem med formeln  $COV_{kam} = R \cdot COV \cdot R^T$ .

För att göra om bildplanet till pixlar används formeln  $P_{pix} = -\frac{c}{Z} P_{kam}$  där  $c = \frac{n_y}{2 \tan \frac{a_y}{2}}$ . (Formel 3.1, [7])  $a_y$  är field of view och  $n_y$  är bildplanets storlek i pixlar i y-led.  $Z$  är avståndet från den punkten i det fasta koordinatsystemet som kameran tittar på till origo i kamerans koordinatsystem. Fordonets skattade position, **X\_mitt**, och kovariansmatrisen görs om till pixlar. För kovariansmatrisen gäller  $COV_{pix} = \frac{c^2}{Z^2} COV_{kam}$ . Standardavvikelseerna i x- och y-led,  $\sigma$ -värdena, tas fram ur kovariansmatrisens diagonalelement.

För att få fram en sannolikhet att fordonet syns anges bildplanets begränsningar i pixlar. Sannolikheten att fordonet syns då dess skattade position befinner sig utanför bildplanet approximeras till noll. Om den skattade positionen befinner sig innanför bildplanets begränsningar beräknas de kortaste avstånden i x- och y-led mellan fordonets skattade position och bildplanets begränsning. Faktorer beräknas i x- och y-led för hur många  $\sigma$  avstånden motsvarar. Ur den minsta av dessa faktorer tas sedan sannolikheten fram.

### Inparametrar

**jj** - aktuell iteration  
**xg, yg, zg** - gimbalens position  
**xtp, ytp, ztp** - punkt som kameran tittar på (som syns mitt i bildplanet)  
**Px\_out, Pz\_out** - kovariansmatriser  
**x\_i, y\_i, z\_i** - vektorer med positionsprediktioner för fordonen  
**N** - antalet fordon

### Utparametrar

**prob** - vektor med sannolikheten för varje fordon att de syns

#### 2.2.6 *total\_probability()*

*total\_probability()* anropas av *parallell\_kalman\_XX()* och beräknar den sammanvägda sannolikheten att alla fordon som angivits i **vehicle\_numbers** syns i kameran.

### Inparametrar

**prob** - vektor med sannolikheter för de olika fordonen  
**vehicle\_numbers** - vektor med nummer på de fordon som bevakas

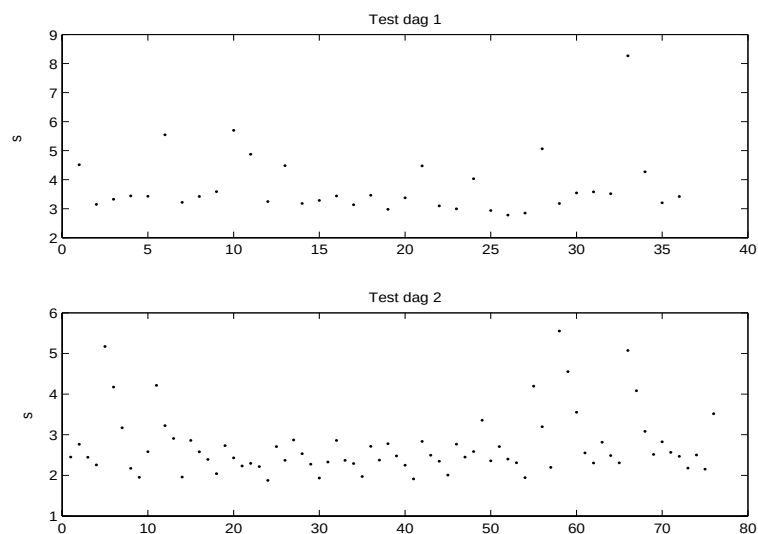
## Utparametrar

**totprob** - sammanvägd sannolikhet att de angivna fordonen i vehicle\_numbers syns i kameran

### 2.2.7 Resultat RDMK

Kalmanfiltret har testats på både simulerade och realtidsdistribuerade data. Vid tester med realtidsdistribuerade data upptäcktes att skattningarna kunde ligga ett antal meter bredvid mätningarna långa sträckor, speciellt efter kurvor. Detta verkade konstigt, eftersom inget sådant hade upptäckts vid körningar med simulerade data. Vid plottning av kovariansen för skattningarna i, x- och y-led, på kartan upptäcktes att de var otroligt stora i sidled, vinkelrät mot hastighet, för målen. Detta berodde på att hdop och vdop från GPS-mottagaren, som används vid beräkning av kovariansen i x- och y-led respektive z-led, varierade mellan 1 och 30. En så stor variation var konstig, speciellt eftersom värdena från GPS-mottagaren ändå verkade bra. hdop och vdop sattes istället till konstanter, ett medelvärde av uppmätta data. Kovariansellipserna blev då mycket mindre i sidled, och skattningarna följde mätningarna bättre. Eventuellt måste nya värden på hdop och vdop beräknas vid användning av filtret på ett annat område eller vid andra tidpunkter.

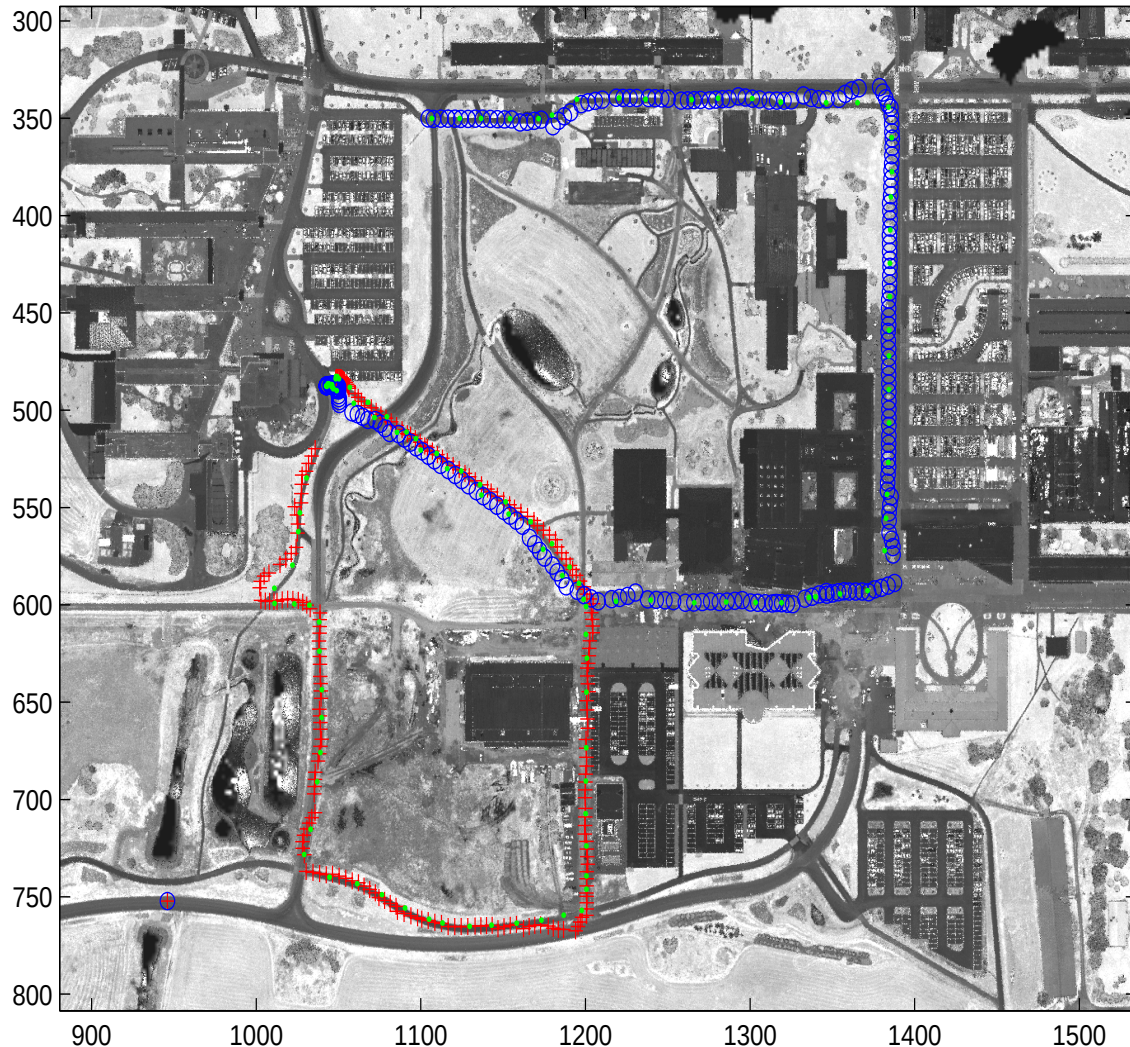
Ett antal tidsfördröjningstester har också gjorts. Efter att ha synkroniserat klockorna i de bärbara datorer som användes, via satellittiden från GPS-mottagarna, mättes tidsfördröjning från det att ett GPS-meddelande skickas via en server tills det att det mottas av en annan dator. Detta innebär alltså att tiden gäller för två gånger via GPRS-kommunikationen. Tidsfördröjningarna som uppmättes var relativt stora. Vid första testet, en måndag eftermiddag, var snittet ungefär 3.8 sekunder, och en onsdag förmiddag 2.7 sekunder. För dessa tidsfördröjningar måste det kompenseras vid skattningen av framtida positioner som ska skickas till kameran. Se plot 2.2 för tidsfördröjningar. Detta har lösts genom att tillstånden predikteras ytterligare ett antal sekunder in i framtiden. Det skapas en vektor med prediktioner för varje sekund fram till en given tid och ur denna vektor kan man senare, beroende på aktuell tidsfördröjning, välja ut vilken prediktion som ska användas i kameran.



**Figur 2.2.** Tidsfördröjningar i GPRS-kommunikationen.

Kalmanfiltret lyckas skatta positionen mycket bra, det blir endast fel på någon meter

och det är efter snäva svängar. Detta anses som rimligt eftersom sista mätdata kommer precis innan svängen och nästa ett par meter efter den. Även om det fungerar bra nu finns det förstås mer möjligheter för finjustering för att filtret ska bli ännu bättre. I figurerna har filtret fått in värden var fjärde sekund från två cyklister utrustade med GPS-mottagare. Se resultatet i figurerna 2.3 och 1.5. Eftersom systemet bara testats med



**Figur 2.3.** Två cyklister vid FOI-området, blå ringar och röda kryss är prediktioner av cyklisterens positioner och gröna punkter är GPS-data.

två fordon har eventuella problem med bandbredd inte kunnat undersökas. Kalmanfiltret kan dock hantera adaptiv sampling, så om bandbreddsproblem uppstår går det att lägga till en tröskel i *parallell\_KalmanRDMK\_XX()*. Vad som händer då är att det sänds ett meddelande till fordonen att de ska skicka sina GPS-data mer sällan.

För att kameran ska röra sig mjukare, utan att hoppa hit och dit, räknas en tyngdpunkt ut ur positionsprediktionerna för de fordon som bevakas. När tillräckligt många tyngdpunkter kommit in sker en lågpasfiltrering. Detta fungerar bra. Tester har gjorts med loggade data från ett fordon där data för ytterligare fordon skapats genom att förskjuta ursprungliga data i tiden. Kamerans bana blir skakig i början vilket beror på att de först inkomna tyngdpunkterna inte filtreras. Se figur 1.6.

När det gäller att beräkna sannolikheten att ett visst fordon syns i kameran har kod utvecklats men inte testats tillräckligt. Sannolikheten beräknas genom att skattnings kovariansmatris transformeras till bildplanet och att sigma-värdena jämförs med avstånden mellan fordonets skattade position och bildplanets begränsning. Koden tar 0,2-0,3 sekunder att köra så sannolikheten skulle kunna beräknas relativt ofta utan att störa insamlandet av GPS-data. Testning skulle behöva göras med hjälp av SceneServer<sup>2</sup> modifieringar kan behövas för att den ska anropas på det sätt man önskar, d.v.s. vilka tidpunkter och med vilka positionsdata man önskar.

## 2.3 Attitydvinkelestimering

AVE står för attitydvinkelestimering. Detta består av efterbearbetning av loggad navigationsdata för estimering av målens attitydvinklar.

### 2.3.1 *angle()*

Baslinjerna görs om till RT-90. Detta genom att **b12** och **b13** flyttas ut till jordytan (de ligger i jordens mittpunkt från början). Efter detta transformeras koordinaterna till RT-90 och därefter kan vinklar räknas fram. För att beräkna vinklarna används algoritmen beskriven i [3], se även 1.7.

#### Inparametrar

**b12**, **b13** - vektorer med de två baslinjerna för varje tidpunkt i ECEF

#### Utparametrar

**roll**, **pitch**, **yaw** - vektorer med de framräknade vinklarna

### 2.3.2 *attitude\_estimation()*

Till att börja med körs vid behov *convert()*, en konvertering av loggade data till passande matris-struktur. Därefter beräknas i *estimate\_n\_2()* ett estimat av ambiguityn för de båda baslinjerna. I *baseline\_2()* beräknas baslinjer för alla tidpunkter. Vid behov räknas ambiguityn om internt i *baseline\_2()* genom att *estimate\_n\_2()* körs igen. När baslinjer beräknats för alla tidpunkter räknas vinklar fram i *angle()* och slutligen plottas resultatet.

### 2.3.3 *baseline\_2()*

*baseline\_2()* försöker för varje tidpunkt räkna fram baslinjer ur GPS-data. Funktionen utför test vid varje tidpunkt och byter ambiguity om baslinjerna verkar orimliga. När funktionen är klar levererar den baslinjerna vid varje tidpunkt samt en vektor **ch\_amb** innehållandes information om när ny ambiguity räknats fram.

#### Inparametrar

**x\_gps**, **y\_gps**, **z\_gps** - vektorer med sensorpositionsdata i ECEF.

**phase\_vec** - vektor med integrated carrier phase till satelliterna i **sat\_id\_gps**

**s** - vektor med sensornummer

**N2**, **N3** - initialvärden på integer ambiguity

---

<sup>2</sup>Ett utvecklingsverktyg som medger enkel simulering av bildalstrande sensor.

**good\_sat\_id2, good\_sat\_id3** - satellit-id-nummer för de fem satelliterna med bäst elevation

**ref\_sat\_id2, ref\_sat\_id3** - satellit-id-nummer för satelliten med bäst elevation, används som referens

**sat\_id\_gps** - identifikationsnummer på satelliterna i `phase_vec`

### Utparametrar

**b2, b3** - de två framräknade baslinjerna för varje tidpunkt i ECEF

**ch\_amb** - lika lång vektor som `t_gps`. 1 då ny ambiguity räknats fram, -1 då ingen lösning finns och 0 annars.

### 2.3.4 *calc\_base()*

Räknar ut baslinjer med hjälp av ekvationen beskriven under 1.7.2

### Inparametrar

**ref\_phase** - integrated carrier phase i meter för satelliterna i `ref_sat_vec`

**sens\_phase** - integrated carrier phase i meter för satelliterna i `sens_sat_vec`

**time** - aktuell tidpunkt

**xecef, yecef, zecef** - sensorpositionsdata i ECEF

**ref\_sat\_id** - satellit-id-nummer för de fem satelliterna med bäst elevation

**good\_sat\_id** - satellit-id-nummer för de fem satelliterna med bäst elevation

**N\_guess** - matris bestående av de kandidater baslinjer ska beräknas för

**ref\_sat\_vec** - de för referensmottagaren synliga satelliternas id-nummer

**sens\_sat\_vec** - satellit-id-nummer för de som är synliga för andra mottagaren

### Utparametrar

**bx, by, bz** - den framräknade baslinjen, i samma ordning som `N_guess`

**double\_diff\_phase** - dubbeldifference.

**sat\_vec** - differensen mellan enhetsvektorer mellan satelliter i `dd_adr`

### 2.3.5 *calc\_N\_cand()*

Funktionen beräknar single och double difference samt räknar ut satellitvektorer. Därefter körs *reduce\_N()* och slutligen väljs enbart unika ambiguity-kandidater ut.

### Inparametrar

**xecef, yecef, zecef** - sensorpositionsdata i ECEF

**time** - aktuell tidpunkt

**ref\_sat\_id** - satellit-id-nummer för satelliten med bäst elevation

**ref\_sat\_vec** - de för referensmottagaren synliga satelliternas id-nummer

**sens\_sat\_vec** - satellit-id-nummer för de som är synliga för andra mottagaren

**good\_sat\_id** - satellit-id-nummer för de fem satelliterna med bäst elevation

**ref\_phase** - integrated carrier phase i meter för satelliterna i `ref_sat_vec`

**sens\_phase** - integrated carrier phase i meter för satelliterna i `sens_sat_vec`

**s** - sensornummer

### Utparametrar

**N\_cand** - möjliga ambiguity-kandidater



### 2.3.6 *convert()*

Först laddas data in från fil med hjälp av funktionen *loaddata2()*. Därefter struktureras data om för att kunna användas ihop med resterande funktioner i attitydestimeringen. Data från sensorerna sparas enbart då det finns data från alla tre sensorerna vid den aktuella tidpunkten. Data från sensorerna sparas enbart då dålig status inte har indikerats.

#### Inparametrar

**filename** - namn på datafilen

#### Utparametrar

**x\_gps, y\_gps, z\_gps** - vektorer med sensorpositionsdata i ECEF

**t\_gps** - vektor med sampeltidpunkter i sekunder

**s** - vektor med sensornummer

**sat\_id\_gps** - matris med synliga satelliters id-nummer

**ICP** - integrated carrier phase i meter för satelliterna i **sat\_id\_gps**

### 2.3.7 *error\_calc()*

Givet en gammal vinkel och ett intervall lika stort på båda sidor om den gamla vinkeln beräknar *error\_calc()* med hur stor vinkel den nya vinkeln befinner sig utanför toleransintervallet, **tol**.

#### Inparametrar

**angle** - vinkel i radianer

**angle\_old** - gammal vinkel i radianer

**tol** - intervall på båda sidor om **angle\_old**, i radianer

#### Utparametrar

**angle\_error** - vinkelfelet i radianer, 0 om vinkeln ligger i intervallet

### 2.3.8 *estimate\_N\_2()*

För att hitta lämpliga satelliter och räkna ut ambiguityn till dessa används denna funktion. Här går det att ställa in ett antal parametrar i filen:

- **runtime** - anger hur långt intervall, i sampel räknat, funktionen tar hänsyn till när ambiguityn räknas fram.
- **num\_cand** - antal av de bästa kandidaterna från varje baslinje som är med när ett kandidatpar till slut ska provas fram.
- **num\_top\_cand** - antal kandidatpar som ingår i **cand\_stat** och därigenom skickas ut ur funktionen.
- **angle\_tolerance** - om kandidaten ger ett vinkelfel som är inom detta intervall dubblat så kommer den att straffas med ökande värde ju större vinkelfelet är. Vinkelfelet räknas från **b12\_old** och **b13\_old**.

**Inparametrar**

**time** - vektor med sampeltidpunkter i sekunder  
**sat\_id\_gps** - matris med synliga satelliters id-nummer  
**phase\_vec** - integrated carrier phase för satelliterna i **sat\_id\_gps**  
**x\_ecef, y\_ecef, z\_ecef** - vektorer med sensorpositionsdata i ECEF  
**s** - vektor med sensornummer  
**bad\_sat\_id** - id-nummer på satellit som ej ska användas i beräkningen  
**b2\_old, b3\_old** - baslinjer i ECEF för föregående tidpunkt  
**old\_cands2, old\_cands3** - integer ambiguty för föregående tidpunkt

**Utparametrar**

**N2, N3** - ambiguity för de båda baselines  
**good\_sat\_id2, good\_sat\_id3** - satellit-id-nummer för de fem satelliterna med bäst elevation  
**ref\_sat\_id2, ref\_sat\_id3** - satellit-id-nummer för satelliten med bäst elevation  
**cand\_stat** - matris som innehåller N2- och N3-toppkandidaterna och deras skattade fel med mera. Se *extract\_cand\_stat()*.

**2.3.9 *extract\_cand\_stat()***

Funktionen delar upp matrisen **cand\_stat** från *estimate\_n\_2()* till vektorer. Vektorerna är i samma ordning så att varje rad i vinkel- och error-vektorerna hör samman med samma rad i **N2** och **N3**.

**Inparametrar**

**cand\_stat** - matris som *estimate\_n\_2()* genererar. Innehåller **N2**- och **N3**-toppkandidaterna och deras skattade fel med mera

**Utparametrar**

**N2, N3** - ambiguity för de båda baslinjerna  
**roll, pitch, yaw** -vinklar som kandidaterna medger  
**terre\_error** - mått på hur stor avvikelse mellan kända baslinjelängderna och den längden **N2** och **N3** ger  
**comb\_error** - mått på hur stort felet blir när man adderar de båda baslinjerna  
**comb\_error2** - mått på hur stort felet blir när man subtraherar de båda baslinjerna.

**2.3.10 *global\_constants***

Fil med definitioner av nödvändiga variabler till både simuleringsmiljön och för användning av data från simuleringsmiljö eller loggade data.

**2.3.11 *loaddata2()***

Laddar in loggad data från fil. Dessutom fixar den till ett fel i ICP som uppkommer på grund av begränsad ordlängd.

**Inparametrar**

**filename** - filnamn för loggningsdata

**Utparametrar**

**GPSTime** - tid i sekunder

**Sensor** - aktuell sensor

**X, Y, Z** - aktuell position

**SVID** - aktuell satellits id-nummer

**ICP** - integrated carrier phase

**Cycle\_slip** - 1 om cycle slip inträffat, 0 annars

**Status**  $\neq 0$  om fel inträffat, 1 - phase unlock, 2 - cycle slip, 3 - not ready

**2.3.12 *reduce\_N()***

Används i *calc\_N\_cand()* vid beräkningen av ambiguity för att minska sökområdet. Söker en lösning på en sfär med radie av baslinjens längd och minskar därmed antalet möjliga ambiguities. Funktionen använder sig av en algoritm beskriven i [3]. Se 1.7.1.

**Inparametrar**

**b\_norm** -baslinjens längd i meter

**sat\_vec** - differensen mellan enhetsvektorer mellan satelliter i dd\_adr

**dd\_adr** - dubbledifference

**Utparametrar**

**N\_cand2** - möjliga kandidater

**2.3.13 *remove\_bad\_sats()***

Funktionen används i *estimate\_n\_2()* för att ta bort icke önskvärda satelliter ur data.

**Inparametrar**

**svxyzmat** - positioner för satelliter

**SVID** - vektor med satellitidentifikationsnummer

**bad\_sat\_id** - id-nummer på satellit som ej ska användas i beräkningen

**Utparametrar**

**svxyzmat\_new** - positioner för satelliter, bortsett från de i bad\_sat\_id

**SVID\_new** - de satelliter som blir kvar efter borttagning av bad\_sat\_id

**2.3.14 *remove\_elements()***

*remove\_elements()* är bra då det på vissa platser i **phase\_vec** och **sat\_id\_gps** förekommer utfyllnadselement (-1). Dessa poster rensas med denna funktion.

**Inparametrar**

**raw** - vektor som ska sällas

**element** - vektor med element som ska bort från raw

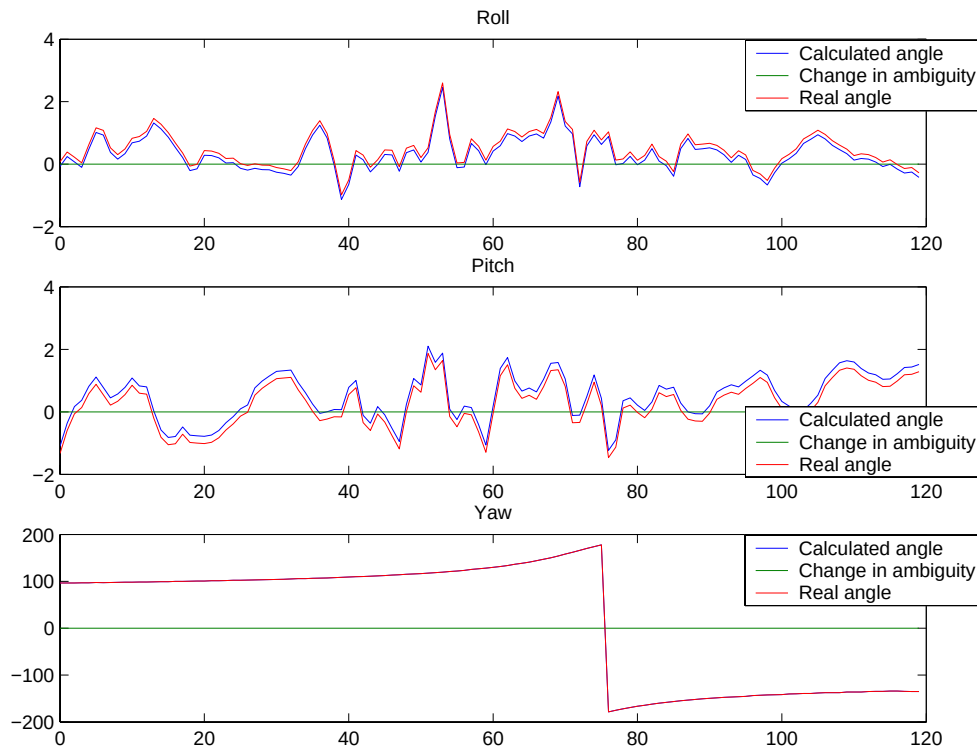
**Utparametrar**

**data** - den sällade vektorn

### 2.3.15 Resultat AVE

#### Simuleringar

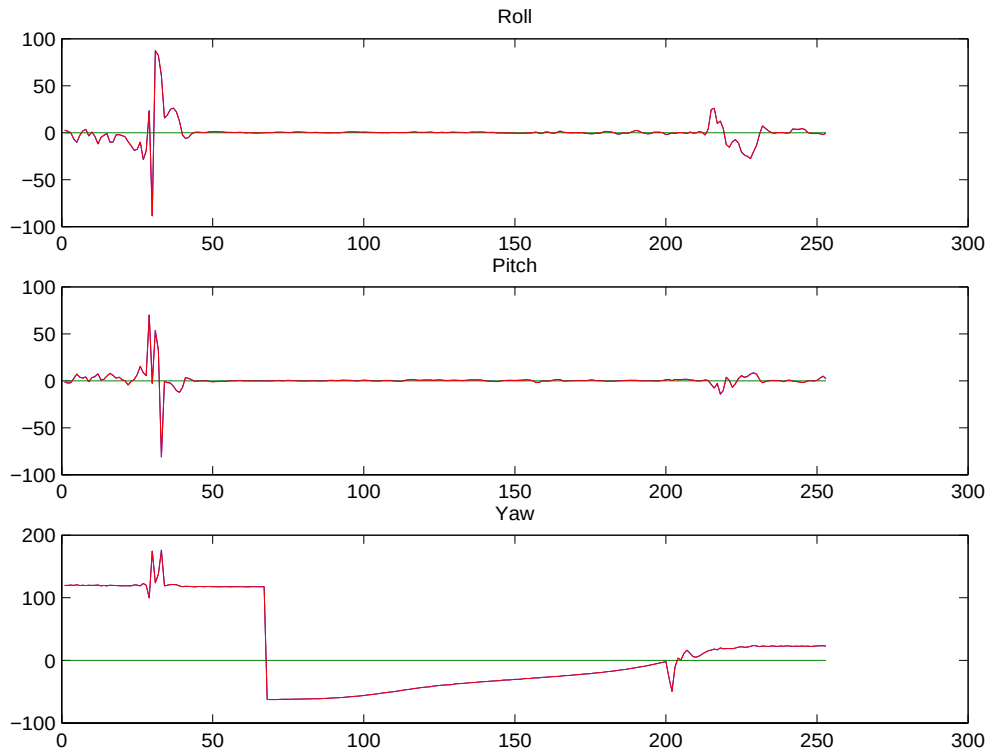
Attitydvinklestimeringen fungerar bra för simulerade data. En viss bias finns dock på de beräknade vinklarna, något större i roll och pitch än i yaw, (se figur 2.4), jämfört med de vinklar som genererats i simuleringsmiljön. Biasen ser ut att vara beroende av längden på baslinjerna.



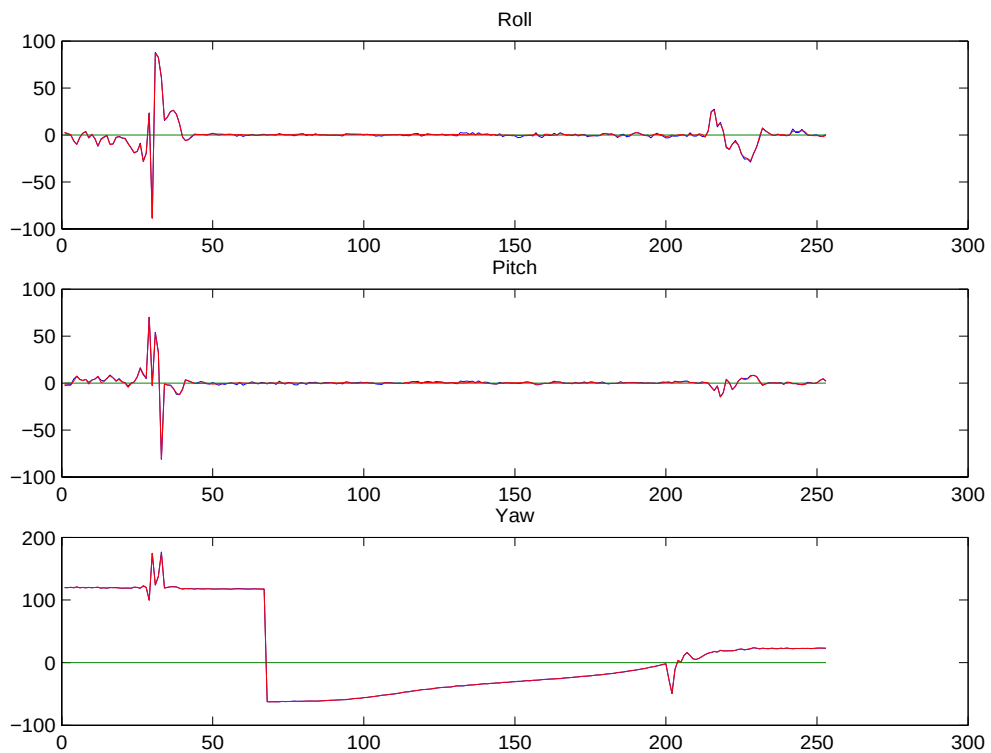
**Figur 2.4.** Simulerade data, här syns biasen i roll- och pitchvinklen.

De brusparametrar som kan specificeras vid genereringen av simulerade GPS-data är THERMAL\_NOISE, TROP\_NOISE, SA\_SCALING, MULTIPATH\_SCALING och ION\_NOISE. Dessa kan sättas till ett värde mellan 0 och 1 där 0 betyder att inget brus förekommer. Algoritmen kan hantera att alla parametrar utom THERMAL\_NOISE är satta till 1. Redan vid THERMAL\_NOISE större än 0.2 fås större brus i de framräknade vinklarna. Figur 2.5 visar en simulering där inget brus förekommer. Kompensering har gjorts så att ingen bias syns.

I figur 2.6 och figur 2.7 är alla brusparametrarna utom THERMAL\_NOISE satta till 1. Figur 2.6 visar en simulering där THERMAL\_NOISE = 0.1, medan figur 2.7 visar vinklarna då THERMAL\_NOISE = 0.2.



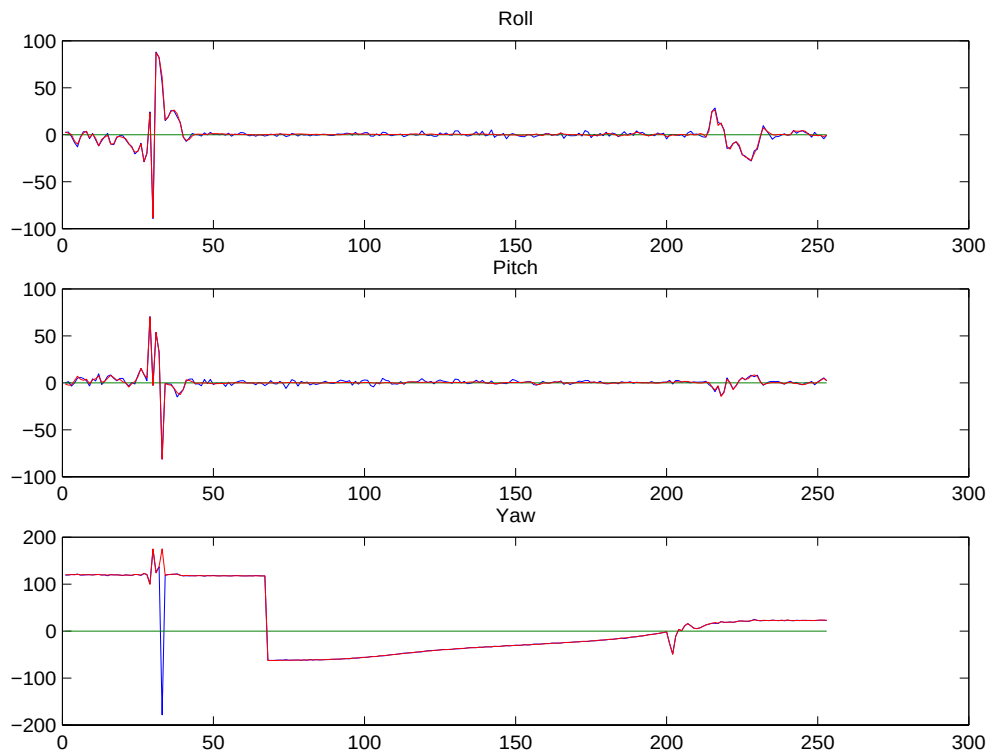
**Figur 2.5.** Simulerade data, kompenserar för bias, utan brus.



**Figur 2.6.** Simulerade data, alla brusparametrar = 1 utom THERMAL\_NOISE som är 0.1.

### Loggade data

Beräkningen av vinklar fungerar inte lika bra för loggade data som för de simulerade. Ambiguity-kandidaten väljs genom att söka bland de kandidater som ger så bra baslinjer

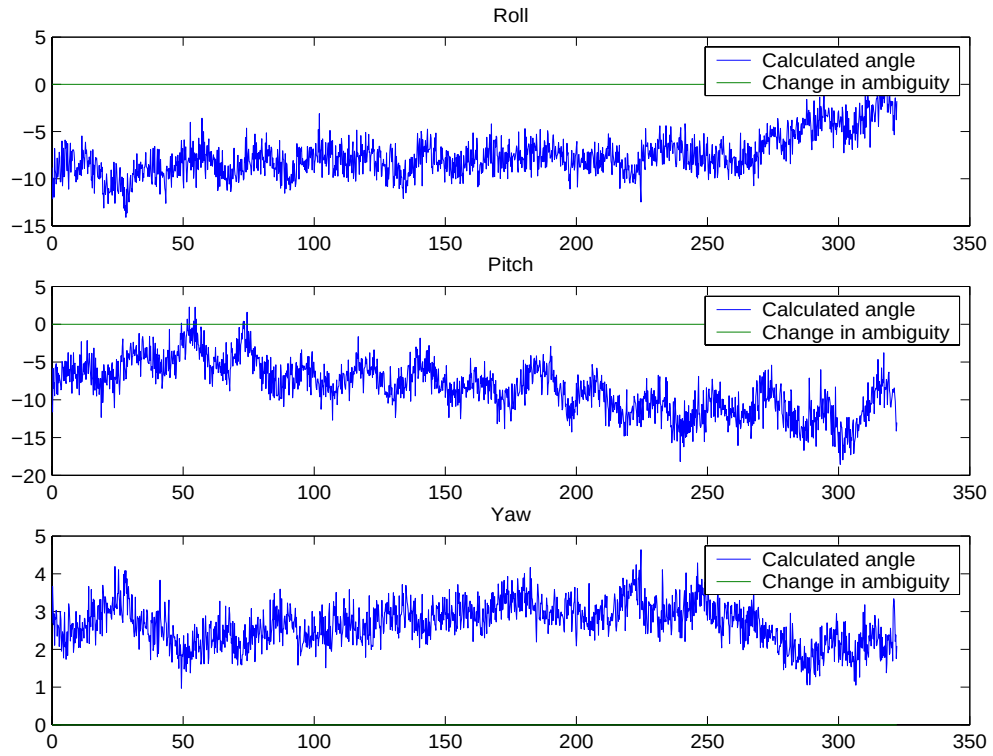


**Figur 2.7.** Simulerade data, alla brusparametrar = 1 utom THERMAL\_NOISE som är 0.2.

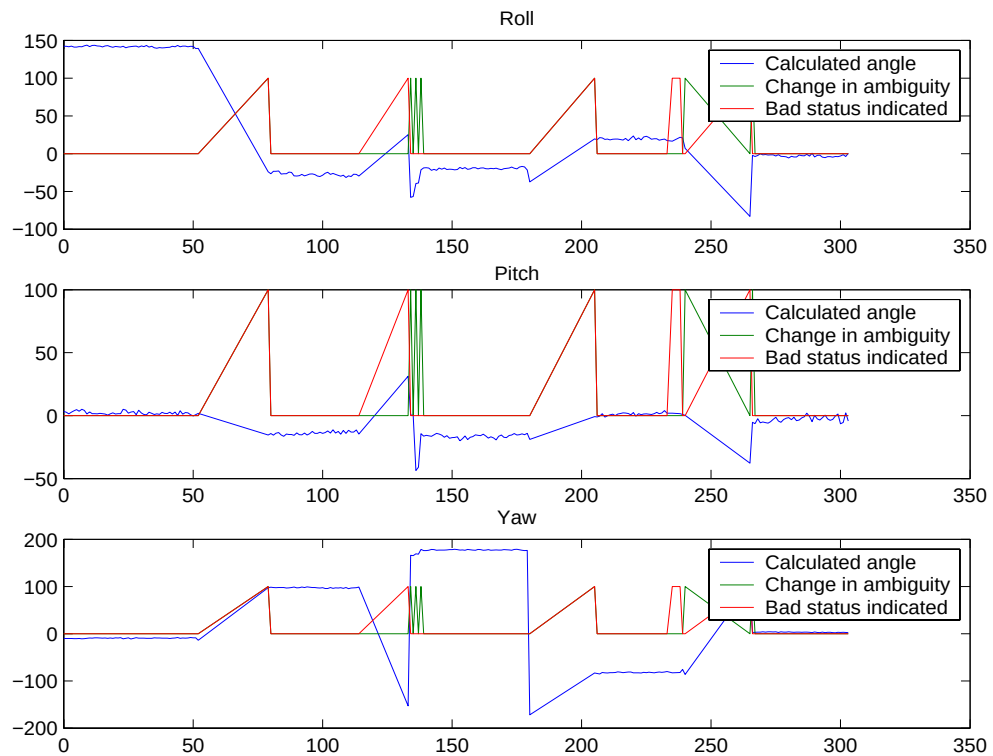
och bra längd på en av kombinationerna av basvektorerna som möjligt under ett tidsintervall som beror på hur länge kandidaterna kan ge rimliga värden på basvektorerna. Därefter summeras medelfelet av de båda baserna var för sig, en tiondel av medelfelet av längden av två kombinationer av basvektorerna samt en tiondel av medelfelet i roll och pitch. Den kandidat som ger minst värde väljs. Det kan diskuteras huruvida dessa urvalskriterier är de bästa. Viktningen av basfel, kombinationsfel och vinkelfel skulle kunna göras annorlunda. Kanske borde även medelfelet i yaw tas med i beräkningen. Tidigare beräknades urvalskriteriet med hjälp av summan av kvadratfelet av basfelen samt summan av kvadratfelen av felen på två kombinationer av basvektorerna. Denna urvalsgrund har förkastats då den inte klarade av att välja rätt kandidat.

En lyckad körning som har gjorts är på data 140-5. Plattformen låg still på en plan yta, pekandes mot norr. Alltså borde alla vinklar vara 0. Nu är det som synes i figur 2.8 en liten avvikelse. Denna tros bland annat bero på att plattformen inte låg riktigt rätt samt mätbrus.

Systemet har i figur 2.9 körts på dataset test141-1.log där roll och pitch borde vara noll medan yaw rör sig från 0 till 90 till 180 till 270 och sedan tillbaka till 0 igen med ca 45 sekunders intervall. Problem som uppstått är dock att det inte verkar finnas en möjlig ambiguity-kandidat i början av datasekvensen som ger roll och yaw lika med noll, kanske beror detta på att ena baslinjen är felaktig då fel kandidater erhöles från *reduce\_N()*. De kandidater som använts här har manuellt plockats fram, dels beroende på vilka fel de gett, men också med tanke på vad som känts rimligt med tanke på vinklarna och de har helt klart varit bland de fem bästa kandidaterna. Notera att då den röda linjen är skild från nollnivån har systemet för lite information från sensorerna, för få satelliter, korrupta data med mera.



**Figur 2.8.** Loggade data, stillastående plattform.



**Figur 2.9.** Loggade data med sporadiskt rörande plattform.

Resultaten har alltså varit blandade. Med tanke på att det ibland har fattats kandidater som ger tillräckligt bra resultat så kan det vara en idé att se över  $reduce\_N()$ , men när

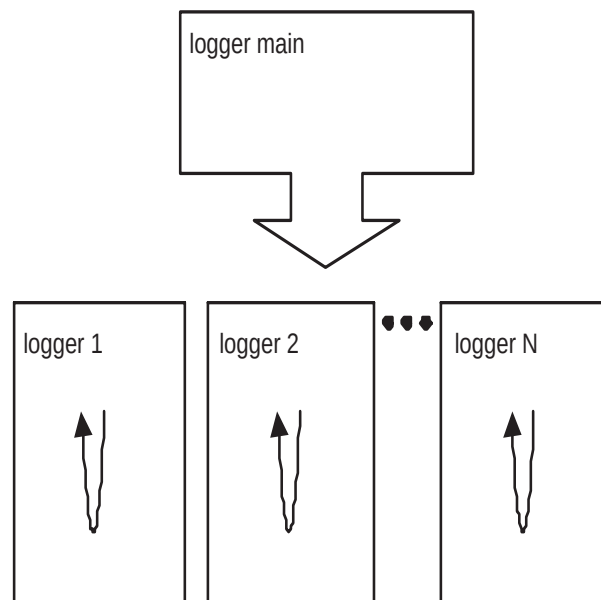
en bra kandidat väl har hittats så ger systemet bra resultat.

### 2.3.16 Förslag till förbättring AVE

- Välj ut satelliter baserat på mer geometri än enbart elevationen. Detta borde kunna leda till bättre estimeringar. Det är endast ett avsnitt i *estimate\_n\_2()* som behöver ändras för detta.
- Möjlighet att lägga till fler satelliter. Detta är en ändring som skulle ge bättre skattningar. Problemet är att många funktioner skulle behöva modifieras framför allt *calc\_N\_cand()*, *estimate\_n\_2()*, *baseline\_2()* och *calc\_base()*. Man skulle kunna, som i demo-filen *sndemo27* i *satnav-toolboxen*, lägga in ytterligare en satellit i *estimat\_n\_2()* när några bra kandidater på aktuella satelliter tagits fram.
- Andra urvalskriterier i *estimate\_n\_2()*. Här finns utrymme för att experimentera med parametrarna. Bland annat med **angle\_tolerance**, **runtime**, **num\_cand** men man kan med fördel även testa att ändra på nämnarna när variabeln **temp** räknas ut.
- Ny *reduce\_N()* som räknar ut bättre kandidater.

## 2.4 Dataloggning

Dataloggningsprogrammet har skrivits på enklast möjligast vis, med tanken att det skall vara enkelt att förstå och uppdatera. Programmet börjar med att skapa en ny process för varje mottagare som skall loggas (se figur 2.10). Multi-process designen valdes eftersom olika mängder data skickas från SuperStar- och Allstarmottagarna. Detta kan leda till att man förlorar data eftersom en mottagare betjänas snabbare, samtidigt som de andras buffrar blir fulla och skrivs över.



**Figur 2.10.** Översikt över dataloggning.

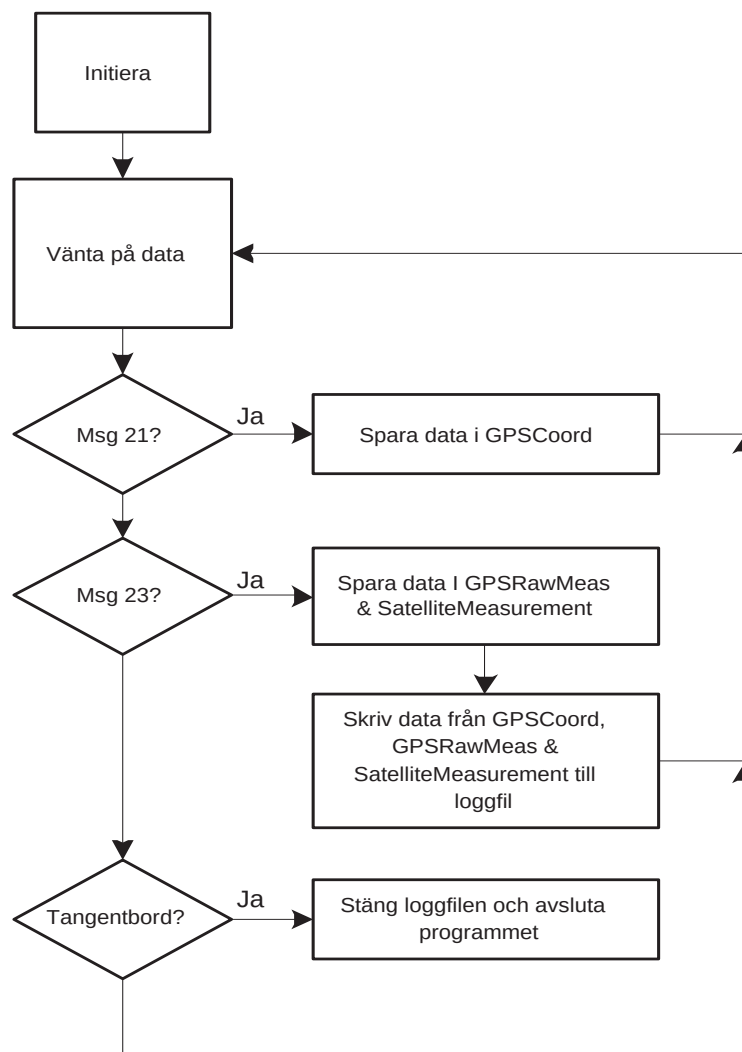
Varje process initieras genom att skapa objektet *GPSSensor* av klassen *Cgpsrec*. *GPSSensor* kopplar ett kommunikationsobjekt (av klassen *Csercom*) till en serieport samt hämtar data och avkodar denna. Ett antal structer skapas för att temporärt spara data:



|                      |                                                                                          |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| GPSCoord             | Navigationslösningen (msg 21)                                                            |
| GPSRawMeas           | Gemensam information om mätningar till satelliterna (antal satelliter, GPS-tid i msg 23) |
| SatelliteMeasurement | Rådata från mätning till en satellit                                                     |

Initieringen avslutas med att de meddelanden man är intresserad av efterfrågas.

Loggningen börjar med att vänta på data från serieporten eller tangentbordet (se figur 2.11). Då data kommer avkodas den av GPSSensor. Om meddelande om navigationslösning kommer sparas det endast i GPSCoord, men om meddelande om rådatamätning kommer skrivs detta till fil tillsammans med den senaste navigationslösningen. Filformatet är en kommaseparerad lista där varje rad är en mätpunkt. Om någon tangent trycks avslutas loggningsprocessen samt huvudprogrammet.



**Figur 2.11.** Översikt över loggningsprocess.

#### 2.4.1 Filer för dataloggning

**logger.cpp** - Innehåller loggningsprogrammet. Skapar objekt och strukter för att sprara loggade data, för att senare skriva dessa till fil.

**gpsrec.cpp & gpsrec.h** - Innehåller Cgpsrec-klassen (skriven av Sven Rönnbäck vid LTU, med tillägg av Marcus Almqvist). Cgpsrec tar hand om att inkapsla data.

**com.cpp & com.h** - Innehåller Csercom-klassen (skriven av Sven Rönnbäck vid LTU, med tillägg av Marcus Almqvist). Csercom sköter kommunikationen med mottagaren över en serieport.

#### 2.4.2 Anpassning och kompilering

Om koden flyttas till annan plattform än Cygwin kan det eventuellt uppstå problem som man får kompensera för. I **gpsrec.pp** och **com.cpp** används datatypen "unsigned int". Denna datatyp kan vara allt från en unsigned short (2 bytes) till en unsigned long (4 bytes). Flyttas koden till ny plattform bör detta undersökas.

Dessutom använder funktionen *Csercom::nGetNbrAvailBytes()* ett anrop till funktionen ioctl med en konstant (TIOCINQ) som är definierad annorlunda på olika plattformar. Om koden portas, kan denna konstant eventuellt behöva ändras till FIONREAD.

För att förenkla kompilering har en Makefile skrivits. Kompilera genom att skriva make i katalogen dataloggning/.

#### 2.4.3 Cgpsrec::InitGPS

Anropas från konstruktorn för att starta kommunikationen med mottagaren.

#### 2.4.4 Cgpsrec::nWriteMsgDr

Skicka ett godtyckligt meddelande till mottagaren. Kontinuerliga meddelanden kan fås.

#### 2.4.5 Cgpsrec::Update

Uppdaterar objektet med tillgängliga data.

#### 2.4.6 Cgpsrec::pGetGpsCoordPtr

Returnerar pekare till navigationslösningsdata.

#### 2.4.7 Cgpsrec::pGetGpsRawPtr

Returnerar pekare till rådatamätning.

#### 2.4.8 Resultat Dataloggning

Tester har visat att programmet klarar att logga data från 3 mottagare med meddelande 21 och meddelande 23 upp till 10 Hz. Under dessa test var rådata tillgängliga från upp till 9 satelliter. Processorn på loggningsdatorn (Geronimo, Intel Celeron 400 MHz 192 Mb RAM, Windows XP) belastades till ca 10%. Programmet är plattformsoberoende och kan lätt flyttas till ny loggningsdator.



# Kapitel 3

## Användarhandledning

### 3.1 Simuleringsmiljö

Nedanstående filer finns i mappen **T:\Aktiviteter\Målspejsprojekt\Kod\Sim\_functions**. Simuleringsmiljön anropas genom kommandot *sim\_environment*. Användaren markerar punkter i kartan över FOI-området som laddas in och därigenom genereras en bana.

#### 3.1.1 Bestämning av inparametrar

De parametrar som ska bestämmas innan körning finns i filen *global\_constants*:

*SENSOR\_POS* - de olika GPS-sensorernas koordinater, upp till fyra GPS-sensorers position kan bestämmas. Position anges i ENU-koordinater, där fordonets framriktning är i east-riktning (Det finns även förberett för att kunna generera gyrodata genom att *SENSOR\_POS\_GYRO* kan specificeras.)

*T\_S\_START* - starttid i sekunder

*DELTA\_T\_S* - tidsintervall med vilket de olika GPS-sensorerna ska ta emot mätdata. För realtidsdistributionen av målkoordinater ska endast en sensors tidsintervall anges, medan det för attitydvinkelestimeringen behövs tre sensorer för att beräkna attityden.

*T\_TOT* - totala längden på simuleringsdata

*THERMAL\_NOISE* - termiska bruset

*TROP\_NOISE* - troposfärsbruset

*ION\_NOISE* - bruset på grund av jonosfären

Om alla brusparametrar är valda till noll genereras data utan brus.

*SA\_SCALING* - en skalfaktor

*MULTIPATH\_SCALING* - brus på grund av multipla vägar.

*VELOCITY\_NOISE* - brus i hastigheten, RDMK

*YAW\_NOISE* - vinkelbrus, RDMK

### 3.2 RDMK - Kalmanfilter

Nedanstående filer finns i mappen **T:\Aktiviteter\Målspejsprojekt\Kod\RDMK\Kalman RDMK**.

#### 3.2.1 Parametrar

Parametrar som används i *parallell\_kalmanRDMK\_XX* och *Kalman1\_RDMK\_RealTime* finns i *Kalmanfilter\_parameters*, de som används vid simulerade data finns i *Kalmanfilter\_parameters\_sim*. Här specificeras:

**rate** - hastighet med vilken fordon skickar sina positionsdata

**sigmarho** - standardavvikelse som hänger ihop med vdop och hdop

**sigmav** - brus på hastighetsmätning

**sigma\_zdot** - standardavvikelse  $\dot{z}$

**sigmacourse** - brus på kursvinkelmätning

**sigmacourse\_c** - parameter som påverkar kursvinkelns standardavvikelse

**T** - prediktionsuppdateringshastighet i prediktioner per sekund

**T\_c** - maximalfördröjning till kamera

**sigmava** - standardavvikelse för hastighet

**sigmawa** - standardavvikelse för vinkelhastighet

**sigmav** - brus på hastighetsmätning

**Vv** - parameter som förhindrar att hastigheten driver iväg och blir för stor

**Ww** - parameter som förhindrar att vinkelhastigheten driver iväg och blir för stor

**vehicle\_number** - vektor med de fordon som man vill följa

För initieringar som behövs körs *Kalman\_init* i *parallell\_kalmanRDMK\_XX()*. Här kan man om fordonens startpositioner är kända fylla i dessa, nu är de satta till en punkt mitt på KVARN-kartan.

För att ytterligare förbättra filtrets prestanda kan parametrarna ändras.

Värdena från GPS mottagarna på hdop och vdop har varierat väldigt. Det är inte rimligt att ha så stora variationer eftersom GPS-data har varit bra med ungefär samma fel hela tiden, därför sattes dessa till ett konstant värde. Ett medelvärde användes som beräknats fram från GPS-data. Det bör undersökas vid körning på annat område om det fortfarande är lika stora variationer och vilket värde som det i så fall är rimligt att sätta hdop och vdop till. Dessa parametrar sätts i *Kalman1-RDMK-RealTime*.

### 3.2.2 Prediktion av tillstånd för flera fordon samtidigt i realtid

Programmet som används är *parallell\_kalmanRDMK\_XX*

- **anropas** med hur många fordon, *N*, som ska följas och alt väljs till 'smooth' om man vill köra *camera\_smooth()*, 'prob' om man vill köra *probability()* och 'camo-prob' för att köra båda dessa.
- Innan datainsamlingen börjar bestäms hur många sekunder man väljer att samla in data genom att bestämma hur många **iterationer som görs i åhile-satsen**". (Det finns inget sätt att avsluta datainsamlingen innan loopen är klar och samtidigt kunna spara undan datat.)
- Det finns just nu **implementerat för tre fordon**, men det är enkelt att lägga till fler vid kodavsnittet där identifiering av vilket fordon som sänder ett meddelande utförs.
- Om det blir problem med **bandbredd** kan hastigheten som fordonen skickar sin positionsdata med ändras genom att, precis där den stora **åhile-satsen** börjar, lägga något test för koll av bandbreddsproblem. Om det testet är uppfyllt sänds då meddelande till fordonen att skicka med en ny långsammare hastighet.
- beroende på i vilken form **data** kommer in till meddelandeservern får man anpassa delen där inkommande meddelanden behandlas, den finns under fordonsidentifieringsdelen.
- I slutet av funktionen måste man fylla i i vilken fil det loggade **data ska sparas**.
- Just nu anges **kamerans position** i *parallell\_kalmanRDMK\_XX()* men det måste ändras till någon annan metod när det är klart hur kameran fungerar. Den position

kameran tittar på tas från *camera\_smooth()* så vill man bara köra probabilitet måste man just nu ange tyngdpunkten i *parallell\_kalmanRDMK\_XX()*.

- Det finns färdiga plotkommando för att se **felet plottat** tillsammans med innovationen i filen *ad\_samp\_tuning\_plot()*.

### 3.2.3 Köra med loggade data

Programmet som används är *parallell\_kalmanRDMK\_sim\_XX* och anropas med hur många fordon, N, som ska följas och alt väljs till 'smooth' om man vill köra *camera\_smooth()*, 'prob' om man vill köra *probability()* och 'camoprob' för att köra båda dessa. Man måste även ange vilken loggfil som ska användas.

## 3.3 Att koppla upp sig som fordon mot servern

För att koppla upp en laptop som fordon mot servern och skicka fordonets position behövs laptop, GPRS-kort och GPS. På bärbara datorn ska en brandvägg vara installerad för att minimera onödig trafik. Brandväggen kan laddas ner på:

\\lindorm\Common\ Program\Originalapplikationer\Symantec.

På bärbara datorn ska Java vara installerat. Mappen gsm ska också finnas på datorn. Den kan kopieras från:

**T:\Aktiviteter\Målspelsprojekt\gsm.**

För att koppla upp sig som fordon och skicka sin position skriver man detta i kommandofönstret:

```
java -jar vehicle4.0.jar id ip port passwd
```

Där id är fordonets id, t.ex. A, B,... För id = A blir det:

```
java -jar vehicle4.0.jar A 150.227.4.51 5712 uavgps. Observera att man måste stå i katalogen \gsm\soft.
```

Första gången detta görs på en dator måste installationer göras genom att skriva:

```
java -jar vehicle4.0.jar install
```

Om man gör ändringar i vehicle.java så kompilerar man så här: `javac foi\*.java java makevehicle vehicle4.1.jar`

där 4.1 ska vara en version som inte redan finns.

### Inställning av GPS

GPS:en ställs in på följande sätt: Tryck på meny, gå in på Koordsyst, Första och välj Lat/Long och GR.DDDD. Tryck på meny, gå in på Kartdatum, Första och välj WGS84. Tryck på meny, gå in på Koordsyst, Andra och välj Svensk och en meter.

Tryck på meny, gå in på Inställning, NMEA och välj V2.1 GSA. Tryck på meny, gå in på Inställning, Baud Rate och välj 115200 Baud.

### GPRS-kort

Användarnamn och lösenord finns på:

T:\Aktiviteter\Målspelsprojekt\gsm\gsm.html

### Att koppla upp sig mot meddelandeserver

För att plotta ett fordon's position behövs en dator med MATLAB 6.5 och Java. Om datorn befinner sig innanför FOI:s brandvägg måste följande göras för att komma åt servern utanför FOI: Skriv edit classpath.txt i MATLAB och lägg till:

\\filer-lin\Sireos\_3\Aktiviteter\Målspejsprojekt \gsm\soft\jforward\\_ foi.jar Gå in på:  
T:\QWIP-gimbal\tools\putty

Fyll i:

Hostname: 150.227.4.51 SSH

Gå in på Tunnels och fyll i:

Source port: 5712 Destination: localhost:5712

Klicka add och open. (Inställningarna kan sparas om man går tillbaka till session och klickar save.) Logga in som root med lösenordet P1.

När en dator innanför FOI:s brandvägg används ska ip sättas till localhost och pass till uavgps. Om datorn är utanför FOI:s brandvägg ska ip vara 150.227.4.51 och pass uavgps.

## 3.4 Attitydvinkelestimering

Kataloger för attitydestimering:

1. \\filer-lin\Sireos\_3\Aktiviteter\Målspejsprojekt\satnav3p0
2. \\filer-lin\Sireos\_3\Aktiviteter\Målspejsprojekt\Kod\AVE
3. \\filer-lin\Sireos\_3\Aktiviteter\Målspejsprojekt\Kod\Sim-functions
4. \\filer-lin\Sireos\_3\Aktiviteter\Målspejsprojekt\Loggade data

### 3.4.1 Användning med simulerade data

Nödvändiga filer för attitydestimering av simulerade data finns i katalogerna i 1, 2 och 3 ovan. Sätt först variabler i *global\_constants* och kör simuleringsmiljön med hjälp av skriptet *sim\_environment()*. Därefter kan attitydestimeringen göras genom *attitude\_estimation()*.

### 3.4.2 Användning med loggade data

Vid attitydestimering av loggade data behövs alla nämnda kataloger ovan. Sätt variabler i *global\_constants* så att data från rätt logg-fil läses in. Därefter kan *attitude\_estimation()* köras.

Beroende på vilket datum data har loggats krävs att en fil över satelliternas tillstånd finns tillgänglig. En yuma-almanacka finns tillgänglig att ladda ner från

<http://www.navcen.uscg.gov/gps/almanacs.htm>.

Valken yuma-fil som används för respektive dataset specificeras i filen *global\_constants*.

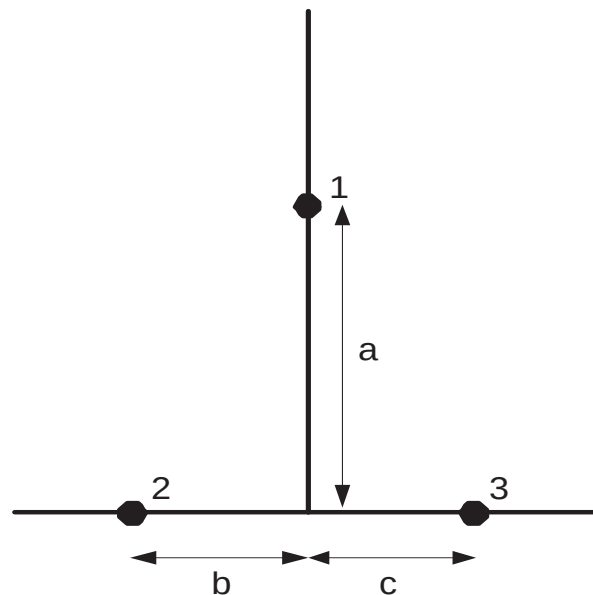
## 3.5 Dataloggning

### 3.5.1 Hårdvara

1. Anslut kommunikationsportarna till datorn. Två extra kommunikationsportar görs tillgängliga genom USB-porten med den externa enheten USB-COM2. Installationen av nödvändiga drivrutiner startas automatiskt (installations-CD krävs) när

enheten ansluts, och kommunikationsportarna ges första tillgängliga namn (t.ex. COM5 & COM6). Portarna numreras så att den översta porten på USB-COM2 alltid får det första tillgängliga namnet. Om möjligt är det bra om portarnas namn hamnar i följd (t.ex. COM1, COM2 och COM3). I annat fall behöver loggningsprogrammet modifieras, och kompileras om <sup>1</sup>. Se till så att SuperStarmottagaren märkt 1 hamnar på den första porten.

2. Placera ut antennerna enligt figur 3.1. Mät och notera baslinjerna (a, b, c). Baslinjen mäts från mitten av antennen.
3. Anslut strömförsörjningen till mottagarna. Enheterna kopplas till ett 12V batteri via en röd/svart strömförsörjningskabel. Den svart/röda sladden kopplas till minus (-), och den helröda sladden kopplas till plus (+). Kontrollera att mottagarna får ström. Allstarmottagarna skall lysa konstant grönt, medan SuperStarmottagaren skall lysa konstant rött.



**Figur 3.1.** Placering av GPS-antennerna vid mätning.

4. Starta Cygwin och sedan loggningen med programmet logger.exe.

### 3.5.2 Mjukvara

1. Loggningen utförs av programmet logger.exe i katalogen dataloggning <sup>2</sup>. Programmet förutsätter att kommunikationsportarna som används är numrerade COM1, COM2 etc. Om så inte är fallet måste programmet anpassas och kompileras om.

<sup>1</sup>Man kan normalt flytta kommunikationsportarna under genom att gå in under inställningarna för porten. (Start->Control Panel->System. Välj 'Hardware', sedan 'Device Manager'. Under 'Ports', välj 'Port settings' för aktuell port och sedan 'Advanced...'. I nedre delen av fönstret kan man nu välja vilket nummer porten nu skall ha.

<sup>2</sup>Den senaste versionen av dataloggningsprogrammet finns under  
 \\filer-lin\Sireos\_3\Aktiviteter\Målsprojekt\Dataloggning  
 Loggade data finns under ..\Dataloggning\trial



En loggfil per mottagare skapas, numrerade efter mottagarnumret. Dessa filer slås enkelt ihop med kommandot 'cat' under Cygwin.

Ex:

Programmet har skapat filerna test1, test2 och test3. Dessa slås ihop till filen test.

```
cat test1 test2 test3 > test
```

2. Programmet loggar navigationslösningen i ECEF (XYZ) koordinater (meddelande 21) samt rådatamätningar till de synliga satelliterna (meddelande 23). Inargument till programmet skall vara antalet mottagare, hastigheten för rådatamätningar (1,2,5,10 Hz) samt fil dit data skall loggas.

Ex:

Loggning från mottagare på COM1, COM2 och COM3 i 5Hz till filerna test1, test2 och test3.

```
./logger 3 5 test
```

3. När programmet startas visas först debuginformation om hur programmet startas. Under Windows/Cygwin kan det ibland vara problem med att öppna kommunikationsportar. Tre försök görs för varje port innan programmet ger upp. Observera att en kommunikationsport som heter COM1 under Windows, heter /dev/ttyS0 under Cygwin. COM2 heter /dev/ttyS1 osv.

När loggningen startat visas statusinformation om varje mottagare var 20: e sampel.

Ex:

Under följande loggning har 50 meddelanden mottagits med navigationslösning, samt 50 meddelanden med rådata. Bufferten innehåller 250 bytes som ännu inte har lästs.

```
Sensor: 1 20:0 21:50 22:0 23:50 33:0 Buffer: 250
```

Varje port har en egen buffert om normalt 4096 bytes. Om en buffert fylls riskeras att data förloras.

Kontrollera att data kommer till alla mottagarna. Observera att SuperStarmottagaren skickar meddelande 21 med 1Hz, medan Allstarmottagarna skickar samma meddelande med 5Hz.

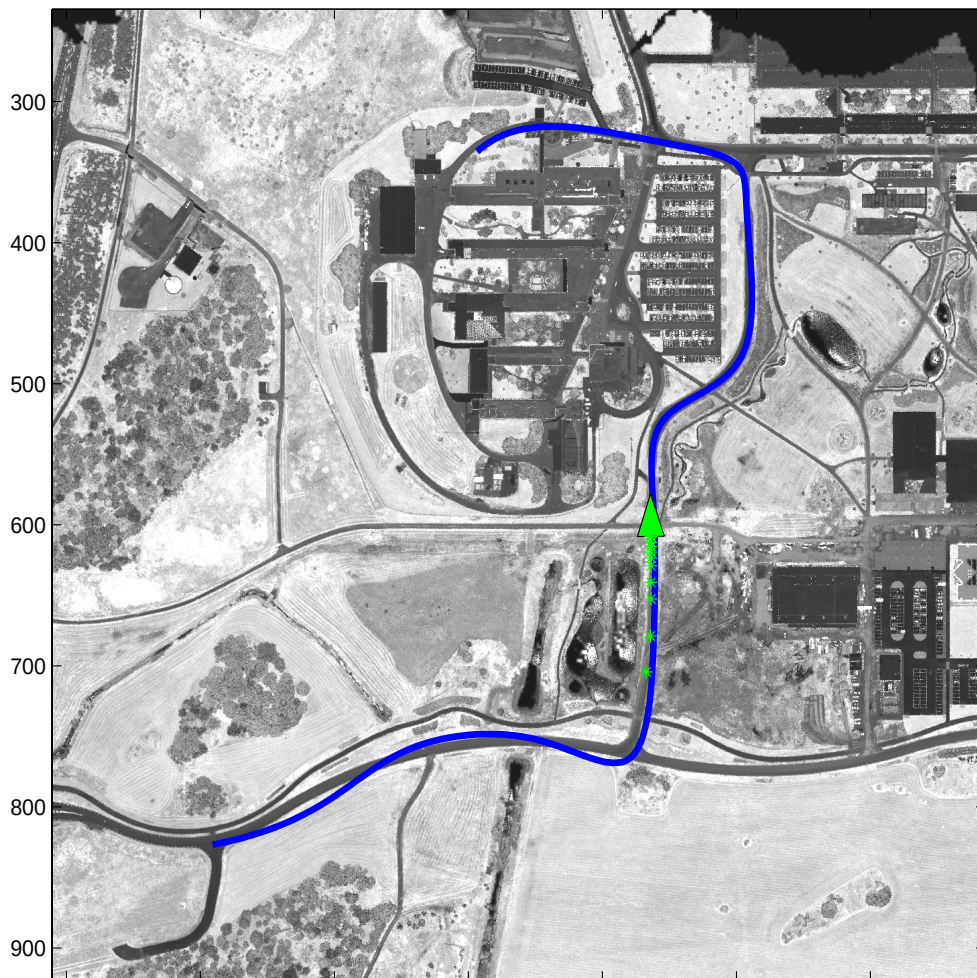
4. Loggningen avslutas genom att trycka någon tangent på tangentbordet. Glöm inte att slå ihop loggningsfilerna och koppla bort strömförsörjningen till mottagarna.

## 3.6 Pilotkarta

Programmet Pilotkarta är tänkt att användas av piloten i cockpit under fältförsök. Programmet visar i realtid information om vart gimbalen befinner sig samt utefter vilken bana den skall förflyttas, se figur 3.2.

En demonstration av funktionaliteten på en karta över FOI-området finns i programmet pilotkarta\_demo.

Programmet pilotkarta finns i  
 \\filer-lin\Sireos\_3\Aktiviteter\Pilotkarta



**Figur 3.2.** Pilotkarta.

### 3.6.1 Funktion

Programmet visar i realtid gimbalens nuvarande position samt historik om dess 10 senaste positioner i grönt. Tänkt flygrutt visas i blått. I kontrollpanelen ('Control Panel') till höger visas i realtid information om var gimbalen befinner sig. Högst upp visas det fel i höjd som gimbalen har jämfört med tänkt höjd. I rutan under visas nuvarande flygriktning i grader räknat från norr (höger på kartan). Vidare visas information om vart gimbalen befinner sig, både i RT90- och ECEF-koordinater. Under positionsrutan finns inställningar för flyghöjd (m) och flyghastighet (m/s).

Tanken bakom applikationen är att piloten navigerar med hjälp av kartan i början av flygrutten, matar in vilken hastighet han skall flyga och trycker på 'Start'. Därmed kommer en blå cirkel röra sig med konstant hastighet längs rutten. Pilotens mål blir att följa cirkeln.

### 3.6.2 Inställningar

Flygrutten lagras som koordinater i det lokala koordinatsystemet (figurens) i variablerna **xi** och **yi**. I demonstrationsprogrammet är GPS-data sparad i variabeln **GPSDataFOI**.

I kontrollpanelen ställer piloten (eller dess medhjälpare) in börvärde på flyghöjden i meter och hastigheten i meter / sekund. Flyghöjdens börvärde dras sedan från den höjd som fås från gimbalens GPS-mottagare och presenteras högst uppe i kontrollpanelen. Börvärdet på flyghastigheten används efter att man tryckt på 'Start' för att beräkna den position utefter flygrutten som farkosten bör finna sig i vid den tidpunkten.

## 3.7 Survey

Programmet Survey innehåller två delprogram. *Survey\_satellites()* beräknar utgående från en position i RT-90 koordinater samt en höjdkarta hur många satelliter som kommer vara synliga från den punkten över tid. Programmet skapar tre figurer som beskriver

1. Horisonten (i grader) som den ser ut från positionen.
2. Antalet synliga satelliter från positionen över tid.
3. Alla synliga satelliters elevation över tid.

*Survey\_flightpath()* beräknar den minsta höjden en farkost skall flyga på för att vara synlig från en position, givet positionen och en höjdkarta.

Survey\_satellites och Survey\_flightpath finns i  
\\filer-lin\Sireos\_3\Målspejsprojekt\Kod\Survey

### 3.7.1 Funktion

*Survey\_satellites()* traverserar höjdkartan i alla riktningar utgående från den givna positionen. I varje punkt beräknas elevationen, och om den är den största i aktuell riktning sparas den. Sedan simuleras GPSsatelliternas positioner över tid med hjälp av GPSToolbox. Satelliternas elevation jämförs med de beräknade maximala elevationerna i varje riktning för att beräkna om de kommer att vara synliga.

*Survey\_flightpath()* traverserar höjdkartan på samma sett som *survey\_satellites()*. Vidare beräknas line-of-sightgivet de maximala elevationerna och givet en tänkt flygbana över skogen på norra delen av testområdet på Kvarn. Flygbanan har approximerats som en rät linje.

### 3.7.2 Underfunktioner

Samtliga funktioner är sparade i underkatalogen Subfunktions.

**ecef2rt** - konverterar ECEF (XYZ) koordinater till RT-90

**remove\_elements** - tar bort ett element med visst innehåll från en vektor

**rt2ecef** - konverterar RT90-koordinater till ECEF (XYZ)

Höjdkartan som används är en nedsamplad version av FOIs höjdkarta över Kvarområdet som finns sparad i underkatalogen Data.

### 3.7.3 Inställningar

Variabler som är intressanta att ändra för de båda programmen är:

**sim\_start\_time** - starttid i sekunder (från början på GPS veckan)

**sim\_stop\_time** - stoptid

**sim\_time\_step** - tidssteg i sekunder

**stepsize** - steglängd vid traverseringen i radianer. Välj mindre vinkel för att göra en noggrannare körning.

**startangle** - startvinkel för traverseringen räknad från norr

**stopangle** - slutvinkel för traverseringen

**Baseheight** - antennens höjd över marken I meter

**x0\_rt90, y0\_rt90** - Positionens x- och y-koordinat I RT90

*Survey\_flightpath()* har även variabeln *plot* som sätts till 1 om resultatet skall plottas. Detta tar dock en hel del tid.

### 3.7.4 Att tänka på

När programmen skrevs var det oklart om värdena i höjdkartan var minimivärden eller maximumvärden. Innan programmen slutligen tas i bruk bör detta utredas och programmen anpassas därefter.



# Litteraturförteckning

- [1] N. Ashjaee and J. Ashjaee. A GPS tutorial, basics of high-precision global positioning systems. Technical report, Topcon Inc. USA, 1998. <http://www.topconps.com/gpstutorial/TOC.html>.
- [2] B. Asp. *Presentationsmaterial om GSM/GPRS*. Institutionen för Informationsöverföring, FOI, 2004. Internt dokument FOI.
- [3] L. Gang. *Development of a GPS Multi-Antenna System for Attitude Determination*. PhD thesis, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, January 1995. UCGE Reports number 20073.
- [4] K. Jinane, P. Estelle, and A. A. Mayssam. GPRS - EDGE, 2002. <http://dessr2m.adm-eu.uvsq.fr/gprs-edge.pdf>.
- [5] E. D. Kaplan. *Understanding GPS, principles and applications*. Number ISBN: 0-89006-793-7. Artech House Publishers, 1996.
- [6] F. Lundberg. *Manual för JForward*. IR-system, FOI. Internt dokument FOI.
- [7] B. Svensson. Spatiotemporal analysis of underwater sequensis for mine clearance. Technical Report ISSN: 1650-1942 FOI-R-1188, FOI, 2004.

