



Kartverket

VLBI analyse med GEOSAT

Ann-Silje Kirkvik, Kartverket

Geodesi- og hydrografidagene, 2014



Photo: Bjørn-Owe Holmberg

Oversikt

- “ Hva er VLBI og hva brukes det til
- “ VLBI aktiviteter i Kartverket
- “ VLBI analyse med GEOSAT
- “ Status, utfordringer og videre planer

Very Long Baseline Interferometry



Foto: Bjørn-Owe Holmberg

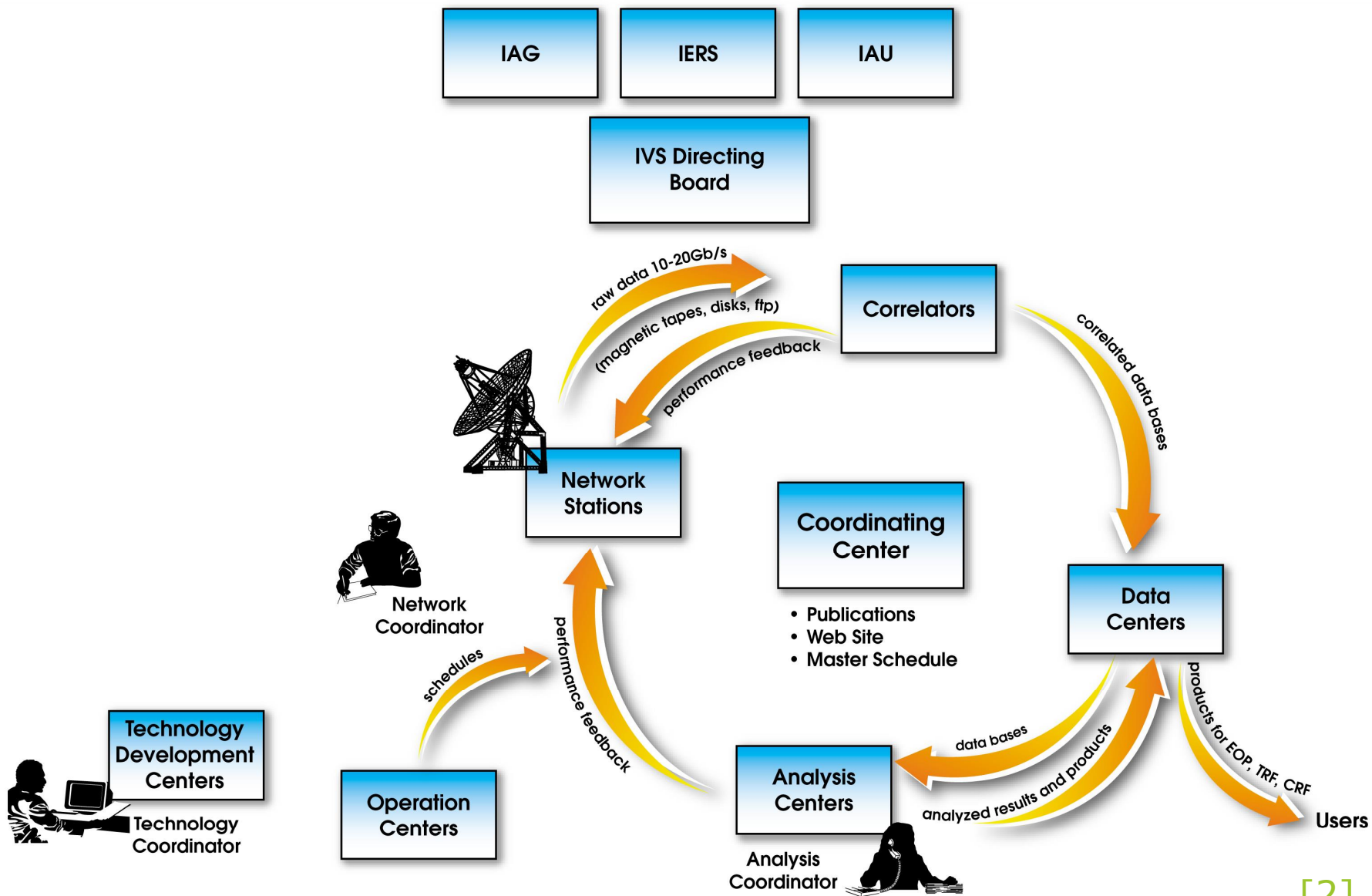


Foto: Ann-Silje Kirkvik

IVS – International VLBI Service for Geodesy and Astrometry

“ IVS is an international collaboration of organizations which operate or support **Very Long Baseline Interferometry** components ” [\[2\]](#)

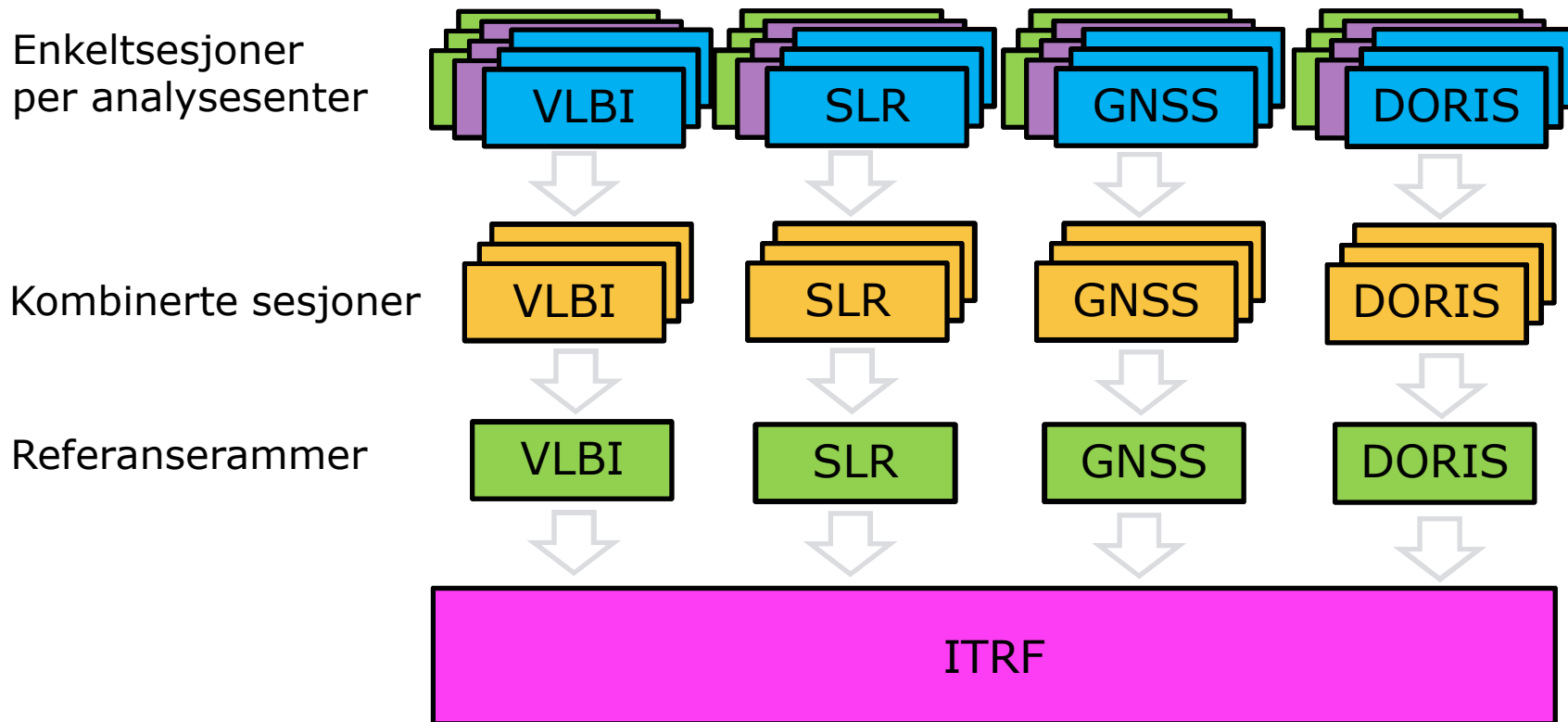
ORGANIZATION OF INTERNATIONAL VLBI SERVICE



IVS produkter

- “ Tidsserier av jordrotasjonsparametere
- “ Referanserammer
- “ Troposfæreinformasjon
- “ Tidsserier av lengden baselinjene

ITRF



VLBI aktiviteter i Kartverket: Infrastruktur

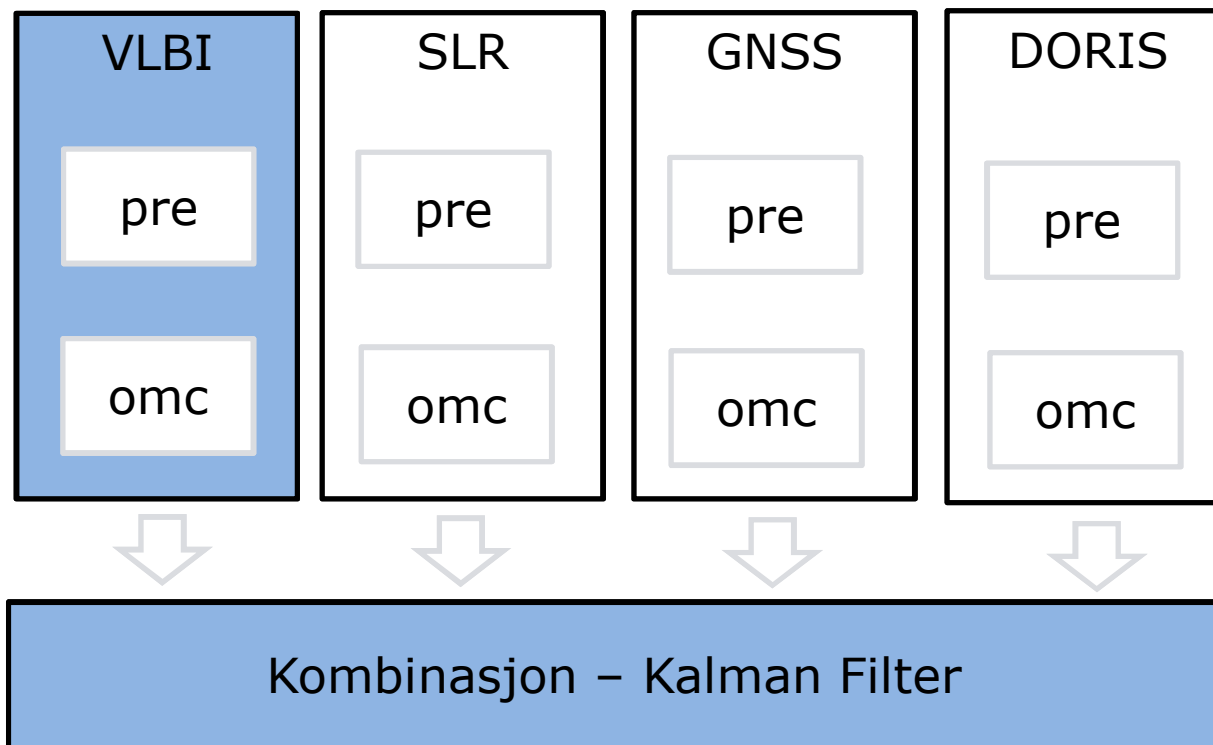


- “ VLBI-antenna i Ny-Ålesund ble bygd i 1993 og har vært i drift siden 1994.
- “ To nye antenner skal bygges og vil stå ferdig i 2018.

VLBI aktiviteter i Kartverket: Analyse

- “ Kartverket bruker programvaren GEOSAT til å analysere VLBI-data.
- “ GEOSAT er utviklet av Per Helge Andersen ved Forsvarets Forskningsinstitutt.
- “ I 2010 inngikk Kartverket og Forsvarets Forskningsinstitutt et samarbeid om å overføre kompetansen og selve programvaren GEOSAT til Kartverket.
- “ I 2010 ble Kartverket et assosiert analysesenter for IVS.
- “ Kartverket jobber for å bli et fullverdig analysesenter.

GEOSAT arkitektur

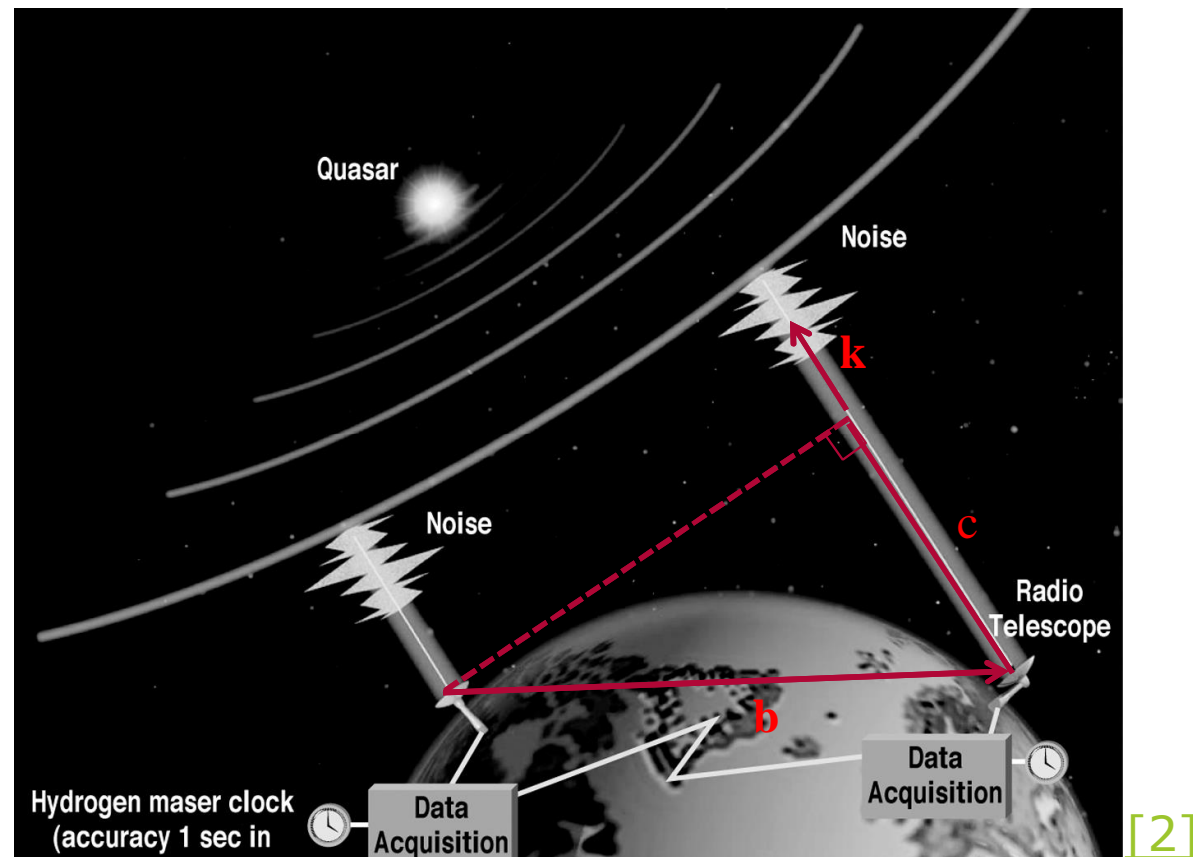


Team GEOSAT

- “ **VLBI:** Ann-Silje Kirkvik
- “ **SLR:** Ingrid Fausk
- “ **GNSS:** Micheal Dähnn
- “ **DORIS:** Geir Arne Hjelle
- “ **Kombinasjon:** Eirik Mysen

VLBI analyse – observervert forsinkelse

$$\tau_g = \frac{-\mathbf{b} \cdot \mathbf{k}}{c} \quad [1]$$



VLBI analyse - stasjonskoordinater

Apriori stasjonskoordinater er gitt i forhold til en bestemt epoke og med tilhørende hastighet.

Trenger stasjonskoordinat for tidspunktet observasjonen utføres:

- “ Hastighetskorreksjon
- “ Eksentrisitetsvektorer og antenneoffset
- “ Tidevann- og tidejordeffekter
- “ Deformasjoner pga gravitasjon og temperaturendringer

VLBI analyse - transformasjoner [4]

Stasjonskoordinater er gitt i ITRS og må transformeres til GCRS (Geocentric Celestial Reference System)

$$\mathbf{x}_{GCRS} = \mathbf{Q}(t) \cdot \mathbf{R}(t) \cdot \mathbf{W}(t) \cdot \mathbf{x}_{ITRS}$$

Videre transformeres det over til BCRS (Barycentric Celestial Reference System)

$$\mathbf{x}_{BCRS}(t) = \mathbf{x}_{BCRS}^{geocenter}(t) + \mathbf{x}_{GCRS}(t)$$

VLBI analyse – beregnet forsinkelse

$$\tau = \tau_g + \tau_{ab} + \tau_{clk} + \tau_{inst} + \tau_{trop} + \tau_{iono} + \tau_{rel} \quad [1]$$

- “ **g:** geometrisk
- “ **ab:** daglig aberasjon
- “ **clk:** avvik i klokka i forhold til en referanseklokke
- “ **inst:** instrumenter og utstyr på stasjonen
- “ **trop:** troposfære
- “ **iono:** ionosfære
- “ **rel:** relativistiske korreksjoner

VLBI analyse – estimering (3/3)

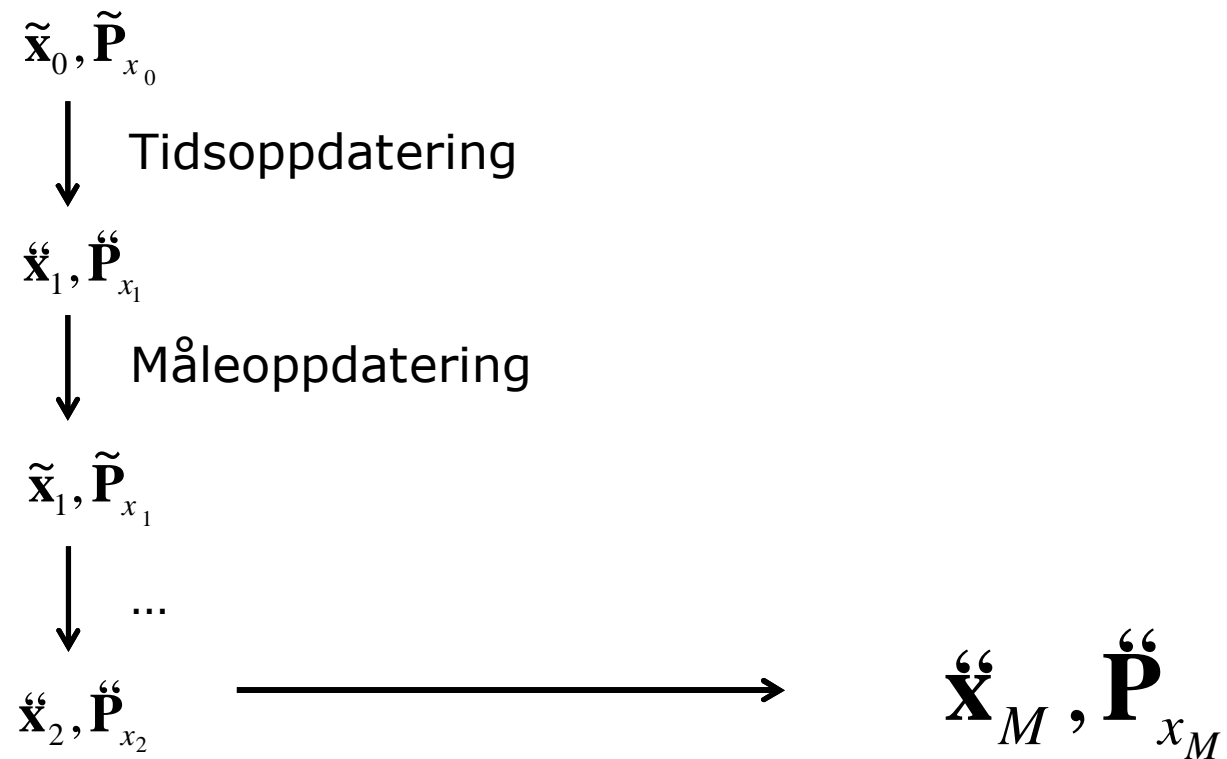
Basert på residualene og de partielt deriverte som bestemmes ut ifra modellen vil følgende parametere estimeres med et Kalman Filter:

- “ Stasjonskoordinater
- “ Radiokildekoordinater
- “ Troposfæren
- “ Klokkefeil
- “ Jordrotasjonsparameterne

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} station_x \\ station_y \\ station_z \\ \dots \\ source_ra \\ source_de \\ \dots \\ station_a_0 \\ station_a_1 \\ \dots \\ station_zwd \\ station_g_n \\ station_g_e \\ \dots \\ pol_x \\ pol_y \\ pol_dx \\ pol_dy \\ dUT \\ LOD \\ nutation_x \\ nutation_y \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \frac{\partial \mathbf{Z}}{\partial \mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial z_1}{\partial x_1} & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial z_1}{\partial x_n} \\ \dots & \ddots & & & \dots \\ \dots & & \ddots & & \dots \\ \dots & & & \ddots & \dots \\ \dots & & & & \dots \\ \frac{\partial z_m}{\partial x_1} & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial z_m}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

Kalman Filter



Kalman Filter - Tidsoppdatering

$$\tilde{\mathbf{x}}_{m+1} = \Phi_{x_{m+1}, t_m} \hat{\mathbf{x}}_m + \mathbf{e}_m$$

$$\tilde{\mathbf{P}}_{x_{m+1}} = \Phi_{x_{m+1}, t_m} \mathbf{P}_{x_m} \Phi_{x_{m+1}, t_m}^t + \mathbf{Q}_m$$

Kalman Filter - Måleoppdatering

$$\hat{\mathbf{x}}_{m+1} = \tilde{\mathbf{x}}_{m+1} + \mathbf{K}((\tilde{\mathbf{z}}_{m+1} - \mathbf{z}_{m+1}) - \mathbf{A}_{m+1} \tilde{\mathbf{x}}_{m+1})$$

$$\mathbf{P}_{x_{m+1}} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}\mathbf{A}_{m+1})\mathbf{P}_{x_{m+1}}$$

$$\mathbf{K} = \tilde{\mathbf{P}}_{x_{m+1}} \mathbf{A}_{m+1}^t (\tilde{\mathbf{W}}_{z_{m+1}}^{-1} + \mathbf{A}_{m+1} \tilde{\mathbf{P}}_{x_{m+1}} \mathbf{A}_{m+1}^t)^{-1}$$

Målsetning

Bruke GEOSAT til å lage globale referanserammer ved hjelp av kombinasjon på observasjonsnivå av de fire teknikkene.

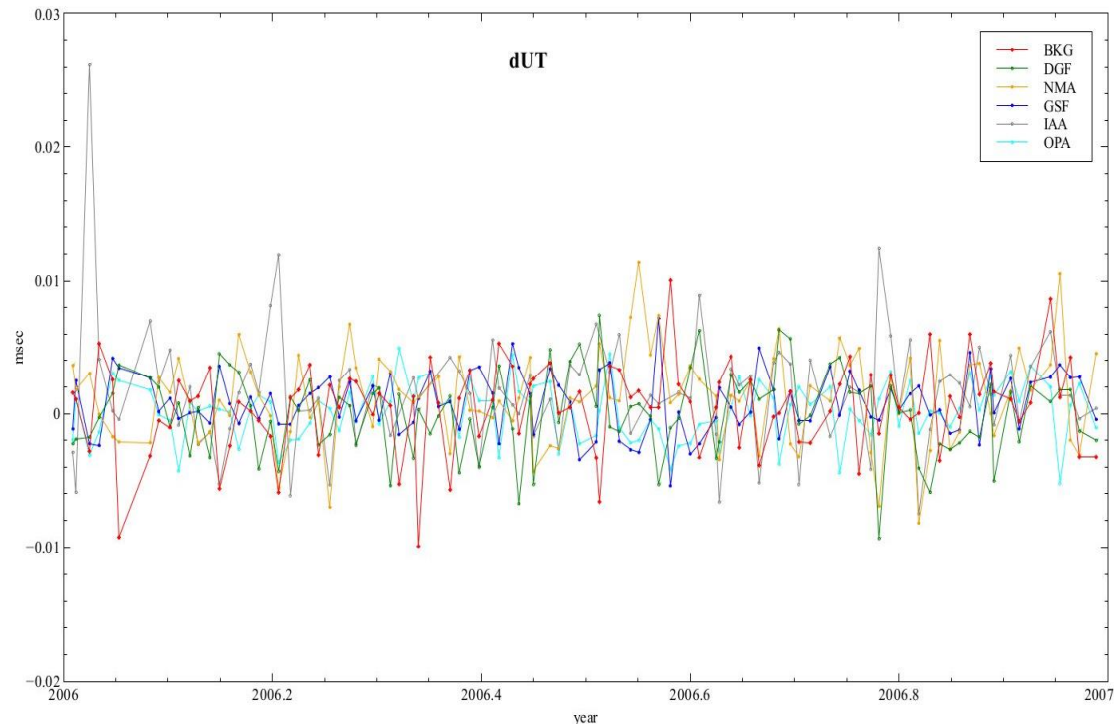
Forutsetter at vi klare å analysere hver teknikk for seg og ha tilsvarende kvalitet som eksisterende løsninger.

Validering av VLBI

- “ Samarbeider med analysesenteret ved BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie).
- “ Har vært igjennom flere iterasjoner med analyse, tilbakemeldinger og feilretting.
- “ Leverte ett år (2006) med analyserte R1 and R4 sesjoner tidlig i år.
- “ “... IVS-R1 and IVS-R4 sessions is to provide twice weekly EOP results on a timely basis.” [2]

WRMS with respect to combined solution [3]

- // **Xpole:** 0.064 mas
- // **Ypole:** 0.068 mas
- // **dUT:** 0.003 msec
- // **XPoleRate:** 0.219 mas/day
- // **YPoleRate:** 0.214 mas/day
- // **LOD:** 0.026 ms/day
- // **dX:** 0.050 msec
- // **dY:** 0.044 msec



Validering av VLBI

- “ Ble oppfordret til å bidra med vår løsning inn til ITRF2013
- “ Har analysert og levert ca 2500 sesjoner fra perioden 1994 til 2013
- “ Nåværende status er at vi har en offset i noen stasjonskoordinater i forhold til de andre analysesenterne i størrelsesorden 1.0 til 1.5cm
- “ Den kombinerte VLBI løsningen er planlagt å være ferdig i slutten av November

Utfordringer

- “ Det er et stort og omfattende prosjekt som har som mål å utrette noe ingen har klart før.
- “ Dette vil kreve mange årsverk og stabil finansiering over tid.
- “ Per Helge Andersen skal pensjonere seg til sommeren.
- “ Lite fokus på de geodetiske måleteknikkene VLBI, SLR og DORIS ved norske universiteter.

Videre planer

- “ Overføre mest mulig kompetanse
- “ Fullføre en fungerende versjon av GEOSAT med kombinasjon av teknikkene
- “ Validere enkeltteknikkene
- “ Bidra til operasjonelle IERS produkter
- “ Bidra til forskning og videreutvikling av globale referanserammer.

Referanser

- [1] **H. Schuh & D. Behrend:** "VLBI: A fascinating technique for geodesy and Astrometry" (J Geodyn 61, DOI 10.1016/j.jog.2012.07.007, 68—80, 2012)
- [2] **IVS:** <http://ivsc.gsfc.nasa.gov>
- [3] **S. Bachmann, L. Messerschmitt, D. Thaller:** IVS combination center at BKG – ITRF2013 preparations and source position combination (IVS GM 2013)
- [4] K. Teke, E. T. Kayıkçı, J. Böhm, H.Schuh: "Modelling Very Long Baseline Interferometry (VLBI) observations" (Journal of Geodesy and Geoinformation, vol 1, 17-26, 2012)