

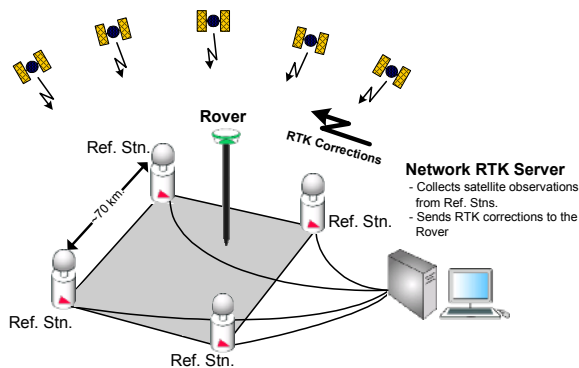
System 1200 nyhetsbrev – Nr. 53

RTK-nettverk – Forskjellige metoder

RTK-NETTVERK – FORSKJELLIGE METODER

Dette nyhetsbrevet evaluerer fire forskjellige nettverksbaserte RTK-metoder: MAX, i-MAX, FKP og virtuell referansestasjon VRS (CPOS). Det er vesentlige forskjeller mellom disse metodene, og man vil få RTK-løsninger med forskjellig kvalitet.

Vi har tidligere beskrevet rollen til en nettverksbasert RTK-server – å samle inn satellittobservasjoner fra mange referansestasjoner og sende RTK-korreksjoner til roveren (Fig. 1).



Figur 1: Rollen til en nettverksbasert RTK-server

En nettverksbasert RTK-leverandør, som selger brukerabonnement, administrerer den nettverksbaserte RTK-serveren. Serviceleverandør velger den nettverksbaserte RTK-metoden som serveren skal bruke. Derfor vil den endelige løsningen påvirke kvaliteten til RTK-løsningen som kan oppnås på roveren.

Dette nyhetsbrevet identifiserer MAX-metoden (som er basert på den eneste standarden for nettverk RTK, RTCM V3.1 Master Auxiliary Concept - MAC) som den beste nettverksbaserte RTK-metoden som finnes på markedet i dag, og forklarer hvorfor en bruker bør be om MAX-korreksjoner fra sin nettverksbaserte RTK-leverandør.

Det neste nyhetsbrevet (nr. 54) vil analysere virkelige data for å vise at ved å kombinere MAX og SmartRTK (lansert i SmartWorx versjon 5.5 i september 2007), har en bruker den beste RTK-løsningen som finnes på markedet.

HVORDAN EVALUERER JEG EN NETTVERKSBASERT RTK-METODE?

Vi har tidligere beskrevet at så snart den nettverksbaserte RTK-serveren har mottatt alle referansestasjonsobservasjonene, reduserer den dem til et såkalt "felles ambiguitetsnivå". Algoritmene som gjør dette, er spesifikke for programvaren i den nettverksbaserte RTK-serveren som benyttes (f.eks. Leica GNSS Spider).

Så snart et felles ambiguitetsnivå er funnet, benytter programvaren i serveren en nettverksbasert RTK-metode (f.eks. MAX) for å produsere RTK-korreksjoner for roveren.

Alle nettverksbaserte RTK-metoder har den fordel at de reduserer avstandsavhengige feil, slik at man kan tillate lange avstander mellom referansestasjoner og roveren. De forskjellige metodene oppnår imidlertid dette på forskjellige måter.

For å evaluere de forskjellige nettverksbaserte RTK-metodene, må vi etablere et kriterium.

STANDARDISERTE METODER

Nettverksbaserte RTK-metoder kan kategoriseres som enten standardiserte eller ikke-standardiserte.

En standardisert metode er en metode der serverprogramvaren med hensikt benytter standardiserte algoritmer til å generere nettverksbaserte RTK-korreksjoner. Disse algoritmene er publiserte, og er offentlig tilgjengelige. Dette gir en konsistent og transparent metode som alle kan bruke.

En standardisert metode betyr at all informasjon som sendes til roveren, uavhengig av produsent, følger entydig definerte internasjonale standarder.

En ikke-standardisert metode er en metode der serverprogramvaren benytter upubliserte algoritmer til å generere nettverksbaserte RTK-korreksjoner.

ROVER-KONTROLLERT NETTVERKSLØSNING

Formålet med nettverksbasert RTK er å redusere avstandsavhengige feil i RTK-løsninger – for å optimalisere løsningen og for å forbedre initialiseringshastigheten over store avstander mellom roveren og referansestasjonene.

System 1200 nyhetsbrev – Nr. 53

RTK-nettverk – Forskjellige metoder

Avhengig av metoden, kontrollerer enten serveren eller roveren beregningen av nettverkløsningen, for å redusere avstandsavhengige feil.

En roverkontrollert nettverkløsning oppnås når roveren kan kontrollere hvilke referansestasjoner som benyttes i løsningen, hvor mange referansestasjoner, og hvilken strategi som benyttes til å redusere avstandsavhengige feil.

Fordelen med roverkontrollerte nettverkløsninger er at roveren kontinuerlig kan evaluere kvaliteten til sin RTK-løsning, og overvåke effektiviteten til den avstandsavhengige feilkorreksjonen den beregner. Hvis roveren bestemmer at RTK-løsningen ikke lenger er optimal (f.eks. pga. endringer i de atmosfæriske forholdene), vil roveren foreta en ad hoc-beslutning og skifte til en annen strategi og beregne en nettverkløsning som passer bedre - for dermed å opprettholde initialiseringen og optimal RTK-løsning.

Når serveren styrer nettverkløsningen, benytter serveren typisk én strategi for alle roverne - den optimaliserer nettverket, ikke den enkelte roveren. Serveren vet ikke hvordan roveren fungerer. Derfor, hvis nettverkløsningen ikke passer til roversituasjonen, kan ikke RTK-løsningen optimaliseres, og dermed er det ikke sikkert man oppnår hurtig initialisering.

For å sikre hurtig initialisering og optimal RTK-løsning, må roveren kontrollere RTK-løsningen.

MAKSIMAL UTNYTTELSE AV ALLE SATELLITDATA

Nettverksbaserte RTK-servere samler inn satellittdata fra alle referansestasjonene og genererer RTK-korreksjoner som sendes til roveren. Enkelte metoder utnytter imidlertid ikke fullt ut disse dataene. Under bestemte forhold kan dette bety forskjellen mellom å være i stand til å beregne en RTK-løsning eller ikke.

Tenk deg at en landmåler i felten observerer 8 satellitter på roveren sin. De forventer at roveren deres skal være i stand til å initialisere seg raskt. En av referansestasjonene som benyttes til å generere RTK-korreksjoner observerer imidlertid kun 5 av de samme satellittene (som roveren). I dette tilfellet er de nettverksbaserte RTK-metodene kun i stand til å generere RTK-korreksjoner for de 5 felles satellittene, og de må droppe en referansestasjon fra løsningen, noe som gir en svakere løsning. Det er ikke sikkert at roveren mottar tilstrekkelig med data til å initialisere raskt, og landmåleren må vente i felten..

Landmåleren kan gjerne ha den beste roveren som finnes på markedet, men ytelsen begrenses av RTK-korreksjonene den mottar. Dette er som å kjøpe en TV med høy oppløsning TV for å se gamle VHS-videoer.

For å få maksimal mulighet til å beregne RTK-løsningen, må den nettverksbaserte RTK-metoden utnytte alle tilgjengelige satellittdata maksimalt.

SPORBARHET (TRACEABILITY) REPETERBARHET

Sporbarhet er et vanlig måleprinsipp som brukes av mange målemyndigheter over hele verden. Dette betyr i prinsippet at alle målinger er lovpålagt å forholde seg til fysiske punkt. Disse målingene må også kunne repeteres.

For eksempel må en enkel vektor (dX, dY, dZ) mellom en referansestasjon og et målepunkt kunne gjentas. Dette krever fysiske punkt (f.eks. en søyle eller en plugg), og dette betyr altså at målingen er sporbar.

Derfor må alle vektorer generert fra nettverksbasert RTK være **sporbare** og **repeterbare**.

KONSISTENS

Med vanlig RTK reduseres nøyaktigheten i forhold til avstanden fra referansestasjonen. Med nettverksbasert RTK reduseres denne effekten. Posisjonen og nøyaktigheten bør derfor være mer konsistent (homogen) gjennom en måling (selvfølgelig gjelder også vanlige gode retningslinjer for GNSS-måling, som f.eks. satellittilgjengelighet og DOP-verdier også for nettverksbasert RTK).

En bruker ønsker ikke at posisjonen og nøyaktigheten skal hoppe rundt omkring. Derfor må posisjoner og nøyaktigheter fra nettverksbasert RTK være **konsistente**.

Før vi går mer inn på de ulike metodene for nettverksbasert RTK, vil vi sette fokus på forholdet mellom den nettverksbaserte RTK-serveren og roveren. Dette forholdet er den største ulikheten mellom nettverksbaserte RTK-metoder.

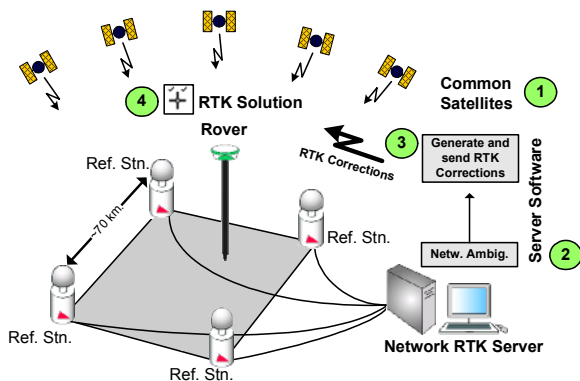
FORHOLDET MELLOM NETTVERK OG ROVER

Hvorfor er dette forholdet viktig? Som du har lest i dette nyhetsbrevet, må du huske de fem kriteriene vi nevnte over.

System 1200 nyhetsbrev – Nr. 53

RTK-nettverk – Forskjellige metoder

For å gjøre det litt enklere å forstå hvorfor dette forholdet er viktig, må vi definere fire grunnleggende deler (fig. 2):



1. **Observere felles satellitter:** Roveren og nettverksserveren (via referansestasjonene) observerer et felles sett med satellitter.
2. **Løse nettverksambiguiteter:** Ved å bruke en egnet algoritme, løser nettverksserveren ambiguitetene i nettverket og reduserer nettverksdata til denne felles ambiguiteten.
3. **Generere RTK-korreksjoner:** Serveren genererer og sender RTK-korreksjoner til roveren, enten i en standard eller en ikke-standard form.
4. **RTK-løsning:** Roveren bruker RTK-korreksjonene til å beregne en RTK-løsning.

HVORFOR ER DISSE FIRE DELENE VIKTIGE?

Disse fire delene er viktige da de hjelper oss til å forstå hvordan hver enkelt metode skiller seg ut, og enda viktigere, hjelper oss med å evaluere dem.

RTK-løsningen er den viktigste delen for brukeren. Brukeren ønsker at løsningen skal være pålitelig, nøyaktig, konsistent, sporbar og repetierbar.

Målsetningen for roveren er å oppfylle alle disse kriteriene for brukeren. Om roveren kan oppnå denne målsetningen, avhenger likevel av **RTK-korreksjonene** den mottar fra serveren, som igjen avhenger av hvilken metode serveren bruker.

De **felles satellittene** definerer tilgjengelige datasett av satellittobservasjoner. Hvor mye av dette datasettet som representeres av RTK-korreksjonene, kan være avgjørende for om RTK-løsningen oppnås eller ikke.

INTRODUKSJON AV DE FIRE ULIKE METODENE

MAX-metoden

Overføring av Master Auxiliary Corrections (MAX) baserer seg på Master Auxiliary Concept (MAC) foreslått av Leica og Geo++ i 2001 (Euler et al., 2001).

i-MAX-metoden

Individualisert MAX (i-MAX) ble utviklet samtidig som MAX for å støtte eldre mottakere som ikke støtter MAX-korreksjoner.

FKP-metoden

Flächen-Korrektur Parameter (FKP, områdekorreksjonsparametre)-metoden er den eldste nettverksbaserte RTK-metoden, og ble utviklet av Geo++ midt på 1990-tallet.

VRS-metoden (Virtuell referansestasjon, CPOS)

Terrasat utviklet VRS-metoden sent på 1990-tallet. VRS kan sammenlignes med i-MAX.

I-MAX OG VIRTUELL REFERANSESTASJON

METODEN

Metodene i i-MAX og virtuell referansestasjon (VRS) ligner hverandre. Begge er klassifisert som individualiserte, som krever at roveren sender en omtrentlig posisjon til serveren. Forholdet mellom server og rover for i-MAX og virtuell referansestasjon er vist i hhv. figur 3 og 4.

Ikke standardiserte metoder

Begge metodene bruker upubliserte algoritmer til å generere nettverksbaserte RTK-korreksjoner, og er derfor ikke standardiserte.

Serverkontrollert nettverksløsning

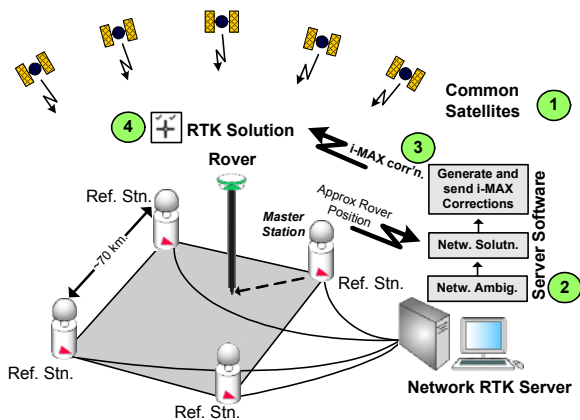
I begge metodene beregner serveren nettverksløsningen for å redusere avstandsavhengige feil. Dette betyr at nettverksløsningen ikke er optimal for roverens posisjon, og at den kan begrense RTK-løsningen.

Utnyttelse av alle satellittdata er IKKE maksimal

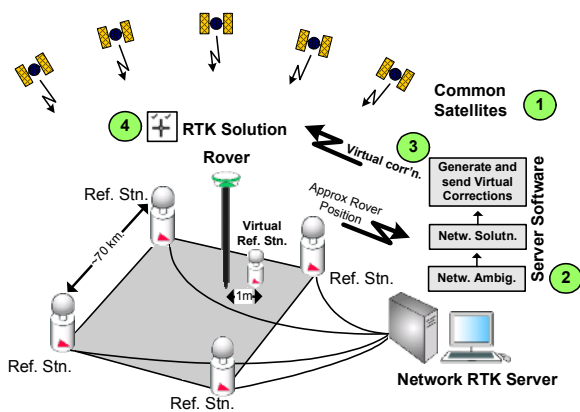
Begge metodene genererer RTK-korreksjoner som simulerer en vanlig RTK. Dette begrenser satellittdataene som er gjort tilgjengelige for roveren, og man risikerer dermed at en RTK-løsning under visse omstendigheter ikke er mulig.

System 1200 nyhetsbrev – Nr. 53

RTK-nettverk – Forskjellige metoder



Figur 3: Forholdet mellom server og rover med i-MAX-metoden



Figur 4: Forholdet mellom server og rover med VRS-metoden (virtuell referansestasjon)

ULIKHETER

Metodene i-MAX og VRS ligner hverandre, men er ikke identiske. Den største ulikheten er at i-MAX-metoden genererer korreksjoner for en *reell* referansestasjon.

Sporbarhet (traceability) og repeterbarhet

i-MAX-korreksjonene kan føres tilbake til en masterstasjon. Dette betyr at vektoren mellom masterstasjon og målepunkt alltid kan måles på nytt direkte. Derfor er målingene sporbare og repeterbare (fig 3).

Med VRS-metoden (virtuell referansestasjon) har ikke roveren noen observasjoner relatert til en reell referansestasjon. Dette betyr at vektoren mellom den virtuelle referansestasjonen og målepunktet **ikke kan** måles på nytt direkte. Dette bryter de grunnleggende oppmålingsprinsippene for sporbarhet og repeterbarhet (fig 4).

Konsistens

Korreksjoner for virtuell referansestasjon er optimalisert mot roverens posisjon i begynnelsen av RTK-prosessen (dvs. etter å ha koblet til nettverksbasert RTK-tjeneste). Hvis roveren deretter flyttes over en betydelig avstand i løpet av samme prosess (dvs. uten å koble fra og til igjen), er korreksjonene kanskje ikke egnet for den nye roverposisjonen (Landau et al., 2003).

For å løse dette problemet, kan brukeren koble fra og starte en ny prosess for å generere en ny referansestasjon, eller serveren kan generere en ny referansestasjon automatisk. Generering av nye referansestasjoner (i begge tilfeller) kan likevel føre til hopp i posisjon og nøyaktighet. Dermed kan brukeren ende opp med uoverensstemmende posisjoner og nøyaktigheter i målingen.

i-MAX-korreksjoner, derimot, oppdateres dynamisk for å følge roverens bevegelser. I tillegg kan i-MAX-korreksjonene føres tilbake til en reell referansestasjon (masterstasjon). Dette betyr at posisjonene og nøyaktighetene er konsistente.

OMRÅDEKORREKSJONSPARAMETRE (FKP)

METODEN

FKP-metoden er en kringkastingsmetode, og krever ikke at RTK-roveren sender sin aktuelle posisjon til nettverkets sentrale server. I stedet lager serveren en modell av avstandsavhengige feil og sender RTK-data fra én referansestasjon i nettverket til roveren, sammen med modellen (Wübbena et al., 2001).

FKP-metoden etablerer områdekorreksjonsparametre som enkle plan (øst-vest- og nord-sør-gradienter), og som gjelder for et begrenset område rundt én enkelt referansestasjon.

Forholdet mellom server og rover i FKP-metoden er vist i figur 5.

Ikke standardisert metode

Metoden bruker upubliserte algoritmer til å generere nettverksbasert RTK-korreksjoner, og er derfor ikke standardiserte.

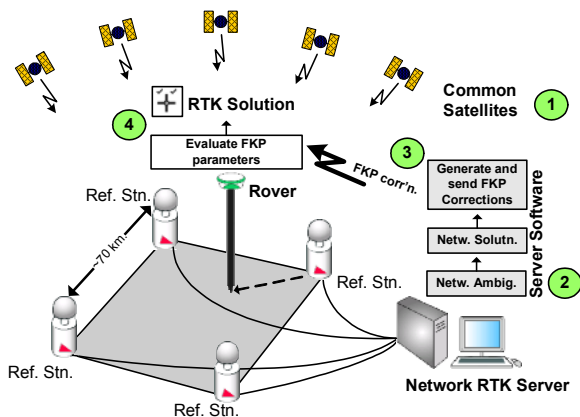
Serverkontrollert nettverksløsning

I denne metoden beregner serveren nettverksløsningen (områdekorreksjonsparametre) for å redusere avstandsavhengige feil. Dette betyr at nettverksløsningen ikke er optimalisert for roverens posisjon, og at den kan begrense RTK-løsningen.

System 1200 nyhetsbrev – Nr. 53

RTK-nettverk – Forskjellige metoder

Typisk er korreksjonsparametre beregnet ved serveren, basert på antakelsen om at avstands-avhengige feil endres lineært mellom referanse-stasjonene. Interpolasjonsfeil vil da kunne oppstå ved roveren hvis de sanne feilene ikke er linjære. Dette kan føre til dårlig posisjonskvalitet eller problemer i fastsetting av ambiguitet.



Figur 5: Forholdet mellom server og rover med FKP-metoden

Maksimal utnyttelse av alle satellittdata?

FKP-metoden sender alle data fra referansestasjonen, men områdekorreksjonsparametrene har samme begrensninger som for virtuell referansestasjon og i-MAX. Siden metoden er ikke-standardisert, kan vi ikke være sikre på om FKP utnytter alle satellittdata maksimalt eller ikke.

Sporbar og repeterbar

RTK-korreksjonene kan føres tilbake til en reell referansestasjon og er derfor sporbare og repeterbare (fig 5).

Konsistens

Roveren evaluerer områdekorreksjonsparametrene i sin aktuelle posisjon for å generere korreksjoner. Ved å kombinere disse korreksjonene med RTK-data fra én av referansestasjonene, kan konsistente RTK-løsninger (posisjoner og nøyaktigheter) beregnes – forutsatt at roveren ikke flyttes langt fra den referansestasjonen som FTP-parametrene er koblet mot.

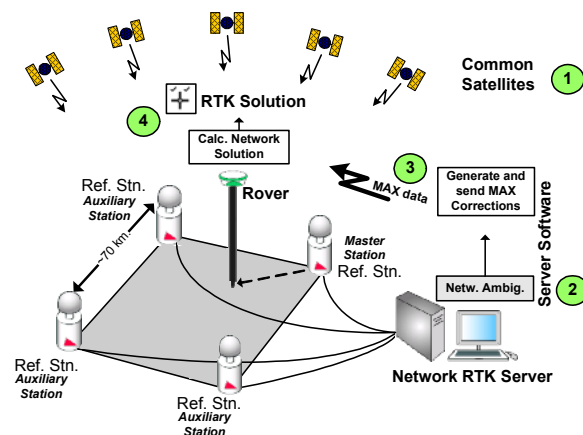
MAX-KORREKSJONER

METODEN

I Master Auxiliary-konseptet sender den nettverksbaserte RTK-serveren fulle råobservasjoner og koordinatinformasjon for én enkelt referansestasjon, masterstasjonen. For alle andre stasjoner i nettverket (eller et egnet undersett

med stasjoner), kjent som hjelpestasjoner, overføres ambiguitetsreduerte observasjoner og koordinatsdifferanser (til masterstasjonen observasjoner og koordinater).

Forholdet mellom server og rover er vist i figur 6.



Figur 6: Forholdet mellom server og rover med MAX-metoden

Standardisert metode

MAX bruker publiserte algoritmer til å generere og sende nettverksbaserte RTK-korreksjoner, og er derfor en standardisert metode. I tillegg er dataene alltid sporbare til reelle referansestasjoner.

RTCM Special Committee 104 har anerkjent dette ved å gjøre MAX til den eneste offisielle standarden for nettverksbasert RTK ved å inkludere den i RTCM 3.1 standarddokument.

Roverkontrollert nettverkløsning

Master Auxiliary-konseptet gir roveren fleksibiliteten til å utføre enten en enkel interpolasjon av nettverkskorreksjoner som FKP, eller en mer omfattende beregning (f.eks. beregne flere vektorer fra hjelperferansestasjonene). Dette betyr at roveren kan overvåke RTK-løsningen og endre beregningen på sparket for å optimalisere RTK-løsningen. Dette er en stor fordel i forhold til FKP og andre metoder.

Maksimal utnyttelse av alle satellittdata

Med MAX-data kan roveren rekonstruere ambiguitetsreduerte data for alle referansestasjoner. Derfor må satellittdata utnyttes maksimalt for å beregne best mulig RTK-løsning.

Konsistens

Roveren har muligheten til å tilpasse seg til de rådende atmosfæriske forholdene ved å bruke et egnet antall referansestasjoner (f.eks. for å lage modell av atmosfærisk aktivitet i større skala).

System 1200 nyhetsbrev – Nr. 53

RTK-nettverk – Forskjellige metoder

Dette betyr at roveren kan sikre at RTK-løsningene (posisjoner og nøyaktigheter) er konsistente gjennom en måling.

Sporbar og repeterbar

MAX-korreksjonene gjør at roveren kan måle en vektor til masterstasjonen – en reell referansestasjon. Derfor er målingene sporbare og repeterbare (fig 6).

OPPSUMMERING AV EVALUERINGEN AV FIRE NETTVERKSBASERT RTK-METODER

	standsavhengige	sporbarhet og repeterbarhet	Konsistens	Maks. utnyttelse av alle satellittdata	Standardisert metode	Roverkontrollert nettverkløsning
Vrt. Ref. Stn.	✓	x	x	x	x	x
i-MAX	✓	✓	✓	x	x	x
FKP	✓	✓	✓	?	x	x
MAX	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabell 1: Oppsummeringsevaluering av de fire ulike nettverksbaserte RTK-metodene

Tabell 1 gir en oppsummering av evalueringen av de fire nettverksbaserte RTK-metodene sammenlignet med de tidligere nevnte kriterier.

MAX er den eneste metoden som fyller alle kriteriene som er nødvendige for at brukeren skal få best mulig RTK-løsning. Derfor bør en bruker spørre etter MAX-korreksjoner fra sin leverandør av nettverksbasert RTK.

Leica GPS1200-systemet vil alltid gi deg den best mulige ytelsen innenfor de grunnleggende begrensningene for VRS-, FKP- og i-MAX-korreksjoner. Men du vil få enda mer ytelse med MAX.

NESTE NYHETSBREV – UNDERSØKELSE AV PRAKTISKE EKSEMPLER

Neste nyhetsbrev vil beskrive og diskutere noen praktiske eksempler der ulike nettverksbaserte RTK-metoder blir brukt. De inkluderer temaene nøyaktighet, repeterbarhet og pålitelighet.

HUSK

- MAX er den eneste internasjonalt standardiserte nettverksbaserte RTK-metoden.
- MAX er den eneste metoden som gir roveren kontrollen til å beregne avstandsavhengige feil selv, noe som betyr at roveren kan tilpasse beregningene slik den mener det er nødvendig (lokale endringer i omgivelser).
- MAX er den mest avanserte metoden som bruker hele nettverksinformasjonen.
- MAX bruker kun observasjoner fra reelle referansestasjoner (sporbarhet og repeterbarhet).
- MAX gir konsistente resultater.
- i-MAX er den beste individualiserte nettverksbaserte RTK-metoden.
- i-MAX ble utviklet for eldre mottakere som ikke støtter MAX.
- i-MAX-, VRS- og FKP-metodene overholder ikke filosofien til RTCMs industrielle standardformater, fordi meldingene inneholder modellerte data og ikke rådata som spesifisert av RTCM.
- Leica GPS1200-systemet vil alltid gi deg den best mulige ytelsen innenfor de grunnleggende begrensningene for VRS-, FKP- og i-MAX-korreksjoner. Men du vil få enda mer ytelse med MAX.

Litteratur:

Euler H.-J., Keenan R., Zebhauser B., Wübbena G. (2001) Study of a Simplified Approach in Utilizing Information from Permanent Reference Station Arrays. Proc. ION GPS 2001, Sept. 2001, Salt Lake City, USA
www.leica-geosystems/downloads/

Landau H., Vollath U., Chen X. (2003) Virtual Reference Stations versus Broadcast Solutions in Network RTK - Advantages and Limitations. Proc. GNSS 2003, April 2003, Graz, Austria

Wübbena G., Bagge A., Schmitz M. (2001) Network-Based Techniques for RTK Applications. Proc. GPS JIN 2001, GPS Society, Japan Institute of Navigation, Nov. 2001, Tokyo, Japan