



RTK-paikannukselle tärkeät viestityypit RTCM 3 -standardissa

Joonas Korpela

OPINNÄYTETYÖ

Kesäkuu 2024

Tietotekniikan tutkinto-ohjelma, Insinööri (AMK)

Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma, Insinööri (AMK)
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

KORPELA, JOONAS
RTK-paikannukselle tärkeät viestityypit RTCM 3 -standardissa

Opinnäytetyö 22 sivua
Kesäkuu 2024

Opinnäytetyön tavoite oli selvittää Reaaliaikaisen kinemaattisen paikannuksen (RTK) käyttämän RTCM 3 -standardin viestityyppien tarpeellisuutta toimeksiantona Novatron Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli syventyä RTCM:n toimintaan ja listata standardissa käytettäviä viestityyppejä. Opinnäytetyön aineiston perusteella oli mahdollista määrittää kaksi viestityyppiä, joita ilman ei ole mahdollista saada toimivaa RTK-korjausta. Näistä ensimmäinen on viestityyppi 1005 tai 1006, joista molemmista saadaan antennin referenssipisteen koordinaatit. Viestityyppi 1005 on näistä kahdesta hieman kevyempi, mutta 1006 on suosittu. Jos RTK-tukiaseman tarkkaa sijaintia ei tiedetä, ei ole mahdollista saada RTK-korjausta käyttävälle järjestelmälle palvelun tarjoamaa senttimetrin tarkkuutta. Toinen vaadittava viestityyppi on jokin viestityyppi, josta saa koodi- ja kantoaaltodatan. Näitä viestityyppejä on useita ja niiden valinta riippuu monista tekijöistä. Esimerkiksi käytetty satelliittipaikannusjärjestelmä määrittää, mistä viestistä koodi- ja kantoaaltodata saadaan. Myös käytetty RTCM-versio määrittää, mitä viestityyppejä on saatavilla. Esimerkiksi RTCM 3.2 versiosta lähtien tuettu Multiple Signals Messages (MSM) on tuonut uusia viestityyppejä, joita käytettäessä ei ole tarvetta vanhemmalle viestityypille. Tässä tapauksessa käytössä voi olla joko viestityyppi 1004 tai 1074 (MSM4), joista jälkimmäistä ei ole olemassa ennen RTCM 3.2 versiota. Opinnäytetyö lisää lukijan käsitystä viestityyppien tarpeellisuudesta.

Työn tarjoamaa tietoa voi käyttää analysoitaessa RTCM 3 datavirtaa mahdollisissa vikatilanteissa. Jos datavirrasta puuttuu esimerkiksi viestityypit 1005 tai 1006, voi opinnäytetyöstä saadun tiedon perusteella välittömästi tarkistaa, onko RTCM 3 datavirtaan lisätty oikeat viestityypit lähetettäväksi. Opinnäytetyön rajallisuuden vuoksi tarkastelun ulkopuolelle jäi, mitkä viestityypit ovat suosituimpia, vaan työssä keskityttiin täysin välttämättömiin viestityyppeihin ja niiden analysointiin. Jatkotutkimuksena olisi mahdollista selvittää, mitä viestityyppejä käytetään eniten ja mistä niiden suosio johtuu.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bachelor of ICT Engineering
Telecommunications and Networks

KORPELA, JOONAS:

Message Types Important for RTK Positioning in the RTCM 3 Standard
Bachelor's thesis 22 pages
June 2024

The objective of this thesis was to investigate the necessity of message types in the RTCM 3 standard used by Real-Time Kinematic (RTK) positioning, as commissioned by Novatron Oy. The purpose of the thesis was to delve into the operation of RTCM and list the message types used in the standard. Based on the material reviewed in the thesis, it was possible to identify two message types that are essential for achieving a functional RTK correction. The first of these is message type 1005 or 1006, both of which provide the coordinates of the antenna reference point. Message type 1005 is slightly lighter, but 1006 is more popular. Without knowing the precise location of the RTK base station, it is impossible to achieve the centimeter-level accuracy offered by the RTK correction service. The second required message type is one that provides code and carrier phase data. There are several of these message types, and their selection depends on various factors. For example, the satellite positioning system in use determines from which message the code and carrier phase data are obtained. Additionally, the RTCM version in use determines which message types are available. For instance, starting from RTCM version 3.2, the supported Multiple Signals Messages (MSM) have introduced new message types, which eliminate the need for older message types. In this case, either message type 1004 or 1074 (MSM4) can be used, with the latter not existing before RTCM version 3.2.

The thesis enhances the reader's understanding of the necessity of message types. The information provided can be used to analyze the RTCM 3 data stream in potential malfunction situations. For example, if message types 1005 or 1006 are missing from the data stream, the knowledge from this thesis can be used to immediately check whether the correct message types have been added to the RTCM 3 data stream for transmission. Due to the scope limitations of the thesis, the analysis did not cover which message types are the most popular, but rather focused solely on the essential message types and their analysis. As a follow-up study, it would be possible to investigate which message types are used the most and the reasons for their popularity.

Key words: rcm 3, novatron, rtk

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SATELLIITTIPAIKANNUSJÄRJESTELMÄT	7
2.1	GNSS	7
2.2	GPS	7
2.3	GLONASS	8
2.4	Galileo	8
2.5	BeiDou	9
2.6	Muut paikannussatelliitit	9
2.6.1	QZSS	9
2.6.2	IRNSS	9
3	KINEMAATTINEN PAIKANNUS	10
3.1	Toiminta	10
3.2	Käyttö infrarakentamisessa	11
4	KORJAUSVIESTIN STANDARDIT	13
4.1	RTCM SC-104	13
4.2	NTRIP	13
5	RTMC-VIESTITYYPPEJÄ	15
5.1	RTCM 2 ja RTCM 3 -viestien rakenne-erot	15
5.2	RTK-paikannukselle tärkeät viestityypit	16
6	POHDINTA	20
	LÄHTEET	21

ERITYISSANASTO

APC	Antenna Phase Centre, eli antennin vaihekeskus. Antennin todellinen mittauskeskipiste radomin sisällä.
ARP	Antenna Reference Point, eli antennin referenssipiste. Sovittu mittauspiste tyypillisesti antennin pohjassa fyysisen mittaamisen helpottamiseksi.
DGPS	Differentiaalinen GPS-paikannus.
GNSS	Yhteinen nimitys kaikille satelliittipaikannusjärjestelmille.
MSM	Multiple Signal Messages.
Rover	Trimblen käyttämä termi vastaanotin-antenni yhdistelmälle.
RTCM SC-104	Kommunikaatioprotokolla DGPS:n lähettämiseksi GNSS vastaanottimelle.
RTK	Real Time Kinematic (Reaaliaikainen Kinemaattinen Mittaus).
Troposfääri	Ilmakehän alin kerros, jossa tapahtuvat sääilmiöt.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tekeminen lähti Novatron Oy:n tarpeesta selvittää Reaaliaikaisen kinemaattisen paikannuksen (RTK) käyttämän RTCM 3 -standardin viestityyppien tarpeellisuutta. Opinnäytetyön tavoite on selvittää RTK:n toiminnalle välttämättömät viestityypit. Opinnäytetyön tarkoitus on käyttää viestityyppien selvittämisessä satelliittivastaanottimien valmistajien sivuja, sekä aiheeseen liittyvää tutkimustietoa. Aineistona opinnäytetyössä toimii ensisijaisesti satelliittivastaanottimien eri valmistajien verkkosivut, sekä aiheeseen liittyvät tutkimukset. Erityisen paljon tietoa satelliittipaikannuksesta ja RTK:n toiminnasta on työssä saatu emeritusprofessori Markku Poutasen oppikirjasta "Satelliittipaikannus".

Suomessa RTK teknologia on oleellinen osa tuhansien kaivinkonekuljettajien jokapäiväistä työtä. Paikannussatelliittien käyttö on yleistynyt viimeisen kahden vuosikymmenen aikana, kun GPS:n siviilikäyttöä haitannut tarkkuuden heikennys poistettiin vuosituhaten alussa. Viimeistään GPS:n integrointi älypuhelimien toimipaikannuksen jokaiseen käyttöön. Siinä missä siviilikäytössä paikannusjärjestelmien noin 20 metrin tarkkuus riittää vallan mainiosti, mentäessä maanrakennuspuolelle tarvitaan muutaman senttimetrin tarkkuuksia. Tämänkaltaisiin tarkkuuksiin voidaan päästä hyödyntämällä RTK-korjausmenetelmää, jonka toiminta perustuu maan päällä sijaitsevaan tukiasemaan. Tukiaseman sijainti tiedetään tarkasti, minkä ansiosta on mahdollista korjata paikannussatelliitin tarkkuusvirhettä. (Poutanen 2016.)

RTK-korjausmenetelmä käyttää toiminnassaan RTCM SC-104 kommunikaatio-protokollaa. Työn tavoite on selvittää RTK:n toiminnalle tärkeät RTCM 3 -viestityypit ja näin ollen lisätä Novatron Oy:n ymmärrystä niiden toiminnasta. Laajempi tietotaito viestityyppien toiminnasta voi olla avuksi vianhaku- ja asiantuntijatehtävissä analysoitaessa RTCM 3 -datavirtaa. Viestityyppien selvittämisessä käytän tietolähteinä ensisijaisesti satelliittivastaanottimien valmistajien sivuja, koska näillä yrityksillä on merkittävästi tietoa käyttämästään standardista. Käyn läpi myös aiheeseen liittyviä tutkimuksia.

2 SATELLIITTIPAIKANNUSJÄRJESTELMÄT

2.1 GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite System) on yhteinen termi kaikille paikannusjärjestelmille. Välillä GNSS ja GPS sekoitetaan toisiinsa johtuen GPS:n suuresta asemasta ensimmäisenä paikannusjärjestelmänä. Historiallisesti GPS:llä on ollut monopoliasema, mutta tilanne on muuttumassa, kun Galileosta odotetaan merkittävää tekijää monissa siviilisovelluksissa, koska se sisältää ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää mm. ilmailussa. GLONASS on ollut valmis vuodesta 2011, Galileo vuodesta 2016 ja BeiDou vuodesta 2020. Järjestelmien välillä on eroja, mutta monet asiat ovat yhtenäisiä kaikille neljälle: mikä pätee GPS:ään, pätee pääsääntöisesti myös muihin järjestelmiin. (Poutanen 2016.)

2.2 GPS

GPS (Global Positioning System) on alun perin sotilaskäyttöön ja 2000-luvulla siviilikäyttöön yleistynyt satelliittipaikannusjärjestelmä. GPS-aika voidaan katsoa alkaneen vuonna 1978 Navstar 1 -satelliitin laukaisun myötä. Suunnitellun kokoonpanon GPS saavutti vuonna 1995. Vuonna 2000 poistettiin siviilikäytön paikannusta heikentävä häirintä ja näin paikannuksessa saatettiin päästä jopa muutamien metrin tarkkuuteen. Järjestelmään kuuluu 31 käytössä olevaa maata kiertävää satelliittia. Jokainen satelliitti kiertää maan kaksi kertaa päivässä. Kiertoaika tarkalleen on 11 tuntia 58 minuuttia. Kuvassa 1 on havainnekuva satelliitista. (Poutanen 2016.)



KUVA 1. Artistin havainnekuva GPS Block II-F satelliitista maan kiertoradalla (NASA).

2.3 GLONASS

Global Navigation Satellite System eli Glonass on venäläinen yhdysvaltaisten GPS:ää vastaava järjestelmä, jonka suunnittelu aloitettiin 1982 Neuvostoliitossa. Järjestelmään kuuluu 24 satelliittia kolmella eri ratatasolla. Glonass-satelliittien radat on suunniteltu antamaan napa-alueilla GPS-järjestelmää parempi peitto. Satelliittien kiertoaika on 11 tuntia 15 minuuttia. (Hyttinen, Huhtinen n.d.)

2.4 Galileo

Galileo on Euroopan Unionin vastine GPS:lle. Sen käyttö on avointa kaikille ja ilmaista. Galileo pystyy parempiin tarkkuuksiin, kuin GPS, GLONASS ja BeiDou. Galileon HAS (High Accuracy Service) tarjoaa 20 cm tarkkuuden horisontaalisesti ja 40 cm vertikaalisesti. Ensimmäinen testisatelliitti laukaistiin 2005 ja ensimmäinen operatiiviseen käyttöön tarkoitettu satelliitti laukaistiin 2011. Helmikuuhun 2023 mennessä satelliitteja oli laukaistu 24. (Arianespace 2011, EUSPA 2024.)

2.5 BeiDou

BeiDou on Kiinan valtion vuonna 2000 ensimmäisen kerran laukaisema satelliittipaikannusjärjestelmä. Vuonna 2023 käytössä olevia satelliitteja oli 35 jos laskee mukaan varasatelliitit. Alkuun järjestelmä toimi vain paikallisesti johtuen vähäisestä satelliittien määrästä, mutta vuonna 2020 järjestelmä saavutti globaalin järjestelmän kyvykkyyden. (Wikipedia n.d.)

2.6 Muut paikannussatelliitit

2.6.0 QZSS

QZSS on Japanin valtion kehittämä paikallinen satelliittijärjestelmä Aasia-Oseania alueille. Järjestelmän tehtävä on parantaa jo olemassa olevan GPS:n antamaa tarkkuutta. Satelliitteja on neljä ja toukokuussa 2023 ilmoitettiin, että järjestelmä laajenee täysin itsenäiseksi 11 satelliitin paikannusjärjestelmäksi. (Navipedia n.d.)

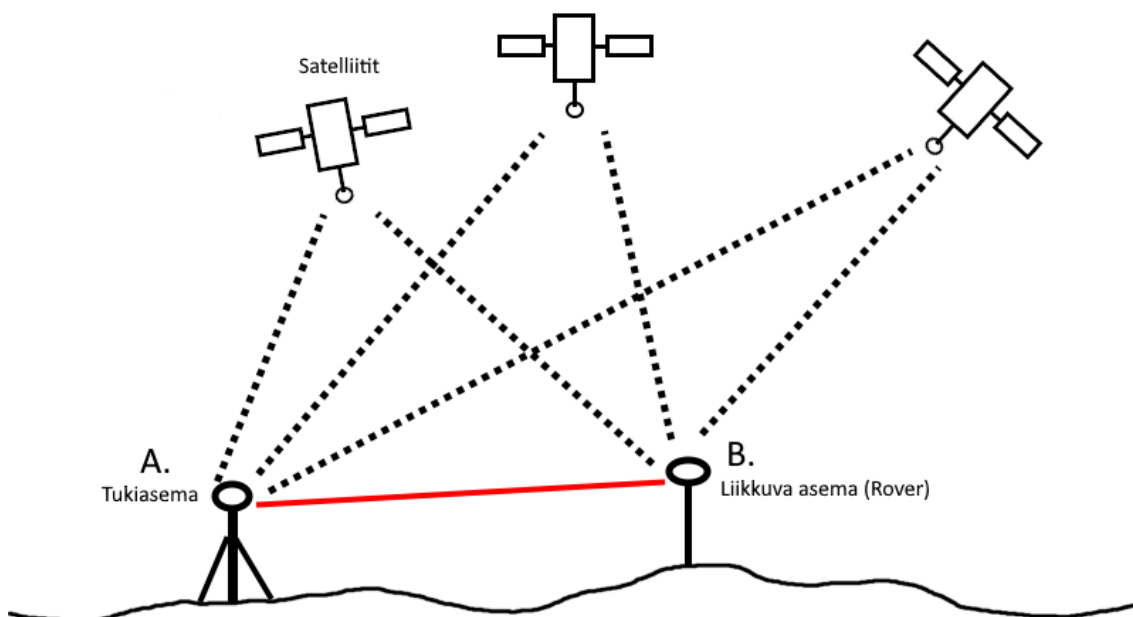
2.6.1 IRNSS

IRNSS eli Indian Regional Navigation Satellite System on Intian valtion kehittämä paikallinen paikannusjärjestelmä. Järjestelmän ensimmäinen satelliitti laukaistiin vuonna 2013 ja vuodesta 2024 käytössä on 7 satelliittia. (URSC n.d.) Järjestelmän kehitystä motivoi vuonna 1999 tapahtunut Kargilin konflikti Intian ja Pakistanin välillä, kun Intia pyysi sotilaskäyttöön GPS:n, mutta Yhdysvallat eivät sitä myöntäneet (Srivastava 2014). Tapahtumasarja korostaa satelliittipaikannusjärjestelmien oleellista roolia maailmanpolitiikassa.

3 KINEMAATTINEN PAIKANNUS

3.1 Toiminta

Reaaliaikaisella kinemaattisella mittauksella on mahdollista päästä senttimetri-tarkkuuksiin paikannuksessa. RTK-korjauksessa tukiasema lähettää havaintodatan RTCM-koodattuna liikkuvalle asemalle. Tähän voidaan käyttää joko internetiä tai erillistä radiolähetintä. Kuviossa 1 on tunnetussa paikassa oleva tukiasema, jonka avulla määritellään liikkuvan aseman sijainti. Liikkuva asema voi olla mikä vain paikannusta vaativa järjestelmä, esim. kaivinkone. Kuviossa 1 on punaisella merkittynä tukiaseman liikkuvalla asemalle lähettämä korjaussignaali.



KUVIO 1. Havainnekuva RTK-korjauksesta. (Joonas Korpela).

Mittauksessa tarvitaan yksi tarkkaan tunnetussa pisteessä sijaitseva referenssi-
maa-asema. Paikantava vastaanotin vertaa satelliittien lähettämää koodia lait-
teen itsensä generoimaan koodiin ja mittaa näiden vertailujen perusteella satel-

liitin lähettämän signaalin kulku-aikaa. Vähintään viiden satelliitin lähetyksiä seuraamalla vastaanotin laskee paikkansa. Perinteisessä RTK-mittauksessa tukiaseman on oltava alle 10-15 kilometrin etäisyydellä. Syynä on pääasiassa troposfäärin vaikutus etäisyyden kasvaessa. Jos etäisyys on liian pitkä, signaaliviiveiden erot vektorin päiden välillä kasvavat liian suuriksi, eikä kokonaistuntemattomia pystytä enää ratkaisemaan. (Poutanen 2016.)

Novatronin käyttämällä Trimblen vastaanottimilla etäisyyden kasvattaminen yhdellä kilometrillä tukiasemaan heikentää paikannuksen tarkkuutta noin 1 millimetrin pysty- ja vaakasuunnassa. Lopullinen virhe Trimblen vastaanottimella on laskehtavissa kaavalla:

$$\text{Virhe vaakasuunnassa} = 8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$$

$$\text{Virhe pystysuunnassa} = 15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$$

Jossa ppm on roverin ja tukiaseman välinen etäisyys kilometreinä. Vähimmäisvirhe Trimblen vastaanottimella minimietäisyydellä on 8 mm vaakasuunnassa ja 15 mm pystysuunnassa (Trimble, n.d.). Radiomodeemia käyttäessä rajoittavana tekijänä voi olla radion kuuluvuus, kun taas mobiiliverkkoa hyödyntäessä tätä rajoitusta ei ole.

3.2 Käyttö infrarakentamisessa

Viimeisen vuosikymmenen aikana kinemaattisen paikannuksen hyödyntäminen maanrakentamisessa on tuonut suuren muutoksen alalle. Tämä näkyy erityisesti kaivinkoneissa, joiden nykyaikaiset kuvan 2 kaltaiset koneohjausjärjestelmät ovat poistaneet tarpeen maastonmerkinnälle. Kaivinkoneen kauhan työmaakorko on aina kuljettajan tiedossa, eikä sihtilappujen tai lasereiden pystytystä tarvita. (Novatron Oy n.d.)



KUVA 2. Xsite® PRO 3D tarjoaa työmaakoneen kuljettajalle runsaasti tietoa koneen sijainnista suhteessa työmaasuunnitelmaan (Novatron Oy).

RTK-paikannuksen ansiosta työmaakoneen sijainti tiedetään senttimetritarkkuudella, joka puolestaan mahdollistaa koneen sijoittamisen virtuaaliselle kolmiulotteiselle työsuunnitelmalle. Työn tehostuminen näkyy laaja-alaisesti mm. polttoaine- ja konekustannuksissa, ylitöiden vähenemisenä, tasalaatuisena työnä, työturvallisuudessa, dokumentoinnissa ja työn helpottumisena haastavissa sääolosuhteissa. (Novatron Oy n.d.)

4 KORJAUSVIESTIN STANDARDIT

4.1 RTCM SC-104

RTCM SC-104 on kommunikaatioprotokolla differentiaalipaikannuksen (DGPS) lähettämistä toiselta tukiasemalta liikkuvaa GPS:ää varten. Standardin nimi on lyhenne komitealta, joka loi sen (Radio Technical Commission for Maritime Services – Special Committee 104). RTCM versio 1 työstäminen aloitettiin 1985, mutta kyseistä versiota ei ikinä käytetty laajasti. Tämä johtui siitä, että kehityksen alkuvaiheessa yhteensopivuutta muiden järjestelmien kanssa ei mietitty tarpeeksi. Puolestaan vuonna 1990 julkaistu versio 2 sai laajan käyttäjäkunnan. RTK-korjaukseen RTCM-protokollaa oli mahdollista käyttää vuonna 1994, kun 2.1 versiossa lisättiin viestityypit 18 ja 19 koodidatalle ja kantoaalto-datalle, sekä viestityypit 20 ja 21 RTK kantoaaltokorjaukselle ja koodikorjaukselle. RTCM 2 on erityisesti merenkulussa paljon käytetty standardi. (Sass 2020.)

Täysin uusi viestiformaatti kehitettiin vuonna 2003, kun standardin versio 3 julkaistiin. Uusi versio paransi tehokkuutta, joka oli erityisen tärkeää RTK-korjauksessa. Mentäessä versioon 3.1 nimeämisstandardia muutettiin ja tästä versiosta lähtien standardi tunnettiin nimellä "RTCM Standard 10403.1". Nykyisin viimeisin saatavilla oleva versio on RTCM 3.4, eli "RTCM Standard 10403.4", joka on ollut saatavilla 2023 joulukuusta lähtien. (RTCM n.d.)

4.2 NTRIP

NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) on sovellustason protokolla, joka on tarkoitettu satelliittipaikannusjärjestelmien (GNSS) tietojen suoratoistoon internetin kautta. Se on yleinen, tilaton protokolla, joka perustuu Hypertext Transfer Protocol HTTP/1.1:een. HTTP-objektit on laajennettu GNSS-tietovirroiksi. NTRIP on RTCM-standardi, joka on suunniteltu levittämään differentiaalikorjaustietoja (esim. RTCM-104-muodossa) tai muita GNSS-suoratoistotietoja paikallaan oleville tai liikkuville käyttäjille internetin kautta, mahdollistaen samanaikaiset PC-, kannettava tietokone-, tai vastaanotinyhteydet lähetyspalve-

limeen. Määritys on standardoitu RTCM:n toimesta. NTRIP:in kehitti Saksan liittovaltion kartografia- ja geodeettinen laitos (BKG) sekä Dortmundin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitos. NTRIP julkaistiin syyskuussa 2004 ja nykyinen versio-numero on 2.0. (BKG n.d.)

5 RTMC-VIESTITYYPPEJÄ

5.1 RTCM 2 ja RTCM 3 -viestien rakenne-erot

RTCM SC-104 standardin kehitys on ollut nopeaa ja käyttäjien vaatimukset siltä kasvaa vuosi vuodelta. Etenkin uusien satelliittipaikannusjärjestelmien valmistuminen lisäsi tarvetta uusille viestityypeille. RTCM-standardin versio 2 kärsi tehotomasta viestin rakenteesta. Tämä korjattiin versiossa 3, kun uusi tehokkaampi viestien koodaustapa kehitettiin. Kaikki RTCM 2.x -viestit koodataan käyttäen järjestelmää, jossa on 30 bitin sanat ja 6-bittinen pariteettikenttä, joka ulottuu viestistä seuraavaan. Kun ilmaistaan oktetteina (kuten todennäköisesti voi nähdä missä tahansa NTRIP-datavirrassa), 30 raakabittiä ilmaistaan 5 oktettissa (tavua), joihin on lisätty merkki/väli yläkahteen bittiin (Snip 2017). Tämä melko tehoton koodaustapa juontaa juurensa RTCM SC-104 -jäsenien varhaiseen tahtotilaan noudattaen alkuperäistä alikehyskoodausta, jota käytetään edelleen GPS 50bps -datavirrassa. RTCM 3 on huomattavasti tehokkaampi rakenteeltaan, kuin RTCM 2. Viestin rakenne koostuu kiinteästä 8-bittisestä esipuheesta, 10-bittisestä viestin pituuden määritelmästä, muuttuvan pituisesta tietoviestistä ja 24-bittisestä tarkistussummasta. (SingularXYZ 2022.)

Siinä missä RTCM 2 joutuu lähettämään erikseen viestityyppejä, RTCM 3 voi lähettää ne samalla. Jos oletetaan, että käytettävissä on 10 satelliittia, voi näiden kahden version kaistankäyttöä vertailla seuraavalla tavalla:

RTCM 3

8 bits (preamble) + 6 bits (reserved) + 10 bits (message length) + 64 bits (header)
 + 10 satellites × 101 bits (body) + 6 bits (fill bits) + 24 bits (CRC parity) = **1128 bits = 141 bytes**

RTCM 2

Message Type 18 for carrier phase for L1: 2 words (header) + 1 word (measurement time) + 2 words × 10 satellites = 690 bits

Message Type 19 for pseudo-range for CA code: 2 words (header) + 1 word (measurement time) + 2 words × 10 satellites = 690 bits

Message Type 18 for carrier phase for L2: 2 words (header) + 1 word (measurement time) + 2 words × 10 satellites = 690 bits

Message Type 19 for pseudo-range for P code: 2 words (header) + 1 word (measurement time) + 2 words × 10 satellites = 690 bits

= 2760 bits = 345 bytes

Saman asian tekemiseen RTCM 3 tarvitsee siis 10 satelliittia käytettäessä 1632 bittiä vähemmän. Tämä on netin yli reaaliaikaisesti lähetettävälle viesteille erittäin tärkeä ominaisuus. (Heo ym. 2009.)

5.2 RTK-paikannukselle tärkeät viestityypit

Taulukossa 1 esitetyt RTCM 3 -formaatin viestit ovat vain murto-osa yhä laajentuvasta standardista. Näistä on kuitenkin mahdollista määritellä vähin tarvittava määrä RTK-paikannuksen toteuttamiseen. Sillä oletuksella, että käyttäjälle riittää pelkästään GPS satelliitit, tarvitaan viestityypit 1004 ja 1006. Vaihtoehtoisesti näistä viesteistä löytyy supistetummat vaihtoehdot, eli 1003 ja 1005, jotta voidaan säästää kaistanleveyttä. (Rubinov ym. 2011.) Viestityypit 1003 tai 1004 antavat välttämättömän havaintodatan ja viestityypit 1005 tai 1006 puolestaan tukiaseman tarkan sijainnin, jota ilman ei ole mahdollista laskea roverin sijaintia RTK:n senttimetritarkkuudella.

Määrittäessä RTK:lle välttämättömät viestityypit on tärkeätä huomioida, että 1003 tai 1004 viestin antama havaintodata on mahdollista saada myös muista viestityypeistä. Jos satelliittivastaanotin tukee MSM-viestejä, jotka ovat RTCM 3.2 -versiosta lähtien saatavilla, voi 1003 ja 1004 viestit korvata eri viestillä. Tässä tapauksessa havaintodata tulee MSM-viesteistä. Näitä ovat taulukossa 1 esitetyt viestityypit 1074–1077 kun käytettävä satelliittipaikannusjärjestelmä on GPS. Viestityypeistä löytyy myös riisutummat versiot tilanteita varten, jossa laajakaista on rajallinen. Näitä viestejä ovat 1071–1073, joista 1071 ei kykene RTK:lle tarvittavaan laskentaan, koska kantoaalto data (PhaseRange) puuttuu. Tämä viesti soveltuu vain DGNS:n tarjoamaan tarkkuuteen. Muut MSM viestit, eli 1072–1077 mahdollistavat RTK:n toiminnan. (Tersus GNSS n.d.)

Vaikka teoriassa näiden viestien pitäisi riittää toimivan RTK-paikannuksen aikaansaamiseksi, on pidettävä mielessä satelliittivastaanottimen valmistajan omat vaatimukset. Esimerkiksi osa valmistajista voi vaatia 1008 viestin, joka ei lopulta ole samalla tavalla sijainnin laskennassa välttämätön, kuten aikaisemmin mainitut viestit. Tämän vaatimuksen voi ohittaa lisäämällä keinotekoisen viestin RTCM-lähetukseen. (SNIP 2020.) Johtuen eri valmistajien satelliittivastaanottimista ja niiden toiminnasta, on hyvä huomioida valmistajien yksilökohtaiset vaatimukset.

TAULUKKO 1. RTCM 3.2 -viestityypit.

Viesti- tyyppi	Sisältö
1-100	Kehitysvaiheessa olevat viestityypit. Näitä ei ole tarkoitettu käyttöön.
1001	Vain GPS:n L1 koodi- ja kantoaalto-data.
1002	Vain GPS:n L1 koodi- ja kantoaalto-data. Suurempi kaistanleveys, kuin 1001, mutta yleensä viestiä 1004 käytetään mieluummin, vaikka olisikin vain L1 saatavilla.
1003	GPS:n L1 ja L2 koodi- ja kantoaalto-data. Tätä ei yleensä käytetä. Viestityyppi 1004 on suositumpi.
1004	GPS:n L1 ja L2 koodi- ja kantoaalto-data + koodin signaali-kohinasuhde (SNR) Yleisin käytössä oleva viestityyppi.
1005	Antennin referenssipisteen (ARP) (X, Y, Z)-koordinaatit. Tätä ei yleensä käytetä. Viestityyppi 1006 on suositumpi.
1006	Antennin referenssipisteen (ARP) (X, Y, Z)-koordinaatit + ARP:n korkeusmittauspisteestä
1007	Antennin ja radomin tyyppi
1008	Antennin ja radomin tyyppi; Antennin sarjanumero

1011	GLONASS:n koodi- ja kantoaalto data
1012	GLONASS:n koodi- ja kantoaalto data + koodin signaali-kohinasuhde (SNR)
1013	System Parameters, time offsets, lists of messages sent Parametrejä: Tukiaseman ID, modifioitu juliaaninen päivä (MDJ), karkaussekunnit (GPS-UTC ero), yms.
1017	GPS Combined Geometric and Ionospheric Correction Differences
1019	GPS Broadcast Ephemeris (orbits)
1020	GLONASS Broadcast Ephemeris (orbits)
1029	Unicode Text String (used for human readable text)
1033	Receiver and Antenna Descriptors
1045	Galileo Broadcast Ephemeris
1074	GPS-havainnot (MSM4) Full GPS Pseudoranges and PhaseRanges + CNR
1075	GPS-havainnot (MSM5) Full GPS Pseudoranges, PhaseRanges, PhaseRangeRate + CNR
1076	GPS-havainnot (MSM6) Full GPS Pseudoranges and PhaseRanges + CNR (high resolution)
1077	GPS-havainnot (MSM7) Full GPS Pseudoranges, PhaseRanges, PhaseRangeRate + CNR (high resolution)
1084	GLONASS-havainnot (MSM4)

1094	Galileo-havainnot (MSM4)
1114	QZSS-havainnot (MSM4)
1124	BeiDou-havainnot (MSM4)
1230	Glonass koodi- ja vaihehavainnot

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoite oli selvittää RTCM 3 -standardissa määritetyistä viesteistä tärkeimmät RTK:n toiminnalle. Tiedonlähteenä käytin niin aiheeseen liittyviä tutkimuksia, kuin satelliittivastaanotinvalmistajien omia verkkosivuja. Tutkiessani viestityyppejä onnistuin määrittelemään tarkasti tarvittavat viestityypit ja perustelemaan niiden tarpeellisuuden. Opinnäytetyössä esiintyvää tietoa voi käyttää analysoitaessa RTCM-datavirtaa ja määrittäessä, onko annetussa RTCM-lähe-tyksessä tarvittavat viestityypit, jotta satelliittipaikannus on mahdollista toteuttaa. On kuitenkin hyvä huomioida opinnäytetyön rajallisuus. Työ keskittyy vain RTCM 3 -versioiden viestityyppeihin. Eri valmistajien vaatimukset voivat tehdä tietyistä viestityypeistä pakollisia ja puolestaan olemassa olevien viestityyppien tuki saatetaan lakkauttaa, kuten RTCM 2 -versiossa on tapahtunut.

Novatron Oy saa työstä tietoa, joka antaa hyvän lähtökohdan kaikista tärkeimpien RTCM 3 -viestityyppien ymmärtämiseen. Tätä tietoa voidaan käyttää esimerkiksi RTCM-tukiaseman pystyttämiseksi tai vianhakutilanteissa. Opinnäytetyö antaa myös kattavan tietoisuuden RTCM-standardin kehityksestä, mistä voi olla hyötyä perehtyessä tulevaisuuden uusiin versioihin ja niiden muutoksiin. Kun ymmärtää standardin kehitykseen vaikuttanutta historiaa, voi ymmärtää sen tulevaisuuden muutoksien juurisyitä. Jatkotutkimusta aiheesta voisi tehdä esimerkiksi selvittämällä keskimäärin käyttäjien keskuudessa suosituimmat viestityypit.

LÄHTEET

Arianespace. 2011. Arianspace scores a double success with its historic first Soyuz launch from the Spaceport. Verkkosivu. Viitattu 17.9.2023. Saatavissa: <https://web.archive.org/web/20111022201104/http://www.arianespace.com/news-mission-update/2011/vs01-success.asp>

BKG. n.d. Ntrip - Networked Transport of RTCM via Internet Protocol. Verkkosivu. Viitattu 11.1.2024. Saatavissa: <https://igs.bkg.bund.de/ntrip/>

EUSPA. 2024. Galileo High Accuracy Service Definition Document (HAS SDD). Pdf-dokumentti. Viitattu 5.4.2024. Saatavissa: https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-HAS-SDD_v1.0.pdf

Heo, Y., Yan, T., Lim, S., & Rizos, C. 2009. International standard GNSS real-time data formats and protocols. IGSS Symposium Conference 2009. Verkkosivu. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/263937442_International_standard_GNSS_real-time_data_formats_and_protocols

Hyttinen, J., & Huhtinen, M. GPS ja muut paikannusjärjestelmät. n.d. Pdf-dokumentti. Viitattu 3.4.2024. Saatavissa: <https://vanha.karelia.fi/metsa/paikkatie-towww/paikannus/paikannus.pdf>

NASA, "File:GPS_Satellite_NASA_art-iif.jpg" Wikipedia. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/File:GPS_Satellite_NASA_art-iif.jpg. [Haettu 4.3.2024.].

Navipedia. n.d. QZSS. European Space Agency. Verkkosivu. Viitattu 25.10.2023. Saatavissa: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/QZSS>

Novatron Oy, "Xsite® PRO 3D", Novatron Oy. Saatavissa: <https://novatron.fi/koneohjaus/kaivinkoneisiin/xsite-pro-edistynyt-3d/>. [Haettu 7.5.2024.].

Novatron Oy. n.d. Mitä on koneohjaus. Verkkosivu. Viitattu 17.1.2024. Saatavilla: <https://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>

Poutanen, M. 2016. Satelliittipaikannus. Ursan julkaisuja 152. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa® ry. AS Pajo Tallinna.

RTCM. n.d. RTCM Published Standards & Publications. Verkkosivu. Viitattu 16.1.2024. Saatavissa: <https://www.rtc.org/publications>

Rubinov, E., Collier, P., Fuller, S., & Seager, J. 2011. Review of GNSS Formats for Real-Time Positioning. AfricaGEO Conference 2011. Pdf-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Eldar-Rubinov-2/publication/268403391_Review_of_GNSS_Formats_for_Real-Time_Positioning/links/546f3db00cf2d67fc0310356/Review-of-GNSS-Formats-for-Real-Time_Positioning.pdf

Sass, J. 2020. Spectra Geospatial Webinar, What is RTCM. Videotiedosto. [Haettu 20.9.2023.] Saatavissa: https://www.youtube.com/watch?v=6d_w8OovG8M

SingularXYZ. 2022. Tech Chat – What is RTCM format in RTK correction data transmission. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. Saatavissa: <https://www.singularxyz.com/471.html>

SNIP. 2017. RTCM2 Message List. Verkkosivu. Viitattu 29.1.2024. Saatavissa: <https://www.use-snip.com/kb/knowledge-base/rctm-2-message-list/>

SNIP. 2020. Adding MT1008 RTCM Messages. Verkkosivu. Viitattu 16.2.2024. Saatavissa: <https://www.use-snip.com/kb/knowledge-base/adding-mt1008-rctm-messages/>

SNIP. 2023. RTCM 3 Message List. Verkkosivu. Viitattu 29.1.2024. Saatavissa: <https://www.use-snip.com/kb/knowledge-base/rctm-3-message-list/>

Srivastava, I. 2014. How Kargil spurred India to design own GPS. The Times of India. Verkkosivu. Viitattu 17.10.2023. Saatavissa: <https://timesofindia.indiatimes.com/home/science/How-Kargil-spurred-India-to-design-own-GPS/articleshow/33254691.cms>

Tersus GNSS. n.d. New additions in RTCM-3 and What is MSM. Verkkosivu. Viitattu 24.3.2024. Saatavissa: https://www.tersus-gnss.com/tech_blog/new-additions-in-rctm3-and-What-is-msm

Trimble. n.d. Specifications Verkkosivu. Viitattu 25.9.2023. Saatavissa: https://receiverhelp.trimble.com/r750-gnss/Specs_R750.html?TocPath=_____6

URSC. n.d. Space Segment. Verkkosivu. Viitattu 22.3.2024. Saatavissa: <https://www.ursc.gov.in/navigation/irnss.jsp>

Wikipedia. n.d. BeiDou. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. Saatavissa: <https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou>