

ТОЧНОСТ И ИЗТОЧНИЦИ НА ГРЕШКИ ПРИ RTK ИЗМЕРВАНИЯТА

Николай Димитров (BG)

РЕЗЮМЕ

Позиционирането с Глобалните навигационни спътникови системи (GNSS) е една бързо развиваща се среда, подобренията в хардуера и софтуера на приемниците, увеличените възможности за безжична комуникация, нови сигнали и допълнителни спътникови системи правят значително по-лесно, по-бързо и по-точно позиционирането в Реално време, а вероятно ще бъде още по-развито в близко бъдеще. В публикацията е направен анализ на източниците на грешки при GNSS измерванията в реално време. Систематизирани са възможните източници на грешки от йоносферана и тропосферата. Описано е влиянието на полевите условия върху прецизността на измерванията. Дават се насоки за най-добри практики при полевите измервания за получаване на надеждни резултати от измерванията в реално време.

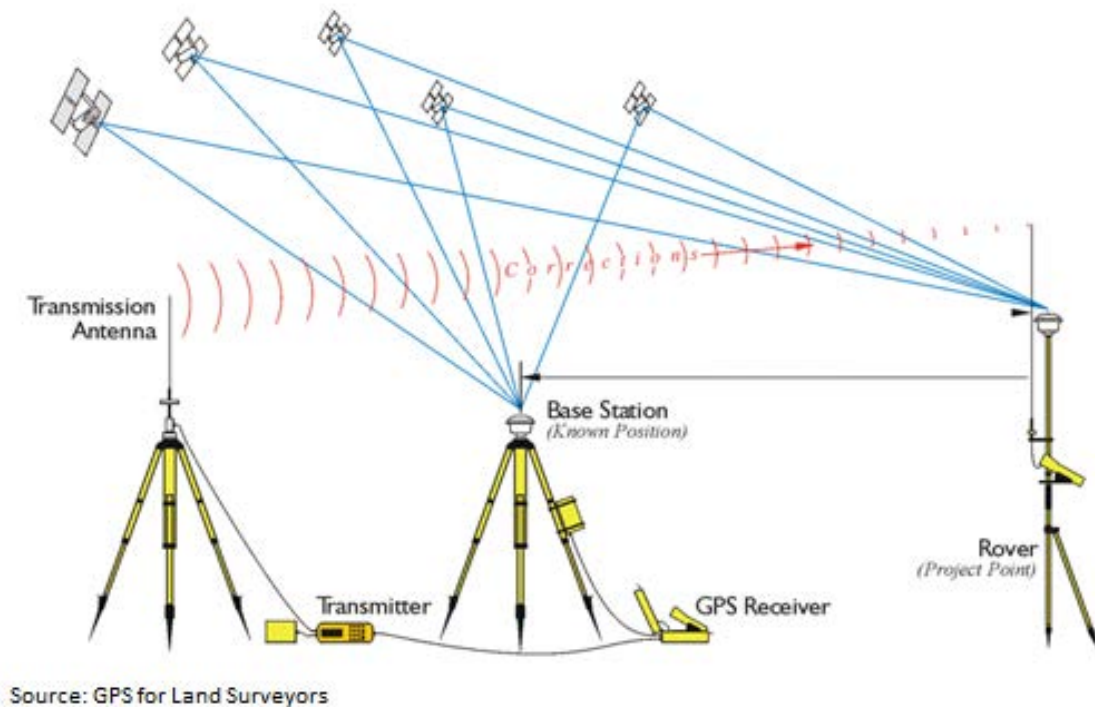
КЛЮЧОВИ ДУМИ: GNSS, RTK, ИЗТОЧНИЦИ НА ГРЕШКИ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

При измерванията в Реално време се използват базовите вектори между фазовия център на антената на стационарен базов приемник към фазовия център на антената на ровъра, като се използва Земно-фиксирана координатна система, в която референтната система, се излъчват и орбитите на спътниците. Поради многото променливи, свързани с измерванията в Реално време обаче, надеждността на получените позиции е много по-трудна за проверка, отколкото при статично GNSS позициониране. Безбройните включени променливи изискват добри познания и внимание към детайлите от полевия оператор.

2. ПОЗИЦИОНИРАНЕ В РЕАЛНО ВРЕМЕ

При позиционирането в Реално време се измерват разликите във фазовите цикли на вълната, във всяка налична честота за всеки спътник, между базовата станция и ровъра в общите епохи на измерване (Фигура 1). По-голямата част от грешките се елиминират като просто се приеме, че атмосферните условия са идентични в базата и ровъра. Използването на повече сателитни системи осигурява допълнителна сателитна видимост, а също така дава и по-добра геометрия на решението. При включване на повече сателитни системи трябва да се знае, че възникват повече неизвестни. Например при включване на ГЛОНАСС, часовниците не са синхронизирани с тези на GPS и възниква още едно неизвестно в уравненията, така за получаване на решението ще бъдат необходими повече сателити. Производителите използват различни техники на обработка на данните като някои от тези техники са широко известни, а някои производители използват собствени алгоритми, които не разпространяват.



Фигура 1. Конфигурация на апаратурата при RTK (Van Sickle, J., 2015).

За да се добие представа за сложността на изчисленията, които се извършват за кратко време на Фигура 2 се вижда, че базата и ровъра приемат сигнал от спътника, базовата станция трябва да обработи данните, да изчисли корекциите и да ги изпрати на ровъра. Ровъра от своя страна приема информацията, синхронизира времето на получаване, изчислява позицията, в повечето случаи ги трансформира в някаква проекция и ги показва на дисплея. Целия този процес минава за около 1 – 2 секунди.



Фигура 1. Времева диаграма на изчисленията при RTK (NOAA, 2014).

3. АТМОСФЕРНИ ГРЕШКИ

Нарушенията и вариациите в атмосферата могат да повлияят на точността и целостта на измерванията в Реално време до степен, която прави решението твърде неточно за геодезия и инженерни приложения. Атмосферните условия могат да варират в сравнително малки географски райони, както и в кратки периоди от време. При моделирането на грешките се разглеждат два слоя, които са Йоносфера и Тропосфера. Заредените частици в йоносферата забавят и пречупват радиосигналите. Това е дисперсионна среда, тъй като влияе на различните честоти в зависимост от дължините на вълните им. Закъснението може да се изчисли, защото скоростта на забавяне е обратно пропорционална на квадрата на честотата. Освен това „времето“ в тропосферата пречупва радио вълните, а водните пари ги забавят (мокро закъснение), но не със същата скорост като йоносферата. Това е недисперсионна среда, тъй като засяга еднакво всички честоти, но е специфична за района, в който се извършват измерванията (NOAA, 2011, 2014).

3.1. Йоносферна грешка

Геомагнитни бури: смущения в Магнитното поле на Земята, причинени от пориви на слънчевия вятър (външния поток от слънчеви частици и магнитни полета от слънцето). Може да повлияе на ориентацията на спътниците, също така на орбитата, излъчването на орбитна информация. Може да причини невъзможност за инициализация за GNSS при потребителя и радио проблеми. Препоръка: да не се извършват измервания по време на бурни събития от ниво G3 - G5.

Слънчеви радиационни бури: Повишени нива на радиация от Слънцето, които се появяват, когато броят на енергийните частици се увеличи. Силните до екстремни бури могат да повлияят на спътниковите операции, ориентацията и комуникацията. Възможни са влошена, или загуба на радиовръзка най-много в северните райони на Земята. Може да повлияе на нивото на шума в приемника и да влоши точността. Препоръка: да не се извършват измервания по време на бурни събития от ниво S4 - S5.

Радиозатъмнения: Смущения в йоносферата, причинени от рентгенови лъчи от Слънцето. Може да причини периодична, влошена или загуба на радиовръзка. Може да увеличи шума в приемника, причинявайки влошена прецизност. Препоръка: да не се извършват измервания по време на бурни събития от ниво R3 - R5 (NOAA, 2014).

3.2. Тропосферна грешка

Тропосферните модели по принцип са заложили в софтуерните компоненти, но те не отчитат локалните колебания при сух и влажен климат. Най-голямо влияние за получаване на грешка от тропосферата има наличието на водна пара, защото трудно може да се моделира като ефект. Тропосферната грешка допринася главно за грешката във височината на определяемата точка. Препоръка: измерванията в реално време да не се извършват в очевидно различни условия от базата до ровъра (NOAA, 2014).

4. ПОЛЕВИ УСЛОВИЯ

4.1. Multipath

Получаването на отразен сигнал в ровъра не може лесно да се открие. По принцип всичко, което може да отразява сателитен сигнал, може да предизвика такъв ефект и да въведе грешка в координатните изчисления. Отраженият сигнал има по-дълъг път и съответно по-дълго време за пътуване от сателита до приемника и въвеждането му в изчисленията създава шум в решението и влошаване на точността. Дървета, сгради, високи автомобили, вода, метални електрически стълбове и др., могат да бъдат източници на отразени сигнали. Грешката получена от този ефект се изразява в най-голяма степен във височината на определяемата точка.

4.2. Маска по височина

Тъй като сателитните сигнали имат най-дългите пътища през атмосферата при ниски височини над хоризонта, изгодно е да се определи граничен ъгъл, под който да се елиминират шумните данни. Това може да е от предимство, когато има много сателити на разположение, но поради препятствия, определен сателит може да бъде с по-високо ниво на шум и да се отрази на стабилното решение. Това може да се реши с увеличаване на маската за измервания, но това пък води до загуба на данни и може да е проблем за целостта на решението и да допринесе за по-висока от желания PDOP.

4.3. PDOP

PDOP е единица стойност, отразяваща геометричната конфигурация на спътниците по отношение на хоризонталната и вертикалната несигурност на решението. Ако спътниците са разпределени от различни страни на небето ще има по-добро решение отколкото ако са само от едната страна. По-ниските стойности на PDOP трябва да показват по-добра прецизност.

4.4. RMS

RMS е статистическата мярка за прецизност на измерването, която обикновено може да се види на контролера и показва числовото качество на решението. Трябва да се има в предвид, че много контролери показват това при доверителен интервал 95 %. RMS не е точност на получените координати. RMS показва прецизността на измерването (Dan Martin, 2016).

4.5. Латентност

Латентността е интервалът (забавянето) от получаването на сателитния сигнал и времето за обработка и изчисляване на корекциите в базовата станция излъчванто им безжично, получаване в роувъра, прилагане на корекциите към текущата обща епоха, изчисляване на координатите и показването им на дисплея. Позицията, която потребителят вижда на екрана на контролера, може да бъде със забавяне до 5 секунди, но обикновено ефективната латентност е 2 или 3 секунди.

4.6. Съотношение сигнал/шум

Съотношението сигнал/шум е съотношението на средната мощност на сигнала от спътника към средното ниво на фонен шум, дадено в децибели (dB). Съотношението сигнал/шум се обозначава със съкращението S/N или SNR. Тук приемливото ниво се определя от всеки производител и няма определени стандартни стойности. Нарастването на това съотношение може да се ползва и за откриване на наличие на получени отразени сигнали.

4.7. Комуникационни връзки

Когато радио или клетъчна комуникация стане периодична или нестабилна, но не прекъсне напълно, получените резултати ще имат по-лоша точност. Точните причини за този ефект вероятно са свързани с алгоритмите на използваните софтуери както и с проявата на латентност на измерванията. Това може да е причината, ако фирмуерът на ровъра отнема продължително време (много по-дълго от нормалното време за фиксиране), за да разреши неяснотите и да покаже фиксирана позиция. В колектора няма конкретна индикация, освен увеличаване на стойността на RMS. В действителност в литературата на различните производители на GNSS оборудване се посочва, че по-новите приемници използват по-добри RTK алгоритми и в резултат произвеждат по-добра точност при по-дълги базови линии и по-ниски маски по височина, с по-високо съотношение сигнал/шум. При измерване комуникационната връзка трябва да бъде непрекъсната. Решението трябва да се фиксира за „нормален“ период от време и трябва да остане фиксирано по време на измерването на точката. „Нормален“ период от време е този, който потребителят е виждал от опит при предишни измервания.

4.8. Повтаряемост/свръх измервания

Най-важната процедура при RTK измерванията е да се извършат повторни измервания на една и съща точка. Редица изследвания показват, че трябва да се извършат повторни измервания отместени с четири часов период. Като се има предвид, че разположението на спътниците се повтаря всеки ден 4 минути по-рано, т.е. може измерванията да се осъществят в някой следващ ден, но това да се има предвид, за да се извърши измерването при различна геометрична конфигурация на спътниците и различни условия за мултипад. Кое то ще доведе до различно геометрично решение и по-голяма надеждност на усреднения резултат (NOAA, 2014, Dan Martin, 2016).

5. ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МРЕЖОВИТЕ РЕШЕНИЯ

Производителите на софтуерни пакети за Мрежови решения препоръчват различно оптимално разстояние между станциите в една мрежа в зависимост от предлаганите видове мрежови услуги. По принцип не е прието общо правило, тъй като тези дължини са се увеличили с развитието на нови модели и технологии, но на много места може да прочетете за необходими разстояния от 50 или 70 километра (Инструкция № РД-02-20-25, 2011). Софтуерните пакети за мрежовите решения могат да предлагат множество стилове за получаване на корекции в мрежата и може да има различни препоръчителни разстояния за всеки тип (NOAA, 2013).

Един от стимулите за разработване на корекции на мрежовия стил е да се удължат дължините на базовите линии, тъй като еднобазовите линии имат по-изразено влошаване на качеството с

увеличаване на разстоянието до базата (нарастваща грешка). Например мрежова корекция на примерно разстояние от 70 километра би дала по-добри резултати по цялата дължина, отколкото сравнение на съответните единични базови наблюдения от всяка базова станция (NOAA, 2013).

Влошаване на точността може да се получи поради отказ на станциите, което е нормално да се случи. В по-гъста мрежа отказът на отделна станция може да не повлияе значително на мрежовите услуги. Ако това се получи в район с по-дълги разстояния може изчислението на корекциите да се провали или да е с голяма грешка.

При използване на мрежово решение при повишена слънчева активност, която води до повишена йоносферна активност, също могат да повлияят на приемането на GNSS сигнал в определени области.

Намаляване на грешките от тропосферата може да стане с намаляване на разстоянията между станциите в географски различни региони, например, крайбрежни райони, планински райони – такива с по-влажен климат. Въпреки че закъсненията на сигнала породени от тропосферата не са толкова големи, колкото тези от йоносферата, това не е незначително и може да се установи, че станциите трябва да са по-близо в крайбрежни зони или такива с влажен климат, отколкото в сухи пасища в другия край на мрежата (NOAA, 2013).

6. ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

Може да се използва планиране на мисия, повечето софтуерни пакети го позволяват, за да се прецени кога ще има повече спътници и съответно по-надеждно решение.

Ако е възможно да се работи при еднакви метеорологични условия между най-близката базова станция в мрежата и ровъра. Това може да помогне за свеждане до минимум на местните тропосферни разлики.

Да се прави проверка за нивата на слънчевата активност и смущения в магнитното поле на Земята. Информацията се намира в редица сайтове, включително и сайта на НИГГГ-БАН.

Винаги да се имат предвид условията за Multipath.

Да се съблюдават възможните електрически смущения от източници като предавателни антени и линии с високо напрежение. Тези смущения присъстват при предавателни линии с висока мощност, но липсват в тези с по-ниска мощност.

За постигане на високоточни резултати задължително повторно измерване, през изместен период от време. Повечето изследвания показват, че е необходимо изместване от 4 часов интервал за получаване на различно геометрично решение.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването е извършено с финансовата подкрепа на Фонд Научни изследвания. Проект "Мониторинг на геодинамични процеси в района на гр. София". Договор No КП-06-Н 34/1.

XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
“СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ”

София, 04 – 05 ноември 2021 г.

XXXI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 04 – 05 November 2021

БИБЛИОГРАФИЯ

Инструкция № РД-02-20-25 от 20 септември 2011 г. за определяне на геодезически точки с помощта на глобални навигационни спътникови системи.

Dan Martin (2016), RTN Field Procedures and Best Practices. New York State Association of Professional Land Surveyors, January 20, 2016.

NOAA, National Geodetic Survey (2011). User Guidelines for Single Base Real Time GNSS Positioning, William Henning, Lead Author, Version 2.1, August 2011.

NOAA, National Geodetic Survey (2013). National Geodetic Survey Guidelines for Real Time GNSS Networks. William Henning, Editor, NOAA Manual NOS NGS 10. Version 2.2, December 2013, National Geodetic Survey.

NOAA, National Geodetic Survey (2014). User Guidelines for Single Base Real Time GNSS Positioning. William Henning, Lead Author, Version 3.1, August 2014, National Geodetic Survey.

Van Sickle, J. (2015). GPS for Land Surveyors (4th ed.). CRC Press. Taylor & Francis Group. 368 p, ISBN 978-1-4665-8311-5, <https://doi.org/10.1201/b18480>.

ДАНИ ЗА АВТОРИТЕ

доц. д-р Николай Димитров

Национален Институт по Геофизика, Геодезия и География - БАН

ул. “Акад. Г. Бончев”, бл. 3, гр. София, 1113, България

Телефон: 02 9793313

e-mail ndimitrov@geophys.bas.bg.