



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална
практика в геодезията и свързаните с нея области

Точност и източници на грешки при RTK измерванията

Николай Димитров



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО ГЕОФИЗИКА, ГЕОДЕЗИЯ И
ГЕОГРАФИЯ



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

GNSS ПОЗИЦИОНИРАНЕ В РЕЛАНО ВРЕМЕ

Позиционирането с Глобалните навигационни спътникови системи (GNSS), е една бързо развиваща се среда, подобренията в хардуера и софтуера на GNSS, увеличените възможности за безжична комуникация, нови сигнали и допълнителни спътникови съзвездия правят значително по-лесно, по-бързо и по-точно позиционирането в Реално време, а вероятно още по-развито в близко бъдеще.

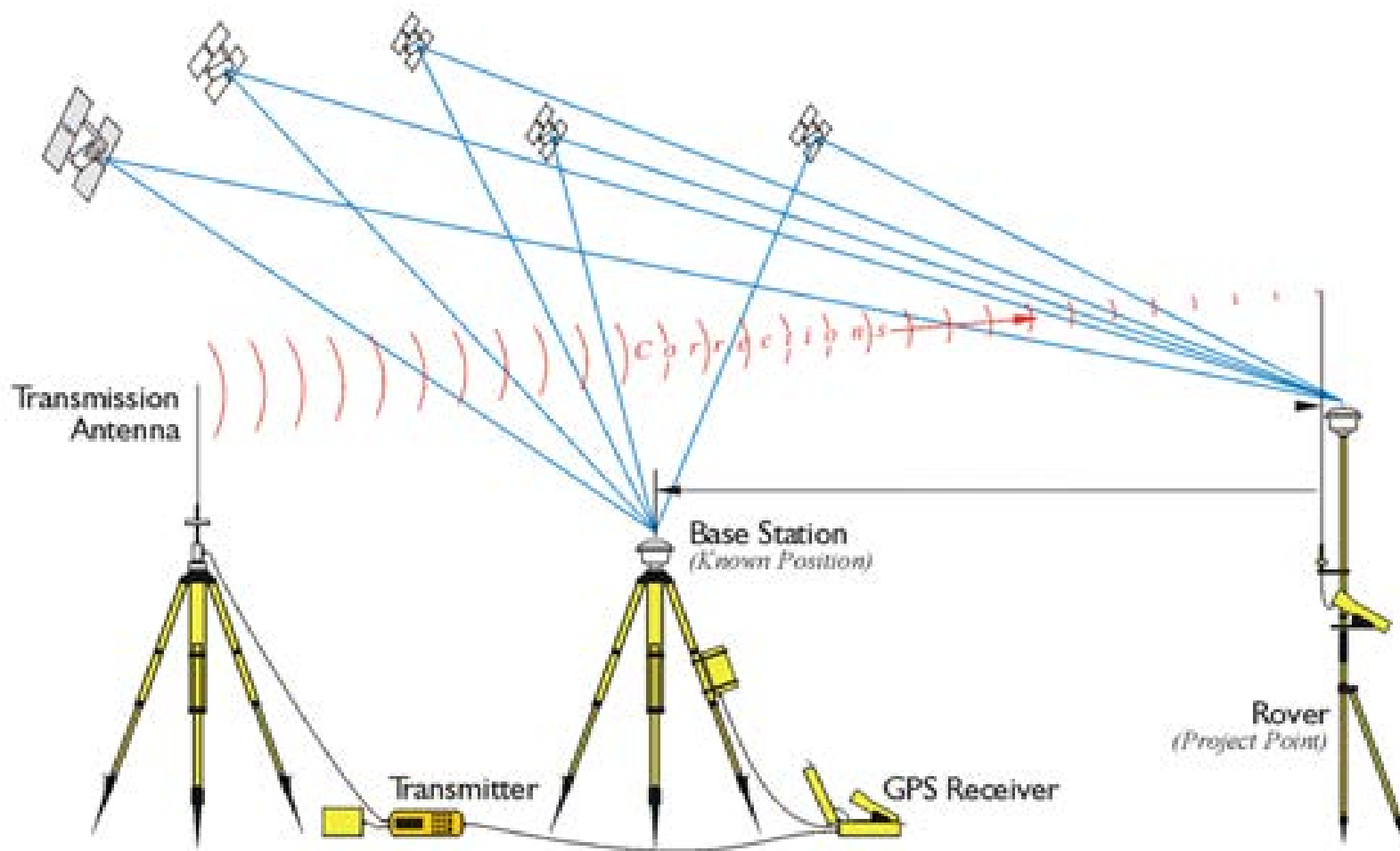
При измерванията се използват базовите вектори между фазовия център на антената (APC) на стационарен базов приемник към фазовия център на антената (APC) на ровъра, като се използва Земно-фиксирана координатна система (ECEF) X, Y, Z, в която референтна система, се излъчват и орбитите на спътниците.

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.



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области



Source: GPS for Land Surveyors



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

При позиционирането в Реално време се разчитат разликите във фазовите цикли на вълната, във всяка налична честота за всеки спътник, между базовата станция и ровъра в общите епохи на измерване. 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, така за получаване на решението ще бъдат 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.



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

За да се добие представа за сложността на изчисленията, които се извършват за кратко време на диаграмата 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 положението на точките, в повечето случаи ги трансформира в някаква проекция и ги показва на дисплея. Целия този процес минава за около 1 – 2 секунди.





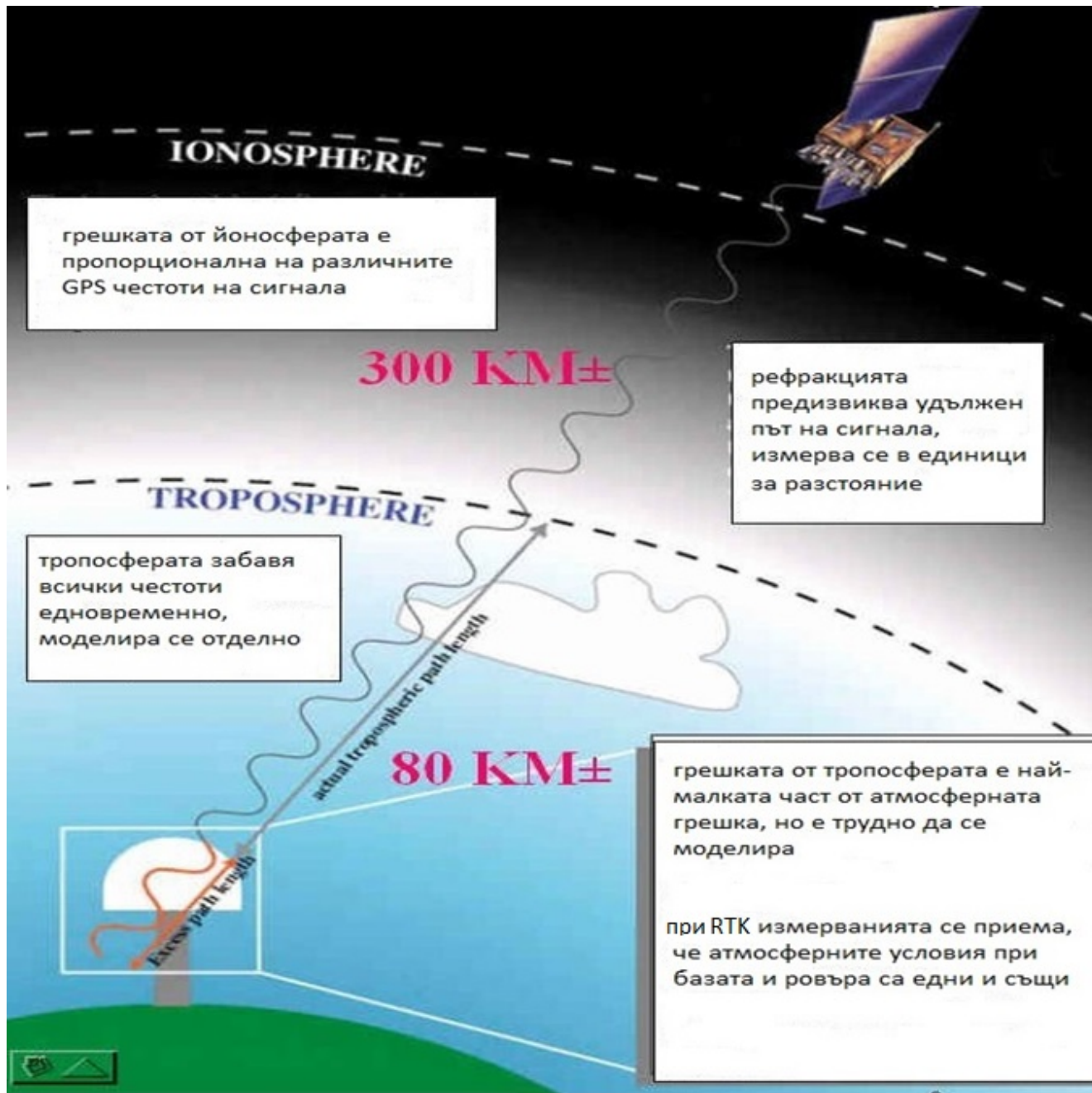
XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

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 региони, както и в кратки периоди от време.

- При моделирането на грешките се разглеждат два слоя, които категоризират като Йоносфера и Тропосфера.
- Заредените частици в йоносферата забавят и пречупват радиосигналите. Това е дисперсионна среда, тъй като влияе на различни честоти в зависимост от дължините на вълните им. Закъснението всъщност може да се изчисли, защото скоростта на забавяне е обратно пропорционална на квадрата на честотата.
- Освен това „времето“ в тропосферата пречупва радио вълните и 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.





XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

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.

Препоръки: Да не се извършват измервания по време на бурни събития от ниво G3 - G5. (5 степенна скала).

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.

Препоръки: Да не се извършват измервания по време на бурни събития от ниво S4 - S5. (5 степенна скала).

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.

Препоръки: Да не се извършват измервания по време на бурни събития от ниво R3 - R5. (5 степенна скала).



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

ТРОПОСФЕРНА ГРЕШКА

Тропосферните модели по принцип са заложи 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.

Препоръки: измерванията в реално време да не се извършват в очевидно различни условия от базата до ровъра.



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

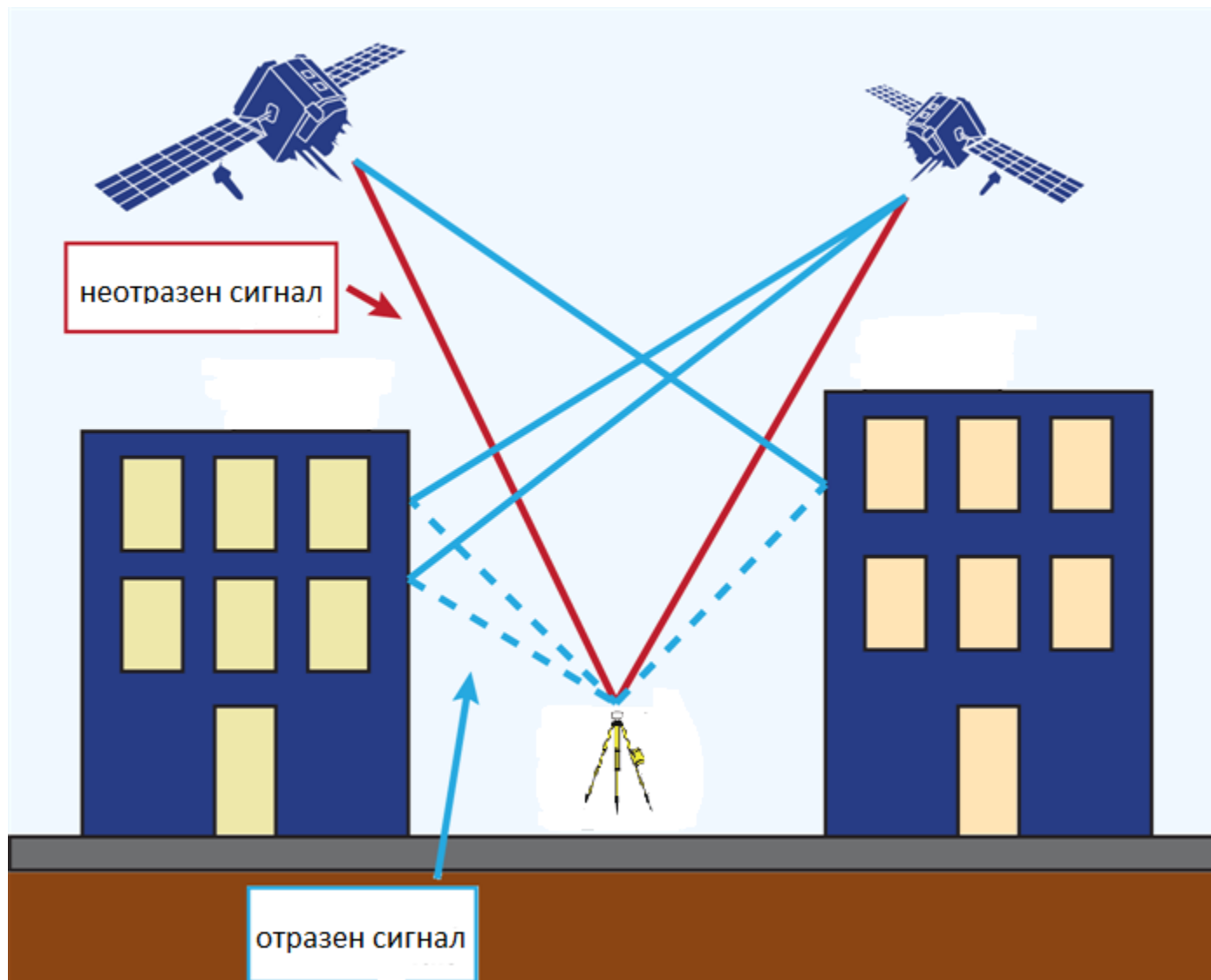
Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

ПОЛЕВИ УСЛОВИЯ

Контролът на качествените измервания е в ръцете на управляващия ровъра.

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 координатно изчисление. Отражения сигнал има по-дълъг път и съответно по-дълго време за пътуване от сателита до приемника и въвеждането му в изчисленията ще създаде шум в решението и влошаване на точността. Дървета, сгради, високи автомобили наблизо, вода, метални електрически стълбове и др. Могат да бъдат източници на отразени сигнали. Потребителите трябва да са наясно с тези условия. Грешката получена от този ефект се изразява в най-голяма степен във височината на определяемата точка.





XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

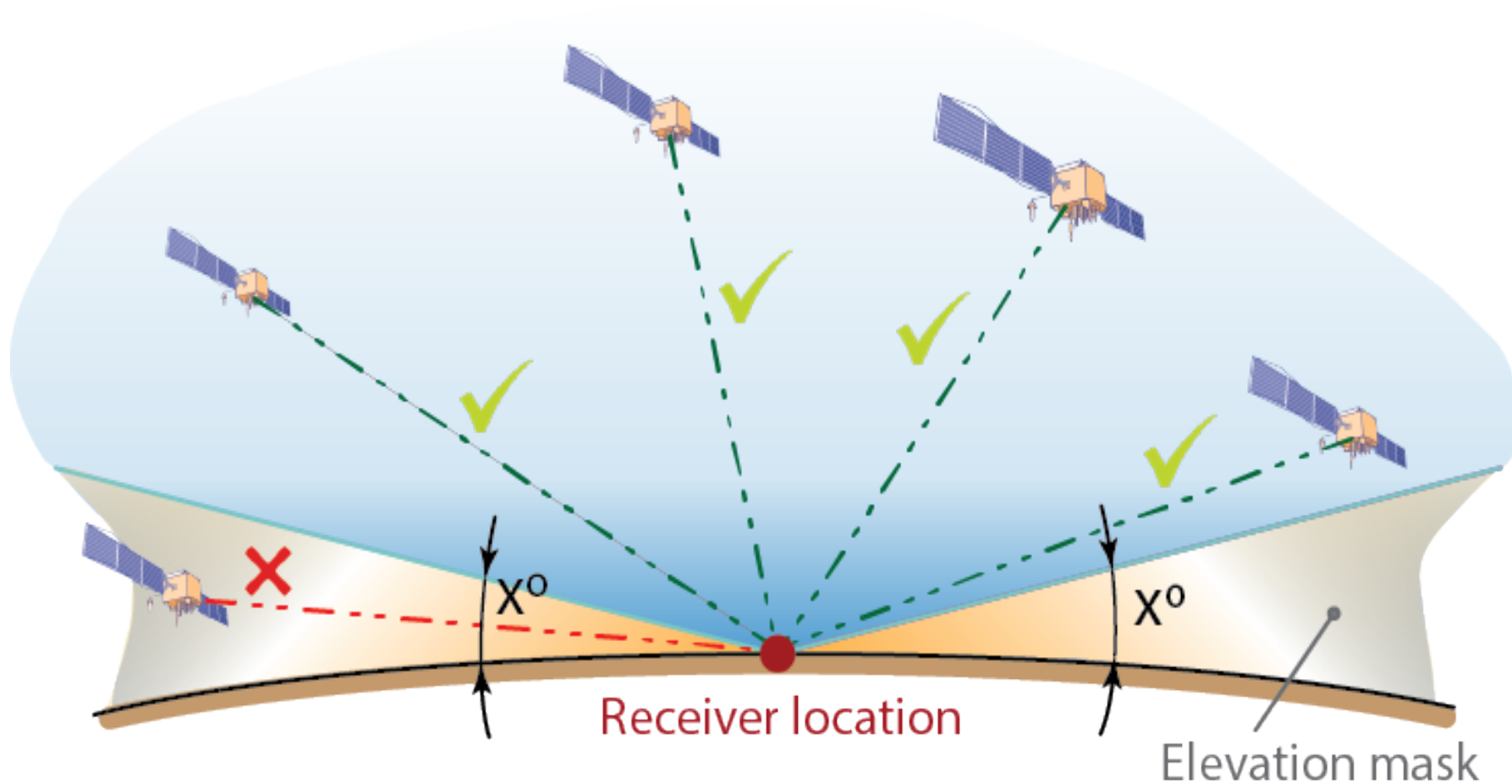
МАСКА ПО ВИСОЧИНА

Тъй като сателитните сигнали на GNSS имат най-дългите пътища през атмосферата при ниски коти от хоризонта, изгодно е да се определи граничен ъгъл, за 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 например 15° , но това пък води до загуба на данни и превръща в проблем за целостта на решението и може да допринесе за по-висока от желания PDOP.



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области





XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

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 имате по-добро решение отколкото ако са само от едната страна. По-ниските стойности на PDOP трябва да показват по-добра прецизност.

Средна квадратна грешка 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 от 95 процента. RMS не е точност на получените координати. RMS показва прецизността на измерването.



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

Латентност

Латентността е забавянето (интервалът) 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.

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.



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

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 фърмуерът 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 може би 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 непрекъснатата. Решението за GNSS трябва да се фиксира за „нормален“ период от време и трябва да остане фиксирано по време на събирането на данните в дадения момент. „Нормален“ период от време е този, който потребителят е виждал от опит при предишни измервания.



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

Повтаряемост/сврѣх измервания

Най-важната процедура при РТК 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 осреднения резултат.



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

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 течение на времето и развитието на нови модели и технологии, но на много места може да прочетете за необходими разстояния между 50 и 70 километра. 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.

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.



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

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.

С използване на мрежово решение може да се намалят грешките от йоносферата, но при повишена слънчева активност, която води до повишена йоносферна активност, 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.



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

Изводи и препоръки

- Може да се използва планиране на мисия, повечето софтуерни пакети го позволяват, за да прецените кога ще има повече спътници и съответно по-надеждно решение.
- Ако е възможно, опитайте се да работите 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.
- Проверявайте за нивата на слънчевата активност и смущения в магнитното поле на Земята. Информацията се намира в редица сайтове, включително и сайта на НИГГГ.
- Винаги имайте предвид условията за Multipath.
- Имайте предвид 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.



XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

БЛАГОДАРЯ ЗА ВНИМАНИЕТО

Настоящото изследване е извършено с финансовата подкрепа на Фонд Научни изследвания, „Конкурс за финансиране на фундаментални научни изследвания – 2019 г.“

Проект *„Мониторинг на геодинамични процеси в района на гр. София“*
Договор № КП-06-Н 34/1.