

ИЗСЛЕДВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА GNSS ИЗМЕРВАНИЯТА В RTK РЕЖИМ, ПРОВЕДЕНИ ПРИ ТРУДНИ ТЕРЕННИ УСЛОВИЯ, ПОД ВЛИЯНИЕТО НА ПАСИВНИ СМУТИТЕЛИ, ЧРЕЗ ПРИЛАГАНЕ НА FUZZY LOGIC

д-р инж. Гинчо Костов, “ГЕО ЗЕМЯ“ ООД

SUMMARY

Nowadays the IT in the satellite geodesy undergoes significant modernizations. This provides the surveyors a possibility to conduct RTK measurements with the necessary quality in various tough terrain conditions as well as near to various passive disturbers like: buildings, trees, etc. In this paper a study was done, which tested the performance of GNSS equipment operating in RTK mode, within specific environment – in close proximity to tall broad-leaved trees. The behaviour of the software on the rover was carefully examined in the terms of: time, required to calculate fixed solution and places for producing of results with the required centimetre-level quality. Using the information from the conducted RTK measurements, the relevant quality criteria were calculated and prepared for further processing and analysis.

Specialised geodetic software was applied for the calculation of the rating value for each measured spatial chord. Based on the performed geodetic measurements and the observed details for the work of the software at the rover, taking into account the rating values and the specificity of the environment, conclusions and recommendations are done.

РЕЗЮМЕ

В днешно време ИТ в областта на космическата геодезия претърпяват значителни модернизации. Това от своя страна позволява извършване на RTK измервания с необходимото качество при наличие на различни тежки теренни условия, както и в близост до пасивни смутители като сгради, дървета и др. В този материал е извършено изследване, при което е тествано поведението на GNSS оборудване в RTK режим при специални условия – в непосредствена близост до високи широколистни дървета. Софтуерът, работещ на подвижния приемник бе внимателно наблюдаван в следните аспекти: време за изчисление на фиксирано решение и места където са получени тези резултати. Чрез данните от извършените геодезически измервания са пресметнати стойностите на съответните критерии за качество. Използван е специализиран геодезически софтуер, чрез който е изчислен рейтинга на всяка една измерена хорда. На база на проведените геодезически измервания и наблюденията над работата на софтуера на контролера, имайки предвид стойностите на изчисления рейтинг и спецификата на заобикалящата среда са дадени заключения и препоръки.

1. УВОД

В последно време спътниковите технологии се развиват с бързи темпове и биват усъвършенствани: нови спътници биват извеждани в орбита, въвеждане на допълнителни/нови сигнали (L2C, M-код, L5 и L1C) и подобрения на спътниците от Блок III, виж [13]. Това неизбежно води до отваряне на нови хоризонти от възможности за геодезистите.

Известно е, че GPS технологията е предвидена да се използва в открити райони, при достатъчна отдалеченост от активни и пасивни смутители.

Имайки предвид непрекъснато подобрявания статус на системата, сега е възможно провеждане на измервания при тежки теренни условия. Различни

изследвания са направени за поведението на GNSS в такива среди: [4], [8] и [15]

Една друга разработка, заедно с изследване на общото качество на резултатите, извършено по специфичен начин - използвайки специализиран геодезически софтуер (прилагащ Fuzzy Logic) ще бъде дадена тук.

2. ГЛОБАЛНИ НАВИГАЦИОННИ СПЪТНИКОВИ СИСТЕМИ И РАЗВИТИЕТО ИМ

Понастоящем съществуват четири GNSS:

I. Действащи: GPS (САЩ) [12] и GLONASS (Русия) [11].

II. В процес на развитие: GALILEO (Европейски съюз и Европейска Космическа Агенция) и COMPASS (Китай) – очаква се да станат глобални през 2020 г. [14].

Следва да бъде отбелязано, че GPS има 31 действащи спътника, а GLONASS –24 [16]. Съществуват бъдещи планове от които е видно, че системата COMPASS ще поддържа глобално покритие през следващите 8 г., което би следвало да подобри до известна степен оперативното качество и надеждност на GNSS. GALILEO от своя страна след своето пълно развитие през 2019 ще съдържа 27 действащи спътника [10].

Една комбинация от съществуващите спътникови системи се предполага да даде на геодезистите много повече надеждност и подобро общо качество на извършваните измервания (особено важно при трудни теренни условия). Очаква се резултатите да са с по-висока точност: [18] и [9].

3. ВЪЗМОЖНОСТИ НА ИЗМЕРВАНИЯТА В RTK РЕЖИМ И ТЯХНОТО ПРИЛОЖЕНИЕ ПРИ ТЕЖКИ ТЕРЕННИ УСЛОВИЯ

Както е известно, RTK режимът за геодезически измервания е един от най-продуктивните [3]. При неговото прилагане, геодезистът би могъл да получи висока производителност – съществува възможност да бъдат определени голям брой точки за кратък период от време. Освен това, при определени обстоятелства системата би могла да бъде използвана и при трудни теренни условия (напр. в градска среда, в близост до сгради, в гора и др.).

Практически това прави RTK режима много по-удобен за геодезически измервания в сравнение с класическия начин при различни случаи.

В глава 1 беше упоменато, че съществуват някои изследвания, третиращи приложенията на RTK режима за геодезически измервания в тежки теренни условия и по-специално в гора. Подробности относно поведението на подвижния приемник в този специален случай ще бъдат дадени в следващата глава.

4. ИЗВЪРШЕНИ ИЗМЕРВАНИЯ В RTK РЕЖИМ. ИЗСЛЕДВАНИЯ И СПЕЦИФИКА В ПОВЕДЕНИЕТО НА ПОДВИЖНИЯ ПРИЕМНИК

За целите на този експеримент бяха избрани два района, разположени в залесени територии в които бяха извършени GNSS измервания в RTK режим.

За първия район (обект), даден на фиг. 1 бе необходимо извършване на спътникови измервания за определяне границата на канал, разположен във вътрешността на гората. Последната се състоеше от високи широколистни дървета с неголеми отстояния между тях. Листата закриваха голяма част от видимия хоризонт. Референтната станция бе поставена да работи в непосредствена близост до обекта – на разстояние по-малко от 1 км.

В конкретния случай геодезическите измервания в RTK режим бяха извършени под дърветата. Препоръчително беше постигането на сантиметрова точност в

определенията.



Фиг.1. Първи обект – схема на определените точки

За нуждите на втория обект, виж фиг. 2 бяха проведени следните експериментални геодезически измервания.

Референтната станция се намираше на разстояние до 500 м. от обекта. Задачата бе извършвана на трасиране на 6 м. сервитут на отводнителен канал, разположен в близост до широколистна гора. В този случай препоръчителната точност на геодезическите измервания бе също сантиметрова.

Практически, RTK измерванията бяха извършени в непосредствена близост до дърветата, под листата и клоните. Съществуваха малки открити пространства между дърветата с открит хоризонт към небето.



Фиг. 2. Втори обект – схема на заснетите точки

Трябва да бъде уточнено, че и при двата обекта подвижния приемник работеше в

изключително трудни условия. Поведението на GNSS оборудването, преди определянето на всяка една точка бе внимателно следено и анализирано в следните аспекти: оценка на точността по В, L и Н (3D quality control); брой използвани спътници.

Няколко важни детайла, имащи отношение към работата на подвижния приемник биха могли да бъдат изброени тук:

1) Малко движение под дърветата поражда значителна промяна в стойността на 3D quality control;

2) Престой преди определяне на точките от порядъка на 30-60 сек. в повечето случаи би бил достатъчен за изчислението на фиксирано решение;

3) При рестартиране на софтуера на контролера се наблюдава по-бързо фиксиране на решението при наличните теренни условия;

4) Броят на използваните спътници не беше драстично намален в близост до високите дървета;

5) Следва да бъде споменато, че стойността на оценката на точността при определяне на координатите варираше от сантиметри до десетки метри под дърветата.

Изискванията за сантиметрова точност и при двата обекта бяха постигнати с по-дълги времеви периоди на изчакване преди стационариране на точките. При определянето на подробните точки бяха съблюдавани изброените в т. 1, 2 и 3 особености.

5. ПРИЛОЖЕНИЯ НА FUZZY LOGIC В ГЕОДЕЗИЯТА

Използването на Fuzzy Logic за различни задачи в геодезията (GPS, обработка на данни и др.) е предмет на изследване от различни автори [1], [2], [6], [7], [17] и др. В зависимост от конкретните нужди и задачи биха могли да се намерят още приложения.

Тук ще бъде дадено едно друго възможно приложение на Fuzzy Logic в геодезията, а именно за оценка на качеството на RTK измерванията при изключително тежки теренни условия. Вниманието е насочено и към прилагането на специализиран геодезически софтуер (вж. глава 6) при анализа на информацията.

6. ОЦЕНКА НА КАЧЕСТВОТО НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ГЕОДЕЗИЧЕСКИТЕ ИЗМЕРВАНИЯ – ИЗВЪРШЕНИ ПРИ ИЗКЛЮЧИТЕЛНО ТЕЖКИ ТЕРЕННИ УСЛОВИЯ, ЧРЕЗ FUZZY LOGIC

В това изследване бяха използвани следните критерии:

1. Качество в положението на всяка измерена точка – средната квадратна грешка в пространственото положение $M3D$;

2. Стойностите на диагоналните елементи на ковариационната матрица: Q_{xx} , Q_{yy} и Q_{zz} .

Тези критерии бяха изчислени от фирмения софтуер на GNSS оборудването и след това използвани като входни параметри в специализирания геодезически софтуер Vienna_fuzzy [5]. Програмата изчисли рейтинга (стойност, описваща общото качество на всяка измерена точка) с цел да се получи надеждна и обективна оценка. Рейтинга е число в интервала [0, 1]. Следва да бъде отбелязано, че в нашия специфичен случай колкото по-голям е рейтингът, толкова системата е с по-добро общо качество.

7. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Изчислените стойности на критериите – в нашия случай параметрите: $M3D$, Q_{xx} , Q_{yy} и Q_{zz} , също и съответните резултати за рейтинга от двата обекта са дадени в

табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1 Обект No 1 – стойности на критериите и рейтинга

Но точка	МЗД [mm]	Q11	Q22	Q33	рейтинг
10	585	0.16394746	0.10123017	0.47000644	0.21
11	474	0.19196361	0.10428410	0.50409788	0.29
12	17	0.00003295	0.00004174	0.00053791	0.80
13	11	0.00004067	0.00002483	0.00013177	0.80
14	25	0.00006960	0.00002307	0.00017495	0.80
15	408	0.16324097	0.08295128	0.48184523	0.37
16	18	0.00002805	0.00002549	0.00010742	0.80
17	16	0.00002773	0.00001309	0.00008483	0.80
18	500	0.26247376	0.10973470	0.57576138	0.26
19	547	0.23567817	0.10234074	0.60371733	0.23
20	8	0.00002480	0.00001308	0.00010013	0.80
21	15	0.00002223	0.00001043	0.00008043	0.80
25	582	0.19226369	0.08873212	0.52606541	0.21
26	17	0.00003871	0.00002215	0.00016512	0.80
27	11	0.00002081	0.00000840	0.00006736	0.80
28	13	0.00003122	0.00001246	0.00010658	0.80
29	12	0.00002527	0.00000980	0.00010089	0.80
30	41	0.00018875	0.00007175	0.00072555	0.80
31	17	0.00003529	0.00001588	0.00013907	0.80
32	646	0.19942969	0.07642816	0.62434971	0.20
33	452	0.23116232	0.13522974	1.07860327	0.31
40	13	0.00006261	0.00003614	0.00020480	0.80
41	8	0.00007815	0.00002914	0.00030483	0.80
42	8	0.00002373	0.00000866	0.00009150	0.80

Таблица 2 Обект No 2 – стойности на критериите и рейтинга

Но точка	МЗД [mm]	Q11	Q22	Q33	рейтинг
888	21	0.00003246	0.00001903	0.00008318	0.72
51	22	0.00001785	0.00001825	0.00006754	0.68
52	19	0.00002621	0.00004321	0.00019478	0.63
53	20	0.00001031	0.00000942	0.00009076	0.78
56	28	0.00007985	0.00001768	0.00067353	0.47
57	30	0.00006902	0.00001437	0.00029223	0.50

С цел да се анализират крайните резултати от извършените геодезически измервания по обективен начин, т.е. без т. нар. “човешки експерт“, бяха използвани

принципите на Fuzzy Logic. Стойностите на дадените по-горе параметри, както бе упоменато в глава 6 бяха въведени в специализирания геодезически софтуер Vienna_fuzzy, който изчисли съответния рейтинг.

Следните факти биха могли да се отбележат като резултати от измерванията за първия обект (табл. 1):

- около 1/3 от измерванията попадат извън сантиметровата граница за точност. Въпреки това, ако се вземат под внимание практическите нужди тези резултати могат да бъдат приети за приемливи поради характера на обекта. За конкретния случай, резултати със стойности за $M3D > 5$ см отпаднаха;

- приблизително 2/3 от извършените измервания са с висок рейтинг (0.80), който е много добър за тези теренни условия.

Предвид числените резултати за рейтинга от измерванията на втория обект – табл. 2 би могло да се отбележи, че:

- стойностите за $M3D$ са под 5 см – изключително добри за геодезически измервания, проведени в подобна среда;

- рейтинг от 0.47 за точка No 56 е следствие от високата стойност на критерий Q33;

- обща оценка за качество - 0.50 за точка No 57 е резултат с ниско качество, породен от критериите: Q11 и Q33. Следва да се отбележи, че стойността на параметъра M_r и при двете точки е почти еднакъв.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценката на точността (за двата случая при $M3D \leq 5$ см) на извършените RTK измервания показва, че поведението на системата – подвижен приемник и контролер биха могли да бъдат използвани по начина упоменат в глава 4. Описаните детайли предоставят сведения относно възможността за постигане на необходимата точност на геодезическите измервания при *извънредно тежки* теренни условия.

Въз основа на дадената в статията информация и извършените експериментални геодезически измервания може да се резюмира следното. В случай, че е необходимо GNSS определения в RTK режим да бъдат извършени при: изключително тежки теренни условия и наличие на пасивни смутители, то за постигане на сантиметрова точност могат да бъдат приложени следните действия (изпитани в реални условия):

- необходим престой от около минута за изчисление на фиксирано решение;

- не се извършват резки движения с апаратурата във времето на изчакване;

- позициониране под съществуващ отворен хоризонт между дърветата и рестартиране на специализирания софтуер на контролера (при загуба на фиксирано решение).

По този начин има възможност за получаване на приемливи резултати от геодезическите измервания при *трудни теренни* условия и влияние на пасивни смутители.

Литература

1. Костов, Г. Прилагане на Fuzzy Logic за изследване на GNSS определения при различни условия. Международна Научна Конференция Стара Загора, 4-5 Юни 2009, “Развитието на икономиката и обществото, базирани на знанието”, 1-12.
2. Костов, Г. Използване на Fuzzy Logic при някои изследвания на GNSS определения в бърз статичен режим. Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия. Международна Научно-Приложна Конференция. УАСГ 2009 29-31 Октомври 2009. ISSN 1310-814X, 1-7.

3. Минчев, М., Ив. Здравчев, Ив. Георгиев, Основи на приложението на GPS в геодезията, София, УАСГ, 2005, 112-118.
4. In-Su Lee, Linlin Ge, The performance of RTK-GPS for surveying under challenging environmental conditions, Earth Planets Space, 2006.
5. Kostov, G. Assessment of the Quality of Geodetic Networks Using Fuzzy Logic. Geowissenschaftliche Mitteilungen Heft Nr. 78. Wien. Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessung und Geoinformation Technische Universität Wien. ISSN 1811-8380, 2007, 4-19.
6. Kostov, G. Study on the Overall Quality of the Planned fast Static GNSS Measurements, if Certain Values of the Parameters are Applied in the System, Using Fuzzy Logic, 6-10 May 2012 - FIG Working Week 2012 - Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage, Rome, Italy. ISBN 97887-90907-98-3, 2012, 1-12.
7. Wieser, A. Benefitting from Uncertainty. GPS WORLD. March 2003.
8. Yoichi Morales, Y., Takashi Tsubouchi. GPS Moving Performance on Open Sky and Forested Paths. Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Diego, CA, USA, Oct 29 - Nov 2, 2007.
9. Zhang, L. Zheng Yao, Youquan Zheng, Minquan Lu and Aibing Wang. Simulation and analysis of satellite visibility and DOP for Multi-constellation and their combination. China satellite navigation Conference 2012 proceedings. Lecture notes in Electrical Engineering, DOI: 10.1007/978-3-642-29193-7_63, Spriger-Verlag Berlin Heidelberg.
10. [http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_\(satellite_navigation\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_(satellite_navigation))
11. <http://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS>
12. <http://en.wikipedia.org/wiki/Gps>
13. http://en.wikipedia.org/wiki/GPS_modernization
14. http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation
15. <http://files.embedit.in/embeditin/files/OueSfnfAmx/3/file.pdf>
16. <http://www.glonass-center.ru/en/>
17. http://www.hgk.msb.gov.tr/dergi/makaleler/OZEL18/ozel18_12.pdf
18. <http://www.novatel.com/assets/Documents/Papers/OEM615.pdf>

**STUDY OF THE QUALITY OF THE GNSS MEASUREMENTS IN RTK MODE,
CONDUCTED IN HEAVY TERRAIN CONDITIONS UNDER THE INFLUENCE OF
PASSIVE DISTURBERS, APPLYING FUZZY LOGIC**

Д-р инж. Гинчо Костов, “ГЕО ЗЕМЯ“ ООД, geozemia@geozemia.com