

**XXVIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON  
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE  
IN GEODESY AND RELATED FIELDS**

**Sofia, 08 - 09 November 2018**

**XXVIII МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ  
“СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБУЧЕНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА  
ПРАКТИКА В ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ”**

**София, 08 - 09 Ноември 2018**

---

**СТРАТЕГИЯ ЗА ИЗВЕЖДАНЕ НА ПРЕЦИЗНИ КООРДИНАТИ  
И СКОРОСТИ НА ПЕРМАНЕНТНИ ГНСС СТАНЦИИ**

**Цочо Данчев, Маринели Данчева (BG)**

**РЕЗЮМЕ**

Целта на доклада е анализ на поведението на 30 перманентни ГНСС станции, представляващи една от лицензираните инфраструктурни мрежи на територията на Република България. Използвани са ГНСС измервания с осем-дневна продължителност от три кампании през април 2014 г., 2016 г. и 2018 г. С оглед на големите разстояния между точките от мрежата, определянето на техните координати и скорости е извършено посредством научно-изследователския софтуер Bernese GNSS Software v5.2. Дефинирана е стратегия за обработка, използваща най-съвременните концепции в областта, по препоръки на Международната ГНСС служба - IGS. В резултат от обработката на измерванията са получени високо-точни координати и скорости на станциите. Получените от изравнението координати и скорости са трансформирани в Европейската координатна система ETRS89, в следствие на което освен абсолютни скорости в системата ITRF2014 са изведени и релативни скорости спрямо Евразия. Изведените хоризонтални скорости на точки, освен научен, имат и силен приложен характер, с оглед определянето на реални координати на изходните точки за наблюдателната епоха. Получените резултати са сравнени с геоложки данни, като е направен извод за съответствие между тях.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Данните, приложени при обработката, представляват първични данни от ГНСС измервания от перманентните ГНСС станции на една от лицензираните инфраструктурни мрежи, действаща на територията на Република България. Перманентните станции са 30 на брой, равномерно разпределени на цялата територия на страната. За целите на изследването са използвани осем-дневни непрекъснати измервания от годините 2014, 2016 и 2018, проведени в един и същи период от време: 23-30 Април. При обработката тези данни са обособени съответно в три измервателни кампании. При всяка от кампаниите са използвани два вида приемници - Trimble NetR5 и Trimble NetR8, с антени TRM55971.00. Приемниците са двучестотни, като регистрират спътникови сигнали както от американската спътникова система GPS, така и от руския ѝ еквивалент – GLONASS. Преди обработката, първичните

данни са обединени в еднодневни сесии в RINEX формат с 30-секунден интервал на запис, за всеки от обработваните дни.

Получаването на високоточни координати и скорости на наблюдаваните станции, посредством изравнение на мрежа от базисни вектори, както и привързването им към Европейската референтна рамка, се осигурява чрез станции от Европейската перманентна мрежа – EPN. Използваните перманентни станции са следните: Bucuresti (BUCU), Kiev (GLSV), Graz (GRAZ), Matera (MATE), Mendeleevo (MDVJ), Kirkkonummi (METS), Onsala (ONSA), Sofia (SOFI), Koetzting (WTZR), и Zimmerwald (ZIMM), прилагайки техните официални координати и скорости.

## **СТРАТЕГИЯ ЗА ОБРАБОТКА**

С оглед на големите разстояния между станциите от мрежата, не е удачно използването на комерсиален софтуер за обработка. За това, с цел да се осигури възможно най-висока точност и надеждност на получените координати на станциите е извършено изравнение на мрежа от базисни вектори, посредством най-актуалната версия на научно-изследователския софтуерния пакет Bernese GNSS Software v5.2. Софтуерът работи чрез изпълнение на отделни модули (или подпрограми) за осъществяването на различни задачи при обработката на данни. Нормалните уравнения, получени по избрана схема за обработката на данните (по „базови линии“, по „сесии“, „кампании“ и „мултикампании“), могат да бъдат комбинирани, за получаване на различни видове решения.

Настоящата стратегия за прецизна обработка е съгласувана със стратегията за обработка на станциите от Държавната GPS мрежа на България. Тя използва съвременните концепции в областта, препоръчани от IGS. Първоначално координатите са получени в последната реализация на Световната земна координатна система ITRS - ITRF2014.

При прецизната обработка на измерванията са използвани предварително изтеглени прецизни спътникови ефемериди от ftp сървъра на CODE, както и допълнителни данни като атмосферни модели, параметри на земна ротация, часовникови корекции и т.н. Без подобни данни е невъзможно да се достигне висока точност в определянето на дълги вектори. За станциите от мрежата са изведени априорни годишни стойности на тектонските скорости от модела NUVEL-1A-NNR. За всяка една от станциите, участващи в обработката е изведен тропосферен модел за оценка на тропосферния градиент.

От съществено значение е коректното въвеждане на типа на всяка от антените на станциите, поради отчитането на отместване и вариации на фазовия център на антените. Необходимо е да се коригират измерените псевдоразстояния с отместването на фазовия център, както и с неговите вариации. Използвани са абсолютни модели на отместването вариациите на фазовите центрове на ГНСС антените, получени от ANTEX (ANTenna EXchange format) файловете, предоставяни за свободно изтегляне от сайта на IGS.

Съществуват различни стратегии за фиксирането на нееднозначностите, в зависимост от дължината на векторите. Използваната в случая стратегия е т.нар. квази-йоносферна стратегия (QuasiIonosphere-Free, QIF), при която се анализират и фиксират наблюденията едновременно по двете честоти L1 и L2 и се използва йоносферно освободената линейна комбинация L3. Базисните линии са съставени по стратегията OBS-MAX, която избира оптимална комбинация от независими вектори с оглед на максимален брой едновременни наблюдения и минимални дължини между станциите.

Получени са дневните решения за всеки ден от трите кампании, като координатите на перманентните станции са приведени към средната епоха на измерването. Комбинирани са системите нормални уравнения от дневните решения по отделно за всяка от трите кампании, като получените координати на перманентните станции са приведени към средната епоха на съответната кампания. Комбинирани са системите нормални уравнения от дневните решения за всяка от трите кампании, с цел получаване на крайно решение относно координатите на станциите. Получените координати от комбинирането на дневните решения на станциите са приведени в епохата на реализацията (референтната рамка) ITRF2014 на изходната

координатната система. Комбинирани са системите нормални уравнения от дневните решения за всяка от трите кампании, с цел получаване на скоростите на всяка от станциите от мрежата за периода април 2014 - април 2018г.

## РЕЗУЛТАТИ

Получени са координатите на станциите за всяка от кампанията - съответно за 2014г, 2016г и 2018г. Координатите са получени в последната реализация на Международната Земна Координатна Система - ITRF2014 и са приведени към средната епоха на всяка измервателна кампания - YYYY.MM.DD 00:00:00 часа. Получено е крайно решение на мрежата, чрез комбиниране на нормалните уравнения от всички дневни решения (с данни от трите кампании, за периода 2014-2018г), даващо координати и скорости на станциите в координатна система ITRS, реализация ITRF2014. Така са получени абсолютните ITRS скорости на станциите по всяка от осите X, Y и Z.

Средната квадратна грешка за единица тежест от финалното комбинирано изравнение на мрежата, както и от изравнението на мрежата за всяка кампания е представено в таблица 1:

Средна квадратна грешка за единица тежест при комбинирани изравнения на мрежата, [mm]			
Кампания април 2014г.	Кампания април 2016г.	Кампания април 2018г.	Финално решение за периода 2014-2018г
1.44	1.40	1.51	2.16

Таблица 1: Средна квадратна грешка за единица тежест от различните изравнения

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЕКТОР НА СКОРОСТТА

Скоростта на дадена точка може да бъде определена в абсолютен или в относителен смисъл. Най-често движенията на земната кора в глобален мащаб, се представят като абсолютни, т.е. движения на континенталните плочи една спрямо друга (по отношение на фиксирана координатна система). Скоростите на точки, представени в координатна система ITRF2000 са абсолютни. Относителните скорости, се въвеждат за изследването на вътрешно-плочовите движения на една тектонска плоча. Те се получават като от абсолютните скорости на дадени станции, се извади ротацията на плочата. За стабилната част на Европа, към която е привързана координатната система ETRS89, скоростите на станциите са нулеви (или много близки до 0). Скоростите на всички точки с координати, определени в ETRS89 са вътрешно-плочовите скорости на тези точки.

Получените координати в резултат на обработката с Bernese са трансформирани в координатна система ETRS89, реализация ETRF2005. Трансформацията е извършена по официално публикуваните трансформационни параметри. Абсолютните ITRS скорости, получени при обработката с Bernese са трансформирани в релативни - в КС ETRS89. След като координатите и скоростите вече са в координатна система ETRS89, могат да се правят коректни анализи, относно вътрешно-плочовото движение на точките. В таблица 2 са показани двата вида скорости на точките от мрежата.

Скорости на станциите, изведени за периода 2014-2018							
Станция №	Град	Абсолютни			Релативни		
		Vx, [m/y]	Vy, [m/y]	Vz, [m/y]	Vx, [m/y]	Vy, [m/y]	Vz, [m/y]
100	ТОПОЛОВГРАД	-0.01865	0.01764	0.01104	0.00042	0.00050	0.00095
101	СРЕДЕЦ	-0.01960	0.01701	0.00957	-0.00027	0.00005	-0.00038
102	ШАБЛА	-0.02037	0.01674	0.00275	-0.00060	0.00026	-0.00686
103	КРУМОВГРАД	-0.01873	0.01837	0.01011	0.00010	0.00100	-0.00016
104	БЯЛА	-0.02046	0.01680	0.00961	-0.00090	0.00007	-0.00018
105	ОРЯХОВО	-0.01790	0.01720	0.00878	0.00064	0.00014	-0.00129
106	СМОЛЯН	-0.01649	0.01974	0.01074	0.00208	0.00226	0.00039
107	ПРИМОРСКО	-0.02008	0.01732	0.00842	-0.00060	0.00043	-0.00148
108	ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ	-0.01567	0.01989	0.00911	0.00262	0.00228	-0.00135
109	КЮСТЕНДИЛ	-0.01610	0.01879	0.00900	0.00196	0.00122	-0.00145
110	ДОБРИЧ	-0.01967	0.01633	0.00885	-0.00008	-0.00025	-0.00083
111	ЗЛАТИЦА	-0.01694	0.01787	0.00968	0.00157	0.00058	-0.00055
112	САМОКОВ	-0.01611	0.01843	0.00845	0.00220	0.00098	-0.00190
113	КАРЛОВО	-0.01809	0.01818	0.00897	0.00060	0.00096	-0.00120
114	СМЯДОВО	-0.01965	0.01673	0.00832	-0.00032	-0.00009	-0.00154
115	КОСТИНБРОД	-0.01729	0.01831	0.00862	0.00096	0.00093	-0.00169
116	ЧЕРВЕН БРЯГ	-0.01751	0.01734	0.00913	0.00103	0.00018	-0.00101
117	МОНТАНА	-0.01704	0.01783	0.00960	0.00127	0.00060	-0.00060
118	ВИДИН	-0.01818	0.01735	0.00675	0.00008	0.00021	-0.00339
119	СЛИВЕН	-0.01898	0.01742	0.00907	0.00013	0.00042	-0.00093
120	СТАРА ЗАГОРА	-0.01853	0.01783	0.00979	0.00037	0.00067	-0.00032
121	СИЛИСТРА	-0.01974	0.01611	0.00795	-0.00027	-0.00042	-0.00171
122	ХАСКОВО	-0.01796	0.01831	0.01024	0.00088	0.00103	0.00004
123	ЛОВЕЧ	-0.01925	0.01703	0.01010	-0.00055	-0.00008	0.00001
124	РАЗГРАД	-0.01938	0.01619	0.00864	-0.00015	-0.00059	-0.00120
125	РУСЕ	-0.02173	0.01551	0.00857	-0.00263	-0.00127	-0.00127
126	ВЕЛИКО ТЪРНОВО	0.05914	0.04821	-0.20116	0.07809	0.03121	-0.21117
127	БЕЛЕНЕ	-0.01946	0.01730	0.00867	-0.00060	0.00036	-0.00129
128	ПЛОВДИВ	-0.01761	0.01833	0.00948	0.00102	0.00099	-0.00077
129	ПАЗАРДЖИК	-0.01738	0.01847	0.00912	0.00113	0.00108	-0.00117

Таблица 2: Абсолютни и релативни скорости на станциите за изследвания период

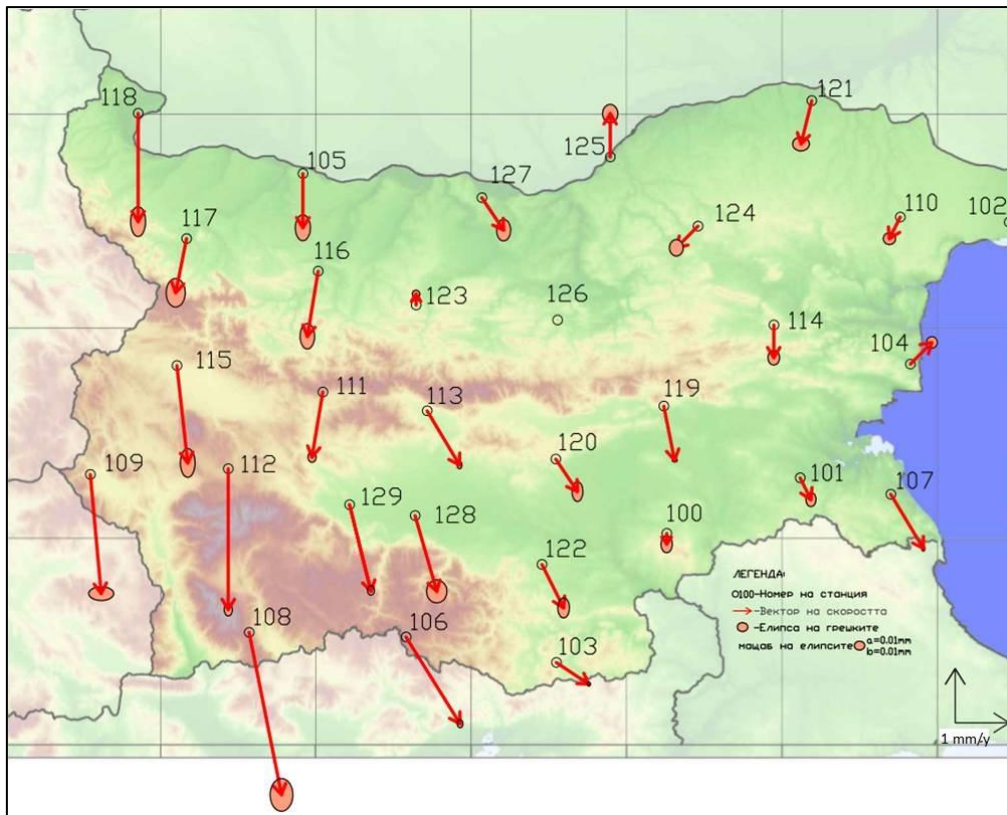
Вижда се, че преминавайки към релативни скорости, стойностите намаляват значително, като се променя и направлението по осите X, Y и Z. Това се дължи на изваждане ротацията на Евразия.

*Забележка: Забелязват се високи стойности на скоростните компоненти за станция 126. За нея е потвърдено, че станцията е изцяло сменена. Затова не е определен коректен вектор на скоростта за тази станция.*

Подходящ метод за представяне изменението на точки, е чрез вектор на скоростта, формиран на базата на резултати от поне три измервателни цикъла. Така формираният вектор показва големината и посоката на изменение на съответните станции. По този начин се формират тенденции и могат да се правят сравнения на скорости по съответните компоненти, както и да бъдат интерпретирани резултатите във връзка с движението на земната кора. След изчислението на посоката и големината на вектора на релативната скорост за изследвания период, получените стойности са представени таблично в табл. 3 и графично (в планово отношение) на Фигура 1.

Изчисление на релативни скорости в топоцентрична координатна система													
Координатна система ETRS89, епоха 2005													
Станция №	Геоцентрични координати						Геодезически координати			Скоростни компоненти			Общ вектор на скоростта, [m/y]
	X, [m]	Y, [m]	Z, [m]	Vx, [m/y]	Vy, [m/y]	Vz, [m/y]	B, [deg]	L, [deg]	H, [m]	vE, [m/y]	vN, [m/y]	vU, [m/y]	
100	4248898.0766	2103368.4064	4252768.1362	0.00042	0.00050	0.00095	42.08393	26.33718	359.235	0.00026	0.00030	0.00108	0.0004
101	4199906.2845	2156615.3635	4274151.0543	-0.00027	0.00005	-0.00038	42.34610	27.18010	82.803	0.00017	-0.00013	-0.00042	0.0002
102	4068599.9532	2212189.9632	4370982.4752	-0.00060	0.00026	-0.00686	43.53689	28.53393	71.035	0.00052	-0.00470	-0.00502	0.0047
103	4314503.0703	2072138.9195	4201953.6447	0.00010	0.00100	-0.00016	41.47117	25.65371	271.980	0.00086	-0.00047	0.00029	0.0010
104	4137767.0575	2189470.3801	4317624.9725	-0.00090	0.00007	-0.00018	42.87739	27.88524	139.909	0.00048	0.00039	-0.00068	0.0006
105	4218175.0826	1874639.7962	4387010.5442	0.00064	0.00014	-0.00129	43.73533	23.96130	173.183	-0.00013	-0.00138	-0.00043	0.0014
106	4341530.7351	1997851.0897	4211110.0143	0.00208	0.00226	0.00039	41.57556	24.71057	988.452	0.00118	-0.00159	0.00238	0.0020
107	4183337.3577	2201319.2983	4267630.8525	-0.00060	0.00043	-0.00148	42.26683	27.75385	70.748	0.00066	-0.00087	-0.00124	0.0011
108	4375002.3081	1923050.7570	4210717.3868	0.00262	0.00228	-0.00135	41.57387	23.72809	608.260	0.00103	-0.00321	0.00158	0.0034
109	4360743.0923	1823032.2065	4269166.3249	0.00196	0.00122	-0.00145	42.28128	22.68763	587.721	0.00037	-0.00261	0.00071	0.0026
110	4093425.1515	2161021.0309	4373678.6217	-0.00008	-0.00025	-0.00083	43.56864	27.83069	273.520	-0.00018	-0.00047	-0.00071	0.0005
111	4283628.8703	1919686.6964	4304706.1055	0.00157	0.00058	-0.00055	42.71393	24.13930	737.481	-0.00011	-0.00154	0.00085	0.0015
112	4328995.9600	1887446.0187	4274069.1216	0.00220	0.00098	-0.00190	42.33756	23.55724	1002.501	0.00002	-0.00303	0.00050	0.0030
113	4265869.0902	1971643.4374	4298528.7732	0.00060	0.00096	-0.00120	42.64035	24.80592	490.201	0.00062	-0.00152	-0.00012	0.0016
114	4158029.0068	2119813.7708	4332798.4360	-0.00032	-0.00009	-0.00154	43.06401	27.01304	144.632	0.00007	-0.00090	-0.00129	0.0009
115	4307579.0944	1846494.3877	4312558.5762	0.00096	0.00093	-0.00169	42.81136	23.20296	598.851	0.00048	-0.00209	-0.00023	0.0021
116	4246010.5837	1897787.0382	4350302.4129	0.00103	0.00018	-0.00101	43.27978	24.08262	175.859	-0.00026	-0.00143	0.00005	0.0015
117	4264925.0728	1830365.8707	4360658.3842	0.00127	0.00060	-0.00060	43.40765	23.22742	210.452	0.00005	-0.00140	0.00061	0.0014
118	4235209.8989	1786946.3616	4406908.4900	0.00008	0.00021	-0.00339	43.98433	22.87616	100.003	0.00016	-0.00255	-0.00224	0.0026
119	4209632.4182	2081711.5420	4301803.0175	0.00013	0.00042	-0.00093	42.68182	26.31292	322.745	0.00032	-0.00089	-0.00041	0.0009
120	4251394.7647	2039679.5393	4280885.2360	0.00037	0.00067	-0.00032	42.42660	25.63016	274.323	0.00044	-0.00066	0.00024	0.0008
121	4076970.7870	2100834.8277	4417561.8811	-0.00027	-0.00042	-0.00171	44.11796	27.26174	73.526	-0.00025	-0.00093	-0.00150	0.0010
122	4287501.7658	2049950.6859	4239994.3876	0.00088	0.00004	0.00004	41.93015	25.55351	238.711	0.00055	-0.00080	0.00095	0.0010
123	4234715.3631	1949341.9477	4338663.6870	-0.00055	-0.00008	0.00001	43.13556	24.71776	233.517	0.00016	0.00037	-0.00038	0.0004
124	4144415.5028	2068492.6382	4370393.9010	-0.00015	-0.00059	-0.00120	43.52799	26.52395	256.684	-0.00046	-0.00060	-0.00111	0.0008
125	4142643.9055	2016133.2768	4396063.7663	-0.00263	-0.00127	-0.00127	43.84884	25.95116	100.202	0.00001	0.00111	-0.00299	0.0011
126	4207110.8963	2018169.1310	4334111.2881	0.07809	0.03121	-0.21117	43.07925	25.62723	256.410	-0.00564	-0.21155	-0.08294	0.2116
127	4185303.0327	1962740.7038	4379874.5182	-0.00060	0.00036	-0.00129	43.64728	25.12471	83.554	0.00058	-0.00066	-0.00117	0.0009
128	4301266.9430	1982685.4239	4257880.6379	0.00102	0.00099	-0.00077	42.14697	24.74752	237.854	0.00047	-0.00147	0.00048	0.0015
129	4312694.5242	1950083.2585	4261392.7548	0.00113	0.00108	-0.00117	42.18941	24.33119	264.646	0.00052	-0.00186	0.00031	0.0019

Таблица 3: Координати и скоростни компоненти



Фигура 1: Вектори на скоростта в планово отношение със съответните елипси на грешките по двете оси

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

От показаното абсолютно движение на станциите в координатна система ITRS може да се направи извод, че всички станции се движат в посока североизток. С гореспоменатите факти се потвърждава известната ротация на Евроазиатската плоча, също така и че станциите от мрежата следват това движение. Получените релативни скорости също потвърждават хипотезите за относителното движение спрямо Евразия на тази част от Балканския полуостров, в която попада България.

За практически цели стабилността и надеждността на изходните точки е от особено важно значение. Необходимо е периодичното им преизчисляване и извеждане на актуални координати и скорости. В доклада е доказан потенциала за дефиниране на кинематична координатна система, с отчитане на вътрешно-плочовите движения на точките от нейната реализация.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Георгиев, И., П. Гъбенски, Г. Гладков, Т. Ташков, П. Данчев, Д. Димитров, (2005), Държавна GPS мрежа: Обработка на наблюденията от основния клас, София, 2005г.
2. Altamimi, Z., (2017), Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems, EUREF Technical Note 1 : Version November 16, 2017
3. Atanasowa, M., (2014) Research of the Horizontal Crustal Motions, Based on GPS Data for the Territory of Bulgaria and the Balkans, FIG Congress 2014
4. Boucher, C. and Z. Altamimi, (1992) The EUREF Terrestrial Reference System and its first realizations, EUREF Meeting, Bern, Switzerland March 4-6, 1992.
5. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, Journal of Geophysical Research Papers on Geodesy and Gravity Tectonophysics, 2000

### **Автори:**

#### **Цочо Данчев,**

Редовен докторант към катедра "Висша геодезия",

Геодезически факултет,

Университет по архитектура, строителство и геодезия, гр. София

[tsdanchev@gmail.com](mailto:tsdanchev@gmail.com),

#### **Маринели Данчева**

[mpdancheva@gmail.com](mailto:mpdancheva@gmail.com)