

GPS – PSEVDOKINEMATIČNA METODA IZMERE

mag. Miran Kuhar, mag. Janez Oven,
Simona Savšek-Safić, mag. Bojan Stopar
FAGG-Oddetek za geodezijo, Ljubljana
Prispelo za objavo: 25.2.1993

Izvleček

Opisana sta izmera in izračun koordinat točk za fotogrametrične oslonilne točke, izmerjene s psevdokinematično metodo sistema GPS. Opisana je psevdokinematična metoda opazovanja, podan je primer izmere 12 točk na območju Pivke. Izračunane so koordinate točk v sistemu GK in analize natančnosti.

Ključne besede: fotogrametrija, Global Positioning System, natančnost, oslonilne točke, psevdokinematična metoda, Slovenija

UVOD

Na območju Pivke je bila v decembru z namenom uporabe v fotogrametriji izmerjena mreža 12 točk z GPS psevdokinematično metodo. Primer Pivke je bil izbran, ker je bil v letu 1991 na tem območju izveden CAS in izmerjena navezovalna mreža. Koordinate točk so bile izračunane na Geodetskem zavodu Slovenije, topografije pa hranijo na Geodetski upravi v Postojni. Pri izmeri so bile uporabljene talne točke.

DOLOČITEV KOORDINAT OSLONILNIH TOČK Z GPS-jem

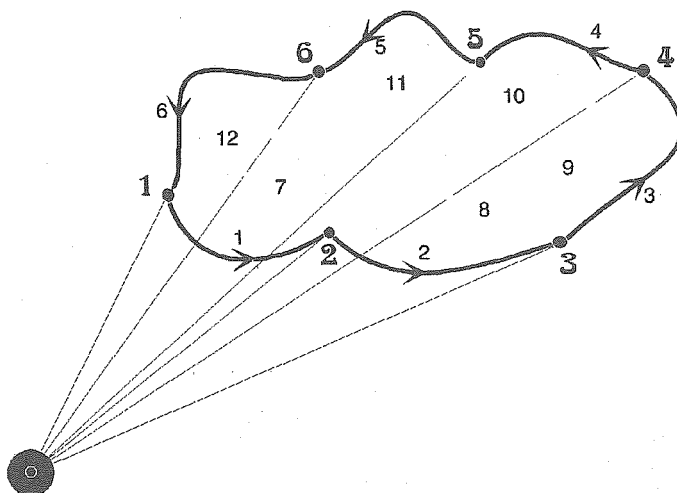
Za določitev fotogrametričnih oslonilnih točk je bilo s psevdokinematično metodo sistema GPS izmerjenih 12 točk (Slika 1). Točke so bile razdeljene v dve skupini. Prva skupina so točke z danimi koordinatami GK (5 točk). V skupini so trigonometrične točke 4. reda: 113z, 106z in 175z, trigonometrična točka 3. dopolnilnega reda, točka 104z in navezovalna točka 86. Osem oslonilnih točk (f1, f2, f3, f4, f5, f6, f7 in f8) tvori drugo skupino točk. Le-te so bile izračunane z meritvami GPS-ja. Točka f2 je identična točki 106. Vse točke so dostopne z osebnim avtomobilom. Oslonilnim točkam je bilo treba določiti koordinate v koordinatnem sistemu GK.

PSEVDOKINEMATIČNA METODA – OPAZOVANJA

Zahtevana natančnost določitve oslonilnih točk je bila podana glede na natančnost fotogrametrije, in sicer $m_x = m_y = \pm 0,05$ m in $m_z = \pm 0,10$ m. Glede na zahtevano natančnost, zaradi relativno kratkih razdalj (do 5 km) in dobre dostopnosti točk, je bila za določitev novih točk z meritvami GPS-ja uporabljena psevdokinematična metoda, ki zadovoljuje dane zahteve (King 1987). GPS psevdokinematična metoda izmere spominja na kinematično metodo po načinu opazovanj (pridobivanja podatkov) in na statično metodo pri obdelavi podatkov. Metoda je znana tudi pod

A detailed topographic map of a region in Slovenia, centered around the settlement of Petelinje. The map features contour lines indicating elevation, with labels such as 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880,

Pri planiranju izmere z GPS psevdokinematično metodo je treba imeti na razpolago vsaj 3 iste satelite (bolje 4 ali več), ki bodo na nebu ves čas opazovanja ene grupe točk (dvakratnega obiska vseh točk). V času potovanja med točkami ni potrebno sprejemati satelitskega signala. Če imamo več potujočih sprejemnikov, ki istočasno zbirajo podatke, in so operaterji v radijski zvezi, lahko določimo tudi vektorje med njimi. Pri psevdokinematični metodi ni nujno, da je eden od sprejemnikov na stalni točki, ampak se lahko vsi premikajo. Ta postopek je produktivnejši, posebno v primeru, ko imamo na voljo manjše število sprejemnikov. Na ta način pa pridobimo manj neodvisnih vektorjev.



Slika 2: Psevdokinematična metoda izmere (en stalen, en premičen sprejemnik)

V našem primeru smo izmero točk opravili s tremi dvofrekvenčnimi sprejemniki GPS Ashtech XII. Opazovanja so bila izvedena 16. decembra 1992. Planiranje opazovanj je bilo opravljeno glede na metodo izmere, razporeditev satelitov in število sprejemnikov, kar je pri učinkovitosti odločilnega pomena. Razporeditev satelitov (do sedaj je lansiranih 20 satelitov) je dopuščala opazovanja med 10.15 in 12.05 in od 12.45 naprej po lokalnem času. Potrebni čas opazovanj, skupno s potovanji med točkami, z dvema sprejemnikoma, bi bil 8 ur, s tremi sprejemniki pa 4 ure. Opazovanja so potekala v dveh sekcijah. V obeh sekcijah je bil en sprejemnik na stalnem mestu, dva sta bila potujoča. Opazovanja s potujočima sprejemnikoma so potekala sočasno (radijska zveza) tako, da je bilo mogoče med vsemi točkami izračunati 18 vektorjev.

Potek meritev po posameznih sekcijah je bil naslednji:

1. sekcija

<i>Začetek opazovanja</i>	<i>Konec opazovanja</i>	<i>Sprejemnik 1</i>	<i>Sprejemnik 2</i>	<i>Sprejemnik 3</i>
10.15	10.23	104	f3	f1
10.33	10.41	104	175	86
10.52	11.02	104	f6	f2
11.12	11.20	104	f3	f1
11.30	11.38	104	175	86
11.48	11.57	104	f6	f2

2. sekcija

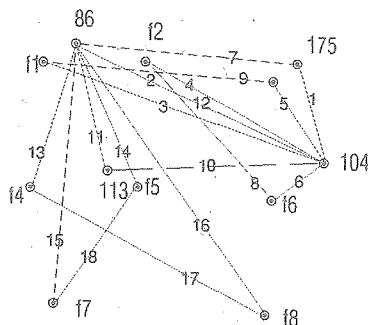
Začetek opazovanja	Konec opazovanja	Sprejemnik 1	Sprejemnik 2	Sprejemnik 3
12.50	13.03	86	104	113
13.18	13.26	86	f8	f4
13.45	13.55	86	f5	f7
14.10	14.18	86	104	113
14.32	14.41	86	f8	f4
14.53	15.05	86	f5	f7

Realni čas opazovanja je razviden iz preglednic sekcije 1 in sekcije 2.

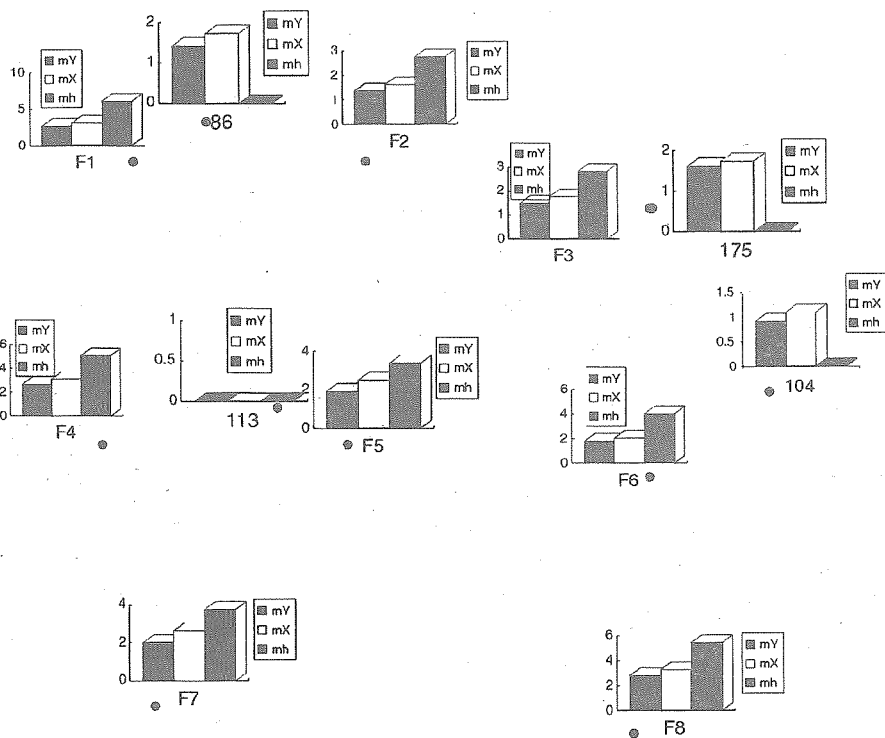
PSEVDOKINEMATIČNA METODA – RAČUNANJA

S programom za obdelavo GPS opazovanj smo izračunali 18 prostorskih vektorjev (Slika 3) in njihovo natančnost. Vektorje smo nato izravnali v mreži s programom Columbus. Mrežo smo najprej izravnali kot prosto mrežo na elipsoidu, tako da smo privzeli za dane koordinate ene točke (φ, λ, H). Z izravnavo proste mreže ocenimo kvaliteto opazovanj. Ugotovili smo, da v mreži ni grobih pogreškov. Mrežo smo nato izravnali tako, da smo privzeli kot dano točko 113 s koordinatami (φ, λ, H) in štiri točke z nadmorskimi višinami (113, 86, 175 in 104). Pri tem smo predpostavili, da se geoid lokalno ne spreminja (elipsoidne višinske razlike ustrezajo razlikam nadmorskih višin). Z izravnavo mreže na ta način pridobimo koordinate φ, λ, H , kjer je H nadmorska višina za vse točke. Iz trojice koordinat φ, λ, H odstranimo element višine, j in l pa pretvorimo v GK koordinate. Koordinate, ki jih na ta način pridobimo, so lokalne in obremenjene z absolutno nenatančnostjo meritev GPS-ja. Z meritvami GPS-ja so dobro določeni relativni odnosi v mreži, absolutni položaj mreže na elipsoidu je slabše določen (nekaj 10 do 100 metrov).

Tako pridobljene koordinate je treba transformirati še v državni GK sistem. Da smo dobili koordinate oslonilnih točk v državnem koordinatnem GK sistemu, smo transformirali GK koordinate lokalne mreže v državni sistem na podlagi štirih točk, danih v obeh sistemih. Za transformacijo smo uporabili točke 86, 104, 113 in 175. V Tabeli 3a so prikazani rezultati transformacije koordinat GK v državni GK sistem. Podane so koordinate točk, preostala odstopanja na oslonilnih točkah po transformaciji in srednji pogreški transformacije (M) po vsaki osi.



Slika 3: Shema 18 opazovanih vektorjev



Slika 4: Natančnost točk v mreži, po oseh (izračunana s programom Columbus – enota centimetri)

Preglednica 3a

Točka	Y	X	Z	dY	dX	dZ
104	40527,854	59853,070	590,250	-,004	-,010	,000
113	37239,027	59751,440	628,530	,003	,020	,000
175	39758,049	61080,511	552,100	,011	,009	,000
86	36767,710	61658,828	589,740	-,010	-,018	,000

M	±,008	±,015	±,000
---	-------	-------	-------

Preglednica 3b

Točka	Y	X	Z
f1	36280,920	61385,209	582,256
f2	37831,818	61393,072	563,199
f3	39738,622	61077,366	551,608
f4	36071,325	59500,200	588,177
f5	37705,691	59503,454	575,612
f6	39729,547	59286,379	586,553
f7	36417,364	57752,429	473,504
f8	39623,740	57571,894	553,846

Preostalih pogreškov pri višinah v Preglednici 3a ni, ker smo lokalno mrežo v višinskem smislu navezali na točke 104, 113, 175 in 86.

ANALIZE

Iz opazovanj na 12 točkah je bilo izračunanih 18 prostorskih vektorjev. Opazovanja vektorjev so dobra, ko je srednji pogrešek določitve dvojne fazne razlike (rms) $< 0,09$ in ko je razmerje med najverjetnejšima vrednostima določitve celega števila valov (ratio) > 3 . Pri opazovanjih v Pivki sta bila:

$$\begin{aligned} \text{rms: } & 0,003 < \text{rms} < 0,04, \\ \text{ratio: } & 25 < \text{ratio} < 284. \end{aligned}$$

Srednji pogreški izmerjenih koordinatnih razlik vektorjev po posameznih oseh so bili od 3 do 61 milimetrov. Pred izravnavo mreže so bila izračunana odstopanja zapiranja likov (trikotnikov in četverokotnikov). Odstopanja so bila v mejah natančnosti srednjih pogreškov vektorjev. Pri izračunu mreže iz prostorskih vektorjev je podana tudi natančnost vsake točke v mreži (Slika 4). Odstopanja v osi Y so med 11 in 32 mm, v osi X med 9 in 28 mm in v osi Z med 27 in 61 mm, kar kaže, da so višine točk dvakrat slabše določene kot položaj. Na to lahko vplivajo slabe višine danih točk ali pa je elipsoid slab približek za geoid. Neodvisno kontrolo smo naredili na točki 106 (ena od fotogrametričnih točk), ki je imela dane GK koordinate. Odstopanja na točki 106 so: $\Delta Y = \Delta X = 0,01$ m in $\Delta Z = 0,07$ m.

ZAKLJUČEK

Meritve v Pivki so pokazale, da je psevdokinematična metoda meritev v sistemu GPS-ja primerna in učinkovita pri meritvah v mrežah, kjer razdalje niso daljše od nekaj kilometrov. Zaželeno je, da so točke lahko dostopne. Psevdokinematična metoda bi bila primerna za nove lokalne mreže, navezovalne mreže ali mreže fotogrametričnih oslonilnih točk.

Vira:

Ewing, B., 1990, *Psevdokinematic GPS for the surveyor*, GPS World, Chester, sept.-okt., 50-52.
King, R.W., Masters, E.G., 1987, *Surveying with GPS*, Duemmlers Verlag, Bonn.

Recenzija: Dušan Mišković
Barbara Sušnik