

POZICIONIRANJE, ORIJENTISANJE I ODREĐIVANJE DALJINE DO CILJA NA SAMOHODNOM VIŠECEVNOM RAKETNOM LANSIRNOM SISTEMU KORIŠĆENJEM GPS I ELEKTRONSKIH KARATA

Sekulović J. *Dragoljub*, Vojna akademija, Dekanat, Beograd,
Đurković P. *Vlado*, Vojna akademija, Katedra
prirodnomatemičkih i tehničkih nauka, Beograd,
Milošević B. *Milan*, Vojnotehnički institut, Sektor za
naoružanje i vozila, Beograd

UDC: 623.465.5

Sažetak:

U radu je prikazano pozicioniranje i orijentisanje višecevnog raketnog sistema korišćenjem GPS prijemnika i određivanje rastojanja od lansera do cilja upotrebom geografskih koordinata. Koordinate koje se koriste za zadavanje pozicije cilja su geografske ili UTM, a dobijene su sa elektronske karte terena.

Ključne reči: geografsko-informacioni sistemi, elektronske karte, višecevni lanser raketa, nevođena raketa, elementi gađanja, sistem za upravljanje vatrom.

Uvod

Kod modernih sistema za upravljanjem vatrom (SUV) obavezna je upotreba geografskih informacionih sistema (GIS). Raketni lansirni sistemi poslednje generacije podrazumevaju da svako oruđe ima svoj oruđni SUV [1]. SUV je namenjen za određivanje elemenata gađanja i korekturu vatre na osnovu osmatranja pogodaka na cilju [2]. Sastoji se od sledećih podsistema:

1. uređaja za zemaljsku orijentaciju i navigaciju;
2. uređaja za proračun elemenata gađanja takozvanog balističkog modula;

3. uređaja za određivanje prizemnih meteoroloških podataka;
4. podsistema za osmatranje;
5. upravljačko-izvršnih organa za zauzimanje elemenata gađanja;
6. uređaja za nišanje (nišanske sprave);
7. podsistema za vezu (radio-uređaji).

Određivanje pozicija lansera i cilja, a takođe i drugih objekata, nezamislivo je bez elektronskih karata.

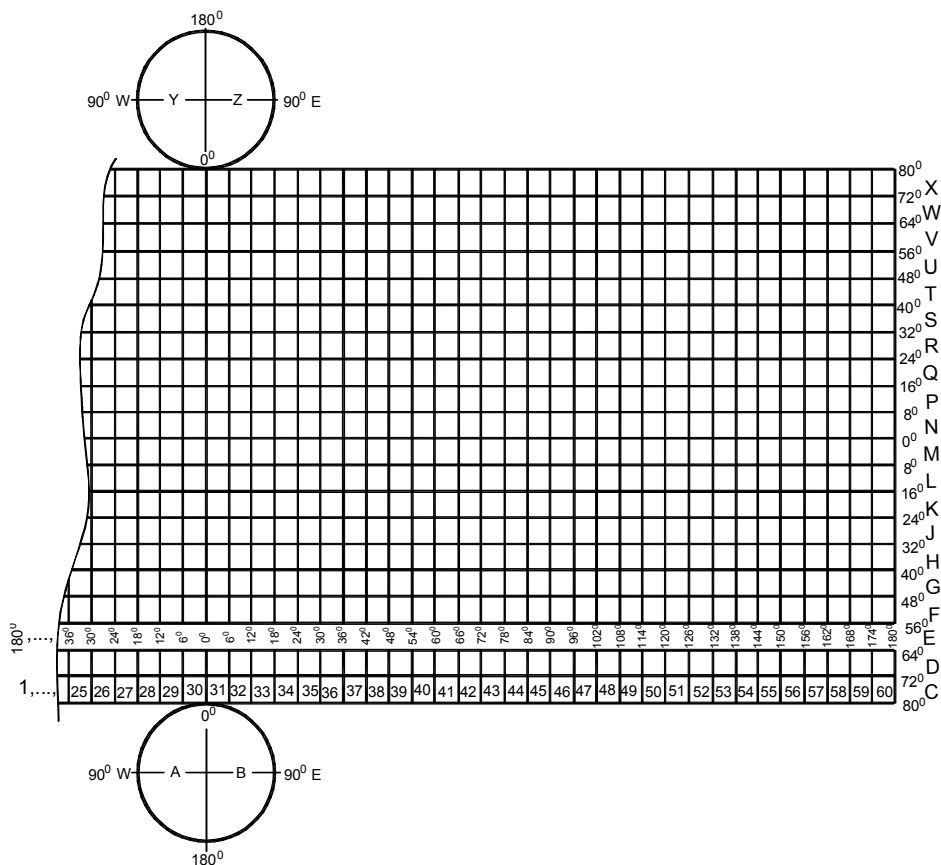
Koordinatni sistemi i kartografske osnove

Dosadašnje topografske karte rađene su u konformnoj Gaus-Krige-rovoj kartografskoj projekciji trostepenih zona, na bazi lokalnog Zemljinog elipsoida Besela 1841, gde je koordinatni početak vezan za grinički meridian [3, 4, 5, 6].

Nove karte zahtevaju kompatibilnost sa STANAG (Standardization Agreement), pa se karte rade prema globalnom elipsoidu WGS84 (World Geodetic System 1984) i prema univerzalnoj poprečnoj Merkatorovoj projekciji UTM (The Universal Transverse Mercator).

Koordinatni sistem je definisan imenom, jedinicama koje koristi, smerom i redosledom osa, a čini skup uslovljenih fiksnih linija koje služe za jednoznačno određivanje položaja tačke na nekoj ravni, matematički zadatoj krivoj površi ili u prostoru uopšte.

Projekcija UTM (Svetska poprečna Merkatorova projekcija ili Univerzalna poprečna Merkatorova projekcija) u stvari je izraz anglosaksonskog porekla za modifikovanu Gaus-Krigerovu projekciju. I pored toga što se u literaturi, naročito kod nas, vrlo često govori o UTM projekciji, u širem smislu, reč je zapravo o referentnom koordinatnom sistemu. To je koordinatni sistem za koji je jasno definisan datum (WGS84 – Svetski Geodetski Sistem) i pravila za obeležavanje površina i tačaka. WGS84 je geocentrični geodetski datum, globalnog karaktera, koji za matematičku aproksimaciju Zemlje koristi parametre Geodetskog referentnog sistema 1980 (GRS80 – Geodetic Reference System). Sistem se zasniva na teoriji nivojskog, geocentričnog, obrtnog elipsoida, izražene parametrima realne Zemlje.



Slika 1 – Prvi stepen obeležavanja
 Figure 1 – The first level of description

Sjedinjene Američke Države prve su usvojile UTM projekciju 1947. godine, a usavršile 1951. godine, stvarajući uslove da cela Zemljina površina, uz jedno ograničenje, bude obuhvaćena jedinstvenim koordinatnim sistemom. Kasnije će se pokazati da je ovaj potez, pored ostalog, olakšao Sjedinjenim Državama vođenje rata u bilo kom delu sveta [7, 8].

Ograničenje se odnosi na polarne oblasti. Naime, zbog izražene konvergencije meridijana u polarnim oblastima, što bi dovelo do neprihvatljivih deformacija kod UTM projekcije, ove oblasti čine posebne celine i za njihovo predstavljanje koristi se univerzalna polarna stereografska projekcija (UPS – Universal Polar Stereographic). Univerzalna polarna stereografska projekcija je komplementarna sa UTM koordinatnim sistemom, ali i nezavisna od njega. Danas UTM koordinatni sistem predstavlja standard za sve države članice NATO saveza.

Osnovne karakteristike UTM koordinatnog sistema su:

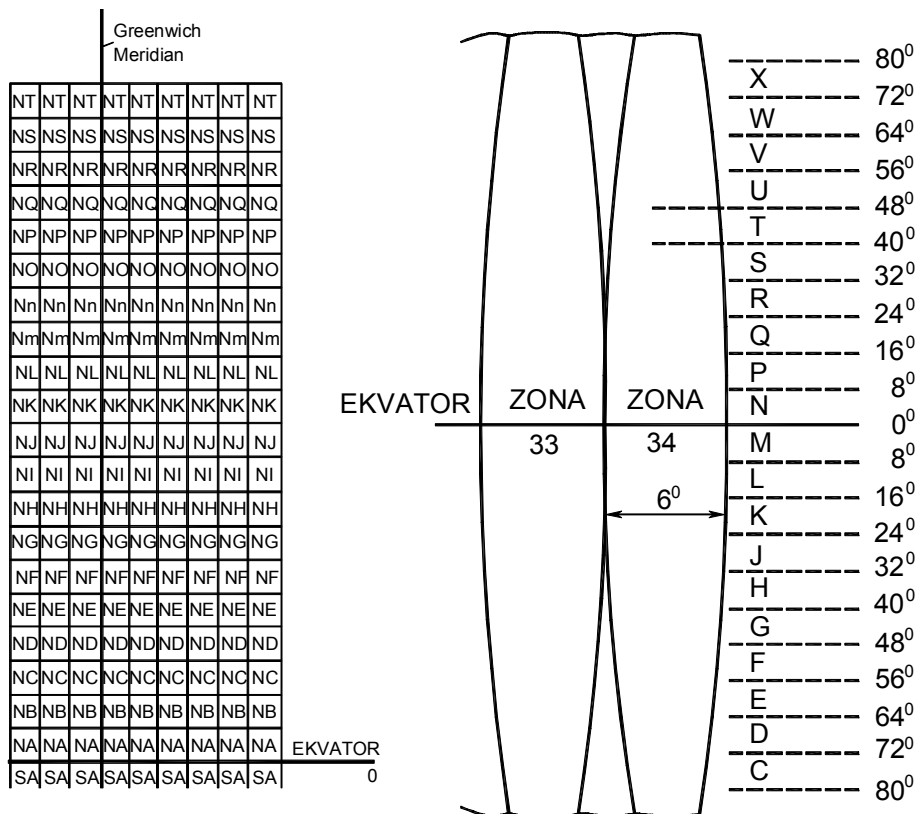
- šestostepenske dužinske zone (ukupno 60 zona, početak prve zone je „datumska granica“, tj. srednji meridijan prve zone ima longitudu 177° zapadne geografske dužine);
- susedne zone se preklapaju u pojasu od 400.000 m;
- metar kao merna jedinica;
- uslovna vrednost apscise (ekvatora) za severnu hemisferu je 0 m, a za južnu 10.000.000 m, tako da sve apscise imaju pozitivnu vrednost;
- uslovna vrednost ordinata (srednji meridijan zone) je 500.000 m, tako da sve ordinate imaju pozitivnu vrednost;
- konstantni linearni modul razmere $m = 0,9996$ (razmer duž srednjeg meridijana, udaljavanjem od srednjeg meridijana zone razmer se povećava);
- pravouglo koordinate se jedinstveno određuju za sve zone;
- formule za transformaciju koordinata iz jedne zone u drugu su jedinstvene, i
- konvergencija meridijana ne prelazi 5° .

Cilj sistema obeležavanja površina i tačaka jeste da omogući jednoznačno obeležavanje ma koje površine ili tačke na celoj Zemlji, isključujući svako opisno objašnjavanje gde se ta tačka nalazi. Ovaj sistem identifikacije mreže predstavlja standard koji se primenjuje na svim vojnim kartama članica NATO-a.

Sistem sadrži tri stepena obeležavanja. *Prvi* i *drugi* stepen označavaju površine, a *treći* položaj tačaka unutar tih površina.

U prvom stepenu obeležavanja Zemljina površina između 80°N i 80°S je meridijanima i paralelama podeljena na redove i kolone (sl. 1). Uzastopna rastojanja meridijana iznose 6° , a uzastopna rastojanja paralela 8° . Kolone se obeležavaju arapskim brojevima od 1 do 60; a redovi velikim slovima abecede, počev od C do zaključno X, pri čemu su slova I i O ispuštena. Slova A, B, Y i Z rezervisana su za obeležavanje severnog i južnog polarnog prostora. Svaka tako ograničena površina naziva se zonom (Grid Zone Designation). Svaka zona obeležava se oznakom kolone i reda. Tako bi zona koja obuhvata deo naše teritorije nosila oznaku 34 T. Ovaj stepen obeležavanja koristi se samo kada se želi definisati prostor u okviru svetskih relacija, a u lokalnom obeležavanju obično se izostavlja.

U drugom stepenu obeležavanja (sl. 2), svaka zona se deli na kvadratne površine sa stranama od 100 km (meter square Identification). Kvadrati se baziraju na UTM pravougljnoj mreži. Početak kvadriranja poklapa se sa koordinatnim početkom svake UTM zone. Počev od 180° meridijana, idući istočno duž Ekvatora u intervalima od po 18° , kolone kvadrata obeležavaju se slovima od A do Z (slova I i O su ispuštena).

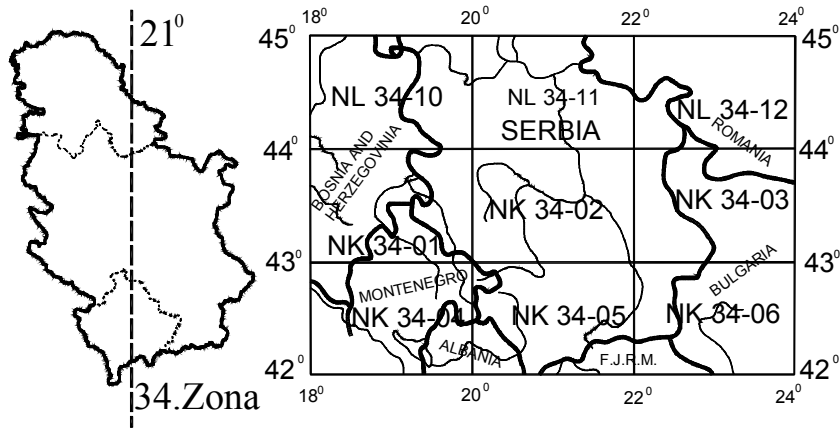


Slika 2 – Drugi stepen obeležavanja
 Figure 2 – The second level of description

Obeležavanje redova u neparnim zonama počinje od juga prema severu, slovima A do V (slova I i O su izostavljena). Abeceda se ponavlja svakih 2.000.000 m. U parno obeleženim zonama redovi počinju da se obeležavaju *abecednim* redom, počev od apscisne linije mreže sa vrednošću 500.000 m, i to isto tako od juga prema severu.

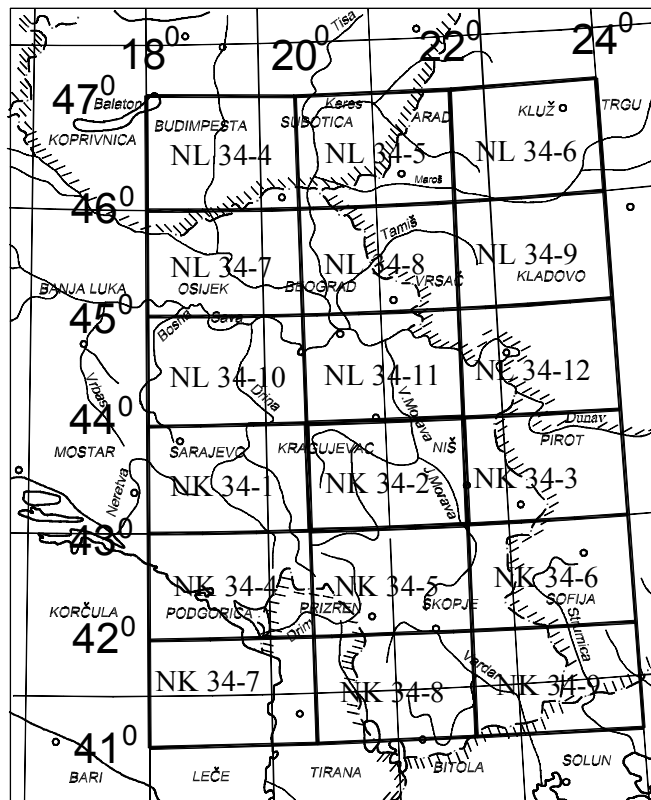
Broj kvadrata sa stranama od 100 km nije isti u svim zonama. Dok je broj redova isti na svim širinama, broj kolona se smanjuje povećavanjem geografske širine. Tako na 80. paraleli ostaju samo dve kolone. S obzirom na to što UTM obuhvata celu Zemljinu površinu, ovakvo obeležavanje ne može se smatrati savršenim.

Prema ovoj podeli teritorija Srbija pripada zoni 34T (sl. 3 i 4).



Slika 3 – Treći stepen obeležavanja
 Figure 3 – The third level of description

Slika 4 – Skica položaja lista karte
 Figure 4 – Chart of the map position



Slika 5 – Listovi karte i podela
 Figure 5 – Map sections and map allocation

Dok je pri obeležavanju zona identifikovanje jednostavno, to nije slučaj i sa obeležavanjem kvadrata. Zato se izdaju posebni registri u vidu skica pojedinih geografskih regiona, u kojima je podela na kvadrate sa stranama od 100 km sa svojim oznakama (sl. 5).

Na preglednim skicama postoji i podatak o tome na kojem sferoidu je određena teritorija izračunata.

Treći stepen obeležavanja određuje položaj tačke pravouglim koordinatama sa željenom tačnošću. Sistem se sastoji od uzastopnog ređanja slova i brojki, bez tačaka, zareza, povlaka ili decimala. Način obeležavanja može se sagledati iz datog primera.

Numerička oznaka tačke uvek sadrži paran broj cifara, bez obzira na to sa kojom tačnošću će se tačka obeležiti. Prva polovina cifara predstavlja veličinu ordinate, a druga apscise. Pri tome se, zavisno od razmera karte, neka početna slova i brojke mogu izostavljati radi kraćeg pisanja.

Ciljevi GIS-a:

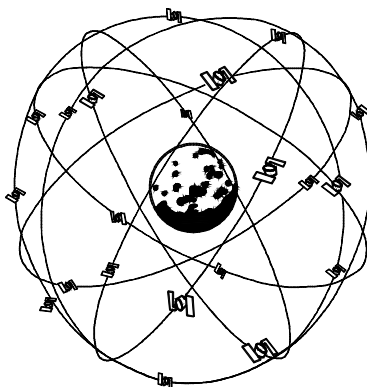
- Skladištenje, operisanje i povezivanje velikog broja podataka – prostornih (tačka, linija, oblast) i neprostornih (opisne informacije);
- Kako bi se analizirali geografski podaci – gde su oblasti koje pokriva naoružanje napadača, oblikovanje logističkih ruta na vojištu i drugo i
- Kako bi se obradili svi ovi podaci kojima korisnik sa lakoćom može da pristupi.

Moguće primene DMT u Vojsci

- Geomorfološke karakteristike terena, tj. vizualizacija reljefa;
- Optička vidljivost i dogledanje;
- Nagib terena i izrada karte tenkoprohodnosti;
- Izrada profila i analiza zemljišta sa vojnog i bezbedonosnog aspekta.

AMERIČKI – sistem NAVSTAR GPS

U operativnoj upotrebi od 1993. godine GPS sateliti su postavljeni u 6 orbita zakošenih za 55° na visini od 20 km do 200 km i imaju vreme obilaska od 12 sati. Za normalan rad sistema potrebno je 24 satelita (sl. 6).



Slika 6 – Američki sistem NAVSTAR GPS
Figure 6 – US NAVSTAR GPS system

Pozicioniranje lansera raketa na vatrenom položaju

Samohodni višecevni raketni lanseri poslednje generacije pozicioniraju se i orijentišu na vatrenom položaju preko GPS (Global Positioning System) prijemnika. Jedan od načina orijentacije u odnosu na sever jeste orijentisanje pomoću letve na kojoj se nalaze dve GPS antene (sl. 7, 8). Dužina letve na kojoj se nalaze antene diktira i tačnost orijentacije prema severu.

Azimut lansirnog oruđa određuje se jednačinom

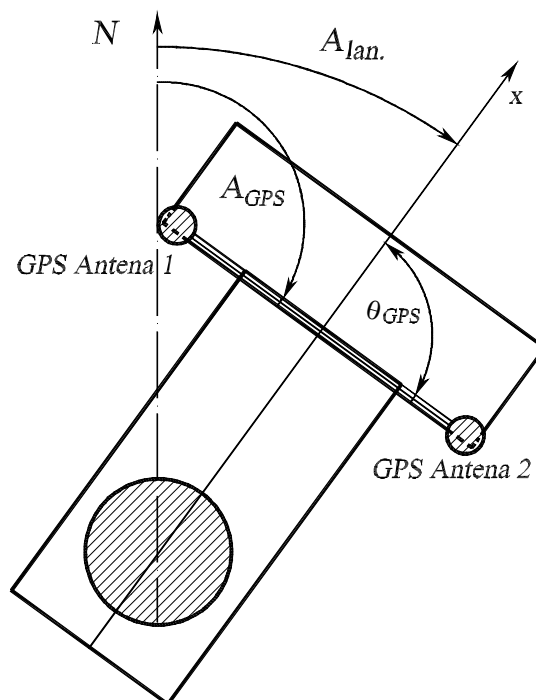
$$A_{lan} = A_{GPS} - \theta_{GPS}, \quad (1)$$

gde je:

A_{lan} – azimut lansirnog oruđa;

A_{GPS} – azimut letve na kojoj se nalaze antene i

θ_{GPS} – ugao ugradnje letve u odnosu na podužnu osu vozila.



Slika 7 – Orijetacija pomoću GPS prijemnika sa dve antene
Figure 7 – Orientation using a GPS receiver with two antennas

Primer ugradnje antena prikazan je na sl. 8. Jedna antena koristi se za pozicioniranje, a obe za orijentisanje, tj. određivanje azimuta. Preko risivera podaci se prosleđuju računaru gde se vrši njihova obrada. Obradeni podaci prikazani su u jednom prozoru SUV-a (sl. 11), gde su prikazane geografska dužina, širina, nadmorska visina i azimut oruđa na vatrenom položaju. Izgled GPS antena prikazan je na sl. 9, a risivera za prijem i obradu podataka na sl. 10.



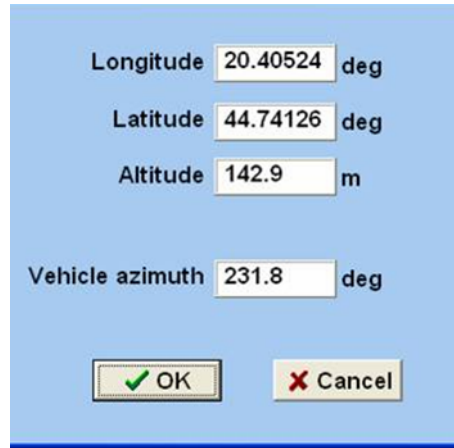
Slika 8 – Letva sa GPS antenama na jednom oglednom vozilu
Figure 8 – Rod with two GPS antennas on an experimental vehicle



Slika 9 – GPS antene
Figure 9 – GPS antennas



Slika 10 – Izgled jednog risivera za prijem i obradu podataka
Figure 10 – A receiver for data acquisition and processing



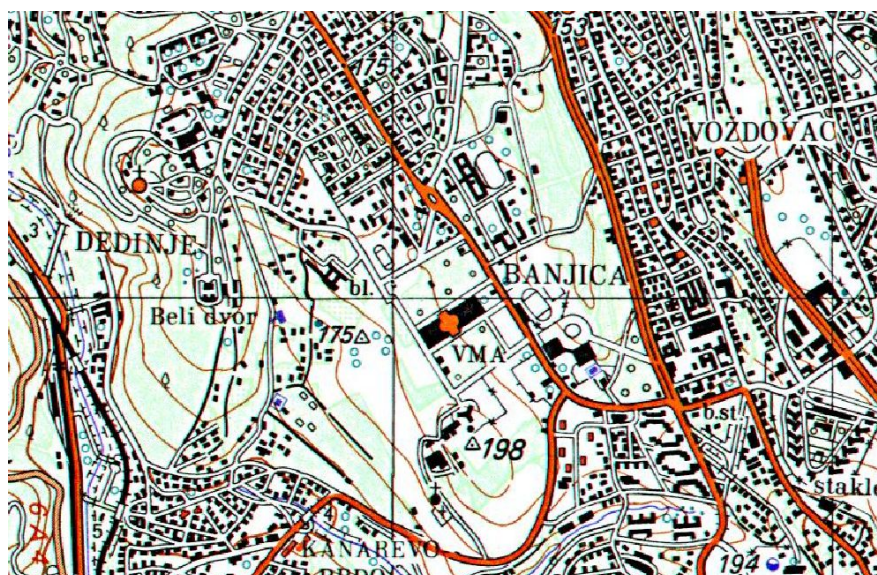
Slika 11 – Izgled prozora u SUV-u za prikaz pozicije i orijentacije lansera
Figure 11 – Window in the FCS for displaying the launcher position and orientation

Elektronske karte

Da bi se dobila elektronska karta u ravni prvo mora da se skenirana karta terena u *jpg* ili *bmp* formatu u što većoj rezoluciji, najbolje 300 tačaka po inču (sl. 12). Na toj karti treba poznavati najmanje šest tačaka čije su koordinate unapred poznate, a određene su pomoću GPS prijemnika ili na neki drugi način. Pomoću nekog softverskog paketa, kao što je GeoMap ili ArcGIS, vrši se kalibracija i digitalizacija karte.

Na elektronskoj karti mogu se prikazivati svi objekti koji su od vitalnog značaja, kao što su:

- lansirna oruđa;
- ciljevi koje treba uništiti;
- komandna mesta;
- osmatračići i drugo.

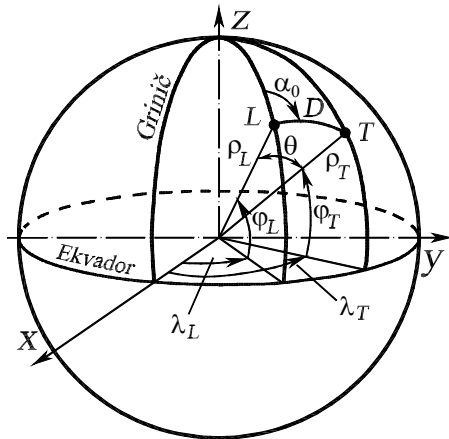


Slika 12 – Elektronska karta TK 100 sa učitanim objektima
Figure 12 – TK 100 Electronic map with objects

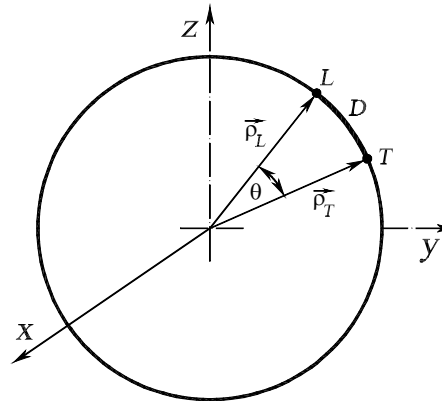
Izračunavanje rastojanja i azimuta od lansera do cilja

Da bi izračunali rastojanje između dve tačke na Zemlji poslužićemo se geografskim koordinatnim sistemom (ρ, φ, λ) (sl. 13). Geografski koordinatni sistem ima za koordinatni početak središte Zemlje. Koordinata ρ je poteg tač-

ke gde se nalazi lanser raketa, φ je geografska širina merena uglom između potega mesta lansera i ravni Zemljinog ekvatora i λ je geografska dužina merena uglom između griničkog meridijana i meridijana mesta na kojem se nalazi lanser sa pozitivnim smerom od griničkog meridijana prema istoku.



Slika 13 – Geografski koordinatni sistem
Figure 13 – Geographical coordinate system



Slika 14 – Vektori položaja lansera, cilja i ugao između njih
Figure 14 – Launcher and target position vectors and the angle between them

Pozicija vatrenog položaja definisana je sa tri koordinate h_L , λ_L , φ_L , gde su: h_L – visina vatrenog položaja; λ_L – geografska dužina vatrenog položaja i φ_L – geografska širina vatrenog položaja.

Pozicija cilja definisana je sa tri koordinate h_T , λ_T , φ_T , gde su: h_T – nadmorska visina cilja; λ_T – geografska dužina cilja i φ_T – geografska širina cilja.

Rastojanje između lansera i cilja biće rešeno tako što će sferne koordinate biti prebačene u pravougaone, za tačku L , odnosno:

$$\begin{aligned}x_L &= \rho_L \cos \varphi_L \cos \lambda_L, \\y_L &= \rho_L \cos \varphi_L \sin \lambda_L, \\z_L &= \rho_L \sin \varphi_L\end{aligned}\quad (2)$$

i za tačku T

$$\begin{aligned}x_T &= \rho_T \cos \varphi_T \cos \lambda_T, \\y_T &= \rho_T \cos \varphi_T \sin \lambda_T, \\z_T &= \rho_T \sin \varphi_T.\end{aligned}\quad (3)$$

Pošto su u pitanju dometi 10–70 km može se usvojiti da su poluprečnici Zemlje na mestu lansera i cilja isti sa srednjom vrednošću prema jednačini (4) i sl. 14,

$$\rho_L = \rho_T = 6.378.101 \text{ m.} \quad (4)$$

Skalarni proizvod vektora položaja lansera i cilja može se prikazati jednačinom (5).

$$N = \rho_L \cdot \rho_T \cos \sphericalangle(\vec{\rho}_L, \vec{\rho}_T) = \rho_L \cdot \rho_T \cos \theta = \rho^2 \cos \theta, \quad (5)$$

gde je $\rho_L = \rho_T = \rho$.

S druge strane, može se prikazati da je

$$\rho_L \cdot \rho_T \cos \theta = x_L \cdot x_T + y_L \cdot y_T + z_L \cdot z_T. \quad (6)$$

Izjednačavanjem jednačine (4) i jednačine (5) i njihovim sređivanjem može se lako doći do jednačine (6) u obliku

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \cos \varphi_L \cos \lambda_L \cos \varphi_T \cos \lambda_T + \\ &+ \cos \varphi_L \sin \lambda_L \cos \varphi_T \sin \lambda_T + \sin \varphi_L \sin \varphi_T. \end{aligned} \quad (7)$$

Lučno rastojanje između lansera i cilja dato je kao

$$D = \frac{\theta \pi}{180^\circ} \rho. \quad (8)$$

Zamenom jednačine (7) u jednačinu (8) dolazimo do rastojanja između lansera i cilja jednačina

$$\begin{aligned} D &= \frac{\rho \pi}{180^\circ} \arccos(\cos \varphi_L \cos \lambda_L \cos \varphi_T \cos \lambda_T + \\ &+ \cos \varphi_L \sin \lambda_L \cos \varphi_T \sin \lambda_T + \sin \varphi_L \sin \varphi_T). \end{aligned} \quad (9)$$

Azimut gađanja (sl. 13) može se prikazati preko jednačine (10):

$$\cos \alpha_0 = \frac{\sin \varphi_T - \sin \varphi_L \cos \theta}{\cos \varphi_L \sin \theta}. \quad (10)$$

Zaključak

Ugradnjom GPS prijemnika sa dve antene dobija se pozicija lansirnog oruđa i njegov azimut. Na osnovu geografskih ili UTM koordinata sa GPS prijemnika i azimuta oruđa njegov položaj je potpuno određen u prostoru. Podaci o cilju uzimaju se sa elektronske karte direktnim marki-

ranjem zadatog cilja na displeju računara, posle čega se vrši automatsko određivanje rastojanja do cilja, a zatim se određuju elementi gađanja za zadate uslove.

Uvođenjem orijentacije preko GPS prijemnika i elektronskih karata izvršena je potpuna autonomnost višecevnog lansirnog sistema sa novom i savremenom koncepcijom sistema za upravljanje vatrom.

Literatura

- [1] Siouris, M. G., *Missile Guidance and Control System*, Springer-Verlag, New York, Inc. 2004.
- [2] ArcGis 9.2, *ESRI*, October 2006.
- [3] Nenadović, M., *Osnovi kosmičkog leta*, Institut tehničkih nauka SANU, Beograd, 1979.
- [4] Sekulović, D., Gigović, Lj., *Geografski informacioni sistemi u komandnim i kontrolnim informacionim sistemima*, SYM-OP-IS 2008. Soko Banja, 2008
- [5] Jovanović, V., *Matematička kartografija*, Vojnogeografski institut, Beograd, 1983.
- [6] Borčić, B., *Gauss – Krugerova projekcija (teorija i primena u državnom premeru)*, VGI, Beograd 1955.
- [7] Banković, R., Tatomirović S., *Topografska karta 1 : 250 000 – prva karta po NATO standardu izrađena u vojsci Srbije*, OTEH, Beograd–Žarkovo, 2007.
- [8] Borisov, M., Tatomirović, S., Banković, R., *Nacionalna infrastruktura geoprostornih podataka u razmeri 1:25000*, SYM-OP-IS 2008, Soko Banja, 2008, pp. 153–156.

POSITIONING, ORIENTATION AND DETERMINATION OF THE DISTANCE TO TARGET ON A SELF – PROPELLED MULTIPLE ROCKET LAUNCHER SYSTEM USING GPS AND ELECTRONIC MAPS

Summary:

The GPS positioning and orientation of a self-propelled multiple rocket launcher is presented. The determination of the distance from the launcher to target using geographic coordinates is given as well. The coordinates applied in determining the target position are either geographic or UTM coordinates while terrain electronic maps are obtained as a result.

Introduction

Modern firing control systems (FCSs) require the use of geographic information systems (GIS). All rocket launcher systems of the last generation are equipped with FCSs.

Coordinate systems and cartographic base

Previous topographic maps were made in the Gauss-Kruger cartographic projection with three-degree zones.

Since new maps require compatibility with STANAG (Standardization Agreement), they are made in accordance with global ellipsoid WGS84 (World Geodetic System 1984) and the universal transverse Mercator projection UTM (The Universal Transverse Mercator).

A coordinate system is defined by its name, the units used, the direction and the order axis, and consists of a set of fixed lines used to uniquely determine the position of points in a plane, mathematical curved surface or in space in general.

The UTM projection (World transverse Mercator projection or Universal transverse Mercator projection) is in fact an expression of Anglo-Saxon origin for a modified Gauss-Kruger projection.

The United States first adopted the UTM projection in 1947, and perfected it in 1951. Today the UTM coordinate system is standard for all NATO member states.

Positioning the rocket launcher in the firing position

A self-propelled multiple rocket launchers of the last generation is positioned and oriented to the fire position by a GPS receiver.

The length of rods with antennas is largely dictated by antennas and the accuracy of the orientation towards the North. The launcher azimuth is determined by the equation

$$A_{lan} = A_{GPS} - \theta_{GPS},$$

Where: A_{lan} – launcher azimuth; A_{GPS} – azimuth of the rod with GPS antennas; and θ_{GPS} – angle of rod mounting to the vehicle longitudinal axis.

Electronic maps

For obtaining an electronic map in the plane, the terrain map in .jpg or .bmp format must be first scanned in a highest resolution possible. This map should contain at least six points the coordinates of which are already known in advance, obtained by a GPS receiver or by some other method. Software packages such as ArcGIS or GeoMap are used for calibration and digitization of maps.

Calculating the distance and the azimuth from the launcher to the target

The geographic coordinate system (ρ, φ, λ) is used to calculate the distance between two points on the ground.

The distance between the launcher and the target is given by the equation

$$D = \frac{\rho\pi}{180^0} \arccos(\cos \varphi_L \cos \lambda_L \cos \varphi_T \cos \lambda_T + \cos \varphi_L \sin \lambda_L \cos \varphi_T \sin \lambda_T + \sin \varphi_L \sin \varphi_T),$$

and the firing azimuth can be obtained by the equation

$$\cos \alpha_0 = \frac{\sin \varphi_T - \sin \varphi_L \cos \theta}{\cos \varphi_L \sin \theta}.$$

Conclusion

Installing a GPS receiver with two receiving antennas results in obtaining the launcher position as well as its azimuth. Target data are taken from the electronic map by directly marking a previously determined target on the computer display, which is followed by automatic target distance determination and determination of firing elements for the given conditions.

Introduction of GPS receivers and electronic maps in orientation leads to a full autonomy of multiple rocket launcher systems with a new and modern concept of firing control systems.

Key words: Geographic information systems, electronic maps, multiple rocket launcher, unguided rocket, firing elements, fire control system.

Datum prijema članka: 15. 01. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 22. 01. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 24. 01. 2010.