

Tesztmező kialakításának lehetséges geodéziai technológiái

Busics György

Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar, Geoinformatikai Intézet; busics.gyorgy@amk.uni-obuda.hu

Abstract—This paper summarizes the possible surveying technologies to get precise coordinates for test field points. The accuracy of RTK GNSS method is not suitable in this situation. The recommended technology is to create horizontal and vertical surveying micro net with angles and distances measuring with total station. The micro net must be adjusted as free network or constrained network. In the constrained case the 2 given points we can get from RTK GNSS or other GNSS method (among these for example PPP).

Index Terms: test-field, GNSS technology, surveying network

Kulcsszavak: tesztmező, GNSS technológia, geodéziai hálózat

Bevezetés

Az UAV-k minősítését szolgáló tesztmezővel szemben számos elvárást fogalmazhatunk meg. Legyen nyílt, repülésre alkalmas, változatos domborzatú területen; legyen könnyen megközelíthető; a pontjелеk megfelelő méretűek, mozdulatlanok, egyértelműen azonosíthatóak, jól leképződőek legyenek, fennmaradásuk hosszabb időtávon legyen biztosított, a terület felett a biztonságos és engedélyezett repülés megoldható legyen. Témánk szempontjából a legfontosabb kritérium, hogy a pontjелеk helymeghatározó adatai (koordinátái, magassága) legalább olyan, de inkább egy nagyságrenddel pontosabb legyen, mint amilyen pontosság a vizsgálni kívánt UAV egységgel elérhető.

Ebben a cikkben azokat a geodéziai mérési technológiákat tekintem át, amelyekkel legalább 1 cm-es ponthiba érhető el a tesztpontok meghatározásakor.

Ilyen célból ma kétféle mérőműszert illetve mérési technológiát alkalmazhatunk: GNSS-t és mérőállomást, illetve ezek kombinációját. Bár kézenfekvő és praktikus lenne az RTK GNSS technológia kizárólagos használata, azonban az elvárt pontosságbiztosításához nem ezt, hanem a mérőállomással, hálózatos szemlélettel végzett irány- és távmérést tartom legjobb megoldásnak. Ezt röviden mikrohálózatnak nevezhetjük. A most szóba jöhető technológiák a következők.

- 1) Tisztán GNSS meghatározás
 - a. RTK módszerrel
 - b. statikus méréssel.
- 2) Tisztán mérőállomásos meghatározás
 - a. adott pontok nélkül, szabad hálózatként kiegyenlítve
 - b. az országos (nemzeti) hálózatban számítva a mikrohálózatot.
- 3) GNSS és mérőállomás együttes alkalmazása
 - a. mikrohálózat 2 darab ETRS89 pontra alapozva

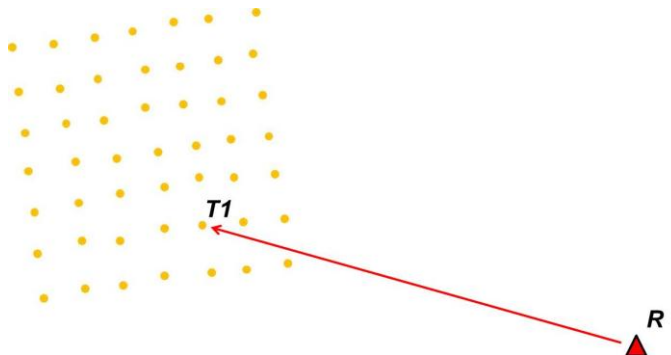
- b. mikrohálózat 2 darab ITRFyy pontra alapozva.

1. A tisztán GNSS technológia sajátosságai

A GNSS technológiák közül az RTK módszer vagy a statikus mérés jöhet szóba. Az RTK-t használhatjuk saját bázisvevővel (ún. hagyományos RTK), vagy átvett referenciával (egy bázisos RTK, hálózati RTK). A pontraálláskor feltétlenül biztosítani kell a tartóbot függőlegességét (igazított libellával, kitámasztással, vagy a dőlés kompenzálásával).

Az RTK módszer (1.a) rövid időszükséglete és kényelme folytán ideális módszernek tűnik (így gyakran használják illesztőpontok meghatározására), de tesztpontok mérésére nem ajánlott, mert pontossága erre a célra nem megfelelő. Nem felelnék meg ugyanis annak az alapvető elvárásnak, hogy a hibátlan elfogadott viszonyító pont egy nagyságrenddel pontosabb legyen, mint a vizsgálandó érték. Különösen magassági értelemben lehetnek az elvárásokat lényegesen meghaladó (több centiméteres vagy akár deciméteres) hibák. Ez akkor is így van, ha többször, több különböző időpontban, ismételt inicializálással mérjük meg a pontot, kitámasztott tartórúddal.

A statikus módszer (1. b) pontossága alapján alkalmas lehet tesztpontok mérésére. A gyakorlati megvalósítást tekintve azonban mégsem javasolható ez a megoldás, mert itt olyan hosszú mérési időt kellene betartani, ami gazdaságtalanná teszi a mérést. Egyszerre több, azonos típusú geodéziai vevőt kellene használni, több, hosszú időtartamú mérési periódusban mérve a tesztpontokat. Minden GNSS pontmeghatározás egy térbeli vektor mérését jelenti. Mivel itt is fölös mérésekre kell törekednünk, több referenciavevő és több mozgó vevő hegyidejű használata lenne kívánatos.



1. ábra A tesztmező $T1$ pontja (és az összes többi pont) helyzetét az R referenciaponthoz képest adjuk meg. Ideális lenne több referenciapont és több mozgó vevő használata egyidejűleg. Fontos ismerni és pontosan megadni a referenciapont vonatkoztatási rendszerét.

Az említett hátrányok ellenére, mégis fontos lenne, hogy a GNSS térbeli vonatkoztatási rendszerében is megadjuk a tesztpontok

koordinátáit. Egyrészt azért, mert az UAV-k navigációja is ilyen rendszerben történik, másrészt pedig egyes UAV-k eleve RTK rendszert használnak helymeghatározásra. Az ilyen, ún. illesztőpont nélküli megoldásnál, amikor a repülés során saját RTK rendszert használatos, nagyon fontos, hogy referenciapontnak ugyanazt a pontot, ugyanazon koordinátákkal adjuk meg, mint a teszterület meghatározása során.

Tisztában kell lennünk a vonatkoztatási rendszer fogalmával, az alkalmazott rendszer gyakorlati megvalósításával is.

Minden nagy pontosságú GNSS technológia relatív, azaz egy (vagy több) a térbeli vonatkoztatási rendszerben ismert referenciaponthoz viszonyítva történik a helymeghatározás. Magyarországon (és Európában) az ETRS89 a hivatalos vonatkoztatási rendszer, amelyet a gyakorlatban a terepi OGPSH pontok vagy a FÖMI KGO által üzemeltetett referenciaállomások valósítanak meg.

Bármilyen GNSS technológiát használunk, az eredményül kapott koordináták először ETRS89 rendszerben keletkeznek. Ezek a koordináták azonban nem tekinthetők WGS84 koordinátáknak, ugyanis a WGS84 az amerikai GPS vonatkoztatási rendszere, amely gyakorlatilag a nemzetközi földi vonatkoztatási rendszerrel (ITRFyy) azonos. Az eltérés a két rendszer között az eurázsiai táblalamez folyamatos eltolódásából adódik, ami évente 2,5 cm körüli érték, így ma kb. 70 cm az eltérés vízszintes értelemben az ETRS89 és a WGS84 között. Ez az eltérés ismert transzformációs paraméterek alapján figyelembe vehető, ha szükséges.

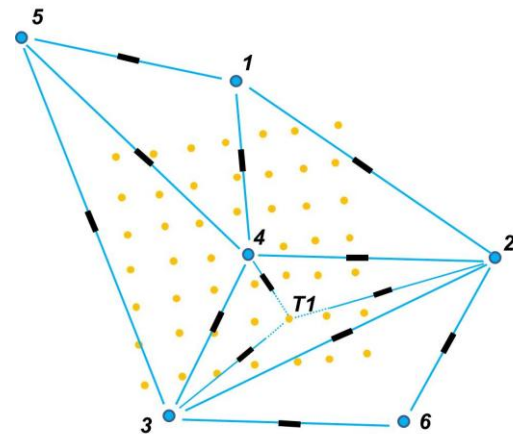
A másik kérdés, ami a GNSS technológia használatok problémaként felmerülhet, a helyi rendszerben való transzformáció kérdése. Ha ismertek az ETRS89 és a nemzeti (országos) vízszintes és magassági vonatkoztatási rendszerek közötti helyi transzformáció paraméterei (Magyarországon természetesen ismertek), akkor ezekben a rendszerekben is megadhatók a tesztpontok koordinátái. (Magyarországon például HD72 és Balti rendszerben). Ha az UAV RTK-rendszerben dolgozik, akkor arra kell ügyelni, hogy az UAV is ugyanazt a referenciapontot (ugyanazt az RTK technológiát) és ugyanazt a transzformációs módszert használja, mint amit a tesztálózat számításakor használtunk.

2. A tisztán mérőállomásos technológia sajátosságai

A tesztpontok meghatározására – a pontossági elvárásokat elsődlegesnek tekintve – a mérőállomással létesített olyan mikrohálózatot tartom legjobbnak, amelyet egyidejűleg vízszintes és magassági értelemben is mérünk. Ilyenkor a következő szabályok betartása ajánlott:

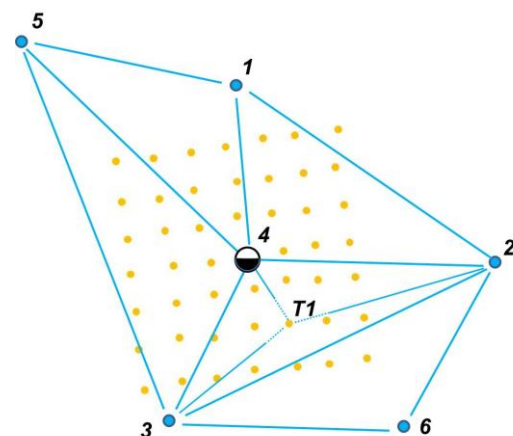
- kalibrált műszer használata (ismert összadó állandó és szorzóállandó);
- meteorológiai korrekció pontos figyelembevétele;
- kényszerközpontosan felállított műszerállványokon történő mérés;
- két távcsőállásban történő mérés;
- egyidejű vízszintes és magassági irányzás a prizma;
- azonos műszer- és prizmamagasság (vagy a különbség pontos ismerete);
- műszerállvány vagy kitámasztott prizmarúd használata a tesztpontokon;
- megfelelő számú fölő mérés biztosítása.

A fölő adatok biztosítása nemcsak a mikrohálózat álláspontjai közötti irány- és távmérésekre vonatkozik, hanem a tesztpontokra is. Ha a tesztpontok nem műszerálláspontok, hanem poláris pontok, akkor minden ilyen poláris pontot legalább kettő, de a lehetőségek szerint kettőnél több műszerállásból célszerű megmérni, mégpedig a prizma ismételt felállításával.



2. ábra Mikrohálózat vízszintes meghatározási vázlata.

A mikrohálózat vízszintes koordinátáinak számítása, tekintettel a fölő adatok nagy számára, az egyértelmű és szabatos megoldásra, kiegyenlítéssel kell történnie. A többször mért poláris pontokat (tesztpontokat) is a hálózat részének kell tekinteni, azaz alappontként kezelni, még ha ezek nem is voltak álláspontok. A súlyozás megfelelő megadásához fontos az iránymérés és a távmérés előzetes középpontjának jó becslése, a súlyarányok reális megadása. A 2. ábra egy 6 álláspontból álló irány- és távméréses önálló (adott pontok nélküli) hálózatot mutat be. A mintának tekintett T1 tesztpontot (és természetesen a többi is) három álláspontból mértük polárisan.



3. ábra Trigonometriai hálózat magassági meghatározási vázlata.

A 2. fejezet bevezetőjében vázolt szabályok betartásával, egyidejűleg hozhatunk létre egy szabatos vízszintes hálózatot és egy szabatos trigonometriai magassági hálózatot. Ezáltal a tesztpontoknak nemcsak vízszintes koordinátáit, de magasságát is meghatározhatjuk, akár néhány mm-es középponttal. A 3. ábra ugyanazt a hálózatot ábrázolja, mint a 2. ábra, de itt a kék vonalak oda-vissza mért zenitszögeket jelentenek. Csak a 4-es ponton mértünk műszermagasságot (az összes többi állásponton a kényszerközpontos felállítás miatt erre nem volt szükség), minden pont magassága a 4-es ponthoz viszonyított. A T1 minta tesztpontra három álláspontból mértünk zenitszöget, így ennek a pontnak a magassága két fölő adattal van meghatározva.

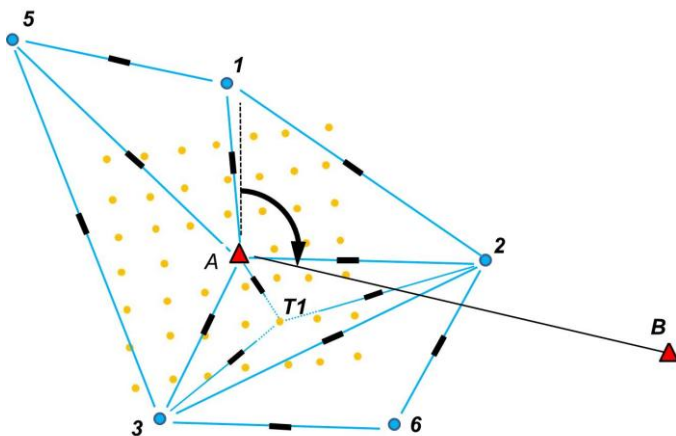
Végeredményként a tesztpontok kiegyenlített koordinátáit és magasságát kapjuk, valamint ezek középpontjait is. A számításra két lehetőség kínálkozik: önálló hálózat szabad hálózati kiegyenlítése, vagy kötött hálózat kiegyenlítése országos adott pontokra támaszkodva. A vízszintes hálózat kiegyenlítéséről, gyakorlati eseteiről (amióta ez személyi számítógéppel lehetséges) több alkalommal írtunk (Busics, Csepregi, 1992a,b).

A 2.a eljárás szerint szabad hálózatként végezzük a hálózat kiegyenlítését. Ez esetben csak egy vízszintes síkra redukáljuk a távolságokat, nem alkalmazunk alapfelületi és vetületi redukciót a távolságoknál. A magasságot is tetszőlegesen vesszük fel, egyetlen pont magasságát megadva. A végeredményt kizárólag saját méréseink befolyásolják. Bár a módszer szabatos, de hátránya, hogy a kapott koordinátáknak nincs kapcsolata az országos rendszerrel vagy a WGS84 (ETRS89) rendszerrel.

A 2.b eljárás szerint a távolságokat az országosan használt vetületi síkra redukáljuk (Magyarországon EOVRa) és adott pontként az országos hálózat vízszintes és magassági alappontjait használjuk fel. Ezt természetesen csak akkor tehetjük meg, ha az előkészítés során az adott pontokat felkerestük, azok megfeleltetéséről, felhasználásáról, méréséről is gondoskodtunk. (A 2. ábra esetében például a 4, 5, 6 pontok lehetnének ilyen adott pontok, természetesen ennek a meghatározási tervén is meg kellene jelennie a jelölésekben). Ebben az esetben azonban a felhasznált adott pontok kerethibái kedvezőtlenül hatnak a végeredményre, rontják a pontosságot. Ezért úgy célszerű eljárni, hogy csak két adott pontot használunk fel. Ha a két adott pont mért távolságában is eltérést találunk, akkor pedig csak egy pontot és a másik adott pontra menő irányszöveget fogadjuk el. Ezáltal kvázi országos (EOV) rendszerben kapjuk a koordinátákat, amelyek az ismert paraméterekkel átszámíthatók ETRS89 rendszerbe is.

3. A GNSS és mérőállomások technológia együttes alkalmazása

Mivel nem valószínű, hogy a teszt-területen megfelelő sűrűségben lennének ismert, országos alappontok (2.b eset), a mikrohálózatunk beillesztését országos vagy globális rendszerbe GNSS technikával célszerű megoldani. Ennél a 3-as számmal jelzett megoldásnál tehát mind a GNSS, mind a mérőállomás része a technológiának.



4. ábra Egy GPS-pontra (A) és egy irányra (A-B) illesztett önálló hálózat

A 3.a eljárás (és a 4. ábra) szerint a mikrohálózat két pontját GNSS technikával határozzuk meg az ETRS89 vonatkoztatási rendszerben. Ajánlott az egyik pontot a munkaterület közepén felvenni (A), a másikat pedig ettől minél távolabb, akár a munkaterületen kívül (B). Ez az utóbbi pont fogja megadni a hálózat tájékozását, ezt a pontot irányzásra használjuk (legalább egy, de több álláspontból is mérhetünk irányt). Az alkalmazott GNSS technológia lehet hálózati RTK, saját bázisos RTK, gyors statikus-, vagy statikus mérés.

A két pont ETRS89 koordinátáit átszámítjuk az országos (helyi) rendszerbe (Magyarországon EOVRa-be), majd a mikrohálózat kiegyenlítése a vetületi síkon történik (azaz a távolságokat erre a síkra kell redukálni). Azonban csak egyetlen pont (a munkaterület közepén lévő A pont) koordinátáit fogadjuk el fix-nek, a másik pontot csak a mikrohálózat tájékozásához használjuk. Így lényegében mentesítjük a hálózatot a

kerethibáktól, de mégis az országos (EOV) rendszerben dolgozhatunk. Itt is érvényes, hogy ha az UAV repüléshez RTK referenciapontot kell megadni, akkor az általunk meghatározott két pont valamelyikét adjuk meg ehhez, ugyanazokkal a koordinátákkal, amiket mi használtunk.

A 3.b eljárás szerint a mikrohálózat két pontját PPP (Precise Point Positioning) technikával határozzuk meg az aktuális ITRFyy vonatkoztatási rendszerben. A 4. ábrán ez az A és B pont. Lényegét tekintve ugyanúgy járunk el, mint a 3.a megoldásnál, de itt a GNSS mérés hosszú időt (akár 24 órát) vesz igénybe. Az eredményül kapott koordináták ITRFyy rendszerűek, amelyek most visszaármíthatók ETRS89 rendszerbe, onnan pedig EOVRa rendszerbe.

Eljárhatunk úgy is, hogy a PPP módszerrel kapott ITRFyy koordinátákhoz egy helyi vetületet veszünk fel. Ez célszerűen a WGS84 ellipszoidhoz tartozó olyan ellipszoidi sztereografikus vetület (például a Roussilhe-féle vetület), amelynek középpontja az egyik mért pont (a munkaterület közepén lévő Ajelű pont). Ezáltal mentesülünk a vetületi torzulásoktól, a távolságokat nem kell vetületre redukálni. Mivel azonban a vetület a WGS84 ellipszoidhoz tartozó érintő vetület, a távolságokat a WGS84 ellipszoid-felszínre redukálnikellene. Ezt az alapfelületi redukciót egy k vetületi méretarány tényezővel oldhatjuk meg. A k méretarány tényezőt az átlagos ellipszoid feletti magasság függvényében számítjuk. Legyen például az átlagos magasság 200 méter, akkor az egy kilométerre eső alapfelületi javítás -31 mm (31 ppm, vagy 0,999931 szorzótényező). A figyelembe veendő méretarány tényező $k=1,000031$. A végleges y, x vetületi koordinátákat a vetületi képletből számított koordináták k -szorosaként kapjuk.

Az irány- és távméréses vízszintes mikrohálózatunkat ebben az esetben is szabad hálózatként egyenlítjük ki úgy, hogy megkötyük az A pont síkvetületi y, x koordinátáit (valamilyen tetszőlegesen felvett értékben), valamint az AB irány síkvetületi irányszöveget. A trigonometriai hálózatot pedig egy olyan pont magasságának megkötésével számítjuk, amelynek ellipszoidi magasságából levontuk a geoidmagasságot. Ebben az esetben a tesztpontok síkvetületi koordinátákkal és balti magassággal adhatók meg, de megadhatók WGS84-beli ellipszoidi földrajzi koordinátákkal is.

4. Összegzés

Az UAV-k pontossági vizsgálatához tervezett teszhálózatot mérőállomással, irány- és távméréses szabatos mikrohálózatként célszerű létrehozni, szabad hálózati kiegyenlítéssel. Ezt a technológiát nemcsak elméleti megfontolások alapján, hanem a gyakorlati, mérnökgeodéziai munkák során kialakított hasonló hálózati mérések tapasztalatai alapján is tudjuk ajánlani. A gyakorlatban kipróbált szabályok betartásával elérhető az 1 cm-en belüli koordináta középhiba mind vízszintes, mind magassági értelemben. A WGS84 (ETRS89) rendszerrel és az EOVRa rendszerrel való kapcsolat érdekében a hálózat két pontját GNSS technikával is ajánlott megmérni és a szabad hálózatot egy ilyen pontra és a két pontot összekötő irányra illeszteni.

A Székesfehérvár környéki Iszka-hegyen létesített 49 pontos teszhálózat (Balázsik és tsai 2016) a fentebb vázolt technológiával készült.

Irodalomjegyzék

Busics Gy., Csepregi Sz. (1992a): Hálózati szemlélet a vízszintes alappont sűrítésben. Geodézia és Kartográfia, 1992/3. 157-166.

Busics Gy., Csepregi Sz. (1992b): Alsógeodéziai pontmeghatározások megoldása hálózatkiegyenlítéssel. Geodézia és Kartográfia, 1992/6. 402-407.

Balázsik és tsai (2016): Tesztmező kialakítása az Iszka-hegyen és UAV-k pontossági vizsgálatának első eredményei (jelen kiadványban).

A nyilatkozat: A beküldött kézirat a feltüntetett szerzők munkája, a benne szereplő, mástól átvett információk, ábrák és egyéb anyagok szerzői mindenhol meg lettek jelölve. A cikk jelen formájában nem jelent meg más folyóiratban. A cikk Távérzékelési technológiák és térinformatika szakfolyóiratban történő publikálásával minden szerző, közreműködő és támogató egyetért. A kézirat nem tartalmaz valótlan információt, a szerzőknek nincs tudomásuk összeférhetlenségről és a kézirat feldolgozását, lektorálását, publikálását gátló tényezőről, továbbá hozzájárulnak, hogy az RS@GIS online fényképes szerzői adatbázisában szerepeljenek.

© 2015 by the authors; licensee RS&GIS, Hungary.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).