

# Egyszerűen kivitelezhető módszer és program ponttérképek készítéséhez és a koordináták számításához

Feró Orsolya

*Debreceni Egyetem, Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék  
Viselkedéskökológiai Kutatócsoport  
4010 Debrecen, Egyetem tér 1; E-mail: feroo@vocs.zool.klte.hu*

Összefoglaló: Az ökológiában gyakran szükséges a megfigyelt jelenségek térbeli mintázatának és az azt kialakító tényezőknek a vizsgálata. Ehhez sokszor fontos egy térkép elkészítése a mintázatot alkotó elemek elhelyezkedéséről, hogy alapos elemzésnek tudjuk alávetni az adatokat. A térképezés egy egyszerű, olcsó, szakértelmet nem kívánó és meglehetősen pontos módja a távolságmérési módszer, amelynek egyetlen nehézsége a koordináták háromszögeléssel való meghatározása a mérési adatokból. A gyakorlati alkalmazáshoz szeretnék segítséget nyújtani e módszer részletes ismertetésével, valamint egy saját fejlesztésű, szabadon felhasználható, a koordináták kiszámítását végző számítógépes program bemutatásával.

Kulcsszavak: térképezés, térbeli mintázat, háromszögelés, távolságmérés

## Bevezetés

Az ökológiai kutatások nagy részének célja a vizsgált populáció vagy biológiai jelenség térbeli, időbeli szerkezetének tanulmányozása és a szerkezetet kialakító faktorok feltárása. A térbeli mintázat körültekintő elemzése lényeges, amint az Fortin és szerzőtársai (2001) munkájában olvasható, hiszen legtöbbször az adatok az adatgyűjtéskor alkalmazott térbeli skálától függően valamilyen fokú térbeli autokorrelációt mutatnak (tehát az egymáshoz közelebbi helyekről vett minták hasonlóbbak, mint a távolabbi helyekről származók, és így nem függetlenek), s ez a térbeli szerkezetet kialakító faktorok eloszlására ugyanúgy jellemző. Így a felbontást változtatva (növelve illetve csökkentve a léptéket) más-más mintázatot figyelhetünk meg, amely a különböző térbeli skálán ható tényezők eredőjét tükrözheti.

A térbeli mintázat vizsgálatakor első lépésként a vizsgált objektumok (pl. egyedek, fészkek) feltérképezésére, illetve a szűkebb környezetük jellemzésére van szükség. Az elsődleges cél természetesen nem egy hagyományos értelemben vett térkép elkészítése, hanem az, hogy az objektumok térbeli helyzetét felhasználva lehetőség nyílik összehasonlító statisztikai elemzésekre, amelyek segítségével jellemezhető és magyarázható a térbeli mintázat és annak időbeli változása.

Az adatgyűjtés talán legegyszerűbb módja, ha a mintaterületet egy négyzethálával kvadrátokra osztjuk fel és a felvett (pl. egyedekre vagy fészkekre vonatkozó) adatokat a megfelelő kvadráthoz rendeljük hozzá. Gyakran használt módszer még a legközelebbi szomszéd(ok) adatainak (távolságuk vagy számuk egy bizonyos távolságon belül) feljegyzése. Ezek a módszerek gyorsak, egyszerűek, de a statisztikai eredményeket jelentősen befolyásolhatja a kutatás tervezésekor megválasztott lépték (kvadrát nagysága, figyelembe vett szomszédok száma), és az így nyert adatok csak korlátozott statisztikai elemzések elvégzését teszik lehetővé.

Az említett hátrányok miatt sok esetben érdemes lehet a vizsgált objektumok (pl. fészkek, fák) abszolút vagy relatív koordinátáit pontosan meghatározni. A pontos koordináták ismeretében lehetőség nyílik geostatisztikai módszerek szélesebb körű alkalmazására (az ökológiában használható geostatisztikai módszerekről ld. Rossi *et al.* 1992), melyeket akár többször is elvégezhetünk, utólag kiválasztott, tetszőleges finomságú skálázást alkalmazva. Továbbá a koordinátákat felhasználva bármilyen, a predikcióink teszteléséhez leginkább megfelelő típusú származtatott adatot nyerhetünk, mint pl. helyi denzitás, foltos eloszlás esetén távolság a geometriai középponttól, a súlyponttól vagy a folt szélétől, átlagos távolság, szomszédok távolsága, stb. Így esetleg olyan információkhoz juthatunk, amelyek a korábbi módszereket alkalmazva (pl. rosszul megválasztott módszer vagy nem megfelelő térbeli felbontás miatt) rejtve maradtak.

A térképezés a legkönnyebben GPS segítségével végezhető el. Ez a megoldás viszont sok esetben nem kifizetődő vagy nem elég pontos, illetve bizonyos helyzetekben (pl. relatíve kis mérettartományok esetén) nem alkalmazható.

A koordináták meghatározásának egy másik lehetősége a távolságmérési módszer, amely ugyan több munkával jár, de olcsón kivitelezhető, bármely mérettartományban alkalmazható, és rugalmasan, a helyzettől függően állítható be az elérni kívánt pontosság. A terepi mérésekből a koordináták kiszámítása, valamint a mérések során adódó hibák kiszűrése időigényes feladat, amihez elengedhetetlen egy erre alkalmas számítógépes program használata. Ezután a kapott koordinátákat felhasználva könnyen kiszámíthatók a származtatott adatok, elvégezhetők a kívánt statisztikai elemzések, illetve a térkép megjelenítése, kinyomtatása is lehetővé válik.

Jelen írás célja, hogy gyakorlati segítséget nyújtson a térképezés elvégzéséhez a távolságmérési módszer ismertetésével és egy saját fejlesztésű, szabadon terjeszthető, nyílt forráskódú térképezőprogram, a MAPPER bemutatásával.

## A távolságmérési módszer elve

A távolságmérésen alapuló térképezés során ismert koordinátájú pontokból (az alappontokból) kiindulva újabb pontok (célpontok) koordinátái határozhatók meg a közöttük lemért távolságok felhasználásával. Elméletben a meghatározandó pont helyzetének háromszögeléssel történő kiszámításához elegendő ismerni két, már ismert ponttól (a referenciapontoktól) való távolságát és a három pont által alkotott háromszög körüljárási irányát.

A gyakorlati alkalmazás során három referenciapontot szokás használni, így a célpont koordinátái, a referenciapontokat sorban páronként véve, három egyszerű háromszögeléssel számíthatók ki (1. ábra). A célpont koordinátáiként a három számítás során kapott pontok koordinátáinak átlagát elfogadva valamelyest kivédhető a mérési módszerből eredő kisebb pontatlanságok felhalmozódása. Ellenőrzésként a célpont koordinátájával kiszámíthatók a referenciatávolságok, és azokat a mért távolságokkal összevetve lehetővé válik a durva mérési hibák kiszűrése. Pontosabb megoldást adhatna a geodéziában megszokott hálózatkiegyenlítés módszere (Hazay 1957, Bácsatyai 2002), de az ott megkövetelt pontosságra az ökológiai igényű felméréseknél általában nincs szükség.

A már meghatározott célpont a továbbiakban felhasználható újabb célpontok referenciapontjaként, és így láncszerűen a teljes területen végighaladva az összes pont helyzete meghatározható.

Ha földrajzi térképen elhelyezhető, térképészeti koordinátákkal rendelkező térképre van szükség, akkor a három alappontnak ismert térkép-koordinátájú pontokat kell kiválasztani, vagy GPS segítségével az alappontok helyzetét ki kell mérni. Legtöbbször azonban megfelelő egy relatív térkép is, amelyen az alappontok koordinátája (tehát az alkalmazott koordináta-rendszer) az egymástól mért távolságokat figyelembe véve tetszőlegesen megválasztható. A relatív térkép ugyanúgy felhasználható a terebeli mintázat elemzésére, és szükség esetén (két megfelelő pont térképészeti koordinátáinak kimérésével) átszámítható abszolút térképpé.

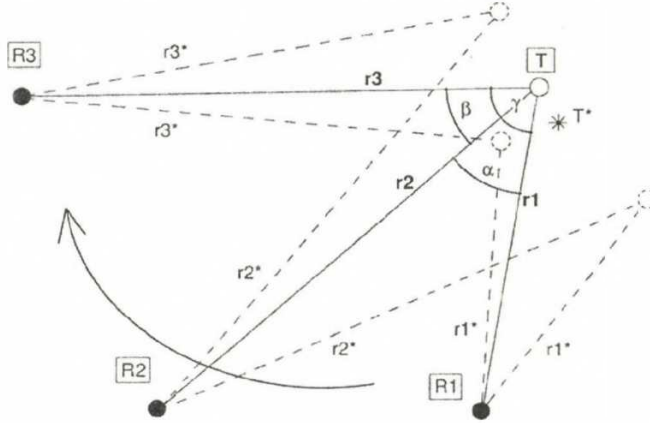
## Tesztelés a gyakorlatban

A térképezés e módjának egy változatát, az "interpoint módszert" Boose és munkatársai (1998) a gyakorlatban tesztelték. Az interpoint módszer a Rohlf és Archie (1978) által javasolt térképezési mód továbbfejlesztett változata, amely fák koordinátáinak meghatározására optimalizált, és a számításokhoz a fák törzsei közötti távolságok és az egyes fák átmérőjének lemérésére van szükség.

Boose és munkatársai (1998) a Massachusetts-beli Harvard Forest hét mintaterületén 200-900 fa koordinátáját határozták meg az interpoint módszerrel, majd számítógépes szimulációval is modellezték a térképezés menetét. Azt



találták, hogy a módszer meglehetősen pontos, és a mérési pontatlanságból eredő hibák csak kis mértékben akumulálódnak. A MAPPER program tervezésekor és a gyakorlati kivitelezés bemutatásakor (kisebb változtatásokkal) az általuk közölt tapasztalatokat tekintetem irányadóknak.



**1. ábra.** Minden ismeretlen koordinátájú célpont (T) meghatározása három, már ismert helyzetű referenciaponttól (R1, R2, R3) való távolsága ( $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ) leméréseivel történik. A célpontnál a referenciapont-párok által bezárt szögek ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) lehetőleg ne legyenek  $20^\circ$ -nál kisebb illetve  $160^\circ$ -nál nagyobbak. Fontos a megfelelő (a MAPPER program használatakor órajárás szerinti) körüljárási irány betartása (az ábrán nyíl jelöli). A mérések ( $r_1^*$ ,  $r_2^*$ ,  $r_3^*$ ) pontatlansága miatt a referenciapontokkal páronként számolva három különböző megoldás (szaggatott körvonalú körök) adódik a célpont koordinátáira, amelyek átlagát ( $T^*$ ) fogadjuk el végeredményként.

### A távolságmérések gyakorlati kivitelezése

Első lépés a három alappont kiválasztása és páronként az egymástól vett távolságaik lemérése (és esetleg a térkép-koordináták meghatározása GPS-el). Fontos, hogy ne legyen túl nagy különbség a távolságok között és a méréseket a lehető legpontosabban végezzük, hogy a lehető legkisebb legyen a mérési pontatlanságból eredő eltérés. Az is lényeges, hogy az alappontok megfelelőek legyenek referenciapontként a továbbiakban felvenni kívánt pontokhoz (ld. lejjebb). Az alappontokat és minden kimért pontot tartós, egyedi azonosítóval (legegyszerűbben sorszámokkal) kell ellátni. Ha a feltérképezendő pontok már rendelkeznek egyedi jelöléssel, hasznos a már meghatározott pontokat még egy jelzéssel is ellátni, hogy a referenciapontok kiválasztása egyszerűbb, gyorsabb legyen.

A területen fokozatosan haladva az újabb pontok meghatározása három, már meghatározott ponttól (a referenciapontoktól) való vízszintes távolságuk kiméréseivel történik (1. ábra). Nem érdemes olyan referenciapontokat válasz-

tani, amelyek páronként a célpontnál (mint szögcsúcsnál)  $20^\circ$ -nál kisebb vagy  $160^\circ$ -nál nagyobb szöget zárnak be, mivel az ilyen esetek jelentősen felnagyítják a mérési hibákat. Távolságméréskor fel kell jegyezni a referenciapontok körüljárási irányát a célponthoz képest (pl. mindig az órajárásnak megfelelő irányban írjuk fel azokat). Erre azért van szükség, mert a koordináták kiszámításakor a körüljárási irány ismeretében választható ki egyértelműen a helyes megoldás.

A méréseket az objektumok (célpontok) függőleges tengelyei között, vízszintesen, feszesen tartott mérőszalaggal (vagy egyéb mérőeszközzel), mindig ugyanabban a magasságban kell végezni. Az előbbieket miatt a módszer nem, vagy csak megszorításokkal alkalmazható olyan területen, ahol nagy szintkülönbségek vannak. Az ökológiai kutatásoknál azonban sokszor nem a vízszintesre vetített, pontos térkép a cél, hanem az objektumok egymáshoz viszonyított elhelyezkedése, távolsága, ezért a módszer ugyanolyan jól használható lehet egy egyenes lejtésű területen, vízszintes helyett a felszínnel párhuzamos mérésekkel. Az így meghatározott pont (és szigorúan csak a már meghatározott pont) a későbbiekben referenciapontként használható.

A terepmunkával egyidejűleg el kell kezdeni az adatfeldolgozást, tehát a koordináták kiszámítását is. Ez azért fontos, mert ha egy mérési vagy jegyzetelési hiba miatt egy pont koordinátáinak kiszámítása sikertelen, vagy túl nagy lesz az eltérés a részeredmények között, akkor az adott pontra hivatkozó összes pont kiszámítása lehetetlenné vagy pontatlanná válik. Célszerű minden terepnap végén az aznapi mérési eredményeket feldolgozni, így az esetleges hibák hamar kiderülnek és azok a következő nap elején újraméréssel korrigálhatók.

### Adatfeldolgozás a MAPPER-rel

A MAPPER C nyelven írt, folyamatosan fejlesztett, kis erőforrás-igényű program. Jelenleg a térképezési adatok tárolásához a szabadon hozzáférhető MySQL adatbáziskezelő rendszert (<http://www.mysql.com>) használja. Felhasználóbarát, az adatbevitel könnyen elsajátítható, a munkát részletes magyar és angol nyelvű dokumentáció segíti. A program a GNU GPL (General Public License, <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>) feltételei szerint szabadon elérhető (<http://vocs.zool.klte.hu/mapper>) és terjeszthető. Jelenleg Linux alatt fut, de érdeklődés esetén könnyen átültethető MS Windows alá is. (Windows rendszerekre jelenleg ajánlható a Boose és munkatársai (1998) által fejlesztett INTERPNT program.)

A MAPPER a különböző térképekhez tartozó adatokat külön adatbázisokban tárolja. Minden új térképnél meg kell adnunk a mérések mértékegységét és egy hibahatárt (az adott mértékegységben), amelynél nagyobb eltérést nem engedünk meg a mért és számított távolságok között. Ez az elérni kívánt pon-

tosságtól, a mérés módjától, és a mért távolságok átlagos hosszától függően változhat, általában az átlagos mért távolság kb. 1-2%-a megfelelő.

Az adatokat ezután (kezdvé az alappontok egymástól mért távolságainak ill. koordinátáinak megadásával) a mérés sorrendjében haladva gépeljük be. Minden új ponthoz megadjuk az egyedi azonosítóját, a három referenciapont azonosítóját és a célpont tőlük mért távolságát az órajárással megegyező körüljárási irányt követő sorrendben. Csak már felmért pontokat tudunk referenciapontként megadni. Lehetőség van arra, hogy három helyett csak két referenciapontot adjunk meg. Ezt azonban csak nagyon indokolt esetben (pl. három referenciapont felvétele fizikailag kivitelezhetetlen, vagy csak két referencia-távolság ismert és már nem lehetséges új mérés) és csak alkalmyszerűen tegyük, mivel ilyen esetekben nem lehetséges a hibák kiszűrése.

A program figyelmeztet, ha valamelyik referencia-pontpár  $20^\circ$ -nál kisebb vagy  $160^\circ$ -nál nagyobb szöveget zár be, ilyenkor eldönthető, hogy folytatjuk-e (ez általában nem javasolt) vagy új referenciapontokat választunk.

Előfordulhat, hogy a program nem talál megoldást a megadott adatokkal vagy túllépjük a megengedett hibahatárt. Ezt legtöbbször nem mérési pontatlanság okozza, hanem a referenciapontok sorrendjének felcserélése (gyakran előforduló hiba), ill. a referenciapont vagy a távolság lejegyzésekor vétett hiba. Ilyenkor az adott pontot referenciapontként használó célpontokat nem tudjuk feldolgozni, amíg a hibát ki nem javítjuk.

A már megadott adatokat jelenleg nem lehet megváltoztatni. A módosítás egyetlen módja, ha töröljük a változtatni kívánt pontot, ezután újra rögzítjük a módosított adatokkal. A program megjeleníti a törölni kívánt pont függőségeit (azokat a rekordokat, amelyek referenciaként használják az adott pontot). Egy rekord törlése csak a tőle függő rekord-láncok törlésével együtt lehetséges.

A kiszámított koordináták megjeleníthetők és egyszerű, tabulátorokkal tagolt szövegfájlba exportálhatók, amelyet a legtöbb táblázatkezelő, statisztikai vagy térinformatikai program be tud olvasni.

Lehetőség van továbbá a koordináták más koordináta-rendszerbe való átszámítására két ismert pont új koordinátájának megadásával, így nyerhető például egy relatív térképből "valódi" térképészeti koordinátákkal rendelkező térkép.

#### *A MAPPER eddigi alkalmazásai*

A MAPPER-t sikerrel használtuk a Debreceni Egyetem Viselkedésökológiai Kutatócsoport (DE VÖCS) keretein belül egy szálahalmi vetési varjú (*Corvus frugilegus*) költőtelep (Hortobágyi Nemzeti Park) fészkes fáiról egy relatív térkép elkészítéséhez (térbeli és időbeli szerkezet tanulmányozásához), amely egyben a módszer és a program tesztje is volt.



A MAPPER segítségével készültek el az egyik költési időszakban felmért Kelemen-széki gulipán (*Recurvirostra avosetta*) telepek (Kiskunsági Nemzeti Park) fészkeinek térképészeti koordinátákkal rendelkező térképei is.

Folyamatban van továbbá egy debreceni pokoli cselőpók (*Lycosa vultuosa*) populáció vizsgálata, amelyhez a póklyukak relatív helyzetének meghatározása is ezzel a programmal fog elkészülni.

### *Tervezett fejlesztések*

A program jelenlegi, kezdeti verziója csak akkor engedi az új célponthoz tartozó adatokat bevinni, ha az azokhoz tartozó referenciapontok koordinátái rendben vannak, tehát a célpont koordinátái kiszámíthatók és az eltérések nem lépik túl a hibahatárt. A következő verzióban az adatok bevitele ezután is lehetséges lenne és ahol lehet, a koordináták is kiszámításra kerülnének, de a problémás rekordok és a hiba oka jelölve lennének. Ezekben a rekordokon sorban haladva kell újraméréssel ellenőrizni az adatokat, majd módosítás után újraszámoltatni a koordinátákat, és folytatni az ellenőrzést a következő hibás rekorddal.

Ennek egy további lehetősége, hogy akár még nem ismert koordinátájú referenciával rendelkező célpont-adatokat is be lehessen vinni, és később lehetséges "hivatkozási utakat" keresve kiszámolni a koordinátákat. További egyszerűsítésként (bár ez növeli a hibák előfordulásának esélyét) opcionálisan elhagyható lenne a körüljárási irány ismerete, hiszen arra (eltekintve néhány speciális esettől) három helyesen mért referenciátávolság ismeretében jól lehet következtetni.

Az is hasznos lehet, ha össze lehetne olvasztani két olyan adatbázist, amelyekben van legalább három közös, ismert koordinátájú pont. Ez a relatív térkép esetén érdekes, ilyenkor meg lehetne adni a "fő" adatbázist, amelynek koordinátáihoz igazítva kerülnének átszámolásra a másik adatbázis koordinátái az egyesítés előtt. Így több, különböző alappont-hármasból kiindulva lehetne térképezni a területet, majd a közös pontokhoz érve egyesíteni őket.

Az előbbi fejlesztési tervek viszont már szükségessé tehetik a hálózati-egyenlítés alkalmazását is, növelve a pontosságot és a megbízhatóságot.

Ha egy egyenletes lejtésű területen kell a méréseket végezni, de vízszintes vetületű térképre van szükség, akkor, ha az kényelmesebb, lehetne a vízszintes helyett a felszínnel párhuzamosan végezni a távolságmérést, valamint a területre egy átlagos lejtésszöveget és irányt megadni, és ezután számításakor a program módosítaná a mért távolságokat.

Célszerű lenne, ha nem feltétlenül kellene sorban begépelni az adatokat, hanem a távolságméréseket egy bemeneti fájlként megadva is elvégezhető legyen az adatelemzés. Szélesebb körű felhasználást jelenthetne az is, ha a program az adatbázis-kezelőtől függetlenül is működne (még ha ez a biztonság és a

feldolgozás terén hátrányt is jelentene), hiszen az adatok nem alkotnak bonyolult adatstruktúrát és egyszerű szövegfájlokként is tárolhatók.

A könnyebb, egyszerűbb kezelhetőség érdekében tervben van bizonyos egyéni beállítási lehetőségek biztosítása, valamint igény esetén egy platformfüggetlen web- és/vagy egy ablakos felület kialakítása is.

### Összegzés

A bemutatott, távolságmérésen és háromszögelésen alapuló térképezés egyszerűsége és pontossága ellenére az ökológiában nem túl elterjedt módszer. A gyakorlati alkalmazást kívántam megkönnyíteni a mérési adatokból a koordinátákat kiszámító MAPPER program elkészítésével és elérhetővé tételével.

A módszert saját tapasztalataink alapján minden olyan kutatáshoz ajánlom, amelyben fontos a vizsgált elemek mintázatának elemzéséhez a pontos koordináták ismerete.

\*

*Köszönetnyilvánítás* – Köszönetemet fejezem ki dr. Barta Zoltánnak a kézirat elkészítésében nyújtott segítségével, Bán Miklósnak a hasznos megjegyzésekért, valamint Horváth Ferencnek és Király Gézának a benyújtott kézírathoz fűzött értékes javaslataikért.

### Irodalomjegyzék

- Bácsatyai, L. (2002): *Geodézia I-II.*, Kézirat. – NYME EMK, Sopron
- Boose, E. R., Boose, E. F. & Lezberg, A. L. (1998): A practical method for mapping trees using distance measurements. – *Ecology* 79: 819–827.
- Fortin, M. J., Dale, M. R. T., Hoef, D. & Hoef, J. (2001): Spatial analysis in ecology. – In: El-Shaarawi, A. H. & Piegorisch, W. W. (eds): *Encyclopedia of Environmetrics*. – Wiley, Chichester, 4, pp. 2051–2058.
- Hazay, I. (1957): *Geodéziai kézikönyv I-II.* – Közgazdasági és Jogi Kiadó, Budapest, pp. 1956–1957.
- Rohlf, F. J. & Archie, J. W. (1978): Least-squares mapping using interpoint distances. – *Ecology* 59: 126132.
- Rossi, R. E., Mulla, D. J., Journel, A. G. & Franz, E. H. (1992): Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. – *Ecological Monographs* 62: 277–314.



## A simply feasible method and a program to create dot maps and calculate the co-ordinates

O. Feró

Department of Evolutionary Zoology and Human Biology, Behavioural Ecology Research Group  
H-4010 Debrecen, Egyetem tér 1, Hungary; E-mail: feroo@voes.zool.klte.hu

To reveal ecological processes it is often necessary to examine the spatial relationship among the investigated entities. In many such cases creating a map of the components can be the best strategy because a map allows a great variety of post priory analyses. An inexpensive and fairly accurate method of mapping, which does not require proficiency, is based on simple distance measurements. Its only difficulty is to calculate the coordinates from the measured distances by triangulation. In this paper I advocate this method by reviewing its methodology and by introducing a newly developed, freely distributable computer application that performs the calculations of the coordinates.

Keywords: mapping, triangulation, distance measurements, computer program

