

OPPONENSI VÉLEMÉNY

Bondár István

Nagy pontosságú földrengés helymeghatározás

című

MTA doktori értekezéséről

Általános témaismertetés

Az értekezés elsődleges célja a földrengések, illetve robbantások hipocentrumainak minél pontosabb és megbízhatóbb meghatározása. Ezen célkitűzést követve a szerző több olyan saját fejlesztésű módszert mutat be, mint például a „ground truth” események szelektációja, a HDC–RCA módszer, az új ISC helymeghatározási algoritmus, az újraszámított egységes ISC–GEM földrengés-katalógus, melyek érdemben hozzájárultak az események lokalizációjának javításához. Ennek megfelelően a dolgozat gondolatmenete konzekvens, mindvégig jól követhető, egy szál mentén halad. A dolgozatban bemutatott téma a szeizmológia megléte óta különösen fontos és aktuális, az elért eredményekhez felhasznált módszerek újak, sőt úttörő jellegűek.

Az értekezés formai értékelése

A dolgozat magyar nyelven íródott, és 98 számozott oldalból áll, melyet a szerző 10 fejezetre bont. A fejezetek számát kissé sokallom, de a *Tartalomjegyzék*, az *Adatok és források*, valamint a *Hivatkozások* c. részek figyelmen kívül hagyásával ideálisnak vélem. A gondolatmenet jól követhető, a mondanivaló megfogalmazása általában jó, ahol nem, ott a nagyon jó minőségű és nagy körültekintéssel megkonstruált ábrák minden esetben segítenek a mondanivaló megértésében. Ahhoz képest, hogy a szerző két évtizedet külföldön töltött, a megfogalmazás stiláris szempontból jól sikerült, szakmailag tökéletesen érthető, legfeljebb a szövegben előforduló több tucatnyi rövidítés teszi kissé nehezen követhetővé a megértést a nem járatos olvasó szemszögéből. Tipikusan előforduló helyesírási hibák a központosítás (tagmondatok sokszor nincsenek elválasztva), az összetett szavak különírása (pl.: „modell hiba”, „hiba mérleg”, „hullám fázis”), illetve a tizedespont használata tizedes vessző helyett. Ezek mindegyike egyértelműen az angol nyelvterületen eltöltött hosszú idő folyománya. Az értekezés 48 szépen kivitelezett ábrát tartalmaz, melyek kiegészülve a részletes és igen informatív ábramagyarázatokkal szinte önállóan megérthetővé teszik a művet.

Az értekezés szakmai értékelése

A dolgozat érdemi része egy kétoldalas bevezetéssel kezdődik, ahol a szerző tömören összefoglalja az események helymeghatározásának pontosítását zászlójukra tűző nemzetközi szervezetek struktúráját és igényeit, ezzel megalapozva az értekezésben bemutatott kutatások és eredmények szükségességét.

A harmadik fejezetben a ground truth események — azaz olyan szeizmológiai események, melyek kipattanási helye és ideje nagy pontossággal ismert — bemutatása, osztályozása történik meg, némi történeti háttérrel. Itt ismerteti meg a szerző az olvasót olyan fontos, s a későbbiekben szerephez jutó alapdefiníciókkal, mint a másodlagos hézag, illetve a hálózatminőség fogalma. A ground truth események kiválasztásában, illetve verifikálásában a szerzőnek a kezdetektől fogva egészen napjainkig jelentős szerepe van.

A dolgozatban szereplő adat szerint 8342 GT0–5 esemény — tehát ahol az epicentrum helye ellenőrzötten 5 km-es távolságon belül ismert — szerepel a IASPEI referencia listáján,

ugyanakkor a hivatkozott honlap már 8672 eseményt tartalmaz (2016. január 14.). Ez egyértelműen bizonyítja, hogy az események gyűjtése, feldolgozása jelenleg is zajlik. Az opponens szerfőlött érdekelné (**1. kérdés**), hogy a 4. ábrán feltüntetett Hawaii körüli GT5 esemény pontosan hol, és milyen tektonikai környezetben található.

Az értekezésben számtalan angol kifejezés szerepel, melynek nem létezik magyar megfelelője. Kérdezem (**2. kérdés**), hogy a *dolgozat alappillérvé vált ground truth kifejezésre elfogadhatónak tartja-e az alapesemény, teljesebben szeizmológiai alapesemény kifejezést? Ha nem, akkor megoldható lenne-e, legalább ezen, oly sokszor használt kifejezés magyar megfelelőjének megtalálása?*

A negyedik fejezetben a földrengések helymeghatározási problémáját mutatja be a szerző kiegészítve azt egy rövid történeti áttekintéssel. A (2) egyenlet — a szöveggel ellentétben — nem a fázis becslt menetidejét, hanem a mentidő reziduált írja le, ahogy ez később helyesen szerepel. A fejezetben hangsúlyos részt kap a mérési hibák (pl. helytelen fáziskimérés) és modellhibák (pl. helytelen sebességmodell) taglalása, mintegy annak bevezetésekképpen, hogy a megfigyelések hibái egyáltalán nem függetlenek, habár a lokalizációs módszerek jelentős része „él ezzel a feltételezéssel”. A fejezet bemutatja a konvencionálisan alkalmazott lineáris és nemlineáris inverziós módszereket, bizonytalanság-becslési eljárásokat.

Az utolsó alfejezetben a szerző részletezi azon sajátfejlesztésű hibrid HDC–RCA helymeghatározási módszerét, melyben ötvözi a teleszeizmikus állomások adataiból a HDC módszerrel meghatározott relatív, illetve a lokális állomások adataiból RCA módszerrel számított abszolút helymeghatározási bizonytalanságot. Az így kapott hibaellipszis mérete nagyobb, de realiztikusabb. A módszer használhatóságát egy olaszországi földrengéssorozat példáján keresztül illusztrálja, melynek vizsgálata során újabb 13 GT5 eseményt határoz meg, melyekről ezt írja (41. o.): „ezek kitűnő egyezést mutatnak az RCA által azonosított GT5 eseményekkel, mert az 5 km-es sugarú körök átfedésben vannak vagy teljesen tartalmazzák az RCA hibaellipsziseket.” Kérdésem (**3. kérdés**): *Lehetséges, hogy a 10.d ábrán bemutatott 13 esemény közül csak 12 esetében igaz a fenti állítás? L. $K15,36^\circ E40,65^\circ$.*

Az ötödik fejezet a Bondár és Storck (2011) által kifejlesztett új ISC földrengés-meghatározó algoritmust mutatja be, mely az opponens szubjektív megítélése alapján az értekezés legfajsúlyosabb része, legfontosabb eredménye. A szerző kiválóan érzékelteti, hogy ha az állomások korreláltságát nem veszik figyelembe, úgy a helymeghatározás megbízhatósága drámaian romlik. GT0–2 események esetén — vagyis ahol a robbantás helye kisebb mint 2 km-es bizonytalansággal ismert — a hagyományos ISC lokalizációs módszerrel számított 90%-os konfidenciaellipszis csupán az események 35%-át (!) tartalmazza, ha azt 10 állomás regisztrálta. A redundáns adatok kivételével ugyanakkor ez az arány 90%-ra emelkedik. Összességében megállapítható, hogy az új algoritmussal a hibaellipszisek mérete nő, de sokkal realiztikusabb képet ad az események helyéről. A 2,5 millió eseményt tartalmazó ISC katalógus újraszámításával megállapítható, hogy statisztikai értelemben az epicentrumok szóródottsága, entrópiája csökken, mely az értelmező szempontjából „élesebb” hipocentrumeloszlást, így kivehetőbb tektonikai jelenségeket eredményez.

Olyan apróbb elírások, mint például, hogy a 32. ábra magyarázatában GT0–2, míg a szöveges leírásban GT0–1 robbantások szerepelnek, nem vonnak le semmit a tudományos eredmény érthetőségéből. Ehhez hasonló kisebb pontatlanságnak tekintem, mely szerint a kipattanási idő bizonytalanságát a 25. ábrában ΔOT -vel, míg a 26. ábrán már OT_{diff} -fel jelöli, a jelölés jelentését azonban csak a 6. ábra aláírásában találtam meg.

A hatodik fejezet az ISC–GEM földrengés-katalógus felállítását és eredményének értelmezését követi végig, melyhez a szerző is érdemben hozzájárult. A földrengés-veszélyeztetettség minél pontosabb megismerése vezette a szerzőket, hogy 1900. és 2009.

között mintegy 20.000 nagy és közepes földrengés helyét határozzák meg újra, sok esetben az eredeti, digitalizálatlan állomásjelentésekig visszamenőleg. Az új kétlépcsős feldolgozási módszer, valamint az addig nem használt mintegy 3 millió (ebből kézzel bevitt 1 millió) új fázis hozzájárult a helymeghatározás javításához. Míg az epicentrumok globális eloszlásán ez a javulás nem igazán látszik (35. ábra), addig az egyes tektonikus zónák hipocentrum-eloszlásánál már szembeötlő. Az alkalmazott módszer jól érzékelhetően „összehúzza”, „élesíti” a lebukó óceáni lemez szeizmológiai képét, például a Fidzsi–Tonga–Kermadec szubdukciós zóna esetén (37–39. ábra), egyúttal megtizedeli a gyanús módon kilógó hipocentrumokat. Az elvégzett munka összegzésekképpen megállapítódik, hogy a 110 év alatt felszabaduló összenergia $9 \cdot 10^{23}$ Nm, melyből a 13 legnagyobb földrengés $5,4 \cdot 10^{23}$ Nm energia kibocsátásáért volt felelős, ami majdnem a fele a teljes momentum felszabadulásának.” Itt vagy a számok, vagy a szöveges kiegészítés apró módosítást igényel.

A hetedik, az eredményeket tárgyaló utolsó fejezetben a szerző egy olyan algoritmust ismertet, mely elsősorban lokális hálózatok igényeit elégíti ki. Az iLoc képes felhasználni globális, vagy — amennyiben rendelkezésre áll — helyi 3D-s sebességmodelleket a hipocentrumok pontosabb és megbízhatóbb meghatározása végett. A bemutatott esettanulmányok jól szemléltetik a módszer előnyeit.

A nyolcadik, összefoglaló fejezetben a korábban részletezett eredmények felsorolása történik meg, illetve egy nagyon rövid kitekintést nyújt a szerző a közeljövőben várható fejlesztésekről. Kérdésem erre irányul (**4. kérdés**): *Milyen, a helymeghatározás pontosságát növelő és minőségét javító eljárások várhatóak a közeljövőben?*

Összegzés

A benyújtott MTA doktori értekezés Bondár István közel két évtizedes szakmai munkáját foglalja össze, jól követhető, logikus felépítésű, konzekvens vonalvezetéssel megírt formában. A szerző a szeizmológiai események (földrengések, robbantások) kipattanási helyének és idejének pontosításában, megbízhatóságának növelésében nemzetközi hírnévvel bír, melyet a 21 nemzetközi szakfolyóiratban megjelent, s rájuk 363 független hivatkozást kapott publikációja is alátámaszt (MTMT adatbázis, 2016. január 18.). *A tézisfüzetben felsorolt hat tézist elfogadom új tudományos eredményként, egyúttal javaslom a doktori mű nyilvános vitára való bocsájtását.*

Budapest, 2016. január 20.



dr. Galsa Attila
egyetemi adjunktus
ELTE, Geofizikai és Űrtudományi Tanszék