

Szabó Norbert Péter "Fúróluk-geofizikai adatok értelmezése faktoranalízissel és inverziós eljárásokkal" című doktori munkájának bírálata

A szénhidrogén- és vízkészletek felkutatását és kitermelését, valamint a hozzájuk kapcsolódó földtani szerkezetek vizsgálatát nagymértékben befolyásolja az in situ lyukgeofizikai adatokból kinyert információ mennyisége és minősége. A kőzetfizikai mennyiségek minél pontosabb és megbízhatóbb meghatározása, valamint a becslés bizonytalanságának jellemzése a mélyfúrési geofizika legfontosabb feladatai közé tartoznak. A doktori dolgozat Szerzője az inverziós eszközöket eredményesen alkalmazta kőzetfizikai paraméterek meghatározására, az eljárásokat megfelelő módon ellenőrizte és terepi méréseken is igazolta a módszerek létjogosultságát. Ezek tudományos eredmények, amint azokat a tézisekben meg is fogalmazta. Az előremodellezést itt a elméleti szondaválaszfüggvények jelentik, amelyek nagyságrendekkel gyorsabban számíthatók mint pl. egy kétdimenziós előremodellezés az egyenáramú mérések esetében. A Szerző ezért is tudta eredményesen alkalmazni a globális optimumkereső algoritmusokat.

A Jelölt áttekinti az alkalmazott inverziós algoritmusokat, azaz a linearizált inverziót és két globális optimumkereső algoritmust, úgymint a simulated annealing eljárást és a genetikus algoritmust. A hagyományos pontonkénti inverzió korlátait felismerve új intervalluminverzió alapuló kiértékelési eljárást fejlesztett. Az ezzel járó túlhatározottság növelésén alapul a pontonkénti eredmények nagyobb mélységintervallumra való kiterjesztése, a kőzetfizikai mennyiségek – mint ismeretlenek – számának és az inverzióval becsült modellparaméterek pontosságának és megbízhatóságának növelése. Kombinált inverziós eljárást vezet be, egymás után alkalmazva a globális optimumkereső algoritmust és a linearizált inverziót. Ez egyesíti a két módszer előnyeit, az első megtalálja a globális optimumot, a linearizált inverzió pedig információt szolgáltat az inverziós eljárás során kapott paraméterek megbízhatóságáról. A mélyfúrési adatok inverziójának minőségét javítja a zónaparaméterek bevonásával. Ezeket általában állandónak tekintik, de az inverziós feladat túlhatározottsága miatt lehetőség van ezeket is ismeretlenek tekinteni és meghatározni a mérési adatok alapján.

A Jelölt az inverziós módszerek fejlesztése mellett új, többváltozós statisztikai módszereken alapuló kiértékelési eljárásokat hozott létre. Ezek matematikai algoritmusát célszerűen módosítja és a kiugró zajokkal szemben robusztifikálja. Új, faktoranalízisen alapuló kiértékelési módszereket vezet be a kőzetfizikai paraméterek lyukgeofizikai adatokból történő meghatározása céljából. A szomszédos fúrások szelvényadatainak együttes faktoranalízisével lehetővé teszi, hogy a kőzetfizikai jellemzők térben is kiterjeszthetők legyenek,

azaz a fúrások közötti korreláció minőségét javítja és automatizálja.

A dolgozatban bemutatott inverziós eljárásokat és a faktoranalízist alkalmazza a mérnökgeofizikai mérések feldolgozására is. Gyakorlati szempontból két fontos mennyiség, a víztelítettség és a száraz sűrűség meghatározását mutatja be. Megállapítja, hogy a faktoranalízissel kapott első faktor alapján szintetikus neutronporozitás számítható, amely pótolhatja a neutronsondázást azokon a helyeken, ahol az nem történt meg. A zónaparaméterek és a térfogatjellemezők meghatározására bevezeti a genetikus meta-algoritmikus inverziós eljárást. Az eljárásokhoz szükséges szondaválaszfüggvényeket a mellékletekben mutatja be.

A Jelölt által bemutatott korszerű kutatási eszköztár széleskörű ismereteit és az alkalmazott geofizika területén elért eredményes módszerfejlesztési tevékenységét mutatja. Tudományos eredményei mind az olajipari, mind a felszínközeli alkalmazások szempontjából egyaránt jelentősek és hasznosak. A dolgozat nyelvezete könnyen követhető, és a fejezetek tagolása is jó. Az ábrák informatívak, jól értelmezhetőek, bár a bennük levő karakterek meglehetősen kis méretűek.

Megjegyzések

A linearizált inverzió alkalmazásakor a regularizációs paraméter (ϵ^2) megválasztásával kapcsolatban csak annyit mond, hogy az kezdetben egy adott állandó értéket vesz fel és az iterációs lépések során egy hatványsor szerint csökken.

A 21. oldal alján azt írja, hogy *”a többértelmű megoldás elkerülése végett a zónaparamétereket leíró sorfejtési együtthatókat globális optimalizációs módszerrel határozzuk meg”*. A többértelműség az inverziós feladatoknál elsősorban az előremodellezés tulajdonságaiból (itt válaszfüggvények) adódik és nem jelenthető ki, hogy az inverziós algoritmus megválasztásával ez minden esetben megszüntethető. Például abban a szélsőséges esetben, ha az előremodellezés képletében két paraméternek csak a szorzata szerepel, akkor azokat sem a linearizált inverzió, sem a globális optimumkereső algoritmus nem tudja szétválasztani.

A 33. oldalon a Szerző azt írja, hogy a *”faktorsúlyokkal kifejezett (redukált) korrelációs mátrix szinguláris értékek szerinti felbontásából kapott pozitív szinguláris értékek egymáshoz viszonyított arányából megbecsülhetők az egyes faktorokra eső varianciahányadok”*. Ezt részletesebben is ki lehetett volna fejteni. Az ennek megfelelő állítás a főkomponens analízisben azon alapul, hogy a kovarianciamátrix sajátvektorai felhasználásával számítják a főkomponenseket, és ez egy egyértelmű feladat. A faktoranalízis esetén vi-

szont a faktorsúlyok és a faktorok nem határozhatóak meg egyértelműen, a Szerző is beszél a faktorok esetleges forgatásáról. Továbbá a faktorok meghatározása is genetikus algoritmussal történik, ahol szó sincs sajátvektorokról.

A 4.3 fejezetben a faktoranalízis (50) képlettel meghatározott feladatát a genetikus algoritmussal oldja meg. Tekintettel arra, hogy ez az \mathbf{f} faktorokra vonatkozólag egy lineáris feladat, indokolni kellene, hogy miért jobb a genetikus algoritmus a hagyományos, legkisebb négyzetek módszerén alapuló eljárásnál.

Kisebb pontatlanságok

Az itt felsoroltak semmit sem vonnak le a dolgozat értékéből, mindössze arról van szó, hogy kisebb módosításokkal, kiegészítésekkel a szöveg könnyebben követhető lenne a szakmában kevésbé mély ismeretekkel rendelkező olvasók számára is.

A 2. oldalon a (2)-es képletet Taylor sornak nevezi, ez valójában csak annak az első tagja.

A 25. oldalon, amikor az m és az a mennyiségeket említi, utalhatna arra, hogy ezek először a (33)-as képletben jelennek meg.

A matematikai statisztikában az N adatból álló minta alapján a szórásnégyzet (vagy kovariancia) torzítatlan becslését megadó képletben a nevezőben $N - 1$ szerepel. A dolgozat (42)-es képletében viszont N az osztó.

A 27. oldal tetején szerepel a B-jelű inverzió, a 10. ábrára való hivatkozás csak sokkal lejjebb jelenik meg.

A 33. oldalon, amikor először szerepel a szövegben a redukált korrelációs mátrix elnevezés, akkor ott kellene utalni arra, hogy ez tulajdonképpen az \mathbf{LL}^T mátrixot jelenti. Ez a szöveg későbbi részében lesz egyértelműen rögzítve.

Szintén a 33. oldalon a (44)-es képletnél a hivatkozás mellett megemlíthette volna, hogy ez a (41)-es képlettel megfogalmazott feladat megoldása ismert \mathbf{L} mátrix esetén az \mathbf{F} mátrixra.

A 34. oldalon a (48) képlet után felsorolja az egyes változók jelentését, de a Γ mátrix magyarázata kimaradt és máshol sem találtam a szövegben.

A 35. oldalon az (51) képlettel a W mátrixnak a főátlóbeli elemeit adja meg. A szövegben is megjegyezhetné, hogy ez egy átlós mátrix.

A 4.2 fejezetben az iteratívan újrásúlyozott faktoranalízis módszerének leírásakor az (52) képlet utáni sorban nemlineáris inverz feladatról ír. A minimalizálandó mennyiség (célfüggvény) valóban nem lineáris függvénye a keresett faktor vektornak, de ez sohasem lineáris, ha az L_2 normával dolgozunk. Az (50) képlettel megadott feladat viszont lineáris.

A 36. oldalon az (54) képletben mátrixok szorzatai szerepelnek, így a műveletek eredménye is egy mátrix kell hogy legyen. Mit értünk ezek minimalizálásán? Nem kellene valamilyen normát bevezetni?

A faktoranalízis elméleti ismereteinek tárgyalása után az 5. fejezettől kezdve gyakorlati alkalmazásokkal foglalkozik. A (65) képletben szerepel először egy számított faktor, de ellentétben a későbbiekkel itt szó sincs arról, hogy milyen fűrólyukbeli adatokat használt fel és hány faktort határozott meg. Ez valószínűleg a hivatkozott irodalomban fellelhető.

Az 55. oldalon azt írja, hogy az első faktor és a dimenziótlan szivárgási tényező logaritmusának a kapcsolatát a (70)-es képlet adja meg. A szövegből nem derül ki, hogy ez a dolgozat Szerzőjének az eredménye, vagy már publikálták korábban is valahol.

A 47. oldalon szerepel, hogy az adatokhoz Gauss-eloszlásból sorsolt véletlen számot adunk. Ehelyett jobb lenne Gauss-eloszlású véletlen szám hozzáadásáról beszélni, hiszen a sorsolás és a véletlen szavak ugyanarra utalnak, felesleges mindkettő használata.

A szakmai folyóiratokban, a képletekben a vektorokat általában vastag betűvel jelölik és nem a betű fölé tett nyíllal (\mathbf{v} irandó \vec{v} helyett). A mátrixokra sem a kettős aláhúzást alkalmazzák.

Az ábrákban a fajlagos ellenállás mértékegységeként ohmm helyett szerepelhetne Ωm .

Jacobi nevét k -val írja.

A táblázatokhoz nem tartoznak feliratok.

Használja a redukált korrelációs mátrix szinguláris értékek szerinti felbontását. Itt jó lenne pontosítani, hiszen egy \mathbf{LL}^T alakú szimmetrikus mátrix esetén több lehetőség is van a sajátértékek számítására.

A tézisek

1. tézis

A tézisben összefoglalja a kőzetfizikai paraméterek mélységfüggésének meghatározására szolgáló sorfejtéses inverziós eljárásokat, azok elméleti alapjait. Az inverzióra alkalmazható kétféle eljárás – globális optimum kereső algoritmusok, valamint a linearizált inverzó – előnyös tulajdonságait egyesítve kombinált eljárást dolgozott ki az inverzióra. Ezáltal elérte, hogy az inverzió elkerülje a lokális szélsőértékeket és alkalmazta a linearizált inverzió alkalmazása során adódó minőségjellemző paramétereket. A tézist elfogadom.

2. tézis

Az inverziós eljárást kiegészíti a zónaparméterek meghatározásával. Inverziós módszerként a Simulated Annealing inverziós módszert alkalmazza. A tézist elfogadom.

3. tézis

Ebben a tézisben olyan inverziós eljárásokat alkalmaz, amelyek az első és második tézisben már szerepeltek. Ezeket alkalmazza bonyolult szénhidrogén tározók kőzetfizikai paramétereinek meghatározására. Ezért ezt nem feltétlenül szükséges külön tézisként megfogalmazni, helyette az első vagy második tézisben lehetne az ott tárgyalt inverziós eljárások alkalmazásaként megemlíteni.

4. tézis

A faktoranalízis megvalósításához szükséges faktorsúlyok és faktorok számítására új eljárást fejlesztett. Az iteratív elven működő algoritmus kezdeti faktorsúlyait egy, a szakirodalomban már publikált eljárással számítja. Ezeket a faktorsúlyokat javítja lépésről lépésre, így meghatározza a faktorsúlyokat és a faktorokat. A faktorok számítására genetikus algoritmust alkalmaz. A tézist elfogadom.

5. tézis

Ebben a tézisben az előzőekben ismertetett faktoranalízist alkalmazza üledékes képződmények kőzetfizikai paramétereinek a meghatározására. A célja az agyagtartalom és a hidraulikus vezetőképesség meghatározása. Ezek-

nek a mennyiségeknek a meghatározásához megadja, hogy ezek milyen összefüggésben vannak a faktorokkal. Az eljárást kiterjeszti több fúrólukban végzett mérések együttes inverziójára, így meg tudja adni az agyagtartalom területi eloszlását. A tézist elfogadom.

6. tézis

A tézis a mérnökgeofizikai szondázási adatok faktoranalízisével foglalkozik. Tapasztalatokra alapozva megad egy összefüggést az első faktor és a víztelítettség között. Megmutatja, hogy az első faktor alapján szintetikus neutronporozitás adatok számíthatók. A tézist elfogadom.

7. tézis

A tézis egy olyan új, iterációs elven működő inverziós eljárást tartalmaz, amelynek egyik lépése a zónaparamétereket határozza meg rögzített térfogatjellemzők mellett, a másik pedig a térfogatjellemzőket rögzített zónaparaméterek mellett. A számítást genetikusan meta-algoritmikus módszernek nevezi és terepi példákon is bemutatja. A tézist elfogadom.

A doktori munkát nyilvános vitára alkalmasnak tartom.

Sopron, 2019. április 10.

Prácser Ernő
MTA CSFK GGI