



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

III. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2019ko maiatzaren 27, 28 eta 29
Baiona, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

ZIENTZIAK ETA NATURA ZIENTZIAK

**Zulaketa bidezko erresistibitate
neurketen simulazioa problema
errealen ebazpenean**

*Jon Ander Rivera González,
Elisabete Alberdi Celaya eta
David Pardo*

11-15 or.
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.iii.05.01>



Zulaketa bidezko erresistibitate neurketen simulazioa problema errearen ebazpenean

Rivera González, Jon Ander¹; Alberdi Celaya, Elisabete² eta Pardo, David^{1,2,3}

¹ Basque Center for Applied Mathematics (BCAM), Bilbao

² Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

³ IKERBASQUE, Basque Foundation for Science, Bilbao

riverajonander@gmail.com

Laburpena

Lan honetan zulaketa bidezko erresistibitate neurketen simulazioan zentratuko gara. Gure abiapuntua (Pardo eta Torres-Verdin (2015)) lanean garatutako simulaziorako eta inbertsiorako metodoa izango da, non 3D-ko problema bat 1D-ko ondoz ondoko ereduaren segida bezala deskonposatzen den. Helburua inbertsio-prozesua hobetzea izanik, tresnaren posizio bakoitzerako hiru geruza eta zazpi aldagai onartzen dituen inbertsio metodoa garatuko dugu. Metodo berriari inbertsio murriztua deituko diogu. Garatutako metodo berri honek besteak beste petrolioaren erauzketa hobetzeko balioko du.

Hitz gakoak: alderantzizko problemak, zulaketa bidezko erresistibitate neurketak

Abstract

In this work, we will focus on the simulation of borehole recordings. Our departure point is the inversion method developed in (Pardo eta Torres-Verdin (2015)). In this method a 3D problem is decomposed in a sequence of 1D problems. In order to improve the inversion, we develop a method that assumes three layers and seven variables per logging position, which is called the restricted mode inversion. This new inversion method can be used to improve the extraction of oil.

Keywords: inverse problem, borehole resistivity measurements

1. Sarrera eta motibazioa

Petrolio ingeniariaritzan lanetan erabilitako neurketa geofisikoen helburu nagusietako bat lur azpiko mapa bat sortzea da. Modu honetan petrolio eta gas erreserben bilaketa eta erauzketa optimiza daitezke. Lur azpia hainbat materialen osatuta dago. Ohikoena mineralak dauzkaten harri porotsuak aurkitzea da, non harri hauek ur gaziz edota hidrokarburoz beteta dauden. Material hauek lur azpian sortzen dituzten egiturak gehienetan irregularrak dira, hau da, gailur asko eta ebakidura bortitzak dituzte. Are gehiago, lur azpia osatzen duten geruzek ez dute luraren partiketa homogeneo bat osatzen, ezaugarri eta propietate ezberdinetako materialak nahastuta baitaude.

Lur azpiko osaketa hauek guztiak identifikatzeko neurketa geofisikoak erabili behar izaten dira. Zulaketa ari garen bitartean erregistroak jasotzeko (*Logging-While-Drilling*, LWD) tresna berriak garatu diren ezker, *geosteering*-a izeneko teknikaren erabilera posiblea izan da hidrokarburoen lorpena hobetzeko. Geosteering hitzak esan nahi du, putzuaren ibilbidea zuzendu egiten dela zulaketa egiten ari garen bitartean lortutako datuen interpretazioan (inbertsioan) oinarrituz. Baina lanerako aukera berri honek arazo bat ere ekarri du hidrokarburoen industriari: datuak denbora errealean interpretatzeko (alderantzizatzeko edo inbertitzeko) beharrezkoak, hain zuzen.

LWD tresnek igorleak eta hartzaileak dituzte instalatuta. Tresna horien ezaugarri bereizgarria igorleen eta hartzaileen arteko distantzia da. Distantzia hau txikia da (gehienez 2 metrokoa), eta ondorioz, putzutik hurbil lortutako neurketen zehaztasuna hobea izaten da. Bestalde, igorleen eta hartzaileen arteko distantzia handitu beharra dago putzutik urrun egindako neurketen zehaztasuna ona izatea nahi badugu. Hori lortzeko aukera bat GEO tresnak erabiltzea da. Igorleek igortzen dituzten uhin elektromagnetikoen lur azpiko materialetan talka egiten dute, eta materialaren arabera era ezberdinetan errebotatzen dute. Hartzaileek informazio hau jasotzen dute. Prozesu

hau zuloa erazten ari garen bitartean burutzen da. Neurketa hauen interpretazio egokiak lur azpiko propietate elektromagnetikoak egoki zehaztea ahalbidetzen du, era honetan, lur azpiko mapa egoki bat lortuz.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Lur azpia hainbat geruzaz osatuta dago eta LWD teknikaren bidez lortutako informazioa erabiliz lur azpiko mapa bat berreskuratu nahi dugu. Bereziki, uraren eta petrolioaren arteko kontaktua da modelizatu nahi duguna. Modelizazio hau ondo egitea ezinbestekoa da, izan ere, putzuaren ibilbidea urez inguratuta dauden haitzetan zehar ekidin nahi baita. Zulaketa tresnak ura ukituko balu, putzua urez beteko litzateke eta honek gastu gehigarri handiak eragingo lituzke.

Petrolio industrian lan egiteko aukera berri honek datuen interpretazioa (inbertsioa) denbora errealean eskatzen du. *Geosteering* teknika burutzeko 3D-ko problema bat ebatzi behar da. Hidrokarburoen industrian putzuetako erresistibitateak neurtzeko hiru dimentsiotako zenbait zenbakizko simulagailu garatu izan dira azken hamarkadetan (Avdeev *et al.*, 2002; Davydycheva *et al.*, 2003), baina simulagailu hauek oso motelak dira denbora errealean lan egiteko. Arazo honi aurre egiteko 3D-ko problemaren konputazio-kostua murrizten duten teknikak garatu dira. Teknika berri hauetako batzuek problemaren dimentsioaren murrizketan oinarritzen dira.

Pardok eta beste zenbait autorek LWD tresna baten bidez lortutako neurketa elektromagnetikoak erabiliz dimentsio bakarreko geruzetan (1D) erresistibitate elektrikoa balioztatzen duen 1.5D inbertsio algoritmo bat garatu dute (Pardo eta Torres-Verdin (2015)). 1.5D eredu bat esaten dugunean, 3D-ko datuak dituen 1D-ko eredu bat esan nahi da. Eszenatoki honek 1D-ko problema independenteen segida bati bide ematen dio, eta LWD tresnaren bidez lortutako neurketak erabiliz geruzen erresistibitate elektrikoa estimatzen du. Honekin batera, problemaren ebazpenerako konputazio-kostu gutxiago duen metodo erdi-analitiko bat ere garatu dute. Putzuetako erresistibitate problemak ebazteko beste zenbait 1.5D metodo ere garatu izan dira (Wildes *et al.*, 1997; Gyulai eta Ormos, 1999). Aipatzekoak dira bereziki, 2.5D metodoak (Rodriguez-Rozas *et al.*, 2017; Abubakar *et al.*, 2008). Metodo hauek 3D-ko datuak erabiltzen dituzte materialen 2D-ko banaketa daukaten problemak ebazteko. 2.5D simulagailuek 1.5D simulagailuek baino emaitza zehatzagoak eskaintzen dituzten arren, 1.5D simulagailuek baino denbora gehiago behar dute denbora errealean inbertsioak egiteko, eta kasu batzuetan, inplementatzeko zailak dira.

Beraz, oraindik ez da existitzen soluzio zehatzak arrazoizko denboran eskaintzen dituen inbertsiorako metodorik. Zulaketa bidez jasotako datuak interpretatzeko metodo egoki baten garapena konputazio kostua gutxitzetik (1.5D metodoak egiten duen bezala) eta emaitza errealak eskaintzetik (2.5D metodoak egiten duen bezala) etor daiteke.

3. Ikerketaren muina

Ebatziko dugun alderantzizko problemaren, T ibilbidean zehar lortutako \mathcal{M} neurketak izanik, lur azpiko eroankortasunen ($\sigma = \frac{1}{\rho}$) mapa bat lortu nahi dugu, non eroankortasun hauei dagozkien balioak \mathcal{M} neurketen antzekoak diren.

Alderantzizko problema hau adierazteko, lehenik eta behin kostu funtzionala definituko dugu (Pardo eta Torres-Verdin (2015)) erreferentzian bezala :

$$C_W(s) = \|\mathbf{H}(s) - \mathcal{M}\|_{l_{W_M}^2}^2 + \lambda \|s - s_0\|_{L_{W_{s_0}}^2}^2, \quad (1)$$

- $l_{W_M}^2$ eta $L_{W_{s_0}}^2$, l_2 norma diskretuak eta L_2 norma jarraitua izanik, hurrenez hurren.
- s , erresistibitatearen (ρ) menpeko aldagaia da: $s = s(\rho)$.
- \mathcal{M} , tresnaren bidez lortutako neurketak.
- $\mathbf{H}(s)$, s -ren balio baterako simulatutako neurketak.
- λ , soluzio egonkorak lortzea ahalbidetzen duen erregularizazio parametroa.
- s_0 , s -ren hasierako banaketa.

Alderantzizko problemaren soluzio bezala kostu funtzionala minimizatzen duen erresistibitateen banaketa, ρ_i^* , hartuko dugu

$$\rho^* := \arg \min_{\rho} C_W(s(\rho)). \quad (2)$$

3.1. Alderantzizko problemaren diskretizazioa

Alderantzizko problemaren diskretizazioa metodo berri bat erabiliz egin dugu. Horrela, zazpi aldagai kontsideratu ditugu gure problema diskretizatzen:

- Une bakoitzean gauden geruzako erresistibitate horizontala eta bertikala: ρ_h, ρ_v .
- Goiko eta beheko geruzen erresistibitateak: ρ_u, ρ_l .
- Tresnatik goiko eta beheko geruzetara dauden distantziak: d_u, d_l .
- Geruzen horizontalarekiko angelua: β .

3.2. Inbertsio metodoa: Gradientean oinarritutako metodoa

Aurretik ere esan dugun bezala, gure helburua kostu funtzionala minimizatzea da. Horretarako, kostu funtzionalaren adierazpena deribatu eta zerorekin berdinduko dugu. Bestalde, gure aldagaien balioak kalkulatzeko hurrengo iterazio-eskema erabiliko dugu:

$$s(\boldsymbol{\rho}^{(n+1)}) = s(\boldsymbol{\rho}^{(n)}) + \delta s(\boldsymbol{\rho}^{(n)}), \quad (3)$$

n goi indizea iterazio zenbakia izanik, eta $\delta s(\boldsymbol{\rho}^{(n)})$, n . iterazioan soluzioaren balioan daukagun gehikuntza. Notazioa era honetan sinplifikatuko dugu:

$$s^{(n)} := s(\boldsymbol{\rho}^{(n)}) \quad \text{eta} \quad \delta s^{(n)} := \delta s(\boldsymbol{\rho}^{(n)}). \quad (4)$$

Kostu funtzionalaren deribatua ($n + 1$). iterazioan kalkulatu, behar diren ordezkapen eta eragiketak egin, eta dena zerorekin berdinduz, n . iterazioan soluzioan egin behar dugun gehikuntza kalkulatzeko erabiliko dugun Gauss-Newton-en metodoaren aplikaziora iristen gara, (\cdot, \cdot) operatzailea dagokion espazioko barneko biderkadura izanik:

$$\delta s^{(n)} := - \frac{(\mathbf{J}_s, \mathbf{H}(s^{(n)}) - \mathbf{M})_{L_{W_M}^2} + \lambda(\mathbf{I}, s^{(n)} - s_0)_{L_{W_{s_0}}^2}}{(\mathbf{J}_s^{(n)}, \mathbf{J}_s^{(n)})_{L_{W_M}^2} + \lambda(\mathbf{I}, \mathbf{I})_{L_{W_{s_0}}^2}}, \quad (5)$$

non

$$\mathbf{J}_s^{(n)} = \frac{\partial \mathbf{H}(s^{(n)})}{\partial s}. \quad (6)$$

Erregularizazio parametroaren balioa kalkulatzeko aukera ezberdinak daude. Gure kasuan kontsideratuko dugu, erregularizazio parametroaren balioa kostu funtzionalaren balioaren ehuneko bat dela. Zehazki, %10a hartuko dugu.

$$\lambda^{(n)} := 0.1 \times \frac{\left\| \mathbf{H}(s^{(n)}) + \mathbf{J}_s^{(n)} \delta s_{\lambda^{(n)}}^{(n)} - \mathbf{M} \right\|_{L_{W_M}^2}^2}{\left\| s^{(n)} + \delta s_{\lambda^{(n)}}^{(n)} - s_0 \right\|_{L_{W_{s_0}}^2}^2}. \quad (7)$$

Iterazio-prozesua gelditzeko irizpideak ere definitu beharra dago. Aukeratariko bat iterazio kopuru maximo bat ezartzea izan daiteke. Beste aukera bat n . eta $(n + 1)$. iterazioen kostu funtzionalen arteko diferentzia txikia denean prozesua gelditzea da. Gure kasuan, azken irizpide hau erabili dugu prozesua gelditzeko, diferentzia hau %1a baino txikiagoa denean prozesua geldiaraziz. Horretarako, hurrengo bi baldintzak definitu ditugu:

$$\frac{\left| \left\| \mathbf{H}(s^{(n+1)}) - \mathbf{M} \right\|_{L_{W_M}^2}^2 - \left\| \mathbf{H}(s^{(n)}) - \mathbf{M} \right\|_{L_{W_M}^2}^2 \right|}{\left\| \mathbf{M} \right\|_{L_{W_M}^2}^2} \leq \frac{0.5}{100} (= 0.5\%), \quad (8)$$

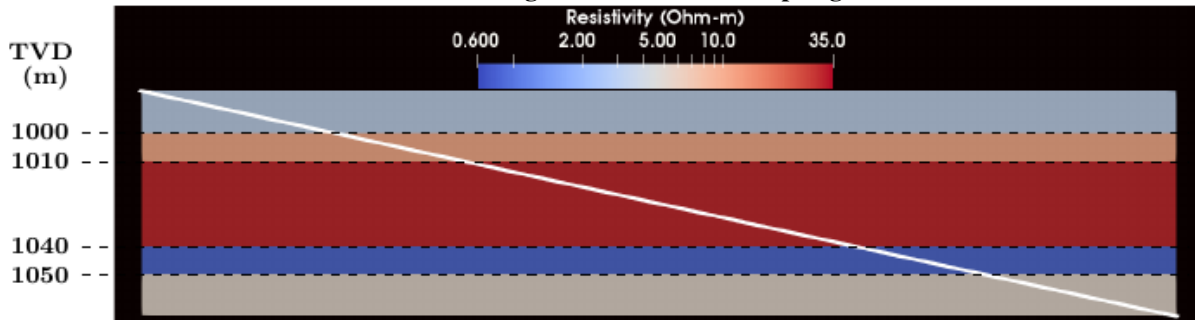
eta

$$\lambda^{(n)} \times \frac{\left| \left\| s^{(n+1)} - s_0 \right\|_{L_{W_{s_0}}^2}^2 - \left\| s^{(n)} - s_0 \right\|_{L_{W_{s_0}}^2}^2 \right|}{\left\| s_0 \right\|_{L_{W_{s_0}}^2}^2} \leq \frac{5}{100} (= 5\%). \quad (9)$$

3.3. Zenbakizko adibidea

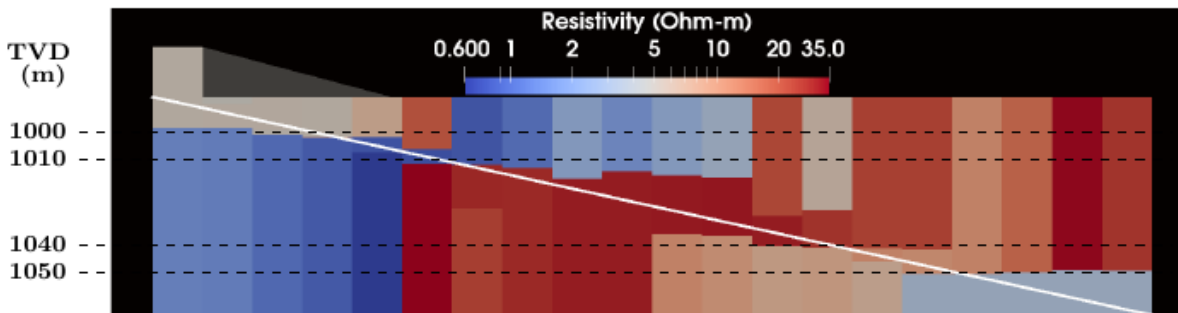
Proposatu dugun inbertsio metodoaren funtzionamendua aztertzeko zenbakizko adibide bat ebatziko dugu. Sintetikoki sortuko dugun problema bat kontsideratuko dugu. Ebatziko dugun eredua 1 irudian adierazi da. Irudi honetan ikus daitekeenez, erresistibitate ezberdineko bost geruzaz osatutako eredua da. Abzisa-ardatzean distantzia horizontala adierazi da (*Horizontal Distance, HD*), eta ordenatu-ardatzean benetako sakontasun bertikala (*True Vertical Deep, TVD*). Putzuaren ibilbidea lerro zuriaren bidez adierazi da.

1. irudia. Ebatziko dugun eredua adierazpen grafikoa.



Gure problemaren inbertsioa burutzeko aurkeztu dugun metodo murriztua erabiliko dugu, hau da, tresnaren posizio bakoitzerako hiru geruza eta zazpi aldagai kontsideratzen dituen metodoa. Inbertsio murriztuaren bidez lortu dugun eredua 2 irudian adierazi da. Bertan ikus daiteke, bigarren eta laugarren geruzetako erresistibitateen balioak txarto simulatuta daudela.

2. irudia. Inbertsio murriztua aplikatuz lortzen dugun lur azpiaren eredua.

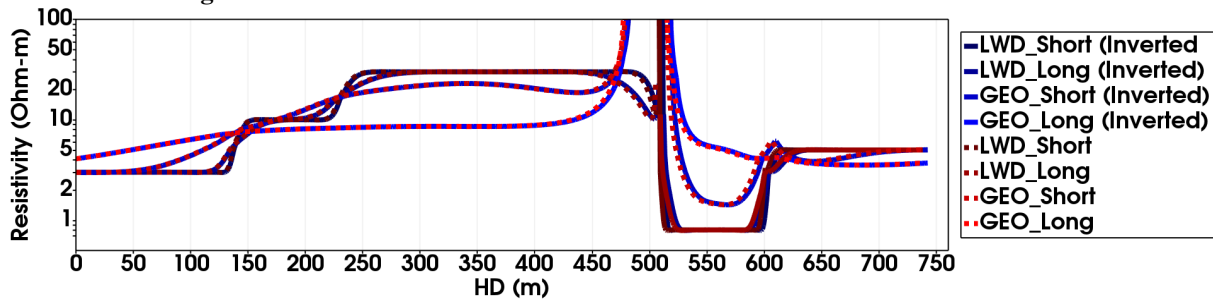


Inbertsio-prozesua ezaugarri desberdinak dituzten tresnak erabilia egin daitezke. Kontuan izan behar da tresna bakoitzak bere propietateak dituela, ordea. Adibidez, LWD tresnek zehaztasun handia daukate putzutik hurbil gaudenean, izan ere, tresnan instalatuta dauden igorleen eta hartzaileen arteko distantzia txikia da. Aldiz, putzutik urruntzen garen heinean, LWD tresnak ez dira egokiak. Putzutik urrun gaudenean GEO tresnak erabil daitezke materialen propietateak antzemateko. GEO tresnek igorle-hartzaile arteko distantzia handia daukate, eta ezaugarri honek putzutik urrun zehaztasun handia izatea ahalbidetzen du. Hainbat tresna erabiliz lortutako itxurazko erresistibitateak (egiazko balioak eta simulatutako balioak) ikus daitezke 3 irudian.

4. Ondorioak

Erabili ditugun tresna guztietarako itxurazko erresistibitatearen balioak eta egiazko erresistibitatearenak berdinak dira. Nahiz eta hori gertatu, inbertsioaren bidez lortutako lur azpiko eredua ez dator bat benetako ereduarekin. Hori gertatzearen arrazoia alderantzizko problema ondo planteatuta ez egotea da. Hau da, soluzio posible bat baino gehiago dago ebatzi nahi izan dugun problemarentzat. Izan ere, erresistibitateen banaketa bat baino gehiago dator bat gure tresnak erabiliz lortu ditugun neurketekin.

3. irudia. Egiazko eta simulatutako itxurazko erresistibitateak hainbat zulaketa tresna erabiliz.



5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunari begira, 1.5D eta 2.5D metodoen konbinaketari ekingo diogu. Modu honetan inbertsio metodo sendo eta eraginkor bat garatzeko gai izango gara, konputazio-kostu baxu batekin erantzun egokiak emateko gai izango dena.

6. Erreferentziak

- Abubakar, A., T. M. Habashy, V. L. Druskin, L. Knizhnerman, eta D. Alumbaugh. 2008. 2.5D forward and inverse modeling for interpreting low-frequency electromagnetic measurements. *Geophysics* 73.F165–F177.
- Avdeev, D. B., A. V. Kuvshinov, O. V. Pankratov, eta G. A. Newman. 2002. Three-dimensional induction logging problems: Part 1 — An integral equation solution and model comparisons. *Geophysics* 67.413–426.
- Davydycheva, S., V. Druskin, eta T. Habashy. 2003. An efficient finite difference scheme for electromagnetic logging in 3D anisotropic inhomogeneous media. *Geophysics* 68.1525–1536.
- Gyulai, A., eta T. Ormos. 1999. A new procedure for the interpretation of VES data: 1.5-D simultaneous inversion method. *Journal of Applied Geophysics* 41.1–17.
- Pardo, D., eta C. Torres-Verdin. 2015. Fast 1D inversion of logging-while-drilling resistivity measurements for improved estimation of formation resistivity in high-angle and horizontal wells. *Geophysics* 80.E111–E124.
- Rodriguez-Rozas, A., D. Pardo, eta C. Torres-Verdin. 2017. Fast Simulation of 2.5D LWD Resistivity Tools. *79th EAGE Conference and Exhibition*.
- Wildes, D.G., R.Y. Chiao, C.M.W. Daft, K.W. Rigby, L.S. Smith, eta K.E. Thomenius. 1997. Elevation performance of 1.25D and 1.5D transducer arrays. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 44.1027–1037.