

II. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2017ko maiatzaren 10, 11 eta 12 Iruñea, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA: Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

Gailu Elektrikoek sortutako Erradiazioaren Estimazio Determinista Metodo Hibrido berri baten bidez

Peio Lopez Iturri, Erik Aguirre, Leyre Azpilicueta, Pablo Rodriguez-Ulibarri, Miguel Beruete eta Francisco Falcone

42-47 or. https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.ii.03.06



Gailu Elektrikoek sortutako Erradiazioaren Estimazio Determinista Metodo Hibrido berri baten bidez

Lopez-Iturri, Peio¹; Aguirre, Erik¹; Azpilicueta, Leyre²; Rodriguez-Ulibarri, Pablo¹; Beruete Miguel¹; Falcone, Francisco¹

¹Ingeniaritza Elektriko eta Elektronikako departamentua, Nafarroako Unibertsitate Publikoa ² School of Engineering and Sciences, Tecnologico de Monterrey, Mexico peio.lopez@unavarra.es

Laburpena

Lan honetan metodo berri bat aurkezten da gailu elektrikoek sortutako erradiazioa estimatzeko. Horretarako, gailuen modeloa lortzen da 3D Ray Launching algoritmoan sartzeko. Mikrouhin labea da analizatutako gailua. Aurkeztutako metodoak, eremu elektromagnetikoaren simulazioaren bitartez labearen erradiazio eskema lortzen du. Mikrouhin labeek atean duten sare metalikoaren konplexutasuna dela eta, S-parametroen berreskuratze prozesua egin behar izan da simulazioak ahalbidetzeko. Lortutako emaitzak 3D Ray Launching algoritmoan sartu dira erradiazio iturri baliokideak bezala. Horrela, mikrouhin labeak sortutako erradiazioaren estimazioa egin ahal da labea kokatuta dagoen ingurune osoaren bolumenean. Azken emaitza hauek neurriekin konparatu dira metodoaren baliotasuna bermatzeko. Metodo honek gaur egungo eta etorkizuneko haririk gabeko komunikazio sareen (WSN, IoT, 5G) hedatze-plangintza egokia baliatuko dute gailu elektrikoek sortutako interferentziak ekiditeko balio dezakelako.

Hitz gakoak: interferentzia elektromagnetikoa, 3D Ray Launching, iturri baliokideak, parametro berreskuratzea, mikrouhin labea

Abstract

In this work, a method for modeling the leaked radiofrequency radiation from electrical appliances is presented, with the aim of obtaining a model for a 3D Ray Launching algorithm. The appliance under analysis is a common domestic microwave oven. The method uses numerical electromagnetic field simulations to obtain the oven radiation pattern. Due to the complexity of the metallic mesh of the oven's door, a retrieval process has been carried out in order to accelerate the electromagnetic field simulation. This result is incorporated to an in-house developed 3D Ray Launching algorithm by obtaining equivalent radiation sources. Finally, the microwave oven leakage is obtained for the complete volume of an indoor scenario. The estimated results are then compared with experimental measurements, with good agreement. The proposed model is useful to predict accurately the leakage of the domestic microwave oven within a complete complex indoor scenario, aiding in further radio planning considerations.

Keywords: electromagnetic interference, 3D Ray Launching, equivalent sources, parameter retrieval, microwave oven

1. Sarrera eta motibazioa

Azken bi hamarkadetan haririk gabeko komunikazioen gorakada ikaragarria bizi izan dugu, gero eta handiagoa bihurtzen ari dena WSN (Wireless Sensor Networks), IoT (Internet of Things) eta 5G sareen garapena dela eta. Sare guzti hauen hedatzea egokia eta optimoa ahalbidetzeko, haririk gabeko kanala aztertzeko lanabes zehatza eta erabilgarria da 3D Ray Launching metodoa. Baina hau ez da betebehar erraza. Haririk gabeko sareak gero eta ingurune konplexuagotan ezartzen ari dira, eta ingurunearen topologiaz eta morfologiaz gain, interferentzia elektromagnetikoek eragin handia izan dezakete haririk gabeko komunikazioetan, eta hortaz, sarearen funtzionamendu orokorrean. Horregatik, Nafarroako Unibertsitate Publikoan garatutako 3D Ray Launching simulazio softwarean oinarritutako metodoa garatu dugu gailu elektrikoek sortutako interferentziak estimatu ahal izateko. Iristeko dauden eta gaur egun azaleratzen ari diren haririk gabeko teknologien arrakasta bermatzeko, ezinbesteko pausua da radio-plangintza ahalbidetzen duten hau bezalako teknikak garatzea eta erabiltzea.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Mikrouhin labea oso zabalduta dagoen gailu elektronikoa da. Labe hauen bero iturria magnetroiak dira. Sortutako potentzia labearen barrutira bideratzen da han dagoen objektua berotzeko. Baina sortutako potentzia (eremu elektromagnetikoa) ez da guztiz barrutian geratzen: potentzia horren zati batek ihes egiten du kanpoaldera, atearen zirrikitu eta zulodun sare metalikotik gehien bat. Labetik ihes egindako potentziak 2.4GHz ISM bandan aritzen diren haririk gabeko komunikazio sistemak interferi ditzakete (Soltysiak et al., 2011). Beraz, gero eta gehiago aurki daitezkeen haririk gabeko aplikazioak mikrouhin labeetatik ihes egindako potentziak eragin diezaieke.

Mikrouhinek sortzen duten eremu elektromagnetikoaren simulazioak ageri dira dagoeneko bibliografian, FDTD (Finite-Difference Time-Domain) metodoa erabiliz eta labearen barnealdeko edota inguru hurbileko emaitzak lortuz (Sung Yi et al., 2001). Mikrouhin labea oso ezaguna den interferentzia iturria izan arren, ia ez dago honek sortzen duen interferentzia ingurune erreal batean estimatzen duten modeloak ezta metodoak ere (Matsumoto et al., 2003). Berez, labearen interferentziaren karakterizazioa gure taldeak argitaratutako lan batean ageri da lehendabizikoz (Lopez-Iturri, et al., 2012). Oraingo lan honetan, mikrouhin labearen modelo bat lortu da 3D Ray Launching algoritmoan erabiltzeko, non igorritako eremu elektromagnetikoa ahalbidetzen duen. Aurkeztutako metodoa edozein gailu elektroniko modelatzeko erabil daiteke.

3. Ikerketaren muina

3.1 Mikrouhin labearen eremu elektromagnetikoaren simulazioa

Aurkezten dugun metodoaren lehen pausoa labeak sortutako eta ihes egindako eremu elektromagnetikoaren karakterizazioa lortzea da (labearen inguru hurbilean). Horretarako, CST Microwave Studio softwarea erabili da. Labe modeloa eraikitzeko garaian, inpedantzia-gainazal baliokidea kalkulatu behar izan da labearen ateko sare metalikoaren ordez erabiltzeko. Lan honetan erabili den mikrouhin labearen barrutiaren dimentsioak hauexek dira: zabalera = 285mm, altuera = 205mm eta sakonera = 270mm. Gehienezko potentzia 800W-ekoa da. Lan honetan aurkezten diren emaitzak 800W-eko potentzia erabiliz lortu dira. Eraikitako labearen modeloa simulazioetarako 1.irudian ageri da.

Labe barrutian dauden objektuen eragina esanguratsua denez, neurketetarako erabili diren elementuak simulatzeko modeloan sartu egin dira (ontzia urez beteta plataforma biratzailearen gainean), haien benetako neurriak eta propietate elektromagnetikoak erabiliz.



1. irudia. CST simulazioetarako eraikitako mikrouhin labea.

Kanpora ihes egindako eremu elektromagnetikoa karakterizatzeko, labearen atea eta bere sare metalikoa dira elementu garrantzitsuenak. Lehen aipatu den bezala, sare metalikoa inpedantziagainazal baliokide batekin ordezkatu da simulazioak egin ahal izateko. Horretarako, lehenengo sarearen S-parametroak lortu dira, 'unit cell' simulazioa eginez. Gero, parametro berreskuratze algoritmo (parameter retrieval) bat erabili da inpedantzia-gainazal homogeneoa zehazteko. Prozedura hau historikoki metamaterialen parametroak aurkitzeko erabili ohi da. Sparametroetatik abiatuta inpedantzia baliokidea kalkulatzeko, hurrengo formula erabili da:

$$Z = \pm \sqrt{\frac{(1+S_{11})^2 - S_{21}^2}{(1-S_{11})^2 - S_{21}^2}}$$
(1)

Prozedura hau balioztatzeko, simulazio berriak egin dira lortutako inpedantzia-gainazal homogeneoaren S-parametroak lortzeko. Horrela, sare metalikoaren eta inpedantzia-gainazalaren S-parametroak konparatu daitezke, berdinak diren ikusteko. 2. irudian ikusi ahal denez, oso alde txikia, baztergarria egiaz, dago sare metalikoaren eta gainazal homogeneoaren arteko parametroa artean. Bai magnitudean bai eta fasean ere. Ezkerreko grafikoa transmisio S-parametroa irudikatzen da (S_{21}) eta eskuinekoan islatze parametroa (S_{11}) . Beraz, lortutako gainazal homogeneoa balioztaturik dago labe modelo osoaren simulazioetan erabiltzeko.

2. irudia. Labearen ateko sare metalikoaren eta lortutako gainazal homogeneoaren S₂₁ eta S₁₁ parametroen konparaketa.



3.2 Iturri baliokideak lortzen 3D Ray Launching simulazioetarako

Baliokidetza printzipioa (Equivalence Principle) formulatu zenetik badakigu irradiatzen duen edozein objektu iturri baliokidez deskribatu ahal dela (Alvarez et al., 2007). Gainera, Huygens printzipioa iturri baliokideak kalkulatzeko erabilia izan da hurbileko eremu elektromagnetikotik abiatuta urrutiko erradiazioa estimatzeko (Bush, 1990).

Lan honetan, aurreko ataleko simulazioak oinarritzat hartuz, iturri baliokideez osatutako antena egitura bat diseinatu da labearen alde bakoitzerako. Antena egitura hauek 3D Ray Launching algoritmoan sartu dira mikrouhin labeari ihes eginiko eremu elektromagnetikoa estimatu ahal izateko ingurune jakin batean. Erabilitako 3D Ray Launching algoritmoa aurreko lan askotan balioztatua izan da eta bere funtzionamendua azalduta izan da (Azpilicueta et al., 2014).

Antena egitura hauek transmititzen duten potentzia kalkulatzeko, CST bitartez simulatutako mikrouhin labeak ingurune hurbilean duen eremu elektrikoa aintzat hartu da. Labearen aurreko aldeko eremu elektrikoaren errepresentazioa ikus daiteke 3. irudian, labetik hurbilen dagoen plano koloreduna. Labea inguratzen duten plano bakoitzeko eremu elektrikoaren media lortu ostean, plano bakoitzean kokaturik egonen diren antena egiturek transmitituko duten potentzia kalkulatzen da.

3. irudia. Mikrouhin labeko aurreko planoko eremu elektrikoaren distribuzioa, CST simulazioan oinarrituta (labearen hurbilen dagoen plano koloreduna) eta antena egitura ezberdinak 3D Ray Launching simulazioetan erabiltzeko.



Labe inguratzen duten plano bakoitzean egongo diren antena egiturak definitzeko, parametro ezberdinak hartu dira kontutan, hala nola antena kopurua, potentziaren distribuzioa antenen artean eta antenen arteko distantzia (Kraus eta Marhefka, 2002). Behin antena egiturak definitzean, lehen kalkulatutako potentzia haien artean banatu egin da distribuzio uniformea, binomiala eta triangularra erabiliz. 24 antena egitura ezberdin simulatu ondoren, aurreko planorako 12 antenako egitura zehatza lortu da (1.06dB-zko errorea duena neurketekin konparatuz). Kasu hau 3. irudiko labetik urrunen dagoen planoak irudikatzen du.

Aurreko planorako antena egitura zehatza lortu ostean, prozedura berdina jarraitu da gainontzeko planoetarako (goiko, alboetako eta atzeko planoak). Horrela, labe osoaren modeloa lortu da. Zehazki, goiko eta atzeko planoak 12 antenaz osaturik daude, eta alboetako planoak 9 antenaz, txikiagoak baitira plano hauek. Azpiko planoa ez da kontutan hartu labearen modelo osoa egiteko, eremu elektriko maila oso txikia duelako. 4. irudiak labe modelo osoaren 3D Ray Launching simulazioaz lortutako potentzia maila erakusten du. Labea eta bere atea irudiaren erdian agertzen dira, ihes egindako potentzia inguru osoan ikus ahal izateko.





Metodoa balioztatzeko, eszenario erreal batean jarri da funtzionatzen mikrouhin labea, ihes egindako potentziaren neurriak hartzeko eta simulazioetan lortutako emaitzekin alderatzeko. Eszenario Nafarroako Unibertsitate Publikoko Ikerketa eta Garapeneko eraikinean kokaturik dago. Eszenario ez ideala eta ez anekoikoa hautatu da, horrelakoak baitira mikrouhin labeak kokaturik ohi dauden lekuak. Labetik ihes egindako potentzia Agilent N9912A espektro analizatzaile batez eta 7dBi-ko ganantzia duen antena omni-direkzional batez (LevelOne-eko OAN-1070 modeloa) neurtu da. Neurketa eremua 37.5m²-ko azalera batera (5m \times 7.5m) mugatu da. Bertan 650 neurketa puntu ezarri dira, 0.25m-ko distantziaz haien artean. Adibide gisa, 5.

irudian neurtutako eta simulatutako eremu elektrikoaren arteko konparaketa erakusten da, justu labe aurrean kokaturik dauden neurketa puntuetan. 650 neurketa puntuak kontutan hartuz, neurketa eta simulazioen arteko errore medioa 0.15dB-koa da, 0.35-eko desbideratze estandarrarekin. Hau da, oso errore txikia da, eta beraz, garatu den metodo eta modeloa balioztaturik geratzen dira.

5. irudia. Neurketa eta simulazioen arteko alderaketa mikrouhin labe aurrean kokaturik dauden neurketa puntuetan.



4. Ondorioak

Lan honetan, mikrouhin labeetatik ihes egiten duen eremu elektromagnetikoa estimatzeko balio duen metodo eta modeloa aurkeztu egin da. Karakterizazio honek labeek irradiatzen duten potentzia estima daiteke ingurune jakin baten barnean, non ISM 2.4GHz haririk gabeko komunikazio sareak egon daitezkeen eta interferi ditzakeen. Lortutako emaitzak neurketa errealekin konparatuak izan dira, aurkeztutako metodoa balioztatuz.

Proposaturiko metodoa zehatza azaldu da gailu elektronikoek (kasu honetan mikrouhin labea) irradiatutako eremu elektromagnetikoa estimatzeko. Honek, haririk gabeko komunikazio sistemak toki jakin batean kokatu baino lehen egin beharreko plangintza egokia (interferentziak ekiditeko) ahalbide dezake.

Gainera, estimatutako eremu elektrikoaren maila dosimetria azterlanetan erabil daiteke, ICNIRP-ek zehazten dituen esposizio mailak gainditzen diren ala ez jakiteko, adibidez.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunari begira, garatu den metodoa balioztatua izan den arren, bakarrik mikrouhin labeei aplikatu zaie, eta beste gailu elektriko batzuei aplikatuko zaie, hala nola motorrei, haririk gabeko karga sistemei (auto elektrikoak), trenen konbertitzaile elektrikoei, etab.

Gainera, iturri baliokideen aukeraketa (hau da, antena egiturak) hobetu eta optimizatu nahi da.

6. Erreferentziak

- Alvarez, Y. et al. (2007): "Reconstruction of Equivalent Currents Distribution Over Arbitrary Three-Dimensional Surfaces Based on Integral Equation Algorithms," *IEEE Trans. Antennas and Prop.*, 55, 12, 3460 – 3468.
- Azpilicueta, L. et al. (2014): "Convergence Analysis in Deterministic 3D Ray Launching Radio Channel Estimation in Complex Environments," *ACES Journal*, 29, 4, 256-271.
- Bush, K. B. (1990): "A method for the transformation of arbitrary electromagnetic fields based on Huygens principle," Proceedings of the IEEE Southern Tier Technical Conference, Binghamton, NY, USA.
- Kraus, J. D. eta Marhefka, R. J. (2002): Antennas For All Applications, McGraw-Hill.

- Lopez-Iturri, P. et al. (2012): "Impact of High Power Interference Sources in Planning and Deployment of Wireless Sensor Networks and Devices in the 2.4 GHz Frequency Band in Heterogeneous Environments," *Sensors*, 12, 11, 15689-15708.
- Matsumoto, Y. et al. (2003): "A time-domain microwave oven noise model for the 2.4 GHz band," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 45, 3, 561-565.
- Soltysiak, M. et al. (2011): "Measured and Simulated Frequency Spectra of the Household Microwave Oven," *Proceedings of IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Baltimore, MD, USA.
- Sung Yi et al. (2001): "A study of microwave curing process for underfill used in flip chip packaging. Part 2: 3D FEM simulation of microwave power distribution inside variable frequency microwave oven," Advances in Electronic Materials and Packaging, EMAP, Jeju Island, South Korea.

7. Eskerrak eta oharrak

• Lan honetan agertzen diren emaitzak tesi baten barruan lortutako emaitzak dira.