



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

I. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2015eko maiatzaren 13, 14 eta 15
Durango, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**EHaririk Gabeko Komunikazio
Sistemen Azterketa Ingurune
Konplexuetan 3D Ray Launching
Metodo Deterministaren bidez**

*P. Lopez-Iturri, E. Aguirre,
L. Azpilicueta eta F. Falcone*

458-466 or.
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.i.63>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



Haririk Gabeko Komunikazio Sistemen Azterketa Ingurune Konplexuetan 3D Ray Launching Metodo Deterministaren bidez

Lopez-Iturri P., Aguirre E., Azpilicueta L. eta Falcone F.

Ingeniaritza Elektriko eta Elektronikako departamentua, Nafarroako Unibertsitate Publikoa
peio.lopez@unavarra.es

Laburpena

Lan honetan, Nafarroako Unibertsitate Publikoan guztiz sortu eta garatu den 3 Dimentsioko Ray Launching (3D RL) softwarea aurkezten dugu. Metodo honek, haririk gabeko kanala sakonki aztertzea ahalbidetzen digu ingurune konplexuetan, haririk gabeko sentore eta gailuen funtzionamendua aztertu ahal izateko. Gure algoritmoaren funtzionamendua azaltzeaz gain, haren laguntzaz lor daitezkeen emaitzak eta analisi motak aurkezten ditugu. Lortutako emaitzek erakusten dute honelako teknikak erabiltzeak haririk gabeko sareen optimizaziora hurbiltzen gaituela.

Hitz gakoak: 3D Ray Launching, Haririk Gabeko Komunikazioak, Uhin Elektromagnetikoen Propagazioa, Haririk Gabeko Kanalaren Azterketa

Abstract

In this paper, an in-house developed 3D Ray Launching algorithm is presented. This simulation method can aid in the analysis of the variable nature of the radio channel within complex scenarios, in which wireless sensors and devices have been deployed. Then, the variety of complex scenarios that have been studied are presented, in which successful results have been obtained, as publications show. These results show that the use of this radioplanning technique aids in the deployment of more energy efficient elements, optimizing the overall performance of wireless communication systems.

Keywords: 3D Ray Launching, Wireless Communications, Electromagnetic Wave Propagation, Radio Channel Analysis

1. Sarrera eta motibazioa

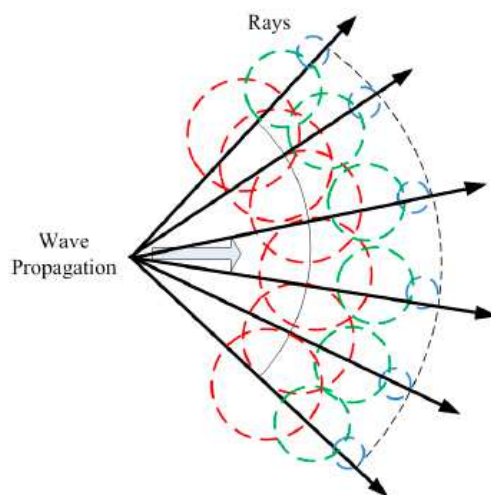
Azken bi hamarkadetan haririk gabeko komunikazioen gorakada ikaragarria bizi izan dugu, gero eta handiagoa bihurtzen ari dena. Honi aurre egiteko, haririk gabeko kanala aztertzeke lanabes zehatza eta erabilgarria behar dela uste dugu. Baina hau ez da eginbehar erraza. Haririk gabeko sareak gero eta ingurune konplexuagoetan ezartzen ari dira, eta ingurunearen topologiak eta morfologiak eragin handia dute uhin elektromagnetikoen propagazioan, eta hortaz, sarearen funtzionamendu orokorrean. Horregatik, Nafarroako Unibertsitate Publikoan hau guztia era azkarrean eta zehatzean aztertzeke balio duen simulazio softwarea sortu eta garatzen ari gara. 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

Uhin elektromagnetikoen portaera eta propagazioa aztertzeke, batez ere estalduraren estimazioak lortzeke, metodo enpirikoak erabili izan ohi dira, hala nola COST-231, Walfish-Bertoni edota Okumura-Hata (Hata, 1980; Ikegami et al., 1984; Phaiboon eta Phokharatkul, 2009). Metodo hauek, neurketa enpirikoetan oinarriturik daudenak, emaitzak laster emateko gai dira, baina zehaztasun mugatukoak, lekuko berezitasunak kontutan hartzen ez dituztelako. Bestalde, metodo deterministak daude, Maxwell-en ekuazioen ebatzean oinarriturik daudenak (Kanas et al. 1997; Lee eta Lee, 2000; Blas Prieto et al. 2009). Oso emaitza zehatzak ematen dituzte, baina askoz denbora gehiago behar dute horretarako, konputazio lan-zama askoz handiagoa baita. Metodo hauen artean, Method of Moment (MoM), Finite Difference Time Domain (FDTD) eta Ray Launching (RL) metodoak aurki ditzakegu (Seidel eta Rappaport, 1994; Schuster eta Luebbers, 1997; Yang, 1998).

Beste metodoekin alderatuta, RL metodoa da hiri inguruneak eta eraikin barruko ingurune konplexuak aztertzerako orduan abantaila gehien eskaintzen dituen: Optika fisikoaren (Physical Optics) eta difrakzio teoriaren (Physical Theory of Diffraction) ikuspuntuak eta laguntza erabiliz, oso RL metodo eraginkorrak lor daitezke, non konputazio denbora asko jaisteaz gain, emaitza zehatzak eskura daitezkeen (Weinmann, 2006). RL teknikan, igorlea (antena) dagoen puntutik izpiak jaurtitzen dira, 1. irudian ikus daitekeen bezala. Izpiok uhin elektromagnetikoa ordezkatzan dute, haren propagazio ezaugarriak emulatuz. Izpiak espazioan hedatzen dira, bai teoria optikoan bai teoria elektromagnetikoan oinarrituz. Izpiek oztopo batekin topo egiten dutenean, Snell-en legeak dioen arabera (Hristov, 2000), izpi berriak sortzen dira: transmititutakoa eta islatutakoa; errefraktatutako eta islatutako uhinekin bat etortzen direnak hurrenez hurren. Honela, izpiak ingurunean zehar hedatzen dira, espazioko edozein gunetan jasotako uhin elektromagnetikoaren potentzia mailaren neurketa ahalbidetuz. Horretarako, gune jakin hori zeharkatu duten izpiak aintzat hartzen dira, bakoitzari dagokion propagazio efektuak aplikatuz, fase-konstantea eta atenuazioa esate baterako.

1. irudia. Uhin elektromagnetikoaren propagazioa 2 dimentsioko RL teknikan, puntu jakin batetik izpiak jaurtiz



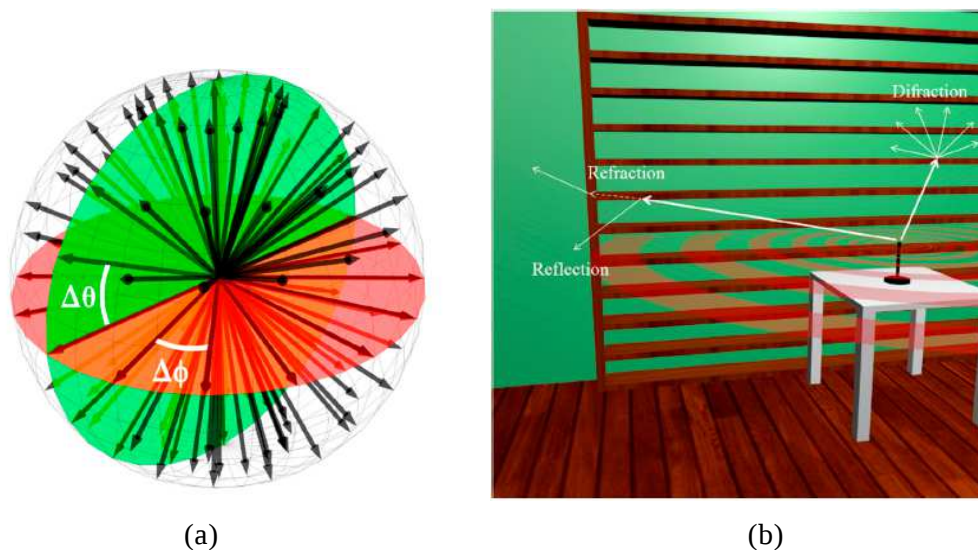
Lan honetan, Nafarroako Unibertsitate Publikoan (NUP) guztiz sortu eta garatu den 3 Dimentsioko Ray Launching (3D RL) softwarea aurkezten dugu. Gure algoritmoa hobetu nahian ezarritako berrikuntzak azaltzeaz gain, haren laguntzaz lor daitezkeen emaitzak eta analisi motak aurkezten ditugu.

3. Ikerketaren muina

3.1 3D Ray Launching metodoaren deskribapena

Gure 3D RL metodoaren bitartez, ingurune konplexuen topologiak eta morfologiak uhin elektromagnetikoen propagazioan duten eragina aztertzen ahal dugu. Uhin elektromagnetiko hauek haririk gabeko komunikazio sistemek igorritakoak dira normalean (WiFi, ZigBee, Bluetooth, etab.), baina zarata elektromagnetiko iturriak ere aztertzeke balio du. Adibidez, mikro-uhin labeek sortutakoa. Lehen aipatu bezala, metodo honek emaitza zehatzak ematen dizkigu, simulazio denbora onargarriak lortuz. Beste RL metodo batzuekin alderatuta, gureak 3 dimentsiotan jaurtitzen ditu izpiak, aurretik zehazten den bereizmen angeluarraz (bai horizontala bai bertikala), 2a irudian ikus daitekeen bezala. Izpi bakoitza espazioan hedatuz doa, oztopoekin topatzerakoan aldatuz joango dena: Islatutako eta errefraktatutako izpiez gain, gure algoritmoak difrakzioa ere aintzat hartzen du, Luebbers-ek enpirikoki aldatutako UTD koefizienteen metodoa jarraituz (Luebbers, 1988).

2. irudia. (a) Izpiak jaurtitzeko era NUP-en garatutako 3D RL algoritmoan. (b) Izpiek oztopo bat aurkitzean gertatzen diren propagazio fenomenoak



Orokorki, gure 3D RL metodoa 3 fase ezberdinetan banatzen dela esan dezakegu:

- I. Fasea: Ingurunearen sorkuntza.
- II. Fasea: 3D RL simulazioa.
- III. Fasea: Emaizten azterketa.

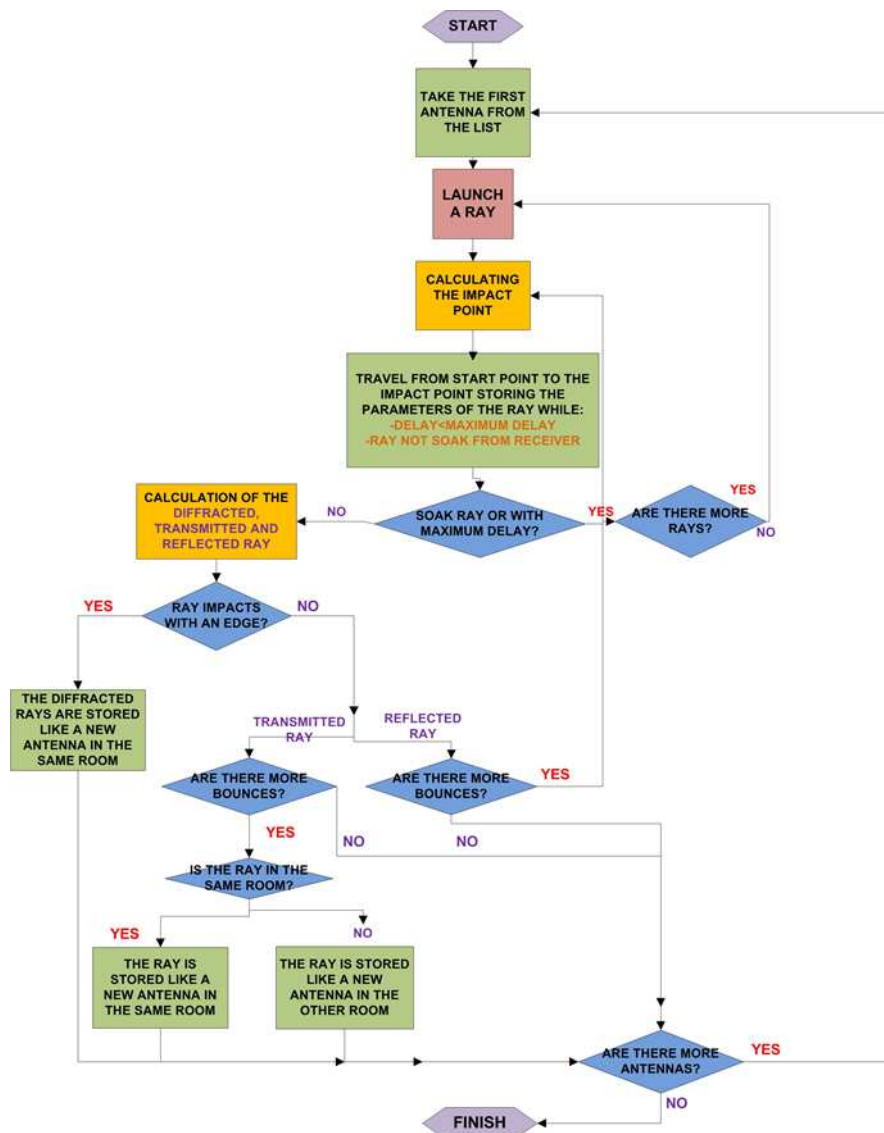
I. Fasean, ingurunearen eraketa egiten da, 3 dimentsioko espazioa sortuz. Horretarako, ingurunean dauden objektu guztiak definitzen dira: hormak, altzariak, pertsonak eta esanguratsua den objektu oro. Baita haririk gabeko komunikazioan parte hartuko duten igorlea(k) eta hartzailea(k) ere. Objektu guztien tamaina eta kokapena zehazteaz gain, material guztien parametroak definitu egiten dira (zura, igeltsua, burdina, adreilua, plastikoa, etab.), hots, konstante dielektrikoa edo konduktibitatea eta permitibitatea. Igorleari eta hartzaileari dagokienez, transmititutako energia maila (Watt), antenen erradiazio eskema, seinalearen maiztasuna (Hz), polarizazioa eta abiadura (bps) zehaztu egiten dira besteak beste.

II. Fasean, izpiak jaurtitzen dira eta inguruneako oztopoekin topatzean aipatutako fenomeno fisikoak gertatzen dira (2b irudia). Garrantzitsua da aipatzea sorturako espazio osoa lehendik zehaztutako hexaedrozko lauki-sare batean zatitu egiten dela. Laukiotatik igarotzen diren izpien datuak bertan gorde egiten dira, eta simulazioa amaitzean, datu eta emaitza guztiak matrizeetan ikusi ahal dira. Simulazioari ekin baino lehen, beste parametro batzuk zehaztu behar dira: hexagonoen tamaina, izpien gehieneko islapen kopurua eta izpien arteko bereizmen angeluarra. Parametro hauen aukeraketa arrunt garrantzitsua da, lortutako emaitzen zehaztasuna eta simulazioa betetzeko beharreko denbora baldintzatuko baititu.

Bukatzeke, III. Fasean lortutako eta matrizeetan gordetako emaitzen azterketa burutzen da. Horrela, haririk gabeko komunikazioaren azterketa sakona egin izan ahalko da ingurune jakin horretarako. Iritsiko den potentzia, haririk gabeko gailuen kontsumoa, haririk gabeko kanalaren kalitatea edo PER (Packet Error Rate), sarearen egonkortasuna eta fidagarritasuna zarata mailarekiko, etab. lortuko dugu. Prozesu honen xehetasunak dagoeneko argitaraturik daude (Azpilicueta et al., 2014a).

Jarraian agertzen den eskeman (3. irudia), 3D RL algoritmoaren diagrama erakusten da modu xehe batean.

3. irudia. NUP-en garatutako 3D RL algoritmoaren diagrama

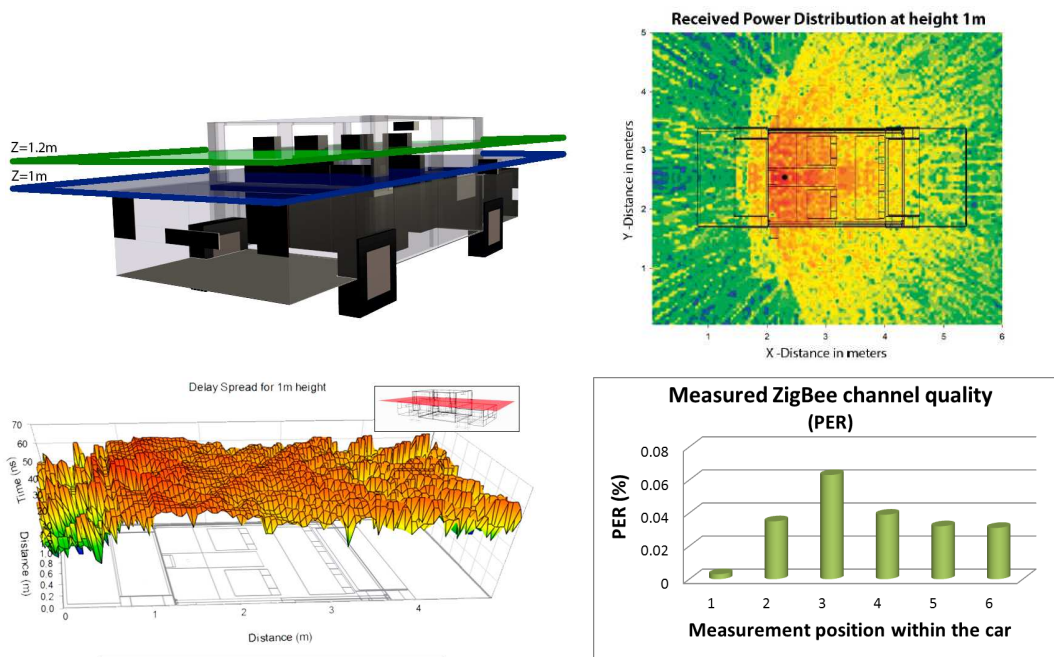


3.2 Lortutako emaitzak

Jarraian, 3D RL metodoaz arlo ezberdinetan lortutako emaitzak erakusten ditugu:

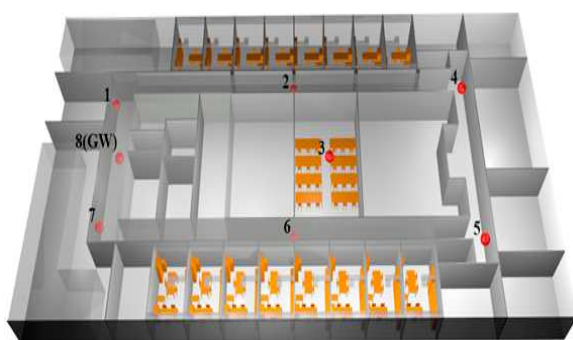
- 1) VANET (Vehicular Ad-hoc Network) ibilgailu sareak. Ibilgailuetan edota ibilgailuetatik beste lekutara komunikatzeko haririk gabeko sareak dira. Auto (Lopez-Iturri, P. et al. 2014a), autobus, furgoneta (Moreno et al., 2012), tren (Salaberria et al., 2014) eta hegazkinetan (Aguirre et al., 2013) aztertu izan dugu haririk gabeko kanala, aplikazio ezberdinetarako.

4. irudia. 3D RL metodoaz eraikitako autoa eta lor daitezkeen emaitza mota batzuk



- 2) MANET (Mobile Ad-hoc Network) eta haririk gabeko sentsoareak. Haririk gabeko sentsoare sareen optimizazioa ingurune konplexu ezberdinetan aztertu izan dugu, hala nola eraikin handietan (Aguirre et al., 2015), mahastietan (Gil et al., in Press) eta zuhaitz eremuetan (Azpilicueta et al., 2014b).

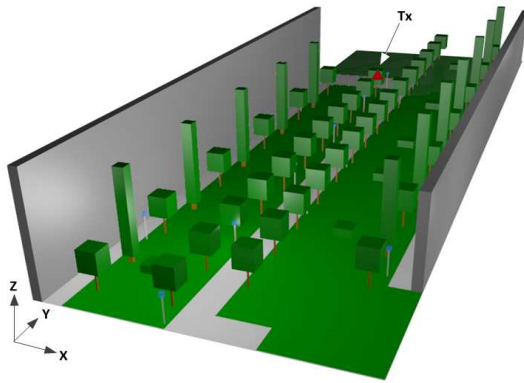
5. irudia. WSN (Wireless Sensor Networks) edo haririk gabeko sentsoare sareak aztertu izandako hainbat ingurune. a) Eraikin baten solairua, b) mahastia, c) zuhaitz eremua eta d) industrialde bateko karrika



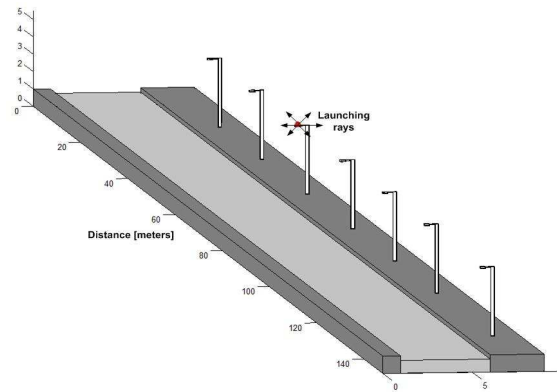
(a)



(b)



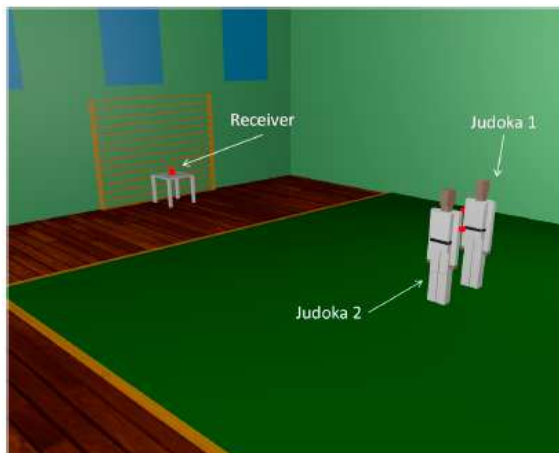
(c)



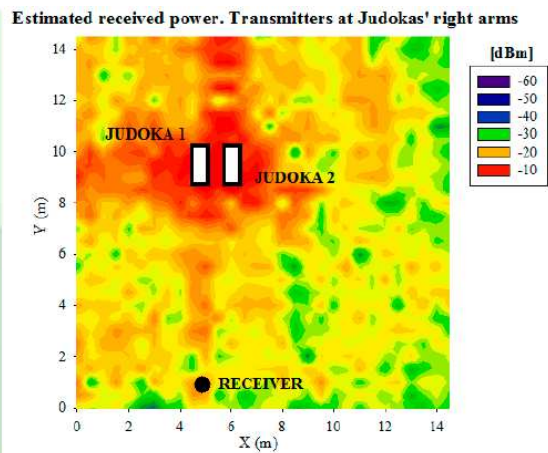
(d)

3) BAN (Body Area Network) giza gorputz inguruko sareak. Giza gorputza aplikazio askotan nahitaez agertzen den elementua da, eta beste objektuak bezala, uhin elektromagnetikoen hedapenean eragina dauka. Giza gorputz modelo propioa garatu ostean, honen eragina hainbat aplikaziotan aztertu dugu. Adibidez, Judorako aplikazioak (Lopez-Iturri, P. et al., 2014b), surferako aplikazioak eta elektrokardiograma eramangarrietakoa (Led et al., 2013).

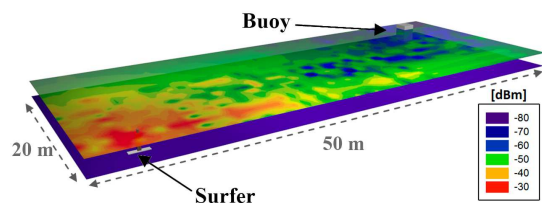
6. irudia. Giza gorputzak haririk gabeko komunikazioan eragin zuzena duen aplikazioen azterketa. (a) Judo, (b) elektrokardiograma eramangarria eta (c) surf.



(a)



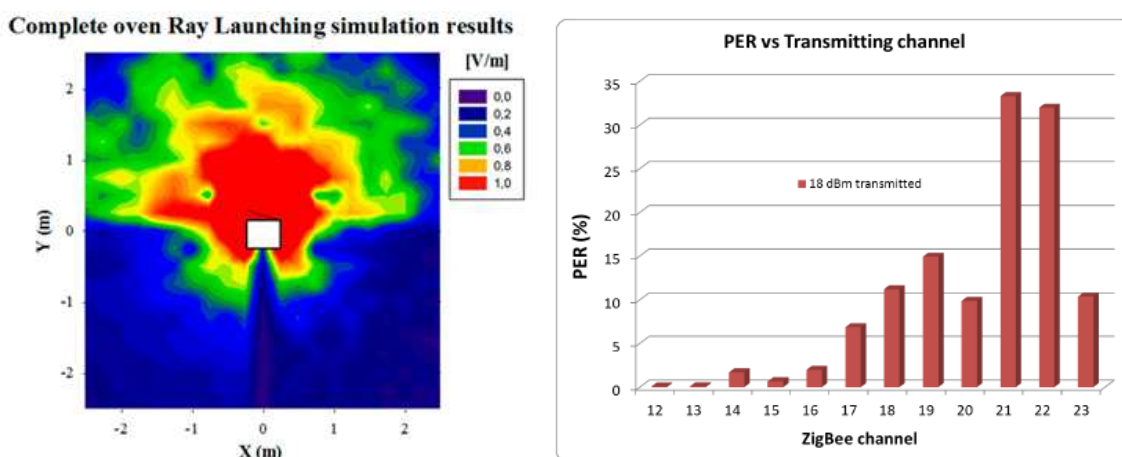
(b)



(c)

- 4) EMI-EMC bateragarritasun eta interferentzia elektromagnetikoa. Haririk gabeko komunikazio kanalaren azterketaren zati garrantzitsu bat interferentzia elektromagnetikoa da. Berezko komunikazio sistemez gain, egon badaude gailuak zarata elektromagnetikoa sortzen dutenak, haririk gabeko komunikazioak kaltetu ahal dituztenak. Gailu hauek nola irradiatzen duten ezjakina da normalean. Eta are zailagoa da elementu hauen modeloak lortzea simulatzaileetan erabiltzeko. Potentzia handiko gailua den mikro-uhin baten modelo garatu dugu 3D RL metodoan erabili ahal izateko. Baita honek haririk gabeko komunikazioetan izan dezakeen eragina aztertu ere (Lopez-Iturri et al., 2012).

7. irudia. Mikro-uhin labeak nola irradiatzen duen, 3D RL metodoaren arabera (ezkerrean). Labeak ZigBee haririk gabeko teknologian duen eragina (eskuinean)



4. Ondorioak

Uhin elektromagnetikoen propagazioa ingurune konplexuetan aztertzea lan zaila da gertatzen diren fenomeno elektromagnetikoak direla eta: uhinaren islapena, errefrakzioa, difrakzioa, eta batez ere, 'multipath propagation' delakoagatik, oztopo asko dauden ingurunetan eragin handiena duena baita. Hemen aurkeztu den simulazio metodoa zehatza eta baliogarria dela egiaztatutik dago, hainbat ingurune konplexuetan egin diren lanek erakusten duten bezala. Haririk gabeko teknologien gorakadaren ondorioz, horrelako lanabes baten garrantzia areagotu egiten da, teknologia eta sistema hauen egonkortasuna bermatuko duena eta optimizatuko dituen ekonomia eta kontsumo energetikoaren ikuspuntutik.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Esan bezala, haririk gabeko teknologiak gora doaz, eta gure gizarteak gero eta behar handiagoa edukiko du uhin elektromagnetikoak eta haririk gabeko kanala aztertzeke. Erronka berri hauei aurre egiteko (haririk gabeko sentzore sareak etxebizitza eta beste eraikinetan, LTE mugikorren teknologia berria, Internet of Things, Smart Cities, etab.), ingurune ezberdin gehiagoren azterketa egin behar da, batez ere kontutan izanik haririk gabeko gailuen kopurua izugarri handituko dela uste dela. Ildo honetatik jarraituz, oso interesagarria iruditzen zaigu Smart Cities-ekin zerikusia duten inguruneak aztertzen hastea. Hauek, oso konplexuak izateaz gain, oso tamaina handiko inguruneak dira, haririk gabeko kanalaren azterketa benetan erronka handia bihurtuko duena.

Horrez gain, gure algoritmoa hobetzen dihardugu, konplexuagoa den beste fenomeno elektromagnetikoa gehitu nahian: Scattering-a.

6. Erreferentziak

- Aguirre, E. et al. (2013): "Characterization and Consideration of Topological Impact of Wireless Propagation in a Commercial Aircraft Environment", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 5, 6, 240-258.
- Aguirre, E. et al. (2015): "Analysis of Wireless Sensor Network Topology and Estimation of Optimal Network Deployment by Deterministic Radio Channel Characterization", *Sensors*, 15, 2, 3766-3788.
- Azpilicueta, L. et al. (2014)a: "Convergence Analysis in Deterministic 3D Ray Launching Radio Channel Estimation in Complex Environments", *ACES Journal*, 29, 256-270.
- Azpilicueta, L. et al. (2014)b: "Analysis of Radio Wave Propagation for ISM 2.4GHz Wireless Sensor Networks in Inhomogeneous Vegetation Environments", *Sensors*, 14, 23650-23672.
- Blas Prieto, J. et al. (2009): "A new metric to analyze propagation models," *Progress in Electromagnetics Research*, 91, 101-121.
- Gil, G. et al. (in Press): "Analysis of Topo-Morphological Influence of Vineyards in the Design of Wireless Sensor Networks for Smart Viticultural Management", *International Journal of Sensor Networks*.
- Hata, M. (1980): "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 29, 3, 317-325.
- Hristov, H. D. (2000): "Fresnel zones in wireless links, zone plate lenses and antennas," *Artech House, Inc.*
- Ikegami, F. et al. (1984): "Propagation factors controlling mean field strength on urban streets", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 32, 8, 822-829.
- Kanatas, A. G. et al. (1997): "A UTD propagation model in urban microcellular environments," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 46, 1, 185-193.
- Led, S. et al. (2013): "Analysis and Description of HOLTIN Service Provision for AECG monitoring in Complex Indoor Environments", *Sensors*, 13, 4, 4947-4960.
- Lee, D. J. Y. eta Lee, W. C. Y. (2000): "Propagation prediction in and through buildings", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, 49, 5, 1529-1533.
- 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.
- Lopez-Iturri, P. et al. (2014)a: "ZigBee Radio Channel Analysis in a Complex Vehicular Environment", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 56, 4, 232-245.
- Lopez-Iturri, P. et al. (2014)b: "Radio characterization for ISM 2.4GHz Wireless Sensor Networks for Judo Monitoring Applications", *Sensors*, 14, 24004-24028.
- Luebbers, R. J. (1988): "Comparison of lossy wedge diffraction coefficients with application to mixed path propagation loss prediction", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 36, 7, 1031-1034.
- Moreno, A. et al. (2012): "IVAN: Intelligent Van for the Distribution of Pharmaceutical Drugs", *Sensors*, 12, 5, 6587-6609.
- Phaiboon, S. eta Phokharatkul, P. (2009): "Path loss prediction for low-rise buildings with image classification on 2-D aerial photographs", *Progress in Electromagnetics Research*, 95, 135-152.
- Salaberria, I. et al. (2014): "Ubiquitous Connected Train based on Train-to-Ground and Intra-Wagon Communications Capable of Providing On Trip Customized Digital Services for Passengers", *Sensors*, 14, 5, 8003-8025.
- Schuster, J. W. eta Luebbers, R. J. (1997): "Comparison of GTD and FDTD predictions for UHF radio wave propagation in a simple outdoor urban environment", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 3, 2022-2025.
- Seidel, S. Y. eta Rappaport, T. S. (1994): "Site-specific propagation prediction for wireless in-building personal communication system design", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 43, 4, 879-891.

- Weinmann, F. (2006): "Ray tracing with PO/PTD for RCS modeling of large complex objects", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 54, 6, 1797-1806.
- Yang, C. F. (1998): "A ray-tracing method for modeling indoor wave propagation and penetration", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 46, 6, 907-919.

7. Eskerrak eta oharrak

- Lan honetan agertzen diren emaitza eta azterketa gehienak dagoeneko argitaratu ditugun artikuluetatik atera ditugu (testuan erreferentziatuak izan direnak), gure orain arteko lanaren laburpen bat egin nahirik.
- Orain arte gurekin kolaboratu duten pertsona eta ikerketa talde guztiei eskerrik beroenak eman nahi dizkiegu. Erreferentziatu ditugun lanetan agertzen dira.