



IKER  
GAZTE  
NAZIOARTEKO  
IKERKETA EUSKARAZ

## IV. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2021eko ekainaren 9, 10 eta 11a  
Gasteiz, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:  
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

### INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Errealitate areagotuko sistema baten diseinu eta balioztatze esperimentalak haririk gabeko integrazioarekin, auditoriumetan desgaitasuna pairatzen duten pertsonen esperientzia hobetzeko**

*Imanol Picallo, Aida Vidal,  
Oscar Blanco, Peio Lopez-Iturri,  
Paula Fraga, Hicham Klaina,  
Tiago Fernandez, Leyre Azpilicueta  
eta Francisco Falcone*

107-114 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.iv.03.13>



# Errealitate areagotuko sistema baten diseinu eta balioztatze esperimentalak haririk gabeko integrazioarekin, auditoriumetan desgaitasuna pairatzen duten pertsonen esperientzia hobetzeko

Picallo, I.<sup>1</sup>; Vidal, A.<sup>2</sup>; Blanco, O.<sup>2</sup>; Lopez-Iturri, P.<sup>1</sup>; Fraga, P.<sup>2</sup>; Klaina, H.<sup>3</sup>; Fernández, T.<sup>2</sup>; Azpilicueta, L.<sup>4</sup>; Falcone, F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ingeniaritza Elektriko eta Elektronikako departamentua, Nafarroako Unibertsitate Publikoa

<sup>2</sup> Department of Computer Engineering, Faculty of Computer Science,

Universidade da Coruña

<sup>3</sup> Department of Signal theory and Communications, University of Vigo

<sup>4</sup> School of Engineering and Sciences, Tecnológico de Monterrey, Mexico

imanol.picallo@unavarra.es

## Laburpena

Egoera batzuetan, kultur jardueretan adibidez, erabiltzaileen esperientzia ingurunera ez egokitzeagatik mugatzen da, desgaitasuna pairatzen duten pertsonetan bereziki. Ildo horretatik, auditorioetan Context-Aware paradigma erabiltzeak funtzionalitate egokiak eman ditzake. Lan honen helburua erabiltzaileen esperientzia hobetzea bideragarria dela frogatzea da (adibidez, desgaitasuna pairatzen duten pertsonen autonomia hobetuz), haririk gabeko errealitate areagotuko (AR) sistema baten bidez (HoloLens smart glasses). Horretarako, neurketa-kanpaina benetako auditorio batean egin zen (Baluarte Batzar Jauregia eta Nafarroako Auditoriuma). Haririk gabeko komunikazioaren estimazioak aurkezten dira, 3D Ray Launching softwarean oinarrituta, zerbitzuko kalitatea balioztatzeko. Azkenik, entzumen-arazoak dituzten pertsonen laguntzeko aplikazio bat garatu zen, eta haren ezaugarri nagusiak auditorioan frogatu ziren.

Hitz gakoak: Auditoriuma, haririk gabeko kanala, errealitate areagotua, desgaitasuna pairatzen duten pertsonak, esperientzia hobetzea, 3D ray launching.

## Abstract

*There are situations in which user experience is limited owing to the lack of environment adaption in cultural activities, such as people with disabilities. In this sense, the adoption of Context Aware paradigms within auditoriums can provide adequate functionalities. This work is aimed at demonstrating the feasibility in enhancing user experience (e.g., improving the autonomy of disabled people) by means of an Augmented Reality (AR) device (HoloLens smart glasses) with wireless system integration. To carry out the demonstration, an intensive measurement campaign was performed in a real auditorium (Baluarte Congress Center) to evaluate the feasibility AR devices in a complex wireless propagation scenario. Deterministic wireless channel estimation based in volumetric 3D Ray Launching have been obtained to assess quality of service metrics. Finally, a user-friendly application to help hearing impaired people was developed and its main features were tested in the auditorium.*

*Keywords: Auditorium, wireless channel, augmented reality, impaired persons, enhanced show experience, 3D ray launching.*

## 1. Sarrera eta motibazioa

Munduko Osasun Erakundearen 2020ko txostenaren arabera (World Health Organization, 2020), munduko populazioaren % 15 inguruk pairatzen du desgaitasunen bat. Desgaitasun horien artean, gutxienez 2.2 mila milioi pertsonak pairatzen dute ikusmen desgaitasun edo itsutasunik, eta horietatik, mila milioi pertsona neurritzko edo desgaitasun larria pairatzen dute (besteak beste, zuzendu gabeko arazo errefraktarioak, makularen endekapena, katarata, erretinopatia diabetikoa edo glaukoma). Entzumen-galera, munduan 466 milioi pertsonak baino gehiagok pairatzen duten beste desgaitasunen artean dago. Galera hori genetikoa edo eskuratua izan daiteke, eta entzumen-galeraren maila aldatu egiten da, gortasuna larriena izanik.

Ikusmen desgaitasunei dagokienez, ikusmena gizakiaren zentzumen garatuena da, izan ere, eguneroko bizitzan behar dugun informazioaren %80 gure begietatik jasotzen baita. Ikusmen-urritasun larriak direla eta, bizitza autonomoa izateko zailtasunak daude (adibidez, eguneroko irteeretan edo jardueretan). Bestalde, Espainiako Estatistika Institutu Nazionalaren (INE) azken datuen arabera, eskuragarri ez diren arloetan parte-hartzea murriztu da, hala nola hezkuntzan, lanean, aisian edo kulturean. Jarduera kulturalaren adibide bat antzokietara edo auditoriumetara joatea da, eta hori, zenbait kultur jardueretan interesa duen edonorentzat funtsezkoa da. Zoritxarrez, ingurune horiek gutxi egokituta egon ohi dira desgaitasuna pairatzen duten pertsonentzat, bai eraikinaren barruan askatasunez mugitzeko gaitasunari dagokionez (ikusmen desgaitasuna pairatzen duten pertsonentzat ezinbestekoa da), baita ikuskizunari dagokienez (ikusmen eta entzumen desgaitasuna pairatzen duten pertsonentzat).

## 2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Lan honetan, Baluarte Batzar Jauregia eta Nafarroako Auditoriumean (Iruñea) ezarritako errealitate areagotuko (AR) sistema bat aurkezten da. Baluarte jauregian hitzaldiak, erakusketak, ikuskizunak eta hainbat arloetako biltzarrak antolatzen dira. Ekitaldi horietan hainbat giza-zerbitzu (ikuskitzuntara datozen pertsonen laguntzeko) eta teknologia-zerbitzu (inplante koklearra eramaten duten pertsonentzako maiztasun-modulazioko gailuak) eskaintzen dira. Hala ere, desgaitasuna pairatzen duten pertsonentzako ez da erabiltzen beste tresneria teknologikorik esperientziaren kalitatea (QoE) hobetzen duenik. Smartphoneak edo tabletak, desgaitasuna pairatzen duten pertsonen esperientzia hobetzen lagundu dezakete baina ez dira oso egokiak auditorium bezalako tokietan erabiltzeko beste ikusle batzuen esperientzia oztopa dezaketelako. Azken AR gailuek aldiz, potentzia informatikoari, pantaila integragarri eta audio-irteerei esker, distantzia ertain eta luzeko irakurketa/behaketa errazteko tresna erabilgarriak eskaintzen dituzte, giza pertzepzioa eta elkarreragina hobetzen (Bach et al., 2018). Onura horiek direla eta, lan honek Microsoft HoloLens smart glasses AR aplikazio baten diseinua eta garapena deskribatzen ditu.

AR-n oinarritutako soluzioak ingurune konplexuetan bideragarriak direla egiaztatzeko uhin elektromagnetikoen hedapenari dagokionez, lan honek Wi-Fi-rekin bideratutako AR soluzio baten errendimendua balioztatzen du ingurune errealista batean. Zehazki, hauek dira lan zientifiko honen ekarpen berri nagusiak (Picallo et al., 2021):

- Baluarte jauregian egindako 2.4GHz eta 5.5GHz-ko maiztasun-bandak neurketak erakusten dira (auditoriumeko interferentzia maila zela eta), non komunikazio-teknologia desberdinek (adibidez, Wi-Fi, Bluetooth edo ZigBee) funtziona baititzaizkete, Microsoft HoloLens smart glasses erabiltzen diren bitartean (Hübner et al., 2020).
- 3D Ray Launching (3D-RL) simulazio-software deterministaren bidez (Nafarroako Unibertsitate publikoan garatutakoa), Baluarte areto nagusiaren radio-karakterizazioa gauzatzen da balioztatzeko helburuarekin. Simulazio hauek auditoriumeko dimentsioak eta barruan dauden altzarien eta elementuen ezaugarri elektrikoak (konstante dielektrikoa edo konduktibitatea eta permitibitate erlatiboa) kontutan hartzen dituzte (Azpilicueta et al., 2014).
- Balioztatutako ondoren, radio-plangintza sakona burutzen da auditorioaren morfologiaren eragina eta pertsonen presentziaren eragina erakusteko.
- Azkenik, Microsoft HoloLens smart glasses AR aplikazio baten diseinua eta garapena deskribatzen dira, desgaitasuna pairatzen duten pertsonak laguntzeko eta Baluarte Auditoriumeko ikuskizunetan esperientzia hobetzen duena, informazio birtual gehigarria eta multimedia-edukia hornituz.

### 3. Ikerketaren muina

#### 3.1. Baluarte Auditoriumaren azterketa eta haririk gabeko komunikazioen analisia

Atal honetan, Baluarte Jauregi eraikina aurkezten da, radio-karakterizazio azterketarekin batera. Radio-maiztasun (RF, Radio Frequency) neurketak egin dira, bai radio kanalaren karakterizaziorako (lehen aipatutako bi maiztasun-bandetan), baita interferentzia-maila balioztatzeko, haririk gabeko komunikazioaren errendimendu ona ziurtatzeko. Lehen esan bezala, Baluarte Batzar Jauregia eta Nafarroako Auditoriumean sistemaren garapena gauzatu da. Hainbat areto ditu, non areto nagusia edo auditoriuma bereizten da bere tamainagatik (65.26m-ko luzera, 30.58m-ko zabalera, 16m-ko altuera). Auditoriuma bi zatitan banatzen da: 1036 eserleku aretoan eta 532 eserleku palko gunean. Areto nagusia badu ikus-entzunezko kabina soinu mahaiarekin eta argiztapen kabina, 1.(b) irudian adierazita ikusten den bezala (Picallo et al., 2021).

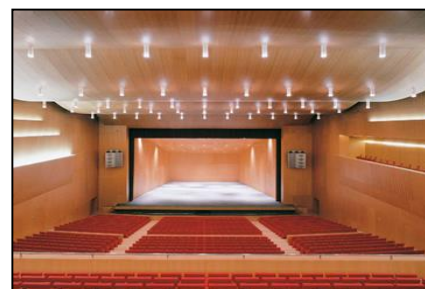
#### 1. irudia. Baluarte Batzar Jauregia eta Nafarroako Auditoriuma: (a) Bista orokorra (b) Areto nagusiaren atzeko bista (c) Areto nagusiaren aurreko bista



(a)



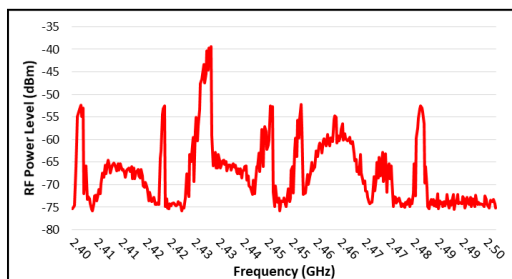
(b)



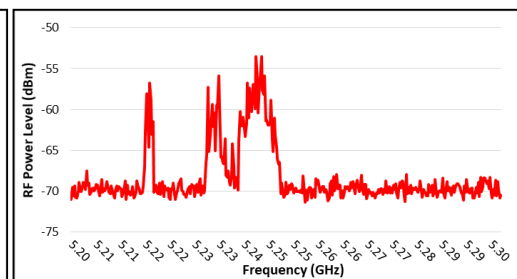
(c)

Haririk gabeko edozein gailu ezarri aurretik, auditorioan zenbait espektrograma neurtu ziren, egon zitezkeen interferentziak aurkitzeko eta HoloLens-en Wi-Fi maiztasun-bandaren hautaketa zuzena ziurtatzeko. Microsoft HoloLens smart glasses-ak 2.4GHz eta 5GHz-ko maiztasun-bandetan lan egin dezakete, IEEE 802.11ac estandarra erabiliz. 2. irudian bi bandetarako neurtutako espektrogramak azaltzen dira, non 2.4GHz-ko maiztasun-banda ia beteta dagoen batez ere eraikinean dauden Wi-Fi seinaleekin (Picallo et al., 2021). Bestalde, 5GHz-ko maiztasun-bandak interferentzia seinale gutxiago dauzka eta horregatik, banda hau aukeratzera eraman gaitu garatutako aplikaziorako.

#### 2. irudia. Espektrogramen neurketa bi maiztasun-bandetan: (a) 2.4GHz (b) 5GHz



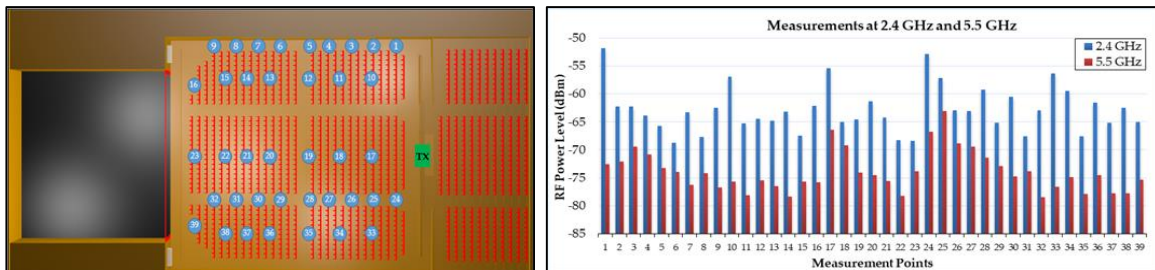
(a)



(b)

3. irudian haririk gabeko kanala karakterizatzeko egindako neurketa espezifikoak ikusten dira (Picallo et al., 2021). Horretarako, tentsioz kontrolatutako osziladore gailuak (ZX95-2500 eta ZX-95-5400) igorle bezala eta Agilent N9912A espektro analizatzailea jasotako potentzia-maila neurtzeko erabili dira. Igorlea ikus-entzunezko kabinan kokatu dugu, ikuskizunen erabaki tekniko guztiak hemendik kontrolatzen direlako eta etorkizunean, HoloLens gailuetarako Wi-Fi sarbide-puntu moduan. 3.(a) irudian, 39 neurketa puntuen banaketa eserleku eta korridoreen artean ikusten dira (zenbatutako borobil urdinekin irudikatuak), auditorium osoa karakterizatzeko asmoz. Lortutako neurketetan ikus daitekeenez, hedapen-galera handiagoak daude maiztasun handiagotan, nahiz eta 5GHz-ko maiztasun kasuan igorlearen potentzia txikiagoak eragina izan. Orokorrean, espero zitekeen bezala, igorletik hurbilen dauden neurketa-puntuak (1, 10, 17, 24 eta 33) RF seinale-maila handiagoak jasotzen dituzte. Detektatutako RF potentzia-mailaren joera distantziarekin gainbeheratzen da, baina ‘multipath propagation’ eragindako aldaketak ere ikus daitezke, hau da, jasotako potentzia-maila altzarien eta elementuen eraginarengatik ere aldatu egiten da. Adibidez, 9. puntuak, 8. puntuak baino potentzia-maila handiagoa jasotzen du. Hortaz, honek radio-plangintza lanak zailtzen ditu, ez baita igorlearen eta hartzailearen arteko distantziaren arabera arazoa bakarrik.

**3. irudia. (a) Neurketa puntuen banaketa auditoriumeko goiko bistatik (zenbatutako borobil urdinekin irudikatuak) eta igorlearen kokapena ikus-entzunezko kabinaren apalean (karratu berde batekin irudikatu) (b) Neurketen emaitzak 2.4GHz eta 5GHz-ko maiztasun-bandetan**



(a)

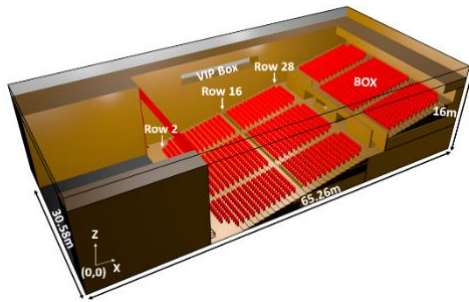
(b)

**3.2. Radio-hedapen deterministaren balioespena 3D-RL softwarearekin**

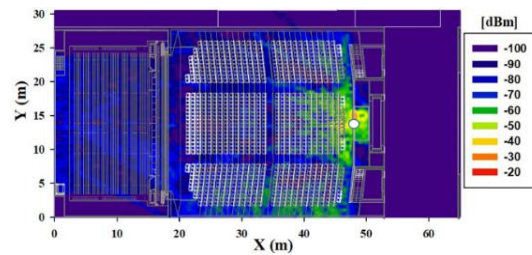
Neurketen arabera HoloLens-en maiztasun-banda hautatu ondoren, Nafarroako Unibertsitate publikoan garatutako 3D-RL softwarearen bitartez simulazio deterministak egin dira, lortutako emaitzak balioztatzeko lehen aurkeztutako neurketekin alderatuz. Simulazio tresna hau Geometrical Optics (GO), Geometrical Theory of Diffraction (GTD) and Uniform Theory of Diffraction-ean (UTD) oinarrituta dago, eta haren funtzionamendua literaturan zabalki deskribatuta dago (Azpilicueta et al., 2014).

4. irudian radio-hedapen deterministaren balioespena 3D-RL softwarearekin erakusten da (Picallo et al., 2021). Simulazio emaitza zehatzak lortzeko lehen pausoa errealitatetik ahalik eta gertuen dagoen eszenario bat sortzea da tamainari, objektuei eta haien ezaugarri elektrikoen materialei dagokienez (konduktibitatea eta permitibitate erlatiboa). 4.(a) irudian pareko Baluarte Auditoriumaren eszenarioa erakusten da benetako ezaugarri horiek kontutan hartuta, 1568 eserlekuekin eta lehen aipatutako bi kabina teknikoekin. 4.(b) irudian 5.5GHz-erako RF potentzia-mailaren banaketa bi dimentsioko plano batean erakusten da (28. ilararen altueran) non igorlea ikus-entzunezko kabinaren apalean kokatuta dagoelarik (borobil txuri batekin irudikatu). Emaitzek erakusten dutenez, jasotako potentzia-maila txikiagotu egiten da distantziaren arabera, baina, berriro ere, neurketetan ikusten zenez, “multipath propagation” eragindako aldaketa azkarra ikus daitezke, eta horrek potentzia-maila handiagoa eragiten du puntu urrunago batzuetan. 4.(c) irudian, neurketen eta simulazioen arteko konparaketa 5.5GHz-ko maiztasunean erakusten da (3.(a) irudiko puntuei dagozkien), non zehaztasun handia ikusten da. Zehazki, 2.29 dB-ko bataz besteko errorea eta 2.87 dB-ko desbideratze estandarra lortzen dira. Hori dela eta, 3D-RL tresna radio-plangintza lanetarako balioztatuta dago.

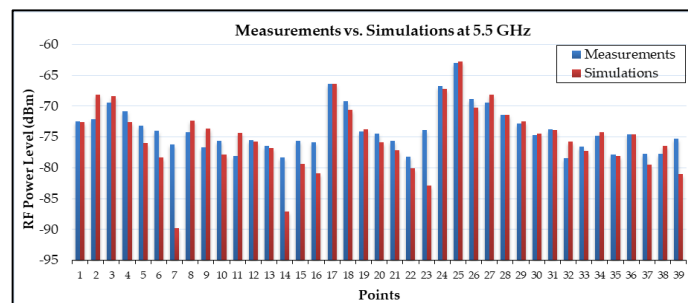
4. irudia. (a) Baluarte Auditoriumaren modeloa sortua 3D-RL tresnaren bidez (b) 5GHz-erako RF potentzia-mailaren banaketa bi dimentsioko plano batean, 28. ilararen parean (c) Neurketen eta simulazioen arteko konparaketa 5.5GHz-ko maiztasunean.



(a)



(b)



(c)

### 3.3. Radio-plangintzaren emaitzak

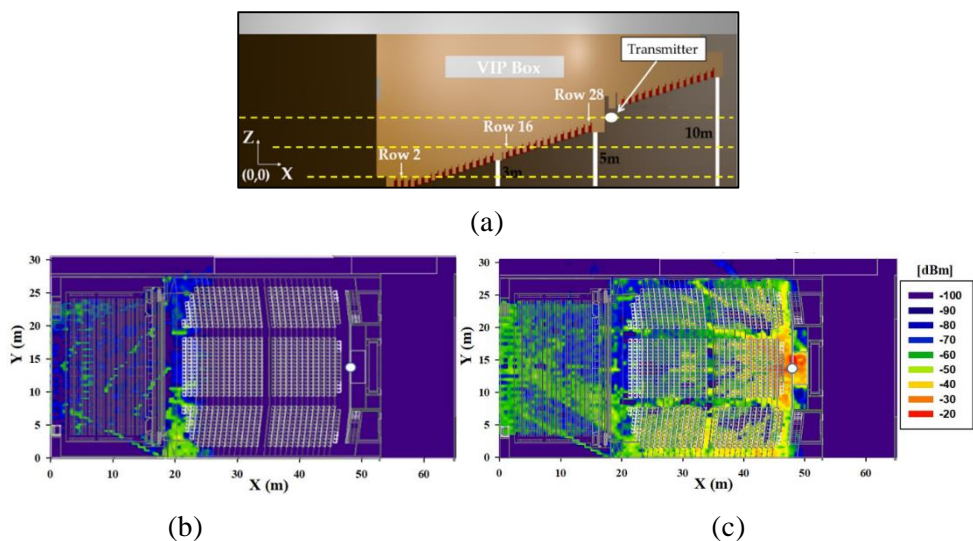
3D-RL softwarea balioztatu ondoren, atal honetan, radio-plangintza sakona burutzen da auditoriumean haririk gabeko kanalarekin lotutako arazoak egiaztatzeko eta aurkitzeko. Horretarako, simulazio tresnaren bitartez radio-hedapenarekin lotutako bi gai aztertzen dira: auditorioaren morfologiaren eragina eta pertsonen presentziaren eragina.

#### Auditorioaren morfologiaren eragina

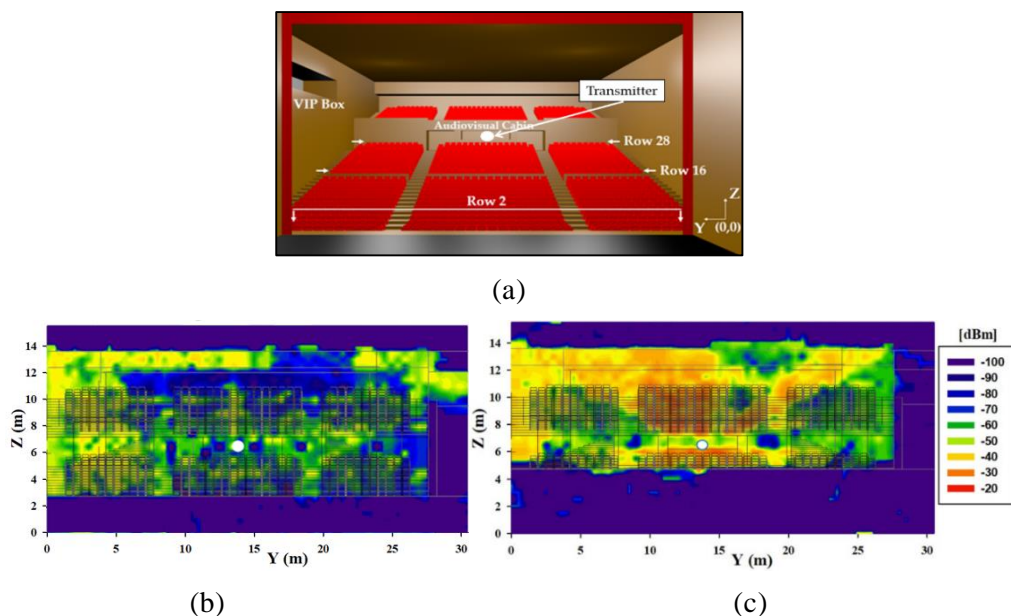
Lehen esan bezala, auditoriumek oso morfologia konplexua dute radio-hedapenari dagokionez. Oztopo ugari izateaz gain, altuera-maila desberdinak dituzte. Azken hau oso gai garrantzitsua da; izan ere, radio-kanal ereduak puntu zehatzetan balioetsitako balioak, dimentsio bateko bide batean (distantziaren arabera) edo bi dimentsioko plano batean ematen dituzte. Aurkeztutako 3D-RL tresna, simulazio bakar batekin, eszenario bolumen osoaren RF potentzia-banaketa eskaintzen du. 5. irudian RF potentzia-mailaren banaketa altuera desberdinetarako bi dimentsioko planoetan erakusten da (Picallo et al., 2021). 5.(a) irudian auditoriumeko alboko ikuspegia erakusten da, non lerro horiak 5.(b) eta 5.(c) irudietako planoak adierazten dituzte. Eszenarioaren morfologiaren eragina argi ikus daiteke, eta haren forma aldatutsua zuzeneko eragina dauka radio-seinaleen hedapenean.

Era berean, 6. Irudian RF potentzia-mailaren banaketa bi dimentsioko planoetan erakusten da, baina YZ koordenatu-ardatzerako (Picallo et al., 2021). Beste kasuetan bezala, banaketa ez da konstantea potentzia-mailaren aldakuntza azkarra dela eta. Nabarmentzekoa da VIP palkoaren barneko potentziaren banaketa 6.(b) irudian agertzen dela, berriz, 6.(c) irudian hori ezin da ikusi x-distantzietan VIP palkorik ez dagoelako (28. ilararen parean). Emaitza horiek guztiek erakusten dute puntu bakoitzean jasotako potentzia-maila, eszenario morfologiaren eta igorle gailuari aukeratutako kokapenaren arabera dela. Hori dela eta, tresna zehatz bat erabili behar da horrelako ingurune konplexuetan radio-plangintza fidagarria lortu nahi bada.

**5. irudia. (a) Auditoriumeko alboko bista (b, c) RF potentzia-mailaren banaketa altuera desberdinetarako (2. eta 28. ilaren pareetan) bi dimentsioko planoetan**



**6. irudia. Auditoriumeko zuzeneko bista (b, c) RF potentzia-mailaren banaketa altuera desberdinetarako (16. eta 28. ilaren pareetan) bi dimentsioko YZ planoetan**

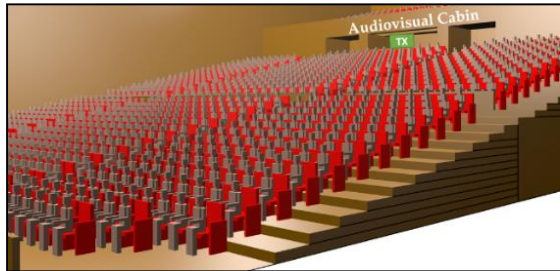


**Pertsonen presentziaren eragina**

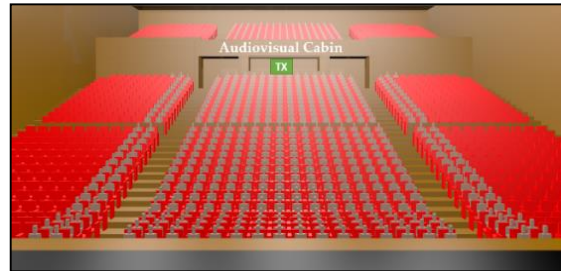
Ingurune mota horietan radio-planifikatzeko beste faktore garrantzitsu bat pertsonen presentzia da. 7. irudian ikusiko den bezala (Picallo et al., 2021), giza gorputzak uhin-elektromagnetikoen hedapena kaltetzen du, eta horrek itzal-efektu ezaguna eragiten du. Horrelako inguruneetan, jende asko egon daiteke bertan. Beraz, radio-hedapenean duen eragina oso garrantzitsua izan liteke. Orain arte, lan honetan, simulazio guztiak auditorium hutsean burutu dira. Giza gorputzaren presentzia balioztatzeke bi eszenario berri sortu dira: Auditoriuma jendez beterik (7.(a) irudia ikusi) eta auditoriuma erdi-edukierarekin (7.(b) irudia ikusi). Simulazio hauek, auditorium hutsaren potentzia-konfigurazio berdina daukate. 7.(c) irudian auditorium hutsaren eta betearen arteko potentzia-mailaren diferentzia erakusten da (28. ilararen parean). Ikus daitezkeen moduan, eremu batzuetan 20dB arteko aldeak egon daitezke. Jasotako potentzia-mailaren desberdintasun horiek oso garrantzitsuak dira, eta haririk gabeko komunikazio errendimendu onaren edo sistemaren hutsegitearen arteko aldea izan liteke. Pertsonen presentzia efektuaren ikuspegi zabalagoa izateko, 7.(d) irudian jasotako potentzia-maila erakusten da auditoriuma huts, erdi-

betea eta betea dagoenean 3.(a) irudiko puntuei dagokienez. Espero bezala, oro har, eszenario hutsak RF potentzia-maila altuena dauka, baina zenbait eremuetan, auditorium hutsa eta erdi betea antzeko emaitzak aurkezten ditu, pertsonen banaketaren ondorioz. Era berean, erdiko eserleku multzoko puntuek RF potentzia-maila antzekoak erakusten dituzte, auditorium erdi-betearen eta betearen kasuetan.

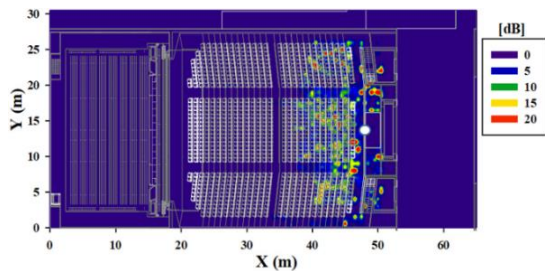
**7. irudia. (a) Beteriko auditorium eszenarioa (b) Erdi-beteriko auditorium eszenarioa (c) Auditorium hutsaren eta betearen arteko potentzia-mailaren diferentzia 28. ilararen parean (d) Jasotako potentzia-mailaren konparaketa auditoriuma huts, erdi-betea eta betearekin**



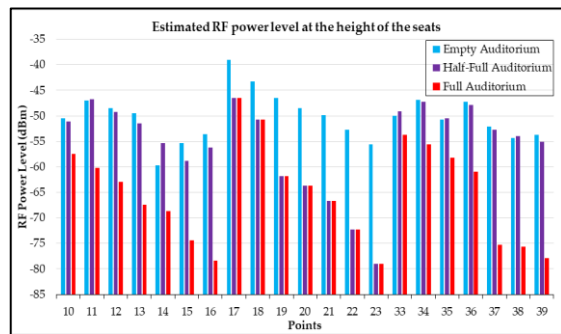
(a)



(b)



(c)



(d)

### 3.4. Errealitate areagotuko sistemaren garapena

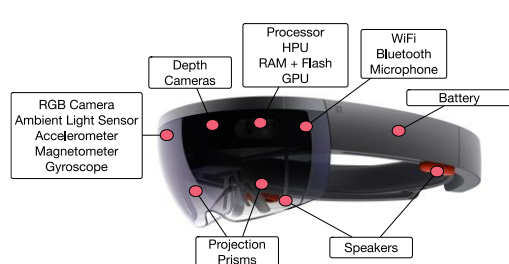
Aurreko hedapen-analisi sakonari esker, garatutako AR aplikazioa ezar daiteke Wi-Fi-a erabiliz. 8. irudian ikusiko den bezala (Picallo et al., 2021), lan honetan garatu den AR sistema, Microsoft HoloLens smart glasses-etan oinarritzen da. Betaurreko horiek, gaur egun, AR gailu komertzial aurreratuenak dira, eta hainbat inguruetan erabili dira (Hübner et al., 2020). Garatutako aplikazioaren helburu nagusia ikuskizunetan entzumen-arazoak dituzten pertsonen laguntzea da eta, horrela, haien esperientzia hobetzea. 8.(a) irudian HoloLens-en ezaugarriak ikusi daitezke. 8.(b) irudian garatutako sistemaren komunikazio-arkitektura azaltzen da, 3 geruzaz osatua dago:

- AR nodo-geruza: AR gailuek osatzen dute eta beste geruzekin komunikatzen dira haririk gabeko sarbide-puntu baten bidez.
- Edge Computing geruza: Prozesamendu lokala eta AR gailuei erantzun azkarra emateko (Fog-Computing eta cloudlets).
- Cloud: Interneten dagoen zerbitzari edo zerbitzari-granja bat da, eta Edge Computing geruzak erabili ezin dituen eskaerak prozesatzeko diseinatuta dago.

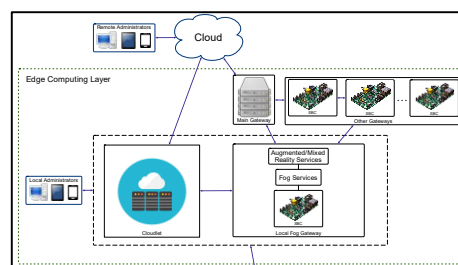
Garatutako AR sistema Baluarteko Auditorioan probatu zen, eta erabiltzailea hainbat tokitan kokatu zen (besteak beste, 2. eta 28. ilaratan), HoloLens aplikazioak hainbat ikuspuntutatik nola funtzionatzen zuen egiaztatzeko (ikusi 8.(c) irudia). Aplikazioak 3D espazio birtuala eskaintzen die erabiltzaileei, multimedia-eduki erabilgarria bistaratu ahal izateko. Adibidez, 8.(d) irudia zeinu-mintzairako interprete baten bideo-sekuentzia bat ikusi daiteke, non pantaila eszenatokiaren eskuinean jartzen baita.



**8. irudia. (a) Microsoft HoloLens smart glasses (b) Garatutako sistemaren komunikazio-arkitektura (c) Frogaren uneetako bat HoloLens-ekin (d) Aldi bereko zeinu-mintzairako interprete bideoa-sekuentzia**



(a)



(b)



(c)



(d)

#### 4. Ondorioak

Lan honek AR sistema baten diseinua eta implementazioa aurkezten ditu, desgaitasuna pairatzen duten pertsonen esperientzia auditoriumetan hobetzeko asmoz. Aurkeztutako sistemaren gaitasunen adibide gisa, AR aplikazio bat garatu da Microsoft HoloLens gailuekin, Baluarte Auditorioko ikuskizunetan entzumen-arazoak dituzten pertsonak laguntzeko. Auditorioan egindako neurketek inguruneak interferentzia-maila handia dutela erakusten dute. Simulazioak 3D-RL softwarearekin egin dira, eszenarioaren morfologia eta gizakiaren presentziaren eragina aztertzeko. Simulazio emaitzak gailu-kopurua eta auditorioan duten kokapena erabakitzekeo lagungarriak dira, hala nola, hainbat gailuren ezarpena optimizatzekeo. Ondorioz, jarraibide erabilgarriak ematen dituzte AR sistema berriak hain konplexuak diren inguruetan ezarri ahal izatekeo.

#### 5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunean, sistemaren errendimenduaren azterketa egin beharko da, aldi berean jarduten duten HoloLens gailu batzuekin, haririk gabeko datuen trafikoa handitzeko asmoz. Bestalde, sistema benetako erabilera-kasu batean ezartzeko, AR aplikazioa desgaitasuna pairatzen duten pertsonetan frogatu beharko da, izan ere, Covid-19-aren ondorioz ez da horretarako aukerarik egon.

#### 6. Erreferentziak

- Azpilicueta, L. et al. (2014): "Convergence analysis in deterministic 3D ray launching radio channel estimation in complex environments" *Appl. Comput. Electromagn. Soc. J.*, 29, 4, 256-271.
- Bach, B. et al. (2018): "The hologram in my hand: How effective is interactive exploration of 3D visualizations in immersive tangible augmented reality?" *IEEE Trans. Vis. Comput. Graphics*, 24, 1, 457-467.
- Hübner, P. et al. (2020): "Evaluation of HoloLens tracking and depth sensing for indoor mapping applications" *Sensors*, 20, 4, 1021.
- Picallo, I. et al. (2021): "Design and Experimental Validation of an Augmented Reality System With Wireless Integration for Context Aware Enhanced Show Experience in Auditoriums" *IEEE Access*, 9, 5466-5484.
- World Health Organization (2020): "Disability and Health" *World Health Organization*. [<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>]