



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

V. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2023ko maiatzaren 17, 18 eta 19a
Donostia, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 3.0

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Pazienteen segimendua eraikin
anitzeko eta tunelez konektatutako
ospitale gune batean**

*Imanol Picallo Guembe,
Jesús Daniel Trigo Vilaseca,
Hicham Klaina, Peio Lopez Iturri,
José Javier Astrain Escola,
Ana Vazquez Alejos,
Francisco Falcone Lanas
eta Luis Serrano Arriezu*

137-144 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.v.03.18>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



Pazienteen segimendua eraikin anitzeko eta tunelez konektatutako ospitale gune batean

Imanol Picallo¹, Jesús Daniel Trigo^{1,2}, Hicham Klaina¹, Peio Lopez-Iturri^{1,2}, José Javier Astrain^{2,3}, Ana Vazquez Alejos⁴, Francisco Falcone^{1,2,5}, Luis Serrano-Arriezu^{1,2}

¹ Ingeniaritza Elektriko eta Elektronikako departamentua, Nafarroako Unibertsitate Publikoa

² Institute for Smart Cities, Nafarroako Unibertsitate Publikoa

³ Estatistika, Informatika eta Matematika Departamentua, Nafarroako Unibertsitate Publikoa

⁴ Department of Signal theory and Communications, University of Vigo

⁵ School of Engineering and Sciences, Tecnológico de Monterrey, Mexico
imanol.picallo@unavarra.es

Laburpena

Zainketa Intentsiboetako Unitateko (ZIU) pazienteen egoera hobetzen denean beste unitate batzuetara garraiatzen dira. Horregatik, haien lokalizazioa ezagutzea estrategikoa da ospitale barruko garraioen planifikazio onerako eta baliabideak kudeatzeko. Lan honetan, pazienteen segimendua egiteko mugikor aplikazio bat aurkezten da eraikin anitzeko ospitale batean, Nafarroako Ospitale Unibertsitarioan (NOU) zehazki. Proposatutako sistemak Internet of Medical Things (IoMT) kontzeptuan oinarritzen da, distantzia luzeko (LoRaWAN) eta hurbileko (NFC) teknologiak erabiliz. Gailu teknologien kokapena garatutako 3D Ray Launching software batean eta ospitale gunean egindako radio neurketetan oinarrituta daude. Ondorioz, bi Gateway modulu behar dira komunikazioa NOU gune osoan ahalbidetzeko. Garatutako aplikazioak NOU gune inguruko ZIU-ko pazienteen mugimendu-fluxua erakusten du.

Hitz gakoak: Medikuntza-gauzen internet, haririk gabeko kanala, pazienteen segimendua, 3D-ray launching

Abstract

When the situation of patients in the Intensive Care Unit (ICU) improves, they are transported to other units. Therefore, knowing their location is strategic for properly planning intra-hospital transports and resource management. This work presents a patient monitoring application in a multi-building hospital, specifically at the University Hospital of Navarra (UHN). The proposed systems are based on the concept of the Internet of Medical Things (IoMT) using long-range (LoRaWAN) and near-field communication (NFC) technologies. The location of the device technologies is based on the 3D Ray Launching software developed and radio measurements performed in the hospital area. Consequently, two Gateway modules are needed to enable communication across the UHN complex. The application shows the flow of movements of ICU patients around the UHN complex.

Keywords: Internet of medical things, wireless channel, patient tracking, 3D-ray launching

1. Sarrera eta motibazioa

Azken urteetan, Internet of Things (IoT) kontzeptuak bultzada handia nabaritu du. IoT, funtsean, teknologikoaren bidez konektatutako gauza fisiko edo birtualen sarea da, aplikazio-eremu desberdinen arabera zerbitzuak emateko, besteak beste, gobernantza, automatizazioa, kokapena, defentsa, logistika eta hiri adimendunak (Ray, 2018). Hala ere, arlo desafiatzaile eta itxaropentsuenetako bat medikuntza- eta osasun-sektorea da, non IoT eta medikuntzak bat egiten baitute paradigma berri bat sortzeko, eskuarki Internet of Medical Things (IoMT) deritzona (Alberti et al., 2019). Datorren urteetan, IoMT 5G sarearen bidez zabaltzea espero da, eta, horri esker, latentzia, eraginkortasuna eta fidagarritasuna nabarmen hobetuko dira, besteak beste; osasun-aplikazio adimendunetarako funtsezko baldintzak (Ahad et al., 2019).

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

IoMT kontzeptuak zerbitzu eta aplikazio espektro zabala dauka: telemetria eta bizi-konstanteen jarraipena, gailu mediko eramangarrien kudeaketa, autentifikazioa/identifikazioa (Varadharajan

et al., 2018), edota, ekipamendu mediko edo pazienteen kokapena eta segimendua . Azken kasu horretan arreta jarriz gero, ospitaleratutako pazienteak osasun unitate batetik bestera pasa daitezke, behar medikoen arabera. Adibidez, gutxiegitasun organiko arriskuarekin dauden pazienteak Zainketa Intentsiboetako Unitateetan (ZIU) onartzen dira (Simpson et al., 2005). Egoera hobetzen denean, ZIU-n alta ematen zaie eta beste unitate batera bideratzen zaie.

Ospitaleratzea onartzearen edo alta ematearen ondoriozko garraioez gain, ZIU-ko pazienteek bidai anitz egin behar izaten dituzte beste unitate batzuetara, arrazoi diagnostiko edo terapeutikoengatik (Braxton et al., 2000). Hala, haien kokapena ezagutzea funtsezkoa da garraioen planifikazio egokia, unitateen arteko koordinazio eraginkorra eta, azken batean, osasun seguruagoa lortzeko. Jakina, hau ospitale gune handietan askoz gehiago nabarmentzen da, eremu zabalagoz eta hainbat eraikinez osatuak baitaude. Gainera, ospitale gune horietako eraikinak lurrazpiko tunelen bidez konektatuta egon daitezke, pazienteak ospitale barruan garraiatu ahal izateko.

Azaldutako arrazoiak direla eta, lan honek, IoMT komunikazio-paradigman oinarritutako pazienteen segimendua egiteko aplikazio baten garapena aurkezten du eraikin eta tunel anitzeko ospitale gune batean, zehazki Nafarroako Ospitale Unibertsitarioan (NOU). Horretarako, haririk gabeko teknologia konbinazio bat aukeratu dira bideratzaile gisa, Near Field Communication (NFC) distantzia motzetarako eta LoRa Wide Area Network (LoRaWAN) distantzia luzeetarako. Lan zientifiko honek, egilearen tesi barruan dagoena, helburu bikoitza dauka (Trigo et al, 2020):

- Lehenik, non eta zenbat LoraWAN gailu behar diren zehaztea NOU gune osoan komunikazioa emateko eta pazienteen kokapena lortzeko NFC eskumuturren detekzioaren bidez. Horretarako, 3D Ray Launching (3D-RL) simulazio-software deterministaren bidez (Nafarroako Unibertsitate publikoan garatutakoa), NOU gunea radio-karakterizatu egin da.
- Bigarrenik, pazienteen mugimendu-fluxua monitorizatzen duen Android Aplikazio bat garatzea Cloud infraestruktura pribatu bat erabiliz.

2.1 NOU gunea

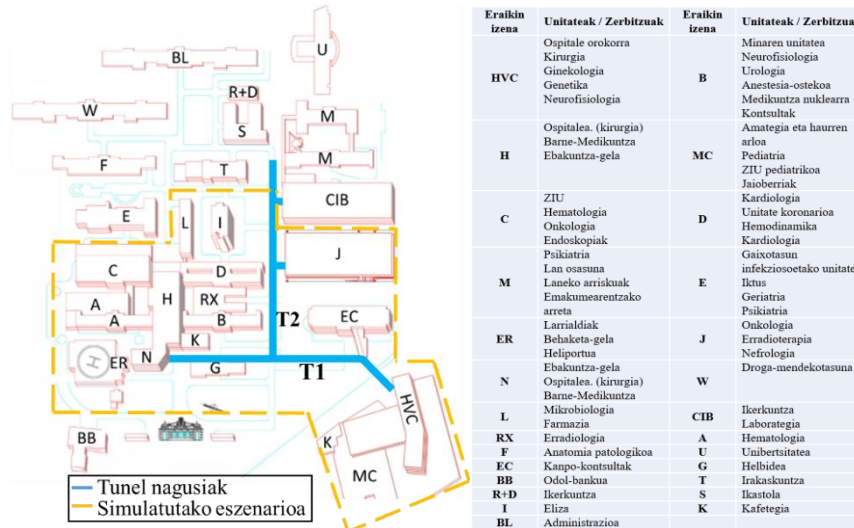
NOU gunea Nafarroako erreferentziako hirugarren mailako ospitalerik handiena da, 650000 paziente inguru dituena. NOU gunea 27 eraikin ditu, eta gutxi gorabehera 200000 m²-ko azalera hartzen dute. 1000 ohe baino gehiago daude bi eraikin nagusitan banatuta (H eta HVC), eta horiek, aldi berean, hainbat pabiloi osatzen dituzte. 1. irudian NOU gunearen bista, eraikin bakoitza izendatuta, ikusi daiteke.

1. irudia. NOU eraikinetako Google Earth-en ikuspegia



2. irudian, NOU-ko planoak eta, eraikin eta pabiloi nagusiak azaltzen dira, baita horien barruko unitate edo zerbitzuak ere. Azpimarratu behar da ekipamendu erradiologikoak dituzten eraikinek isolamendu egokiko hormak behar dituztela, eta horrek eragina izan dezakeela diseinatu beharreko aplikazioaren komunikazioan. 2. irudian ikusi daitekeen bezala eraikin gehienak lurpeko tunelen bidez konektatuta daude non tunel nagusiak (urdinez nabarmendutakoak) zabalagoak dira eta gunearen erdiko eraikinak lotzen dituzte, eta gainerako tunelak (urdin lerroekin irudikatuta) estuagoak dira eta bigarren mailako eraikinak lotzen dituzte.

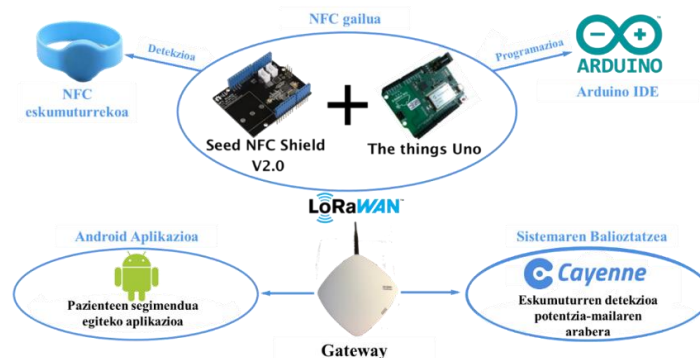
2. irudia. NOU-ko planoak eta eraikin bakoitzeko unitate eta zerbitzuak



2.2 Erabilitako teknologiak

LoRaWAN teknologia irtenbide egokia da gune zabaletan haririk gabeko komunikazioa lortzeko, oso sensibilitate txikia (-148 dBm) eskaintzen baitu. Hau da, nahiz eta gailuak (informazio igorleak) Gateway-etik urrun egon (informazio paketeen hartzaile modulua) iristen den informazioa interpretagarria da eta hortaz, komunikatzeko aukerak areagotzen dira beste haririk gabeko teknologikoekin konparatuta. Lan honetarako, lehenik igorle bezala The Things Uno (TTN) LoRaWAN gailuak erabili dira, 868MHz-ko maiztasun-bandan funtzionatzen duena. Honi, NFC plaka bat gehitu zaio 10cm-ko irakurketa eskaintzen duena (pazienteen eskumuturrekoak detektatzeko 3. irudian ikusten den bezala). Ondoren, TTN gailuak Gateway-ari pazienteen informazioa bidaliko die, non datu hauek Cayenne plataforman agertuko dira biltegitatzeko eta bistaratzeko lehenengo frogetan. Azkenik, informazio hori Android-en garatutako pazienteen segimendua egiteko aplikazioan kudeatu ahalko dira, 3.3 atalean zehazki azalduko den bezala.

3. irudia. Sistema balioztatzeko deskribapen eskematikoa eta garatutako aplikazioa



Datuen babes egokia bermatzeko, garatutako informazio sistema Cloud pribatuko azpiegitura batean ezarri da. Pazienteei buruzko osasun datu pertsonalekin lan egin behar denez, aplikazioaren erabiltzaileak aldi baterako identitateak (TUI, Temporary User Identities) erabiltzea erabaki da. Nazioarteko arauak datuak babesteko ahalik eta segurtasun handienarekin egitea eskatzen dute, datuak babesteko erregelamendu orokorrean agertzen den bezala (GDPR, General Data Protection Regulation). Beraz, erabiltzaile bakoitzaren kokapenari buruzko informazioak uneoro mantentzen diren arren, sistemak gizabanakoaren identitate errealak eta TUI guztiz bereizia mantentzen du uneoro. Hala, monitorizazio-tresnak mugimendu-fluxu agregatuak ezagutu ditzake edo desplazamendu-patroiaren arabera diskriminatu dezake, baina ezin du zuzenean bere identitatea ezagutu. Dagokion baimenarekin, sistemak erabiltzailea identifika lezake.

3. Ikerketaren muina

LoRaWAN TTN gailuen kokapena aukeratzeko hainbat faktore kontutan hartu dira: monitorizatu beharreko paziente mota, ospitaleratu edo alta ematen duten zerbitzuak, zein unitateetara mugitu behar diren, eraikinen diseinua mapan (ikus 1. irudia), pazienteek helmuga horietatik ZIU-ra joateko egingo luketen bidea (lur gainean eta lur azpian) (ikus 2. irudia), eta eraikinetan eskuragarri dagoen ekipamendu medikoa.

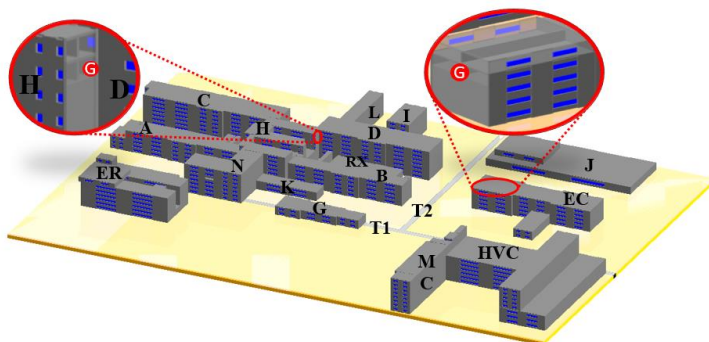
Hortaz, lehenengo, LoRaWAN Gateway-ak hainbat posizioetan ezarri ziren potentzia maila neurtzeko, hau da, komunikazioa zegoela egiaztatzeko. 3D-RL softwarearen bitartez, NOU gune osoa simulatu zen haririk gabeko kanala aztertzeko eta Gateway-en posizio optimoa lortzeko (3.1 atala). Ondoren, TTN gailuak konfiguratu eta hautatutako posizioetan kokatu ziren aipatutako faktoreak kontutan hartuta, informazio paketeak bidaliz Gateway-etara. Aldi berean, Gateway-ak lehenengo urratsean aukeratutako posizioen inguruan mugitu ziren potentzia maila neurtzeko eta lekurik onena aukeratzeko eta finkatzeko helburuarekin (3.2 atala). Azkenik, pazientearen segimendua egiteko aplikazioa diseinatu eta garatu zen (3.3 atala). Ondoren, NFC eskumuturren bidezko frogak boluntarioekin egin ziren.

3.1 Simulazioak

NOU gunean haririk gabeko kanala karakterizatzeko eta gailuen kokapena aukeratzeko, Nafarroako Unibertsitate publikoan garatutako 3D-RL simulazio-software baten bitartez simulazio deterministak egin dira. 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).

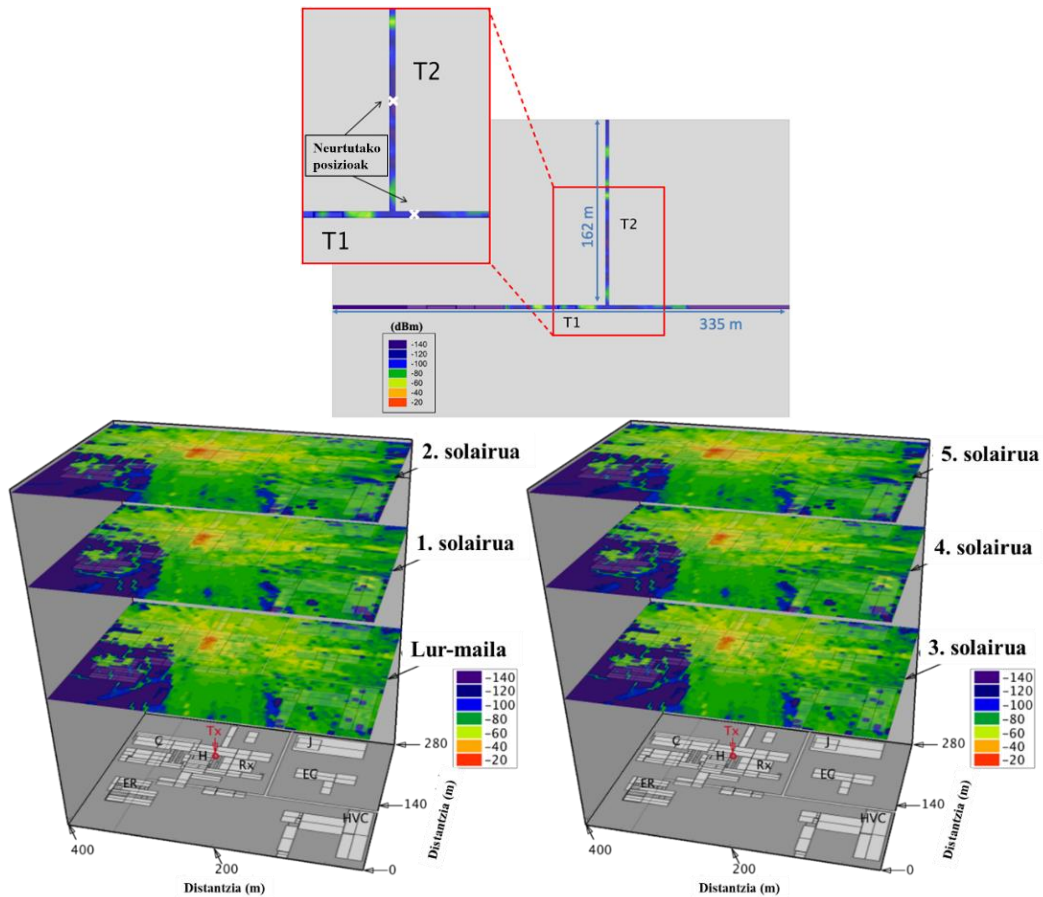
Gateway-etarako kokaleku egokienak hautatzeko, eta, hala, erabilitako kopurua optimizatzeko, simulazioetarako NOU gunearen eszenarioa sortu da, 4. irudian ageri den bezala. Simulazio emaitza zehatzak lortzeko errealitatekin ahalik eta gertuen dagoen eszenario bat sortzea da tamainari, objektuei eta materialen ezaugarri elektrikoek dagokienez (konduktibitatea eta permitibitate erlatiboa). Sortutako eszenarioa ER, N, H, A, C, L, I, D, RX, B, K, G, J, EC, HVC eta MC eraikinen ditu, garrantzitsuenak zerbitzuen aldetik baitira (ikus 2. irudiko planoan inguratuko eremua). Gainera, T1 eta T2 tunel nagusiak ere kontutan hartu eta eraiki dira sortutako eszenarioan.

4. irudia. NOU gunearen eszenario birtuala 3D-RL softwarearen bitartez sortutakoa

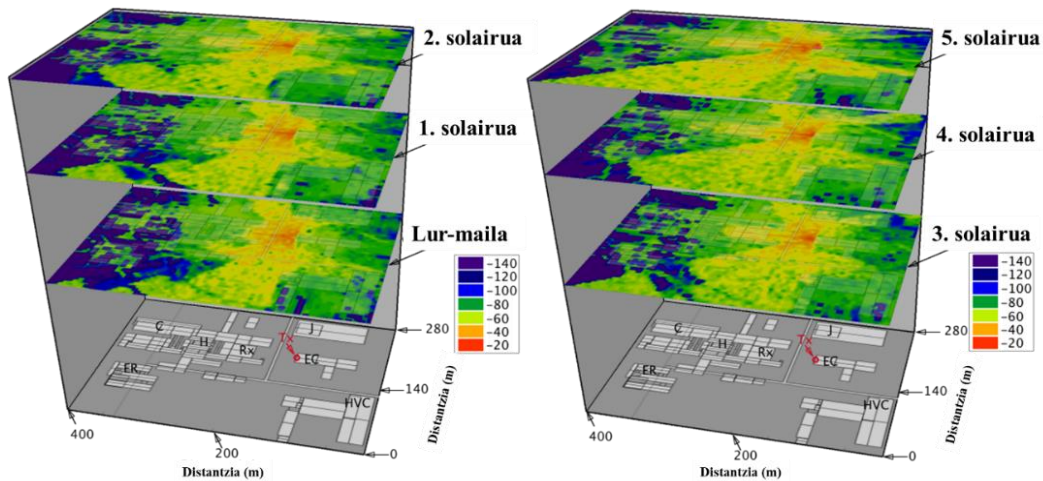


Potentzia-mailaren estimazioa oso garrantzitsua da bai igorleak kokatzeko, bai hartzailea kokatzeko; beraz, eragin zuzena du kopuruan eta energia-kontsumoan. Horretarako, Gateway-ak kokapen desberdinetan jarriz simulazio asko egin dira sortutako NOU eszenarioan. H eta EC eraikinetan Gateway-a kokatzea (4. irudian nabarmendutako biribiletan ikusi daiteke haien posizioa zehazki, G letrarekin) potentzia emaitzarik onenak ematen dituzte NOU eszenario gehienean komunikazioa ahalbidetuz (lehenago aipatu denez, -148 dBm potentzia baino gehiagorekin funtziona dezakete LoRaWAN gailuak). Hau 5. eta 6. irudietan ikusi daiteke non radio maiztasun potentzia-mailaren banaketa bi dimentsioko plano batean erakusten da solairu bakoitzarentzako NOU eszenario osoan, hau da eraikin guztietarako eta tunelak barne (kolore argiagoak potentzia gehiago izatea esan nahi du eta alderantziz).

5. irudia. Potentzia-mailaren banaketa eraikinen solairuetan eta tunel nagusietan, Gateway-a H eraikinean dagoenean



6. irudia. Potentzia-mailaren banaketa eraikinen solairuetan Gateway-a EC eraikinean dagoenean.



3.2 Neurketak

TTN gailuen eta Gateway-en kokapen egokia eta kopurua egiaztatzen, eta aurreko simulazioak balioztatzen, TTN gailuak NOU gune osoan banatu ziren komunikazioa posizio desberdinetan konparatu ahal izateko. TTN gailuak J, HVC, RX, H, C, ER eraikinetan, eta, T1, T2 tuneletan kokatu ziren, eta aldi berean, Gateway-ak ER, H, D, G eta CE eraikin bakoitzean frogatu ziren. 7. irudian TTN gailuen, eta Gateway baten kokapen froga bat ER eraikinean, heliportuaren ondoan, aurkezten du.

7. irudia. LoRaWAN gailuen kokapena NOU gunearen leku desberdinetan



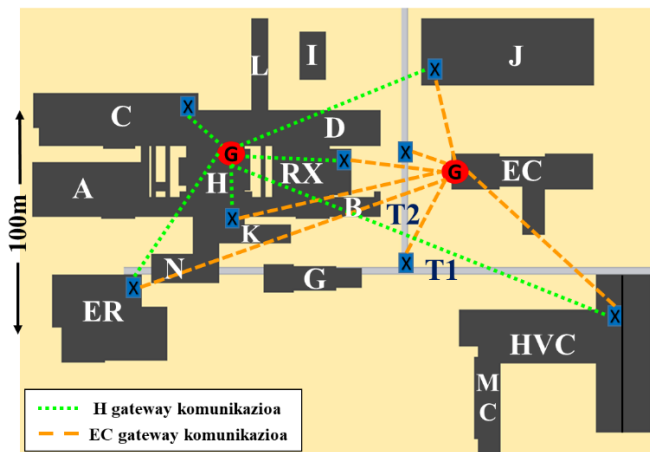
Analisia errazteko, 1. taulan eraikin eta Gateway bakoitzen arteko haririk gabeko komunikazioaren egoera erakusten da. Ikusten denez, bi Gateway gutxienez erabili behar dira TTN gailu guztiak komunikazioa izateko. Horretarako, Gateway horiek H eta CE eraikinetan jarri behar dira. H Gateway-a eraikin guztiak komunikazioa dauka, tunelekin izan ezik. Izan ere, oztopo ugari daude haien artean, adibidez, altuera-diferentzia (Gateway 4. solairuan dago eta TTN gailuak lur-azpi tuneletan) eta gainera berezko zailtasunak uhin-elektroko hedapenarekin lotutakoak. EC Gateway-ari dagokionez, TTN gailu guztiak komunikazioa dauka, C eraikinekoarekin izan ezik. Hau esplikatuta daiteke bien eraikinen artean dauden beste eraikinen kopuruari lotutako arazoak (“multipath propagation” dela eta potentzia maila ez da soilik distantzia urrunagoekin aldatzen baizik eta, inguruko elementuek ere parte hartzen dute hartzaileak jasotako informazioan). Gainera, RX eraikinean, erresonantzia magnetikoak egiten dira, non radio maiztasun eremuek transmititutako seinaleekin interferentziak sortzen baitituzte, nahiz eta babes blindajeak egon eremu elektromagnetikoen aurka.

1. taula. Gateway eta TTN gailuen arteko haririk gabeko komunikazioaren egoera eraikin desberdinetarako

Gateway-ak	Gateway H	Gateway EC	Gateway D	Gateway G	Gateway ER
TTN gailuak					
ZIU (C)	✓				
H	✓	✓	✓	✓	✓
RX	✓	✓	✓	✓	
ER	✓	✓		✓	✓
J	✓	✓	✓	✓	✓
HVC	✓	✓	✓		✓
T1		✓			
T2		✓			

Ikusten denez, neurketen emaitzak bat datoz simulazio emaitzekin. 5 eta 6. irudiko simulazioek aurreratzen zuten, Gateway-ak H eta EC eraikinetan jartzeak emaitzarik onenak eskain zitzakeela komunikazioari dagokionez. Gainera, ez dagoela komunikaziorik H Gateway eta bi tunel nagusien artean, ezta EC Gateway eta C eraikinaren artean (6. irudian kolore ilunagoak C eraikinaren inguruan), simulazio emaitzek ere aurreratzen zuten. Beraz, simulazioen eta neurketen emaitzetatik abiatuta, bi Gateway (H eta EC eraikinetan) nahikoak dira NOU gunean komunikazioa ahalbidetzeko, tunelak kontuan hartuta. 8. irudian NOU gunearen komunikazio eskema bi Gateway erabilita aurkezten da.

9. irudia. Komunikazio eskema bi Gateway erabiliz H eta EC eraikinetan



3.3 Pazienteen segimendua egiteko aplikazioa

Android-en aplikazio bat garatu da, erabiltzaileen kokapena eta mugimenduak monitorizatu ahal izateko. Aplikazioaren konputazio-beharrak txikiagotzeko, lokalizazio- eta jarraipen-prozesuak Cloud azpiegituran egiten dira, eta aplikazioa soilik emandako datuak behar bezala aurkeztera mugatzen da. Garatutako Cloud azpiegituran, informazioa hartzeko prozesua Apache Kafka-ko fluxuak prozesatzeko tresnan oinarritzen da. Kafkak gailuek emandako kokapen-informazioa jasotzen dute, eta PostGIS datu-baseak kudeatzeko sistema batean behar bezala gordetzen direla bermatzen da. REST API batek kokapen-zerbitzurako sarbidea ematen du, bai GET eskaera baten bidez, bai kokapen-datuak gailutik Cloud-era bidaltzeko, POST mekanismo baten bidez. 9. irudia kokapen- eta segimendu-aplikazioaren itxura erakusten du, eta, horri esker, mugimendu-fluxuen informazioa eta ZIU-ko pazienteak non dauden jakin daiteke.

9. irudia. Pazienteen segimendua egiteko garatutako aplikazioa.



4. Ikerketaren ondorioak

Lan honetan, LoRaWAN komunikazioari buruzko analisia egin da eraikin anitzeko ospitale batean, NOU gunean zehazki. Azterketa horren ondorio nagusia da, ZIU-n ingresatutako pazienteak lokalizatzeke, bi Gateway (H eta EC eraikinetan) beharrezkoak direla lur-azpiko tuneletan komunikazioa ahalbidetu nahi bada.

Lortutako emaitzei esker, aplikazio seguru bat eta distantzia handienetarako diseinatu eta garatu da, NOU gunean zehar mugitzen diren ZIU-n ingresatutako pazienteen segimendua egiteko. Aplikazioak ZIU-ko pazienteen mugimendu-fluxua ematen dio erabiltzaileari, eta horrek, azken batean, baliabideak hobeto kudeatzen lagundu dezake.

5. Etorkizunerako planteatutako norabidea

Etorkizunerako lanean jarraitu behar da ondorio ekonomikoak, sistemaren erabilgarritasuna eta inplikaturako osasun-talde interesdun guztien onarpen-maila aztertzeko: pazienteak, osasuneko profesionalak eta administrazio- eta kudeaketa-sailak.

Azkenik, hemen aurkeztutako sistema NOU guneko ZIU-n ingresatutako pazienteen erabilera espezifikoren kasurako diseinatu eta garatu da. Hala ere, aplikazioa erraz eskalatu daiteke, beste paziente-mota batzuk edo medikuntzako materiala lokalizatzeke. Gainera, lan honen ideia nagusia beste testuinguru batzuetara aldatu liteke, medikuntzakoak izan ala ez.

6. Erreferentziak

- Ahad, A. et al. (2019), 5G-Based Smart Healthcare Network: Architecture, Taxonomy, Challenges and Future Research Directions, *IEEE Access*, 7, 100747-100762.
- Alberti, A. M. et al. (2019) Platforms for Smart Environments and Future Internet Design: A Survey, *IEEE Access Journal*, 7, 1, 165748-165778.
- 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.
- Braxton, C. C. et al. (2000), The traveling intensive care unit patient: road trips, *Surgical Clinics of North America*, 80, 3, 949-956.
- Ray, P. P. (2018), A survey on Internet of Things architectures, *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 30, 3, 291-319.
- Simpson, H. K. et al. (2005), Admissions to intensive care units from emergency departments: a descriptive study, *Emerg. Med. J.*, 22, 6, 423-8.
- Trigo, J. D., Klaina, H., Picallo, I., Lopez-Iturri, P., Astrain, J.J., Alejos, A. V., Falcone, F., Serrano-Arriazu, L. (2020), Patient Tracking in a Multi-Building, Tunnel-Connected Hospital Complex, *IEEE Sensors Journal*, 20, 2314453-14464.
- Varadharajan, V. et al. (2018), Secure Monitoring of Patients With Wandering Behavior in Hospital Environments, *IEEE Access*, 6, 11523-11533.