

## Raport științific final (2020 - 2022)

<b>Competiția:</b>	<b>Proiect experimental demonstrativ - PED 2019</b>
Nr. contract:	283PED/2020
Cod proiect:	PN-III-P2-2.1-PED-2019-5413
Domeniul de cercetare:	CTI
Titlul :	Documente în aer
Acronim:	AirDocs
Data începere proiect:	01.09.2020
Data finalizare proiect:	31.08.2022
Durata (luni):	24
Buget total:	449000
Sursa 1 Bugetul de stat	449000
Sursa 2 Alte surse atrase (cofinanțare):	0
Pagina web proiect:	<a href="https://github.com/documenteinaer">https://github.com/documenteinaer</a>
Instituția coordonatoare:	Universitatea Politehnica din București
Director de proiect:	Dragoș Niculescu
Partener 1 proiect (P1):	
Partener n proiect (Pn):	

Prezentare generală a realizării obiectivelor proiectului, cu punerea în evidență a rezultatelor și gradul de realizare a obiectivelor. Prezentarea trebuie să includă explicații care să justifice diferențele (dacă există) dintre activitățile preconizate și cele realizate.

Proiectul explorează utilizarea unor semnături specifice locației compuse nu doar din semnale WiFi, dar și a altor date disponibile în terminalele smart: 3G/4G, Bluetooth, busole, magnetometre, chiar reflexii sonore. Combinația acestor date este unică pentru o locație dată, iar un document poate fi "plasat în aer", astfel încât poate fi găsit mai târziu de către un alt utilizator care vede o semnătură similară. Se evită însă asocierea semnăturilor cu poziția geografică (lat/long), ca în sistemele de poziționare în interior, deoarece acestea au un cost ridicat de antrenare și mentenanță.

Prezentarea și argumentarea nivelului de maturitate tehnologică (TRL) la finalul proiectului.

Proiectul a implementat o versiune demonstrativă în laborator (TRL 3) care are ca funcționalitate recoltarea semnăturilor radio și stocarea lor într-o bază de date. Organizarea bazei de date permite

regăsirea semnăturilor asemănătoare cu un query dat. Ca parte a validării perechii client(Android)/server(Linux), am implementat o aplicație de tip wireless postit (TRL 4).

### Impactul rezultatelor obținute, cu sublinierea celui mai semnificativ rezultat obținut.

Se realizează de fapt o formă de realitate augmentată prin faptul că utilizatorii au iluzia documentelor plasate în spațiul fizic, vizibile doar la o anumită locație. Plasarea unui document "în aer" permite un mod natural de utilizare similar cu un post-it pentru etichetele de la muzeu, hărți și indicații la mall, anunțuri pe ușile laboratoarelor, meniurile restaurantelor, sau chiar navigare personalizată. Acest middleware are potențialul de a activa și susține multe aplicații care înovează dincolo de interfața touch/see specifică mobilelor de azi, către un mod mai natural de a interacționa cu colecții mari de documente împrăștiate în clădiri.

Cel mai semnificativ rezultat este middleware-ul implementat și făcut public pe platforma github, care poate fi folosit în mod liber de orice dezvoltatori de aplicații.

### Detalii privind exploatarea și diseminarea rezultatelor proiectului.

- Aplicație publică open source, documentată
- Seturi de date disponibile public
- Două publicații de prestigiu
- O prezentare la o confrință cu vizibilitate în pervasive computing (informatica mobilă)

### Prezentarea livrabililor/indicatorilor obținuți la finalul proiectului comparativ cu cei propuși.

Au fost explorate și realizate următoarele obiective în proiect:

1. folosirea semnăturilor bogate care pot fi obținute cu telefoanele smart curente: WiFi, 2G/3G/4G, Bluetooth. Au fost explorate utilizarea senzorilor adiționali (inerțiali, și magnetometru). Acestea din urmă nu s-au dovedit eficiente în sensul rezoluției, comparativ cu cele de mai sus.
2. regăsirea documentelor în spațiul semna: Au fost investigate și implementate și investigate mai multe metode, ce mai importantă fiind bazată pe semnături, în loc de poziția carteziană a documentului
3. dezvoltarea unui serviciu funcțional AirDocs (client and server) care include primitivele principale primitives (Put, Get), crearea semnăturilor pe terminale Android, si gestionarea bazei de date pe servere Linux
4. măsurarea și caracterizarea semnăturilor în timp, caracterizarea experimentală a îmbătrânirii semnăturilor
5. Campanie de măsurători care arată comportarea semnăturilor în clădiri reale

6. Implementarea unei aplicații exemplu de wireless post-it, ca prototip (proof of concept) pentru utilizarea serverului și a clientului pentru a prototipa noi aplicații și funcționalități

7. Două publicații de presigiu în domeniu

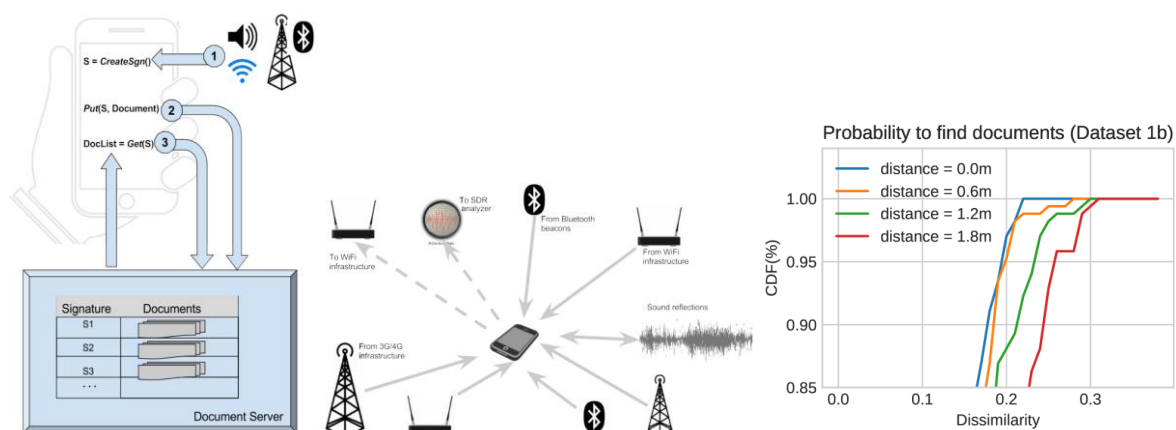
Nr. crt.	Livrabile/indicatori planificați	Nr.	Livrabile/indicatori realizați	Nr.
1.				
2.				
n.				

**Notă:**

Pe lângă cele menționate mai sus, raportul final trebuie să conțină și o prezentare succintă (2-3 paragrafe) a rezultatelor obținute în cadrul proiectului, rezultate ce urmează a fi diseminate de Autoritatea Contractantă în materiale de promovare a rezultatelor obținute în cadrul programelor de finanțare. Menționăm că acest text trebuie să fie pe înțelesul publicului.

AirDocs (Documente în aer) este un sistem middleware care permite unui terminal smart să posteze și să culeagă documente la diverse locații din interior fără a folosi un sistem de localizare. Are următoarele proprietăți:

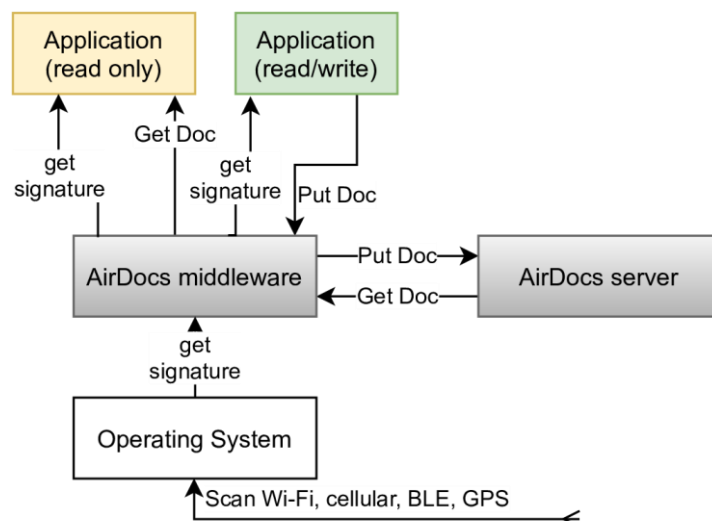
- \* folosește rețelele WiFi/BLE existente în cele mai multe instituții
- \* cere un singur server adițional în intranet, și o aplicație ce poate fi instalată pe orice telefon smart
- \* nu necesită măsurătorile și mentenanța necesare unui sistem de poziționare
- \* permite implementarea unor aplicații care leagă în mod natural documentele de locații



Imagini reprezentative: aplicația și serverul(stânga), colectarea e semnături(mijloc), probabilitatea de a regăsi documentele în funcție de distanță și de pragul folosit(dreapta).

## Raport științific etapa 3

### 1. Middleware-ul AirDocs



AirDocs este un middleware care oferă stocarea și regăsirea documentelor virtuale în anumite locații din interiorul unei clădiri. Acest middleware poate crea semnătura unei locații fizice pe baza semnalelor Wi-Fi și Bluetooth Low Energy (BLE) recepționate de dispozitivul mobil.

Stocarea unui document într-o anumită locație fizică se face prin generarea semnăturii acelei locații și trimiterea către un server a documentului împreună cu semnătura respectivă. Căutarea unei semnături într-o anumită locație fizică se face prin generarea semnăturii acelei locații și trimiterea ei către server. Serverul va identifica, pe baza semnăturii, care sunt documentele din proximitatea locației în care se află dispozitivul mobil. Căutarea se face în spațiul semnăturilor, fără a fi nevoie de locațiile fizice ale documentelor.

Avantajele acestei abordări sunt următoarele: nu necesită un serviciu de localizare; nu are nevoie de antrenare; se bazează pe infrastructura Wi-Fi și BLE deja existentă în interiorul clădirilor; utilizatorii au nevoie doar de o aplicație instalată pe dispozitivul mobil; se pot implementa diferite aplicații care folosesc acest middleware, în funcție de scenariul de utilizare.

Cea mai importantă operație a middleware-ului este generarea de semnături. O semnătură include informații primite de la AP-urile Wi-Fi (adresa MAC, SSID, frecvența și RSSI) și de la beacon-urile BLE (adresa MAC, nume, RSSI), care sunt folosite pentru a caracteriza o anumită locație din interiorul unei clădiri.

Middleware-ul este implementat folosind API-ul Android și anumite servicii puse la dispoziție de sistemul de operare Android. Pentru a genera semnătura, sunt folosiți: WifiManager

pentru obținerea informațiilor despre rețelele Wi-Fi și BluetoothLeScanner pentru obținerea informațiilor despre dispozitivele BLE aflate în proximitate.

Pentru stocarea și căutarea documentelor middleware-ul comunică cu serverul AirDocs prin cereri HTTP de tip POST. Cererile conțin un mesaj în format JSON. Sunt implementate următoarele tipuri de mesaje: 1) POST – este folosit pentru trimiterea unui document și include semnătura și documentul respectiv; 2) SEARCH – este folosit pentru căutarea documentelor din proximitate și include semnătura; 3) DELFILE – este folosit pentru ștergerea unui anumit document care a fost postat de acel utilizator; 4) DELALL – este folosit pentru ștergerea tuturor documentelor postate de acel utilizator.

Mesajul POST include semnătura (timestamp, informațiile Wi-Fi și BLE), informațiile legate de document (nume, tip, descriere și fișierul efectiv) și informațiile legate de dispozitiv (identificatorul, tipul, versiunea de Android). Se poate stoca și un text simplu sau un link în loc de document. Serverul va răspunde cu un mesaj HTTP cu textul "Successful Sending" în cazul în care documentul a fost primit și stocat cu succes pe server. În cazul în care apare o problemă pe server, acesta va răspunde cu un mesaj de eroare.

Mesajul SEARCH include semnătura (timestamp, informațiile Wi-Fi și BLE), informațiile legate de dispozitiv (identificatorul, tipul, versiunea de Android) și o valoare limită pentru disimilaritate. Această disimilaritate maximă este folosită în căutarea documentelor din proximitatea acelei locații. Serverul va căuta în spațiul semnăturilor documentelor deja stocate și va trimite un mesaj HTTP ce include un JSON cu o listă de documente care se află în apropiere. Această listă include identificatorul, numele, descrierea și tipul documentului, documentul în format serializat și disimilaritatea semnăturii acestuia în raport cu semnătura generată pentru căutare. Lista este ordonată de la cea mai mică disimilaritate (cel mai apropiat document) la cea mai mare (cel mai îndepărtat document).

## 2 Clientul AirDocs

Clientul AirDocs este o aplicație Android implementată pentru un anumit scenariu de utilizare, care folosește middleware-ul AirDocs. Aplicația este folosită de utilizatori pentru a stoca și descoperi documentele care sunt plasate în anumite locații din interiorul unei clădiri.

Clientul AirDocs de Android are o interfață grafică ce include o serie de activități (ferestre vizuale). În activitatea de început utilizatorul poate selecta dacă vrea să trimită un document sau să caute documentele din proximitate. Din orice activitate poate fi accesat un meniu care oferă posibilitatea de a deschide activitatea de configurare sau de a ieși din aplicație.

Clientul Android include și un serviciu care accesează middleware-ul AirDocs pentru a genera semnăturile și pentru a comunica cu serverul. Comunicația între activități și serviciu se face prin două metode: 1) prin salvarea valorilor în SharedPreferences, care poate fi accesat de oriunde din aplicație, 2) prin API-ul Messenger pentru comunicarea sincronă atunci când au loc diverse evenimente.

Activitatea de trimitere a unui document funcționează în două moduri: 1) prin accesarea directă se pot trimite mesaje text sau link-uri; 2) printr-un Intent exterior (Share) se poate primi un document din altă aplicație. Dacă este poză atunci va fi afișată cu o dimensiune redusă (thumbnail) pe ecran. Se poate completa descrierea documentului. Aplicația preia automat numele și tipul fișierului. Tipurile de fișiere acceptate includ: text/plain, image/\*, audio/\*, video/\*, application/pdf, application/msword, application/vnd.ms-excel, application/vnd.ms-powerpoint, application/zip. Din motive de securitate, nu sunt acceptate alte

tipuri de fișiere. Atunci când utilizatorul alege să trimită fișierul, activitatea va comunica cu serviciul, care va folosi middleware-ul AirDocs pentru a genera semnătura și pentru a trimite documentul la server într-un mesaj de tip POST.

Activitatea de cautare a documentelor din proximitate permite utilizatorului să pornească căutarea. Activitatea comunică cu serviciul, care folosește middleware-ul AirDocs pentru a genera semnătura și a trimite un mesaj de tip SEARCH la server. Serverul va ține cont de threshold-ul inclus în mesaj atunci când caută în spațiul semnăturilor, mai exact va întoarce doar documente cu o disimilaritate mai mică decât acest threshold.

Atunci când middleware-ul primește lista de documente, ele sunt trimise către activitate, care afișează într-o listă ce include numele și descrierile documentelor și eventual thumbnail-urile. Documentele sunt ordonate de la cea mai mică disimilaritate până la cea mai mare, ceea ce înseamnă de la cel mai apropiat document până la cel mai îndepărtat document. Dacă utilizatorul selectează cu degetul un anumit document, acesta va fi deschis într-un program specializat pentru afișarea tipului respectiv de document (se trimite un Intent).

În plus, există și opțiunea de a șterge documentele afișate de către activitatea de căutare. Pentru fiecare document se poate alege ștergerea lui. Astfel, activitatea comunică cu serviciul, care folosește middleware-ul AirDocs pentru a trimite un mesaj de tip DELFILE către server. Acest mesaj va include identificatorul documentului ce se dorește a fi șters și identificatorul dispozitivului. Această operație are succes doar dacă fișierul a fost trimis de pe același dispozitiv (același utilizator). Dacă middleware-ul primește un mesaj de la server că a șters documentul cu succes, atunci el va fi șters și din lista care este afișată pe ecran.

Activitatea de configurare include opțiuni ce pot fi configurate pentru aplicație: IP-ul și portul serverului, numărul de scanări efectuate pentru a genera o semătură, threshold-ul și informațiile incluse în semnătură (Wi-Fi, BLE). Configurările sunt salvate de către activitate în SharedPreferences, de unde sunt preluate de către serviciu sau de alte activități. Tot din activitatea de configurare se pot șterge toate fișierele care au fost stocate de acel utilizator.

### 3. Serverul AirDocs

Serverul AirDocs are rolul de a primi și stoca documentele și semnăturile asociate acestora, dar și de a căuta documentele din proximitatea unei locații reprezentate printr-o semnătură. Serverul poate fi plasat în Intranet-ul clădirii sau în Cloud.

Atunci când primește un mesaj de tip POST de la client, care include un document și o semnătură, serverul generează un cheie unică pentru acel document și salvează cheia și semnătura în baza de date. De asemenea salvează documentul într-un folder cu numele egal cu cheia respectivă.

Atunci când primește un mesaj de tip SEARCH (căutare) de la client, care include o semnătură a locației și un threshold, serverul va calcula disimilaritatea între semnătura respectivă și semnăturile documentelor stocate pe server și va returna toate documentele care au disimilaritatea mai mică decât threshold-ul. Aceste documente vor fi ordonate de la cea mai mică disimilaritate până la cea mai mare. Răspunsul către client va include o listă ce conține identificatorul, numele, descrierea și tipul documentului, documentul în format serializat și disimilaritatea.

Atunci când primește un mesaj de tip DELFILE de la client, care include identificatorul documentului și identificatorul dispozitivului, va căuta identificatorul documentului în baza de date și va verifica dacă identificatorul dispozitivului primit în mesaj este același cu cel din baza

de date. Dacă este același, atunci va șterge semnătura documentului din baza de date și folderul cu documentul respectiv.

Atunci când primește un mesaj de tip DELALL de la client, care include identificatorul dispozitivului, va parcurge baza de date și va șterge toate semnăturile documentelor care au fost plasate de către acel dispozitiv (care au același identificator de dispozitiv) și folderele cu documentele respective.

### 3.1 Comportarea semnăturilor folosind WiFi

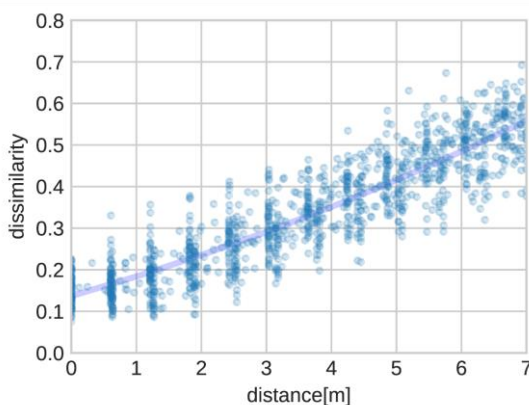
Disimilaritatea dintre două semnături este obținută pe baza disimilarității BrayCurtis:

$$BCurtis(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^c |X_i - Y_i|}{\sum_{i=1}^c (X_i + Y_i)}, \text{ unde } X_i \text{ și } Y_i \text{ sunt puterile semnalelor către același}$$

AP sin cele două semnături. Aceste puteri sunt în prealabil normalizate folosind relația:

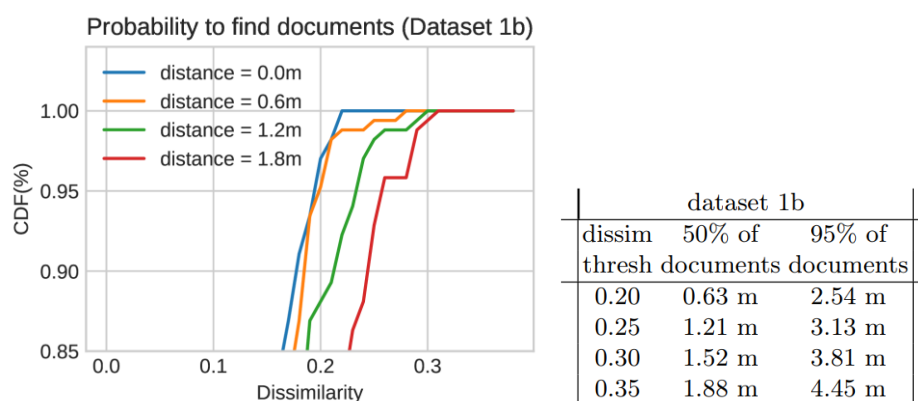
$$X_i = \text{normalized}(x_i) = \alpha \left(1 - \frac{x_i}{\min}\right)^e$$

Rostul acestei normalizări este de diferenția mai puțin semnalele slabe între ele (-60dBm..-90dBm) față de semnalele puternice între ele (-30dBm..-50dBm). Folosind această măsură de disimilaritate, se stabilește o distanță între oricare două puncte în spațiul semnal corespunzând la două puncte din spațiul fizic.

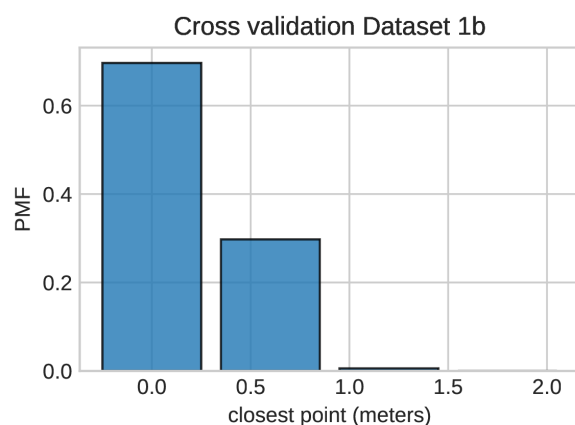


În figura de mai sus, observăm corespondența între disimilaritate și distanța reală, ce permite sistemului de a diferenția între documente “aproprite” și documente “depărtate” fără a măsura direct distanțele și fără a necesita un sistem de poziționare în interior.

Pentru a decide dacă un document din baza de date corespunde unui query, se va folosi un prag de 0.2-0.4 pentru a accepta mai multe documente în răspuns. Această comportare este de dorit pentru a evita omiterea documentului cel mai apropiat în cazul corespondențelor neliniare între distanță și disimilaritate. Cu alte cuvinte, acceptăm și alte documente în răspuns, dar garantăm că documentul care a fost lăsat în acel loc va fi găsit.



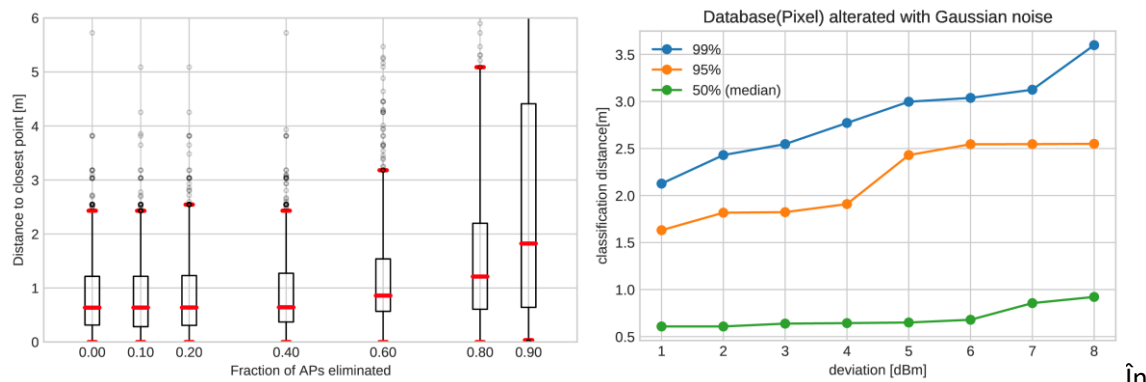
În figura de mai sus, observăm că dacă query-ul se află la o anumită distanță de locul unde a fost lăsat documentul, există posibilitatea ca acesta să nu fie găsit când pragul folosit este de 0.22. Dacă facem query-ul în același punct în care a fost plasat documentul, rezultatul dorit va fi returnat în 99.5% dintre cazuri cu un prag de 0.22. Pe măsură ce acest prag este crescut, documente de la distanță mai mare vor fi returnate ca rezultat pentru query. În tabela de mai sus, observăm distribuția distanțelor documentelor care sunt returnate ca rezultate pentru diverse valori ale pragului. Din aceste rezultate înțelegm că este un compromis triplu între pragul folosit, distanța dintre query și rezultat, și distanțele către alte documente rezultate (false positives).



Pentru a simplifica explorarea acestui compromis, vom raporta în continuare doar documentul cel mai apropiat de fiecare query. Astfel, în imaginea de mai sus, pentru cross validare pentru întreaga clădire cu două dispozitive diferite, se observă că în 70% dintre cazuri se returnează ca fiind cel mai similar documentul din același loc, și în aproape 30% dintre cazuri un alt document la 60cm distanță.

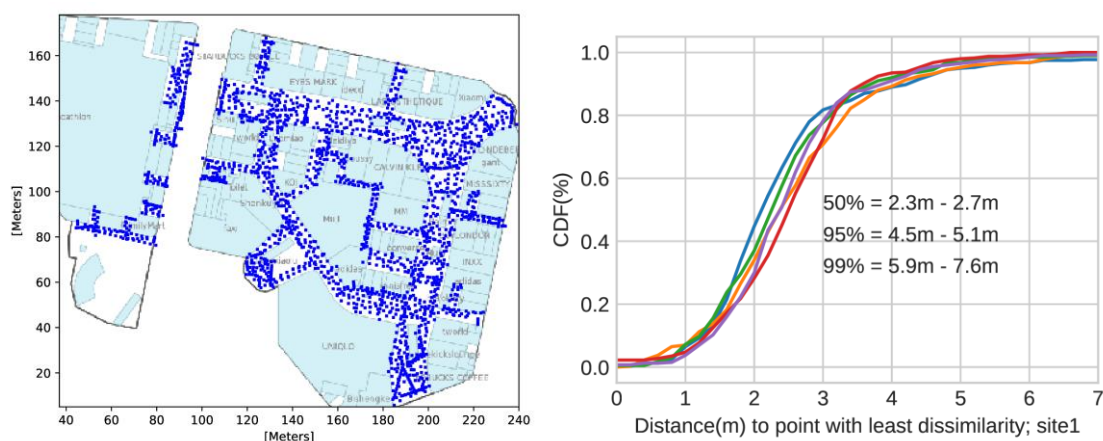
O evaluare importantă a performanței sistemului este pentru cazurile când performanța este degradată ca efect al dispozitivelor folosite sau a densității de AP din clădire. Densitatea inițială era de 20-50 AP-uri vizibile în punctele măsurate în setul de date 1 (clădirea PRECI din UPB).





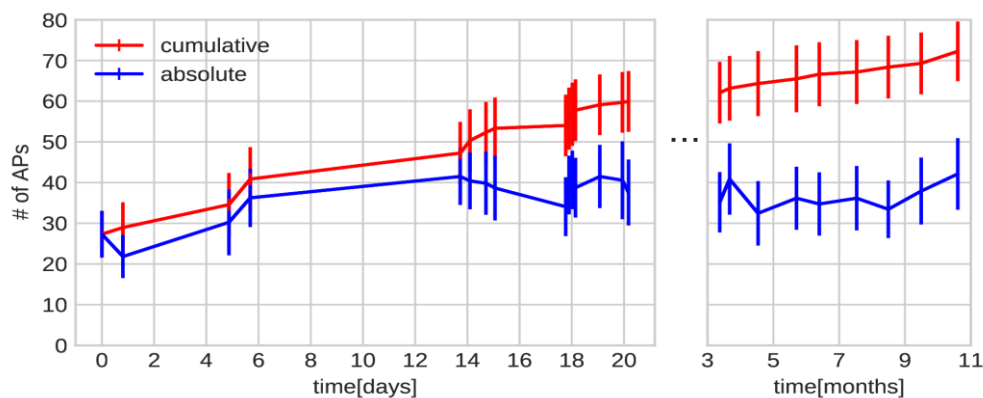
În figura de mai sus (stânga), am eliminat din setul de date o parte din AP-urile disponibile în clădire. Se observă menținerea unei performanțe rezonabile cu doar 40% dintre AP-uri prezente, iar performanța se degradează treptat pentru densități mai mici. În figura din dreapta sus, am adăugat zgomot artificial la măsurătorile care corespund queryurilor, ca și cum antena telefonului ar fi de dimensiune mai mică, sau ar fi foarte depărtată de una dipol. Adăugând această deviație la toate măsurătorile, se observă o degradare lină până la o diferență de 6dBm, aceasta coraspunzând unor variații tipice între antenele telefoanelor de pe piață.

Am testat performanța sistemului și pe un set de date public, corespunzând unor clădiri de shopping din China, obținute dintr-un set de date făcut public în timpul competiției de poziționare în interior MS Indoor Location Competition 2020.

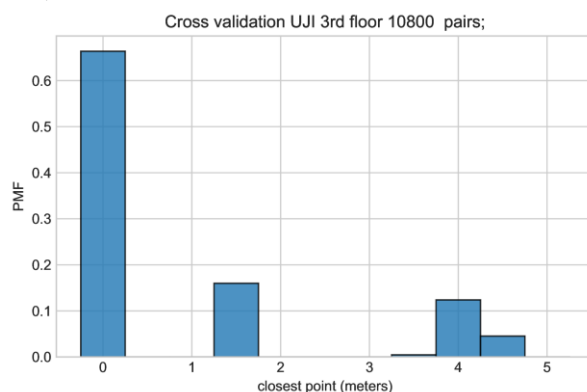


În figura de mai sus este prezentat un etaj din acel set de date, și comportarea query-urilor arată o performanță de 2.3m - 7.6m în ciuda densității ridicate de 123-400 AP-uri per punct de colectare. Această performanță este însă suficientă pentru multe aplicații de navigare și advertising în moluri de shopping.

Pentru comportarea în timp, am folosit atât seturi de date create ca parte a proiectului AirDocs, cât și seturi de date publice.



În figura de mai sus se observă numărul de AP-uri colectate per punct de eșantionare de-a lungul a 20 de zile, și de-a lungul a 11 luni. Aceste numere sunt relativ stabile și conferă o rezistență la "îmbătrânire" a semnăturilor care folosesc aceste AP-uri.



În figura de mai sus, se calculează cel mai apropiat punct față de query, dar se consideră numai puncte din baze de date colectate la alte momente față de ury (trecut și viitor). Menționăm că acest set de date are o rezoluție de colectare de 1.8m ceea ce explică parțial numărul mare de documente rezultat întoarse la o distanță de 4-5m.

### 3.2 Comportarea semnăturilor folosind BLE

Atunci când în semnătură avem atât informațiile Wi-Fi cât și BLE, disimilaritățile obținute pentru fiecare se pot combina pentru a obține rezultate mai bune. Mai exact, disimilaritatea combinată se obține prin înmulțirea disimilarității calculate pentru Wi-Fi cu disimilaritatea calculată pentru BLE.

Distanța până la documentul cu cea mai mică disimilaritate este o metrică pe care o putem folosi pentru a evalua precizia cu care sunt identificate documentele. În Figura 1 se pot observa histogramele obținute atunci când plasăm 12 documente în ziua X și apoi căutăm documentele în ziua X+T, iar T fiind 5 zile, 43 zile, 44 zile și 48 zile. Atunci când folosim doar Wi-Fi sau BLE distanța ajunge până la 3-4 metri. Când le folosim pe amândouă, se reduce această distanță până la 1-2 metri. În concluzie, combinarea disimilarităților obținute pentru Wi-Fi și BLE îmbunătățește precizia cu care sunt găsite documentele.

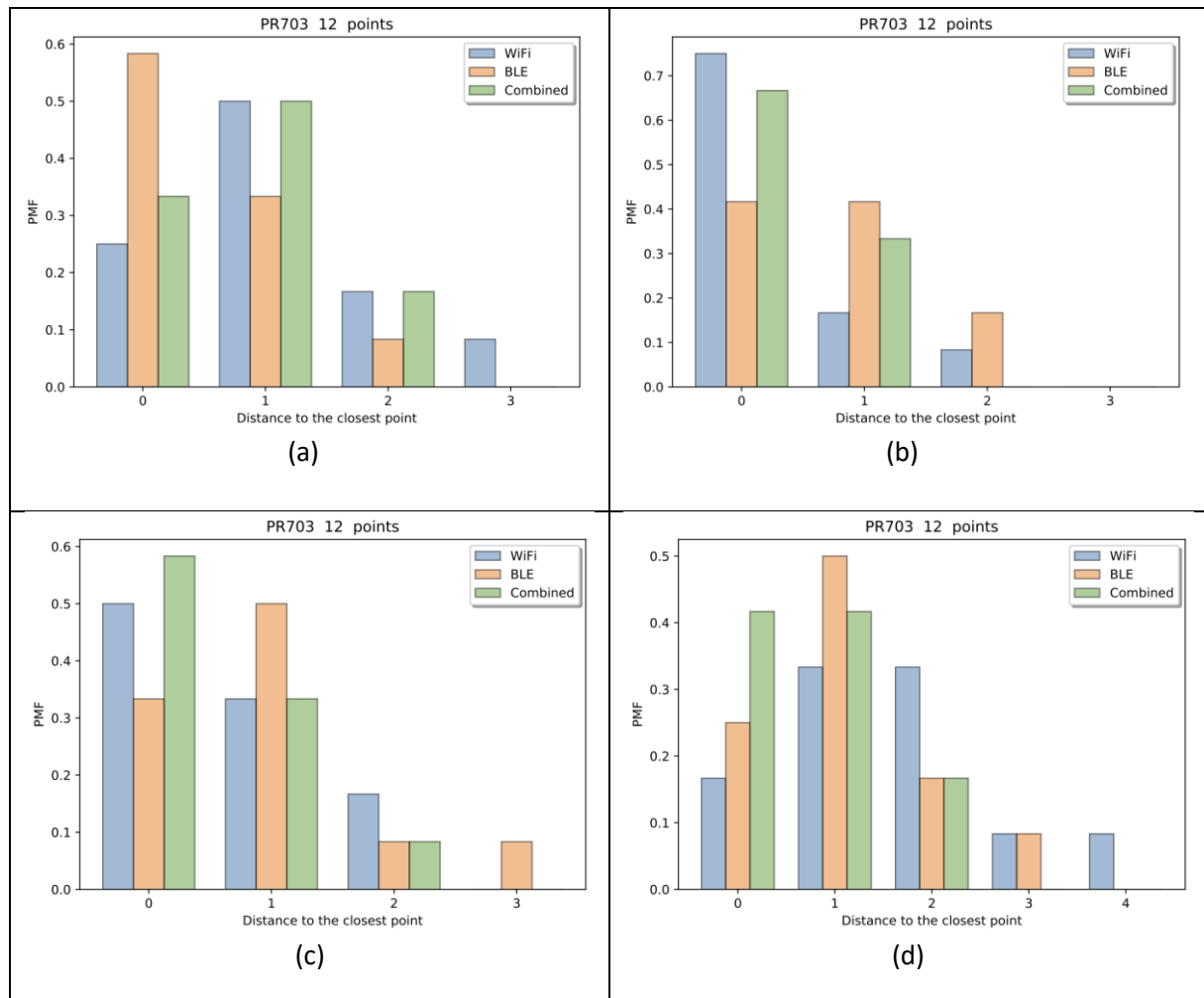


Figure 1. Distanța până la documentul cu ce mai mică disimilaritate (a) 5 zile; (b) 43 zile; (c) 44 zile; (d) 48 zile.

#### 4. Maparea disimilarităților din spațiul semnal în spațiul real folosind MDS

Scalarea multidimensională (Multidimensional Scaling - MDS) este un mijloc de vizualizare a nivelului de similitudine al unui set de date. MDS este folosit pentru a transla distanțele dintr-un set de  $n$  obiecte într-o configurație de  $n$  puncte mapate într-un spațiu cartezian abstract.

Abordarea noastră este de a mapa documentele colectate într-un spațiu cartezian, pe baza unei funcții de disimilaritate. Primul nostru experiment a fost să mapăm în acest spațiu, datele colectate din clădirea PRECIS (aflată în campusului UPB). Astfel, am colectat datele de la o serie de puncte de la fiecare etaj al clădirii PRECIS și am folosit MDS pentru a transla distanțele folosind funcția de distanță euclidiană (Figura 2) și funcția Bray-Curtis (Figura 3).

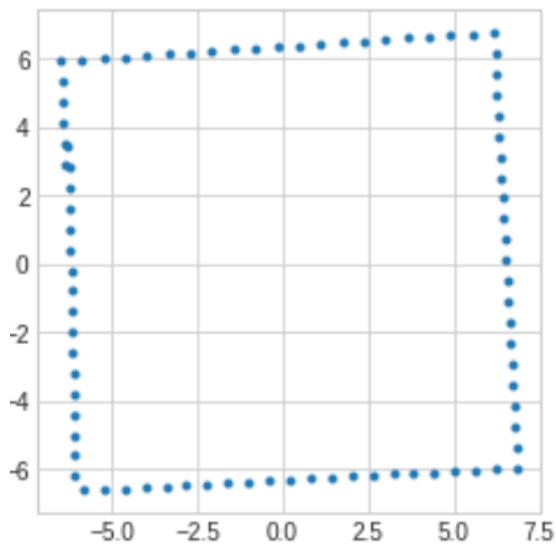


Figura 2. MDS folosind funcția de distanță euclidiană

Pentru Figura 2 am folosit distanță euclidiană între puncte, colectând locația geografică a fiecărui punct. Pe grafic axele OX și OY reprezintă o distanță aproximată de MDS. După cum se vede, distanța dintre puncte nu este cea reală însă MDS a reușit să păstreze proporțiile în conformitate cu realitatea. Acest experiment a fost făcut pentru a crea o intuiție despre cum funcționează MDS. Scopul final este să folosim MDS cu o funcție de similaritate a puterii semnalului, cum am procedat în Figura 3.

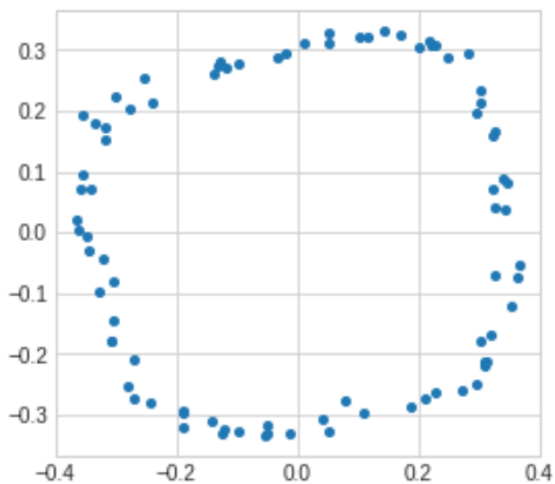


Figura 3. MDS folosind distanță Bray-Curtis

Având cunoștințele de la experimentul din Figura 2, am creat intuiția despre cum funcționează MDS și am încercat să reproducem experimentul, folosind distanțele de similaritate. Pentru a calcula similaritatea (di-similaritatea), am folosit disimilaritatea Bray-Curtis. Aceasta este utilizată pentru a cuantifica diferențele dintre populațiile de specii între două diferite.

Diferența Bray-Curtis este întotdeauna un număr între 0 și 1. Dacă este 0, cele două situri împărtășesc toate aceleași specii; dacă 1, nu împărtășesc nicio specie.

Data: 31.08.2022

Director de proiect  
*Dragoș NICULESCU*