



Departamentul Automatică și Informatică Industrială  
Facultatea Automatică și Calculatoare  
Universitatea POLITEHNICA din București



# **LUCRARE DE DIPLOMĂ**

Sistem de geolocalizare bazat pe rețele LoRaWAN

Coordonator  
Ș.l. Dr. Ing. Radu Pietraru

Absolvent  
Maria-Teodora Dașoveanu

București  
2023

# Cuprins

1. Introducere .....	3
1.1. Context general.....	3
1.2. Obiective.....	5
1.3. Studiu de piață .....	6
1.4. Sumar capitole .....	6
2. Domeniul lucrării .....	7
3. Descrierea problemei abordate și a metodei de rezolvare propuse .....	23
4. Documentație tehnică .....	26
4.1. Prezentare aplicație.....	26
4.2. Echipamente utilizate .....	26
4.3. Tehnologii software.....	28
4.3.1. Programare dispozitiv terminal LilyGo Tmotion .....	28
4.3.2. Cum sunt folosite serviciile oferite de platforma The Things Network .....	30
4.3.3. Cum sunt folosite serviciile oferite de platforma Google Sheet .....	32
4.3.4. Cum este folosită aplicația AppScript pentru redirectionarea datelor de pe platforma The Things Network în Google Sheet și pentru conversia într-un fișier de tip .csv .....	33
4.3.5. MATLAB.....	36
4.3.6. Google Earth .....	37
4.4. Algoritmi utilizați .....	38
4.5. Experimente.....	41
4.6. Rezultate obținute .....	42
5. Concluzii și dezvoltări ulterioare .....	44
6. Bibliografie.....	46

# 1. Introducere

## 1.1. Context general

Sistemele de localizare au scopul de a sincroniza la nivel global toate acțiunile, indiferent de cine sunt produse, de persoane, de mijloace de transport sau de roboți. Această sincronizare menține siguranța societății și este un mijloc de control eficient indiferent de context. Un domeniu în care un sistem de localizare eficient poate îmbunătăți semnificativ tot proiectul, este domeniul afacerilor. În același timp cu tendința de expansiune la nivel global a acestora, crește și importanța menținerii unui mediu înconjurător favorabil ecosistemului actual. Exploatarea nemiloasă a resurselor naturale limitate este o problemă contemporană. Nimeni nu s-a gândit însă la consecințele catastrofale ale epuizării acestora. Astfel, dezvoltarea tehnologiilor IoT (Internet of Things) capătă interes global necompromițând habitatele naturale ale animalelor și ritmul de îmbătrânire al planetei Pământ.

Un studiu realizat de compania Ericsson estimează că până în 2030 emisiile de gaz cu efect de seră pot fi reduse cu până la 15% prin intermediul tehnologiei informațiilor și comunicațiilor [1].

Pentru a monitoriza emisiile de carbon, este nevoie de senzori IoT care să consume puțină energie și totodată să fie surse de energie regenerabilă. Aici apare problema fiabilității acestor senzori, problema ce este atacată de tehnologia LoRa (Low Power Wide Area).

LoRa a revoluționat tehnologia IoT prin transmiterea datelor către receptori aflați la distanțe lungi utilizând foarte puțină energie. Rețelele bazate pe LoRa, precum LoRaWAN, completează suita rețelor bazate pe tehnologii Celulare, Bluetooth Low Energy (BLE) și Wi-Fi, ce necesită consum mare de energie, consum mare de bandă sau au capacitatea de penetrare redusă, semnalul fiind afectat puternic de interacțiunea cu mediul.[2]

Standardul LoRaWAN în comuniune cu dispozitivele LoRa creează rețele flexibile atât în mediul rural, cât și în mediul urban. Scopul este implementarea orașelor, caselor și clădirilor inteligente, ușurarea muncii în agricultură, în domeniul sănătății, serviciilor și al logisticii. Rețeaua LoRaWAN se remarcă prin rezistența semnalului la penetrarea obiectelor din mediul înconjurător.

Ecosistemul LoRa evoluează rapid și este într-o creștere continuă. Se poate adăuga oricând un dispozitiv în rețea, depunându-se efort minim. Rețeaua LoRaWAN este scalabilă și de încredere prin existența unei comunități cuprinzătoare, alcătuită din operatori de rețea, producători de hardware, furnizori de servicii, chiar și universități și întreprinderi.

După cum spune și Marta Ciera, Co-fondator IOTLABS : “When we discovered LoRa devices it was great news and we knew we had our backbone for an IoT platform with endless opportunities.”[3], IoT este un domeniu asupra căruia se va concentra industria tehnologică pe viitor, un domeniu important fără cale de întoarcere, ce funcționează și evoluează simultan cu tehnologiile de inteligență artificială și machine learning (învățarea automată). IoT implementează senzorii necesari în cercetare, senzori ce sunt surse fiabile pentru aprovizionarea bazelor de date folosite de platformele de analiză.

Prin intermediul senzorilor și dispozitivelor gateway conectate prin tehnologia LoRa, pot fi măsurate și analizate diverse fenomene și acțiuni în timp real, pentru a reuși să se păstreze sub control valorile acestora. Tehnologia LoRa permite unui senzor să funcționeze longeviv și să transmită date la o distanță maximă de 15 kilometri. Un beneficiu major al acestei tehnologii îl reprezintă sursele deschise prin intermediul cărora se pot implementa proiecte personale sau chiar afaceri. Acestea oferă suport pentru setarea de aplicații și dispozitive pentru banda de transmisie de 868 MHz în Europa. Există numeroase comunități de IoT, printre care se numără și comunitatea din București [4].

Localizarea joacă un rol crucial în îndeplinirea sarcinilor poliției, pompierilor, personalului militar și în industriile de curierat, aprovizionat. Cu timpul, tehnologia a evoluat astfel încât oricine poate avea acces la aceste servicii și poate folosi sistemul de localizare în ce scop dorește, precum și în monitorizarea automobilelor, animalelor și a obiectelor.

Principalul furnizor de servicii de localizare este GPS(Global Positioning System). Acesta este un sistem de navigație cu gamă largă de aplicații precum navigațiile rutieră, aeriană, maritimă, monitorizare flote și activități în aer liber. Serviciul oferă poziționare, rute, cât și urmărirea în timp real a dispozitivelor.

Algoritmul ce a dus la succesul poziționării se numește algoritmul de trilateratie și constă în aflarea locației raportată la cel puțin trei puncte cunoscute. Aceste puncte sunt constituite de constelația de sateliți ce gravitează în jurul plantei Pământ. Algoritmul de trilateratie folosit de GPS are complexitate mare, deoarece în calcularea poziției sateliților aflați în spațiul cosmic intervine și teoria relativității.

Managementul sistemului de localizare este de asemenea un aspect important în eficiența cu care se face poziționarea. Acesta face referire la:

- Precizia navigației: În misiuni ale organelor de ordine și ale medicilor este un aspect crucial identificarea corectă a locației, permițând acțiuni cât mai sigure și rapide. Utilizatorii pot să navigheze cu exactitate, construind o experiență mai plăcută în timpul călătoriilor.
- Fiabilitatea și disponibilitatea sistemului sunt de asemenea importante. De exemplu, un echipaj de poliție, pompieri sau armată ajunge în zadar la locație dacă evenimentul deja a fost produs. Pentru urmărirea unor trasee, este important ca locația curentă să fie actualizată și să se mențină poziționarea.
- Securitatea și protecția datelor constituie un aspect esențial pentru siguranța utilizatorilor. O gestionare inadecvată ar putea produce scurgeri de date. În acest scop se adoptă politici de securitatea, criptarea datelor și un mecanism de autentificare pentru a permite accesul doar persoanelor autorizate. Confidențialitatea și integritatea informațiilor sunt aspecte ce trebuie tratate cu deosebită atenție în managementul sistemului de localizare.
- Mentenanța și actualizarea sistemului de localizare redau eficiența și asigură o funcționare corespunzătoare, fără defecte și cât se poate de performantă a sistemului de localizare.

Sistemul de localizare GPS prezintă însă și limitări prin consumul ridicat de energie în timpul funcționării, fapt ce afectează ciclul de viață al bateriei dispozitivului, timpul de identificarea al sateliților poate fi prea lung sau chiar aceștia nu pot fi identificați prin obturarea

directă a vizibilității, întârzieri în timp produse de distanțele mari ce trebuie parcurse de semnal, acoperirea limitată în anumite zone, precum cele urbane cu densitate mare de clădiri.

Pe baza dispozitivelor LoRa se poate implementa un sistem de geolocalizare eficient din punct de vedere al consumului de energie, al timpului de localizare, al penetrării obiectelor și clădirilor din mediul înconjurător.

## 1.2. Obiective

Proiectul își propune realizarea unui sistem de geolocalizare bazat pe rețele LoRaWAN ce prezintă consum redus de energie, funcționează pe distanțe de până la 15 kilometri în câmp deschis, și până la trei kilometri în mediul urban, are dimensiuni mici, este ușor de transportat și poate avea răspuns în timp real.

Localizarea are ca rezultat coordonatele geodezice în latitudine și longitudine. Pentru analiza acestora și observarea acurateții, se folosesc coordonatele geodezice aflate prin Google Maps în poziția în care se fac măsurătorile. O altă concluzie se va obține prin compararea raportată la coordonatele obținute prin sistemul de localizare GPS. Rezultatele finale vor fi marcate pe hartă prin intermediul aplicației Google Earth.

Sistemul de localizare urmărește identificarea poziției raportată la trei receptori de semnal LoRa, numiți gateway, prin intermediul algoritmului de trilateratie. Precum sistemul de localizare GPS folosește pentru poziționare sateliții NAVSTAR, sistemul de localizare bazat pe LoRa folosește gateway-uri terestre. Dacă pentru GPS distanțele față de satelit se calculează pe baza ecuației vitezei luminii afectată de dilatarea timpului în spațiu, în cazul sistemului bazat pe rețele LoRaWAN distanța este calculată pe baza indicatorului RSSI ce reprezintă puterea semnalului.

Proiectarea sistemului de localizare este făcută în mediul urban. Dispozitivele gateway folosite sunt publice și au definite coordonate geodezice, putând fi observate în timp real pe platforma destinată dispozitivelor ce comunică prin LoRa, numită The Things Network.

Măsurătorile realizate sunt colectate în scopul analizării și procesării prin intermediul serviciilor de cloud oferite de Google. Implementarea algoritmului de localizare este scris în programul MATLAB ce este pus la dispoziție de către Facultatea de Automatica și Calculatoare din București și oferă o suită de biblioteci destinate analizării sistemelor din lumea înconjurătoare.

Realizarea măsurătorilor a fost făcută în zona stației de metrou Lujerului - Campus Facultatea de Automatica și Calculatoare, sector 6, București, România. Setul de date dispune de 14 măsurători în patru coordonate diferite.

### 1.3. Studiu de piață

Fiind o temă populară în zilele noastre datorită concentrării științei asupra încălzirii globale, există numeroase proiecte ce studiază localizarea bazată pe RSSI obținut în rețeaua LoRaWAN.

O cercetare similară a fost realizată de Hussein Kwasme și Sabit Ekin în cadrul departamentului de Inginerie Electrică la Oklahoma State University, Stillwater, OK, Statele Unite ale Americii [5], însă distanțele atinse sunt la maxim 40 de metri de un gateway în câmp deschis, ceea ce implică afectarea minoră a puterii semnalului, deci o localizare precisă.

LoRa Edge tracker este un dispozitiv de localizare folosit prin intermediul platformei Lora Cloud Locator. Mecanismul de aflare a poziției se bazează atât pe puterea semnalului, cât și pe corectarea impreciziei produsă de obstacolele din mediu prin diverse metode precum Wi-Fi sau TOA (time of arrival), adică estimarea timpului în care un pachet emis de un dispozitiv final este receptat de către un gateway, crescând precizia cu care este indicată locația[6]. În acest proiect am demonstrat ca locația se poate aproxima cu orice senzor ce oferă tipul de comunicare bazat pe rețele LoRaWAN. O altă limitare a acestui produs este existența unei rețele limitate construită de diverși furnizori, fiind disponibilă doar în câteva zone la nivel global, precum: Franța prin serviciul Orange, Everynet în alte 11 țări, Helium, ce se găsește și în România, cu concertare mai mare în București[7].

### 1.4. Sumar capitole

Capitolul *Domeniul lucrării* conține informații generale despre cum au apărut sistemele de localizare, necesitatea acestora în zilele noastre și ce tehnologii de localizare sunt folosite la scară largă. Tot aici este realizată și o introducere în tehnologia LoRa și rețeaua LoRaWAN, cum au fost descoperite și cum au fost folosite în localizare, cât și ce avantaje și dezavantaje prezintă față de alte sisteme de localizare.

În capitolul *Descrierea problemei abordate și a metodei de rezolvare propuse*, sunt identificate ce date de intrare ar trebui să aibă sistemul de localizare, algoritmul care realizează propriu-zis localizarea și ce date ar trebui obținute în raport cu ce puncte de reper.

Capitolul *Documentație tehnică* include informații despre tehnologiile, aplicațiile și programele folosite în scopul realizării sistemului de localizare bazat pe achiziționarea, stocarea și utilizarea ca date de intrare în algoritm a măsurătorilor de coordonate geodezice. Tot aici este descrisă pe larg implementarea fizică și conexiunea realizată între elementele software și hardware folosite.

## 2. Domeniul lucrării

Mecanismelor de localizare li s-a acordat interes încă de acum 2000 de ani, când industria nici nu exista. Pentru orientarea față de un punct, trebuie, în primul rând, ca acesta să fie identificabil și fix.

Marinarii obișnuiau să se ghideze cu ajutorul stelelor, dar atunci când condițiile meteo nu erau favorabile sau era o noapte înnoată, apărea o misiune imposibilă, de aceea navigația se desfășura de-a lungul coastelor, urmărindu-se o distanță constantă față de acestea sau se circula doar de-a lungul anumitor curenți ce aveau comportament cunoscut.

Un instrument important în localizare îl constituie busola, instrument apărut în secolul al XII-lea. Aceasta le permitea marinarilor să navigheze și în condiții cu vizibilitate redusă. Navigatorii foloseau pentru ghidare și cărți de direcționare, care cuprindeau anumite rute, ce curenți oceanici sunt, direcția vântului și alte observații, până când în secolul al 13-lea au apărut hărțile ce marcau liniile costale, direcția de călătorie pentru marile porturi și ce vânturi se întâlneau. Aceste hărți încă nu ofereau informații despre latitudine sau longitudine.

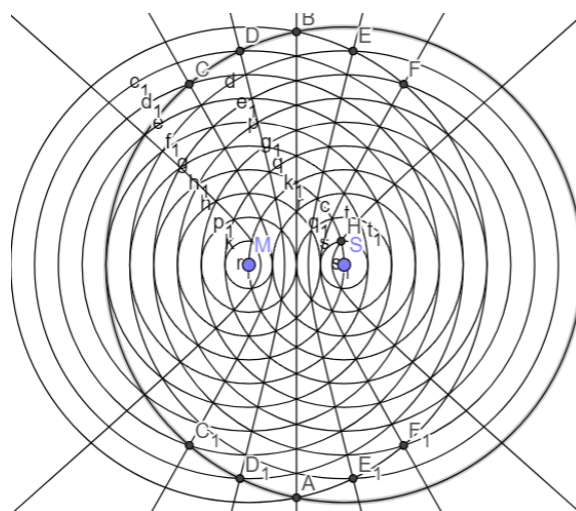
În secolul al XVIII-lea a apărut instrumentul de navigație care putea calcula precis latitudinea prin măsurarea unghiului dintre orizont și o stea.

Deoarece nu existau ceasuri exacte și care să funcționeze în orice condiții de umiditate și de temperatură, longitudinea putea fi doar estimată, însă odată cu apariția cronometrului, a fost posibilă aflarea acesteia. Calculul longitudinii se baza pe diferența de timp dintre cel de la locația curentă și cel de când a început călătoria.

În Al Doilea Război Mondial a fost inventată tehnologia de navigație cu rază lungă de acțiune (LORAN) pentru navele și avioanele localizate la aproximativ 1000 km de țarm. Aceasta permitea determinarea poziției unui emițător bazându-se pe distanța dintre două pulsuri de semnal transmise între două transmițătoare radio aflate la distanță mare.

Precizia variantei LORAN-C din 1950, era în jur de 0.5 km. Numărul țărilor ce utilizează această tehnologie a crescut. Ea a devenit disponibilă și civililor, însă odată cu apariția navigației bazată pe sateliți, ce avea o precizie mai mare (10 m), a devenit un sistem localizare de rezervă.[8]

Pentru localizare erau folosite mai multe stații radio ce emiteau unde de 110 kHz. O stație era Master M, iar o altă stație era Slave S, precum în figura 1. Pentru aflarea poziției navelor, era folosit sistemul hiperbolic. Distanța dintre M și S este împărțită în mai multe intervale egale corelate cu diferența de timp la care semnalul este recepționat de navă. Este presupusă emiterea unui sunet. Dacă nava este poziționată în orice direcție la 335 de m față de centrul discului M de arie minimă, aceasta ar recepționa o undă a sunetului emis de stația M într-o secundă. Dacă nava s-ar afla la 670 de m față de punctul M, unda ar fi recepționată în două secunde și așa mai departe. Analog și pentru punctul S. Astfel poate fi construită o familie de hiperbole conform figurii 1, pe care se va situa nava la un moment dat. LORAN-C folosea ceasuri cu o precizie mare, ce pierdeau o secundă la 10 ani.



Figură 1. Linii de poziție hiperbolice generate în Geogebra

Dacă ambele stații M și S emit simultan sunete și sunt recepționate simultan, atunci nava se află pe hiperbola AB. Un punct aflat pe dreapta AB este egal depărtat de stațiile M și S. Dacă se repetă emiterea simultană a semnalelor și sunetul produs de stația M a fost recepționat cu o secundă înainte de momentul în care a fost recepționat sunetul emis de stația S, înseamnă că nava s-a apropiat de stația M. Convenția de mai sus presupune că recepționarea sunetelor la diferența de o secundă plasează nava pe următoarea hiperbolă apropiată de punctul M, adică pe  $D_1D$ .

În cazul LORAN-C, stațiile emit unde radio. Pe țărmul apelor se aflau mai multe astfel de stații, apărând mai multe familii de hiperbole (O familie de hiperbole este trasată între două stații de emisie). Astfel au apărut hărți cu familii de hiperbole corelate pentru o sincronizare cât mai bună.

Însă LORAN-C putea oferi o locație dacă nava se afla într-o anumită rază de acoperire. În 1970, tehnologia a evoluat până la GPS(Global Positioning System). GPS se bazează aceeași tehnică de transmitere a undelor radio, doar că acestea sunt recepționate de sateliți.

GPS-ului (Global Positioning System) își are fundamentele în Efectul Doppler. Acesta apare atunci când un obiect emițător de unde se mișcă față de alte obiecte receptoare. Dacă o sursă de unde se îndreaptă către punctul A și se îndepărtează de un alt punct B, apare o deplasare pozitivă în frecvență față de punctul A și o deplasare negativă în frecvență față de punctul B. De exemplu, cu cât o ambulanță se apropie de un receptor auditiv, sunetul acesteia se amplifică din ce în ce mai mult. Cu cât se îndepărtează ambulanța de receptor, sunetul va scădea în intensitate.

Flota Militară a Statelor Unite a efectuat un experiment ce a constatat în localizarea unor submarine ce transportau rachete nucleare. Emițătorii erau, în acest caz, submarinele, iar receptorii șase sateliți ce orbitau în jurul polilor. Cunoașterea efectului Doppler a redus problema localizării submarinului la o chestiune de minute.



Bazându-se pe această descoperire, Departamentul Apărării al Statelor Unite a decis să lanseze 24 de sateliți NAVSATAR (Navigation System with Timing and Ranging) pentru un sistem de localizare robust și stabil, numit GPS. Acesta permite navigația cu precizie mare de doar 5-10 m probabilitatea de eroare circulară, oricărui mijloc de transport: vapor, avion, mașină, oriunde în lume.

GPS este deținut de Guvernul Statelor Unite, dar operat de Forțele Aeriene în scopul apărării, securității țării, civililor, comerțului și științei. Localizarea a devenit vitală civilizației, precum noțiunea timpului. Cu ajutorul localizării se poate calcula distanța. Prin intermediul celor două resurse putem manipula viteza. În societatea contemporană sunt importante punctualitatea și sincronizarea evenimentelor, pentru a putea controla transportul bunurilor și al oamenilor. Lumea business-ului este bazată pe calitatea transportului, pe eficiență. Pentru o planificare cât mai bună a timpului, o resursă limitată, trebuie știut în ce stadiu de evoluție se află bunul respectiv. Această sincronizare globală e posibilă mulțumită unei constelații de sateliți ce se rotesc în jurul Planetei.

GPS oferă două servicii: Standard Positioning Service (Coarse Acquisition Code /Civilian Acquisition code – semnale achiziționate grosier) și este adresat civililor și Precise Positioning System( Precise code – semnale precise ), accesibil doar organizațiilor militare ale Statelor Unite.

Semnalele GPS par să fie zgomote la prima vedere, de aceea sunt cunoscute sub denumirea de zgomote pseudoaleatoare. Codurile transportă date brute în urma cărora receptorii GPS își procură măsurătorile de distanță și timp.

Semnalul adresat civililor este generat cu o rată de zece ori mai mică decât cel adresat forțelor militare, 1023 Mb/s. În 2005 serviciile GPS au fost modernizate în scopuri comerciale. GPS-ul civil folosește frecvența L2C și măsoară 1227 MHz.

Datele GPS se supun formatului standardizat NMEA(National Marine Electronics Association) suportată de majoritatea dispozitivelor GPS. Un astfel de mesaj este \$GPGGA și are componentele din tabelul 1.

\$GPGGA,181908.00,3404.7041778,N,07044.3966270,W,4,13,1.00,495.144,M,29.200,M,0.10,0000*40	
GP	Marchează faptul că urmează informații referitoare la poziția globală
181908.00	Timpul corespunzător fusului orar de la Greenwich (GMT/UTC)
3404.7041778	Latitudinea
N	Latitudine nordică
07044.3966270	Logitudine
W	Logitudine vestică
4	Indicator de calitate
1	Coordonate necorectate
2	O parte din aceste coordonate sunt corecte
4	RTK Fixed - Coordonate cu precizie de centimetri
5	RTK Float - Coordonate cu precizie de decimetri
13	Numărul de sateliți utilizați
1.0	HDOP : răspândirea orizontală a preciziei
495.144	Altitudinea antenei
M	Unitatea de măsură pentru altitudine
29.200	Punctul geodezic al antenei
M	Unități folosite pentru separarea măsurătorilor geodezice
1.0	Vârsta datelor achiziționate
0000	Numărul de identificare al stației
*40	Suma de control

Tabel 1. Format Standardizat NMEA

Metodele de localizare se bazează pe existența unui subset mic de noduri, denumite ancore, ce au locația cunoscută în spațiu. Se face o distincție clară între localizare și urmărirea unui punct prin timpul de acționare al sistemului. Prin localizare se înțelege obținerea poziției unui nod la un moment de timp, iar urmărirea înseamnă cunoașterea permanentă a poziției unui nod aflat în mișcare.

Există o serie de algoritmi de localizare utilizați în estimarea poziției, coordonatelor sau urmărirea unui dispozitiv. Taxonomia algoritmilor de localizare este construită în jurul conceptului „Distance Localization” (Localizarea distanței)[9]. „Distance-based Localization” folosește distanța dintre ancoră și nodul necunoscut pentru a-i afla locația, în timp ce „Distance-free Localization” se bazează doar pe informațiile extrase din conexiunea realizată. Localizările bazate pe distanță au rezultate cu precizie mai mare, poziția obținută fiind mai apropiată de poziția reală a nodului.

Metodele bazate pe distanță sunt de mai multe tipuri și se bazează la rândul lor pe :

- multilateralitate: această metodă presupune rezolvarea unui sistem de ecuații bazate pe distanțele euclidiene dintre ancore și nodurile ce se doresc a fi localizate.
- Timpul de Sosire sau Time of Arrival(TOA): este o metodă ce utilizează timpul instant la care a fost transmis semnalul de către ancore către nodul căruia nu i se cunoaște

poziția în scopul calculării distanțelor. Această metodă are nevoie de un marcaj de timp sau de un timestamp de referință pentru sincronizarea tuturor nodurilor participante. Comunicarea cu ancorele este în general o comunicare asincronă.

- Diferența de Timp de Sosire sau Time Difference of Arrival(TDOA): este o metodă derivată din TOA și rezolvă problema sincronizării, eliminând necesitatea de a cunoaște timpul instant de transmitere a semnalului de către toate ancorele participante prin scădere. Măsurătorile TOA realizate în perechi ancora-nod sunt schimbate în măsurători TDOA.[10]
- Unghiul de sosire sau Angle of Arrival(AOA) și direcția de sosire sau Direction of Arrival(DOA): metodele bazate pe AOA necesită ca toate nodurile participante să beneficieze de antene de mari dimensiuni, aspect ineficient din punct de vedere al costului și al mobilității.[10]
- Puterea semnalului recepționat sau Received Signal Strength(RSS): măsurătorile RSS sunt ușor de realizat și au costuri reduse. Localizarea prin aceste metode este eficientă în cadrul rețelelor IOT.
- Scalare multidimensională sau Multidimensional Scalling(MDA): metodă folosită în rețele cu conexiuni parțiale în scopul reducerii zgomotului măsurătorilor.

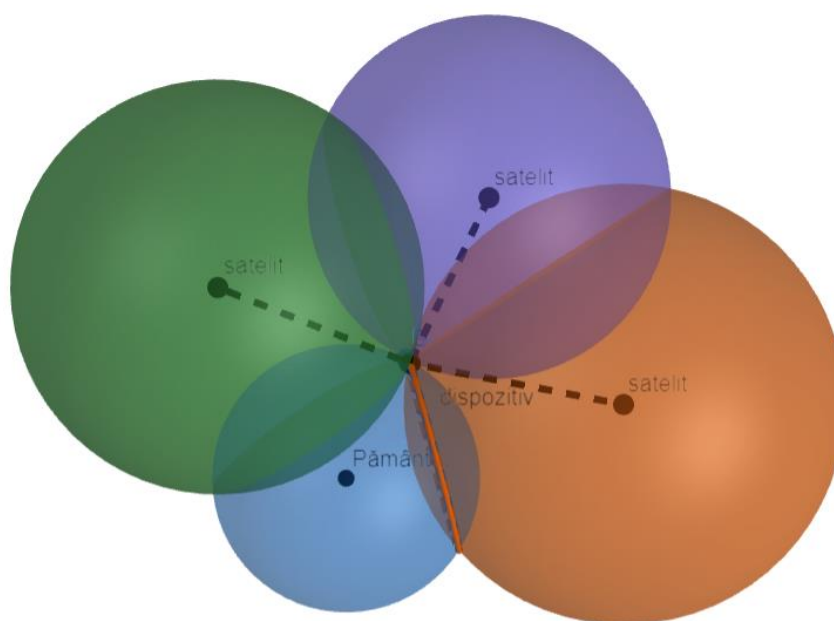
Metodele care nu sunt bazate pe distanță au complexitate mai redusă. Aproximarea locației se realizează prin metode precum: Aproximarea unui punct într-un triunghi de test(APIT), distanța Vector-HOP, Algoritmul Centroid, metoda ce se bazează pe punctul cel mai apropiat sau metoda presupunerii coordonatelor. Algoritmii bazați pe inerție folosesc accelerometrul sau giroscopul pentru estimarea direcției și accelerației. Metodele amintite mai sus plasează nodurile de interes într-un spațiu geometric, aproximând grosier locația acestora.

Metoda de localizarea bazată pe algoritmul Centroid se împarte în două etape: în prima etapă toate nodurile ancoră transmit mesaje de broadcast ce conțin informații despre locația lor sub formă de pachete către celelalte noduri care se află într-o regiune limitată; în a doua fază toate nodurile ce au locația necunoscută își calculează poziția prin realizarea mediei aritmetice a coordonatelor aflate prin ancore. Nodul necunoscut, notat  $u$ , își va poziționa coordonatele  $x_u$  și  $y_u$  pe baza coordonatelor celor  $m$  ancore cunoscute  $x_i$  și  $y_i$ , unde  $i = \overline{1, m}$ , după cum este indicat în ecuația (1).

$$x_u = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m}, \quad y_u = \frac{\sum_{i=1}^m y_i}{m} \quad (1)$$

Pentru localizarea unui punct terestru, GPS-ul folosește algoritmul de trilateratie ce se bazează pe intersecția a trei sfere în plan 3D, conform figurii 2.

De exemplu, intersecția a două sfere este reprezentată de punctele ce se află pe circumferința rezultată. Intersecția a trei sfere are loc în două puncte, însă unul va fi situat în afara Pământului. Aceste sfere sunt centrate în poziția satelitului, iar raza, ilustrată în figura 2 prin linie punctată, este reprezentată de distanța dintre poziția satelitului și punctul de pe Pământ.

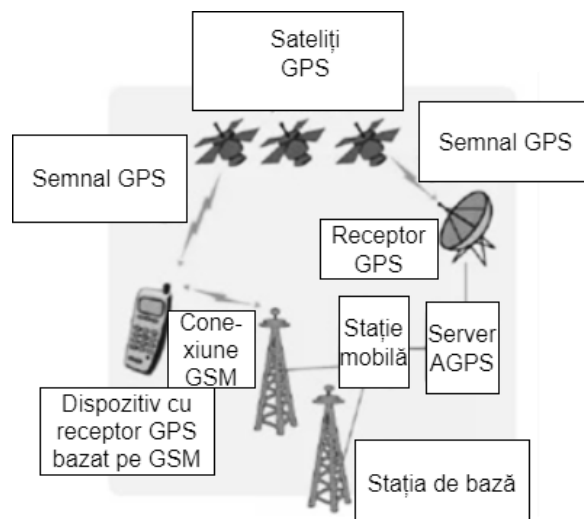


Figură 2. Determinarea locației unui obiect

Presupunem că un dispozitiv GPS este pus în funcțiune: acesta va trimite semnale sateliților receptori. Satelitul va trimite înapoi un mesaj în care se află locația satelitului și momentul de timp la care pachetul se transmite către dispozitiv. Știind când ajunge pachetul la receptor și că undele circulă cu viteza luminii, se poate afla distanța dintre satelit și dispozitiv, deci se poate trasa sfera  $S$  cu centrul în coordonatele satelitului și de rază egală cu distanța. Analog pentru încă doi sateliți. Cunoscând localizarea acestor trei sfere, cât și localizarea Pământului, se ajunge la intersecția acestora într-un singur punct. Un al patrulea satelit este folosit pentru o sincronizare temporară mai precisă.

Prin urmare, oriunde s-ar afla o navă pe glob, își poate afla locația. Însă GPS-ul este perturbat de condițiile atmosferice și de clădirile înalte, care nu permit transmiterea neperturbată a undelor radio.

Odată cu apariția telefoniei mobile, ce dispune de numeroși stâlpi de transmisie pentru o acoperire cât mai extinsă, a devenit posibilă aflarea locației și în medii urbane supraaglomerate sau când vremea nu e favorabilă. Această tehnologie se numește Asisted GPS (A-GPS) și se bazează pe un server ce comunică în permanență cu sateliții, pentru a ști locația acestora în timp real. Telefonul mobil preia informațiile A-GPS de la server prin intermediul stâlpilor de semnal și corectează eroarea cu ajutorul GPS-ului încorporat în telefonul mobil. Atunci când telefonul nu este sub acoperirea rețelei de telefonie, A-GPS-ul nu funcționează.



Figură 3. Comunicația telefonului cu serverul de date AGPS oferit de telefoniile mobile

În figura 3 se observă arhitectura unei rețele de telefonie mobilă și drumul datelor achiziționate de la serverul AGPS, ce stochează date despre orbitarea sateliților. Prin intermediul rețelei de telefonie mobilă, aceste date pot fi accesate. Există două metode prin care A-GPS îmbunătățește performanța GPS:

1. Mobile Station Based(MSB) : Asigura un Time to First Fix (TTFF) rapid. TTFF este timpul necesar dispozitivului pentru aflarea locației sateliților și ceasului global. A-GPS, prin serverele ce monitorizează în permanență locația sateliților, reduce acest timp de așteptare.
2. Mobile Station Assisted(MSA): Calculează locația dispozitivului prin raportare la coordonatele stâlpului de rețea din apropiere. Această metodă este utilizată cu precădere atunci când dispozitivul este înconjurat de pereți și de clădiri înalte.

Cu toate acestea, GPS nu funcționează întotdeauna în interiorul clădirilor de unde semnalul nu poate ajunge la sateliți, atunci când condițiile meteo aduc o atmosferă încărcată, dispozitivul se află într-o zonă urbană foarte aglomerată sau într-o zonă privată de semnalul de telefonie mobilă ce facilitează tehnologia A-GPS.

Arhitectura Internetul Obiectelor sau Internet of Things (IoT) este alcătuită în general din patru nivele: nivelul de obiecte fizice( things layer), nivelul de rețea (network layer), nivelul de servicii intermediare(middleware layer) și ultimul nivel de aplicații(application layer). La primul nivel senzorii colectează datele de la evenimente din mediul înconjurător, iar actuatorii interpretează mecanic rezultatele și acționează corespunzător. Nivelul de rețea reprezintă gruparea formată din gateway-uri și dispozitive IoT ce își interschimbă date sau comenzi prin intermediul protocoalelor specifice. Datele sunt analizate mai departe conform procedurilor IoT la nivelul de servicii intermediare. La nivelul aplicație este implementată o interfață cu utilizatorul și este totodată o strategie de securitate.[9]

Nivelul de obiecte este reprezentat de dispozitive inteligente care au senzori și pot fi unic identificați într-o rețea, de microcontrollere ce se ocupă de procesare și filtrarea datelor și de către instrumentele de transmitere și recepție, numite transceiver.

Un senzor este un dispozitiv care sesizează un fenomen fizic precum temperatura, umiditatea, lumina, gazul, căldura și convertește informațiile în date. Traductorii convertesc inputul fizic într-un input electric pentru sistemele de calcul. Un actuator execută comenzi mecanice în urma inputurilor electrice primite.

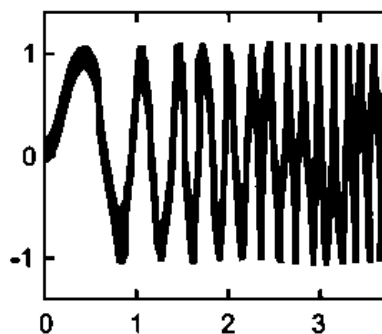
În urma analizei de mai sus, putem concluziona că un obiect(things) trebuie să aibă caracteristici senzoriale, de acționare și să fie unic adresabil într-o rețea IoT.

Un pas esențial în dezvoltarea arhitecturii IoT îl reprezintă modalitatea de transmitere a mesajelor de la senzori. O modalitate de transmitere a datelor se implementează prin LoRa.

LoRa, acronimul de la low-power wide-area, este o metodă de modulare wireless construită pe baza tehnologiei Chirp Spread Spectrum(CSS)[11], ce folosește semnale sinusoidale de tip chirp(sweep signal), modulate în frecvență liniară de bandă largă. Această denumire provine de la faptul că, odată trecute printr-un difuzor, semnalele se transformă în sunete ce semănă cu ciripitul păsărilor. Un aspect important despre un sistem chirp, este constituit de reversibilitatea completă a semnalelor. La trecerea printr-un sistem antichirp semnalele se transformă din nou în impulsuri. Impulsurile impun două cerințe să fie cât mai scurte posibil pentru o rezoluție bună a distanței și să aibă multă energie pentru a transmite la distanțe cât mai mari. Pentru furnizarea unui impuls, energia electrică necesară este egală cu energia impulsului raportată la lungimea impulsului. Aspectul care îi dă importanță contemporană acestei tehnologii, deoarece depășește compromisul dintre energie și durata impulsului, este capacitatea emițătorului de a înlocui impulsurile cu semnale chirp până în etajul final al emițătorului radio. Astfel, sistemul care măsoară distanța vede impulsuri scurte, iar circuitele de controlare a puterii, observă semnale de durată lungă.

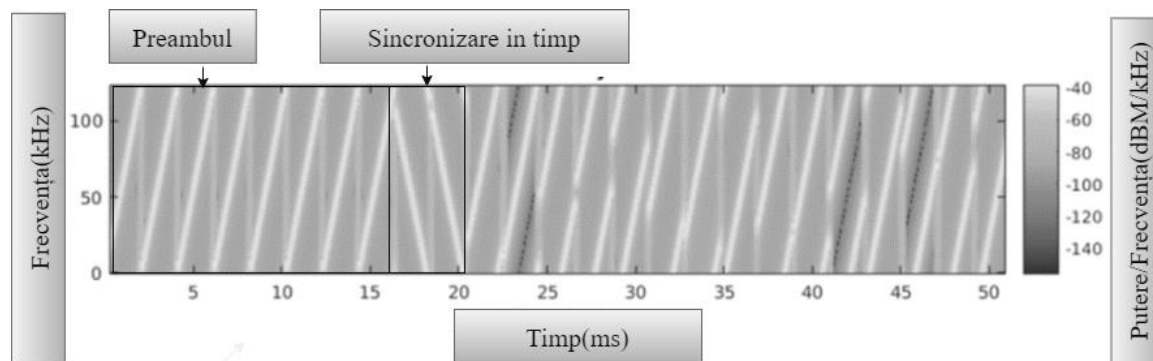
Exista două tipuri de semnale chirp: up-chirp ce apare atunci când frecvența crește și respectiv down-chirp, ce apare când frecvența scade.

LoRa[12] este o transmisie care rejectează perturbațiile, oferindu-i robustețe. Pentru transmiterea la o distanță mare a semnalului, acesta este multiplicat cu un model de biți predefinit(pattern), cu o rată mai mare. De aici apare noțiunea de „chip sequence”, un semnal mai „rapid” cu componente descrise de o frecvență mai ridicată decât semnalul original. În modulația LoRa, amplificarea spectrului semnalului este obținută prin crearea unui semnal chirp care variază continuu în frecvență, conform figurii 4.



Figură 4. Amplificare Spectru LoRa Chirp

Pentru a anunța prezența unui pachet LoRa, dispozitivul final trimite către gateway un tren de impulsuri alcătuit din opt up-chirps, ce formează Preambulul, și două semnale down-chirps folosite pentru sincronizare timpului, după cum se poate observa în figura 5.



Figură 5. Inceputul pachetului LoRa

Zona Fresnel[13] este un corp geometric sub formă eliptică ce se conturează în jurul semnalului transmis între dispozitivul final și gateway. Dacă în acest volum determinat apar obstacole precum clădiri, sau chiar grămezi de pământ, dealuri și copaci, semnalul poate fi slăbit chiar dacă există vizibilitate directă între cele două dispozitive. Teoretic, această zonă trebuie să fie nepătrunsă de obiecte, însă, în realitate, de cele mai multe ori, este imposibil. Există un procent de 40% din volumul zonei Fresnel ce poate fi blocat astfel încât pierderile de semnal să nu fie semnificative.

Modulația LoRa are trei parametri configurabili ce definesc modul de transmisie, și anume BandWidth(BW), Coding Rate (CR) și Spreading Factor(SF). Aceștia pot avea valori predefinite sau se pot seta manual.

Valoarea BandWidth[14] indică lărgimea pe care o va avea semnalul transmis. Trei valori sunt utilizabile și anume 125 kHz, 250 kHz, 500 kHz, în Europa fiind accesibile doar primele două. Cu cât este mai mică această valoare, cu atât indicatorul time-on-air este mai mare, adică semnalul poate fi transmis la o distanță mai mare, iar semnalul este mai puțin sensibil.

Parametrul Coding rate reprezintă gradul de redundanță implementat de mecanismul FEC(forward error correction) care este utilizat pentru detectarea și corectarea erorilor și este fixat în cadrul rețelei LoRaWAN la valoarea de 4/5[12]. Corectitudinea semnalului LoRa se realizează printr-un bit de paritate trimis la câte 4 biți de date.

Spreading factor reprezintă tot codul cu care este amplificat semnalul original și variază între SF7 și SF12. Cu cât acest factor este mai mare, cu atât mai departe semnalul poate să fie transmis fără erori. Semnalele modulate cu factor de amplificare diferit nu interferează între ele.[12]

LPWAN provine de la Low Power Wide Area Network[15] și este o rețea celulară ce poate acoperi o arie mare de semnal fără consum mare de energie, fiind potrivită pentru

dispozitive de tip IoT. LPWAN funcționează punct la punct. Senzorii se pot conecta direct la Internet și nu au nevoie de gateway-uri IoT intermediare. Există două tipuri de tehnologii celulare LPWAN: de bandă licențiată(GSM) și nelicențiată(LoRaWAN).

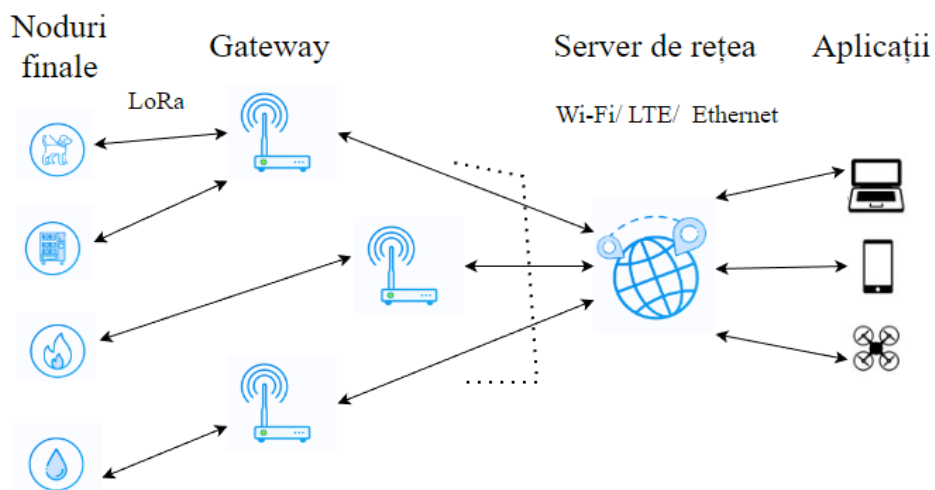
LoRaWAN este succesorul tehnologiei LPWAN de bandă nelicențiată și reprezintă un instrument software opensource care dirijează folosirea hardware-ului LoRa în dispozitive. El este dezvoltat, menținut și reglementat de asociația non-profit LoRa Alliance.

Rețeaua LoRaWAN – Long Range Low Power Wide Area Network, este un protocol la nivelul straturilor de Media Access Control(MAC), construit peste modularea de tip LoRa. Protocoalele MAC permit mai multor dispozitive să comunice între ele. Acesta urmărește transmiterea semnalelor fără să se producă coliziuni și receptarea mesajului de către dispozitivul destinație.

Una dintre companiile producătoare de chip-uri ce integrează comunicarea LoRa este corporația Semtech. Aceasta urmărește producția de tehnologii inovatoare și sustenabile, atacând probleme de interes global, precum managementul energiei electrice, Wireless RF.

LoRaWAN facilitează transmiterea pachetelor mici de date cu rata de biți scăzută la distanțe mari, semnalul putând să ajungă până la 5 km în zonele urbane și până la 15 km în zonele rurale.

Din punct de vedere al arhitecturii, LoRaWAN este o tehnologie cu topologia star of stars ca în figura 6. Într-o arhitectură star, nodurile frunze pot comunica cu nodurile centrale. Astfel, dacă un nod frunză este compromis, celelalte componente ale arhitecturii or să fie nevătămate.



Figură 6. Arhitectura LoRaWAN

Nodurile frunze sau finale sunt senzori sau actuatori ce transmit mesajul în modulare LoRa gateway-urilor sau primesc mesaje de la acestea.

Dispozitivele Gateway sunt microcontrollere care primesc mesajele de la nodurile finale locale și le transmit către serverul de rețea.



Aplicațiile sunt ansambluri software de programe care ocupă spațiu în server și sunt responsabile de procesarea securizată a pachetelor de date.

Avantajele acestui mijloc de comunicație celulară fac referire la consumul redus de energie electrică și la capacitatea de transmitere în interiorul clădirilor și spațiilor subterane, unde radio fiind transmise pe frecvențe de sub 1 GHz( de unde și denumirea de rețea sub-GHz). În Europa, frecvența de transmitere a pachetelor LoRaWAN este de 868 MHz[16].

Tehnologia WiFi, prin care sunt transmise date la o frecvență de 2.4 GHz, oferă o rază de acoperire de 50 de metri în interior( unde pereții sunt obstacole) și 100 de metri în exterior. Aceste distanțe provin din problema că la 2.4 GHz frecvențele sunt absorbite de materia fizică mai rapid. Frecvențele de sub-GHz permit transmiterea informațiilor pe distanțe de ordinul kilometrilor. În plus, în cadrul serviciilor LoRAWAN, oricine poate deține gateway-uri și end-device-uri în aria acestora, oferind și rețea privată cu viteza datelor de 50 kbit/secundă. Din acest motiv, această tehnologie este folosită cu precădere în mediile industriale și pentru aplicațiile de tip IoT(Internet of Things), pentru care dimensiunea pachetelor de date nu este necesar să fie mai mare.

The Things Industries este compania care se ocupă de oferirea rețelei și serverelor LoRaWAN. Prin intermediul acesteia, alte companii își pot implementa propriile soluții de tehnologie IoT. În plus, este răspândită la scară internațională și oferă o suită de servicii care facilitează manipularea pachetelor de date.

The Things Stack este rețeaua open-source de servere LoRaWAN, pusă la dispoziție de The Things Industries, ce oferă posibilitatea de a crea propria rețea LoRAWAN la care să fie conectate diverse dispozitive IoT. Serviciile de creare de aplicații, adăugare dispozitive, stocare date temporare, decodificare mesaje, integrare de servicii, sunt accesibile prin platforma The Things Newtork. Mesajele din rețeaua LoRaWAN sunt de două tipuri, după calea acestora:

- Mesajul de uplink transportă informația care este emisă de dispozitivul de localizare către celelalte gateway-uri.
- Mesajul de downlink este mesajul care este emis de serverul de rețea către dispozitivul de localizare prin gateway și este folosit, în general, pentru configurarea rețelei.

Platforma The Things Network transformă mesajele în format JSON. Acesta facilitează schimbarea de informații între platforme, întru-cât acesta este un șir de caractere. Prin parsare, se pot accesa datele ca o entitate obiect. Câmpurile sunt păstrate între acolade. Dacă sunt păstrate mai multe date de același tip, se scriu între paranteze drepte.

Într-un mesaj de uplink sunt păstrate metadate despre gateway-ul receptor precum nume, identificator unic(EUI), timpul când a fost primit, RSSI, SNR, locația în coordonate geodezice, etc, cât și informații despre dispozitivul care a transmis pachetul de date: identificatoare, numele aplicației.

Înregistrarea unui dispozitiv final se face pe baza unui identificator unic de 64 de biți, numit DevEUI, generat pe baza adresei MAC a dispozitivului, cu scop de recunoaștere globală. Dispozitivului îi sunt generate automat și alte coduri, precum DevAddr, folosit pentru identificarea sa în rețea. O altă etapă în înregistrare este alegerea modului de activare, în urma căruia sunt alocate codul DevAddr și cheile de sesiune. DevAddr are scopul de a face dispozitivul cunoscut în rețea și de a-l identifica în toate comunicările după înregistrare și este

alcătuit din două părți: NwkAddr, adresa plăcii din rețea și NwkID, un identificator al rețelei. Activarea dispozitivului poate fi realizată în două moduri [17]:

- APB (Activation By Personalization): DevAddr primește o valoare fixă pentru o rețea deja cunoscută. Cheile de sesiune rămân aceleași pe întreaga durată de viață a dispozitivului, simplificând procedura de conectarea la rețea. Însă această metodă are și limitări, precum funcționarea corectă doar într-o rețea prestabilită, cât și existența unui contor de pachete care trebuie să nu fie resetat, pentru că asta ar putea genera ignorarea unor mesaje. Contorul are o valoare limitată, astfel că o dată ce a fost atinsă, pachetele nu vor mai fi primite în rețea.
- OTAA(Over-The-Air Activation): Dispozitivelor OTAA le sunt atribuite chei rădăcină(root keys), iar DevAddr este alocat dinamic. Root keys vor fi folosite pentru generarea cheilor de sesiune. Astfel DevAddr și cheile de sesiune sunt schimbate de fiecare dată când este realizată o nouă sesiune de comunicare. Pentru ca această metodă de conectare să funcționeze, trebuie ca dispozitivul să se afle sub acoperirea rețelei respective.

Conectarea în rețeaua LoRaWAN a unui dispozitiv final ce prezintă asupra lui senzori sau actuatori este făcută urmând o serie de pași ce vor asigura securitatea conform modelului CIA(Confidențialitate, Integritate, Autentificare). Securitatea platformei este un aspect deosebit de important, de aceea nu se face rabat de la politicile impuse de organizație. Pentru autentificarea în platformă, utilizatorul trebuie să își creeze un cont securizat prin parolă, ce necesită o primă validare prin adresa de mail folosită. Activarea dispozitivului generează cheile aminte mai sus ce sunt utilizate pentru criptarea comunicării între dispozitiv și serverul de rețea. Cheile de sesiune asigură protecția împotriva schimbărilor utilizând mecanismul numit Message Integrity Code(MIC). Într-o comunitate răspândită precum cea a rețelei LoRaWAN, pot exista mulți alți utilizatori ce cunosc codul NwkKey, de aceea confidențialitatea și integritatea sunt îndeplinite exclusiv prin cheile AppKey. NwkKey asigură identificarea dispozitivului de către serverul de rețea în comunicare. La inițierea comunicării se realizează etapele de Join-request și Join-accept. Dispozitivul trimite un mesaj de tip Join-request către rețea prin intermediul unui gateway, apoi acest mesaj este redirecționat către serverul de rețea corespunzător pe baza DevEUI. Serverul se identifică prin Join-Server pe baza unui cod JoinEUI generat prin procedura de Join-request. Serverul de rețea creează un nou cod numit JSIntKey pe baza NwkKey și a DevEUI și avansează procedura de conectare la stadiul de Join-accept. JSIntKey este folosit pentru a verifica integritatea mesajului de Join-accept. Astfel se obține un handshaking între dispozitiv și rețea. [18]

Specificațiile LoRaWAN clasifică dispozitivele în trei clase și anume A,B,C, ultimele două clase fiind extensii obținute din prima[19]. Toate clasele suportă comunicare bidirecțională, ceea ce înseamnă că au suport și pentru etapa de uplink și pentru etapa de downlink.

Toate dispozitivele adăugate în rețea trebuie să facă parte din clasa A. Un dispozitiv de clasa A inițiază întotdeauna comunicarea și poate transmite un mesaj de uplink în orice moment. Aceste dispozitive sunt caracterizate prin faptul că au cel mai mic consum de energie, stau o perioadă mare de timp în modul sleep, iar intervalul dintre mesajele de uplink este în general de ordinul minutelor. Sunt utilizate preponderent în monitorizarea evenimentelor de mediu înconjurător, în urmărirea animalelor, localizare, detectarea de incendii, de scurgeri de apă și cutremure.

Dispozitivele ce aparțin clasei B, pe lângă interfața de dispozitiv de clasă A, permite primirea de mesaje de la serverul de rețea. Datorită acestor activități, bateria unui dispozitiv de clasă B este consumatoare mai mare de energie față de cel de tip A, stând mai mult timp în modul activ. Sunt folosite pentru contoare de utilități precum serviciile publice și măsurători de temperatură.

Clasa C de dispozitive extinde clasa A, însă funcționează permanent, de aceea sunt cele mai mari consumatoare de energie și sunt folosite la iluminatul stradal sau la contoare de utilități ce au asupra lor valve și întrerupătoare. [18]

Stocarea temporară a datelor face necesară implementarea unei soluții pentru păstrarea datelor într-un mediu nevolatil. Acesta este oferit de aplicația Google Sheets, ce face parte din platforma de stocare în cloud și distribuire de fișiere Google Drive. Platforma este deținută de compania Google, iar avantajul acesteia este constituit de multitudinea de API (application programming interface) ce pot fi integrate în paleta de aplicații. O parte dintre acestea se regăsesc în figura 7.

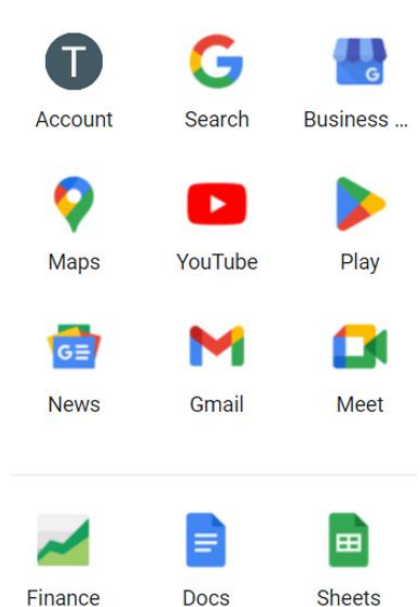


Figura 7. Paletă aplicații Google Drive

Google Sheets este o variantă în serviciul cloud a aplicației Microsoft Excel. Acestea permit posibilitatea de a crea foi de calcul sub forma unor tabele alcătuite din linii, indexate prin cifre arabe, și coloane, indexate prin literele alfabetului englez, în care să fie stocate permanent diverse tipuri de date, precum numere sau șiruri de caractere. Într-un fișier de tip foaie de calcul se pot salva mai multe foi ce reprezintă tabelele amintite mai sus. Un beneficiu al aplicației Google Sheet este acela că documentele ce aparțin unui cont de utilizator pot fi accesate de pe orice dispozitiv atât timp cât este descărcat pachetul de aplicații Google Drive.

Platforma pune la dispoziție un spațiu de stocare în cloud de 50 de GB și permite interoperabilitatea între serviciile oferite. De exemplu, unei foi de calcul îi pot fi atașate extensii, cum ar fi programe de tip script, prin intermediul aplicației AppScript, care să realizeze conexiunea între o foaie de clacul și o platformă externă, să automatizeze salvarea datelor provenite din această intermediere, poate filtra ce date se salvează, cum să fie salvate sau chiar

pot fi adăugate câmpuri și date noi. Scriptul ușurează munca utilizatorului de a executa repetitiv aceleași mișcări pentru a obține aspectul și informațiile dorite.

Interconectarea platformelor este realizată prin aceste programe care permit procedura de deployment ce face referire la realizarea conexiunii între diverse tehnologii oferite de aceste platforme independente. Astfel, un mesaj de uplink din platforma The Things Network poate fi transmis către programul scris în AppScript prin selectarea opțiunii de Deploy aferentă scriptului creat, după cum se poate observa în figura 8. După selectarea butonului de deploy se crează un nou deployment de tipul Web app în care sunt selectate drepturile utilizatorilor. În urma acestor pași este generat un link URL care va fi folosit în platforma cu care se dorește realizarea conexiunii.



Figură 8. Opțiune de Deploy în AppScript

În acest caz, platforma The Things Network permite crearea unor integrări de tip webhook în care se completează câmpul de Base URL cu cel obținut la pasul anterior. The Things Network permite și verificarea statusului curent al legăturii create, după cum se poate observa în figura 9. Astfel, măsurătorile obținute colectate de platforma The Things Network pot fi depozitate într-o platformă de stocare permanentă în scopul analizării acestora.

Base URL	Template ID	Status	Created at
https://script.google.com/macros/s/AKfycbzu56mPajS3hPjNZ...	None	Healthy	Mar 8, 2023

Figură 9. Status webhook creat în TTN

Salvarea datelor pe mașina de calcul poate fi făcută în diverse formate, dintre care amintit .CSV (comma-separated values) și .GSHEET.

CSV este un format de date folosit în special pentru importarea sau exportarea foilor de calcul și bazelor de date. Elementele de pe coloane sunt delimitate prin caracterul virgula „,”, iar rândurile sunt delimitate prin caracterele „/n”, numite caractere pentru „end-of-line” sau pentru linie nouă.

.GSHEET este formatul de fișiere de bază al foilor de calcul realizate în aplicația Google Sheet ce aparține de Google Drive. Aceste fișiere sunt create de Google Drive pentru aplicațiile Desktop construite de companie.

Prin intermediul AppScript, documentul poate fi convertit din format .GSHEET, în format .CSV.

MATLAB, provenit din descrierea de Matrix Laboratory, este o platformă de programare și calcul numeric deținută de MathWorks și este folosită în mare măsură de ingineri în scopul analizării datelor și crearea algoritmilor necesari analizei. Platforma are numeroase alte funcționalități, precum crearea unor aplicații desktop sau web, trasare de grafice, conectarea la dispozitive hardware, procesarea mai multor formate de fișiere, precum .CSV, programare paralelă, mediu de lucru în Cloud și web Deployment și Desktop.

MATLAB este o platformă ce necesită o licență pentru utilizare ce se obține contracost.

Versatilitatea platformei este observată în multiple domenii de interes actual, iar comunitatea MATLAB îmbogățește resursele de informații în ceea ce privește toolbox-urile puse la dispoziție utilizatorilor.

Un toolbox este o colecție de funcții și clase ce permit analiza detaliată a unor domenii. Anumite pachete pot fi descărcate prin MathWorks, însă sunt și pachete ce aparțin unor terțe companii, ce pot fi de asemenea achiziționate de către utilizatori. Platforma oferă numeroase toolbox-uri în mai multe teritorii de cercetare, precum:

- Controlul sistemelor
- Machine Learning
- Deep Learning
- Robotică, Automobile
- Comunicații Wireless
- Testare și Măsurare
- Crearea de modele în scopul predicției

În scopul realizării sistemului de localizare, a fost folosit toolbox-ul MATLAB numit Mapping Toolbox[20]. Acest pachet oferă funcții și algoritmi pentru crearea hărților personalizate printre care se află și funcții pentru prelucrarea sistemelor de coordonate 3D conținute în categoria „Geometric Geodesy”(Geometria Geodezică), folosite în scopul translatării punctelor din sistemul de coordonate geografice geodezice globale, în sisteme de coordonate ale elipsoidului.

Subcategoria de funcții „3D Coordinate and Vector Transformations”(Coordonate 3D și Transformări Vectoriale) din Geometric Geodesy, Mapping Toolbox, rezolvă o problemă importantă a sistemului de localizare. Pentru soluționarea ecuației de trilaterare trebuie ca sferele construite să fie în planul 3D al elipsoidului, însă coordonatele deținute de participanții la intersecție sunt în sistemul geografic geodezic. Sistemul de coordonate elipsoid se numește sistem de coordonate ECEF(Earth Centerd Earth Fixed) și face referire la un sistem de coordonate fixat cu originea în centrul planetei Pământ.

MATLAB pune la dispoziție și funcții pentru crearea, scrierea sau citirea din fișiere, implementare de instrucțiuni și rezolvarea de operații matematice complexe, precum inversarea unei matrice.

Pentru figurarea pe suprafața Pământului a unor locații descrise prin coordonate geodezice se poate folosi Google Earth Pro.

Platforma Google Earth Pro este un program Desktop gratuit ce pune laolaltă imagini fotografiate prin sateliți NAVSTAR într-un singur glob pământesc virtual. Mai este denumit și „geobrowser” și este folosit pentru analiza și căutarea informațiilor de natură geografică precum relief, așezări rurale, urbane, salvarea anumitor locații, calcularea distanțelor sau chiar observarea schimbărilor climatice.

Platforma permite importarea de fișiere de tip .CSV, interpretarea câmpurilor din documente și identificarea pe hartă a locațiilor indicate prin acestea. Punctele recunoscute pe glob pot fi salvate în format .KML (Keyhole Markup Language) pentru a le distribui cu ușurință celorlalți utilizatori.

### 3. Descrierea problemei abordate și a metodei de rezolvare propuse

Lucrarea de licență urmărește geolocalizarea unui dispozitiv de comunicare prin intermediul serviciilor LoRaWAN, oferind o metodă mai eficientă din punct de vedere al dimensiunii, consumului de energie și al vitezei de reperare în cadrul unui mediu urban aglomerat. Pentru a verifica algoritmul de aflare a locației, se vor folosi coordonatele cunoscute prin identificarea pe harta oferită de Google Maps. Rezultatele vor fi comparate cu coordonatele oferite de GPS, dispozitivul având disponibilă și o antenă GPS.

În urma procesării unui pachet de date se obține locația în coordonate geodezice [21] ale unui gateway și distanța față de acesta. Pentru a afla poziția dispozitivului, este nevoie de cel puțin trei astfel de pachete recepționate de la gateway-uri distincte. Urmând modelul de trilaterare oferit de GPS reamintit, locația devine soluția intersecției a trei sfere. Această problemă se construiește sub forma unui sistem matriceal de ecuații cuadrice observat în (2).

$$\begin{aligned}(x - A_1)^2 + (y - B_1)^2 + (z - C_1)^2 - d_1^2 &= 0 \\(x - A_2)^2 + (y - B_2)^2 + (z - C_2)^2 - d_2^2 &= 0 \\(x - A_3)^2 + (y - B_3)^2 + (z - C_3)^2 - d_3^2 &= 0\end{aligned}\tag{2}$$

- $A_i, B_i, C_i$  – coordonatele 3D care poziționează un gateway în sistemul de coordonate al lumii ECEF [22].
- $d_i$  - reprezintă distanța dintre dispozitiv și gateway. Aceasta se calculează pe baza RSSI, un indicator care specifică dacă puterea semnalului este suficient de mare pentru ca mesajul să fie decodificat corect [23]. Pentru aproximarea distanței, este folosită metoda Log Distance Path Loss Model [24]. Distanța va fi egală cu ecuația (3).

$$d = 10^{\left(\frac{RSSI_0 - RSSI}{10n}\right)} \quad [25] \tag{3}$$

unde:

- $RSSI_0$  este indicatorul de putere a semnalului la distanța cunoscută de un metru
- $RSSI$  este indicatorul de putere a semnalului la distanța curentă
- $n$  este un indicator numit exponent de pierdere pe traiectorie (Path loss exponent), care apare din cauza absorbțiilor, reflexiilor undelor datorate de factori de mediu precum clădiri, copaci, oameni.  $n$  va fi aproximat precum în ecuația (4) cu media valorilor obținute în urma măsurărilor făcute într-un interval de timp de 10 minute înainte și după primirea pachetului de date în cauză (peste 20 de măsurători).

$$n = \frac{RSSI_0 - RSSI}{10 \cdot \log(d)} \quad [25] \tag{4}$$

Măsurătorile obținute sunt în concordanță cu tabelul 2. Pentru diminuarea erorilor observate în distanțe, am îmbunătățit rezultatul empiric.

Mediu	Exponent de pierdere pe trajectorie (n)
Spațiu liber	2
Zona urbană radio celulară	2.7 - 3.5
Radio celular urban umbrit	3-5
Vizibilitate directă în interiorul unei clădiri	1.6 – 1.8
Vizibilitate obstrucționată în interiorul clădirii	4-6
Vizibilitate obstrucționată în fabrică	2-3

Tabel 2. Exponent de pierdere a traiectoriei pentru diverse medii

Pentru rezolvarea sistemului am aplicat Metoda Newton Raphson (MNR) [26]. Cu aceasta sunt iterate soluții succesive, până când locația are o precizie de aproximativ 500 de metri. De-a lungul măsurătorilor, s-a constatat că algoritmul converge la soluția corectă în 50 de iterații. Funcția criteriu este notată în ecuația (5).

$$F_i(x, y, z) = (x - A_i)^2 + (y - B_i)^2 + (z - C_i)^2 - d_i^2 \quad (5)$$

Indexul  $i$ , cu valori de 1 la 3 și face referire la numărul gateway-ului.

MNR începe cu inițializarea soluției,  $Guess_{1,2,3_0}$ , ca medie a celor trei coordonate pe fiecare axă a sistemului 3D:  $x, y, z$ , conform ecuațiilor (6), (7) și (8).

$$Guess_1 = \frac{A_1 + B_1 + C_1}{3} \quad (6)$$

$$Guess_2 = \frac{A_2 + B_2 + C_2}{3} \quad (7)$$

$$Guess_3 = \frac{A_3 + B_3 + C_3}{3} \quad (8)$$

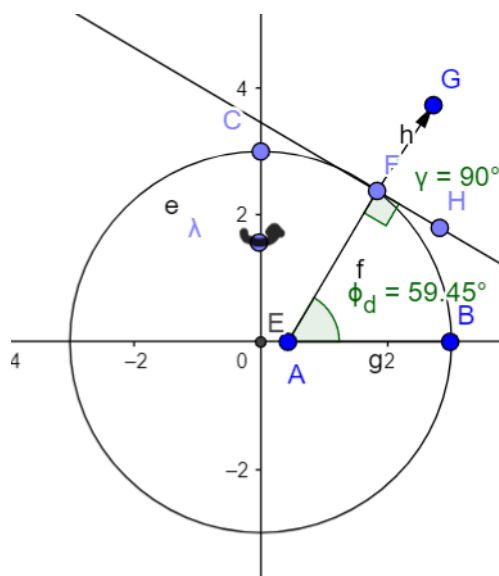
Noua soluție este dată de ecuația (9).

$$Guess_{1,2,3_1} = Guess_{1,2,3_0} - \frac{F(Guess_{1,2,3_0})}{F'(Guess_{1,2,3_0})} \quad (9)$$

În următorul pas, soluția  $Guess_{1,2,3_0}$  este reinițializată cu  $Guess_{1,2,3_1}$ . Algoritmul găsește soluția localizării în 50 de astfel de iterații. Rezultatul obținut va fi în sistemul de coordonate cartezian cu originea în centrul Pământului. Pentru a afla locația în latitudine și



longitudine, se realizează o transformare a coordonatelor obținute în coordonate geodezice, conform figurii 10, deoarece forma Pământului nu este perfect rotundă, ci bombată la ecuator, adică elipsoidală. Aceste coordonate geodezice sunt latitudinea  $\phi$ , ce poate fi nordică sau sudică, longitudinea  $\lambda$ , vestică sau estică și altitudinea raportată la nivelul mării.



Figură 10. Coordonate geodezice  $G(\phi, \lambda, h)$

Pentru implementarea algoritmului de localizare am urmărit soluționarea problemei de trilaterare pentru ecuația de tip GPS de la sursa [27], construită din coordonatele a patru sateliți.

## 4. Documentație tehnică

### 4.1. Prezentare aplicație

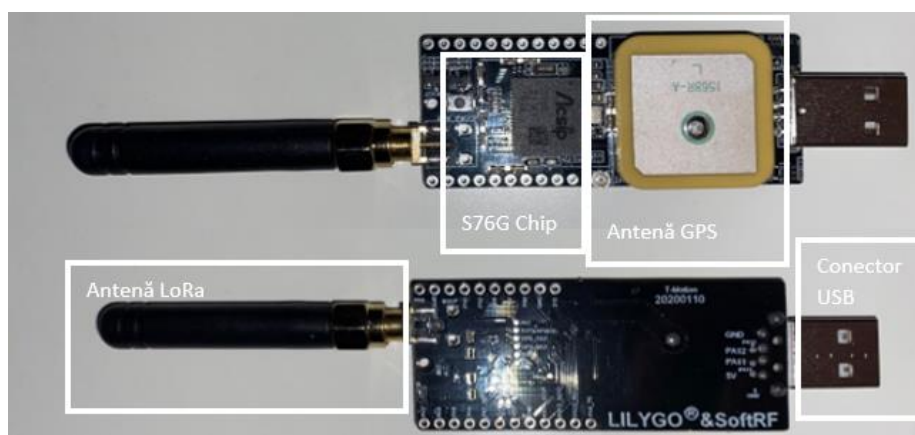
Pentru a începe dezvoltarea proiectului, a fost nevoie de o serie de pași pentru a seta hardware și software colectarea de pachete LoRa. Sistemul utilizat este mobil, putând fi conectat la un acumulator extern portabil, destinat încărcării telefoanelor mobile, ce are port USB tip A. S-a putut observa cantitatea redusă de energie electrică consumată prin faptul că bateria externă se oprea când se făcea doar alimentarea plăcii de dezvoltare. Pentru experiment am folosit un consumator mai mare de 3mAh, precum telefonul mobil, care să mențină acumulatorul extern pornit.

Pentru parametrii transmisiei de tip LoRa au fost alese valorile fixate de 125 kHz pentru lărgimea de bandă (BandWidth), deoarece oferă o transmisie la distanțe lungi, factorul de amplificare (Spreading Factor) a fost ales SF7 deoarece oferă cea mai mare data rate[28] (în condițiile în care BW și CR sunt fixate), transmițându-se 5.5 kbiți/s de la placa de dezvoltare la gateway. Gateway-ul receptor va putea interpreta semnale ce au RSSI mai mare de -123 dBm. În rețeaua LoRaWAN, Coding Rate este fixat la 4/5.

În România, transmisia semnalelor prin modul LoRa se face la frecvența de 868 MHz.

### 4.2. Echipamente utilizate

Pentru a transmite semnale de tip LoRa, a fost folosită placa de dezvoltare LILYGO®&SoftRF S76G T-Motion V1.0[29] care se poate observa în figura 11. Aceasta este un dispozitiv LoRa de clasă A, în care comunicația este inițiată de acesta și are cel mai mic consum, curentul necesar fiind de 18 mA. Funcționarea acestei plăci de dezvoltare se bazează pe S76G SiP[30] (System in Package) și este cel mai mic sistem din lume care integrează următoarele componente hardware: Semtech SX1276 RF Transceiver, un microcontroller (MCU) STM32L073x pe 32 de biți și un receptor SONY CXD5603GF multi-GNSS pentru GPS, GLONASS etc.



Figură 11. Placă de dezvoltare LilyGo Tmotion & Soft RF fotografiată față-spate

Antena Semtech SX1276 RF[31] este un transmițător-receptor ce funcționează pe baza modemului de rază lungă LoRa. Acest modem este capabil să susțină o comunicare cu spectru extins la distanțe ultra-lungi, care este robustă prin imunitatea ridicată la interferențe și fiabilă prin minimizarea în același timp a consumului de energie. LoRa este o soluție care rezolvă compromisul între rază, rezistența la coliziuni și energia consumată.

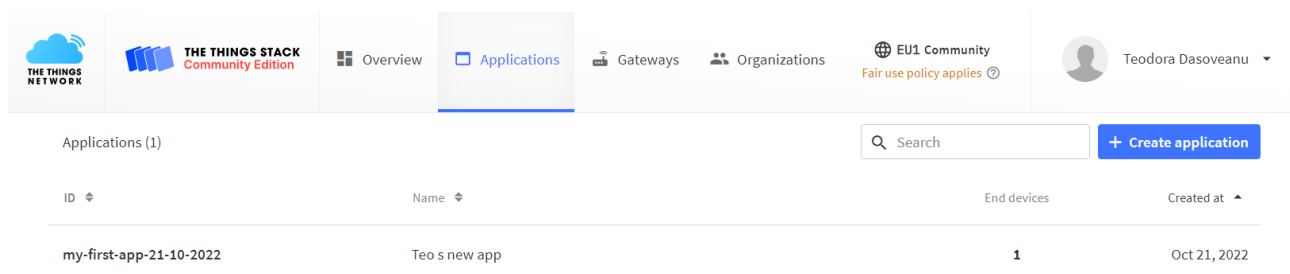
MCU STM32L073x[32] face parte din familia STM32 ce este alcătuită din microcontrollere pe 32 de biți. Acestea sunt bazate pe procesorul 32-bit Arm Cortex – M. Microcontrollerele STM32L0 consumă foarte puțină energie și sunt clasificate ca “ultra-low power”. Valori de referință ale consumului de curent în modul ultra-low power sunt de ordinul sutelor de nA, iar în modul dinamic de funcționare între 49-76  $\mu\text{A}/\text{MHz}$ .

SONY CXD5603GF[33] este un receptor de tipul Global Navigation Satellite System (GNSS) ce consumă foarte puțină energie, curentul maxim suportat fiind de 8 mA. În plus are baterie de lungă durată, este ușor de integrat în pachet, iar poziția livrată are o acuratețe de până la 0.3 metri.

Pentru programarea plăcii de dezvoltare au fost folosite aplicațiile STM32 CubeProgrammer [34] împreună cu mediul de dezvoltare Arduino IDE [35].

Un prim pas pentru setarea plăcii de dezvoltare a fost reîncărcarea sistemului de operare, urmat de conectarea mediului de dezvoltare Arduino la programul CubeProgrammer, deoarece placa de dezvoltare face parte din categoria microcontrollere-lor cu procesorul pe 32 de biți.

Platforma The Things Stack permite utilizarea serviciilor LoRaWAN. Pentru a folosi acest serviciu, a fost necesară crearea unui cont pe platforma The Things Network [36], urmată de crearea unei aplicații, după cum este ilustrat în figura 12, în comunitatea europeană pe 868 MHz și înregistrarea plăcii de dezvoltare în cadrul acesteia.



Figură 12. Captura de ecran : aplicație pe Platforma The Things Stack Community Edition

Pentru activarea dispozitivului în cauză, a fost folosită metoda ABP, pentru că oferă un comportament mai simplu și permite conectarea la o rețea predefinită, cunoscută de gateway-uri. Aceste gateway-uri sunt publice și pot fi observate pe site-ul The Things Network (TTN) la comunitatea București.

Dispozitivul terminal transmite date gateway-ului în pachete uplink, iar gateway-ul transmite aceste pachete serverului de rețea care transmite la rândul său pachetele serverului aplicației.

### 4.3. Tehnologii software

Pentru implementarea proiectului am folosit mai multe tehnologii software după cum urmează :

- Pentru programarea dispozitivului de localizare LilyGo Tmotion pentru recepționare semnal GPS și transmitere pachete LoRa
- Platforma The Things Network pentru decodare payload și transmiterea acestuia prin webhook
- Tehnologia Google Sheet în care este păstrat istoricul măsurărilor
- AppScript, aplicație Google prin intermediul căreia este posibilă salvarea datelor de pe platforma The Things Network în foaia Google și conversia acestuia într-un fișier de tip .csv
- MATLAB, aplicație care permite conversia coordonatelor geodezice în coordonate centrate în originea Pământului și implementarea algoritmului de trilateratie
- Google Earth, care permite o vizualizare a locațiilor obținute marcate pe hartă

#### 4.3.1. Programare dispozitiv terminal LilyGo Tmotion

Programul principal se numește „proiect\_licenta\_apb.ino” și include fișierele header ale fișierelor sursă „gps.cpp”, „loraMAC.cpp”, fișierul pentru configurarea pinilor și declararea constantelor, „config.h”, cât și biblioteca SPI [37] pentru utilizarea dispozitivelor periferice precum antena LoRa. Tot aici sunt implementate și trei funcții:

- setup() – este executată o singură dată la începutul programului și are scopul de a apela funcțiile de setup pentru GPS și loraMAC.
- loop() – este executată repetitiv și are scopul de a apela funcțiile de loop ale fișierelor „GPS.cpp” și „loraMAC.cpp”. Tot aici este verificat dacă s-a stabilizat locația GPS și se poate construi pachetul de date pentru a fi transmis prin LoRa. Această verificare se face la un interval denumit „SEND\_INTERVAL” de 10 secunde, iar în cazul în care la un moment dat se pierde conexiunea GPS pentru cel puțin 50 de secunde, se va afișa mesajul „sleep” în Monitor Serial.
- send() – Această funcție apelează funcția bulidPacket() din fișierul „gps.cpp”. Ca parametru primește un vector de octeți. Dimensiunea vectorului este setată în funcție de cum este construit mesajul LoRa. Acest aspect este important pentru că asupra mesajului se va aplica și o decodificare odată ce a ajuns pe platformă. Datele de interes sunt grupate într-un mesaj denumit payload. Codificarea payload-ului se face după modelul CayenneLPP, deoarece este convenabil de folosit, existând deja un decodificator de payload de tip Cayenne pe platforma The Things Network. După realizarea acestei codificări, este apelată funcția loraMAC\_send(), ce are ca parametrii payload-ul, dimensiunea acestuia, selectarea tipului de mesaj LoRa de transmis prin LoRaWAN, setat în fișierul „config.h” și o variabilă de confirmare de tip bool pentru trimiterea mesajului.

SPI este un protocol sincron de comunicare serială care poate transmite date cu viteză maximă de 20 Mbps, potrivit pentru sisteme ce necesită comunicații rapide, precum modulele radio LoRa. Pentru comunicare, utilizează trei linii cunoscute de toate componentele: MISO, MOSI, Ceasul Serial și o linie pentru selectarea elementului de tip slave, antena LoRa.

Configurarea pinilor plăcii de dezvoltare este un pas important în urmărirea funcționalităților așteptate. Este realizată în fișierul „config.h”. Pinii sunt folosiți atât pentru localizarea GPS, cât și pentru comunicația LoRa.

Pentru utilizarea GPS sunt setați pini de transmitere și primire semnal GPS, de resetare și de setare al acestuia și încă un pin pentru controlarea nivelului voltajului cu scopul de a face compatibile în putere componentele.

Pentru comunicația LoRa sunt setați pini de resetare a tehnologiei LoRaWAN și pentru interfața SPI, LORA\_MISO/MOSI, etc.

Pentru implementarea „gps.cpp” a fost folosită biblioteca TinyGPSPlus [38], ce oferă interpretarea datelor NMEA provenite de la acest modul. Pentru scrierea codului s-a pornit de la exemplul de bază oferit de această bibliotecă în secțiunea de exemple, numit BasicExample, de unde a fost preluată funcția „displayInfo”, ce are ca scop afișarea locației și a timpului în cadrul Monitorului Serial. Pentru a transmite aceste informații mai departe, au fost implementate funcții pentru citirea latitudinii, longitudinii, altitudinii și numărului de sateliți. În acest fișier este implementată și funcția buildPacket după metoda CayenneLPP [39], ceea ce înseamnă ca latitudinea, longitudinea și altitudinea sunt codificate după anumite reguli, iar rezultatul se va afla în variabila statică txBuffer. Payload-ul Cayenne este un vector de 11 octeți: primul octet reprezintă canalul, pentru a identifica de la ce senzor provine acest șir de octeți, următorul octet specifică tipul mesajul, iar pentru dispozitiv cu GPS este 0x88, următorii fiind folosiți pentru transportarea valorilor în baza de numerație hexazecimală.

În fișierul loraMAC.cpp se inițializează modul de transmitere în funcție de cum s-a făcut activarea plăcii de dezvoltare. Implementarea este făcută cu ajutorul bibliotecii MCCI LoRaWAN LMIC [40] și pornește de la exemplul aflat în secțiunea de exemple, numit „ttn-apb”. Pentru realizarea comunicării bazată pe LoRa, se introduc în program codurile NwkSKey, AppSKey și device address generate la înregistrarea dispozitivului pe platforma TTN după cum se observă în figura 13.

Session information	
Session start	May 3, 2023 19:35:41
Device address	26 0B D4 38
NwkSKey	.....
SNwkSintKey	.....
NwkSEncKey	.....
AppSKey	.....

Figura 13. The Things Network - Informații despre sesiunea de rețea generate la înregistrarea dispozitivului terminal

În programul din exemplu au fost adăugate și implementate funcțiile `loramac_setup()`, `loramac_loop()` și `loramac_send()`.

În funcția `loramac_setup()` se instanțiază pinii MISO, MOSI și SCLK pentru interfața SPI și se instanțiază sesiunea de comunicare prin intermediul funcției `LMIC_setSession()` ce are ca parametrii codurile amintite mai sus.

Trimiterea repetitivă a pachetelor se realizează prin intermediul funcției `loramac_loop()`.

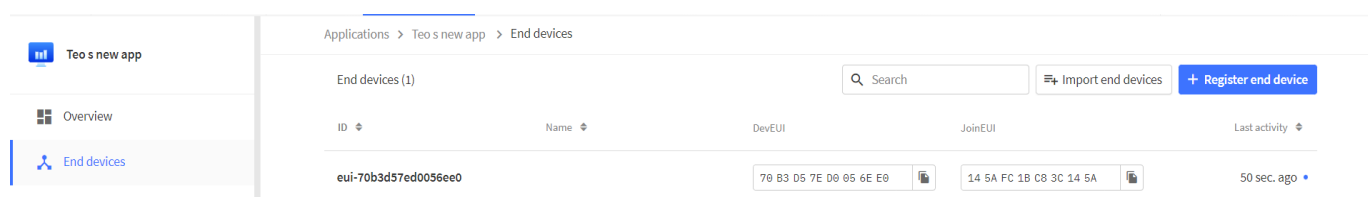
Implementarea funcției `loramac_send()` presupune preluarea variabilelor `gps_port`, `gps_data`, `gps_data_size`, `gps_confirmed`, necesare trimiterii unui pachet. Conținutul de interes, `gps_data`, este obținut prin funcția `buildPacket` prin intermediul parametrului `txBuffer`. Tot aici se programează sarcina de trimitere a unui nou pachet, iar setarea datelor de trimis se face prin funcția `LMIC_setTxData2` ce ia ca parametrii variabilele alocate în `loramac_send()`.

#### 4.3.2. Cum sunt folosite serviciile oferite de platforma The Things Network

Pentru utilizarea serviciilor LoRaWAN oferite de această platformă se face, după cum am mai amintit, înregistrarea pe baza unui cont, după cum se poate observa în figura 14, în colțul dreapta sus. Următorii doi pași sunt crearea aplicației, pe care am denumit-o „Teo s new app” și înregistrarea dispozitivului în cadrul acesteia precum în figura 15. Pentru ca pachetele să fie recunoscute, în mesajul transmis, conform protocolului LoRa, trebuie să apară și codurile generate descrise în subcapitolul 4.1. Echipamente utilizate.



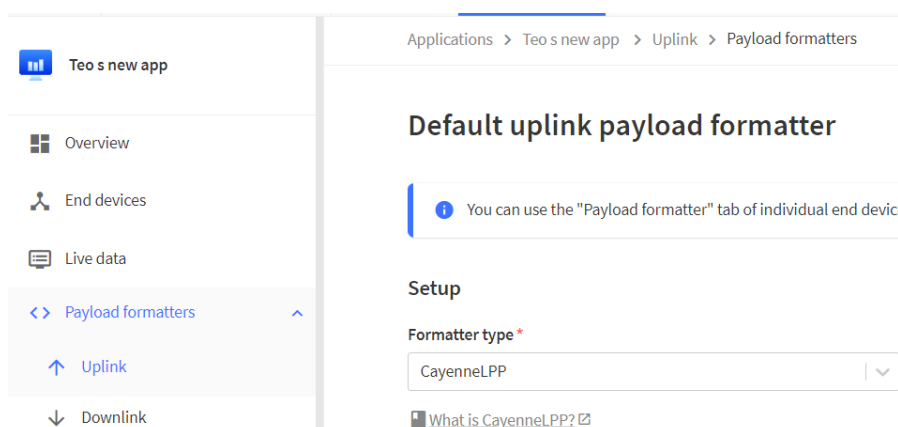
Figură 14. Pachet decodat cu formator CayenneLPP



Figură 15. Dispozitive înregistrare în aplicația Teo s new app

Pentru decodare pachetului de date se folosește opțiunea de Payload Formatter. Acest decodor se poate aplica pe două tipuri de mesaje: uplink și downlink.

Decodificatorul este folosit peste mesajul de uplink, ca în figura 16, deoarece prin intermediul acestuia sunt transmise datele despre locație. Se alege un singur decodificator pentru aplicație deoarece folosesc un singur dispozitiv care transmite două tipuri de mesaje, de test, goale, dacă nu au fost stabilite coordonatele de către GPS și mesajul cu codificarea Cayenne aplicată pentru coordonatele geodezice aflate prin GPS.



Figură 16. Setarea decodificatorului CayenneLPP pentru mesajul de uplink

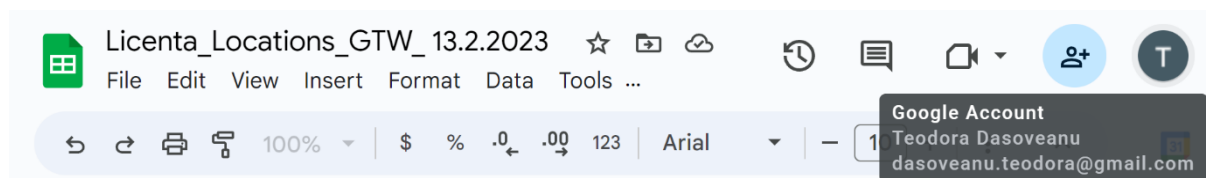
După decodificarea payload-ului, în platformă se poate observa conținutul mesajului ca în figura 17. Se identifică sursa ca fiind GPS. Astfel se specifică ce fel de decodificator să fie folosit. Informația din pachet reprezintă locația ce caracterizează dispozitivul. Datele sunt decodate, obținându-se coordonatele geodezice ce descriu nodul necunoscut.



Figura 17. Captură de ecran The Things Network în care se observă coordonatele geodezice obținute în urma decodificării

#### 4.3.3. Cum sunt folosite serviciile oferite de platforma Google Sheet

Informațiile primite prin LoRAWAN sunt păstrate temporar în platformă, de aceea este nevoie de a redirectiona datele într-un spațiu de stocare permanent și anume cel oferit de serviciul Google Sheet. Pentru această operațiune a fost nevoie mai întâi de crearea unui cont pe platforma Google Drive, deoarece Google Sheet este o aplicație din cadrul acesteia. Odată ce utilizatorul este autentificat, poate crea o foaie de Google Sheet nouă și o va salva cu o denumire precum în figura 18, unde se poate observa și utilizatorul administrator.



Figură 18. Foaia de calcul „Licenta\_Locations\_GTW\_13.1.2023” creată în Google Sheet

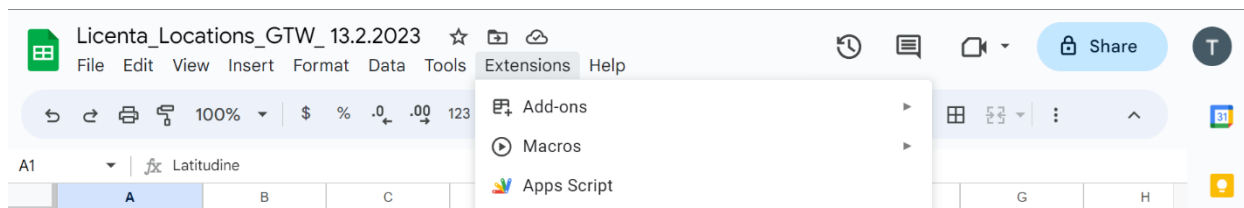
Google Sheet poate fi folosit și ca aplicație de Desktop prin descărcarea pachetului Google Drive. Acesta se comportă ca un spațiu de stocare și se atașează direct în File Explorer ca o nouă partiție. Prin acest spațiu se pot accesa toate documentele salvate pe Google Drive, însă este nevoie de conexiune la rețeaua de Internet pentru a se face legătura cu serviciul de Cloud al platformei.

Google Sheet este o variantă online a aplicației Microsoft Excel, însă are salvarea documentelor externă sistemului personal de calcul.



#### 4.3.4. Cum este folosită aplicația AppScript pentru redirectionarea datelor de pe platforma The Things Network în Google Sheet și pentru conversia într-un fișier de tip .csv

Pentru a face legătura între platforma The Things Network și Google Sheet este nevoie de crearea unei conexiuni prin tehnologia de deployment. Google Sheet oferă implementarea acesteia prin utilizarea aplicației numită AppScript ce poate fi accesată pentru fiecare foaie de calcul, prin selectarea câmpului de Extensii din bara de opțiuni a Google Sheet, conform figurii 19.



Figură 19. Inserare AppScript în foaia de calcul a Google Sheet

Aplicația AppScript automatizează salvarea pachetelor ce sunt trimise sub formă de mesaj JSON de către platforma The Things Network. Pentru aceasta conexiune în aplicația AppScript se realizează un deployment de aplicație în urma căruia se va genera un URL.

Pentru deployment se respectă o serie de pași: pentru început se scrie un script folosit pentru redirectionarea datelor din JSON și scrierea acestora într-o foaie de calcul Google Sheet. Datele sunt organizate în coloane corespunzătoare câmpurilor din JSON. Acest script este realizat în limbajul de programare JavaScript și conține funcțiile:

- `doGet(e)` – este executată când se primește o cerere externă de tip GET și returnează rezultatul apelului funcției `handleResponse(e)`
- `doPost()` – este executată atunci când se primește o cerere POST. Această funcție apelează `MyFunction()` și returnează rezultatul apelului funcției `handleResponse(e)`
- `handleResponse(e)` – primește datele din cereri ca parametru („e”) și le procesează. Pentru a evita conflictul în cazul în care script-ul este deschis simultan de mai mulți utilizatori se utilizează variabila `lock` definită ca `LockService.getPublicLock()`. Conexiunea cu foaia de calcul Google Sheet se realizează prin cheia specificată în proprietățile script-ului conform instrucțiunii `SpreadsheetApp.openById(SCRIPT_PROP.getProperty("key"))`. Variabila „key” este obținută în funcția `setup()`. Pentru a putea fi accesată foaia de calcul, i se specifică numele, cum în fișierul respectiv pot exista mai multe foi de calcul, prin atribuirea var `SHEET_NAME = "Sheet1"`. După care se verifică dacă foaia de calcul este goală sau nu și se determină rândul următor în care se va scrie. Se construiesc doi vectori: „headerRow”, ce conține numele câmpurilor, și „row”, ce va conține valorile corespunzătoare datelor extrase din JSON prin instrucțiunea „`JSON.parse(e.postData.contents)`”.

Câmpurile din document vor fi:

- „latitude” – latitudine obținută prin GPS
- „longitude” – longitudine obținută prin GPS
- „altitude” – altitudine obținută prin GPS
- „time” – timpul la care a fost recepționat pachetul
- „Bandwidth” – lărgimea de bandă
- „Spreading\_factor” – factor de amplificare
- „Frequency” – frecvența, ce este mereu 868 MHz
- „NoGateway” - numărul de gateway-uri
- „gtwid\_i” – denumire gateway
- „time\_i” – timpul la care a fost primit pachetul de către gateway
- „rsi\_i” – puterea semnalului recepționat de către gateway
- „snr\_i” – indicele de semnal raportat la zgomot al unui gateway
- „latitude\_i” – latitudine extrasă din caracteristicile gateway-ului
- „longitude\_i” – longitudine extrasă din caracteristicile gateway-ului
- „altitude\_i” – altitudine extrasă din caracteristicile gateway-ului

Caracterele „\_i” de la final marchează caracteristicile unui gateway cu număr „i”.

Valorile din headerRow sunt scrise în prima linie a foi de calcul. Valorile din row sunt scrise în rândul următor al foi de calcul. Numărul de gateway-uri ce au primit mesajul este dat de variabila câmpul „length” (lungime) al variabilei `jsonData.uplink_message.rx_metadata`

Pentru fiecare obiect gateway se adaugă în vectorul row valorile corespunzătoare.

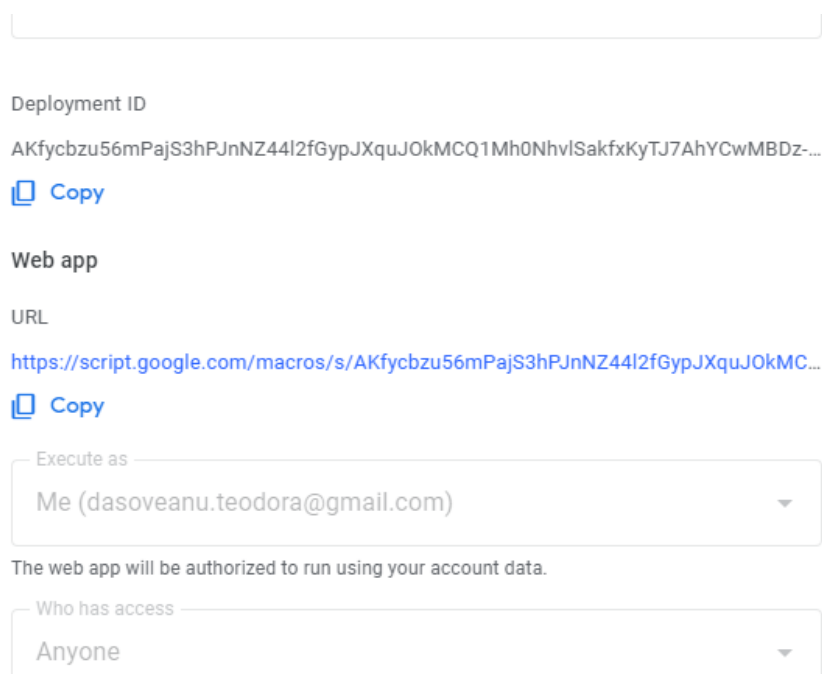
Pentru testare se returnează un rezultat de succes în format JSON, conținând numărul rândului în care s-au scris datele. În cazul unui comportament defectuos, se returnează un rezultat în conformitate în format JSON, conținând mesajul de eroare.

La final, se eliberează fișierul Google Sheet prin „`lock.releaseLock()`”, pentru a permite accesul altor utilizatori.

- `setup()` – este utilizată pentru a identifica ce foaie de calcul este activă și setează cheia fișierului Google Sheet curent în proprietățile scriptului
- `myFunction()` - convertește un spreadsheet Google Sheets în format CSV și creează un fișier CSV în unitatea de stocare Google Drive. Acest lucru se realizează prin deschiderea foi de calcul activă (spreadsheet) utilizând ID-ul obținut prin `SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet()` cu ajutorul `SpreadsheetApp.openById(doc.getId())`. Se obține prima foaie de calcul din spreadsheet folosind „`ss.getSheets()[0]`”, apoi se extrag datele din foaia de calcul utilizând `sheet.getDataRange()` și `range.getValues()`. Datele urmează să fie stocate în variabila `values`. Se inițializează o variabilă `csvStr` care va conține reprezentarea în format CSV a spreadsheet-ului. Parcurgerea valorilor se realizează utilizând două bucle `for`, una pentru rânduri (`i`) și una pentru coloane (`j`). Pentru fiecare valoare din spreadsheet, se verifică dacă celula nu conține date prin compararea cu `null`, dacă are lungimea zero sau este un șir de caractere gol. În acest caz, se adaugă un element vid, șirul row completându-se cu o virgulă. Altfel, se adaugă valoarea la șirul row, urmată de o virgulă. La șirul `csvStr` se adaugă șirul row creat, urmat de sintagmă (`\n`) ce marchează finalul rândului, pentru separarea acestora în formatul CSV. Se creează un obiect `Blob` utilizând `Utilities.newBlob(csvStr, 'text/csv', 'example.csv')`, unde `csvStr` este șirul CSV, 'text/csv'

este tipul de conținut al Blob-ului și 'example.csv' este numele fișierului CSV. Numele Blob-ului creat anterior se setează cu `csvBlob.setName("Date_Lora.csv")`. Se creează un fișier în unitatea de stocare Google Drive utilizând `DriveApp.createFile(csvBlob)`, apoi se obține URL-ul fișierului creat cu `file.getUrl()` și se înregistrează în jurnalul de sistem utilizând `Logger.log()`.

Următorul pas în realizarea deployment-ului este selectarea funcției de `setup()` și executarea acesteia din butonul de „Run” pentru conectarea la spreadsheet-ul în care se vor salva datele. Realizarea propriu-zisă a operației de deployment constă în selectarea butonului de `deploy` și crearea unui nou sub formă de aplicație web, setarea unui nume și a drepturilor de citire și execuție. Pentru că acest script urmează să fie accesat de alt utilizator în afară de creator, se vor seta nivelul de securitate și activare servicii ca în figura 20. Tot în această figura putem observa că deployment-ul a fost realizat cu succes prin primirea unui ID și generarea unui URL.

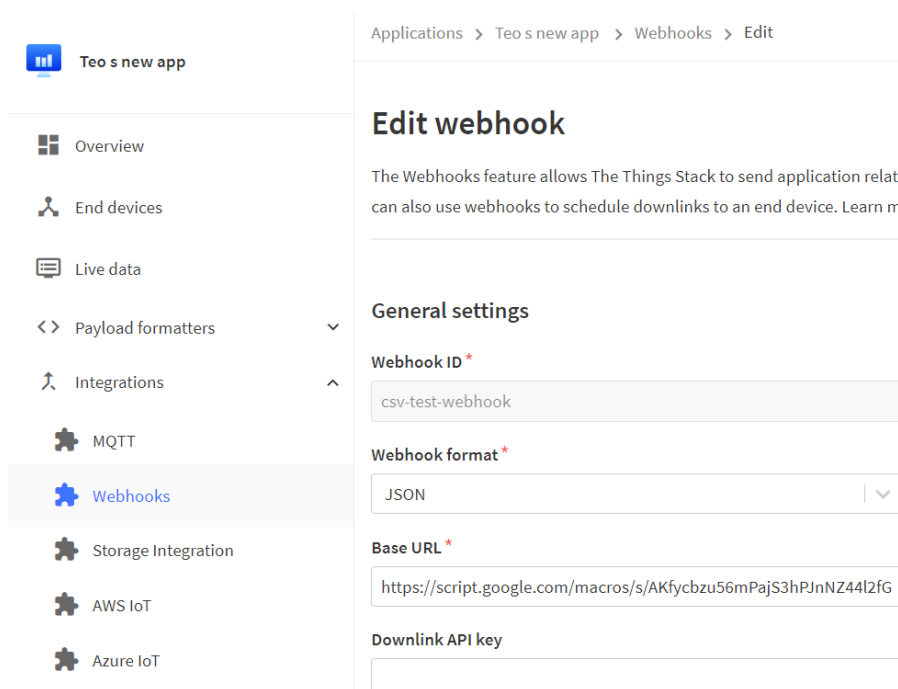


Figură 20. Deployment realizat cu succes

Politicile de securitate ale Google Drive restricționează inițial accesul platformei The Things Network asupra scriptului, de aceea, la prima executare a sa, se va primi pe contul de Gmail o înștiințare de accesare a documentului de către alte surse. Acest mesaj necesită să primească aprobare pentru funcționarea corespunzătoare a webhook-ului ce urmează să fie creat.

Pentru folosirea foii de calcul pentru stocare datelor din platforma The Things Network se inserează URL-ul generat prin deployment în secțiunea de Integrări, webhooks, Base URL din cadrul aplicației „Teo s new app” creată pe platforma TTN, așa cum se poate observa în

figura 21. Tot în acest Webhook se selectează formatul de fișiere JSON pentru transmiterea datelor.



Figură 21. Crearea webhook-ului în platforma The Things Network

#### 4.3.5. MATLAB

După salvarea fișierului spreadsheet „Date\_Lora” cu măsurători în format CSV pe mașina locală de calcul, se face prelucrarea acestora prin intermediul programului MATLAB.

Algoritmul de trilaterare este implementat prin scrierea pașilor de inițializare în funcția „Main.m”, soluțiile vor fi găsite prin metoda Newton- Raphson prin iterații multiple în funcția „MVNewtonsInputs.m”, funcția criteriu este calculată în „FCreator.m”, jacobianul necesar va fi calculat în „JCreator.m”, estimarea distanței bazată pe RSSI este implementată în „RSSI2Distance.m”, iar indicele de pierdere a traiectoriei este obținut prin funcția „distr\_path\_loss.m”.

Programul principal al proiectului se numește „Main.m”. În acesta sunt deschise fișierele din care se citesc și în care se vor scrie soluțiile obținute. Deschiderea fișierului „Date\_LoRa.csv” se realizează prin instrucțiunea „readtable(doc,"Format","auto")”, unde „doc” este o variabilă de tip string și reprezintă numele fișierului, iar cuvântul „auto” are scopul de a-i plasa programului MATLAB sarcina de a identifica prin ce caractere sunt delimitate liniile și coloanele. Datele se extrag în variabila de tip tabel „table\_data”. În fișierul cu date se află atât măsurători cu unul, cu doua, cât și cu trei gateway-uri. Numărul lor este precizat prin câmpul „NoGateways” al „table\_data”, de aceea se realizează o selecție a măsurătorilor în care au fost conexiuni realizate cu trei gateway-uri. Toate măsurătorile de distanțe vor fi făcute în metri, aspect ce este precizat prin „wgs84Ellipsoid('meter’)”. Măsurătorile selectate sunt

parcurs pe rând, iar pentru fiecare în parte se vor realiza conversii în sistemul de coordonate fixat cu originea în centrul Pământului, se va aplica algoritmul de trilaterare și se va transla rezultatul înapoi în sistemul geografic geodezic al Pământului. Pentru manipularea mai ușoară a datelor a fost creată o structură de date denumită „p”, ce are câmpurile lat, lon, altitudine, RSSI, SNR, exponentul de pierdere path\_loss și x, y, z, ce reprezintă transformarea coordonatelor geodezice din lat, lon, altitudine într-un sistem de coordonate 3D ECEF prin funcția `geodetic2ecef(wgs84, p(i,1).lat, p(i,1).long, p(i,1).altitude)`, unde i reprezintă indexul unei măsurători ce cuprinde datele de la trei gateway-uri.

Pentru fiecare gateway se va estima distanța pe baza RSSI. Pentru aceasta se apelează funcția `RSSI2Distance()` care va fi explicată în cele ce urmează în subcapitolul 4.4. *Algoritmi utilizați.*

După ce au fost aflate toate distanțele bazate pe puterea semnalului, se pregătește apelul funcției în care se va aplica algoritmul Newton-Rapson ce rezolvă problema de trilaterare. Pentru parametri acesteia se instanțiază soluția inițială „Guess” cu media aritmetică de pe fiecare dintre cele trei axe x, y, z ale sistemului elipsoid, se creează vectori coloană cu trei elemente pentru fiecare axă, ce reprezintă valorile coordonatelor ale celor trei gateway-uri, cât și un vector al distanțelor dintre placa de dezvoltare și cele trei dispozitive gateway. Soluția va fi salvată într-un vector linie de trei elemente numit „Result”. Acesta conține cele trei coordonate în sistemul elipsoid sau ECEF. Pentru conversia acestora în sistemul geografic geodezic este folosită funcția „`ecef2geodetic`” din pachetul Mapping toolbox-ul. Coordonatele transformate se salvează într-o structură de date definită „loc”, ce conține câmpurile lat, lon, alt. Pentru aflarea altitudinii corecte, cea raportată la nivelul mării, se mai realizează un pas prin folosirea funcției „`geoidheight`”.

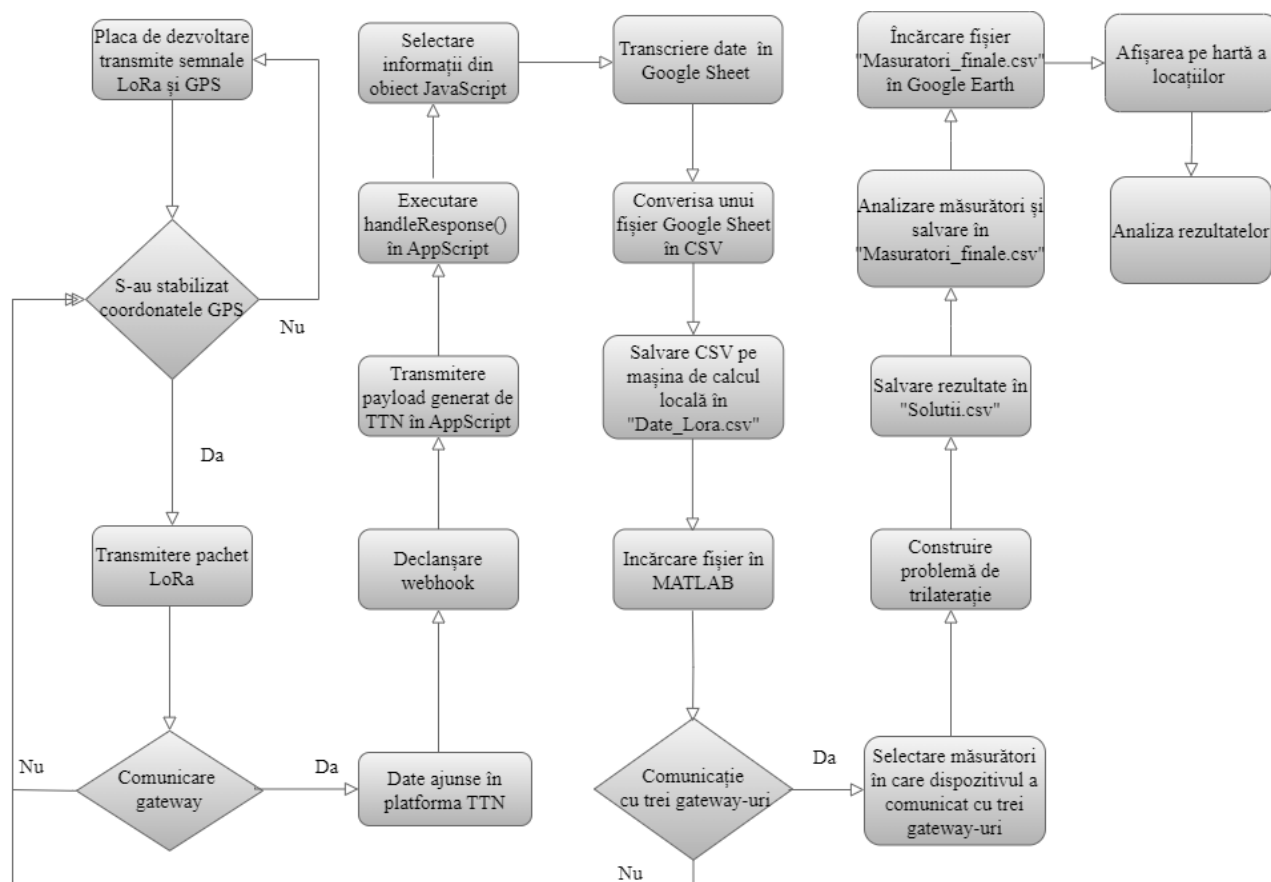
Toate câmpurile legate de o măsurătoare, inclusiv soluția obținută, sunt salvate într-o variabilă de tip tabel, ce va fi înscrisă în documentul `Solution.csv`.

#### 4.3.6. Google Earth

După obținerea soluțiilor în fișierul `.CSV`, a fost făcută o analiză și s-a observat că pentru o serie de măsurători ce implicau gateway-uri aflate la o distanță considerabilă, precum 9 kilometri, nu se putea calcula un exponent de pierdere a traiectoriei din cauza setului de măsurători insuficient asupra gateway-ului respectiv. După o filtrare manuală a acestora, a fost creat fișierul `Masuratori_finale.csv`. Pentru o exemplificare vizuală, a fost folosită aplicația Desktop Google Earth. Pentru încărcarea datelor în aceasta, din meniul „File” se selectează opțiunea „Import”, se alege fișierul dorit, delimitatorul de câmpuri, ce câmpuri să fie folosite pentru poziționarea în latitudine și longitudine, apoi au fost salvate locațiile în „My Places”.

Pentru o diferențiere mai clară a măsurătorilor au fost create câmpuri adiționale cu numărul măsurătorilor și cu sursa de la care provin: GPS, Google Maps sau cele calculate prin rețeaua LoRaWAN. La selectarea unei locații, Google Earth va afișa toate câmpurile din `csv` ale acesteia. Distanțele între puncte sunt marcate și ele pe hartă folosind opțiunea de „Riglă” și salvare distanță.

În diagrama 1 se poate observa rezumatul celor descrise mai sus transpus într-un automat ASM (Algorithmic state machine) al transferului datelor de la emiterea de către placa de dezvoltare ce le și generează, până la momentul localizării pe hartă prin Google Earth. Această digrama este valabilă odată ce localizarea GPS este stabilă.



Diagramă 1. Automat ASM transfer coordonate

#### 4.4. Algoritmi utilizați

Pentru calculul locației este construită problema de trilateratie ce se rezolvă prin metoda Newton-Raphson. Pentru aflarea distanțelor dintre placa de dezvoltare și gateway, necesară în trilateratie, este folosită o metoda de tip „Distance-based localization” și anume cea bazată pe RSSI.

Funcția `RSSI2Distance()` primește ca parametri puterea semnalului „RSSI0” recepționat la o distanță fixată de un metru, RSSI-ul provenit de la un gateway cu care s-a făcut conexiunea și indicele de alterare a traiectoriei, `n_path_loss`. Acest indice este un element ce introduce erori în calculul locației, variind în funcție de variabilele de mediu ce influențează semnalul, precum absorbții, reflexii, refracții, etc.

Pentru estimarea indicelui de pierdere a traiectoriei, asupra unui eșantion de aproximativ douăzeci de măsurători pentru fiecare măsurătoare în care erau recepționate trei gateway-uri, a fost construit script-ul „path\_loss\_estimation.m”.

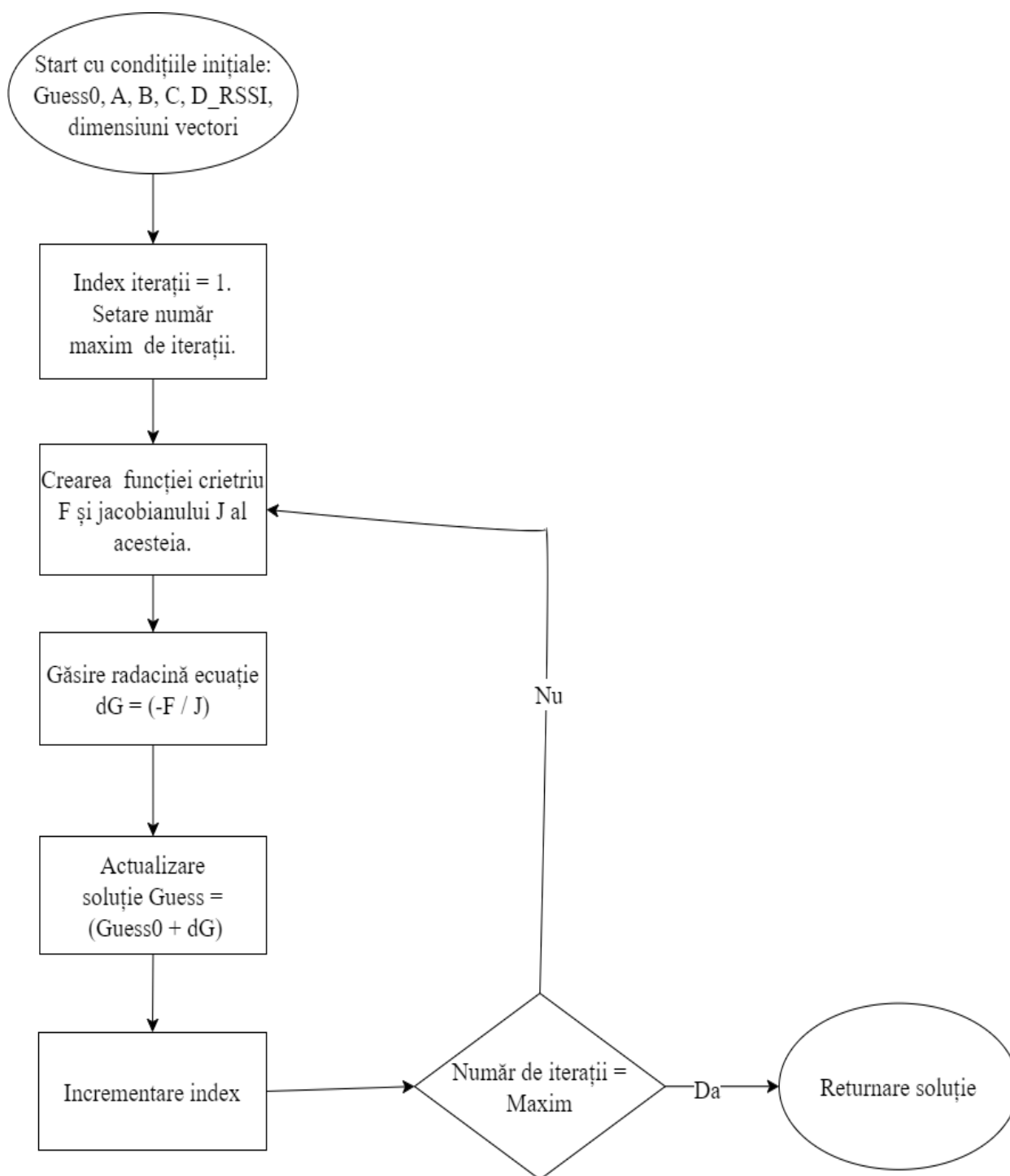
Exponentul de pierdere se calculează pe baza raportului între modulul diferențelor de RSSI de la distanța de un metru față de cel din poziția curentă și logaritmul distanței dintre dispozitivul final și gateway. Pentru calculul acestei distanțe am folosit funcția „distance” din pachetul Mapping toolbox. Exponentul de pierdere folosit în aproximarea locației este determinat prin aproximarea cu media aritmetică a celor obținuți în urma celor douăzeci de măsurători. A fost observat că acest indice produce erori de până la un kilometru chiar și la diferențe de ordinul a 0.01 zecimale. Pentru o aproximare mai precisă era necesară realizarea a cel puțin 100 de măsurători ce să conțină toate cele trei gateway-uri, însă densitatea acestora în orașul București nu a permis crearea setului de date, astfel că exponentul a fost rafinat empiric în ordinul zecimalelor până la obținerea unui rezultat cu precizie între un interval de 500-800 de metri. Exponentul obținut a luat valori în intervalul [2.85, 3.4). Acest rezultat este validat prin compararea cu mai multe lucrări ce studiază variația exponentului path loss în mai multe medii, precum Urban Area Path loss Propagation Prediction and Optimisation [41].

Distanța bazată pe RSSI se calculează prin aplicarea formulei (3) asupra datelor măsurate și calculate.

Un sferoid este un elipsoid care aproximează o sferă. Pentru simplificarea algoritmului de obținere a locației, se va realiza o intersecție de sfere.

Problema de trilaterare se construiește în jurul celor trei gateway-uri recepționate de pachetul LoRa în rețeaua LoRaWAN. Prin schimbul de informații cu fiecare gateway se extrage poziția sa geodezică. În jurul fiecărui gateway se construiesc sfere centrate în poziția acestora și de rază egală cu distanța dintre gateway și placa de dezvoltare, obținându-se un sistem precum sistemul de ecuații (2). Acesta este implementat în FCreator.m și reprezintă funcția criteriu a metodei Newton-Raphson.

Pentru rezolvarea acesteia a fost folosită metoda Newton-Raphson ce funcționează conform diagramei 2.

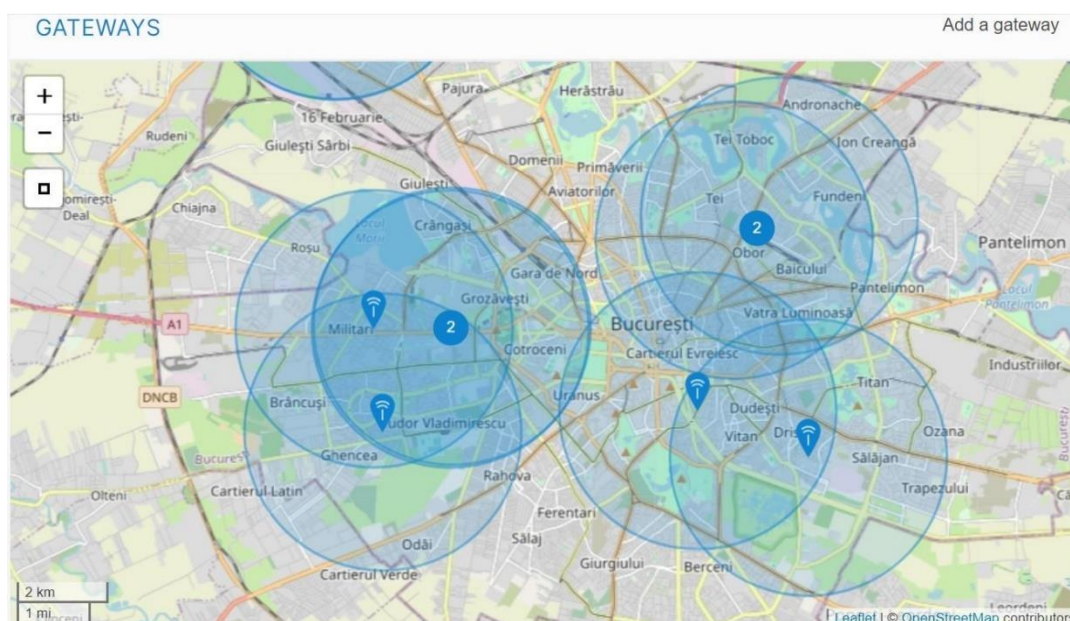


Diagramă 2. Metoda Newton Rapshon implementată în MATLAB



## 4.5. Experimente

Pentru realizarea experimentelor placa de dezvoltare a fost alimentată de un acumulator extern, redând mobilitate sistemului de localizare. Măsurătorile au fost realizate în mediul urban, mai exact în orașul București, latitudine nordică 44.439663, longitudine estică 26.096306, între zona metrou Lujerului și Campus Facultatea de Automatică și Calculatoare. Această zonă a fost aleasă în urma analizării hărții ce poziționează în timp real dispozitivele gateway ce se află în rețeaua LoRaWAN, conform figurii 22.



Figură 22. Hartă dispozitive Gateway accesibilă pe platforma The Things Netowrk în secțiunea Enterprise

Principalul obstacol în punerea în aplicare a problematicei de trilateratie a fost reprezentat de densitatea de gateway-uri, astfel ca măsurătorile colectate care sa provină din schimbul de date cu trei astfel de dispozitive s-au obținut dificil.

Măsurătorile redirectionate de platforma The Things Network sunt salvate în format tabelar în fișierul csv „Date\_Lora”, conform tabelului 3 de tip foaie de calcul.

Latitude	Longitude	Altitude	Time	Bandwidth	Spreading
44.4358	26.0297	89.3	2023-02-	125000	7
44.436	26.0297	97.8	2023-02-	125000	7
44.4303	26.0346	89.7	2023-02-	125000	7
44.4355	26.0476	111.7	2023-05-	125000	7

Tabel 3. Date extrase din documentul „Date\_Lora”

Exponentul de pierdere a traiectoriei este un alt factor care a influențat experimentele prin precizia cu care sunt estimate locațiile. Pentru aproximarea acestuia au fost folosite măsurători care provin de la unul sau două gateway-uri primite într-un interval de cel mult douăzeci de minute, deoarece variabilele de mediu se schimbă continuu. Pierderea semnalului LoRa se datorează coliziunilor cauzate de mediul urban zgomotos: clădiri înalte, mașini, copaci, etc .

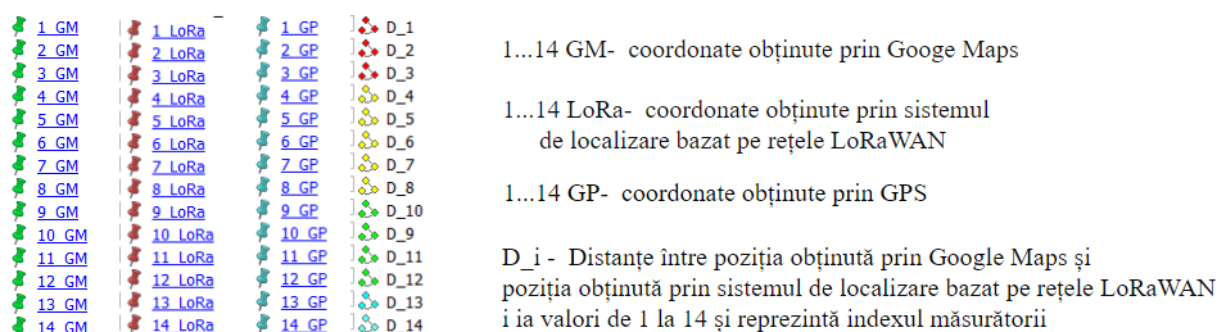
#### 4.6. Rezultate obținute

Măsurătorile finale, cât și soluția găsită prin algoritmul de trilaterare se observă în tabelul 4.

Latitudine	Longitudine	Latitude_GPS	Longitude_GPS	sol_Lat	sol_Long
44.434401	26.034539	44.4344	26.0346	44.43333957	26.02824542
44.434401	26.034539	44.4344	26.0346	44.43465913	26.02834257
44.434401	26.034539	44.4344	26.0318	44.43480524	26.02737899
44.4355	26.0474	44.4355	26.0476	44.43670718	26.04606073
44.4355	26.0474	44.4354	26.0474	44.43613928	26.04010964
44.4355	26.0474	44.4355	26.0474	44.43903629	26.04233294
44.4355	26.0474	44.4355	26.0473	44.43389392	26.04475616
44.4355	26.0474	44.4354	26.047	44.43906698	26.04504967
44.434075	26.036691	44.4339	26.0367	44.43128823	26.02927112
44.434075	26.036691	44.4339	26.0367	44.43916032	26.0095674
44.434075	26.036691	44.4339	26.0367	44.43802473	26.01132183
44.434075	26.036691	44.4339	26.0351	44.4303788	26.02997962
44.43490172	26.0299502	44.4349	26.0299	44.43251836	26.02812406
44.43490172	26.0299502	44.4349	26.0299	44.4344543	26.0351898

Tabel 4. Coordonatele plăcii de dezvoltare de pe Google Maps, GPS, algoritmul de trilaterare din fișierul „Masuratori\_finale.csv”

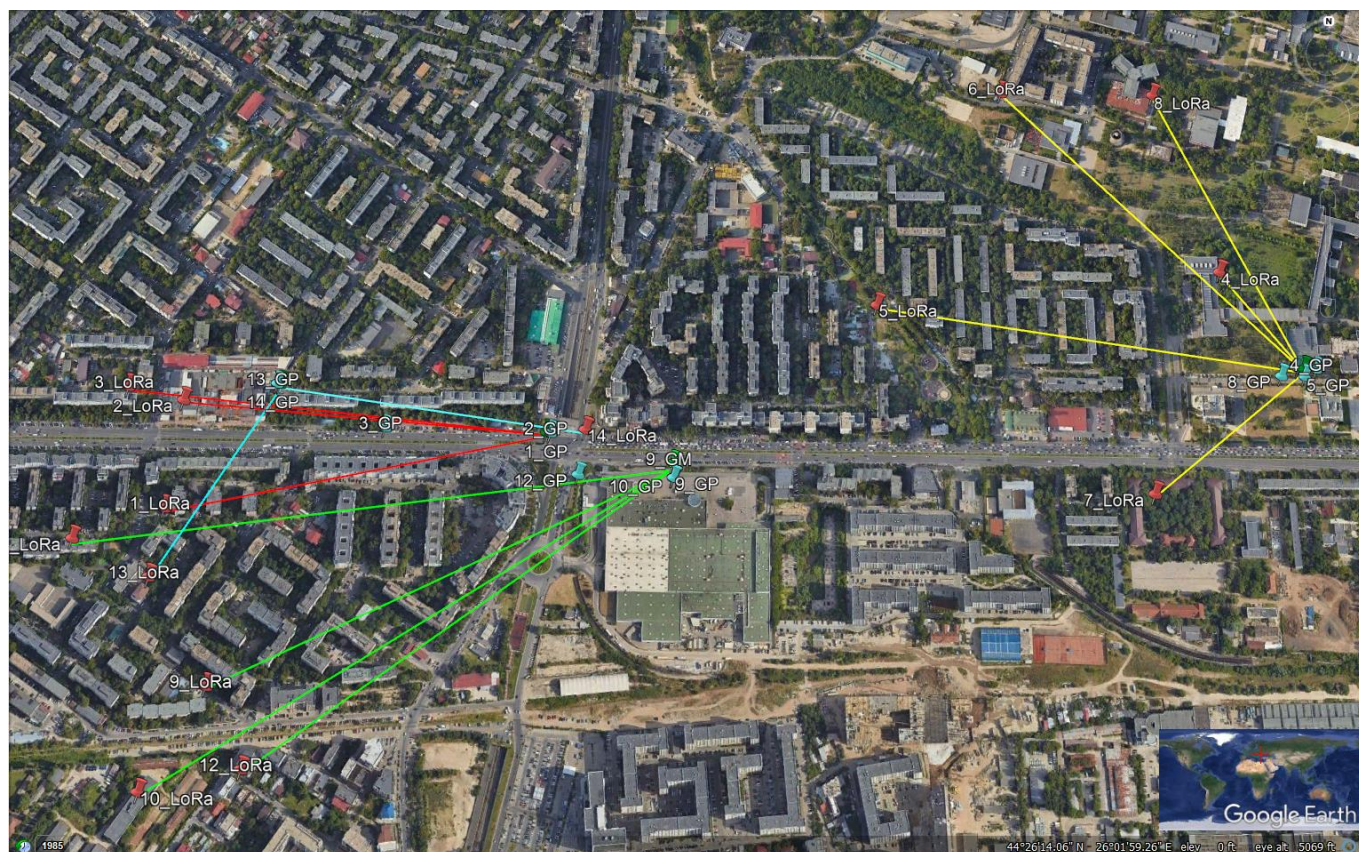
Pentru analiza vizuală a distanțelor, coordonatele obținute au fost afișate în platforma Google Earth. Pentru a identifica mai ușor măsurătorile este creată legenda din figura 23.



Figură 23. Legenda figura 24



Figura 24 reprezintă o captură de ecran a hărții disponibilă în Google Earth. Fiecare locație în care s-au făcut măsurători are asociată o culoare, precum și distanțele față de aceste puncte.



Figură 24. Harta măsurătorilor conform fișierului Masuratori\_finale.csv

## 5. Concluzii și dezvoltări ulterioare

Sistemul de geolocalizare bazat pe rețele LoRaWAN nu este un mijloc de orientare fix care să se folosească în cazul aplicațiilor ce doresc o localizare precisă, ci orientativ, datorită impreciziei generată de distanța ce se calculează pe baza indicelui RSSI sensibil la perturbații multiple și aproximării formei sferoide a Pământului cu o sferă. Indicatorul RSSI este influențat de coliziunile semnalului cu obiectele din mediul urban. Aceste perturbații ale semnalului intervin în precizia algoritmului de trilaterție prin variabila numită path loss exponent ce poate fi cu greu estimată într-un mediu în care densitatea de gateway-uri este mică, adică mai puțin de un gateway la un kilometru pătrat.

Precizia măsurătorilor are un interval între 200-800 de metri și este puternic influențată de numărul de conexiuni făcute simultan cu trei gateway-uri. Cu cât se obțin mai multe măsurători asupra acelorași trei gateway-uri, cu atât precizia crește prin estimarea exponentului de pierdere de traiectorie prin reducerea abaterii față de valoarea reală.

Densitatea de dispozitive gateway și amplasamentul acestora până la 145 de metri altitudine, reducând sfera de propagare a semnalului LoRa, fac dificilă acumularea de pachete recepționate de cel puțin trei gateway-uri. Astfel, problema de trilaterție nu poate fi soluționată. În plus, implicând dispozitivele gateway publice, zona Fresnel nu a putut fi ajustată după interesele lucrării.

Avantajele acestui sistem de localizare constau în dimensiunile reduse și consumul foarte mic de energie, făcând sistemul de geolocalizare bazat pe rețele LoRaWAN un sistem fiabil. Robustetea poate fi îmbunătățită prin creșterea densității de dispozitive gateway.

În comparație cu sistemul Global Positioning System, sistemul bazat pe LoRaWAN are o precizie mai mică cu aproximativ 450 de kilometri în mediul urban, însă pentru estimarea cu acuratețe cât mai mare a locației apare necesitatea unui chip GNSS de a comunica permanent cu constelația de sateliți NAVSTAR. Astfel, consumul de energie a unui chip LoRa față de un chip GNSS este mai mic.

În urma experimentelor făcute, am putut concluziona avantajele unei rețele de tip LoRaWAN conform cu [42]: arie de acoperire mare, energie consumată redusă, comunicare de informații la distanță în medii interioare și exterioare, și mijloc de transmisii de date securizat.

Ca aplicabilitate, acest sistem de localizare poate realiza pe lângă detectarea prezenței într-o sferă definită de gateway-uri a unui dispozitiv și aproximarea locației în care acesta se afla. Acest tip de sisteme de geolocalizare sunt eficiente în mai multe domenii ale afacerilor precum industrii producătoare de bunuri, curierat, agronomie, zoologie sau dezvoltări de proiecte inteligente prin IoT. Sistemul de localizare este aplicabil în poziționarea animalelor de companie, în activități de logistică ce implică localizarea unor obiecte ce ajung în diverse puncte de livrare, urmărirea unui produs într-o linie de fabricație, crearea unor hărți de senzori într-o fabrică, într-un câmp de lucru sau în propria casă.

În dezvoltări ulterioare se urmărește aplicarea acestui sistem de geolocalizare bazat pe rețele de tip LoRaWAN într-un proiect de localizare a animalelor ce constă într-o aplicație Mobile și Web ce folosește baze de date centralizate pentru înregistrarea acestora și monitorizarea deplasării lor ce se poate observa pe o hartă în timp real. Urmărirea în timp real implică dezvoltarea unui deployment în programul MATLAB, care să primească și să execute automat scripturile în care a fost construită și soluționată problematica de trilaterție.

Alte îmbunătățiri pot fi aduse algoritmului Newton-Raphson prin setarea unui prag de tolerare a erorilor și reconstruirea funcției criteriu ca intersecție de corpuri sferoide(elipsoide).

În îmbunătățirea preciziei oferită de sistemul de geolocalizare bazat pe rețele LoRaWAN se poate implementa o metodă adițională de calcul a distanței precum TDOA. Cu aceste doua estimări se poate realiza media aritmetică în obținerea unei locații mai apropiată de cea obținută prin Google Maps, considerată poziția reală a plăcii de dezvoltare.

## 6. Bibliografie

1. Ericsson Research: Jens Malmödin, Pernilla Bergmark, „Exploring the effect of ICT solutions on GHG emissions in 2030,” Ericsson, Stockholm, Sweden, 2015.
2. Semtech, „Benefits of LoRa”, <https://www.semtech.com/lora/why-lora> , [Accesat mai 2023].
3. IOTLABS, „Smart cities use case”, Semtech, <https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech-UseCase-IOTLABS-8.5x11-web.pdf> . [Accesat mai 2023]
4. The Things Network, „The Things Network Bucharest,” The Things Network, <https://www.thethingsnetwork.org/community/bucharest/> , [Accesat mai 2023].
5. H. Kwasme and S. Ekin, "RSSI-Based Localization Using LoRaWAN Technology," in IEEE Access, vol. 7, pp. 99856-99866, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2929212.
6. The Things Stack, „Integrations, LoRa Cloud Geolocation Services” The Things Industry, <https://www.thethingsindustries.com/docs/integrations/lora-cloud/geolocation-services/> , [Accesat iunie 2023].
7. Karthik Ranjan in Inside Out, Semtech's Corporate Blog, „Launching LoRa Cloud™ Locator Service to Evaluate Ultra-Low Power Asset Tracking With LoRa Edge™,” Semtech, 21 June 2022, <https://blog.semtech.com/launching-lora-cloud-locator-service-to-evaluate-ultra-low-power-asset-tracking-with-lora-edge> , [Accesat iunie 2023].
8. Formula, „History of Navigation at Sea: From Stars to the Modern-Day GPS,” Formula, iulie 2019, <https://www.formulaboats.com/blog/history-of-navigation-at-sea-from-stars-to-the-modern-day-gps/> , [Accesat februarie 2023].
9. Kumar, S. (2021). Fundamentals of Internet of Things (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781003225584>
10. Ge Yang, Yongsheng Yan, Haiyan Wang, Xiaohong Shen, Improved robust TOA-based source localization with individual constraint of sensor location uncertainty, Signal Processing, Volume 196, 2022, 108504, ISSN 0165-1684, <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2022.108504>.

11. L. ARSENOIU, „Procesarea semnalelor digitale, 11.6 Semnale Chirp,” <https://sites.google.com/site/prelucrareasemnalelordigitale/ghid-dsp/11-perechi-de-transformate-fourier/11-6-semnale-chirp> , [Accesat mai 2023].
12. LoRa Alliance, "Documentation", Documentatie LoRa si LoRaWAN <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/> , [Accesat noiembrie 2022] .
13. Sphinx-quickstart, "LoRa", "Fresnel zone", Mobilefish, Documentatie zona Fresnel <https://lora.readthedocs.io/en/latest/#fresnel-zone> , [Accesat noiembrie 2022].
14. LoRa Networking Guide, "Transmission modes ",GitBook, [https://development.libelium.com/lora\\_networking\\_guide/transmission-modes](https://development.libelium.com/lora_networking_guide/transmission-modes) , [Accesat noiembrie 2022].
15. B. C. O. A. Platform, „Chapter 3: LPWAN”, <https://pressbooks.bccampus.ca/iotbook/chapter/lpwan/> . [Accesat mai 2023].
16. The Things Network, „LoRaWAN”, The Things Industries , [Interactiv]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/> . [Accesat martie 2023]
17. The Things Stack, „ABP vs OTAA,” The Things Stack, [Interactiv]. Available <https://www.thethingsindustries.com/docs/devices/abp-vs-otaa/> . [Accesat mai 2023].
18. A. Gladisch, S. Rietschel, T. Mundt, J. Bauer, J. Goltz and S. Wiedenmann, "Securely Connecting IoT Devices with LoRaWAN," 2018 Second World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4), London, UK, 2018, pp. 220-229, doi: 10.1109/WorldS4.2018.8611576
19. The Things Network, „Device Classes,” LoRa Alliance, <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/classes/> . [Accesat iunie 2023].
20. MATLAB and Simulink, „Mapping Toolbox,” MathWorks, [Interactiv]. Documentati pachet MATLAB Mapping: <https://www.mathworks.com/help/map/> . [Accesat februarie 2023].



21. Schubert, G.. (2007). Treatise on Geophysics. 10.1016/C2009-1-28330-4.
22. J. R. Clynnch, „Geodetic Coordinate Conversions,” Naval Postgraduate School, 2002, <https://www.oc.nps.edu/oc2902w/coord/coordcvt.pdf> , [Accesat martie 2023].
23. LoRa Alliance, „RSSI and SNR,” The Things Network, Documentatie indicatori semnal: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/rssi-and-snr/> , [Accesat martie 2023] .
24. Mathuranathan, „Log Distance Path Loss or Log Normal Shadowing Model,” GaussianWaves, 2013, <https://www.gaussianwaves.com/2013/09/log-distance-path-loss-or-log-normal-shadowing-model/> [Accesat februarie 2023] .
25. W. S. Q. W. H. G. Q. F. Fengjun Shang, „A Location Estimation Algorithm Based on RSSI Vector Similarity Degree,” SAGE Journals Home, 2014.
26. S.J. Garrett, Chapter 9 Solutions, Editor(s): S.J. Garrett, Introduction to Actuarial and Financial Mathematical Methods, Academic Press, 2015, Pages 411- 463, ISBN 9780128001561, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800156-1.00013-3>
27. A. B. S. J. a. T. R. Harnam Arneja, „Solving the GPS Equations,” 2017, <http://mason.gmu.edu/~treid5/Math447/GPSEquations/>, [Accesat februarie 2023].
28. LoRa Alliance, "Spreading Factors" <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/spreading-factors/> , The Things Network, [Accesat februarie 2023].
29. LILYGO, „LILYGO,” LILYGO, 2020. [Interactiv]. Documentatie placa de dezvoltare: [http://www.lilygo.cn/prod\\_view.aspx?Id=1254](http://www.lilygo.cn/prod_view.aspx?Id=1254) , [Accesat noiembrie 2022].
30. LoRa Alliance, „LoRa Sip Module S76G,” AcSIP, Documentatie chip: [https://lora-alliance.org/lora\\_products/lora-sip-module-s76g/](https://lora-alliance.org/lora_products/lora-sip-module-s76g/). [Accesat noiembrie 2022].
31. Semtech, "SX1276", Documentatie Antena SX1276 <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lor-connect/sx1276> , [Accesat noiembrie 2022]
32. STMicroelectronics, "STM32L0 Series", Documentatie microncontroller STM32L073x: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32l0-series.html> , [Accesat noiembrie 2022]



33. Sony, GPS/GNSS Receiver, <https://www.sony-semicon.com/en/products/lsi-ic/gps.html>
34. STlife.augmented, „STM32CubeProg”, STMicroelectronics, 2023, Detalii program STM32CubeProg : <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeprog.html> , [Accesat noiembrie 2022]
35. ARDUINO, „Arduino” , Detalii program Arduino: <https://www.arduino.cc/en/software> , [Accesat noiembrie 2022].
36. The Things Stack, „The Things Network”, The Things Stack, Documentatie The Things Network: <https://www.thethingsnetwork.org/> , [Accesat noiembrie 2022].
37. Arduino, „SPI”, ARDUINO, [Interactiv]. Documentatie SPI : <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/spi/> . [Accesat noiembrie 2022].
38. M. Hart, „TinyGPS++”, Arduiniana, Documentatie TinyGPS++: <http://arduiniana.org/libraries/tinygpsplus/> . [Accesat noiembrie 2022].
39. myDevices, „Cayenne Low Power Payload”, myDevices, [Interactiv]. Documentatie Cayenne Low Power Payload: <https://docs.mydevices.com/docs/lorawan/cayenne-lpp> . [Accesat noiembrie 2022].
40. M. K. T. M. C. W. F. R. IBM, „MCCI LoRaWAN LMIC library” , ARDUINO, [Interactiv]. Documentatie LMIC: <https://reference.arduino.cc/reference/en/libraries/mcci-lorawan-lmic-library/> . [Accesat noiembrie 2022].
41. Isabona, Joseph. (2013). Urban Area Path loss Propagation Prediction and Optimisation Using Hata Model at 800MHz. IOSR Journal of Applied Physics. 3. 8-18. 10.9790/4861-0340818.
42. The Things Industries, „Why you should use LoRa technology and LoRaWAN® for your next IoT use case”, The Things Industries, 2 2 2022. <https://www.thethingsindustries.com/news/why-you-should-use-lora-technology-and-lorawan-for-your-next-iot-use-case/#:~:text=Long%20range%3A%20LoRaWAN%20provides%20for,and%20by%20using%20low%20power> , [Accesat iunie 2023]