

PARTENERIATE ÎN DOMENII PRIORITARE
Proiect Colaborativ de Cercetare Aplicativă (PCCA)
“ Scalable Radio Transceiver for Instrumental Wireless Sensor Networks”
(Echipament radio de emisie recepție scalabil pentru rețele instrumentale de senzori
fără fir)
Nr. Contract 20/2012

RAPORTUL ȘTIINȚIFIC și TEHNIC
(RST)

**“ Simularea transceiverului și a rețelei de senzori țintă și dezvoltarea modelului
experimental la nivel fizic”**

Termen:	Decembrie 2013
Autori:	Simona Halunga, Octavian Fratu, Alexandru Vulpe, Răzvan Crăciunescu, Gabriel Toma, George Suci, Marius Enache, Alexandru Marțian
Participanți:	UPB, IFIN-HH, BEIA
Etapa:	II. Simularea transceiverului și a rețelei de senzori țintă și dezvoltarea modelului experimental la nivel fizic
Activitatea:	0. Studiu privind arhitectura modelului experimental. Specificarea arhitecturii sistemului; 1. Analiza modalităților de triggerare a detectoarelor de astroparticule, a tehnicilor de sincronizare temporală a acestora și determinarea constrângerilor de QoS; 2. Proiectare și realizare model experimental. Partea I: prelucrări de semnal la nivel fizic; 3. Experimentarea și testarea modelului experimental. Partea I: prelucrări de semnal la nivel fizic
Natura:	Raport de etapă

1.1 *Obiectivele etapei curente*

În această etapă, având titlul „Simularea transceiverului și a rețelei de senzori țintă și dezvoltarea modelului experimental la nivel fizic” și termenul de 31 noiembrie 2013, s-a urmărit:

- Identificare principalelor cerințe ale arhitecturii sistemului experimental ;
- Specificarea unui model de arhitectură pentru modelul experimental;
- Analiza modalităților de triggerare a detectoarelor de particule; Analiza studiilor de caz;
- Tehnicile de sincronizare temporară pentru detectoarele de astroparticule.
- Cerințele de QoS ale detectoarelor de astroparticule și consecințele acestor cerințe asupra arhitecturii sistemului
- Proiectarea nivelului fizic al sistemului experimental pe baza modelului de arhitectură.
- evaluarea necesarului de resurse pentru dezvoltarea modelului experimental;
- Experimentarea și testarea nivelului fizic al modelului experimental;

1.2 *Rezumat*

Tabelul 1.1 Activitățile derulate în Etapa 2 a proiectului

Activități	Responsabil activitate
A II.1a. Studiu privind arhitectura modelului experimental. Specificarea arhitecturii sistemului.	CO (UPB-3CPS)
A II.1b. Studiu privind arhitectura modelului experimental. Specificarea arhitecturii sistemului.	P2 (BEIA)
A II.1c. Studiu privind arhitectura modelului experimental. Specificarea arhitecturii sistemului.	P1 (IFIN-HH)
A II.2a. Analiza modalităților de triggerare a detectoarelor de astroparticule, a tehnicilor de sincronizare temporală a acestora și determinarea constrângerilor de QoS aplicabile transceiverului de comunicații radio.	P1 (IFIN-HH)
A II.2b. Analiza modalităților de triggerare a detectoarelor de astroparticule, a tehnicilor de sincronizare temporală a acestora și determinarea constrângerilor de QoS aplicabile transceiverului de comunicații radio.	CO (UPB-3CPS)
A II.3. Proiectarea și realizarea modelului experimental. Partea I: Prelucrări de semnal la nivel fizic.	CO (UPB-3CPS)
A II.4a. Experimentarea și testarea modelului experimental. Partea I: Prelucrări de semnal la nivel fizic.	P2 (BEIA)
A II.4b. Experimentarea și testarea modelului experimental. Partea I: Prelucrări de semnal la nivel fizic.	CO (UPB-3CPS)
A II.5a. Participarea la manifestări științifice și diseminarea rezultatelor. Elaborarea de articole și comunicări științifice.	CO (UPB-3CPS)
A II.5b. Participarea la manifestări științifice și diseminarea rezultatelor. Elaborarea de articole și comunicări științifice.	P1 (IFIN-HH)

În plus față de efortul de documentare desfășurat pentru atingerea obiectivelor de mai sus, s-a desfășurat o activitate paralelă de realizare a premizelor pentru activitatea celui de-al treilea an de desfășurare a proiectului. Astfel, s-au realizat mai multe achiziții de echipamente și accesorii pentru asigurarea bunei desfășurări a proiectului.

2 Studiu privind arhitectura modelului experimental. Specificarea arhitecturii sistemului.

2.1 **INTRODUCERE**

O rețea de senzori wireless (WSN) constă dintr-un număr de noduri de senzori (câteva zeci de mii), cu capacitate de stocare, prelucrare și transmitere a datelor și are, de multe ori, o stație de bază de calcul.

În rețele de senzori wireless problema cheie o reprezintă utilizarea eficientă a energiei, deoarece nodurile de senzori funcționează în regim de energie - constrânsă. În plus, față de utilizarea eficientă a energiei, în conformitate cu cerințele diferitelor aplicații, rețele de senzori wireless trebuie să îndeplinească performanțe diferite, referitoare la întârzierea pachetelor în rețea, fiabilitatea de transmitere a datelor și conectivitatea rețelei.

2.2 **STUDIUL PRIVIND ARHITECTURA**

2.2.1 **Arhitectura nodurilor de senzori wireless**

În stadiul de proiectare, în care sunt alese componentele unui nod senzorial wireless, factorii decisivi sunt mărimea, costul și energia consumată iar acestea trebuie să asigure o calitate acceptabilă pentru puterea computațională, și comunicații în general. Pentru a realiza un model corect, ce poate fi utilizat în dezvoltarea și alegerea soluțiilor de implementare fizică a nodurilor dintr-o rețea senzorială wireless, este necesară modelarea și corelarea tuturor blocurilor din care acesta este construit [1].

Un nod WSN integrează senzorul, blocul de procesare de semnal, blocul de colectare și stocare de date, partea de procesare a informațiilor și partea de comunicație wireless, împreună cu sursa de alimentare pe un singur cip. Arhitectura unui micro-senzor tipic este prezentată în Figura 2.1.

2.2.2 **Rețele ad-hoc versus rețele de senzori**

Majoritatea rețelelor WSN utilizează modelul de arhitectură de rețea ad-hoc, care poate fi văzută ca o colecție de noduri wireless, posibil mobile, ce se pot auto-configura pentru a forma rețeaua, fără a necesita existența unei infrastructuri. Nodurile mobile dețin controlul necesar, și participă la rețea într-o manieră distribuită. Arhitectura de tip ad-hoc este foarte atractivă pentru rețelele de senzori din mai multe motive [2]:

- acest tip de arhitectură elimină dificultățile pe care le implică o infrastructură predefinită (nodurile sunt adăugate la cerere pentru a înlocui nodurile defecte sau deconectate, și de asemenea se retrag din rețea fără a afecta funcționalitatea celorlalte noduri);
- rețelele ad-hoc pot fi integrate ușor în aplicații specifice;
- arhitectura este foarte robustă;
- eficiența energetică poate fi îmbunătățită prin intermediul comunicațiilor realizate în mai multe salturi (deoarece propagarea respectă o lege exponențială cu distanța de transmisie, puterea necesară transmisiei semnalului poate fi economisită cu câteva ordine de mărime pentru o cale multi-salt pe distanțe mici față de calea cu un singur salt pentru aceeași distanță);
- rețelele ad-hoc au avantajul refolosirii lărgimii de bandă, care beneficiază de asemenea de pe urma divizării saltului singular pe distanță mare în salturi pe distanță mică [3].

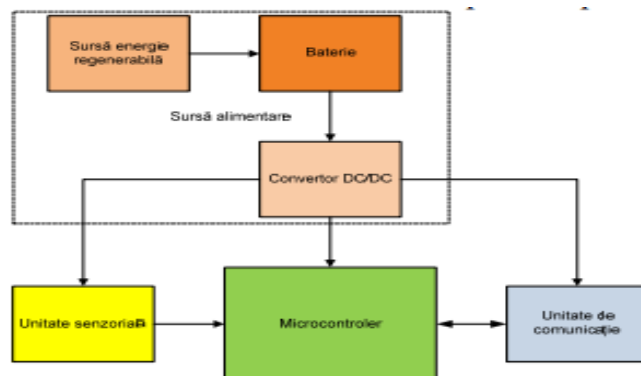


Figura 2.1 Arhitectură nod WSN

2.2.3 Standarde și platforme pentru rețelele wireless

Standardele specifică regulile de comunicație dintre emițător și receptor și permit interoperabilitatea echipamentelor provenite de la furnizori diferiți. Primele standarde dezvoltate pentru rețelele ad-hoc, care astăzi sunt implementate la scară largă, sunt standardul IEEE 802.11 pentru rețele WLAN (Wi-Fi, HiperLAN) și standardul IEEE 802.15.1 pentru comunicații wireless pe distanțe scurte (Bluetooth) [5-8].

2.2.3.1 Studiu de caz: Observatorul Pierre Auger

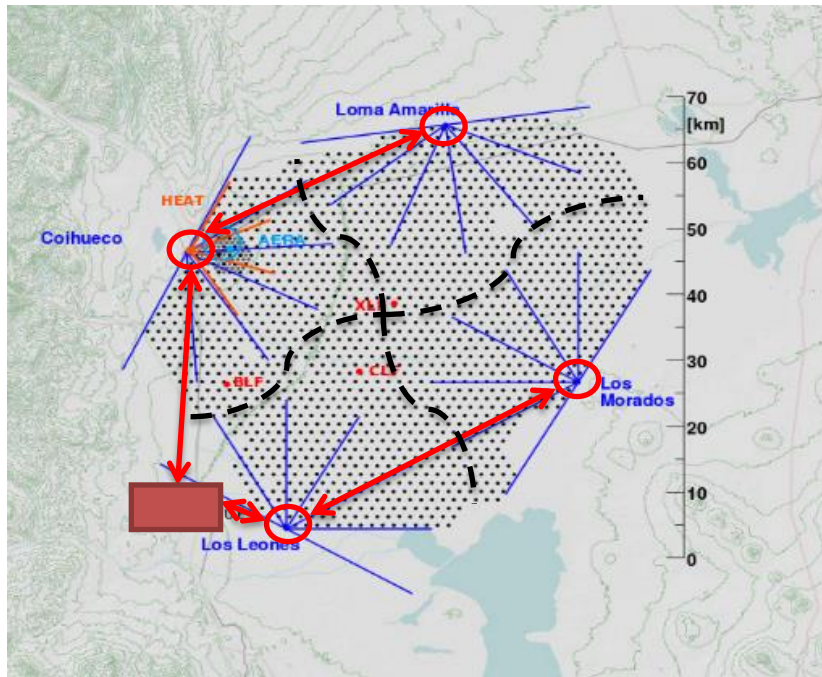


Figura 2.2 Amplasamentul stațiilor de detecție SD (puncte negre) și al telescoapelor de fluorescență (intersecțiile liniilor albastre)

Observatorul Pierre Auger este un sistem hibrid destinat detectării cascadelor atmosferice extinse la cele mai înalte energii cunoscute. Este compus din aproximativ 1600 stații de detecție de tip Water Cherenkov Detector (WCD) și un sistem de telescoape de fluorescență (FD). Suprafața acoperită de acest sistem este de aproximativ 3 000 km² (Figura 2.2) [9]. De asemenea, în figura 2.2 se pot observa amplasamentul stațiilor de detecție SD (puncte negre) și al telescoapelor de fluorescență (intersecțiile liniilor albastre; deschiderile dintre liniile albastre redau câmpul vizual al detectorilor de fluorescență); liniile roșii arată direcția de comunicații între turnurile de comunicații plasate lângă fiecare telescop de fluorescență și între turnuri și CDAS; liniile curbe negre prezintă schematic modul de împărțire al rețelei de detecție în 4 regiuni corespunzătoare fiecărui turn de comunicații [9]. Datele înregistrate de către detectorii SD sunt prelucrate parțial la nivel local în interiorul fiecărei stații triggerate, urmând ca apoi să fie transmise către un centru de prelucrare-stocare numit CDAS (Central Data Acquisition System). Comunicarea între stații și CDAS este bidirecțională (Figura 2.2) astfel încât CDAS poate face interogări asupra stațiilor participante la înregistrare. Pentru realizarea comunicării dintre CDAS și stațiile de detecție SD la Pierre Auger Observatory a fost aleasă o soluție bazată pe tehnologia TDMA. Astfel, numărul total de stații care intra în componența experimentului a fost împărțit în 4 grupuri (Figura 2.2) în funcție de poziționarea stațiilor și fiecare dintre cele 4 grupuri de stații comunică cu un receptor backbone instalat într-un turn. Între stația de detecție și turn nu pot exista obstacole întrucât comunicarea se face direct (Figura 2.3). Distanța dintre două turnuri alăturate este de aproximativ 30 km. Informația este transmisă către CDAS de la un turn de comunicații către următorul. Limitările soluției alese vin din faptul că într-un interval de timp dat receptorul poate comunica cu un număr maxim de stații, număr impus de tehnologia (TDMA) folosită [9].

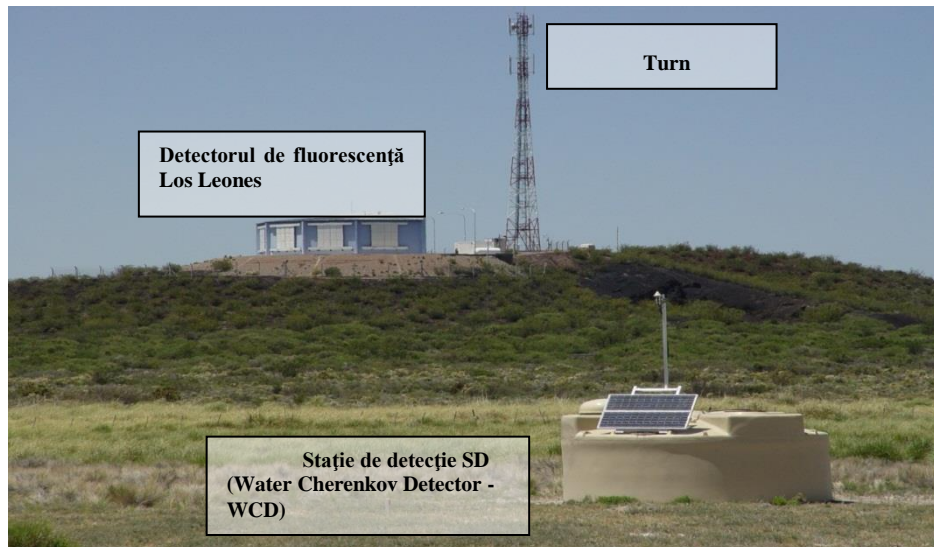


Figura 2.3 Detectorul de fluorescență de la Los Leones, turnul pentru comunicații și cea mai apropiată stație de detecție SD.

2.3 *Specificarea arhitecturii*

2.3.1 **Arhitectura tradițională de senzori de rețea**

Arhitectura tradițională de senzori de rețea se adaptează, în general, unei structuri pe niveluri (de exemplu, structura pe niveluri cu un singur strat). Cele mai multe arhitecturi de rețele de senzori wireless au ca topologie rețeaua plană de senzori fără fir, cum ar fi rețele de senzori wireless cu un singur salt sau rețelele tradiționale de senzori wireless de tip *multi-hop*. O arhitectură tipică de senzori de rețea fără fir tradițională este prezentată în figura 2.4 .

În rețeaua de senzori de tip plat, cu cât mărimea rețelei este mai mare, cu atât mai multe date se pierd în timpul comunicației, reducându-se din performanța rețelei. În același timp, rețeaua extinsă de senzori wireless de tip plat duce la noduri intermediare pentru transmiterea de date, ceea ce înseamnă un consum mai mare de energie, precum și alte probleme. Prin urmare, există un număr mare de aplicații practice în care este mai adecvată o rețea de senzori wireless ierarhică, cum ar fi rețele de senzori wireless IPv6 hibride, rețele de senzori fără fir mobile, etc. [6].

Rețeaua de senzori wireless ierarhică este de obicei compusă din unele tipuri de dispozitive eterogene, care acționează în principal ca noduri *master*, ce sunt responsabile pentru colectarea și transmiterea datelor de la nodurile de senzori care stau la bază.

2.3.2 **Structura rețelei**

Cu scopul de a reduce consumul de energie și întârzierea pachetelor, va fi prezentat în continuare un model de arhitectură ierarhică mobilă a unei rețele de senzori fără fir, cu un număr mare de noduri. În arhitectura de rețea se implementează un număr de noduri *master (high-end)* de rutare în rețelele de telefonie mobilă cu senzori wireless. Aceste noduri *master* de rutare păstrează legătura între ele și sunt responsabile pentru colectarea și transmiterea datelor sensibile de la nodurile de senzori *slave (low-end)*. În același timp, acestea au resurse abundente, și poziția lor rămâne neschimbată. În raport cu nodurile *master* de rutare, nodurile *slave* sunt responsabile doar pentru detectarea de date și raportarea lor. [12], așa cum este ilustrat în fig. 2.5.

2.3.3 **Componentele rețelei - Universal Software-ul Radio periferic (USRP)**

O topologie de rețea realizată și experimentată în ceea ce privește realizarea unui GPS este cea prezentată în figura 2.6:

Software Defined Radio [4] este o tehnologie care evoluează rapid, generatoare de larg interes și răspândită în industrie. O abordare este punerea în aplicație a unui receptor GPS software, definit de tip *non-real time*, folosind o platformă *USRP* și software-ul *GNU Radio*. Sistemul este proiectat, construit, testat și utilizat pentru a achiziționa și procesa semnalele GPS reale. Câștigul sistemului și SNR sunt calculate și determinate. Sistemul este ulterior folosit pentru a determina SNR, care rezultă din diferite niveluri uniforme de cuantificare a semnalului de intrare.

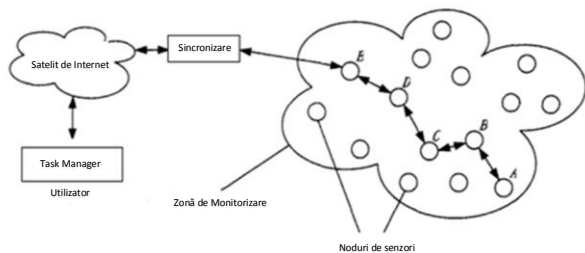


Figura 2.4 Arhitectură tipică de senzori de rețea fără fir tradițională

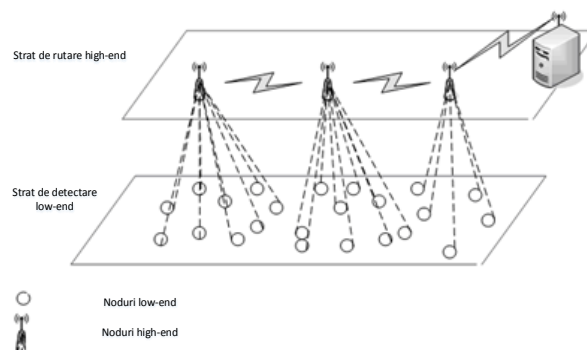


Figura 2.5 Arhitectură ierarhică pentru rețeaua de senzori

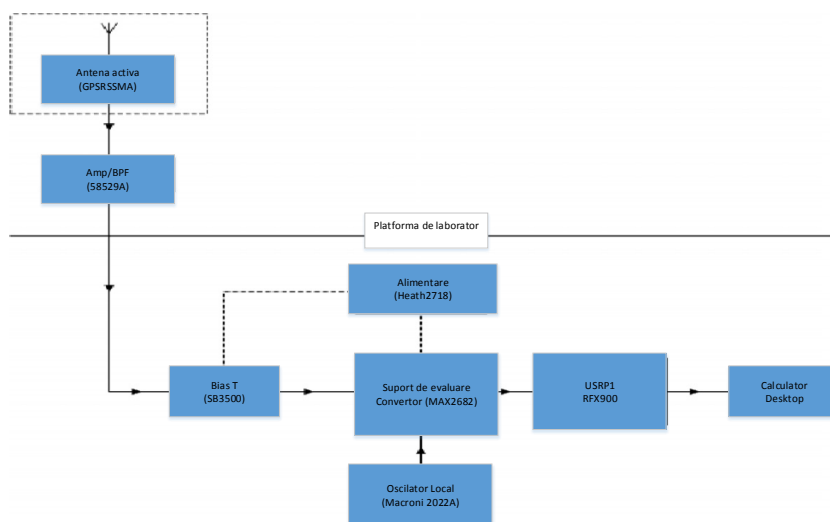


Figura 2.6 Topologie de rețea pentru experimentare rețea de senzori

3 Analiza modalităților de triggerare a detectoarelor de astroparticule, a tehnicilor de sincronizare temporală a acestora și determinarea constrângerilor de OoS

3.1 *Introducere*

După cum se va vedea în cadrul acestui capitol, pentru experimentele de raze cosmice de tip rețea (array) modalitățile de triggerare pentru detectorii de particule individuali sunt dictate de o multitudine de factori și sunt procese complexe. Triggerarea este un proces menit pe de o parte să permită înregistrarea a cât mai multe evenimente EAS și pe de altă parte este proiectat să optimizeze informația înregistrată astfel încât să se minimalizeze probabilitatea înregistrării de evenimente false. Evenimentele false sunt nedorite întrucât transmiterea datelor aferente încarcă inutil rețeaua de comunicații precum și spațiul de stocare pe suportul de memorare date (disc) și de asemenea conduc ulterior spre un timp crescut de prelucrare a datelor.

La un nivel foarte simplificat, triggerarea unui detector este echivalentă cu înregistrarea caracteristicilor semnalului detectat la trecerea particulelor EAS prin volumul sensibil al detectorului. Din punct de vedere al cantității de informație, dimensiunea acestor caracteristici este de ordinul Kb, frecvența cu care trebuie înregistrate variind însă foarte mult în funcție de natura experimentului. Pentru a înlătura semnalele cauzate de zgomote, triggerarea impune stabilirea unui prag minim de semnal a cărui depășire produce înregistrarea datelor. Pentru cazul mai multor detectori care ar trebui să înregistreze simultan un eveniment complex de tip EAS se pot înregistra nu doar caracteristicile semnalelor (e.g. formă, amplitudine) ci și momentul triggerării. Astfel, un circuit de coincidență sau un program de analiză poate sorta sau grupa semnalele provenite simultan de la mai mulți detectori, ceea ce este echivalent cu a spune că s-a detectat un eveniment EAS (în fapt, prin această metodă au

fost descoperite cascadele atmosferice extinse, atunci când fizicianul Pierre Auger a constatat că detectori Geiger Mueller plasați la o distanță oarecare în laborator produceau semnal simultan – el a intuit astfel că un fenomen extins afectează simultan detectorii).

3.2 **Modalități de triggerare**

În continuare vom descrie modalitățile de triggerare pentru câteva experimente de raze cosmice. Se va pune accent pe modalitatea de triggerare folosită la experimentul Pierre Auger, întrucât se urmărește ca, într-o primă fază, sistemul transceiver să funcționeze în cadrul unei astfel de proceduri de triggerare.

3.2.1 **Experimentul WILLI**

Experimentul WILLI [14] este plasat la IFIN-HH, București, România (44° 21' N, 26° E, 75 m deasupra nivelului mării pentru o rigiditate a câmpului magnetic de 5.6 GV) și este destinat măsurării raportului de sarcină al miuonilor din radiația cosmică și măsurătorilor de flux miuonic.

3.2.2 **Experimentul WILLI-EAS**

Experimentul WILLI-EAS [15] a fost dezvoltat pornind de la detectorul WILLI prin adăugarea unei mini rețele de detecție EAS destinată să funcționeze în tandem cu detectorul WILLI (vezi Figura 3.2). Astfel este posibilă efectuarea de măsurători de raport de sarcină pentru evenimente EAS. Mini rețeaua este formată din 12 stații de detecție, fiecare dintre ele conținând 2 plăci scintilatoare de tip plastic cu dimensiunea $0.03 \times 0.475 \times 0.475 \text{ m}^3$, citite fiecare de câte un fotomultiplicator. Rețeaua de detecție este situată la aproximativ 50 m distanță de WILLI.

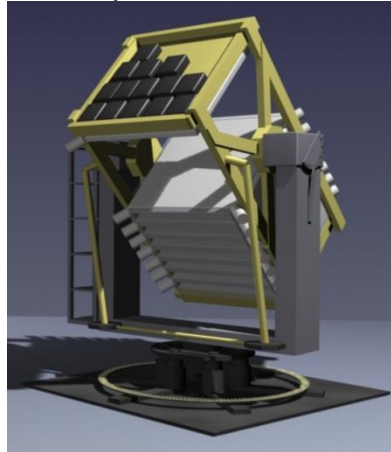


Figura 3.1 Detectorul WILLI

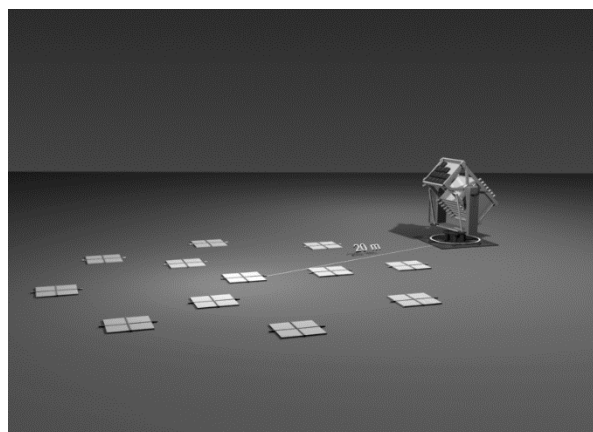


Figura 3.2 Experimentul WILLI-EAS.

3.2.3 **Experimentul KASCADE**

Experimentul KASCADE [16] a fost amplasat la Forschungszentrum Karlsruhe, Germania (acum KIT Karlsruhe), 110 m a.s.l. și a fost proiectat să înregistreze cascade atmosferice inițiate de primare cu energii între 10^{14} și 10^{16} eV.

Una din componentele acestui experiment este așa numita „rețea” (Figura 3.3), un sistem compus din 252 stații de detecție care sunt dispuse pe o suprafață de formă pătrată cu aria de 40 000 m². Distanța dintre stații este de aproximativ 13 m într-o așezare ortogonală. Stațiile sunt grupate în 16 cluster conținând 15 sau 16 stații fiecare. Gruparea stațiilor în cluster, fiecare cluster funcționând ca o mini rețea, a fost o soluție la problemele de sincronizare temporală, probleme care apar datorită dimensiunilor rețelei. De asemenea a fost evitată și problema unei rate foarte mari de numărare: s-a estimat că, funcționând împreună, toate stațiile ar fi produs o rată de numărare de aproximativ 0.5 MHz, cauzată în mare parte de zgomot. Pentru ferestre de numărare de ordinul micro-secundelor (necesare cascadelor înclinate), și pentru rate de numărare precum cele menționate, s-ar fi ajuns în situația în care majoritatea informației înregistrate era zgomot.

3.2.4 Experimentul KASCADE-Grande

Experimentul KASCADE-Grande [17] a fost proiectat să extindă intervalul energetic în care se pot detecta evenimente EAS peste cel accesibil cu ajutorul experimentului KASCADE. Astfel, cu ajutorul KASCADE-Grande se pot efectua observații până la energii de 10¹⁸ eV. Detectorul KASCADE-Grande este format din rețeaua KASCADE care a fost extinsă prin adăugarea a încă 37 stații de detecție (componenta Grande) răspândite pe o suprafață cu formă rectangulară (latura de ~700 m) și într-o dispunere hexagonală. Cele două rețele funcționează în tandem, astfel încât trigger-ul KASCADE este transmis către rețeaua Grande și de asemenea rețeaua Grande transmite semnale de trigger către KASCADE. Întrucât centrele rețelelor KASCADE și Grande nu corespund și sunt situate la o distanță comparabilă cu dimensiunile rețelei KASCADE, un grup de 8 stații a fost amplasat în apropierea centrului Grande pentru a furniza un trigger rapid adițional pentru ambele rețele. Acest grup de stații a fost numit Piccolo.



Figura 3.3 Amplasarea stațiilor de detecție care formează rețeaua KASCADE (un cluster delimitat cu contur roșu).

3.2.5 Experimentul Pierre Auger (componenta Surface Detector - SD)

Experimentele prezentate până în acest moment aveau scopuri și structuri diferite dar din punct de vedere al transmiterii datelor, aveau în comun faptul ca transmiterea se putea realiza pe distanțele scurte prin fir, indiferent dacă acest fir transmite semnale electrice sau era vorba de fibra optică. Această soluție nu mai poate fi folosită și pentru cazul experimentului Pierre Auger, unde distanțele de ordinul zecilor de kilometri fac imposibilă utilizarea unor fire de orice fel pentru transmitere de date. Soluția aleasă a fost aceea a transmiterii fără fir (wireless) [21].

Experimentul Pierre Auger este amplasat în apropierea localității Malargue în Argentina. Este un detector hibrid compus în principal din două sisteme de detecție pentru cascadele atmosferice: sistemul de detectori de fluorescență (FD) și o rețea de stații de detecție de suprafață (SD). În cele ce urmează vom prezenta în detaliu rețeaua SD în special modalitățile de triggerare pentru rețeaua SD.

Sistemul SD (Surface Detectors) este alcătuit din aproximativ 1600 stații de detecție de tip Water Cherenkov Detectors plasate într-o rețea hexagonală pe o suprafață de aproximativ 3 000 km². Fiecare stație este un tanc cu apa în care particulele de mare energie din cascadele atmosferice generează radiație Cherenkov. Radiația Cherenkov este înregistrată cu ajutorul a trei foto-

multiplicatori de mari dimensiuni printr-un sistem FADC la o frecvență de 40 MHz. Sistemul SD este destinat înregistrării eficiente a cascadelor inițiate de primare cu energii peste 10^{19} eV [21].

3.3 Concluzie

Din prezentarea de mai sus reiese cum pe parcursul procedurii de triggerare este necesară comunicarea de informații între CDAS și stațiile SD. Dacă la primele două niveluri de triggerare, T1 și T2, operațiile se efectuează local, pentru nivelul trei, T3, este necesară comunicarea de către stații către CDAS a datelor de triggerare și apoi dinspre CDAS către stații a interogării privind coincidențele între stații. În momentul în care o coincidență a fost identificată și s-a format un eveniment T3, informațiile locale din fiecare stație implicată trebuie transmise către CDAS..

4 Proiectare și realizare experimentarea și testarea model experimental. prelucrări de semnal la nivel fizic

4.1 Introducere

Pentru realizarea modelului experimental, în special a nivelului fizic al acestuia s-a căutat o structură care poate asigura o viteză de transfer ridicată, și un volum mare de date în timp relativ scurt. Aceste două specificații sunt deosebit de importante pentru detecția de radiații și particule cosmice. Astfel atunci când 3 senzori adiacenți semnalează apariția unei "ploi" de radiații cosmice, informația trebuie transmisă imediat la stația de control și prelucrare a datelor, pentru a activa strângerea de informații de la un număr cât mai mare de detectoare aflate în proximitatea acestui "ploi" de particule cosmice.

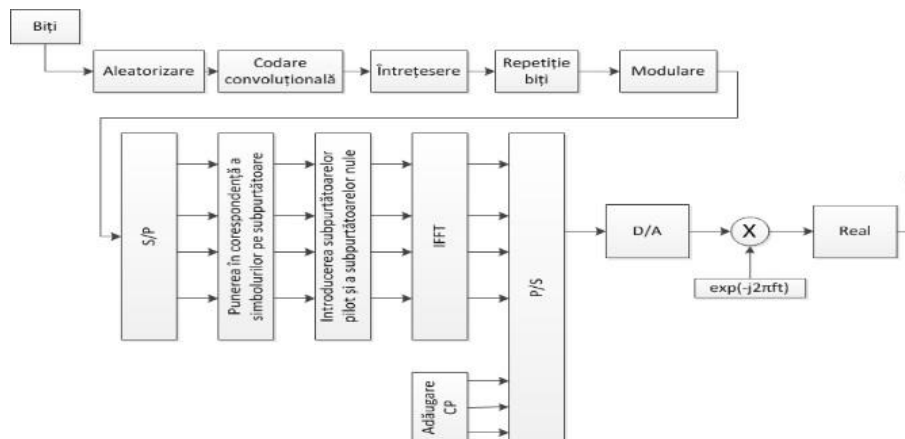


Figura 4.1: Schema bloc a emițătorului OFDM

Pentru a satisface aceste cerințe, la nivelul fizic al sistemului de comunicații se propune ca tehnică de transmitere a datelor tehnica de Multiplexarea prin Diviziune în Frecvență cu purtătoare Ortogonale (OFDM). OFDM este o metodă de multiplexare pentru sistemele de comunicații wireless ce realizează transmiterea datelor în paralel pe mai multe frecvențe purtătoare. Împărțirea benzii în mai multe subpurtaătoare se face prin alegerea celei mai mici diferențe în frecvență între ele astfel încât acestea să rămână ortogonale una față de cealaltă, fapt ce duce la eliminarea interferențelor între subpurtaătoare adiacente (ICI – Inter Carrier Interference).

4.2 Implementarea sistemului OFDM

4.2.1 Emițătorul OFDM

Schema bloc de principiu a unui emițător OFDM este prezentată în Figura 4.1.

4.2.2 Receptorul OFDM

Receptorul OFDM (Figura 4.2) realizează funcțiile complementare emițătorului. Dacă în cadrul standardului IEEE 802.16e structura emițătorului este impusă și nu se pot face multe modificări ale acesteia, structura receptorului este flexibilă și implementarea sa este lăsată la latitudinea celor ce fac implementarea sistemului.

4.3 Modelul experimental – implementarea nivelului fizic pe USRP

4.3.1 Aplicația OFDM

Descrierea platformelor USRP s-a făcut în detaliu în primul raport intermediar din cadrul proiectului SaRaT-IWSN. Ceea ce vom face mai departe este să descriem implementarea practică, pe platformele USRP, a sistemului ales pentru nivelul fizic al sistemului experimental.

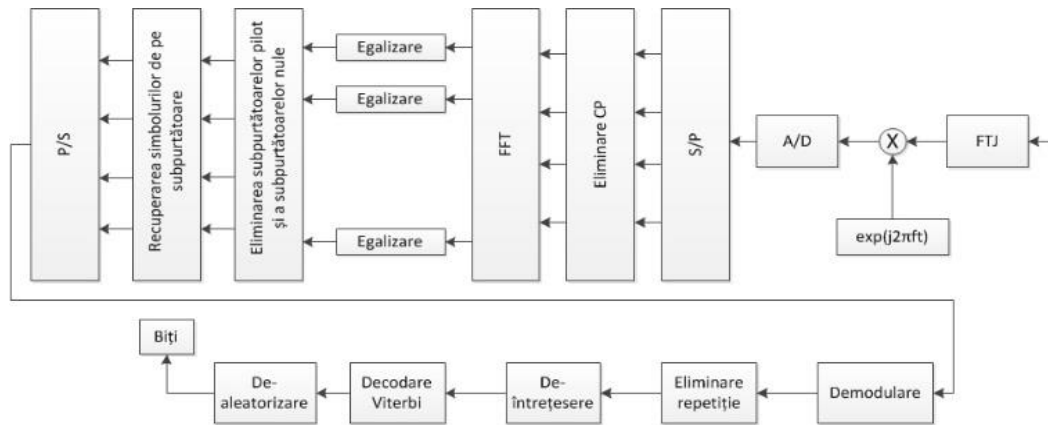


Figura 4.2: Schema bloc a receptorului OFDM

Implementarea pe USRP s-a efectuat prin programarea platformei cu ajutorul GNU Radio.

Astfel s-a proiectat și implementat un lanț de transmisie-recepție pentru a se evalua performanțele sistemului la nivelul fizic. Astfel s-a implementat un sistem OFDM, atât la emițător cât și la receptor și s-au evaluat, experimental, performanțele acestor sisteme.

4.3.2 Configurația experimentală

4.3.2.1 Configurația hardware:

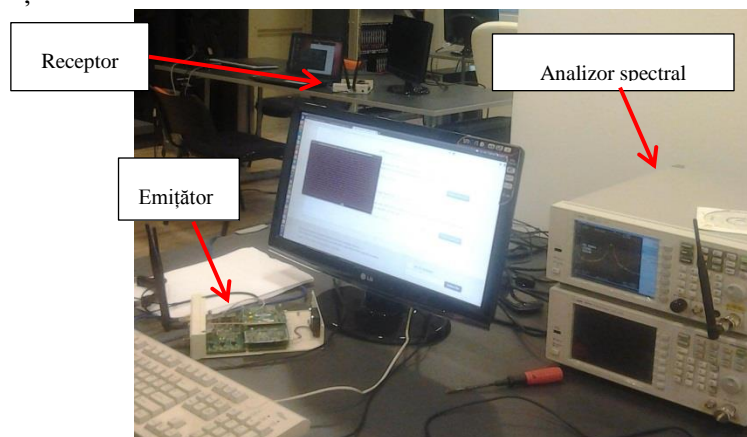


Figura 4.9 Modelul experimental

Emițătorul se compune dintr-un sistem PC desktop conectat la un USRP N210, echipat cu o antenă VERT9000 și un modul de radio-frecvență de tipul WBX Tx/Rx cu posibilitatea de a transmite în banda de 50 – 2200 [MHz]. Receptorul se prezintă identic cu emițătorul. De asemenea se va folosi și un analizor spectral pentru a analiza comportarea semnalului OFDM în frecvență. Distanța dintre ele este de aproximativ 5 metri. Configurația de test se poate observa în figura 4.9.

S-a folosit o distanță atât de mică pentru a se evalua un nou concept de transmitere a datelor de la radiațiile cosmice. În loc să se transmită datele la un centru de comandă și control situat la câțiva kilometri distanță, se dorește prelucrarea momentului de trigger local, apoi volumul mare de date să fie transmis către centrul de comandă și control.

4.3.2.2 Implementarea unui modulator OFDM pe platforma USRP.

În prima etapă informațiile vor fi citite dintr-un fișier și se vor transmite cu ajutorul dispozitivelor USRP, după care o nouă aplicație va evalua problemele de sincronizate în timp și frecvență. Schema emițătorului OFDM, implementat pe USRP, se poate observa în figura 4.10. Pentru transmiterea datelor s-au folosit modulații digitale de tipul BPSK, QPSK, 16QAM, evaluarea făcându-se după primirea datelor și prelucrarea lor la recepție.

A doua etapă de simulare va consta din transmiterea unui simplu semnal cosinusoidal către cel de-al doilea dispozitiv, pentru a se evalua deviația de 45 frecvență și decalajul de timp prin cele două porturi de ieșire ale acestuia pentru toate simbolurile transmise. Ambele tipuri de sisteme

OFDM: comunicațiile fără fir și prin fir sunt susceptibile la interferențele externe. În sistemele fără fir, interferența este cauza emițătoarelor radio sau altor dispozitive electronice montate în apropiere de receptor. În sistemele de transmisiune cu fir, intermodulațiile sunt principala cauză de interferențe; intermodulațiile se manifestă sub prezența unei capacități sau inductivități nedorite de la un circuit sau canal la altul. În figura 4.11 se observă semnalul OFDM recepționat de USRP-ul receptor, semnal prezentat atât în timp cât și în frecvență.

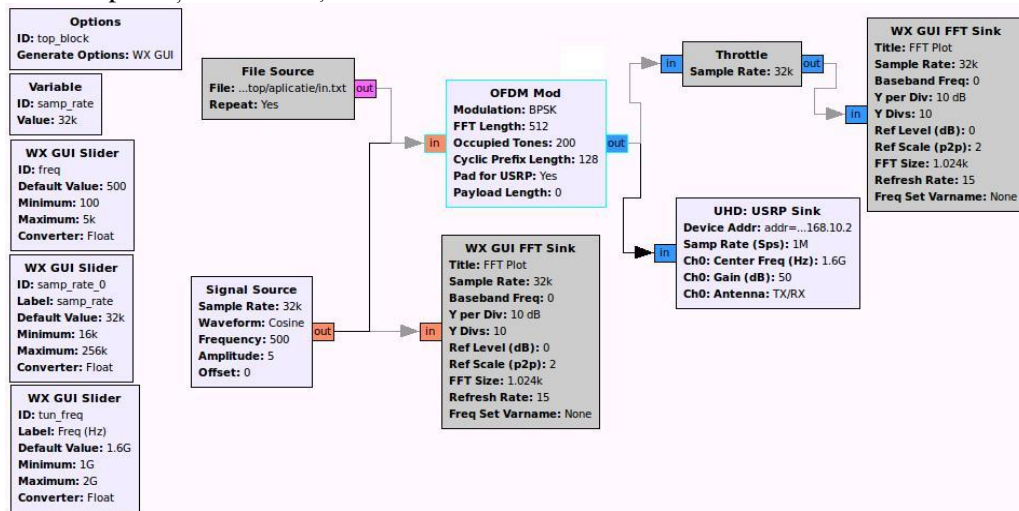


Figura 4.10 Schema de implementare a modulatorului OFDM pe platforma USRP
File Position: 20000 Block Size: 1000 Sample Rate: 32000.00

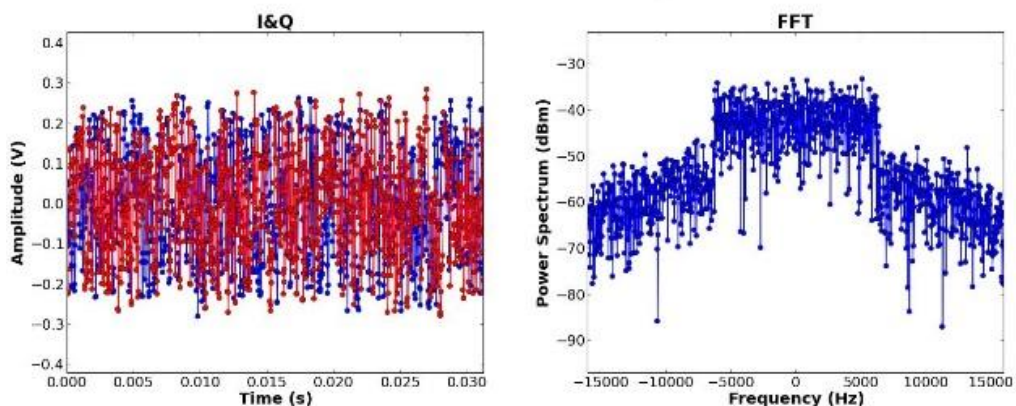


Figura 4.11 Spectrul și reprezentarea temporară a semnalului transmis (analiza pe USRP-ul de la recepție)

4.3.2.3 Demodulatorul OFDM implementat pe platforma USRP

În figura 4.12 este prezentată schema demodulatorului OFDM așa cum este ea implementată pe platforma OFDM. Spectrul semnalului OFDM așa cum este el afișat de analizorul spectral Agilent, este prezentat în figura 4.13. Se observă caracteristica de bandă largă a unui semnal OFDM.

De asemenea se observă, în figura 4.14, spectrul subpurțătoarelor folosite pentru transmiterea pachetelor menționate anterior.

Modulațiile 8PSK și 16 QAM sunt mai puțin robuste la distorsiuni, ca urmare au și o rată mai mică de pachete corecte recepționate, în comparație cu BPSK sau QPSK, același nivel al semnalului transmis. De aceea așa cum s-a obținut și din simulările realizate în MATLAB, se propune un sistem QPSK, care are performanțe bune ca rata de succes a transmiterii corecte a pachetelor, dar și rata de transmitere a acestora.

5 Referințe

1. N. C. , R. T. L. Elizabeth A. Thompson, „Journal of Network and Computer Application”.
2. P. Y. Xuhui Chen, „Reserch on Hierarchical Mobile Wireless Sensor Network Architecture with Mobile Sensor Nodes,” 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI 2010).

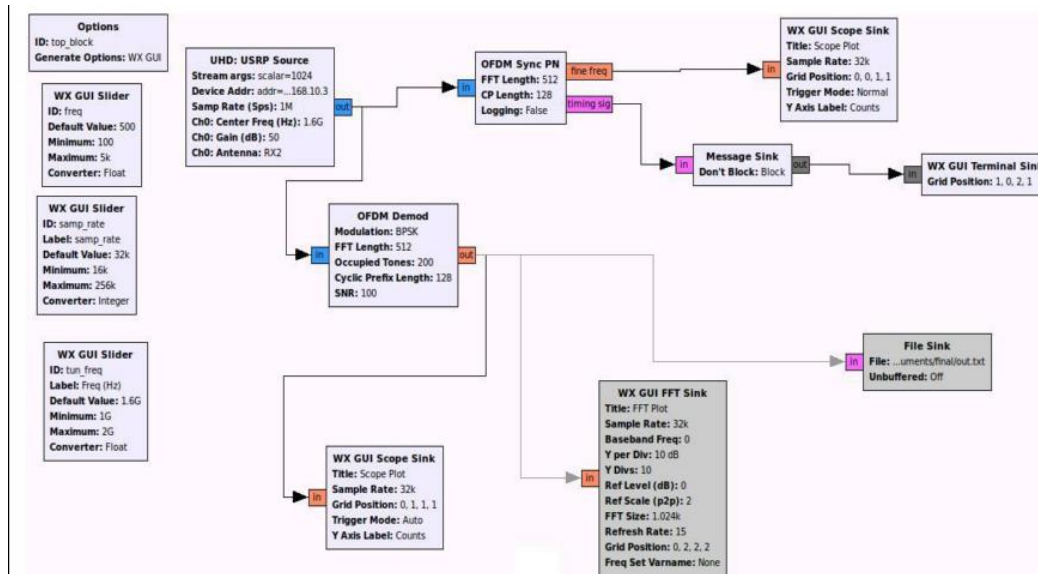


Figura 4.12 Schema de implementare a modulatorului OFDM pe platforma USRP



Figura 4.13 Spectrul măsurat al semnalului OFDM

3. W. S. Y. S. E. C. I.F. Akyildiz, "Wireless sensor networks: a survey".
4. M. FaHnle, "Software-Defined Radio with GNU Radio and USRP/2 Hardware Frontend: Setup and FM/GSM Applications".
5. Duan, S., & Yuan, X. (n.d.). Exploring Hierarchy Architecture for Networks Management Wireless Sensor.
6. Gelogo, Y. E., Jeon, S.-H., & Kim, T. (2011). IPv6 Mobile Sensor Network Architecture for SCADA System. 2011 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, 485–488.
7. Jin, L., Jia, J., Chen, D., Li, F., Dong, Z., & Feng, X. (2011). Research on Architecture, Cross-Layer MAC Protocol for Wireless Sensor Networks. 2011 Fifth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, 291–294.
8. Lin, C., He, Y.-X., Peng, C., & Yang, L. T. (2007). A Distributed Efficient Architecture for Wireless Sensor Networks. 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07), 429–434.
9. The Pierre Auger Collaboration. The Pierre Auger Project: Technical Design Report. 2004.
10. Sigg, S., Masri, R. M. El, Ristau, J., & Beigl, M. (2009). Limitations, performance and instrumentation of closed-loop feedback based distributed adaptive transmit beamforming in

WSNs. 2009 International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), 451–456.

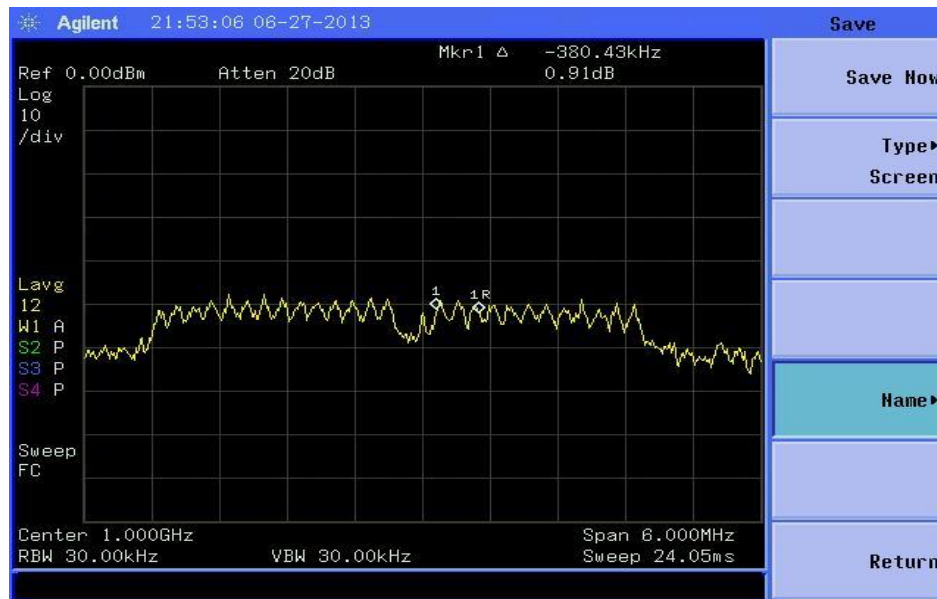


Figura 4.14 Spectrul subpurtaoarelor semnalului OFDM măsurat

11. Sivalingam, K., & Kashyapa, R. (2003). A multi-layered architecture and protocols for large-scale wireless sensor networks. 2003 IEEE 58th Vehicular Technology Conference. VTC 2003-Fall (IEEE Cat. No.03CH37484), 1443–1447 Vol.3.
12. Xinqing, Y., Wei, W., Wenfeng, L., & Dingfang, C. (2006). A Publish/Subscribe Architecture for Sensor Networks and Applications. 2006 International Conference on Mechatronics and Automation, 787–791.
13. Nir, V. Le, & Scheers, B. (n.d.). Implementation of an adaptive OFDMA PHY / MAC on USRP platforms for a cognitive tactical radio network.
14. Vulpescu, B. s.l. : Nucl. Instr, Meth. A, 1998, pp. 205-217.
15. B. Mitrica et al., The measurement of cosmic muons with the WILLI-EAS detection system, Rio de Janeiro : 33RD INTERNATIONAL COSMIC RAY CONFERENCE, 2013.
16. T. Antoni, The KASCADE-Grande Collaboration. s.l. : Nucl.Instr. and Meth. A, 2003, Vol. 513, p. 429.
17. W.D. Apel, Tthe KASCADE-Grande Collaboration. s.l. : Nucl.Instr. and Meth. A, 2010, Vol. 620, pp. 202-216.
18. H. Falcke et al., The LOPES Collaboration. s.l. : Nature, 2005, Vol. 435, p. 313.
19. A. Haungs, The LOPES Collaboration. s.l. : Modern Physics A, 2006, Vol. 21 Suppl. 1, p. 182.
20. G. Toma, Studies of the charged particle Density Distributions in Extensive Air showers Observed with KASCADE-Grande (KIT Scientific Reports ; 7563). - the KASCADE-Grande Collaboration. Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) : KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010, pp. 1-152.
21. The trigger system of the Pierre Auger Surface Detector: operation,. D. Allard - the Pierre Auger Collaboration. Pune : 29th International Cosmic Ray Conference, 2005. Vol. 00, pp. 101-104.
22. Samuel C. Yang, „OFDMA System Analysis and Design”, Artech House 2010, Capitolul 4