



AGENȚIA DE CERCETARE PENTRU  
TEHNICĂ ȘI TEHNOLOGII MILITARE

## **Activitatea 2. SISTEM DE IDENTIFICARE SI LOCALIZARE PRIN AER SI SOL A POZITIEI GURILOR DE FOC INCAMPURI DE TRAGERE (GUNDETECT)**

**Activitatea 2 - Realizarea, testarea instalatiei “Infrasound Array”. Elaborarea metodelor, soluțiilor și procedurilor pentru evenimentele infrasonice generate de arme în zonele beligerante.**

**Activitatea 2.1 Selectarea amplasamentului si locatiilor elementelor rețelei locale de tip “Short period infrasound array”.**

Stațiile de tip rețea de senzori - array seismoacustic - reprezintă sisteme avansate de monitorizare seismică, fiind caracterizate printr-o foarte bună capacitate de detecție și localizare a evenimentelor cu magnitudini mici, datorită unui raport semnal/zgomot ridicat. Dezvoltarea acestor sisteme a avut loc relativ recent, având ca principală motivație necesitatea tot mai acută de rezolvare a problemelor legate de detectarea, localizarea și identificarea evenimentelor seismice slabe. Un array seismoacustic reprezintă un set de senzori ale căror înregistrări sunt integrate într-o schemă comună de achiziție și prelucrare a datelor.

Array-urile de infrasunete si seismice sunt grupuri de senzori distribuiți pe o arie relativ restrânsă, având de obicei câțiva kilometri diametru. Spre deosebire de rețelele de stații seismice clasice, sistemele array prezintă o mult mai bună capacitate de detecție a evenimentelor produse atât la distanțe locale cât și la distanțe teleseismice față de amplasamentul de măsurare, fiind sensibile la diferite unde provenind din direcții precise.

Un array seismic reprezintă un grup de senzori cu o funcționare bine corelată în timp, și cu sistem comun de prelucrare a datelor. Datorită acestor caracteristici este posibilă determinarea precisă a parametrilor fazelor seismice.

Obiectivele principale ale unui array seismic sunt: detectarea evenimentelor cu magnitudine mică, localizarea acestor evenimente și furnizarea de date viabile pentru studii de cercetare, cum ar fi cele de determinare a condițiilor locale și a efectelor lor asupra înregistrărilor

sau de sursă seismică. Proiectarea unui array este de asemenea influențată din start de necesitatea identificării cât mai precise a fazelor seismice, prin separarea semnalului seismic “util” de zgomot. Aceasta se face prin aplicarea tehnicilor specifice de prelucrare a semnalelor înregistrate de array (beamforming și analiză f-k) pentru eliminarea semnalelor interferente și reducerea distorsionării formei de undă cauzată de efectele locale de dispersie (scattering).

Capacitatea superioară de detecție a array-urilor se obține în special prin aplicarea tehnicilor de însumare multiplă a înregistrărilor individuale ale fiecărui senzor (“beamforming”), prin care zgomotul este în bună măsură eliminat, păstrându-se semnalul util, și deci îmbunătățindu-se raportul semnal/zgomot (SNR). Aceste tehnici de prelucrare se bazează pe un principiu simplu: semnalele legate de sursă sau de structură sunt coerente și, prin urmare, se însumează totdeauna și se corelează în fază, în timp ce efectele legate de zgomot sunt aleatoare și nu se corelează de la o stație la alta.

De asemenea, aceste sisteme de tip array pot furniza estimări ale azimutului stație-eveniment (backazimuth – azimut invers) și ale vitezei aparente (slowness - încetinire) pentru diferite tipuri de semnal. Aceste estimări sunt importante atât pentru localizarea evenimentului cât și pentru identificarea semnalului.

Infrasunetele se referă la regiunea „subsonică” a spectrului acustic, constând din frecvențe sonore sub auzul uman, care prin convenție este definită ca frecvențe de 20 Hz sau mai puțin. Datorită frecvenței sale scăzute (și, prin urmare, lungimii de undă lungi), infrasunetele suferă în special o atenuare foarte mică din atmosferă sau de mediu și astfel se pot propaga pe distanțe mult mai mari în raport cu sunetele cu frecvență mai mare.

Sistemele de detectare a infrasunetelor au fost și sunt utilizate pe scară largă pentru monitorizarea globală a conformității internaționale cu tratatele de interzicere a testelor nucleare, CTBT: Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty al Națiunilor Unite. Utilizarea sunetului de joasă frecvență a avut, de asemenea, interes militar ca posibile arme acustice neletale și dispozitive de semnalizare și comunicație cu rază lungă de acțiune.

Utilizarea militară a infrasunetelor s-a concentrat, de asemenea, pe detecția pe distanță lungă și pe găsirea direcției către vehicule aeriene sau terestre care produc modele acustice distincte (de frecvență joasă), cum ar fi elicopterele (Stubbs și colab., 2005), tancurile sau camioanele (Kaushik, Nance), și, începând cu Primul Război Mondial, să detecteze și să localizeze focul de artilerie inamic (Altmann, 2001).

Având în vedere experiențele INCDFP privind utilizarea sistemelor de monitorizare a infrasunetelor am cautat să dezvoltăm diverse soluții care să ne aducă rezultate rapide și să concentreze dispunerea senzorilor pe o arie cât mai mică.

Dacă ne raportăm la alegerea stațiilor de monitorizare seismică și infrasonică, primul lucru pe care trebuie să-l facem este efectuarea unui studiu de amplasament. Pentru stațiile de infrasunete este obligatoriu să cautăm locații cu cel mai scăzut nivel de zgomot ambiental pentru a îmbunătăți

raportul semnal/zgomot al semnalului. Aceste stații sunt construite departe de sursele naturale de zgomot acustic, cum ar fi zone unde omul realizează anumite activități provocatoare de zgomot, aplasamente situate în zonele costiere ale marilor și oceanelor unde avem zgomot provocat de vant sau miscarea valurilor, etc. Stațiile de infrasunete sunt construite în locații cu cel mai scăzut zgomot de fond posibil.

Monitorizarea sunetului pentru distanțe de până la 100 km este o problemă diferită față de cea a infrasunetelor pentru activitățile de monitorizare destinate tratatului de interzicere a testelor nucleare sau monitorizarea sunetelor la frecvențe peste 100 Hz. Pentru monitorizarea utilizată în scopurile tratatului CTBTO, unde se exploatează propagarea sunetului la mii de kilometri distanță, sunetul este predominant transmis prin fenomenul de refracție din straturile superioare ( $z \sim 100$  km altitudine) în atmosferă. Având în vedere dependența în frecvență a atenuării acustice, comunitatea care se ocupa cu monitorizarea infrasunetelor destinată tratatului de interzicere a testelor nucleare a hotărât că frecvențele de peste câțiva Hz sunt neinteresante. În cazul nostru frecvențele de interes se situează la peste 100 Hz. Pentru intervale de ordinul de peste 100 km sau mai puțin, sunt o serie de factori care favorizează luarea în considerare a frecvențelor de până la 100 Hz, care a fost considerat în mod tradițional regimul acusticii. Acești factorii includ:

1. Spectrul de putere acustică emis de multe dintre sursele de interes este o funcție în creștere rapidă a frecvenței, cu energie considerabilă emisă la frecvențe de la zeci de Hz la câteva sute de Hz,
2. Pentru distanțe de până la 100 km, adesea obținem semnale la frecvențe mult peste frecvența clasică a infrasunetelor tradiționale,

Propagarea acustică la distanțe de peste 100 km este un fenomen complex și depinde foarte mult de temperatura și miscarea vântului din atmosferă. Viteza vântului poate fi adesea o problemă care poate modifica viteza sunetului în aer, vântul puternic poate da naștere la fenomene de atenuare sau la alte fenomene imprevizibile. Dependența sensibilă a propagării energiei acustice, dependența de condițiile atmosferice reprezintă o provocare, deoarece semnalele detectate depind atât de spectrul de putere a sursei, cât și de detaliile propagării atmosferice. O înțelegere aprofundată a spectrului de putere a sursei, a atenuării datorată atmosferei cât și a diferitelor surse de zgomot, toate în funcție de frecvență, ar trebui să ne conducă la optimizarea sistemelor de monitorizare a sunetului. Astfel se desprind următoarele recomandări:

Recomandarea #1. Reconsiderarea limitei superioare a frecvenței prin rearanjarea furtunurilor de filtrare și creșterea ratei de eșantionare. Analizarea datelor de tip infrasunete cât și a altor date acustice în paralel.

Recomandarea #2: Dezvoltarea unui program de caracterizare a surselor și a zgomotului prin susținerea unui program de obținere și arhivare a semnelor sonore calibrate, de la infrasunete la frecvențe acustice, atât de la ținte de interes militar (camioane, tancuri, etc.), cât și de la alte surse.

Recomandarea #3: Caracterizarea modelului de propagare. Variabilitatea mecanismelor de propagare semnalului pentru zone unde sursa este apropiată de receptor este un impediment major pentru înțelegerea și exploatarea completă a semnalelor măsurate.

Recomandarea #4: Utilizarea de senzori diversificati (infrasunte, microfoane, geofoni, etc). O diversitate de senzori poate sa ne ajute pentru a monitoriza sunetul în intervalul de frecvență de interes.

Recomandarea #5: Calibrarea sensorilor si a sistemelor de monitorizare. Noi tipologii privind configurarea sistemelor de tip array de infrasunete.

## Bibliografie

1. Christie, D.R. and P. Campus, 2010: The IMS Infrasound Network: Design and Establishment of Infrasound Stations. In *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*, Le Pichon, A., E. Blanc, and A. Hauchecome (Eds.), p. 29-75.
2. Olson, J.V. and C.A.L. Szuberla, 2009: Processing Infrasonic Array Data. Book chapter in *Handbook of Signal Processing in Acoustics*, Springer, p. 1487-1496.