



INFORMATICA MUSICALE

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA
LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA
A.A. 2018/19
Prof. Filippo L.M. Milotta

ID PROGETTO: 0C

TITOLO PROGETTO: Triangolazione Acustica e applicazioni

AUTORE 1: Convertino Francesco (O46001463)

AUTORE 2: Canzonieri Giuliano (O46001390)

Indice

1. Obiettivi del progetto	2
2. Metodo Proposto.....	3
3. Risultati Attesi.....	3

1. Obiettivi del progetto

Con questo progetto ci poniamo come obiettivo quello di fornire conoscenze teoriche basilari sui metodi di Ranging quali:

- ToA (Time of Arrival);
- TDoA (Time Difference of Arrival);
- AoA (Angle of Arrival).

Tratteremo, inoltre, le tecniche di posizionamento quali: trilaterazione e multilaterazione soffermandoci maggiormente sulla triangolazione e, nello specifico, della triangolazione acustica evidenziando alcune sue applicazioni come la tecnica dell'emissione acustica (AE), lo studio dei pipistrelli e il Wolf Howling.

2. Riferimenti Bibliografici

Di seguito i riferimenti bibliografici suddivisi per argomento :

- Metodi di ranging e tecniche di posizionamento:
 - Tesi di Tinti Erica (Univ. di Bologna) :
https://amslaurea.unibo.it/7786/1/Tinti_Erica_tesi.pdf
 - Wikipedia

- Applicazione della triangolazione acustica in ambito industriale:
 - Libro: **Ingegneria della manutenzione. Strategie e metodi (L.Furlanetto, M. Garetti, M.Macchi)**
 - Tesi di Tinti Erica (Univ. di Bologna) :
https://amslaurea.unibo.it/7786/1/Tinti_Erica_tesi.pdf
 - Tesi di Papa Ilaria (Univ. di Napoli):
http://www.fedoa.unina.it/8608/1/Ilaria_Papa_24.pdf

- Triangolazione acustica degli ultrasuoni emessi da un pipistrello in volo:
 - Pdf: <http://physics.wm.edu/Seniorthesis/Senior%20Theses%202004/Loncich-Kristen.pdf>

- Tecnica del “Wolf Howling” in merito al monitoraggio dei branchi di lupo appenninici:
 - Link: <https://www.parcoforestecasentinesi.it/it/news/wolf-howling>

3. Argomenti Teorici Trattati

METODI DI RANGING

I metodi di RANGING determinano una serie di parametri (angolo di ricezione, tempo di volo, potenza ecc.) tramite l'acquisizione di un segnale attraverso un dato insieme di sensori (almeno 2 o 3) di coordinate note che potranno, in seguito, essere elaborati e sfruttati per la localizzazione della sorgente. I vari metodi differiscono per accuratezza, hardware e logica di funzionamento. I metodi di ranging più noti sono ToA (Time of Arrival), TDoA (Time Difference of Arrival), AoA (Angle of Arrival).

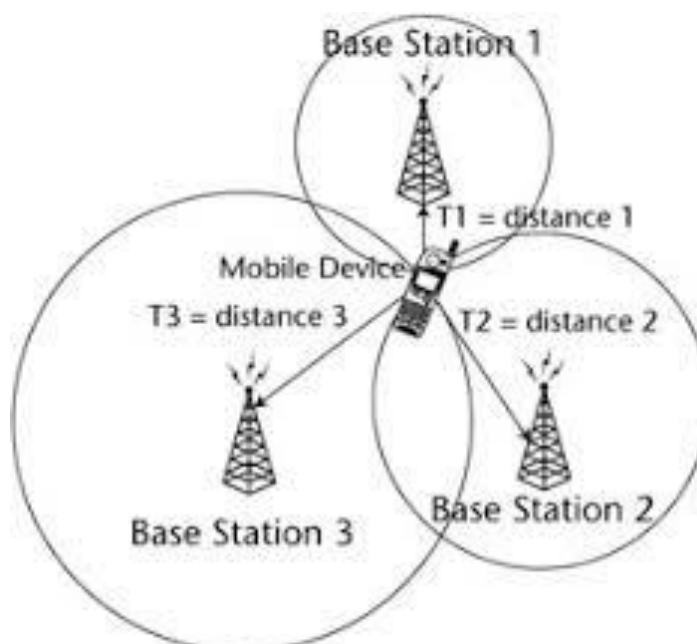
- **ToA**

Il metodo ToA (Time of Arrival) calcola la **distanza** tra l'emettitore e il nodo ricevente considerando il tempo trascorso tra l'emissione e la ricezione del segnale. Infatti, conoscendo la velocità di propagazione del segnale nel mezzo e il tempo impiegato per arrivare da un punto all'altro (time-of-flight, o tempo di volo), lo spazio percorso è direttamente calcolabile nel seguente modo:

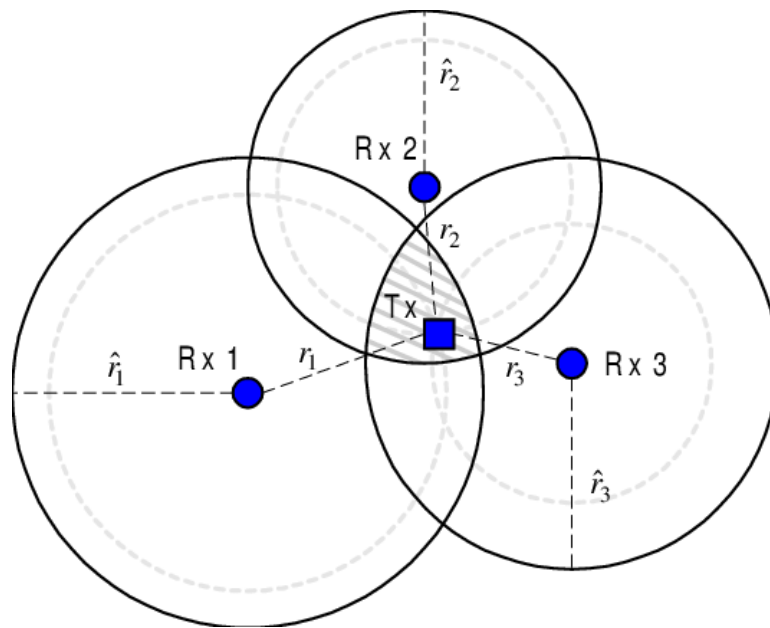
$$R_i = c \cdot t$$

dove **c** è la velocità della luce, **t** è il tempo di trasmissione del segnale ricevuto dal nodo **i**, ed **R_i** è la distanza di trasmissione del segnale recepita dal nodo **i**.

Dunque la sorgente si troverà sulla circonferenza centrata sull'**i**-esimo nodo, con raggio **R_i**.



Nel caso in cui le misurazioni fossero soggette ad errori, si creerebbe un'area di incertezza dovuta alle molteplici intersezioni tra le circonferenze, come in questa figura:

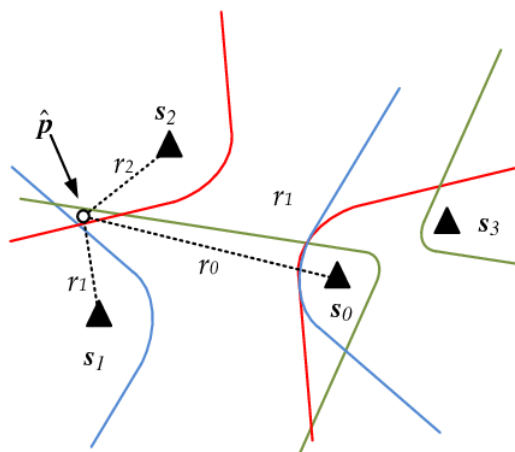


- **TDoA**

La tecnica DoA (Time Difference of Arrival) misura la differenza dei tempi di propagazione del segnale tra la sorgente e due ricevitori. Ciascuna misura, riferita ad una coppia di ricevitori posti nei punti di coordinate (X_i, Y_i) e (X_j, Y_j) , individua una iperbole, nei cui fuochi sono posizionati i ricevitori stessi, di equazione:

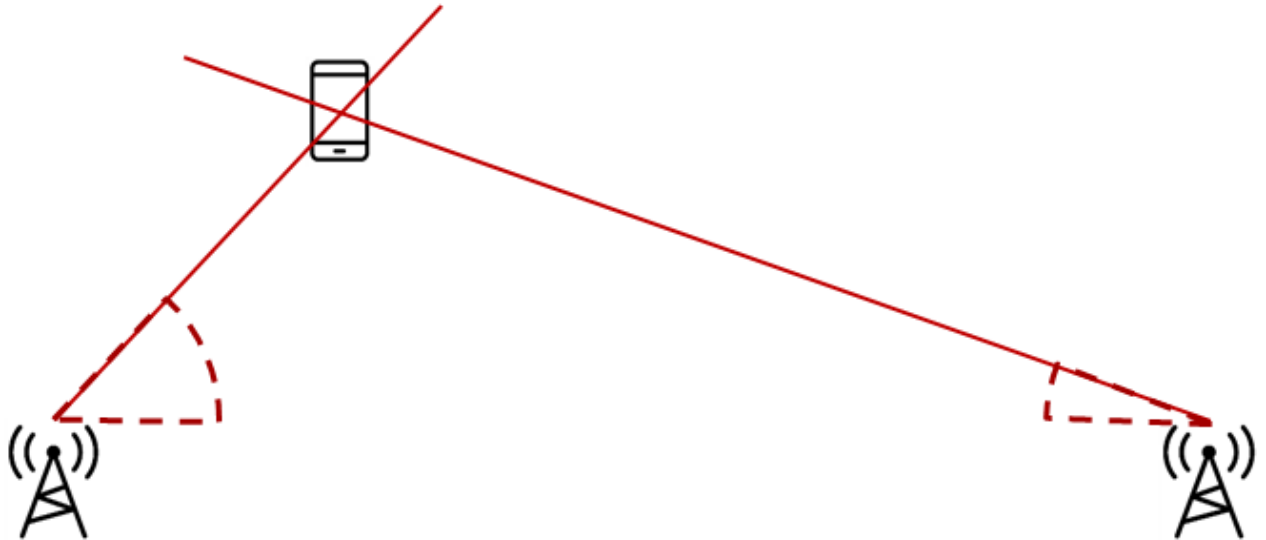
$$d_u = c \cdot (t_i - t_j) = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2}$$

Dove (x, y) sono le coordinate incognite. Realizzando questa misura con 2 coppie di ricevitori, si individuano 2 iperboli la cui intersezione costituisce la posizione della sorgente. Anche in questo caso l'errore sulle misure fa sì che si abbiano più intersezioni tra le iperboli.



- **AoA**

Il metodo di ranging AOA (Angle of Arrival) misura l'angolo di ricezione di un segnale attraverso più nodi ricevitori (detti ancore) di coordinate note, in modo tale da poterne successivamente localizzare la sorgente.



E' da notare che, all'aumentare della distanza tra la sorgente e il ricevitore, la probabilità d'errore nell'individuazione della sorgente aumenta: ecco perché per poter applicare questo metodo sono necessarie antenne capaci di determinare la direzione di provenienza del segnale con ottima precisione.

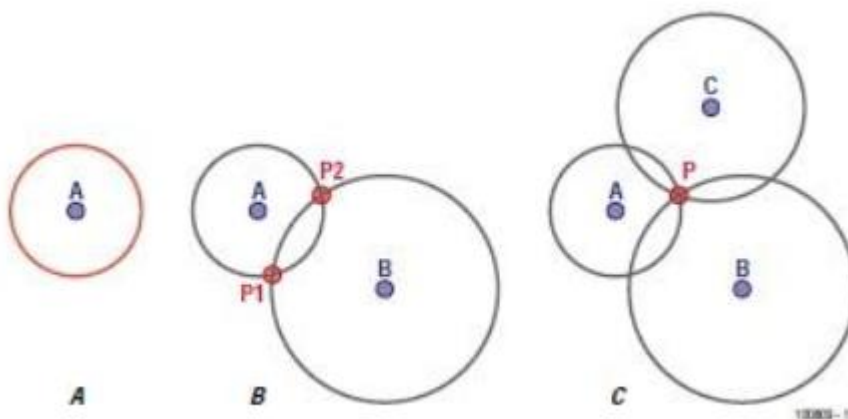
Il numero minimo necessario di antenne è 2, ma per ottenere una maggior precisione è possibile utilizzarne di più, a discapito dei costi hardware.

TECNICHE DI POSIZIONAMENTO

Una volta ottenuti i dati attraverso i metodi di ranging, è necessario elaborarli al fine di trasformarli in coordinate ben precise, ed ottenere così la posizione della sorgente. A tale scopo esistono diverse tecniche di posizionamento quali **triangolazione**, **trilaterazione**, **multilaterazione**.

TRILATERAZIONE

La trilaterazione è una tecnica che permette di determinare la posizione assoluta o relativa di un punto misurando distanze, e sfruttando la geometria di cerchi, sfere e triangoli. Questa tecnica si basa sul fatto che, conoscendo la lunghezza dei tre lati di un triangolo, è possibile costruire un solo triangolo, in quanto figura rigida. Sulla base di questi principi, per determinare univocamente le coordinate di un punto, è sufficiente conoscere le coordinate di due punti e le relative distanze dal punto ignoto. Nel caso di utilizzo di onde però, a meno che non si utilizzino antenne direzionali, è impossibile determinare la direzione di provenienza del segnale e, siccome due circonferenze si intersecano in due punti, è necessario avere un terzo punto di coordinate note, così da poter determinare “su quale intersezione” si trova il punto ignoto.



MULTILATERAZIONE

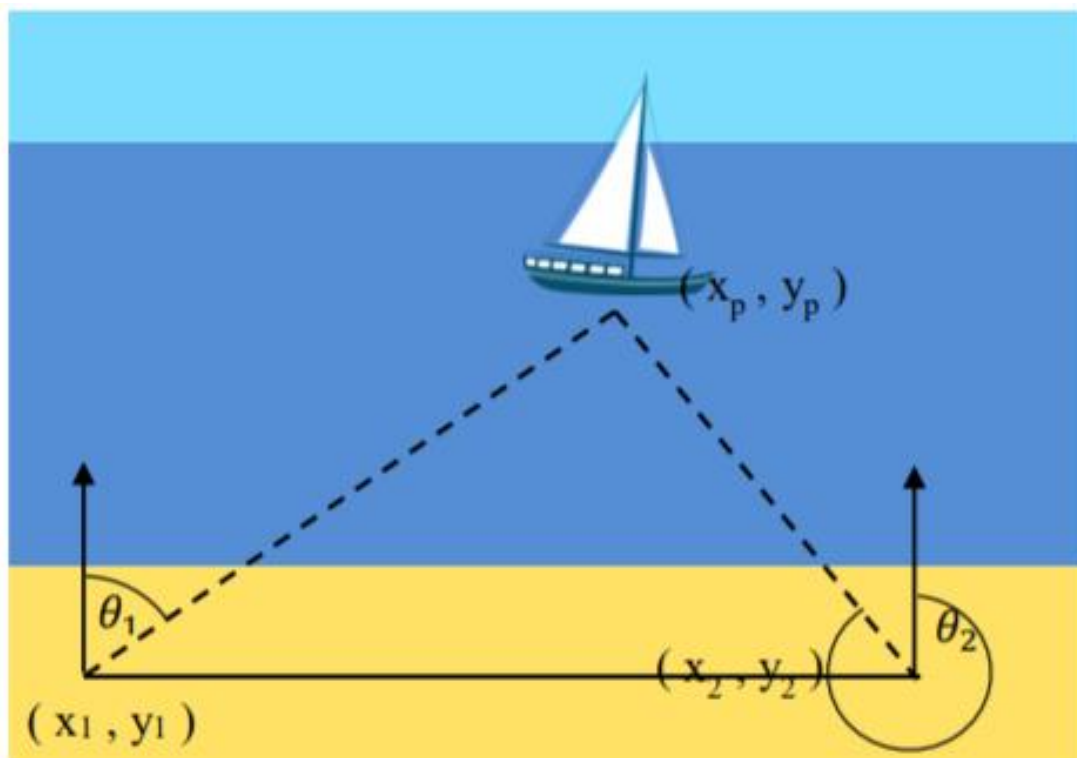
La tecnica della multilaterazione, anche detta tecnica di massima verosimiglianza, è solitamente applicata in seguito all'utilizzo del metodo TDOA, il quale, ricordiamo, calcola le distanze tra i vari nodi ancora, sulla base della differenza di time-of-flight. Questa tecnica basa la stima della posizione di un nodo sulla minimizzazione della differenza tra la distanza stimata tramite TDoA, e la distanza effettiva ottenuta dalle coordinate.

TRIANGOLAZIONE

La triangolazione permette di elaborare i dati ricevuti tramite un metodo di ranging qualsiasi e ricavare la posizione della sorgente, mappando lo spazio in un triangolo e trattando le coordinate (ignote) della sorgente come se essa fosse un vertice del triangolo in questione.

Si utilizzano le **formule della trigonometria**.

Per esempio, si potrebbero calcolare le coordinate a partire dalle misure degli angoli, acquisite tramite AOA:



Facendo riferimento alla figura, le coordinate della sorgente sono calcolate nel seguente modo:

$$\begin{cases} y_p = x_p \cdot \tan \theta_1 + (y_1 - x_1 \cdot \tan \theta_1) \\ y_p = x_p \cdot \tan \theta_2 + (y_2 - x_2 \cdot \tan \theta_2) \end{cases}$$

Dove:

- x_p e y_p sono le coordinate del punto del quale non si conosce la posizione (sorgente)
- i punti di coordinate (x_1, y_1) e (x_2, y_2) sono i due ricevitori e gli angoli θ_1 e θ_2 sono gli angoli di ricezione del segnale per ognuno dei ricevitori.

La tecnica della triangolazione viene largamente applicata in ambiti disparati, quali telecomunicazioni (si pensi alla geolocalizzazione), industriale ed edilizio (verifica di eventuali danni strutturali), militare e forense (intercettazione dati), zoologia (studio del comportamento degli animali).

APPLICAZIONE DELLA TRIANGOLAZIONE ACUSTICA IN AMBITO INDUSTRIALE

La triangolazione acustica viene usata in seno alla rilevazione dell'emissione acustica causata da eventuali danni strutturali o deformazioni presenti in macchinari, recipienti sotto pressione, piattaforme off-shore, utensili generici ecc.

Questa particolare applicazione viene chiamata “tecnica dell’ emissione acustica (**AE**)” e il suo punto di forza è la **non distruttività** nei confronti del materiale posto in esame.

L’emissione acustica rilevata non è, infatti, la risposta ad un’eccitazione acustica artificialmente trasmessa, come per esempio potrebbe avvenire in un controllo ad ultrasuoni dove questi ultimi vengono immessi nel materiale per studiarne la risposta, bensì consiste nell’onda elastica originata dal rapido rilascio di energia cinetica dovuto alla deformazione del materiale posto sotto stress (meccanico o termico che sia).

“Il metodo si basa sulla rilevazione delle onde acustiche emesse da un materiale per deformazione, innesco e/o evoluzione di un difetto.”

-Ingegneria della manutenzione. Strategie e metodi (L.Furlanetto, M. Garetti, M.Macchi)

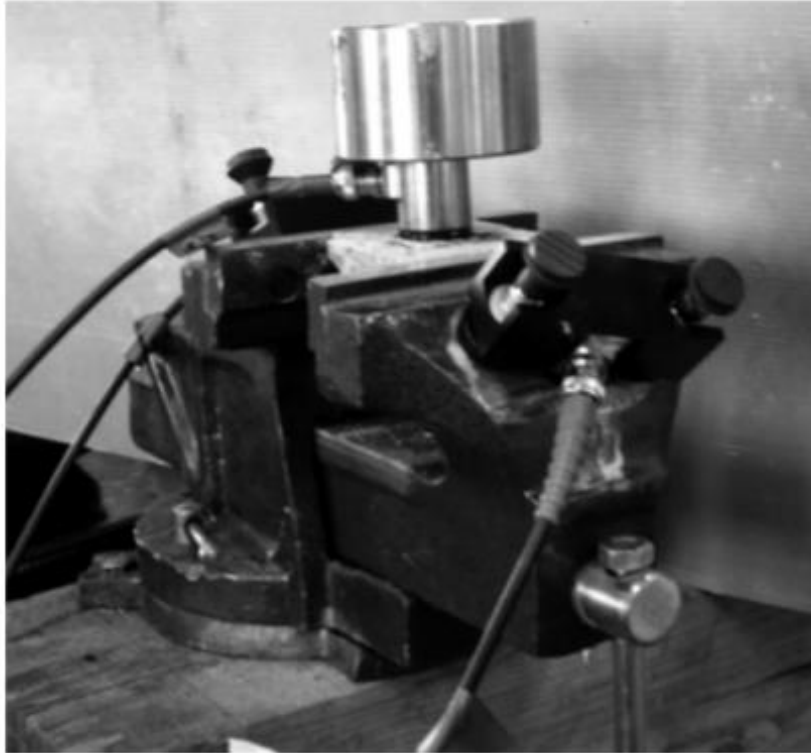
Il segnale “AE” negli oggetti metallici ha frequenza ultrasonica, tipicamente da 100 a 300 kHz.

Durante questi test il segnale acustico emesso può presentarsi continuamente nel tempo o a burst cioè sottoforma di impulsi o pacchetti di onde corte (per esempio la corrosione sul fondo di recipienti di carburante, o di olio, produce segnali tipo burst).

Come già anticipato, la posizione di tali sorgenti quali, deformazioni e difetti strutturali, viene stabilita attraverso triangolazione acustica, impiegando almeno tre sensori, o comunque un numero di sensori sufficiente in proporzione al volume e allo spessore del materiale esaminato.

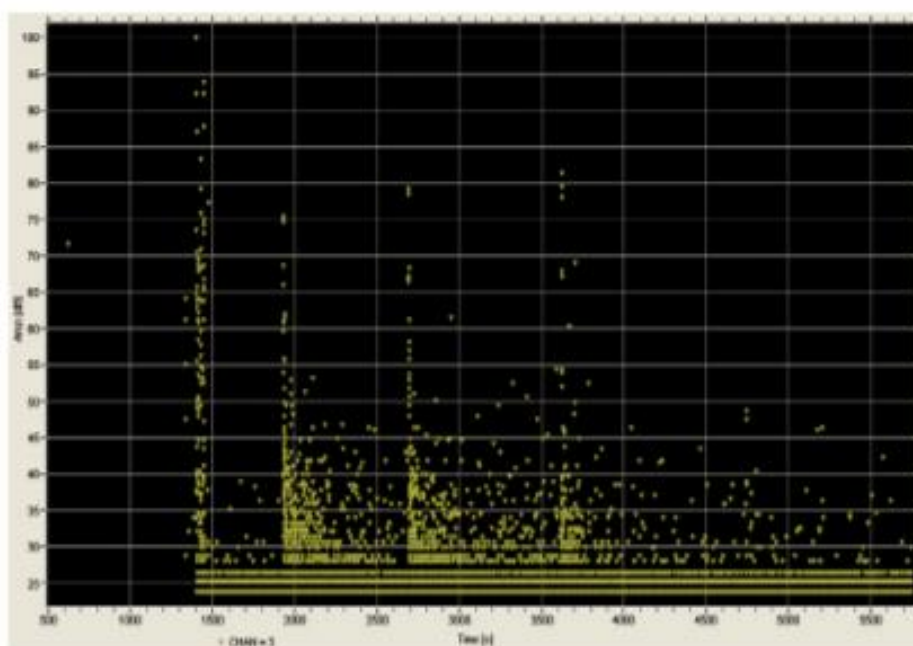
Un’ ulteriore merito attribuito alla tecnica dell’emissione acustica è la **non invasività** della sua applicazione, poiché, come abbiamo visto, non è necessario alcun tipo di sonda da introdurre nel materiale permettendo così il controllo persino per zone di non facile accesso all’interno del materiale.

Un esempio applicativo della tecnica dell’emissione acustica è l’esperimento effettuato dai professori C. Colla - E. Gabrielli - G. Nardoni - M. Maggioni all’ università di Bologna, dove campioni di roccia vulcanica prelevata dalla zona vesuviana sono stati sottoposti alla compressione di una morsa.



Un campione intrappolato da una morsa

Per la ricezione dei segnali acustici sono state utilizzate tre sonde, di cui due posizionate sulla morsa e l'ultima direttamente su pietra. Nel seguente grafico abbiamo il segnale percepito dalla sonda posta su pietra, per ogni compressione effettuata.



APPLICAZIONE DELLA TRIANGOLAZIONE ACUSTICA IN AMBITO ZOOLOGICO

In ambito Zoologico la triangolazione acustica può essere utile per studiare i comportamenti animali.

Ad esempio, tramite l'ausilio di 3 microfoni ultrasonici e un PC che possa elaborare i dati rilevati, è possibile sfruttare gli ultrasuoni emessi da un pipistrello per studiare la sua traiettoria di volo e i suoi movimenti.

La triangolazione, in questo caso, può essere facilmente ottenuta utilizzando tre microfoni e determinando le coordinate della sorgente dalle differenze misurate nei tempi di ricezione dei segnali (TDoA).

Se immaginiamo che vi siano tre microfoni situati nei punti $m_i = (x_i, y_i, z_i)$ e una sorgente su $s = (x_s, y_s, z_s)$, la distanza tra la sorgente e il punto m_i può essere calcolata con χ_i che denota la distanza.

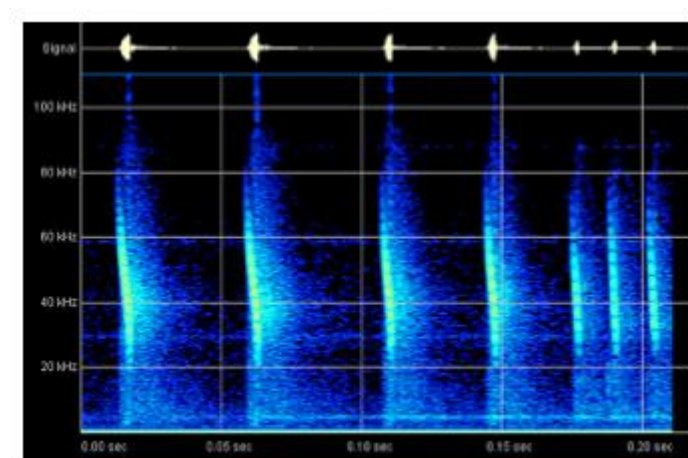
$$\chi_i = \sqrt{(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2 + (z_i - z_s)^2}$$

Misurare i ritardi di tempo tra i microfoni i e j ci fornisce una relazione lineare:

$$\chi_i - \chi_j = ct_{ij}$$

dove c è la velocità del suono e t_{ij} è il ritardo tra i segnali.

I ritardi possono essere ottenuti dall'analisi dei dati.



WOLF HOWLING

Un'altra applicazione della triangolazione acustica a livello zoologico viene vista nel "Wolf Howling", tecnica di studio usata per monitorare e censire i branchi di lupo

Questa tecnica viene usata anche in Italia, in particolare nello studio del lupo appenninico.

La logica di funzionamento è abbastanza semplice:

1. vengono trasmessi per 3 volte, da opportune stazioni trasmissive, degli ululati preregistrati, in modo da coprire l'intero territorio interessato
2. Si attendono 10-15 minuti per individuare e localizzare eventuali risposte, tramite triangolazione

In questo modo si può stimare la presenza di branchi in un dato territorio, verificare l'avvenuta riproduzione e la dimensione minima dei branchi che rispondono.

