

Mandi

giugno 99

Procedimento ed apparecchiatura per la
misura della polarizzazione dell'intensità
acustica

Inventori:

Nicola Prodi, Giuliano Schiffrer, Domenico Stanzial

June 10, 1999

Le grandezze che caratterizzano un campo acustico nel punto \mathbf{x} all'istante t sono la pressione acustica $p(\mathbf{x}, t)$ e la velocità fluidodinamica $\mathbf{v}(\mathbf{x}, t)$ del mezzo, che si esprimono tramite il potenziale cinetico ϕ :

$$p(\mathbf{x}, t) = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t}, \quad \mathbf{v}(\mathbf{x}, t) = \nabla \phi(\mathbf{x}, t),$$

dove ρ è la densità d'equilibrio del mezzo. Tramite queste grandezze si esprimono la densità d'energia acustica w e l'intensità acustica \mathbf{j} (densità di flusso d'energia):

$$w = \frac{1}{2} \rho \left(\mathbf{v}^2 + \frac{1}{\rho^2 c^2} p^2 \right), \quad \mathbf{j} = p \mathbf{v},$$

dove c è la velocità di propagazione del suono. La conservazione dell'energia acustica nello spazio esterno alle sorgenti è descritta dall'equazione

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{j} = 0.$$

Poiché queste grandezze sono rapidamente variabili nel tempo, ciò che interessa ai fini pratici sono i loro valori medi. Per esempio, nel caso di campi stazionari, questi sono definiti da

$$\langle w \rangle(\mathbf{x}) = W(\mathbf{x}) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T w(\mathbf{x}, t) dt.$$

Più in generale, i momenti dei vari ordini costituiscono una misura di quanto le grandezze in questione si scostano dai loro valori medi. Per la grandezza scalare w il momento di ordine m ($m = 2, 3, \dots$) è definito da

$$W^{(m)} = \langle (w - W)^m \rangle^{\frac{1}{m}}.$$

Nel caso di una grandezza vettoriale, come \mathbf{j} , il momento di ordine m è un tensore di grado m . In particolare, il momento di ordine 2 dell'intensità è

$$\mathfrak{J}^{(2)} = \langle (\mathbf{j} - \mathbf{J}) \otimes (\mathbf{j} - \mathbf{J}) \rangle^{\frac{1}{2}},$$

dove \otimes indica il prodotto tensoriale di due vettori. Mentre il valor medio \mathbf{J} è una misura di quella che è la densità media di flusso d'energia in un

punto, il tensore $\mathfrak{J}^{(2)}$ fornisce una misura di quanto il flusso si scosta, anche in direzione, dal valor medio \mathbf{J} . La misura di questo tensore è perciò importante ai fini dello studio delle proprietà direzionali del trasferimento d'energia in un ambiente.

Nel caso dell'intensità \mathbf{j} è conveniente separare la parte \mathbf{a} , che contribuisce al trasporto medio d'energia ed il cui valor medio coincide con \mathbf{J} , dalla parte \mathbf{r} , il cui valor medio è nullo e che corrisponde quindi a energia che compie intorno a un punto oscillazioni di ampiezza non superiore ad una lunghezza d'onda. Questa separazione si può realizzare mediante la decomposizione $\mathbf{j} = \mathbf{a} + \mathbf{r}$, dove

$$\mathbf{a} = \frac{p^2 \mathbf{J}}{\langle p^2 \rangle}, \quad \mathbf{r} = \mathbf{j} - \frac{p^2 \mathbf{J}}{\langle p^2 \rangle}. \quad (0.1)$$

Infatti, è $\langle \mathbf{a} \rangle = \mathbf{J}$, $\langle \mathbf{r} \rangle = 0$. Per descrivere di quanto il flusso d'energia si scosta dal suo valor medio è più conveniente introdurre il secondo momento di \mathbf{r} , invece di quello di \mathbf{j} . Si ottiene così il tensore

$$\mathfrak{R} = \langle 2\mathbf{r} \otimes \mathbf{r} \rangle^{\frac{1}{2}}, \quad (0.2)$$

che descrive le proprietà direzionali del flusso d'energia che oscilla attorno al punto \mathbf{x} . Il fattore 2 è stato introdotto per convenienza.

Mentre la misura di \mathbf{J} (la cosiddetta intensità attiva) rientra nella normale prassi dell'intensimetria acustica, la misura di \mathfrak{R} costituisce una novità e viene descritta nella presente relazione, con lo scopo di chiederne la protezione brevettuale.

Lo studio della polarizzazione dell'intensità acustica può trovare applicazioni ogniqualvolta sia necessario conoscere nei dettagli il comportamento energetico del sistema acustico comprendente sia la sorgente sonora che l'ambiente in cui essa opera. I dettagli del campo prodotto dalla sola sorgente sono rilevabili con la stessa metodica quando la sorgente opera in camera anecoica. Si prevede che lo studio energetico dei campi acustici condotto sulla base di questa nuova scoperta proprietà del suono avrà importanti ricadute applicative soprattutto nei settori del controllo del rumore, dell'acustica degli ambienti confinati, delle tecniche per la diffusione sonora controllata e dell'acustica musicale.

Come detto precedentemente la polarizzazione dell'intensità acustica viene descritta tramite un'accurata analisi dei flussi d'energia a partire dalla definizione

del vettore intensità oscillante \mathbf{r} data in 0.1. Una volta misurate le 6 componenti indipendenti del tensore 0.2 nel sistema ortogonale di riferimento spaziale associato alla sonda intensimetrica tridimensionale e ricostruita la matrice simmetrica che rappresenta il tensore in questa base, da essa si estraggono tutte le informazioni che riguardano la polarizzazione dell'intensità acustica. Ad esempio, la norma di tale matrice definisce la quantità complessiva di energia che oscilla lungo tutte le direzioni spaziali nei pressi del punto di misura e si può calcolare come $R = \sqrt{2 \langle \mathbf{r}^2 \rangle}$. Per descrivere la distribuzione tridimensionale delle oscillazioni dell'energia è necessario effettuare un processo di indagine geometrica sulla matrice: si opera la sua diagonalizzazione che consente di rappresentare graficamente la polarizzazione dell'intensità acustica tramite un ellissoide d'intensità. La polarizzazione in ogni punto di misura può essere quindi descritta sinteticamente tramite il suo valore efficace R espresso in W/m^2 , ed essere rappresentata graficamente in tutti i suoi dettagli tramite l'ellissoide di intensità. Tale ellissoide è raffigurato naturalmente utilizzando il sistema cartesiano i cui assi hanno unità di misura W/m^2 e la cui orientazione spaziale coincide con quella della sonda intensimetrica.

Dalla definizione 0.1 di \mathbf{r} risulta che la misura della polarizzazione richiede la preventiva valutazione delle tre componenti del vettore intensità istantanea \mathbf{j} , della pressione quadrata p^2 nonché delle rispettive medie temporali. L'apparecchiatura che permette la valutazione di queste grandezze è un misuratore di intensità e di pressione acustica istantanee che calcola simultaneamente le grandezze richieste per ciascuna delle componenti ed esegue le necessarie operazioni.

Lo schema di tale apparecchiatura costituisce parte integrante della presente richiesta di brevetto.

L'algoritmo di misura fornisce come prodotto intermedio le tre componenti del vettore \mathbf{r} che servono per costruire i termini della matrice associata ad \mathfrak{R} che, una volta diagonalizzata, consente la rappresentazione grafica della polarizzazione tramite l'ellissoide d'intensità. L'apparecchiatura funziona tramite sei canali di ingresso attivati in acquisizione simultanea che provengono da una sonda intensimetrica tridimensionale pressione-pressione (due canali per ogni coordinata cartesiana). La prima parte delle elaborazioni è indipendente per ciascuna delle coordinate cartesiane poi le coordinate vengono tra loro incrociate per il calcolo dei termini misti della matrice. Il blocco finale esegue la diagonalizzazione, la valutazione del valore efficace R e la vi-

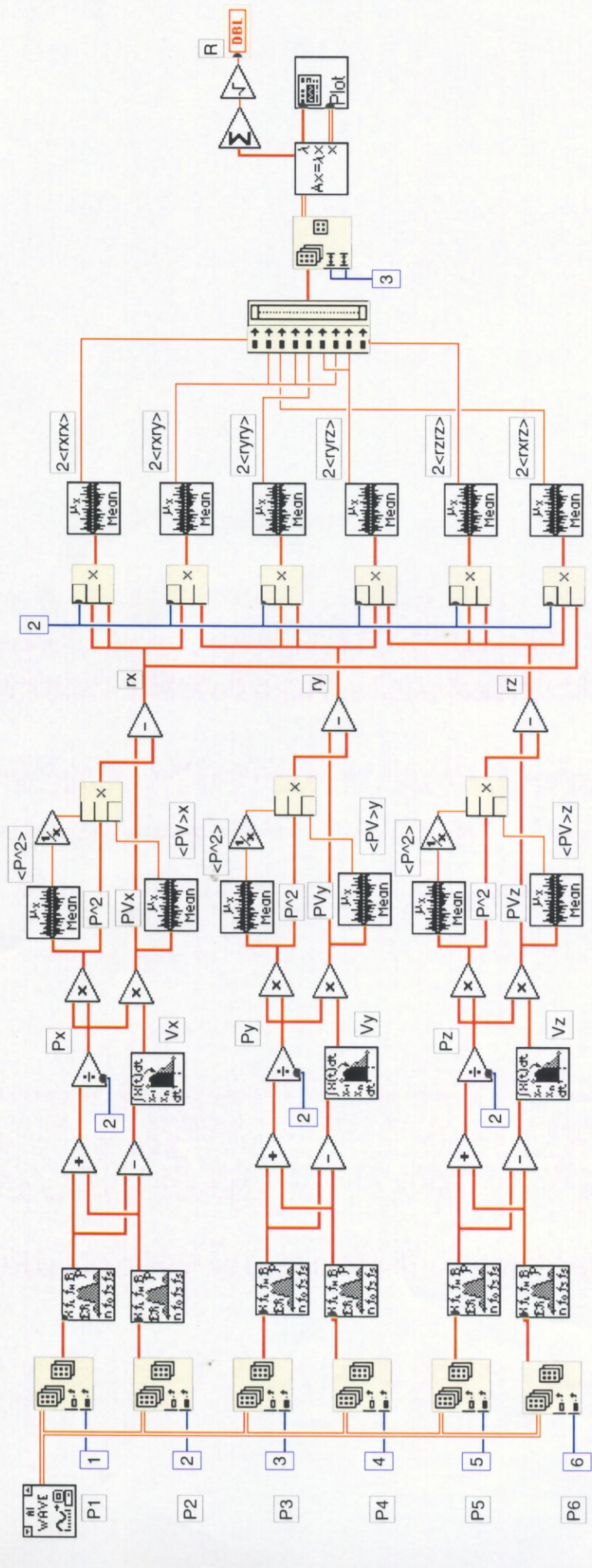
sualizzazione dell'ellissoide.

Tutte le elaborazioni sopra descritte sono effettuate nel dominio del tempo. Come noto, è possibile calcolare le stesse grandezze, e quindi anche la polarizzazione dell'intensità acustica, nel dominio della frequenza tramite l'equivalente procedura basata sulle proprietà della trasformata di Fourier che perviene ovviamente alle stesse conclusioni.

Si richiede la copertura brevettuale del presente trovato sia per la formulazione nel dominio del tempo che in quello della frequenza.

Mend
giugno '99

polarimetro.vi
 Last modified on 3/5/98 at 1:22 PM
 Printed on 3/13/98 at 5:22 PM



ACQUISIZIONE e FILTRAGGIO DEI SEGNALI
 DI INGRESSO IN BANDE DI 1/3 DI OTTAVA

LEGENDA

- Sistema di acquisizione
- Banchi di filtri digitali
- Integratore
- Strumento che calcola la media temporale
- Diagonalizzatore e calcolatore degli autovalori
- Strumento che effettua la rappresentazione grafico

CALCOLO DI p, v, pv, p^2 e
 MEDIE TEMPORALI

CALCOLO DI r e DEGLI ELEMENTI DEL TENSORE

DIAGONALIZZAZIONE E
 RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

Inventori:
 N. Prodi, G. Schiffrer, D. Stanzial