MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA NUMERO	**102006901472072**
Data Deposito	**30/11/2006**
Data Pubblicazione	**30/05/2008**

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	S		

Titolo

METODO PER LA LOCALIZZAZIONE DI DISPOSITIVI REMOTI UTILIZZANTE ONDE ACUSTICHE ED ELETTROMAGNETICHE

Descrizione dell'invenzione avente per titolo:

METODO PER LA LOCALIZZAZIONE DI DISPOSITIVI REMOTI UTILIZZANTE ONDE ACUSTICHE ED ELETTROMAGNETICHE

A nome dei Signori

1) CARDINALE CICCOTTI Giuseppe

2) CAROTENUTO Riccardo

a : 1) Santa Marinella (Roma); 2) Roma

Inventore : CAROTENUTO Riccardo

DESCRIZIONE

SETTORE IN CUI SI ESPLICA L'INVENZIONE

L'invenzione fa riferimento in generale ad una tecnica -ed al relativo apparato che la realizza- in grado di localizzare dispositivi remoti identici. Più in particolare essa fa riferimento ad un metodo di localizzazione che utilizza dei protocolli di ricerca veloci ed ottimizzati anche sotto l'aspetto dell'immunità ai disturbi.

STATO DELLA TECNICA

Sono note delle tecniche di valutazione della distanza di solito utilizzate per misurare distanze su una sola dimensione. Alcuni sistemi sono stati basati su metodi ad ultrasuoni del tipo che rilevano l'eco all'impulso ed utilizzano dei trasduttori ad elevata direzionalità puntati verso il bersaglio per misurarne la posizione e la distanza. Con tale tecnica, la distanza tra un trasmettitore ed un ricevitore è determinata in modo indiretto mediante la misura del

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

tempo trascorso, di solito definito come tempo di volo, durante il quale il segnale generato presso il trasmettitore va a collidere col ricevitore e ritorna indietro al trasmettitore.

Le distanze sono determinate mediante la misurazione dei tempi trascorsi tra l'emissione dell' impulso che viaggia dal trasmettitore verso ciascun ricevitore. Il calcolo delle coordinate è effettuato di solito utilizzando una semplice operazione di triangolazione e/o laterazione.

Più recentemente si stanno diffondendo sensori e calcolo distribuito, in associazione con reti wireless ad elevata densità per la raccolta e la distribuzione di dati ambientali, a causa dell'enorme impatto su tematiche come la salute pubblica, la società, la protezione ambientale, etc. L'idea di base è di disseminare un grande numero di sensori con alimentazione autosufficiente e dal basso costo unitario in grado di costituire i nodi di una rete wireless, di acquisire dati e di compiere semplici elaborazioni. L'equipaggiamento di sensori può includere per esempio sensori di temperatura, umidità, illuminazione, microfoni acustici o ultra-acustici, sensori magnetici, inerziali, oppure ottici. Un tipico obiettivo di una rete di sensori è di rilevare, sorvegliare e classificare oggetti, eventi o misurare il valore di parametri nelle vicinanze della rete.

Come esempio, si può immaginare di costruire i nodi della rete piccoli come semi di granoturco, dotati di microbatterie, capaci di misurare temperatura e umidità, di trasmettere i dati acquisiti ad

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENICHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

una radio base e soprattutto di localizzare la propria posizione rispetto a un riferimento dato.

Un coltivatore potrebbe "seminare" i nodi della rete in un campo di granoturco, che trasmetterebbero un'accurata mappatura della temperatura e umidità del suolo in tutto il campo. Altre applicazioni molto promettenti sono nel campo della domotica, al fine di monitorare posizione e parametri di oggetti e persone in casa, della gestione di magazzini e più in generale della logistica, per localizzare e controllare il flusso di merci, e nel rilievo automatico di scavi e manufatti.

In generale la struttura della rete può essere riassunta come segue: un certo numero di nodi, dotati di opportune capacità sensoriali e a basso costo, con limitate capacità di elaborazione e con un sistema di comunicazione a basso consumo di energia, sono disseminati in una certa regione spaziale. Le grandezze misurate sono pre-elaborate localmente, ed il risultato è trasmesso ad una centrale locale (Central Information Processor, CIP) attraverso una rete di comunicazione low-power. I1 CIP elabora le informazioni provenienti dai sensori e trasmette il risultato ad un centro di processamento a livello più elevato [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Alcuni algoritmi per la elaborazione dei dati provenienti dai sensori nei nodi della rete assumono che la posizione di ciascun nodo sia nota [7]. Tuttavia, spesso non è disponibile una conoscenza sufficientemente accurata della posizione dei nodi. I singoli nodi sono spesso posizionati sul campo da persone o da

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

lanci da piattaforme aeree. Un caso particolare è costituito da nodi dotati di sensori di posizione. Tali nodi possono per esempio essere posti su oggetti o persone di cui si desidera conoscere istante per istante la posizione, e l'uscita desiderata del sistema è la conoscenza della posizione di ciascun sensore rispetto ad un sistema di riferimento.

A questo scopo, si potrebbe equipaggiare ogni nodo con un sistema Global Positioning System (GPS), ma ciò risulta assai costoso e aumenta considerevolmente il fabbisogno energetico del singolo nodo. Inoltre, la risoluzione spaziale fornita dal GPS può essere insufficiente per molte applicazioni, come localizzare con precisione oggetti e persone all'interno di una casa. L'auto-localizzazione nelle reti di sensori è attualmente un'area di ricerca assai attiva [3, 7, 8, 9].

Sintesi dell'invenzione

Lo scopo della presente invenzione è di fornire un algoritmo originale per la localizzazione di dispositivi remoti basato sull'uso congiunto di onde acustiche ed elettromagnetiche, caratterizzato da un'elevata affidabilità ed immunità ai disturbi ambientali.

Un ulteriore scopo della presente invenzione è la capacità di localizzare dispositivi remoti identici tra loro, ma privi di un codice di identificazione.

È scopo della presente invenzione anche quello di fornire un metodo per la localizzazione di dispositivi remoti utilizzante onde acustiche ed elettromagnetiche che si basi sull'impiego di

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

tecnologie e protocolli noti e standard nell'ambito del telerilevamento e delle tecnologie elettroniche anche al fine di facilitarne la manutenzione e migliorarne l'affidabilità, pur tenendone basso il costo.

Questi ed altri scopi sono ottenuti mediante un sistema di rilevamento della posizione, e una relativa tecnica per la determinazione delle coordinate di M dispositivi allocati su dei punti di interesse in un sistema di coordinate ad N dimensioni secondo i principi esposti nelle rivendicazioni allegate.

L'apparato comprende un sistema di trasmettitori di tipo acustico, per l'emissione di segnali sonori verso una pluralità di dispositivi ricevitori allocati in base alle coordinate specifiche dei punti di interesse.

La tecnica prevede dei mezzi di analisi, associati con l'apparato, tali da elaborare le misurazioni relative alle distanze tra il trasmettitore e ciascun ricevitore. I mezzi di analisi comprendono a loro volta dei mezzi di rilevazione e dei mezzi di elaborazione dati. I mezzi di rilevazione producono in un primo momento degli impulsi sonori di cui si rilevano i tempi di emissione quindi sono attuate le relative misurazioni riferite al periodo intercorso tra la trasmissione del suono e la ricezione della corrispondente onda elettromagnetica da parte del dispositivo ricevitore. I mezzi di calcolo elaborano le misure dei tempi e quindi delle distanze acquisite.

Più in dettaglio un insieme di "fari", o "boe", emette una sequenza

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENIGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

di impulsi acustici o ultra-acustici nella regione di spazio che contiene i dispositivi remoti, elementi della rete. Nel momento in cui ciascun dispositivo remoto è investito dal fronte d'onda acustica, trasmette, indipendentemente da tutti gli altri, un segnale in radiofrequenza (RF), nella banda libera ISM, di acknowledge alla radio base (o CIP). La radio base conosce le posizioni dei "fari" acustici e i tempi di arrivo dei segnali di acknowledge, e sulla base di questi calcola la posizione di ciascun dispositivo remoto servendosi di un algoritmo robusto. L'algoritmo, sfruttando i vincoli geometrici del problema, è in grado di eliminare falsi segnali di acknowledge dovuti a riflessioni acustiche indesiderate, a disturbi ambientali o ad altre cause.

Il sistema è in grado di funzionare anche in ambienti rumorosi con centinaia di dispositivi remoti in regioni spaziali di centinaia di metri quadrati.

DESCRIZIONE DI UNA REALIZZAZIONE PREFERITA

Al solo fine di meglio chiarire l'invenzione e senza con ciò volerne limitare l'ambito ed i settori in cui essa può trovare applicazione, di seguito si descriveranno alcune implementazioni specifiche con riferimento alla Figura 1 allegata in cui è mostrata una rappresentazione schematica a blocchi funzionali del funzionamento del trovato.

Il sistema proposto si basa su una struttura di rete in cui tutta la potenza di calcolo è concentrata nella radio base 2, mentre la sezione di localizzazione dei singoli dispositivi remoti $3'$, $3''$,...3^M

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENICHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

è estremamente semplice; in aggiunta a ciò, la capacità di localizzare dispositivi remoti identici rende possibile una produzione di massa dei dispositivi remoti ed una enorme riduzione dei costi di produzione.

Il sistema proposto si può avvalere dell'integrazione su singolo chip di un'unità di calcolo con sensori, circuiti di condizionamento e conversione del segnale ed elettronica di comunicazione wireless, che permette di costruire sistemi completi chiamati system-on-chip (SOC), rendendo ancora più appetibile il sistema proposto.

Viene descritto un sistema e un metodo per determinare la posizione di una molteplicità di dispositivi remoti, eventualmente dotati di sensori a bordo, in un sistema di riferimento N-dimensionale, dove i dispositivi remoti 3 ricevono segnali da opportuni emettitori acustici o ultra-acustici 4 in numero non inferiore a N+1.

Il sistema è quindi composto da un insieme di emettitori 4', 4",... 4^{N+1} di onde acustiche o ultra-acustiche, detti "fari" o "boe", i quali emettono una sequenza di impulsi acustici o ultra-acustici nella regione di spazio che contiene i dispositivi remoti di cui si vuole individuare la posizione in relazione al sistema di riferimento dato. Le onde di pressione si propagano nel mezzo (gas, liquido, solido) e raggiungono i dispositivi remoti $3'$, $3''$,...3^{M}.

Nel momento in cui ciascun dispositivo remoto è investito dal

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENICHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

fronte d'onda acustica, trasmette, indipendentemente da tutti gli altri, un segnale in radio frequenza (RF) di acknowledge omnidirezionale, il quale viene captato dalla radio base, (o CIP). La radio base 2 conosce le posizioni dei "fari" acustici 4', 4",...4^{N+1} e i tempi di arrivo dei segnali di acknowledge, e sulla base di questi calcola la posizione di ciascun nodo servendosi di un algoritmo robusto, di seguito descritto.

Ciascun dispositivo remoto 3 è composto da almeno i seguenti componenti:

- un microfono, operante nella banda acustica di interesse, che rileva l'andamento del campo di pressione acustica presso il sensore e l'arrivo dei fronti d'onda emessi dai fari;
- un circuito di condizionamento di segnale (adattamento di impedenza, amplificatore, filtro di reiezione del rumore fuori banda);
- un circuito di riconoscimento del segnale, che identifica il segnale utile tra tutti i suoni ricevuti (nella sua forma più semplice, un decisore a soglia, oppure un circuito capace di confronto tramite cross-correlazione con un segnale campione, un circuito di stima di indicatori statistici, reti neurali, etc);
- un trasmettitore RF, in una opportuna banda (per es. ISM), per comunicare l'avvenuta ricezione alla radio base; eventualmente, ai fini della corretta associazione tra lettura dei sensori a bordo e posizione del dispositivo remoto nel

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

sistema di riferimento, il trasmettitore deve essere in grado di trasmettere un codice che identifichi univocamente il dispositivo remoto e i dati letti dai suoi sensori;

- un controllore, che si incarica di gestire la ricezione del segnale acustico, il processamento del segnale e la trasmissione dell'avvenuta ricezione.

La radio base 2 è composta almeno dai seguenti componenti:

- N+1 trasmettitori di impulsi acustici o ultra-acustici, la cui banda è selezionata in base alle esigenze di accuratezza della localizzazione, distanza massima dei dispositivi remoti $3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M} dagli emettitori e silenziosità delle operazioni; la posizione dei trasmettitori all'interno del sistema di riferimento dato è nota con sufficiente accuratezza;

- un ricevitore in radio frequenza, in grado di captare i segnali, relativi al posizionamento e alla lettura dei sensori on-board, emessi dai singoli dispositivi remoti;

- un sistema di calcolo per il computo della posizione dei dispositivi remoti $3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M} a partire dalla differenza tra i tempi di emissione dell'impulso acustico e di ricezione del segnale in radio frequenza;

- un algoritmo, eseguito dal sistema di calcolo della radio base 2, basato su una formulazione matriciale del problema di localizzazione, in grado di fornire la posizione dei dispositivi remoti $3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M} nel sistema di riferimento dato.

<u>Modalità di funzionamento del sistema di localizzazione</u>

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

Il primo trasmettitore acustico emette un impulso, eventualmente codificato; il fronte d'onda acustica si propaga nella regione di spazio ove si trovano i dispositivi remoti $3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M}, investendoli. I dispositivi remoti, nel momento in cui captano con il microfono a bordo il fronte d'onda, emettono l'impulso in RF. Successivamente, la radio base 2 capta e registra i segnali RF, che si suppongono per ora non codificati e identici, provenienti dai dispositivi remoti $3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M}, che permettono di valutare i tempi di arrivo. I tempi di arrivo sono proporzionali alla distanza d_{ij} tra la sorgente acustica i- esima e il dispositivo remoto j-esimo.

In assenza di disturbi (per esempio riflessioni acustiche ambientali), i segnali ricevuti sono in numero pari ai dispositivi remoti raggiunti dal fronte d'onda acustica con energia sufficiente. La misura del tempo di volo tra emissione della sorgente i-sima e dispositivo remoto j-simo permette di ricavare la distanza tra la sorgente e il dispositivo remoto, per ora supponendo che la velocità di propagazione sia nota, costante nel tempo e uguale in tutta la regione di spazio d'interesse. Per ogni emissione della sorgente i-esima, viene formato un vettore di ricezione D_i composto dalla successione delle distanze, ricavate come prodotto tra i tempi di ricezione e velocità stimata del suono. La finestra temporale di ascolto e' scelta in ragione della massima distanza utile stimata dei dispositivi remoti. Generalmente, in assenza di disturbi, in vettore D_i ha lunghezza massima M, pari al numero di dispositivi remoti $3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M} presenti. In presenza di disturbi di

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

tipo acustico o elettromagnetico, che possano essere interpretati erroneamente come segnali di ricezione in eccesso, il vettore di ricezione ha lunghezza $L_i > M$.

Ripetendo quanto detto per tutte le sorgenti acustiche o boe, si ottengono N+ l vettori di ricezione.

La posizione $X_j = (x_{1j}, x_{2j}\ldots x_{Nj})$ del dispositivo j-simo può essere calcolata a partire dalle N+1 distanze d_j, $d_{2j},\ldots d_{N+1j}$ come punto di intersezione delle N+1 sfere di raggio d_{ij} centrate nelle posizioni (x_{Si}, y_{Si}, z_{Si}, con i= 1, 2,...N+1) delle N+1 sorgenti acustiche. Per N = 3 e ponendo $x_{1j} = x_j$, $x_{2j} = y_j$, $x_{3j} = z_j$, si ottiene:

$$\begin{cases} (x_j - x_{S1})^2 + (y_j - y_{S1})^2 + (z_j - z_{S1})^2 - d_{1j}^2 = 0 \\ (x_j - x_{S2})^2 + (y_j - y_{S2})^2 + (z_j - z_{S2})^2 - d_{2j}^2 = 0 \\ (x_j - x_{S3})^2 + (y_j - y_{S3})^2 + (z_j - z_{S3})^2 - d_{3j}^2 = 0 \\ (x_j - x_{S4})^2 + (y_j - y_{S4})^2 + (z_j - z_{S4})^2 - d_{4j}^2 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENIGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

Sottraendo la prima equazione delle altre si ottiene un sistema lineare in 3 equazioni e 3 incognite (x_j, y_j, z_j), le coordinate del dispositivo remoto nel sistema di riferimento 3-dimensionale definito per le sorgenti acustiche :

$$\begin{bmatrix} x_{S2}-x_{S1} & y_{S2}-y_{S1} & z_{S2}-z_{S1} \\ x_{S3}-x_{S1} & y_{S3}-y_{S1} & z_{S3}-z_{S1} \\ x_{S4}-x_{S1} & y_{S4}-y_{S1} & z_{S4}-z_{S1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{S2}^2 - x_{S1}^2 + y_{S2}^2 - y_{S1}^2 + z_{S2}^2 - z_{S1}^2 + d_{1j}^2 - d_{2j}^2 \\ x_{S3}^2 - x_{S1}^2 + y_{S3}^2 - y_{S1}^2 + z_{S3}^2 - z_{S1}^2 + d_{1j}^2 - d_{3j}^2 \\ x_{S4}^2 - x_{S1}^2 + y_{S4}^2 - y_{S1}^2 + z_{S4}^2 - z_{S1}^2 + d_{1j}^2 - d_{4j}^2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

L'equazione precedente può essere riscritta compattamente in forma matriciale:

$$AX_j = B_j, \qquad (3)$$

e risolta come:

$$X_j = A^{-1} B_j. \qquad (4)$$

È possibile dimostrare che, disponendo opportunamente le sorgenti, la matrice A è invertibile [10].

La posizione X_j del j-esimo dispositivo remoto si può calcolare a partire dalla conoscenza di A, determinata dalle posizioni note delle sorgenti, e dalla N+1-pla (d_{1j}, d_{2j},...d_{N+1j}).

Sfortunatamente, a causa della struttura del sistema e della sequenza delle operazioni descritte, non è possibile distinguere a priori per ogni dispositivo remoto j la N+1-pla (d_{1j}, d_{2j},...d_{N+1j}) all'interno dei vettori di ricezione (D_1, D_2,...D_{N+1}) .

È perciò necessario un opportuno algoritmo di ricerca, che permette di selezionare i possibili candidati (d_{1j}, d_{2j},...d_{N+1j}), all'interno dei vettori di ricezione (D_1, D_2,...D_{N+1}). Successivamente, viene calcolato il vettore X_j attraverso l'equazione (4).

Il vettore X_j viene quindi valutato nell'equazione (1), e può essere considerato una soluzione ammissibile del problema di localizzazione se il residuo ottenuto è nullo, o inferiore ad una soglia prestabilita che tiene conto del rumore totale da cui è affetto il calcolo complessivo.

I passi sopra esposti vengono ripetuti finché vengono calcolate le posizioni di tutti gli M dispositivi remoti $3'$, $3''$,...3^M .

L'algoritmo di ricerca ha un ruolo fondamentale nelle operazioni sopra esposte. Infatti, in assenza di una opportuna strategia, nel

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

caso peggiore e in assenza di disturbi, si devono eseguire un numero M^{N+1} di valutazioni in sequenza dell'equazione (4) e dell'equazione (1), numero che può essere molto elevato. Per esempio, per N = 3 (caso 3D) e M = 100, il numero di valutazioni è 10^8.

In caso di disturbi, il numero di valutazioni cresce fino a $L_1 \cdot L_2 \cdot \ldots L_{N+1}$, con $L_i > M$.

Si descrive qui un algoritmo di ricerca appropriato per ridurre considerevolmente il carico computazionale, basato sulla considerazione che le sorgenti si trovano all'interno di una sfera di raggio r_{max} e gli elementi di ciascuna N+1-pla (d_{1j}, d_{2j},...d_{N+1j}), non differiscono perciò di più di $2r_{max}$.

L'algoritmo opera come segue:

- da uno dei vettori D_i, per esempio dal vettore D_1, viene estratto il primo elemento, d_{11};
- vengono estratti dai rimanenti vettori D_i (i=2, 3,...N+1) tutti gli elementi che differiscono al massimo di $2r_{max}$, e che quindi sono dei possibili candidati. Per scelte ragionevoli di r_{max} il numero di tali elementi supera di poco N+1;
- vengono calcolate tutte le combinazioni degli elementi estratti, senza scambio tra gli elementi di vettori diversi, che vengono usate per calcolare un insieme di X_j dall'eq.(4);
- se una delle combinazioni produce, attraverso l'eq.(4), un residuo nullo o sufficientemente piccolo nella eq.(1), allora il primo elemento estratto d_{11} è un segnale di ricezione

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENIGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

valido. In questo caso, viene opportunamente memorizzata la coordinata del dispositivo remoto appena ricavata e gli N+1 elementi che producono il vettore X_j soluzione dell'equazione (1) vengono eliminati dai rispettivi vettori D_i;

- altrimenti, nessuna delle combinazioni produce un risultato valido, perciò si può concludere che il primo elemento estratto dal vettore D_1 è non valido, cioè si tratta di un disturbo. Questo elemento viene eliminato dal vettore D_1;
- successivamente, in tutti e due i casi precedenti, si sceglie ancora il primo elemento di D_1, e si ripetono i passi sopra descritti, finché gli elementi del vettore D_1 vengono esauriti.

A seguito di questo algoritmo, vengono certamente identificate le coordinate di tutti gli M dispositivi remoti. Nei vettori D_i ($i \neq 1$), rimangono $L_i - M$ elementi residui corrispondenti ai disturbi ricevuti.

Il sistema proposto può operare anche in differente modalità detta di "sparo singolo". In questa modalità, le sorgenti acustiche emettono contemporaneamente i loro impulsi, che possono essere indistinguibili l'uno dall'altro per andamento del segnale. Ciò comporta una semplificazione dell'hardware, che prevede un solo pulsatore per tutte le sorgenti acustiche, e un vantaggio in termini di frequenza di ripetizione dell'impulso, e quindi di tempi di refresh delle posizioni, dal momento che bisogna attendere approssimativamente un solo tempo di propagazione dei fronti d'onda acustici nella regione di spazio di interesse, invece di N+1

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENIGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

tempi di propagazione.

La differenza con la modalità precedente risiede nel fatto che non è più possibile distinguere N+1 vettori di ricezione, ma si ha un unico vettore D. Ne consegue che risulta indeterminata la posizione relativa, o indice i, di ciascun elemento d_{ij} all'interno dei dati disponibili, mentre nel caso precedente risulta fissato e noto l'indice i di ciascun elemento d_{ij}. Come conseguenza, durante la ricerca degli elementi appartenenti alla j- esima N+l-pla, bisogna considerare anche lo scambio di posizione nella N+l-pla degli elementi estratti dal vettore D, con grande aggravio del carico computazionale.

L'algoritmo sopra descritto si presta anche al funzionamento del sistema in modalità sparo singolo.

Infatti, basta applicare l'algoritmo a N+l vettori tra loro identici, ciascuno copia dell'unico vettore D disponibile.

Calcolo della velocità locale

Si può raggiungere un maggiore livello di accuratezza di localizzazione stimando di volta in volta la velocità del suono sulla tratta (media) sorgenti-singolo dispositivo remoto, dal momento che la velocità del suono può variare in modo non trascurabile in funzione della temperatura, umidità, pressione dell'aria e soprattutto delle perturbazioni atmosferiche. A questo scopo, l'eq. (2) viene opportunamente modificata come segue:

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

$$\begin{bmatrix} x_{S2}-x_{S1} & y_{S2}-y_{S1} & z_{S2}-z_{S1} & t_{2j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S3}-x_{S1} & y_{S3}-y_{S1} & z_{S3}-z_{S1} & t_{3j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S4}-x_{S1} & y_{S4}-y_{S1} & z_{S4}-z_{S1} & t_{4j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S5}-x_{S1} & y_{S5}-y_{S1} & z_{S5}-z_{S1} & t_{5j}^2-t_{1j}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \\ v_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{S2}^2-x_{S1}^2+y_{S2}^2-y_{S1}^2+z_{S2}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S3}^2-x_{S1}^2+y_{S3}^2-y_{S1}^2+z_{S3}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S4}^2-x_{S1}^2+y_{S4}^2-y_{S1}^2+z_{S4}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S5}^2-x_{S1}^2+y_{S5}^2-y_{S1}^2+z_{S5}^2-z_{S1}^2 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

dove t_{ij} è il tempo di arrivo del fronte d'onda emesso dalla sorgente i-esima al dispositivo remoto j-esimo. Qui si considera la N+2-pla (t_{1j}, t_{2j},...t_{N+2j}), all'interno dei vettori di ricezione (T_1, T_2,...T_{N+2}).

La soluzione è analoga alle eqs. (3) e (4). Le sorgenti richieste sono 5 o, in generale, N+2. La matrice A deve essere invertita ad ogni calcolo di X_j, che include v_j, la velocità media del suono lungo il tratto tra la sorgente e il dispositivo remoto. Come nel caso precedente, è possibile dimostrare che A è invertibile disponendo opportunamente le sorgenti.

Il calcolo procede come nel caso precedente sostituendo (T_1, T_2,...T_{N+2}) a (D_1, D_2,...D_{N+1}) ed e' aggravato dalla necessita' di dover invertire la matrice A per ogni stima di X_j e dall'aumento delle sorgenti, nel caso 3D, da 4 a 5.

BIBLIOGRAFIA

(1) J.N. Ash and R.L. Moses, "Acoustic time delay estimation and sensor network self-localization: experimental results," J. Acoust. Soc. Am., vol. 118, n. 2, August 2005.

(2) R. L. Moses, D. Krishnamurthy, R. M. Patterson, "A self-localization method for wireless sensor networks", EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol. 4, pp. 348-358, 2003.

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

(3) D. Esrin, L. Girod, G. Pottie, and M. Srivastava, "Instrumenting the world with wireless sensor networks", Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing, vol. 4, pp. 2033-2036, Salt Lake City, Utah, USA, May 2001.

(4) G. Pottie, and W. Kaiser, "Wireless integrated networks sensors", Communications of the ACM, vol. 43, n. 5, pp. 51-58, 2000.

(5) S. Kumar, D. Shepherd, and F. Zhao eds., "Collaborative signal and information processing in microsensor networks", IEEE Signal Processing Magazine, vol. 19, n. 2, pp. 13-14, 2002.

(6) N. Bulusu, J. Heidemann, an D. Esrin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices", IEEE Personal Communications Magazine, vol. 7, n. 5, pp. 28-34, 2000.

(7) C. Savarese, J. Rabaey, and J. Beutel, "Locationing in distributed ad-hoc wireless sensor networks", Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing, vol. 4, pp. 2037-2040, Salt Lake City, Utah, USA, May 2001.

(8) A. Savvides, C.-C. Han, and M. B. Strivastava, "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks f sensor", Proc. 7th Annual Int. Conf. On Mobile Computing and Networking, pp. 166-179, Rome, Italy, July 2001.

(9) L. Girod, V. Bychkovskiy, J. Elson, and D. Esrin, "Locating tiny sensors in time and space: a case of study", proc. Int. Conf. On Computer Design, vol. 3, pp. 1870-1874, Freiburg, Germany, September 2002.

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENIGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

(10) F. Figueroa, and E. Barbieri, "Position detecting System and method, U.S. Patent n° 5,280,457, 1994.

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENIGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

RM 2006 A 000638

RIVENDICAZIONI

1. Un metodo per la localizzazione di M dispositivi remoti ($3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M}) attraverso le loro coordinate in un sistema a N dimensioni caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi relative a:

a- emissione da parte di un primo trasmettitore acustico di un impulso, il cui fronte d'onda acustica si propaga nella regione di spazio ove si trovano detti dispositivi remoti ($3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M}) investendoli;

b- emissione di un impulso a radiofrequenza da parte di ciascun dispositivo remoto ($3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M}), nel momento in cui esso capta con il microfono a bordo detto fronte d'onda;

c- acquisizione da parte di una radio base (2) dei segnali a radiofrequenza, provenienti dai dispositivi remoti ($3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M}), che permettono di valutare i tempi di arrivo, proporzionali alla distanza (d_{ij}) tra la sorgente acustica i-esima (4) ed il dispositivo remoto j-esimo (3);

d- popolazione per ciascuna emissione della sorgente i-esima, di un vettore di ricezione (D_i), in assenza di disturbi di lunghezza massima M, composto dalla successione delle distanze, ricavate come prodotto tra tempi di ricezione e velocità stimata del suono, pari al numero di dispositivi remoti presenti;

e- ripetizione delle fasi a, b, c, d per tutte le N+1 sorgenti acustiche, per il popolamento di N+1 vettori di ricezione;

f- calcolo della posizione $X_j = (x_{1j}, x_{2j},...x_{Nj})$ del dispositivo j-esimo a partire dalle N+1 distanze $d_{1j}, d_{2j},...d_{N+1j}$, come punto

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

di intersezione delle N+1 sfere di raggio d_{ij} centrate nelle posizioni (x_{Si}, y_{Si}, z_{Si}, con i = 1, 2,...N+1) delle N+1 sorgenti acustiche.

2. Un metodo per la localizzazione di dispositivi remoti ($3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M}) attraverso le loro coordinate in un sistema a N dimensioni secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che in presenza di disturbi di tipo acustico o elettromagnetico, che potrebbero essere interpretati erroneamente come segnali di ricezione in eccesso, il vettore di ricezione sia sovradimensionato ad una lunghezza $L_i > M$.

3. Un metodo per la localizzazione di dispositivi remoti ($3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M}) attraverso le loro coordinate in un sistema a tre dimensioni secondo ciascuna delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che avendo posto $x_{1j} = x_j$, $x_{2j} = y_j$, $x_{3j} = z_j$ si operi in base alle seguenti fasi di calcolo matriciale:

sottrazione della prima equazione dalle altre nel sistema

$$\begin{cases} (x_j - x_{S1})^2 + (y_j - y_{S1})^2 + (z_j - z_{S1})^2 - d_{1j}^2 = 0 \\ (x_j - x_{S2})^2 + (y_j - y_{S2})^2 + (z_j - z_{S2})^2 - d_{2j}^2 = 0 \\ (x_j - x_{S3})^2 + (y_j - y_{S3})^2 + (z_j - z_{S3})^2 - d_{3j}^2 = 0 \\ (x_j - x_{S4})^2 + (y_j - y_{S4})^2 + (z_j - z_{S4})^2 - d_{4j}^2 = 0 \end{cases} \qquad (1)$$

per ottenere un sistema lineare di tre equazioni in tre incognite (x_j, y_j, z_j) da cui ricavare l'equazione matriciale delle coordinate del dispositivo remoto nel sistema di riferimento 3-dimensionale definito per le sorgenti acustiche;

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

b- risoluzione dell'equazione in base alla forma vettoriale,

$$X_j = A^{-1}B_j, \quad (4)$$

la matrice A essendo invertibile per effetto della disposizione delle sorgenti, di qui calcolando la posizione X_j del j-esimo dispositivo remoto (3) a partire dalla conoscenza di A determinata dalle posizioni note delle sorgenti, e dalla N+1-pla $(d_{1j}, d_{2j},\ldots d_{N+1j})$.

4. Un metodo per la localizzazione di dispositivi remoti (3', 3'',...3^M) attraverso le loro coordinate in un sistema a N dimensioni secondo ciascuna delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che una distinzione a priori, per ogni dispositivo remoto j, della N+1-pla $(d_{1j}, d_{2j},\ldots d_{N+1j})$ all'interno dei vettori di ricezione $(D_1, D_2,\ldots D_{N+1})$ avvenga attraverso una procedura di ricerca, che seleziona i possibili candidati $(d_{1j}, d_{2j},\ldots d_{N+1j})$, all'interno dei vettori di ricezione $(D_1, D_2,\ldots D_{N+1})$, per calcolare il vettore X_j attraverso l'equazione $X_j = A^{-1}B_j$ (4), detto vettore X_j essendo valutato nell'equazione (1), una soluzione ammissibile del problema di localizzazione se il residuo ottenuto è nullo, o inferiore ad una soglia prestabilita che tiene conto del rumore totale da cui è affetto il calcolo complessivo.

5. Un metodo per la localizzazione di dispositivi remoti (3', 3'',...3^M) attraverso le loro coordinate in un sistema a N dimensioni secondo ciascuna delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che la riduzione del carico computazionale, nel caso le sorgenti si trovino all'interno di una sfera di raggio r_{max}

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENICHETTI - FIAMMENGHI N°27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

e gli elementi di ciascuna N+1-pla (d_{1j}, d_{2j},...d_{N+1j}), non differiscano perciò di più di $2r_{max}$, avvenga attraverso un procedimento comprendente le seguenti fasi:

i- estrazione da uno dei vettori D_i del primo elemento;

ii- estrazione dai rimanenti vettori D_i di tutti gli elementi che differiscono al massimo di $2r_{max}$, e che quindi sono dei possibili candidati, il numero di tali elementi superando di poco N+1 per scelte ragionevoli di r_{max};

iii- calcolo di tutte le combinazioni degli elementi estratti, senza scambio tra gli elementi di vettori diversi, che vengono usate per calcolare un insieme di X_j dall'equazione (4);

iv.a- se una delle combinazioni produce, attraverso l'equazione (4), un residuo nullo o sufficientemente piccolo nella equazione (1), acquisizione del primo elemento estratto come segnale di ricezione valido, di qui memorizzando la coordinata del dispositivo remoto appena ricavata ed eliminando gli N+1 elementi che producono il vettore X_j soluzione dell'equazione (1) dai rispettivi vettori D_i;

iv.b- altrimenti, con nessuna delle combinazioni che produce un risultato valido, invalidazione del primo elemento estratto dal vettore, trattandosi di un disturbo, che va eliminato dal vettore stesso;

v- scelta ulteriore, successivamente a tutti e due i casi iv.a e iv.b precedenti, del primo elemento di D_i, ed iterazione dei passi i, ii, iii, iv, finché gli elementi del vettore stesso vengono

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENICHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

esauriti.

6. Un metodo per la localizzazione di dispositivi remoti ($3^{'}$, $3^{''}$,...3^{M}) attraverso le loro coordinate in un sistema a N dimensioni secondo ciascuna delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che tutte le sorgenti acustiche, tarate su un solo pulsatore, emettano contemporaneamente i loro impulsi, eventualmente indistinguibili l'uno dall'altro per andamento del segnale, operando quindi su una singola frequenza di ripetizione dell'impulso, con ciò instaurando un regime di attesa vincolato ad un solo tempo di propagazione dei fronti d'onda acustici nella regione di spazio di interesse.

7. Un metodo per la localizzazione di dispositivi remoti attraverso le loro coordinate in un sistema a N dimensioni secondo le rivendicazioni 5 e 6 caratterizzato dal fatto che operando con un unico vettore di ricezione (D), per la ricerca degli elementi appartenenti alla j- esima N+1-pla, venga considerato anche lo scambio di posizione nella N+1-pla degli elementi estratti dal vettore D, di qui l'impiego della procedura, applicata a N+1 vettori D_i tra loro identici, ciascuno copia dell'unico vettore D disponibile, comprendente le seguenti fasi:

i- estrazione da uno dei vettori D_i del primo elemento;

ii- estrazione dai rimanenti vettori D_i di tutti gli elementi che differiscono al massimo di $2r_{max}$, e che quindi sono dei possibili candidati, il numero di tali elementi superando di poco N+1 per scelte ragionevoli di r_{max};

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENICHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

iii- calcolo di tutte le combinazioni degli elementi estratti, senza scambio tra gli elementi di vettori diversi, che vengono usate per calcolare un insieme di X_j dall'equazione (4);

iv.a- se una delle combinazioni produce, attraverso l'equazione (4), un residuo nullo o sufficientemente piccolo nella equazione (1), acquisizione del primo elemento estratto come segnale di ricezione valido, di qui memorizzando la coordinata del dispositivo remoto appena ricavata ed eliminando gli N+1 elementi che producono il vettore X_j soluzione dell'equazione (1) dai rispettivi vettori D_i;

iv.b- altrimenti, se nessuna delle combinazioni ha prodotto un risultato valido, invalidazione del primo elemento estratto dal vettore, trattandosi di un disturbo, che va eliminato dal vettore stesso;

v- scelta ulteriore, successivamente a tutti e due i casi iv.a e iv.b precedenti, del primo elemento di D_i, ed iterazione dei passi i, ii, iii, iv, finché gli elementi del vettore stesso vengono esauriti.

9. Un metodo per la localizzazione di dispositivi remoti attraverso le loro coordinate in un sistema a N dimensioni secondo ciascuna delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto di ottimizzare l'accuratezza di localizzazione stimando di volta in volta la velocità del suono sulla tratta (media) sorgenti-singolo dispositivo remoto, modificando l'equazione (2) in:

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENICHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

$$\begin{bmatrix} x_{S2}-x_{S1} & y_{S2}-y_{S1} & z_{S2}-z_{S1} & t_{2j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S3}-x_{S1} & y_{S3}-y_{S1} & z_{S3}-z_{S1} & t_{3j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S4}-x_{S1} & y_{S4}-y_{S1} & z_{S4}-z_{S1} & t_{4j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S5}-x_{S1} & y_{S5}-y_{S1} & z_{S5}-z_{S1} & t_{5j}^2-t_{1j}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \\ v_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{S2}^2-x_{S1}^2+y_{S2}^2-y_{S1}^2+z_{S2}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S3}^2-x_{S1}^2+y_{S3}^2-y_{S1}^2+z_{S3}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S4}^2-x_{S1}^2+y_{S4}^2-y_{S1}^2+z_{S4}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S5}^2-x_{S1}^2+y_{S5}^2-y_{S1}^2+z_{S5}^2-z_{S1}^2 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

in cui t_{ij} è il tempo di arrivo del fronte d'onda emesso dalla sorgente i-esima al dispositivo remoto j-esimo, in base alla N+2-pla (t_{1j}, t_{2j},...t_{N+2j}), all'interno dei vettori di ricezione (T_1, T_2,...T_{N+2}), essendo le sorgenti richieste N+2 e la matrice A invertita ad ogni calcolo di X_j, che include v_j, velocità media del suono lungo il tratto tra la sorgente e il dispositivo remoto.

10. Apparato per la localizzazione di dispositivi remoti ($3'$, $3''$,...3^M) attraverso le loro coordinate in un sistema a N dimensioni secondo ciascuna delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che ciascun dispositivo remoto (3) è composto da almeno i seguenti componenti:

I- un microfono, operante nella banda acustica di interesse, che rileva l'andamento del campo di pressione acustica presso il sensore e l'arrivo dei fronti d'onda emessi;

II- un circuito di condizionamento di segnale con inclusi adattamento di impedenza, amplificatore, filtro di reiezione del rumore fuori banda;

III- un circuito di riconoscimento del segnale, che identifica il segnale utile tra tutti i suoni ricevuti con inclusi un decisore a soglia, oppure un circuito capace di confronto tramite cross-correlazione con un segnale campione, un circuito di stima di

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENGHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

indicatori statistici, reti neurali, ecc.;

IV- un trasmettitore RF, in una opportuna banda per comunicare l'avvenuta ricezione alla radio base;

V- un controllore, che si incarica di gestire la ricezione del segnale acustico, il processamento del segnale e la trasmissione dell'avvenuta ricezione.

11. Apparato per la localizzazione di dispositivi remoti ($3'$, $3''$,...3^M) attraverso le loro coordinate in un sistema a N dimensioni secondo ciascuna delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che il dispositivo radio base (2) comprende almeno i seguenti componenti:

a- N+1 trasmettitori di impulsi acustici o ultra-acustici, la cui banda è selezionata in base alle esigenze di accuratezza della localizzazione, distanza massima dei dispositivi remoti dagli emettitori e silenziosità delle operazioni, la posizione dei trasmettitori all'interno del sistema di riferimento dato essendo nota con sufficiente accuratezza;

b- un ricevitore in radio frequenza (2), in grado di captare i segnali, relativi al posizionamento e alla lettura dei sensori on-board, emessi dai singoli dispositivi remoti;

c- un sistema di calcolo per il computo della posizione dei dispositivi remoti a partire dalla differenza tra i tempi di emissione dell'impulso acustico e di ricezione del segnale in radio frequenza;

d- un algoritmo, eseguito dal sistema di calcolo della radio base, basato su una formulazione matriciale del problema di

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENICHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

localizzazione, in grado di fornire la posizione dei dispositivi remoti nel sistema di riferimento dato.

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENICHETTI - FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA

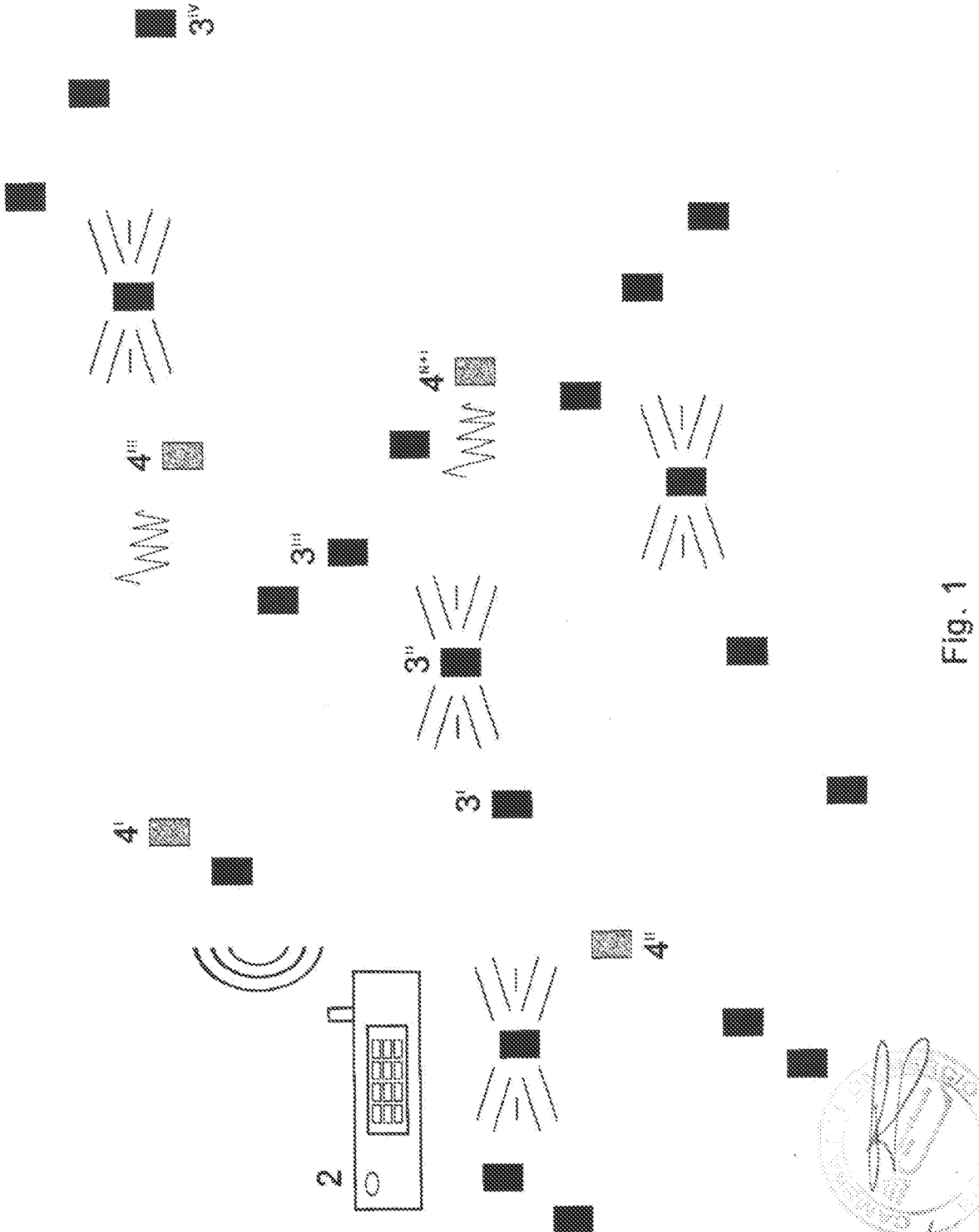

Fig. 1

Avv. C. FIAMMENGHI N° 29
Dott. D. DOMENICHETTI FIAMMENGHI N° 27
Via Quattro Fontane, 31 - ROMA