



### **STAMPARE IL DOCUMENTO**

da inviare in formato cartaceo a:

Indalo Comunicazione – Relazioni Esterne Premio Sapio per la Ricerca Italiana Via  
San Felice 21 - 40122 Bologna

## **MODULO RIASSUNTIVO DEI RISULTATI DI RICERCA**

### **PARTECIPAZIONE AL PREMIO:**

Premio Sapio Industria

### **TITOLO DEI RISULTATI DI RICERCA:**

Sistema multimicrofonico 3DVMS per la ripresa sonora multicanale

### **SINTESI CONTENENTE UNA BREVE DESCRIZIONE DEI RISULTATI DI RICERCA:**

Il sistema microfonico elabora i segnali provenienti da una schiera di 32 capsule microfoniche disposte su una superficie sferica di piccolo diametro (80mm), e consente di ottenere sino a 7 segnali microfonici indipendenti, corrispondenti a 7 microfoni virtuali: ciascuno di essi può essere puntato "virtualmente" in qualunque direzione su un orizzonte sferico completo, ed avere una direttività arbitraria, anche molto spinta (cardioide del 6° ordine).

Puntamento e direttività di ciascun microfono virtuale possono essere variati con continuità in tempo reale, senza artefatti, rendendo possibile le operazioni di pan-tilt-zoom, senza alcuna parte meccanica in movimento.

Il sistema funziona in tempo reale a bassa latenza, per applicazioni quali la trasmissione televisiva, mantenendo il sincronismo con il segnale video. Ma è altresì possibile registrare i 32 segnali provenienti dalle capsule del sistema microfonico, ed effettuare in un secondo momento la sintesi dei 7 microfoni virtuali, che possono venire redirezionati durante il processamento, in modo, ad esempio, di "inseguire" una sorgente sonora in movimento. Il puntamento dei microfoni virtuali è molto agevole, grazie ad una interfaccia grafica che sovrappone i puntatori dei microfoni ad una immagine panoramica o ad un segnale video panoramico in tempo reale. Il sistema è stato sviluppato in collaborazione col Centro Ricerche RAI di Torino, e la RAI ha sta già usando una mezza dozzina di sistemi 3DVMS, sia per la registrazione di concerti in "surround", sia per la trasmissione in diretta di concerti e dopera lirica.

### **Autore del progetto DI RICERCA:**

Nome e Cognome: Angelo Farina

Nazionalità: Italiana

Luogo di nascita: Parma, 25/09/1958

Indirizzo privato: Via SALMI Vito n. 3

Tel.: 0521 1991201

Ente di appartenenza e qualifica: 0521 1852689

E-mail: [farina@unipr.it](mailto:farina@unipr.it)

Ente di appartenenza e qualifica: Università degli Studi di Parma Dipartimento di ingegneria Industriale

Qualifica: Professore Ordinario, Ingegnere, Dottore di Ricerca in Fisica Tecnica  
Indirizzo dell'Ente: Via delle Scienze 181/A 43124 PARMA ITALY  
Tel ente: 0521 905701  
E-mail ente: [segreteria@ied.unipr.it](mailto:segreteria@ied.unipr.it)  
Fax ente: 0521 905705

**EVENTUALI ALTRI AUTORI DEI RISULTATI DI RICERCA:**

Nome e cognome, Ente di appartenenza e qualifica:  
Leonardo Scopece, Centro Ricerche RAI di Torino, ricercatore

**EVENTUALI ALTRI AUTORI DEI RISULTATI DI RICERCA:**

Nome e cognome, Ente di appartenenza e qualifica:  
Andrea Capra, Dip. Ing. Industriale, Università degli Studi di Parma, assegnista di ricerca

**EVENTUALI ALTRI AUTORI DEI RISULTATI DI RICERCA:**

Nome e cognome, Ente di appartenenza e qualifica:  
Lorenzo Chiesi, Dip. Ing. Industriale, Università degli Studi di Parma, assegnista di ricerca

**DURATA DEI RISULTATI DI RICERCA:** Dal 2009 ad oggi, ancora in corso.

**DIMENSIONE DEI RISULTATI DI RICERCA:**

1 leading scientist accademico, 3 ricercatori "aziendali", 4 assegnisti di ricerca, 2 dottorandi - Il Centro Ricerche RAI ha finanziato il progetto con una spesa complessiva, dal 2008 ad oggi, di circa 200.000 Euro. Lo spinoff AIDA srl ha contribuito con strumentazione ed ore uomo per circa 150.000 Euro.

**FONTE DI FINANZIAMENTO:**

Centro Ricerche RAI (denaro, laboratori, strumentazione, ore uomo), AIDA srl (ore uomo, strumentazione, ore uomo), Università di Parma (laboratori, strumentazione, ore uomo).

**RUOLO DI CIASCUN RICERCATORE DEI RISULTATI DI RICERCA  
CANDIDATO AL PREMIO SAPIO PER LA RICERCA ITALIANA:**

Angelo Farina è il ricercatore principale ed il supervisore dell'intero progetto. Sua è l'idea originale del "microfono virtuale", e lo sviluppo dell'algoritmo di filtraggio digitale a bassa latenza senza il quale il sistema non potrebbe funzionare. Angelo Farina è un ricercatore molto attivo nel settore dell'acustica e della tecnologia audio, e già in passato si era distinto per alcune innovazioni fondamentali in questi settori, quali lo sviluppo della tecnica di calcolo della propagazione sonora mediante l'algoritmo di tracciamento di fasci piramidali (pyramid tracing), e l'invenzione della tecnica di misura di sistemi elettroacustici basata su segnale sinusoidale a frequenza variabile con legge esponenziale (exponential sine sweep) [1]. Per questo ultimo sviluppo, il prof. Angelo Farina è stato insignito della prestigiosa "fellowship" della Audio Engineering Society. Il progetto 3DVMS non sarebbe comunque potuto nascere senza l'interesse della RAI, ed in particolare del dott. Scopece del Centro Ricerche RAI, che ha creduto fin dall'inizio nella possibilità di realizzare un sistema funzionante, e che si è battuto per reperire i finanziamenti e per poter effettuare la sperimentazione "dal vivo" del sistema. A seguito dello sviluppo del sistema 3DVMS,

il prof. Farina, il dott. Scopece e l'ing. Andrea Capra sono stati insigniti del prestigioso premio 'Giovanni Giovannini 2011' "Nostalgia di Futuro".

## **BREVE DESCRIZIONE DEL SIGNIFICATO COMMERCIALE O DELL'APPLICAZIONE PRATICA DEI RISULTATI DI RICERCA:**

Il progetto è nato dall'esigenza manifestata dai tecnici del suono che lavorano negli studi radiotelevisivi di disporre di un sistema microfónico alternativo all'uso dei microfoni direttivi a puntamento manuale, operati da "fonici di scena" che corrono qua e là, cercando di schivare le telecamere, e tenendo puntati i microfoni (di tipo "shotgun") su cantanti/attori/presentatori.

In particolare veniva chiesto un sistema di puntamento remoto, simile a quello già in uso da anni per il puntamento delle telecamere, mediante un joystick o comunque una interfaccia "amichevole". Inizialmente si è pensato di usare sistemi di brandeggio telecontrollato (gli stessi usati per le telecamere), ma la loro intrinseca rumorosità e complicatezza meccanica hanno fatto preferire lo sviluppo di un sistema completamente innovativo, privo di parti meccaniche in movimento, nel quale i segnali dei microfoni "virtuali" ultradirettivi vengono ottenuti con un innovativo sistema di filtraggio digitale dei segnali provenienti da un gran numero di microfoni disposti sulla superficie di una piccola sfera. L'algoritmo di filtraggio digitale sviluppato è così efficiente da operare in tempo reale, con bassissimo tempo di latenza (pochi millisecondi), e consentire di processare 32 canali in ingresso, con 7 canali in uscita e qualità del segnale di livello "broadcasting" (segnale a 48 kHz, 24 bit, con elaborazione a 32bit in virgola mobile). Il motore di elaborazione è stato implementato su un normale computer portatile con processore i7, senza necessità di impiegare costosi sistemi di elaborazione DSP esterni.

Il tutto è stato "vestito" con una interfaccia grafica molto amichevole, che consente di "vedere" la proiezione del fascio di cattura di ciascun microfono virtuale su una immagine di sfondo, che può essere una foto panoramica a 360° scattata dalla posizione del microfono, oppure anche un video panoramico, ottenuto in tempo reale grazie ad una innovativa tecnica di elaborazione delle immagini basata su una telecamera ad altissima definizione montata sotto uno specchio iperbolico. La traccia di ciascun microfono appare sull'immagine come un cerchio colorato, il cui diametro indica la direttività del microfono. In questo modo l'operatore può puntare i microfoni nelle direzioni volute, usando il mouse o un joystick, e "zoommare" in modo da avvicinare o allontanare l'immagine sonora della sorgente indirizzata, facendo così rimpicciolire o allargare il cerchio corrispondente.

La particolare tecnica di filtraggio impiegata consente di riposizionare puntamento e direttività dei microfoni durante la ripresa, senza che questo causi alcun artefatto udibile nel segnale processato: è dunque possibile "inseguire" una sorgente in movimento, o "copiare" il brandeggio e lo zoom della telecamera, in modo che la scena sonora ripresa sia sempre corrispondente alla prospettiva visiva derivante dall'immagine che sta venendo ripresa.

Il sistema è stato continuamente affinato grazie allo stretto rapporto con i ricercatori ed i tecnici della RAI, e da circa un anno un certo numero di sistemi 3DVMS è stato trasferito dai laboratori del Centro Ricerche RAI alle unità operative, che li impiegano ormai non più a livello sperimentale, ma per la produzione radiotelevisiva, anche in trasmissioni di massimo impegno come il Festival di San Remo. La qualità del segnale sonoro ottenuto dai microfoni virtuali, infatti, si è rivelata paragonabile, ed in molti casi addirittura migliore di quella dei migliori microfoni "shotgun" presenti sul mercato, con una serie di vantaggi operativi evidenti, ed una proverbiale affidabilità,

che ha fatto sì, in tre anni di sperimentazione sul campo, di arrivare alla totale sicurezza di non perdere mai il segnale (cosa che ad esempio non si può certo dire dei radiomicrofoni indossati, che costituiscono l'altra tecnica concorrenziale di ripresa audio).

### **DESCRIZIONE TECNICA DEI RISULTATI DI RICERCA:**

Lo scopo del progetto era ben chiaro sin dall'inizio: realizzare un sistema di microfoni virtuali multipli, in grado di fornire segnali audio di qualità elevata, con accurato controllo della direzione di puntamento e del profilo di direttività del microfono. Per raggiungere tale scopo erano necessari tre ingredienti:

- 1) un sistema costituito da un elevato numero di capsule microfoniche di eccellente qualità, sufficientemente piccole da poter essere disposte in una schiera compatta, ma nello stesso tempo dotate di caratteristiche elettriche ed acustiche di eccellenza assoluta. Queste capsule sono state fornite dalla Sennheiser, che le ha sviluppate appositamente per la realizzazione di sistemi a grande numero di microfoni.
- 2) Una elettronica di interfaccia fra i microfoni ed il computer in grado di convertire i segnali analogici in segnali digitali, mantenendo un accurato controllo del guadagno perfettamente allineato su tutti i canali, ed una perfetta sincronia fra i segnali stessi. Questa circuiteria elettronica è stata sviluppata dalla azienda americana MH Acoustics, ed è così compatta da essere collocata interamente all'interno della sfera microfonica da 80mm. I segnali vengono poi trasferiti digitalmente al computer mediante un singolo cavo rete standard (CAT5), che porta al sistema microfonico anche la tensione di alimentazione per l'elettronica. In questo modo si evita qualunque degradazione del segnale, e diventa possibile collocare il microfono anche a centinaia di metri di distanza dalla postazione di controllo e registrazione.
- 3) Un algoritmo di processamento dei segnali che operi il voluto "filtraggio spaziale", sintetizzando in questo modo un profilo di direttività voluto ed arbitrariamente modificabile in tempo reale. E' nello sviluppo di questo algoritmo, e nella sua efficiente implementazione su una piattaforma di basso costo, che è stato ottenuto un significativo passo avanti rispetto alle conoscenze pregresse, grazie a due idee originali sviluppate da Angelo Farina.

In particolare, un sistema di filtraggio digitale funziona su due set di dati, che vengono combinati mediante lo schema di filtraggio prescelto. Uno dei due set di dati è costituito dai segnali che provengono dai microfoni reali; il secondo set di dati è costituito dai "coefficienti" di filtraggio, che in questo caso sono contenuti in una enorme matrice di coefficienti.

Il calcolo di questi coefficienti, che verrà brevemente illustrato nel seguito, costituisce uno dei due capisaldi innovativi del sistema 3DVMS. L'algoritmo di processamento in tempo reale costituisce il secondo caposaldo: anche se apparentemente si tratta di un banale filtraggio di tipo FIR (finite impulse response), esso è stato implementato in una variante molto particolare, denominata "uniform size partitioned convolution", la cui implementazione su normali processori da computer venne effettuata per la prima volta da Angelo Farina nel 2001 [2] e successivamente trasferita su piattaforma DSP nel 2003 [3].

Il cuore di questo algoritmo è basato sull'uso della trasformata veloce di Fourier (FFT), che rende possibile effettuare il filtraggio digitale con risorse di calcolo limitate. Tuttavia, in generale, il filtraggio FIR tramite FFT produce una notevole latenza, tipicamente pari al doppio della lunghezza dei filtri impiegati (che, nel caso in esame sono tipicamente lunghi da 2049 a 4096 coefficienti).

Tale tempo di latenza sarebbe inaccettabile per le applicazioni tipiche dell'industria radiotelevisiva, e causerebbe la perdita di sincronismo fra segnali audio e video.

Il "trucco" consiste nel suddividere la lunghezza del filtro in un certo numero di blocchetti di dimensioni inferiori, ad esempio 256 campioni cadauno. In questo modo, effettuando in parallelo un certo numero di filtraggi (uno per ciascun blocchetto) si ottiene il segnale filtrato complessivo con un tempo di latenza estremamente ridotto.

In teoria questo comporterebbe però un maggior carico di elaborazioni per il processore. Ma una serie di ottimizzazioni a livello di utilizzo della memoria cache e delle pipeline del processore, fanno sì che, elaborando blocchi di dimensione opportuna, essi restino sempre caricati nella memoria interna del processore, che così si trova a lavorare in condizioni molto più favorevoli che con l'algoritmo FFT classico.

Nella pratica dunque l'uso di questo originale algoritmo di filtraggio, oltre a ridurre il tempo di latenza praticamente a zero, porta anche ad un dimezzamento del carico di lavoro sul processore, che dunque riesce ad elaborare in tempo reale un maggior numero di canali.

Veniamo ora a descrivere la tecnica impiegata per ottenere i coefficienti di filtraggio che sintetizzano i microfoni virtuali. Va detto che questo stesso obiettivo è stato perseguito, negli ultimi anni, anche da almeno altri 5 gruppi di ricerca in giro per il mondo. Tali altri gruppi, tuttavia, hanno cercato di risolvere il problema dal punto di vista teorico, sviluppando complesse formulazioni matematiche per simulare analiticamente il fenomeno della diffrazione del suono attorno al dispositivo (una sfera, in questo caso), e quindi elaborare i segnali provenienti dalle capsule microfoniche con tali complesse equazioni.

L'approccio sviluppato da Angelo Farina è invece completamente "privo di teoria".

Anziché cercare una formulazione matematica che descriva i fenomeni di diffrazione attorno alla sfera, e di interazione fra campo sonoro e microfoni, la soluzione scelta è stata quella di MISURARE tali fenomeni, grazie alla tecnica di misura con segnale sinusoidale a frequenza variabile precedentemente sviluppata.

Questa tecnica di misura consente infatti di ottenere risultati con una accuratezza ed una mancanza di rumore enormemente superiori a quelle delle tecniche di misura precedentemente usate, in pratica superando la accuratezza delle soluzioni analitiche.

Inoltre l'uso di funzioni misurate fornisce anche numerosi altri vantaggi:

- 1) la misura rileva automaticamente le differenze di risposta delle singole capsule, gli effetti di schermatura dati dal supporto del microfono, l'imperfetta equalizzazione delle capsule, etc.
- 2) giacché i risultati delle misure vengono poi matematicamente invertiti, i filtri digitali ottenuti non si limitano a fornire il voluto comportamento direttivo dei microfoni virtuali, ma correggono anche i difetti delle capsule di cui al punto precedente.
- 3) essendo un metodo di processamento puramente numerico e privo di teoria analitica, è possibile sintetizzare microfoni virtuali aventi curve di direttività non descrivibili analiticamente, asimmetriche, "strane".
- 4) il calcolo dei nuovi filtri, allorché si modifica direzione di puntamento o curva di direttività dei microfoni virtuali, è rapidissimo ed efficiente, perché la matrice delle risposte acustiche misurate è già stata invertita una volta per tutte, e la sintesi di un nuovo microfono virtuale richiede solamente di ricombinare i risultati di tale inversione.

Ovviamente il prezzo da pagare per usare questa tecnica di calcolo dei filtri digitali è la necessità di disporre di una camera anecoica, entro la quale effettuare le misure di

caratterizzazione della sonda multimicrofonica impiegata. Essa deve venire montata su un sistema di rotazione meccanizzata, onde ripetere la misura da centinaia di direzioni di arrivo del suono, uniformemente distribuite su tutto l'orizzonte sferico.

I dettagli dei metodi di misura e di inversione matriciale sviluppati sono presentati in [4].

Nel corso del 2011, il sistema è stato poi dotato di una interfaccia utente particolarmente avanzata (peraltro tuttora in corso di perfezionamento), che ha reso possibile l'utilizzo anche per applicazioni di trasmissione in diretta radiotelevisiva. Le successive pubblicazioni [5] e [6] illustrano lo sviluppo di tale interfaccia utente, e della parte ottica necessaria per catturare in tempo reale un segnale video panoramico a 360°: questo sviluppo, peraltro, si presta di per se a numerose altre applicazioni, ancora da sviluppare, relative a sistemi di sorveglianza, applicazioni militari, per la navigazione, etc.

Una parte importante dello sviluppo di questa invenzione è consistito nel "tuning" del sistema, in modo da fornire in uscita segnali audio che non fossero solo corretti dal punto di vista ingegneristico, ma che risultassero anche gradevoli dal punto di vista dell'ascolto umano. A tal fine, sono state necessarie centinaia di ore di prove di ascolto, valendosi anche dell'ausilio di esperti, quali consulenti musicali, direttori d'orchestra, tecnici di studio, etc.

Infatti la completa libertà che il sistema fornisce, se usata male, porta in generale a risultati artisticamente poco accettabili: se ad esempio si esagera con la direttività dei microfoni virtuali, essi non coprono uniformemente la scena sonora, e restano delle zone d'ombra (si pensi ai microfoni come ai proiettori luminosi che illuminano il palcoscenico di un teatro: se si stringono troppo i fasci luminosi, vaste porzioni del palcoscenico resteranno oscure).

Anche in termini di resa timbrica è stato necessario lavorare sulla risposta in frequenza ottimale da assegnare al sistema come "obiettivo da raggiungere": si è presto scoperto, infatti, che una risposta perfettamente piatta (come quella di un microfono "da misura") non rappresenta l'ottimale per la ripresa di concerti o dell'opera lirica: sono dunque state sviluppate funzioni obiettivo specifiche per le varie applicazioni, come peraltro accade anche allorché si scelgono microfoni "reali" diversi a seconda che si debba registrare la voce umana, un pianoforte o un violino...

Di fatto, la tecnica 3DVMS ha aperto un mondo di possibilità infinite, ancora in gran parte da esplorare, soprattutto con riguardo alle riprese più "esotiche", quali suoni della natura, eventi all'aperto, sport, parate, etc.

Si può infatti scegliere arbitrariamente sia la risposta in frequenza, sia la direttività dei microfoni impiegati, ed addirittura si può rendere la direttività variabile con la frequenza. Il tutto con una sonda microfonica di piccole dimensioni, collegata alla postazione di regia da un solo sottile cavo digitale, di lunghezza anche molto lunga, e con controllo remoto del guadagno dei microfoni.

Giacché questo sistema sostituisce sino a 7 microfoni "shotgun" tradizionali, e la relativa elettronica di preamplificazione e di mixaggio, risulta anche assai conveniente dal punto di vista economico, oltre a consentire di risolvere situazioni logisticamente difficili, in cui i microfoni tradizionali non sono ammessi, come è stato ad esempio il caso del concerto svoltosi nel marzo 2011 per i festeggiamenti dell'Unità d'Italia dentro l'aula della Camera, al Parlamento...

**ELENCO E TITOLO(I) DEGLI EVENTUALI BREVETTI RELATIVI AI RISULTATI DI RICERCA:**

Brevetto Italiano n. 0001395894 - Titolo "metodo per acquisire segnali audio e relativo sistema di acquisizione audio" - Inventori: Scopece Leonardo, Farina Angelo, data di pubblicazione: 19 marzo 2011, rilasciato in data: 26 ottobre 2012.

US Patent Application Publication No.: US 2012/0188434 A1 Pub. Date: Jul. 26, 2012  
- Inventors: Leonardo Scopece, Beinasco (IT); Angelo Farina, Parma (IT) - Title: "METHOD FOR ACQUIRING AUDIO SIGNALS, AND AUDIO ACQUISITION SYSTEM THEREOF"

**ELENCO DI UN MASSIMO DI 10 PUBBLICAZIONI ESPRESSAMENTE LEGATE AI RISULTATI DI RICERCA:**

- [1] A. Farina - "Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique" - 108th AES Convention, Paris 18-22 February 2000
- [2] A. Torger, A. Farina - "Real-time partitioned convolution for Ambiophonics surround sound" - 2001 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics - Mohonk Mountain House New Paltz, New York October 21-24, 2001.
- [3] E. Armelloni, C. Giottoli, A. Farina - "Implementation of Real-Time Partitioned Convolution on a DSP Board" - 2003 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics - October 19-22, 2003, New Paltz, NY
- [4] Angelo Farina, Andrea Capra, Lorenzo Chiesi, Leonardo Scopece - "A Spherical Microphone Array For Synthesizing Virtual Directive Microphones In Live Broadcasting And In Post Production" - 40th AES Conference "Spatial Audio - Sense the Sound of Space", Tokyo, Japan, 8-10 October 2010
- [5] Leonardo Scopece, Angelo Farina, Andrea Capra - "3D Virtual Microphone System - Sonda Microfonica ad Elevata Direttività" - Elettronica e Telecomunicazioni, n.1, Aprile 2011, pagg. 14-26 - ISSN: 0013-6123
- [6] Leonardo Scopece, Angelo Farina, Andrea Capra - "360 Degrees Video And Audio Recording And Broadcasting Employing A Parabolic Mirror Camera And A Spherical 32-Capsules Microphone Array" - IBC 2011, Amsterdam, 8-11 September 2011

**DATA:** 13 | 02 | 2013

Modulo inviato correttamente

**Chiudi**