

三次元音響空間を物理的に伝送するリアリティ音場通信に関する研究 (061307009)

Study on the Three Dimensional Sound Field Reproduction System for Reality Communication based on Boundary Surface Control Principle

研究代表者

中村 哲 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 音声言語コミュニケーション研究所
Satoshi Nakamura Spoken Language Communication Laboratories,
Advanced Telecommunications Research Institute International

研究分担者

伊勢史郎[†] 榎本成悟^{††} 池田雄介^{†††}
Shiro Ise[†] Seigo Enomoto^{††} Yusuke Ikeda^{†††}
[†]京都大学大学院 工学研究科 都市環境工学専攻
^{††, †††}株式会社国際電気通信基礎技術研究所 音声言語コミュニケーション研究所
[†]Department of Urban and Environmental Engineering,
Graduate School of Engineering, Kyoto University
^{††, †††}Spoken Language Communication Laboratories,
Advanced Telecommunications Research Institute International

研究期間 平成 18 年度～平成 20 年度

概要

境界音場制御(Boundary Surface Control Principle : Bosc)の原理に基づき物理的に忠実に記録し再現された三次元音場を体験しながら離れた場所にいる人同士が会話することができる「リアリティ音場通信システム」を構築し世界初の音響空間伝送実験を実施した。リアリティ音場通信システムを用いたコミュニケーションでは、離れた場所にいる複数の人同士が同一の音場を共有して会話を行うため、あたかも相手が目の前にいるかのような深いコミュニケーションを体験することができる。本研究課題では、最初に、リアリティ音場通信システムの核となる Bosc 音場収録・再現システムを構築しシステムの性能を実験的に評価した。次に、構築した Bosc 収録システムを用い三次元音場の収録を行い三次元音響空間コンテンツを蓄積したデータベースを構築した。最後に、誰もが物理的に忠実に再現された三次元音場を体験しながらコミュニケーションを行うことの可能なデモンストレーションシステムを株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)と京都大学に構築した。

Abstract

This project aims to develop a perfect massive 3D sound field reproduction system for reality tele-communication based on the Boundary Surface Control (Bosc) principle. In this project, first, « Bosc system » which includes the core technologies for the perfect 3D sound field reproduction was developed and its performance was confirmed by the experimental evaluations. Next, the massive sound field data was recorded by the Bosc system. And the recorded data was stored in the 3D sound field contents database. Last, the Bosc demonstration systems were built in ATR and Kyoto University. These systems enable everybody to listen the 3D sound field contents and to communicate with each other.

1. まえがき

高速ネットワーク技術の発達や PC 等のハードウェア性能の急速な向上に伴い、時空間を越えてあたかも自分が「その場」にいるかのような臨場感を実現する超臨場感コミュニケーションに関する研究が盛んに行われている。超臨場感コミュニケーションでは、五感を正確に伝達する技術が必要とされており、3次元音場を忠実に記録し再現する技術は重要な要素技術の一つである。3次元音場を忠実に再現する技術は波面合成法とも呼ばれ、Huygens の原理(Kirchhoff 積分方程式)に従い音場再現を行う手法が提案されている。特に近年、欧州では A. J. Berkhout が提案した Wave Field Synthesis(WFS)システムの研究開発が活発に行われ実用段階に近づいている。しかしながら、WFS は原理的には忠実な波面合成が可能な技術ではあるがシステムを実現する段階において様々な近似と仮定を必要とし実際の再現精度は十分に検証されていない。そこで本研究では、最初に、境界音場制御(Bosc)の原理に基づ

く 3 次元音場再現システム(Bosc システム)を構築し忠実な波面合成を行うことが可能な技術を確立する。次に、構築した Bosc システムを用いて音場の収録実験を行い音場コンテンツデータベースを構築する。最後に、ATR と京都大学に Bosc システムを設置して音場通信実験を行う。

2. 研究内容及び成果

Bosc は厳密な波面合成には点音源と双極音源が必要になるという制約と、再現音場が自由音場でなければならないという仮定を Kirchhoff 積分方程式と逆システムを組み合わせるにより取り除けることを示す原理である。Bosc システムの構築には、多数のスピーカとマイクロホンを用いたマルチチャンネル逆システムを設計する必要があり、これまで実現が困難であると考えられてきた。本研究開発により、世界で初めて実用的な性能を持つ音場再現システムとして Bosc システムが実現された。構築した Bosc システムはマイクロホンアレー、スピーカアレー、及び音場再現ルームから構成される。

2. 1. Bosc システムの開発と性能評価

マイクロホンアレー (Bosc 収録装置) の開発 Bosc システムでは、離散的に配置されたマイクロホンにより構成される仮想境界面の内部が再現領域となる。本研究では 3 次元音場を均等に記録することができ、かつ強固な構造としてマイクロホンアレーを実現するため C80 Fullerene の分子構造を基に 70 個の端点に無指向性マイクロホンを設置した 70 ch マイクロホンアレーを構築した。アレーの直径は約 46 cm、素子間隔は平均で約 12 cm であり、受聴者の頭部の周辺の音場を記録し再現することを想定している。構築したマイクロホンアレーを図 1(a)に示す。



(a)Bosc 収録装置 (b)Bosc 再生装置

図 1 : Bosc システム

スピーカアレー (Bosc 再生装置) の開発 スピーカとマイクロホンを離して配置することでエンクロージャの容積を確保した。また、スピーカアレーは可搬性を重視し、分解・組み立てが容易で強固な構造となるよう木製のドーム構造とした。構築したスピーカアレーを図 1(b)に示す。アレーは 62 ch のフルレンジユニットが設置された 4 層のドーム部と各 2 ch のサブウーファースが設置された 4 本の柱部から成る。アレーの外寸は幅 1,190mm、奥行 1,600mm、高さ 2,010mm であり、1 人の受聴者が椅子に座り再現された 3 次元音場コンテンツを体験することができる。

音場再現ルーム 音場再現ルームは、再現音を妨害する騒音を遮るため遮音性能 D-30、大きさ 1.5 帖の組立式防音室を用いて構築した。室内の側壁には逆システムの設計を容易にするため吸音パネルを設置した。また、室内には受聴者の頭部を再現領域となるスピーカアレーのドーム部分まで上昇させるためのリフトも設置した(図 1(b)参照)。

音像定位実験 Bosc システムの性能を評価するために被験者の両耳を含む水平面内の音像定位実験を行った。実験結果を図 2 に示す。実験の結果、Bosc システムは高い音像再現性能を持つことが確認された。

音圧分布の測定 原音場と Bosc システムによる再現音場の音圧の RMS 値を計測した。計測は受聴者の両耳の高さの水平面内において行った。計測結果を図 3 に示す。図中の白い円内が再現領域である。図より、再現領域内部では高い精度で音場が再現されていることが確認された。

2. 2. 3. 次元音場データの収録

図 1 に示す Bosc 収録装置を用いて 3 次元音場データの収録した。収録したオーケストラの練習風景や自然音などは 3 次元音場データベースに蓄積され Bosc 再生装置を用いることにより誰もが 3 次元音場を体験することができる。

2. 3. 音場通信実験

Bosc 再生装置を ATR と京大に設置し音場通信実験を実施した。通信には、独立行政法人情報通信研究機構(NICT)が提供する JGN2plus を使用した。実験は面識の無い 2 名の被験者がそれぞれ ATR と京大に設置された Bosc 再生システム内に座り再現音を聞きながら会話をした。実験の結果、ほとんど気にならない程度の遅延で相手の存在を感じながら会話を行うことが可能であることを確認した。

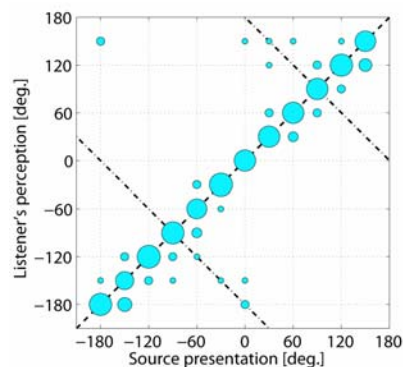


図 2 : 水平面内の音像定位実験結果

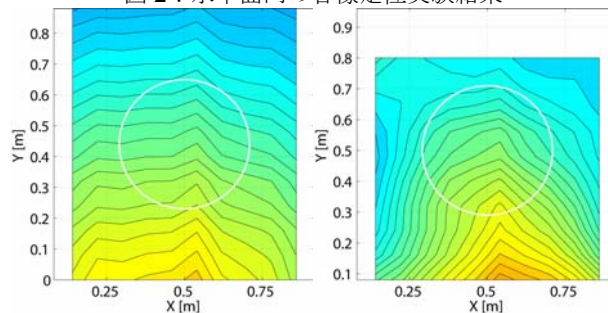


図 3 : 音圧分布の計測結果

(左図:原音場、右図:Bosc システムの再現音場)

3. むすび

3 次元音場を忠実に再現することが可能な Bosc システムを世界で初めて構築し、高い音場再現性能を持つことを実験により確認した。また、Bosc 収録装置を用いて収録した音場コンテンツを体験することが可能なデモシステムを構築した。さらに、ATR と京都大学に Bosc 再生システムを設置し世界初の音場通信実験を行った。

【誌上発表リスト】

- [1] S.Ise, M.Toyoda, S.Enomoto, and S.Nakamura, "An attempt of sound field sharing system for profound communication", First International Symposium on Universal Communication, pp.274-277 (2007 年 6 月)
- [2] S.Ise, M.Toyoda, S.Enomoto, and S.Nakamura, "The development of the sound field sharing system based on the boundary surface control principle", 19th International Conference of Acoustics pp.ELE04-003 (2007 年 9 月)
- [3] S.Enomoto, Y.Ikeda, S.Ise, and S.Nakamura, "Three-dimensional sound field reproduction and recording system based on boundary surface control principle", The 14th International Conference on Auditory Display pp.o_16 (2008 年 6 月)

【申請特許リスト】

- [1]榎本成悟、豊田政弘、伊勢史郎、中村哲、三次元音場再生装置、日本、平成 18 年 11 月 7 日
- [2]伊勢史郎、榎本成悟、豊田政弘、中村哲、音響空間共有装置、日本、平成 19 年 3 月 9 日

【報道発表リスト】

- [1] "自宅でオーケストラ気分 ATR が装置 周囲にスピーカ 70 個"、日本経済新聞、2007 年 10 月 26 日
- [2] "音源の距離、方向ピタリ再現 "三次元"の臨場感 世界初の音響技術"、読売新聞、2007 年 10 月 26 日
- [3] "音の位置再現あるがまま ATR と京大開発"、京都新聞、2007 年 10 月 26 日