

審 査 の 結 果 の 要 旨

論文提出者氏名 小山 翔一

高臨場感インタラクティブ通信への期待とニーズの高まりにより，その基礎をなす音場伝送再現技術の重要性が高まっている．本論文は”Boundary Integral Approach to Sound Field Transform and Reproduction” (音場の変換と再現への境界値積分アプローチ)と題し，音場再現と音源位置推定の問題に関して，その理論的基礎から応用システムの構築までを一貫して扱ったものであり，英文により記述され，全 11 章から構成されている．

第 1 章の”Introduction”においては，音場の記録と再現に必須の要素として空間音場再現と音源位置推定の技術を導入し，これらに関する本論文のアプローチと構成を述べている．

第 2 章の”Mathematical representation of sound field”では，数学的な準備として波動伝搬と回折の基礎事項，ならびに波源位置拘束偏微分方程式を導入している．

第 3 章の”Sound field reproduction and its previous studies”では，音場の物理的再現の従来研究について概説し，音圧分布のみから二次音源の駆動信号を得る新たな手段としての音圧・駆動信号(SP-DS)変換を定義し，これを十分な実用性のもとに実現するために必要不可欠な要件を明らかにしている．

第 4 章の”Inverse wave propagator in sound field reproduction”では，従来手法の一つである波面合成法 (WFS 法) と波面の逆伝播を組み合わせ，平面と直線状マイクロホン・スピーカアレイのための手法を提案している．さらに数値シミュレーション実験により，この方法は SP-DS 変換の一つの実現法を与えるだけでなく，音源を仮想的にスピーカアレイの前面に再現する独自の信号処理法となることを示している．

第 5 章の”Wave field reconstruction filter for planar or linear arrays of microphones and loudspeakers”においては，マイクロホンアレイ上での法線方向音圧勾配分布を時空間スペクトル領域で推定する波面再構成 (WFR) フィルタを提案し，この原理に基づき平面または直線状アレイのための SP-DS 変換手法を導出している．数値シミュレーションにより従来手法より計算量が格段に小さいことと，フィルタの安定性が高いことを示している．

第 6 章の”Wave field reconstruction filter for cylindrical arrays of microphones and loudspeakers”においては，高さ方向も含めた効率的な音場再現を目指し，円筒状アレイのための WFR フィルタに基づく SP-DS 変換法を提案している．円筒内に剛体バッフルを置

くことにより安定な SP-DS 設計が可能になり、平面状アレイの場合に比べて格段に少ない素子数でも高さ方向を含めた音場再現が可能であることを示している。

第 7 章の”Wave field reconstruction filter for spherical arrays of microphones and loudspeakers”においては、WFR フィルタの枠組みを球・円状アレイに拡張し、球状アレイの場合は高次アンビソニックス法と等価かつ直接信号変換可能な方法が得られ、円状アレイの場合は少ない素子数で到来方向を再現可能な方法を与えることを示している。

第 8 章の”Source location informed sound-pressure-to-driving-signal conversion”においては、音場再現における音源位置情報の活用の一つの方法として、音源位置を事前情報として空間エイリアシングによる限界を向上させる SP-DS 変換手法を提案し、数値シミュレーションにより効果を確認している。

第 9 章の”Practical implementations of sound field transmission systems”においては、直線状マイクロホン・スピーカアレイと WFR フィルタを用いた遠隔 2 地点間の音場伝送再現システムの実装と実験結果を述べている。主観評価実験により音源の空間配置が知覚可能なことを示し、3 次元映像伝送と組み合わせて臨場感向上の効果を確認している。

第 10 章の”Direct algebraic method for sound source localization”においては、音源の位置を推定するためのアルゴリズムとして、音源位置を未知数に含む代数方程式に基づく手法を提案し、その音源位置情報の事前獲得の方法論としての意義について論じている。

第 11 章の”Conclusions”は本論文全体の結論であり、それぞれの章で述べてきた内容を総括するとともに、相互の関連のもとでそれらの役割と有用性について明らかにしている。

以上、要するに、本論文は、音圧と音圧勾配の同時取得を前提とした従来の音場再現法やその近似的実現法に対して、波動場の物理的考察に基づき、数値的に安定で計算量も少なく実装も容易な新たな音場再現法を提案し、それらの有効性を数値シミュレーションと実証システム構築ならびに主観評価実験により確認したもので、本研究で考案され実用性を付与された解析手法やアルゴリズム・実装方法は、今後の音響信号処理ならびに高臨場感インタラクティブ通信技術の発展に大きな波及効果が期待でき、システム情報工学上の貢献が大きいと判断される。よって、本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。