

Title	A study on 3-D sound processing systems based on head-related transfer functions( Abstract_要旨 )
Author(s)	Tsujino, Kosuke
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2007-03-23
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2433/135978">http://hdl.handle.net/2433/135978</a>
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	none

氏名	つじのこうすけ 辻野孝輔
学位(専攻分野)	博士(情報学)
学位記番号	情博第267号
学位授与の日付	平成19年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	情報学研究科通信情報システム専攻
学位論文題目	A Study on 3-D Sound Processing Systems Based on Head-Related Transfer Functions (頭部伝達関数を利用した立体音響処理システムに関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 中村行宏 教授 佐藤亨 教授 奥乃博

### 論文内容の要旨

本論文は、バイノーラル合成に基づく2チャンネル方式の立体音響処理を対象とし、多様な処理を低い演算量・メモリ量で実現するための信号処理手法を論じている。具体的には、IIRフィルタを利用した低演算量の立体音響移動処理手法を提案するとともに、音響移動処理のためのデジタルフィルタの自動設計手法を提案している。さらに、同手法を利用した立体音響処理システムの設計を行い、提案手法の有効性を実証するとともに、産業利用可能な形態での提案手法の実装を提供している。論文は以下に示す7章から構成されている。

第1章は序論である。研究の背景として、近年の音声・画像コンテンツの消費形態に見られる変化について述べ、それに伴う立体音響処理への要求について述べることで、研究の目的を示している。

第2章は人間の空間聴覚および立体音響処理技術について、過去の知見を概説している。さらに、立体音響処理の演算量削減の必要性を示すとともに、本研究と類似の方向性を持つ研究をまとめ、過去にこの目的を達成する技術が存在しないことを示している。

第3章は、時変IIRフィルタを用いた立体音響移動処理を提案している。立体音響処理の一般的な応用においては仮想音源の時間経過に従った移動がしばしば要求されるため、バイノーラル処理の実現においては音響の移動を可能とする必要がある。本論文では極零型IIRフィルタのAR係数とMA係数を各々線形補間して音響移動を実現することにより、FIRフィルタを用いた場合と比べ、低い演算量とメモリ量で処理の実現が可能であることを示している。また、従来明らかでなかった、フィルタ係数の更新間隔やフィルタ係数を保持する代表点の空間間隔と、出力音の品質との関係について評価を行い、音響移動処理の実装における指針を示している。

第4章は、立体音響移動処理のためのフィルタ設計手法を提案している。従来のフィルタ設計手法を用いて設計したIIRフィルタを用いて音源移動処理を行なう場合には立体音響効果・音質の大幅な劣化が生じる場合がある。これに対し、本論文では従来用いられてきた勾配法に基づくデジタルフィルタの設計法を改良し、係数補間を伴う音源移動に用いた場合にFIRフィルタに近い特性が得られる設計法を構築している。また、提案手法によって出力音の品質向上が見込めることを聴取実験により明らかにしている。

第5章は、一般的な組込みプロセッサであるARMプロセッサ上での、固定小数点処理を利用した立体音響処理の実装について述べている。最適化実装の結果、提案手法の実時間処理可能を58.9Mcycle/secという低い絵残量で実現している。これにより、提案手法が組込みシステム上に適することを実証するとともに、組込みシステムに応用可能なソフトウェアライブラリの提供に成功している。

第6章は、PCと浮動小数点DSPボードを用いた汎用立体音響処理システムの設計について述べている。システムはIBM互換PCおよびDSPボードから構成される。PC上では聴取者に対する仮想音源の相対的移動を実時間で自由に操作することが可能であり、入力された移動情報はDSPボードもしくは組込みCPUボード上での実時間の立体音響処理に利

用される。また、ヘッドトラックを利用し、聴取者の動きを検知して適応的に立体音響処理を行なう機能も実現している。本システムは実験用途、コンテンツ制作用途、バーチャルリアリティシステム等に応用可能であり、既に、立体音響コンテンツ製作用システムとして産業利用されている。

第7章は、結論として本論文の成果のまとめと今後の展望について述べている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、頭部伝達関数を利用して音響信号に仮想的な立体感を付加し、従来不可能であったような高い臨場感を伴った音響再生を実現する立体音響処理技術に関して研究を行い、高臨場感と演算量の削減を同時に達成する信号処理手法を提案するとともに、提案する信号処理手法に基づいて設計した実時間処理システムを用いた評価の結果をまとめたものである。一連の研究における成果は、以下の通りである。

1. 立体音響処理において仮想音源の連続的移動を実現する立体音響移動処理において、FIR フィルタの線形補間に基づく従来の処理方法は演算量が過大となるという問題を指摘し、IIR フィルタを利用した処理手法によりこの問題点を解決できることを示した。具体的には、IIR フィルタを2次要素の直列接続に分解し、各2次要素の AR/MA 要素を各々線形補間することにより、補間によって得られるフィルタの安定性を保証しつつ、効率的に処理が行なえることを示した。
2. 立体音響処理の実現のためには、頭部伝達関数の特性を近似したデジタルフィルタの設計を行なう必要がある。本研究では立体音響移動処理のための IIR フィルタの自動設計手法を提案した。具体的には、フィルタの補間を行なった場合の特性を含んだ評価関数を最小化するフィルタ設計手法により、補間時のフィルタ特性の急激な変化を防ぎ、出力音の品質向上を実現した。
3. 立体音響処理の実時間処理を行なうシステムの設計を行い、提案信号処理手法を実証した。まず、一般的な組み込みプロセッサである ARM プロセッサ上で提案手法の実時間実装を行なうことで、携帯機器を含む組み込みシステム上で提案手法が十分に実時間処理可能であることを示した。また、高性能 DSP および IBM 互換 PC からなる汎用処理システムの設計を行い、実験用途およびコンテンツ製作用途への利用を可能とした。

以上のように、本論文は音響再生の臨場感向上に重要な立体音響処理技術について研究を行い、信号処理手法の検討、処理システムの設計・試作を通してそれらの有効性を明らかにしたものであり、学術および産業に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年2月9日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。