

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 頭部伝達関数による立体音像定位手法に関する研究   |
| Author(s)    | 小林, 互   |
| Citation     | 大阪大学, 2004, 博士論文  |
| Version Type |   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/44911">https://hdl.handle.net/11094/44911</a>   |
| rights       |   |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。 |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

|            |   |
|------------|---|
| 氏名         | 小 林 瓦   |
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士 (工 学)   |
| 学位記番号      | 第 1 8 7 2 6 号   |
| 学位授与年月日    | 平成 16 年 3 月 25 日  |
| 学位授与の要件    | 学位規則第 4 条第 1 項該当<br>工学研究科情報システム工学専攻   |
| 学位論文名      | 頭部伝達関数による立体音像定位手法に関する研究   |
| 論文審査委員     | (主査)<br>教授 尾上 孝雄<br><br>(副査)<br>教授 村上 孝三    教授 下條 真司    教授 藤岡 弘<br>教授 西尾章治郎    教授 赤澤 堅造    教授 薦田 憲久 |

#### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、頭部伝達関数による立体音像定位手法についてまとめたものであり、以下の6章により構成している。第1章は序論であり、立体音響の現状について述べ、本研究の背景と目的を明らかにするとともに、研究内容と成果について概説している。

第2章では、立体音像定位技術の概要を述べている。立体音像定位の実現方法として、一般的に用いられる頭部伝達関数について述べ、従来の2チャンネル立体音像合成手法とその問題点について述べている。

第3章では、モノラル音源からの立体音像定位手法の考察について記述している。まず、頭部伝達関数の解析による特徴抽出を行い、そこで抽出された特徴から可聴周波数帯域を分割することによって、立体音像定位処理を低演算量かつ低消費電力で実現する手法について考察している。さらに、提案手法を1チップ DSP (Digital Signal Processor) に実装し、音質評価を行っている。

第4章では、立体音像定位を拡張し、立体音像移動を実現するための手法について述べている。本手法を実行するフィルタの係数を再計算することなく、時間と音量の係数のみを補間することで、演算量や消費電力を大きく増やさずに音像移動を実現している。さらに、本音像移動方式を1チップ DSP 上に実装し、本手法の有効性について考察している。

第5章では、本研究で遂行した立体音像定位手法の周波数帯域分割構造に基づき、ステレオ録音された音源の音場を拡大する手法について述べている。本手法では、ステレオ録音ですでに用いられている左右の音量差による定位に、音量差以外の頭部伝達関数要素を付加することで、低演算量での音場拡大を実現している。次に、1チップ DSP への実装を行い、音質評価によって音場拡大の効果を確認している。

第6章では、本研究で得られた成果を要約し、今後に残された課題について述べ、結論としている。

#### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、頭部伝達関数による立体音像定位手法について、周波数帯域を分割して実現する新しい手法の考案と、

実用化に向けた携帯機器向けの実装を行い、以下の主要な結果を得ている。

#### (1) 低演算量立体音像定位手法

従来の立体音像定位手法では、頭部伝達関数を高精度に再現する場合に演算量の増加を招き、低演算量で実現する場合には高精度の立体音像定位が困難となるなど、携帯型アプリケーション向けの条件を満たす高精度、低演算量、低消費電力の手法が存在しなかった。そこで、これらの条件を満足する低演算量立体音像定位手法を考案し、その詳細について記述している。

本手法は、全方向における頭部伝達関数を測定し、その特性の特徴抽出に基づき、可聴周波数帯域を3つに分割し、それぞれの周波数帯域に対して適切な処理を施すことで演算量や計算資源を削減するものである。頭部伝達関数の周波数特性は、低周波数帯域では平坦な振幅特性および線形な位相特性、中間周波数帯域ではピークやディップで構成される複雑な振幅特性と周波数によって非線形な位相特性、高周波数帯域では楕状の振幅特性と  $360^\circ$  超え特徴として捕らえ難い位相特性を示すことから、周波数帯域分割して、その帯域ごとの特性を実現すれば、低演算量かつ高精度な頭部伝達関数近似が可能であることを示している。この結果を立体音像定位に適用し、まず、モノラル信号を周波数帯域分割処理により、3つの周波数帯域に分割し、次に、それぞれの周波数帯域に適した立体音像定位信号処理を行い、最後に、周波数帯域ごとに処理された信号を重ね合わせることによって、携帯機器で許容され得る低演算量と低消費電力で実時間処理を実現している。

#### (2) 立体音像定位手法の DSP 実装

携帯型アプリケーションへの適用を考え、16ビットの固定小数点 DSP で立体音像合成手法を実装している。実装するにあたっては、演算量、メモリ量、演算精度、タイミング条件について、それぞれ考慮されている。

本実装では、組込み向けである、Texas Instruments 社の DSP TMS320C5409 を用い、デジタルオーディオインクフェース部、外部データ入出力部を含む評価用ハードウェアシステムを構築している。この評価システム上で、低周波数帯域では1次シェルビング IIR フィルタ、中間周波数帯域では3つの直列接続された2次 IIR フィルタ、高周波数帯域ではコムフィルタを用いることにより、リアルタイム実装可能な 51.3 MIPS の演算量、ROM 3.2 kwords および RAM 1.4 kwords のメモリ量となり、さらに、消費電力の面でも、1.8 V 電源電圧のとき、83 mW で実装できることを示している。

また、実装上の利点だけでなく、立体音像の音質に関しても、主観評価実験により、高精度を保持していることを明らかにした。以上の結果から、1チップ DSP による実装が可能で、携帯型アプリケーション向けに、考案した立体音像定位手法を適用できることを示している。

#### (3) 立体音像移動手法

考案した低演算量立体音像定位手法を拡張し、立体音像移動に対応する効果的な手法を提案している。本手法は、2つの頭部伝達関数の補間技術を基に、近接する2点間の音像移動を実現している。本手法では、人間の方向知覚に大きく影響する要素である2種類の係数に着目し、それらの補間のみを行うことで、演算量の増加を抑えている。

さらに本拡張手法を、立体音像定位手法の実装に用いた評価システムに、外部から制御データを送信することを追加して、任意の移動を実現するための機能を含めて実装を行っている。全体として 64.3 MIPS の演算量、かつ 11.4 kwords のメモリ量でリアルタイムによる立体音像移動の処理を実現し、1.8 V 電源電圧のとき、約 100 mW で実装できることを示している。この結果より、1チップ DSP によるリアルタイム処理が可能であり、携帯型アプリケーションにも十分適用できることを示している。

#### (4) 頭外音場拡大

考案した低演算量立体音像定位手法の応用として、低演算量ヘッドホンステレオ頭外音場拡大手法を提案している。本手法では、音像定位位置判断に重要な要素に着目し、回折の影響により、可聴周波数帯域を3つの周波数帯域に分割し、周波数帯域ごとに最適な制御を行うことで頭部伝達関数の再現に必要な演算量を削減した。また、提案手法を、

立体音像定位手法の実装に用いた評価システムに実装し、43 MIPS の演算量かつ 5.7 kwords のメモリ量と 56 mW の消費電力で実装可能なことを示している。これらの結果から、従来手法と比較して、演算量、メモリ量ともに大幅に削減することができ、各種携帯機器に組み込み可能であることを示している。

以上のように、本論文は頭部伝達関数による立体音像定位に関して多くの有用な研究成果をあげている。特に、携帯機器における実時間音像定位処理の実現に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。