

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500153

研究課題名(和文) 視聴覚拡張現実技術を用いた個人適応型空間認知システムの構築

研究課題名(英文) Development of Personalized Spatial Cognitive System using Audio - Visual Virtual Reality Technique.

研究代表者

渡辺 祐子 (WATANABE, Yuko)

東京電機大学・情報環境学部・講師

研究者番号：20287444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、実用化が進んでいる頭部伝達関数合成法を基礎としたVADシステムにおいて、良好な音像定位を提供する最適なHRTFを受聴者毎に選択する個人適応型の空間認知システムを構築することを目標として基礎研究を進めた。具体的には、受聴者個人の耳介形状の特徴量情報から個々の定位能力を推定し、それをもとにデータベースから個人毎に最適なHRTFを選択する手法を確立することを目的とした。耳介形状の特徴量として鏡面反射特徴量を導入し、音源方向別の値と受聴者個人の定位能力の関係分析を行った結果、いくつか特定の鏡面反射角度と音像定位能力に、高い相関関係があることを見出した。

研究成果の概要(英文)：In general, it is known that an ability of sound localization in a median plane is different in individuals. In the previous work, we analyzed the relationship between the ability and pinna shape features such as a pinna length and a pinna angle, which are invariants for sound directions. And we reached to the hypothesis that the pinna shape features should depend on sound directions. To prove this, we introduce the specular-reflection shape method for 3D shape models with light directions. This method is applied by replacing light directions and the vision point, with sound directions and receiving point of sound, respectively, to analyze pinna shape features. Using this model, we analyze the relationship between the sound localization ability and the specular-reflection shape-feature descriptors. And we conclude that the specular reflection shape method is related to sound localization ability in the median plane and some pinna parts may modify the sound localization ability.

研究分野：音響工学、デジタル信号処理、空間音響

キーワード：Specular reflection 3D Shape features Sound localization Binaural hearing Pinna shape

1. 研究開始当初の背景

近年の情報技術の発展に伴い、音響情報処理の分野では高臨場感や超臨場感の実現を目的としたバーチャル聴覚ディスプレイ (VAD) に関する研究が広く行われている[1]。その方法のひとつに“受聴者の両耳2点を制御点とした”頭部伝達関数合成法がある。これは音源から受聴者の両耳までの音波伝搬を頭部伝達関数 (Head-Related Transfer Function: 以下 HRTF) で記述し、デジタル信号処理技術を用いて、バイノーラル再生やトランスオーラル再生する手法であり[2]、HRTF が音場の再現精度に重要な役割を果たす。しかし実際に汎用的なシステムを構築する場合、受聴者個別の HRTFs を測定するには多大な労力と時間を要するし、既存の HRTF のデータベースを用いる場合は、受聴者の HRTF との差異に起因して特に仰角方向において良好な音像定位を実現できないことが知られている。一方、我々は先行研究において VAD に映像を付加したシステムでは、映像の腹話術効果により、音像が映像の位置に引き寄せられる視覚優位の被験者と音像が映像の影響を受けない聴覚優位の被験者に分かれる可能性を見出した。

そこで仰角方向の音像定位に関して能力に個人差があることを前提に、その能力差の原因を解明することを目的として仰角方向の音像定位能力と Martin 方式[3]による耳介形状特徴量の関係分析を行った。その結果、相貌学耳長と耳介の突出角が定位能力に強く関係することを導き出した[4]。そこで、もし耳介形状の特徴量から定位能力を推定することができれば、定位能力を補い、良好な定位を提供できる HRTF を受聴者毎に選定することが可能になり、個人適応型の空間認知システムが構築できるとの着想を得た。

2. 研究の目的

本研究は受聴者の耳介形状の特徴量を用いてその人の仰角方向の音像定位能力を推定することが可能か検証を進めることで、最終的には任意の受聴者の耳介寸法を測定するだけで、その受聴者の音像定位能力を推定する仕組みを構築することを目的とする。これが実現できれば、一般のユーザーの耳介情報を用いて最適な HRTFs をデータベースから検索することが可能となり、同時に個別 HRTFs を測定する必要もなくなる。そして KEMAR など一般的に利用される HRTFs を用いる手法より良好な音像定位を実現させる個人適応型の 3 次元音場再生システムを構築し、新たな視聴覚拡張現実技術を提案することが可能となる。

具体的には、耳介寸法ではなく耳介形状の三次元的な構造を記述する新しい形状特徴量を提案し、それらと音像定位精度の関係分析を実施することで定位能力推定手法を探る。

3. 研究の方法

我々は受聴者の耳介形状の三次元的な構造を加味した新しい物理的な耳介形状特徴量を提案する。その算出のためには、まず耳介形状の 3 次元データが必要となる。そこで耳介の石膏レプリカを作成し (図 1)、その 3 次元形状を撮像した MRI 画像を用いて 3 次元のメッシュデータを作成する。次にそのデータをもとに、鏡面反射特徴量[5][6]を用いて音の到来方向の情報も加味した耳介形状の定量化を行う。同時に耳介サンプルの受聴者の音像定位精度と特徴量の関係分析を行うことで、定位能力推定手法について検討する。

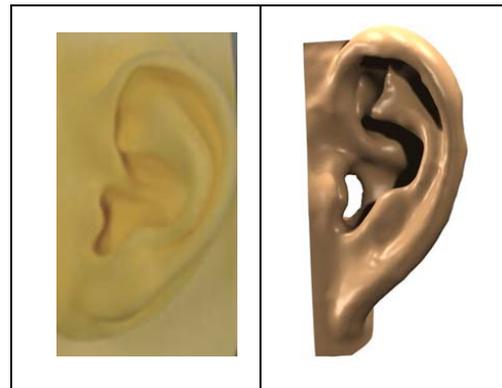


図 1. 耳介の石膏レプリカと 3D データ

本研究で提案する耳介形状特徴量として、光沢強度 (鏡面反射角度) 別の面密度の抽出手法を用いた鏡面反射形状特徴量を用いる。その算出方法の概念図を図 2 に示す。先行研究より面密度は形状の特徴を表現することが分かっており、光源方向を音源方向、視点を受音点と置き換えることで、音源方向に依存する耳介形状の特徴量を定量化できる。

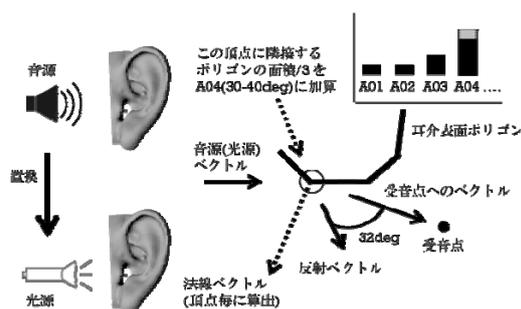


図 2. 鏡面反射特徴量の算出方法

特徴量の算出において、受音点は外耳孔中心から最大長×0.3 倍の距離だけ遠ざけた位置とした。この時、鏡面反射の角度 (0 ~180 deg) を 10 deg 毎に分割 (以下、A01~A18) し、それらで頂点を分類した。

次に音像定位精度と鏡面反射特徴量の関係分析として、受聴者個々の 3 次元耳介形状データから算出した鏡面反射特徴量と音像定位能力値との相関分析を行った。

音像定位精度の値として各被験者の各音源方向に対する音像定位誤差の二乗平均平方根（以下、RMS 値）を用いた。

被験者数（3次元耳介形状サンプル数）17、音源方向 7 種類（0-90 deg の 15 deg 間隔）の合計 119 サンプルの鏡面反射特徴量と RMS 値の相関分析を行った。ただし RMS 値は個人でばらつきが大きいので、被験者毎に各自の最大 RMS 値で正規化した RMS 値を用いた分析も同様に行った。

4. 研究成果

（1）全被験者のデータを元にした関係分析

表 1 に鏡面反射特徴量と音像定位精度（RMS 値と正規化 RMS 値）の相関分析の結果を示す。ここで鏡面反射角は $0 \leq 90$ deg の範囲として A01~A09 のみを分析に使用した。A01~A09 は鏡面反射特徴量の角度分割レベルを表し、それぞれに対して算出された相関係数の値が示してある。その結果、特徴量 A02 に正の相関、特徴量 A07 に負の相関が見られた。また、RMS 値より正規化 RMS 値の方が高い相関が見られた。

表 1. 相関分析の結果

Features	Proposed	
	RMS	Normalized
A01	0.498	0.553
A02	<u>0.540</u>	<u>0.621</u>
A03	0.532	0.598
A04	0.406	0.449
A05	0.031	-0.035
A06	-0.318	-0.425
A07	<u>-0.517</u>	<u>-0.607</u>
A08	-0.508	-0.611
A09	-0.405	-0.494

（2）被験者個々の特徴分析

表 1 より、正規化 RMS 値は鏡面反射特徴量 A02 と正の相関、A07 と負の相関値をとることがわかる。そこで特徴量 A02、A07 が各被験者（S01-S17）の音源方向別の音像定位能力値とどのように関係しているのか検証する目的で両者の相関係数を算出した。表 2 に分析結果（**：1%有意、*：5%有意）を示す。

表 2 より、A02、A07 の両方に高い相関を有する被験者群（例えば S04）と、A02（例えば、S15、S16）、あるいは A07（例えば S01、S02）のみの被験者群、どちらでもない被験者群（例えば S05）が確認できた。これより A02、A07 の両方と音像定位能力値が関係する被験者に対しては、音源方向別の鏡面反射特徴量が定位能力を説明する変数となりえると考え

ることができる。一方、A02、A07 のいずれにおいても相関がみられない被験者は、音像定位の能力を支配する他の要因が存在する可能性が考えられる。

表 2. 被験者別の相関分析の結果

Sub. No.	A02	A07
S01	0.128	-0.919**
S02	0.624	-0.927**
S03	0.872*	-0.680
S04	0.934**	-0.936**
S05	0.241	-0.248
S06	0.889**	-0.774*
S07	0.433	-0.465
S08	0.828*	-0.685
S09	0.749	-0.767*
S10	0.837*	-0.949**
S11	0.421	-0.302
S12	0.302	-0.632
S13	0.955**	-0.792*
S14	0.970**	-0.848*
S15	0.904**	-0.724
S16	0.938**	-0.550
S17	0.557	-0.129

図 3 と図 4 は、代表的な被験者 2 名（S04、S16）について音源の方向別に算出された正規化 RMS 値に対する A01~A18 までの鏡面反射特徴量を散布図で示した図である。図中の数値は音源方向（角度）を示す。図 3 は A02、A07 の両方が、図 4 は A02 のみが定位能力と高い相関を有する被験者である。

図 3 より A02、A07 の両方と定位能力の相関が高い被験者は、鏡面反射特徴量が A09 に近づく、つまり鏡面反射角が大きくなるに従って正規化 RMS 値が大きくなる傾向が顕著に見られるが、一方、図 4 ではその傾向が確認できない。

そこで図 3 に示した S04 の被験者について、A02 と A07 が耳介のどの部分に分布しているのか検証した。その結果、鏡面反射形状特徴量 A02 は音源が正面方向にある場合は耳珠付近やその他の部位にまばらに分布するが、音源方向が上昇するにつれ、三角窩、舟状窩付近に分布が移動し、かつ範囲が拡大した。また全方向の音源で耳垂には分布しない傾向が見られた。この現象を相関分析の結果から考察すると、この分布面積が狭いほど定位能力が高い傾向があると推測できる。

一方、鏡面反射形状特徴量 A07 は音源が水平面上の正面 (0 deg) にある状態では耳介全体のエッジに分布しているが、音源方向の上昇につれ耳介上半分の分布が消失した。残った分布は耳垂付近に分布する傾向があった。つまりこの分布面積が広いほど定位能力が向上すると考えられる。

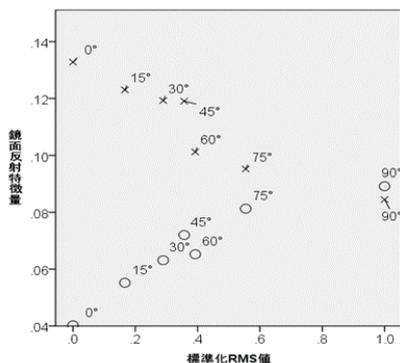


図 3. 被験者 S04 の結果

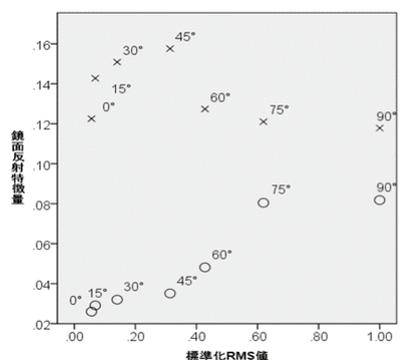


図 4. 被験者 S16 の結果

以上より、鏡面反射特徴量 A02、A07 と音像定位能力値とに相関があり、A02 の鏡面反射角を有する特徴点が増えれば定位誤差が増加、つまり定位精度が低下し、A07 に関連する特徴点が増えると、同様に定位精度が低下することが分かった。以上より、耳介形状の特徴量と音像定位能力の関係が明らかになり、耳介形状による音像定位能力の推定の可能性が示唆された。

<引用文献>

- ① 舘暲他、バーチャルリアリティー論、コロナ社、2010
- ② 鈴木陽一、西村竜一、超臨場感音響の展開、電子情報通信学会誌、vol.93、No.5、pp392-396、2010.
- ③ 鈴木尚、人体計測-マルチンによる計測法-、人間と技術、pp.55-57、1981.
- ④ 船橋武雄、渡邊祐子、柴田滝也、浜田晴、耳介形状と正中面上の音像定位の個人差に関する研究、IEICE Technical Report、

EA2010-50、 p43-46、2010.8

- ⑤ 武田 秀貴、柴田 滝也、3次元椅子モデルの高級感における形状と鏡面反射の影響分析と特徴量化手法、日本感性工学会論文誌、Vol.11、No.3、pp.1-6、2012
- ⑥ H.Takeda and T.Shibata、Analysis of High-grade 3D Chair Models by Form、Specular Reflection and their Feature Descriptions、日本感性工学論文誌、11(3)、pp.367-372、2012.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 8 件)

- ① 道下 壯人、渡邊 祐子、柴田 滝也、3次元耳介形状特性と音像定位との関係分析、第 10 回日本感性工学会春季大会、2015.3.28、京都女子大学(京都府、京都市)
- ② 道下 壯人、柴田 滝也、渡邊 祐子、個人の 3次元耳介形状特性と音像定位との関係分析、2014 年日本音響学会秋季研究発表会、2014.9.3~5、北海学園大学(北海道、札幌市)
- ③ 阿部 拓馬、柴田 滝也、渡邊 祐子、音源方向に依存した 3次元耳介形状の特徴量抽出と視覚化に関する研究、2014 年日本音響学会春季発表会、2014.3.10~12、日本大学(東京都、千代田区)
- ④ 阿部 拓馬、柴田 滝也、渡邊 祐子、音源方向に依存した 3次元耳介形状の特徴量抽出、第 15 回日本感性工学会大会、2013.9.5~7、東京女子大学(東京都、杉並区)
- ⑤ 田代 裕子、阿部 拓馬、下條 五大、渡邊 祐子、柴田 滝也、根本 幾、音源方向の依存による 3D 耳介形状の物理的特徴量の抽出手法に関する研究、2013 年日本音響学会春季研究発表会、2013.3.13~15、東京工科大学(東京都、八王子市)
- ⑥ 安倍 俊樹、渡邊 祐子、柴田 滝也、根本 幾、モーションキャプチャとジャイロセンサを用いた三次元音場再生システムの基礎検討、2013 年日本音響学会春季研究発表会、2013.3.13~15、東京工科大学(東京都、八王子市)
- ⑦ 鈴木 優介、渡邊 祐子、柴田 滝也、根本 幾、移動する視聴覚刺激におけるマルチモーダル空間知覚に関する研究、2013 年日本音響学会春季研究発表会、2013.3.13~15、東京工科大学(東京都、八王子市)

- ⑧ 阿部 拓馬、柴田 滝也、渡邊 祐子、音源
方向に依存した 3 次元耳介形状の特徴量
抽出法、2012 年電子情報通信学会 東京
支部学生大会、2013.3.5、東海大学（東京
都、港区）

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡邊 祐子 (WATANABE, Yuko)
東京電機大学・情報環境学部・講師
研究者番号：2028444

(2)研究分担者

柴田 滝也 (SHIBATA, Tatsuya)
東京電機大学・情報環境学部・教授
研究者番号：30349807

(3)連携研究者

藤井 文武 (FUJII, Fumitake)
山口大学・理工学研究科・准教授
研究者番号：30274179