

## 聴覚を利用した拡張現実感システムの 構築に向けた基礎的研究

### [1] 組織

代表者：小澤 賢司

(山梨大学大学院医学工学総合研究部)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

高根 昭一 (秋田県立大学システム科学技術学部)

安倍 幸治 (秋田県立大学システム科学技術学部)

竹島 久志 (仙台電波工業高等専門学校)

岩谷 幸雄 (東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費 32 万 5 千円，旅費 27 万 0 千円

### [2] 研究経過

人間と環境の調和を高めるために、例えば視覚で得た実環境の情報に、聴覚を通じて与えた人工環境の情報を重ねることで「情報に満ちた環境」を創成することが有益である。例えば、博物館で展示物に目を向けたとき、その展示物に関する情報が自分にだけ聞こえるようなシステムが考えられる。本プロジェクトは、このような聴覚を通じた拡張現実感システムの構築を念頭に置いて、その要素技術である音情報伝達技術の高精度化を目的とした。具体的には、所望の方向から音が聞こえるような技術を個人差までを考慮して実現することを目指している。また、あわせて視覚と聴覚との相互作用についても検討を行うこととした。

本プロジェクトは、本年が初年度であった。以下に研究活動状況の概要を記す。研究進捗については、基本的に電子メールを用いてメンバー全員で協議検討を行った。その検討結果を受けて、全メンバーが平成 18 年 8 月 9 日～10 日に東北大学電気通信研究所（以下、通研と略称）を訪れ、打ち合わせを行うとともに音響無響室において頭部伝達関数の測定をはじめとする音響実験を実施した。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す 4 テーマについて研究を行った。

#### (A) 頭部伝達関数の個人性の制御に関する研究

(B) 頭部伝達関数の個人性の克服に関する研究

(C) 頭部伝達関数の推定・測定に関する研究

(D) 視覚と聴覚の相互作用に関する研究

これらのテーマのうち、以下では特に(A)について詳述し、(B)～(D)については概要を述べる。

#### (A) 頭部伝達関数の個人性の制御に関する研究

聴覚高臨場感システムの構築にあたっては、原音場における音源から聴取者の鼓膜までの音響伝達関数である頭部伝達関数を精密に再現することが重要である。頭部伝達関数には両耳間の音圧レベル差や時間差といった音源位置知覚の手がかりが含まれており、これを用いることで任意の位置の仮想音源(音像)を制御できる。しかしながら、頭部伝達関数は聴取者の身体形状に影響を受けるため、個人性が極めて大きい。そのため、他人の頭部伝達関数をそのまま用いて再現された音像は、方向や前後を誤って知覚されることが一般に知られている。そこで、頭部伝達関数に含まれる音空間情報の手がかりを、聴取者個人に合わせて推定する方法に関して検討を行った。

##### (1) 両耳間レベル差の推定

このテーマでは、頭部伝達関数に含まれる音源方向の手がかりとして、両耳間レベル差を聴取者ごとに推定することを提案した。頭部伝達関数の個人性は身体形状に起因することから、聴取者ごとに頭部の大きさや耳介の位置などの身体特徴量を抽出し、それらを基に両耳間レベル差を推定した。図 1 に、ある聴取者のある周波数帯域における両耳間レベル差について、実測値および提案法による推定値を示す。図から、音源方向に依存して変化する両耳間レベル差の特徴が、良好に推定できていることがわかる。[成果資料(1)]

##### (2) 両耳間レベル差の個人化による効果

次に、推定した両耳間レベル差を聴取実験によって主観的に評価した。実験では、他人の頭部伝達関数に対して提案法によって推定した両耳間レベル差を置換した音を合成し、聴取者には知覚した音像の方向を回答させた。ある聴取者について、提示した音像の方向に対する回答方向を図 2 に示す。図 2(a) は他人の頭部伝達関数をそのまま用いた場合、図

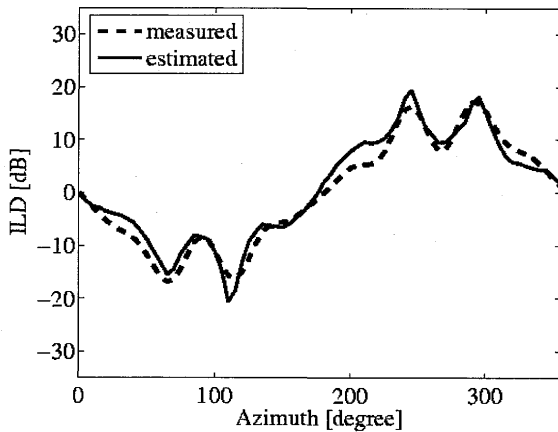


図 1: 音源方向に対する両耳間レベル差の変化. 実線は実測値, 点線は提案法による推定値.

2(b)はその頭部伝達関数の両耳間レベル差を推定したものに置換した場合の結果である. 提案法の方が提示方向と解答方向の一致が多く見られ, 良好に知覚されていることから, 提案法の有効性が示された. [成果資料(1), (2), (3)]

### (3) 両耳間レベル差の周波数特性に関する分析

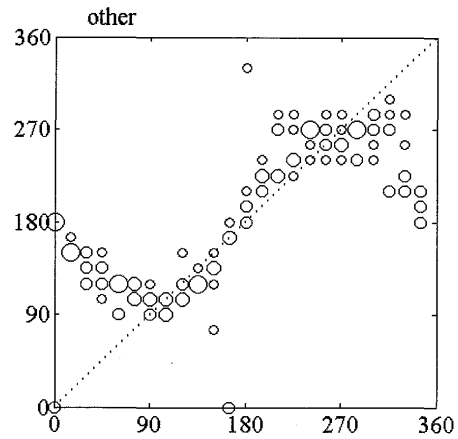
音波の回折による影響が周波数によって異なることから, 両耳間レベル差は周波数依存性をもつ. 両耳間レベル差の周波数特性を分析した結果, ある周波数帯域において特徴的な方向依存性を示すことがわかった. このことから, 本プロジェクトの提案法において, 両耳間レベル差を単なる左右耳における音圧レベルの差としてではなく, 周波数帯域ごとの両耳間レベル差を推定したことの効果が示唆された. [成果資料(4)]

### (4) 音場の音響特性も考慮した個人性の補正

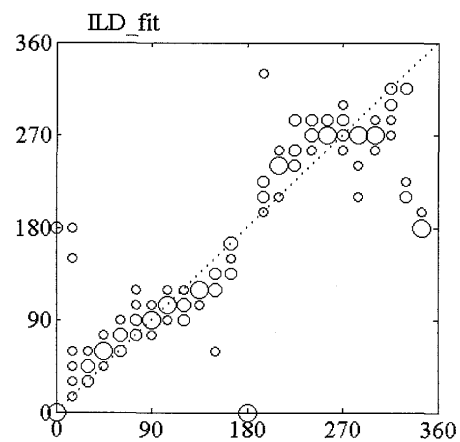
音響伝達関数は, 部屋の形状や壁の材質によっても影響を受けるため, 聴覚高臨場感システムにおいては, 原音場の音響特性を考慮した個人性の補正が重要である. 本プロジェクトでは, 聴取者ごとの頭部伝達関数に反射音成分を付加することで原音場で測定された伝達関数を模擬し, 個人性を補正する方法を提案した. 原音場で測定された伝達関数を畳み込んだ音源と提案法によって補正された音源を聴取実験によって比較した結果, 聴感上同等であることが示された. [成果資料(5), (6)]

## (B) 頭部伝達関数の個人性の克服に関する研究

上記の研究テーマ(A)では, 頭部伝達関数の個人性を信号処理により制御するという観点から行ったものであった. しかし, 多くの人が利用する音提示システムを構築するという観点からは, 個人ごとに制御を行うのは必ずしも実用的とはいえない. そこで,



(a) 他人の頭部伝達関数



(b) 提案法

図 2: 音像の提示方向に対する聴取者の回答方向  
以下では二つの別の観点から研究を行った.

### (1) 個人性の学習に関する基礎検討

仮に他人の頭部伝達関数を学習することができるのであれば, 複雑な信号処理は不要であり, 簡略なシステムを構築することが可能である. その学習の可能性を探るべく基礎実験を行ったところ, 1時間程度の訓練を行うことで, 他人の伝達関数を用いた場合でも音像定位位置に関して改善が見られることを示した. [成果資料(7), (8)]

### (2) 複数スピーカを用いた音像制御に関する検討

二つのスピーカから同じ音を再生した場合には, 聴取者は合成音像と呼ばれる単一の音像を知覚することは古くから知られてきた. この合成音像の定位位置は, 二つのスピーカから放射する音のレベル差あるいは時間差によって制御可能であり, 頭部伝達関数の精密な制御を行うことなく音像定位位置を制御するシステム構築の可能性が示唆される. このテーマでは, 先に音が放射された側に偏って音像が定位するという先行音効果に着目しつつ, 両耳間レベル差と時間差が音像の定位位置に及ぼす寄与を明らか

にした。[成果資料(9), (10)]

### (C) 頭部伝達関数の推定・測定に関する研究

このテーマでは、頭部の画像データに基づき境界要素法を利用して音源から両耳までの伝達関数を精密推定する可能性について検討した。推定した結果について評価実験を行ったところ、十分な効果の見られる被験者とそうでない被験者に分かれた。これは、精密推定が可能な周波数帯域に限界があることが影響したものと考察した。[成果資料(11), (12)]

また、頭部伝達関数の測定には自由音場を用いるのが一般的であるが、反射音のある室においてその測定を行うことの可能性を検討した。具体的には、共通極・零モデルを利用することで反射音成分を除去することの可能性を示した。[成果資料(13)]

### (D) 視覚と聴覚の相互作用に関する研究

視覚刺激が聴覚刺激のラウドネスに及ぼす寄与を検討し、両モダリティ刺激における変化の一致の程度が大きく影響することを示した。[成果資料(14)]

また、音の印象に関する視覚のクロスモダリティを評価するために必要なデータベース構築を進めている。[成果資料(15)]

#### (3-2) 波及効果と発展性

本研究プロジェクトの実施により、プロジェクトメンバー間の交流が継続的に発展した。初年度プロジェクトの成果により、頭部伝達関数の個人差までを考慮することで所望の位置から音が聞こえるようにするため基礎検討が終了したので、その発展および残された課題解決を考えることで拡張現実感システム構築の礎を与えることができると考えている。

#### [4] 成果資料

- (1) 渡邊貫治, 阿曾健司, 小澤賢司, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, "身体特微量に基づく両耳間レベル差の予測と定位への効果," 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 サイバースペースと仮想都市研究会 2006年5月, pp. 1-6 (2006).
- (2) K. Watanabe, K. Aso, K. Ozawa, Y. Iwaya, and Y. Suzuki, "Prediction of ILD based on listener's anthropometry," Proc. of 9th West Pacific Region. Acoust. Cong., #518 (in CD-ROM) (2006).
- (3) 渡邊貫治, 阿曾健司, 小澤賢司, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, "両耳間レベル差の個人化が音像定位に及ぼす効果," 電子情報通信学会技術研究報告 EA2006-39, pp. 29-34 (2006).
- (4) 渡邊貫治, 阿曾健司, 小澤賢司, 岩谷幸雄, 鈴木

陽一, "音像定位のスペクトラルキュー-身体特微量に基づく両耳間レベル差の予測(第2報)-," 2006年秋季日本音響学会講演論文集, pp. 471-472 (2006).

- (5) 糸数真, 渡邊貫治, 小澤賢司, "バイノーラル個人性補正のための原音場における補正特性の模擬," 2006年秋季日本音響学会講演論文集, pp. 473-474 (2006).
- (6) 糸数真, 渡邊貫治, 小澤賢司, "外耳道伝達関数の導入による補正法の一般化 --バイノーラル個人性補正のための原音場における補正特性の模擬(第2報)--," 2007年春季日本音響学会講演集, pp. 507-508 (2007).
- (7) 山岸大輔, 小澤賢司, "DSP Starter Kit を用いたヘッドホン特性補償システム," 2006年秋季日本音響学会講演集, pp. 551-552 (2006).
- (8) 山岸大輔, 小澤賢司, "水平面内における音像定位の学習効果に関する検討," 2007年春季日本音響学会講演集, pp. 417-418 (2007).
- (9) 砂田大輔, 安倍幸治, 高根昭一, 佐藤宗純, "水平面上の2音源による先行音効果における音像方向の変化に関する考察," 信学技報 HIP2006-82 (2006).
- (10) 砂田大輔, 安倍幸治, 高根昭一, 佐藤宗純, "水平面上に配置された2音源の時間差と定位方向の関係に関する考察," 2007年春季日本音響学会講演集, pp. 415-416 (2007).
- (11) S. Takane, K. Abe, and T. Sone, "Numerical estimation of individual HRTFs and their subjective evaluation," Proc. of 9th West Pacific Regional Acoust. Cong., #286 (8 pages in CD-ROM) (2006).
- (12) 小笠原亮, 岩谷幸雄, 高根昭一, 鈴木陽一, "頭部形状の頭部伝達関数への寄与に関する数値解析検," 2007年春季日本音響学会講演集, pp. 415-416 (2007).
- (13) 高根昭一, 安倍幸治, "反射のある音場での測定に基づく HRTF の推定手法に関する考察," 2007年春季日本音響学会講演集, pp. 415-416 (2007).
- (14) K. Abe, S. Takane, and T. Sone, "A fundamental study on the effect of visual stimulus on loudness judgment," Proc. of 9th West Pacific Regional Acoust. Cong., #319 (6 pages in CD-ROM) (2006).
- (15) 小田嶋英佑, 安倍幸治, 高根昭一, 佐藤宗純, "環境音・映像の定点観測データベースの構築とその時間的な印象変化の評価への応用," 信学技報 HIP2006-72 (2006).