

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650104

研究課題名(和文)強化学習と脳波信号による仮想音源知覚の向上

研究課題名(英文)Improvement of virtual sound localization by reinforcement learning and EEG

研究代表者

和田 安弘(Wada, Yasuhiro)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70293248

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文):ステレオイヤホンを用いて音を聴く際に頭の外に音を定位させることが可能な頭外音像定位技術がある。正確な音像定位には、各受聴者の正確なHead Related Transfer Function(HRTF)が必要とされる。個人のHRTF測定の手間を省くため、強化学習を用いて、対象とする個人のHRTFを獲得出来るのか検討した。HRTFは事前に測定しており、2つのHRTFの周波数帯域における差を示すSpectrum Distortion(SD)を学習の報酬に用いた。結果として、十分な学習には多くの試行回数を必要とするもののダミーヘッドのHRTFは個人のHRTFに近い周波数応答を獲得することが出来た。

研究成果の概要(英文):Virtual sound localization is a technology that allows the user to perceive external sound sources using earphones. The exact sound image localization require an head-related transfer function (HRTF) for each listener. To solve these problems, in this study, without HRTF measurements, and are intended to acquire the equivalent of the measured individual HRTF. To do so, HRTF is approximated using the Autoregressive Moving Average (ARMA) model, and for the coefficient was using a method of learning by unsupervised reinforcement learning. We used dummy head imitating the upper body of the person at an initial value of the learning, then, dynamically varied from a common HRTF, aimed to acquire each individual HRTF. We were verified whether it is possible to generate the HRTF for the purpose by the simulation. Thereafter, the listener experiment was verified the HRTF localization accuracy of which acquired by the simulation.

研究分野：計算論的神経科学

キーワード：仮想音源 頭外音像定位 定位精度 強化学習

1. 研究開始当初の背景

ヘッドホン受聴における仮想音源生成技術としては、頭外音像定位技術がある。これは、あたかも空間に音源が存在しているような感覚を与える技術で、高臨場感サウンド再生技術のひとつである。頭外音像定位は、ヘッドホン受聴によって与えられる鼓膜位置での再生音場が実音源からの音刺激と等しくなるようにユーザー毎に音響信号処理を施すことによって実現される。この技術を簡便に利用するためには、ユーザー毎ではなく、共通の音響信号処理を用いることが望ましい。しかし、他人の処理で代用した場合、実際のユーザーとの耳介形状等の違いにより音像定位精度の劣化を引き起こすことがわかっており、この問題の解決が長年の課題となっていた。

頭外音像定位は耳介等の伝達関数を計測して、音像位置を提示するが、ヒトは、正面に音像を定位しても後ろから聞こえたりする。正しい方向から聞こえるように伝達関数を適応的に学習することで、安定して、正しく音像知覚が可能になるようにすることが重要である。仮想音源の生成は、近年、肢体不自由者のためのコミュニケーションシステムへの応用も検討されている。仮想音源技術は、そのためのキーポイントとなる可能性が高い。例えばEbisawa et al.(2011)は、頭外音像定位を用いて意図方向を推定するBMI(Brain Machine Interface)について報告した。しかしながら、頭外音像定位に必要な伝達関数は、正確な測定が難しく、正確な伝達関数を用いなければ、定位精度が悪くなるという問題点がある。学習等によって、伝達関数を適応的に求めることが出来れば、非常に有効である。その際、強化学習のような教師なし学習の枠組みが適当であると考えられる。つまり、特定の方向から聞こえたか否かの情報だけで伝達関数を学習できれば、比較的容易に伝達関数を個々に適応させることができる。

2. 研究の目的

本研究では、強化学習によって音像定位精度の劣化を改善し、高精度の頭外音像定位を実現する手法の確立を目指す。頭外音像定位は耳介等の伝達関数(Head Related Transfer Function:HRTF)を計測によって同定する必要があるが、本研究では、他人の測定結果を使うことで、個人に適応させることが可能かを強化学習の方法によって検討する。

3. 研究の方法

我々は、伝達関数(Head Related Transfer Function:HRTF)を数式モデル化し、そのモデルパラメータを学習によって適応させる方法を

検討した。最初は、個人の計測されたHRTFをモデル化し、そのパラメータにノイズを付加した状態を初期とし、学習によって測定したHRTFのモデルパラメータに近づくことを確認し、次に、広く使われているデータベースのHRTFを初期として、個々に特有のHRTFパラメータを獲得できるかを確認した。

4. 研究成果

我々は、通常の測定環境において計測されたHRTFを、受聴者の主観評価に基づいて、強化学習により正確なHRTFに修正して、頭外音像定位の精度を向上させる手法を検討した。提案手法では、HRTFをARMAモデルを用いて近似し、その係数を強化学習を用いて学習する。提案手法の妥当性を、シミュレーション及び被験者実験によって検証した。

シミュレーションでは、モデル係数にノイズを加えて精度を劣化させて、精度の向上が可能かを検証した。報酬として、受聴者の主観評価の代わりに、Spectrum Distortion (SD)を用いた。結果、全ての方向においてSDの減少を確認し、強化学習を用いたARMA係数の学習が可能であることを確認した。

被験者実験では、両耳のARMA係数1点ずつ計4点について、精度劣化させたHRTFから、被験者の主観評価を基に正しいHRTFを学習できるか、7名の被験者で検証を行った。正面から左右30度の範囲内の一つの方向について、受聴者が知覚した音源位置を回答させ、呈示した位置との角度の差分を報酬として学習を行った。その結果、モデル化HRTFによって作成された頭外音の定位精度が高い3名の被験者では、学習による定位精度の向上とSDの減少を確認した。以上より、強化学習を用いて、受聴者の主観評価を基に、正確なHRTFを獲得できる可能性を示唆したが、学習時間が非常に長くなるため、短時間での学習の可能性を検討するため学習パラメータ等の調整を実施した。また、十分な学習速度を得ていないため引き続き検討を進める。

また、ダミーヘッドのHRTFや他人のHRTFを初期状態として、被験者自身のHRTFの学習の可能性を検討し、学習可能性を示唆した。強化学習における学習の初期値にダミーヘッドのHRTFを用いて、対象とする個人のHRTFを獲得できるのかシミュレーションにより検討した。HRTFは事前に測定してあり、2つのHRTFの周波数帯域における差を示すSpectrum Distortion(SD)を学習の報酬に用いた。結果として、十分な学習には多くの試行回数を必要とするもののダミーヘッドのHRTFは個人の

HRTFに近い周波数応答を獲得することが出来た。

次に受聴者実験を実施した。シミュレーションにて獲得した学習後 HRTF を用い、各受聴者の測定 HRTF 及びダミーヘッド HRTF と比較した定位精度及び定位感の実験を行った。その結果 6 受聴者の平均において学習後 HRTF はダミーヘッド HRTF から有意に改善し、各受聴者の測定 HRTF に近い定位精度を持つことが確認された。そして 5 段階評価による定位感でも、各受聴者の測定 HRTF と同程度であった。

図 1 は 6 受聴者の 12 方向定位評価における t 検定結果を示す。測定 HRTF とダミーヘッド HRTF、及び、ダミーヘッド HRTF と学習後の HRTF 間には有意差があったが、学習後 HRTF と測定 HRTF の間には有意差はなかった。

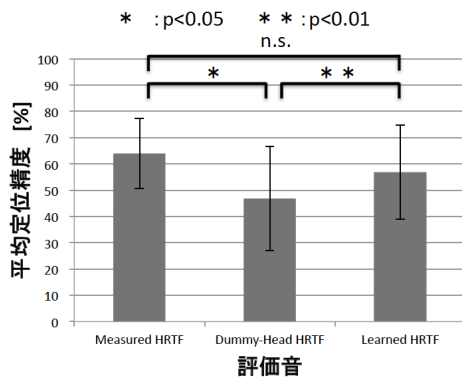


図 1

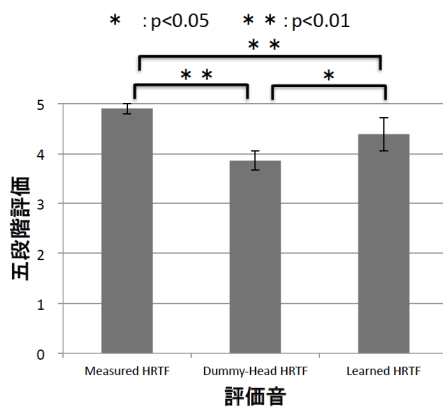


図 2

また、図 2 は 6 受聴者の 5 段階評価における t 検定結果を示す。表 1 は各受聴者の 5 段階評価の平均値を示す。検定結果は、3 つの評価音で有意差が存在したが、表 1 の結果では、全受聴者においてダミーヘッド HRTF よりも学習後 HRTF の方が評価が増加した。

表 1

5段階評価平均値

	base	dummy	learned
Sub.1	4.7	3.6	4.0
Sub.2	4.9	4.0	4.3
Sub.3	5.0	3.6	5.0
Sub.4	5.0	4.1	4.4
Sub.5	5.0	3.9	4.4
Sub.6	4.9	4.0	4.3

以上の結果から、強化学習を用いた HRTF の個人適応において、共通の HRTF から個人化した HRTF と同等の定位精度を持つ HRTF が生成できる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 7 件)

1. 森岡 周平, 南部 功夫, 矢野 昌平, 穂刈 治英和田 安弘, イヤホン受聴における空間的仮想音源の定位精度向上. 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティクス, 2012. 112(232): p. 29-34.

2. 森岡周平, 南部功夫, 矢野昌平, 穂刈治英, 和田安弘, 受聴者の評価に基づく空間的仮想音源の定位精度向上方法の提案. 2012, 電子情報通信学会 信越支部大会. p. 8B-2.

3. Morioka S., Nambu I., Yano S., Hokari H., Wada Y., Adaptive modeling of HRTFs based on reinforcement learning, in 19th International Conference on Neural Information Processing, ICONIP 2012. 2012: Doha. p. 423-430.

4. Morioka S., Nambu I., Yano S.-h., Hokari H., Wada Y., A method to improve the accuracy of out-of-head sound localization using reinforcement learning: a simulation study. 2012, The 22th Annual Conference of Japanese Neural Network Society (September 12-14, 2012). p. P2-14.

5. Washizu M., Morioka S., Nambu I., Yano S., Hokari H., Wada Y. Improving the localization accuracy of virtual sound source through reinforcement learning. in

2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2013. 2013.

6. 鷲頭学, 森岡周平, 南部功夫, 矢野昌平, 穂刈治英, 和田安弘. 受聴者の評価に基づく強化学習を用いた仮想音源定位の精度向上. 電子情報通信学会信越支部大会. 2013.

7. 鷲頭学, 森岡周平, 矢野昌平, 松崎周一, 穂刈治英, 和田安弘, "強化学習を用いたダミーヘッドからの個人頭部伝達関数適応に関する検討," 電子情報通信学会信越支部大会, p.110, 2014.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田 安弘 (WADA YASUHIRO)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号: 70293248

(2) 研究分担者

大石 潔 (OHISHI KIYOSHI)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号: 40185187

(3) 研究分担者

工藤 彰洋 (KUDO AKIHIRO)
苫小牧工業高等専門学校・工学部・准教授

研究者番号: 5010299927

(4) 研究分担者

南部 功夫 (NAMBU ISAO)
長岡技術科学大学・工学部・助教
研究者番号: 1310240428