

バイノーラルマイクを用いた音源方向推定による危険予測*

持田悠介 (法政大学情報科学部), 伊藤克亘 (法政大学情報科学部)

1 まえがき

現在の拡張現実には画像処理や GPS の座標を用いて情報を付与するものがある。音声を用いたものでは骨伝導スピーカーや超指向性スピーカーによる特定の場所での情報提示や音声によるナビゲーションシステムなど、音声情報を出力の方法として用いるものばかりで、幅広い周囲環境を知るのに音声情報を用いる研究はあまり行われていない。しかし、音声情報を利用し周囲環境を知ることが出来れば、得られた情報を視覚的に表現する等の方法で提示することで聴覚障害者への危険予測や、視覚から得られる情報が減る暗闇の中での危険予測等へ役立てることが出来る。

従来の音源方向、音波到来方向推定の研究ではマイクロホンアレイを用いた方法や複数の指向性マイクを用いたもの [4] があり、3つ以上のマイクロホンを用いた手法が多く見られる。しかし、人間は2つの耳から受け取る音声情報で音源定位を行うことが出来る。そのことから、両耳からの2つの音声情報を用いれば音源方向が推定出来る可能性がある。

人間の音源定位法を参考に音源方向を推定するには、人間が聞いている音声と同等の情報を持った音声を得る必要がある。そこで、本研究では音声の収録にバイノーラルマイクを使用する。

バイノーラルマイクで録音した音声から音源方向推定を行うために、人間の音源定位に係る要素について知る必要がある。

1.1 人間の音源定位法

水平面内にある音源の方向近くの手がかりとしては、両耳信号の差が用いられる。両耳信号の差は両耳間伝達関数と呼ばれ、両耳信号をフーリエ変換しその信号同士の割算で得られる。しかし、人間の聴覚システムは音源定位を両耳間の複雑な信号差で詳細に評価するのではなく、簡単に認識できる特性から必要な情報を引き出して行っていると考えられる。それら音源定位に使用される情報として、両耳間時間差 (Interaural Time Difference: ITD)・両耳間レベル差 (Interaural Level Difference: ILD) がある。ITD の代表的なモデルとして c を音速、頭の半径を a として

$$ITD = \frac{a(\sin \theta + \theta)}{c} \quad (1)$$

とするものがある。

また、音の空間情報を再現する手法に頭部音響伝達関数 (Head Related Transfer Function: HRTF) がある。HRTF には両耳間時間差や両耳間レベル差の他にも音源から両耳までの伝達系の周波数特性を含んでいるため音の空間情報を高精度に再現できる。しかし、HRTF は耳介や頭部の形状等によって個人差が出てしまうた

め受聴者自身が測定した HRTF を使用することが望ましい。

1.1.1 両耳間レベル差: ILD

音源が片側からもう一方に移動するまで知覚する方向は両耳間レベル差にほぼ線形的に依存していて、ILD はどんな周波数でも 10~15db になれば、音源が片方の耳に完全に移動するとされている [1]。

2 HRTF の測定およびモデル作成

2.1 HRTF の測定方法

音源方向推定に使用するモデルを作成するために HRTF の測定を行う。本研究では HRTF の個人特性に対応するために実際に HRTF の測定を行った。測定は壁に吸音材を使用し反響等の影響を抑えた部屋で行った。被験者にバイノーラルマイクを装着させ、椅子に座わせた状態で、頭部の高さに合わせスピーカーから TSP 信号を出力し測定した。被験者を中心に距離を 2 m、角度は正面を 0 度として時計回りに 30 度間隔で 12 方向の測定を行い、インパルス応答は TSP 信号を使用し 8 回の同期加算を行い SN 比を高めた後、逆 TSP 信号を畳み込み求めた。

2.2 HRTF を用いた ITD のモデル作成

本研究では HRTF を用いて ITD モデルを作成し、それをもとに音源方向の推定を行う。ITD を使用した水平面上の角度の推定には式 (1) の計算法を用いることが出来る。しかしながら、両耳に届く音声情報は HRTF の影響を受け音声に変化する事、伝達経路の違いによる到達時間差からある事から実際の ITD と水平角の関係を理論的に求めるのは難しい。本研究では HRTF を用いて ITD と水平角の関係を求め、計算した近似式により水平角を推定する。

音声区間の検出は実験的に求めた閾値を用い、図 1 のように閾値より大きなデータが入ったときに音の発生と判定する。音声データが閾値を越えた点より 512 点遡った点から 1024 点分の両耳への入力データを抜き出し ITD の検出を行う。

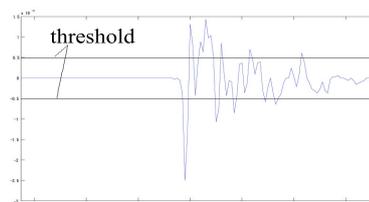


図 1. 音の発生検出

ITD は両耳間の信号の位相差といえ、抜き出した両耳からの入力データの相互相関を計算することで求め

* Dangerous situation anticipation by estimate sound source with a binaural microphone by Mochida Yusuke. (Hosei University) et. al.

ることが出来る．図2はそうして求められた水平角とITDの関係を示したグラフである．

ITDと水平角の近似式は式(1)のITDのモデルから、正面を0度とするとITDの値が0度～90度へ向けて高くなり、90度～180度へ向けて低くなる一次式になると考えられる．近似式は線対称な音源に対して異なるというHRTFの特徴から左右異なるものと考えられるため、前後左右別々に最小二乗法を用いて式(2)～(5)のように求めた．

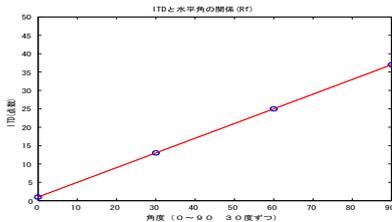


図2. 正面0から右側90度までの水平角とITDの関係

$$ITD_{L-front} = 0.3967 \times \alpha_L + 0.40000 \quad (2)$$

$$ITD_{L-rear} = -0.4000 \times \alpha_L + 75.5000 \quad (3)$$

$$ITD_{R-front} = 0.4000 \times \alpha_R + 1.00000 \quad (4)$$

$$ITD_{R-rear} = -0.3900 \times \alpha_R + 73.9000 \quad (5)$$

3 作成したモデルを使用した音源方向推定の評価

3.1 実験方法

実験はHRTFの測定と同様、壁に吸音材を使用し反響等の影響を抑えた部屋で行った．実験にはサンプリング周波数44.1[kHz]のホワイトノイズを使用し、実験環境の暗騒音は30.6dB(A特性)、50.6dB(C特性)であった．供試音は被験者の頭部に高さをあわせたスピーカーから出力され、正面を向き椅子に座った被験者に装着したバイノーラルマイクによって録音される．録音したデータに対して実験的に求めた閾値を用い、音声の発生点を求める．音声の発生点から512点遡った点から1024点を抜き出してITDを求め、作成したモデルから音源方向の推定を行う．

3.1.1 実験結果と考察

図3, 図4に録音した音声の方向と推定結果の関係を示す．図の横軸は測定した音声の音源方向を示し、縦軸は本研究の手法で推定した方向を示している．収録した音声の音源方向と推定した方向が一致した場合、グラフの左下から右上に向かう対角線上に点が表示される．図3は左側、図4は右側に音源があるときの推定結果である．図4を見ると推定結果と実際の音源方向の誤差は±30度に多く見られる．30度というのは本研究で使用した水平角とITDの関係式から、ITD約12msの誤差になる．使用したデータのサンプリングレートは44.1[kHz]なのでほぼ0.27[ms]の誤差となる．このような誤差が生じた事、その他に正しい結果から離れてしまう事に関してはITDのモデル作成時のHRTFの精度・測定数が十分では無かったこと、実験に使用

した音声データからITDが正しく検出できなかったことが原因と考えられる．

ITDが正しく検出できない理由としては音声データの音源方向とは逆の音声你先に閾値を越えてしまいそこを音声の発生点としてしまう事、HRTFによって音源から発せられた音声情報が変化してしまい、ITD検出時に相関が正しく求められなかったことが考えられる．また、ITDのモデル作成に使用したHRTFの精度についてはより適切な測定環境での計測を行う事で改善することが出来ると思われる．

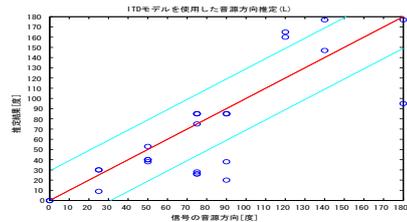


図3. ITDモデルを用いた実験結果(L)

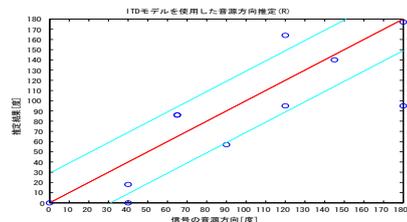


図4. ITDモデルを用いた実験結果(R)

4 あとがき

本稿では、測定したHRTFを用いてITDのモデルを作成し音源方向を推定することを目指した．HRTFを測定した環境での音源方向推定実験ではこの結果からあらかじめ測定したHRTFを用いてモデルを作成し、音源方向の推定を行う事が可能であると考えられる．HRTFを用いての音源方向推定のためのモデルが作成可能であることが確認された事から、最適なHRTFの補間を行うことが出来れば従来のバイノーラルマイクを用いた音源方向推定に関する研究で行われていたように、細かい間隔ですべての方向のITD,ILDを計測するのではなく、少ない点数でHRTFを測定し、モデルを作成することで少ないHRTFのデータから全方位に対するモデルを作成することが出来るため、個人の体質に合わせて音源方向推定モデルの作成を行うことが容易になると考えられる．

参考文献

- [1] イェンス・ブラウエルト 他, "空間音響" 鹿島出版会 (1986)
- [2] 小玉 亮介 他, "HRTFの低域の周波数特性の簡略化が定位に及ぼす影響に関する基礎的検討", 電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 109(166), pp.55-59
- [3] 章 忠 他, "バイノーラルモデルを用いた音源方向定位", 日本機械学会論文集, C編 74(739), pp.642-649
- [4] 田嶋 誠 他, "複数マイクロホンを用いた簡易な呼びかけ音方向同定システム" 電子情報通信学会技術研究報告. DSP, デジタル信号処理 102(333), pp.19-24