

両耳間到達時間差検出モデルの分解能に対する検討

A Study on resolution of Interaural Time Difference Detection Model

○中江佑太¹, 佐伯勝敏², 関根好文³*Yuta Nakae¹, Katsutoshi Saeki², Yoshifumi Sekine³

Abstract: We have studied the two-dimensional sound source localization model of external nucleus of the inferior colliculus, which locate the source of a sound by interaural time difference (hereafter "ITD") for localization in the horizontal direction, and interaural level difference for localization in the vertical direction. In this paper, the resolution characteristic of the ITD detection model was examined. As a result, it was shown clearly that the resolution of an ITD detection model is highly made by increasing the total of a cell body, and that it is effective to set up so that it may overlap with the output of the adjoining cell body as for the output width of a cell body.

1. まえがき

周囲の環境を把握するには視覚や聴覚などの五感により行っているが、その多くを視覚に頼っている。しかし、暗闇の中など視覚情報が著しく低下する特殊な環境においては、視覚からの情報量が大幅に減少し、他の情報処理機構に頼らざるを得ない。視覚の次に重要な情報処理機構として聴覚からの情報が大きな役割を持つ^[1]。生体の聴覚情報処理機構の中でも、重要な能力として音源の方向を特定する能力である音源定位が挙げられる。この音源定位機構の優れたメンフクロウは、左右方向を両耳間到達時間差 (Interaural Time Difference : 以下 ITD) 情報を用いて定位し、上下方向を両耳間到達音圧差 (Interaural Level Difference : 以下 ILD) 情報を用いて定位し、これらを下丘外側核 (Inferior Colliculus External Nucleus : 以下 ICx) により統合することで 2 次元方向音源定位を行っている^[2]。

我々はパルス形ハードウェアニューロンモデルを用いた非同期のハードウェア実装モデルによる 2 次元音源定位モデルのハードウェア化を目的に研究を行っている。先に我々はメンフクロウの音源定位機構を取り入れた 2 次元音源定位モデルについて、集中定数モデルを用いることにより、ITD 検出モデルの検出位置と ILD 検出モデルの検出位置を ICx モデルにより統合することで 2 次元音源定位を行えることを報告した^[3]。

集中定数で ITD 検出モデルを構成する場合、その分解能は音源の周期とモデルを構成する軸索ユニットからの細胞体の個数によって影響を受ける。しかし、音源は音声のような複雑な周期であることも多く、一定とは限らない。そこで、音源の周波数成分に対して、モデル化し、それを複数並列に構成することで層状の 2 次元音源定位モデルを構成するモデルを考えた。

本論文では、1 チャネルの 2 次元音源定位モデルに着目し、ITD 検出モデルの分解能について検討を行ったので報告する。

2. 両耳間到達時間差 (ITD) 検出モデル

図 1 に今回検討に用いた 1 チャネルの 2 次元音源定位モデルの概略図を示す。同図は、緑の線で囲った ITD 検出モデルの左右方向を定位する信号と、青い線で囲った ILD 検出モデルの上下方向を定位信号を、オレンジの線で囲った ICx モデルによって統合するモデルである。図中、ITD 検出モデルは、Left Input, Right Input から、それぞれ入力したパルス電圧はそれぞれの遅延線の役割を持つ軸索モデル ($A_{L1} \sim A_{LN}$, $A_{R1} \sim A_{RN}$) を伝播するモデルである。□で囲んだ $A_{Li(Ri)}$ は、それぞれ Left Input (Right Input) の i 番目の軸索ユニットを示しており、それぞれのユニットは出力細胞体モデルと興奮性結合をしている。○で囲んだ CT_i は ITD 検出モデルの i 番目の出力細胞体モデルで、左右の軸索モデルの興奮性結合から同時にパルス電圧が入力されたときのみパルス電圧を出力するモデル

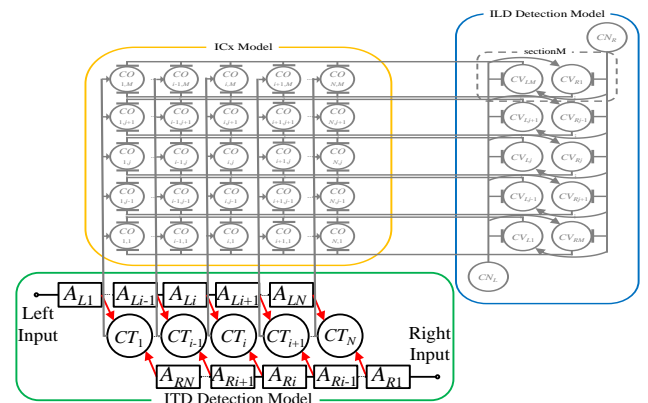


Figure 1. Schematic diagram of 2-D sound source localizing model.

であり、 $CT_i(1 \leq i \leq N)$ が発火した位置によって左右方向を定位できる。

本モデルの分解能は入力周期と細胞体モデルの総数、及び出力幅によって決定出来る。

3. 結果

入力 1 周期間の細胞体モデルの総数を増やす事によって分解能を高くすることができるが、軸索モデルの遅延時間が入力周期の 1/2 より大きくなる場合や、隣接する細胞体間の出力が連続発火でない場合、左右の音源定位を正確に行えなくなる。また、そこで、ITD 検出モデルは 1 つの左右からの入力に対して 1 カ所の細胞体モデル、あるいは隣り合う 2 カ所の細胞体モデルが発火するよう構築する必要がある。

軸索ユニット一つの遅延時間を Δt 、チャンネルの周期を T 、1 本の軸索モデルを構成する軸索ユニットの総数を N とし、すべての軸索ユニットに細胞体モデルを接続した場合、本 ITD 検出モデルで正確な出力を得るためには、次式を満足する必要がある。

$$\Delta t \times N < T/2 \quad \dots(1)$$

図 2 に ITD 検出モデルの検出結果の一例を示す。同図(a)は、式(1)を満足するように入力周波数を 30Hz、 $\Delta t=0.7[\text{ms}]$ 、片側の軸索ユニット N を 23 個とした場合の結果で、縦軸に出力位置を表す出力細胞体の番号 i 、横軸に左右の入力時間差 Δt を示している。同図から、 Δt が $-16.6[\text{ms}]$ から $16.6[\text{ms}]$ まで、隣り合う CT と発火する時間差の範囲が重なりながら、全範囲で出力細胞体は発火しており、検出可能な発火であることを示して

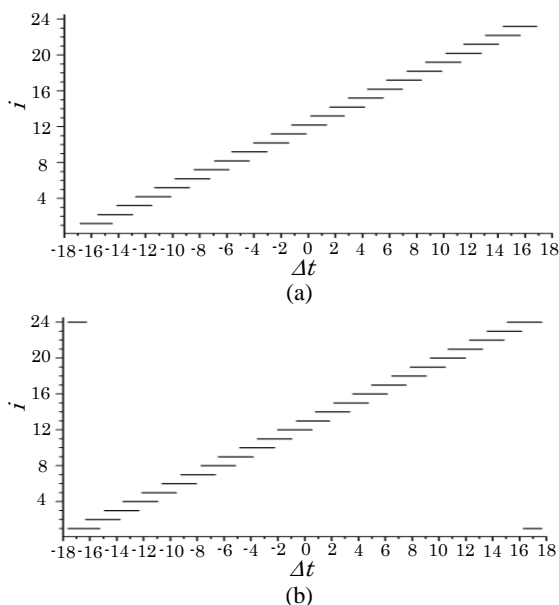


Figure2. Detection characteristics of ITD detection model.

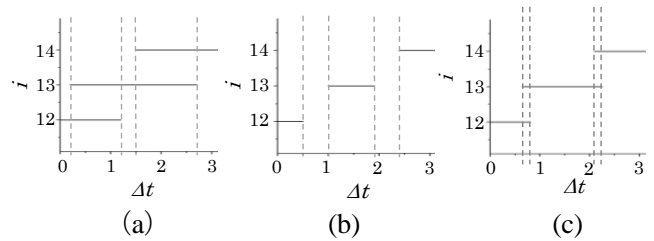


Figure3. Range of detection of central position on ITD detection model.

いる。同図(b)は式(1)を満足しない $N=24$ の場合で、隣り合う CT と発火範囲が重なりながら発火しているものの、出力細胞体が $T/2$ を満足しない、 i が 1 や 24 の発火のように Δt が ± 16.7 以上で 2 箇所発火する範囲が存在し、正確な位置の判別ができなくなる。

以上のことから、高分解能の ITD 検出モデル構築するためには、式(1)を満足する範囲で、 N をできる限り大きくする事が有効である。

図 3 に、細胞体の出力幅を変化させた場合の結果の一例を示す。同図は、隣接する細胞体の出力幅を変化させた場合で、(a)は図 2(a)の場合について Δt が 1 から 3 の範囲を拡大して示したもので、(b)は検出範囲が重ならなく、隙間が生じる場合の一例で、 Δt が検出範囲内であっても左右方向を検出できない範囲が生じてしまうことを示している。(c)は隣り合う出力細胞体と重なっているものの、検出範囲の重なりがほとんど無い場合の一例で、ハードウェアモデル構成する場合、ばらつきを考慮して、検出範囲の重なりを選択する必要がある。

4. まとめ

今回、ITD 検出モデルの分解能について検討を行った。その結果、ITD 検出モデルの分解能は式(1)を満足するように細胞体の総数を増やすことによって高く出来、細胞体の出力幅は隣接する細胞体の出力と重なるように設定することが有効であることを明らかにした。

今後は、ITD 検出モデルを並列に接続した場合の検出精度向上に対して検討を行う。

5. 参考文献

- [1] 甘利俊一・外山敬介：「脳科学大辞典」，朝倉書籍，pp.143-147，2000.
- [2] E. I. Kundsén, G. G. Blasdel, and M. Konishi : “Sound localization by the barn owl (*Tyto alba*) measured with the search coil technique”, *J. Comp. Physiol.*, Vol.133, pp.1-11 , 1979.
- [3] 櫻井, 中江, 佐伯, 関根：「メンフクロウに着目した 2 次元音源定位用パルス形ハードウェア下丘外側核モデル」，*電学論文誌 C*, Vol.134, No.3, pp.369-373, 2014.