

M-10

メンクロウの音源定位機構に着目した 2 次元ハードウェア音源定位モデルに対する検討

A Study on Two-dimensional Hardware Sound Source Localization Model Based on Mechanism of Barn Owl

○櫻井翼¹, 関根好文²

*Tsubasa Sakurai¹, Yoshifumi Sekine²

Abstract: Hearing information is very important in the darkness where vision information is extremely limited. Barn owls have excellent hearing information processing function. Barn owls can detect a sound source in the high accuracy of less than two degrees in both of the vertical and horizontal directions. We are constructing the sound source localization system of barn owl for the purpose of the engineering application. In this paper, we propose a two-dimensional sound source localization model based on mechanism of barn owl. Next, we discuss the response characteristics of the hardware model. As a result, we show clearly that this proposal model can be used as a two-dimensional direction model.

1. まえがき

我々は、優れた音源定位能力を有しているメンクロウの音源定位機構に着目し、2次元音源定位モデルのハードウェア化について研究を行っている。メンクロウは、左右の耳から得られる ITD(Interaural Time Diference), ILD(Interaural Level Diference)の情報により音源定位を行っている。ITD はパルスが出力した位置で左右方向を検出し、ILD はパルスの出力が停止した位置で上下方向を検出する^[1]。我々はこれまでに、パルスが出力した位置で左右方向を定位する ITD 検出モデル、及びパルスの出力が停止した位置で上下方向を定位する ILD 検出モデルを提案した^[2]。

本論文では、ILD 検出モデルの検出位置をパルスの出力結果として取り出し、ITD 検出モデルとマッピングする 2次元ハードウェア音源定位モデルを構成し、その応答特性について検討を行ったので報告する。

2. 2次元ハードウェア音源定位モデル

図 1 に、今回提案する 2次元ハードウェア音源定位モデルの概略図を示す。同図は ILD 検出モデルの検出位置をパルスの出力結果として取りだし、2次元音源定位を行うモデルである。図中、添え字 L, R はそれぞれ Left, Right を意味し、○は細胞体モデルを示し、矢印は興奮性結合を、T形の記号は抑制性結合を示す。 CN_L, CN_R は ILD 検出モデルの入力部に相当する。また、点線で囲った $CV_{LM\pm k}, CV_{RM\mp k}$ は ILD 検出モデルの出力部に相当し、左右対になる $CV_{LM\pm k}, CV_{RM\mp k}$ を section $(M\pm k)$ とした。添え字 M は、上下方向に全 Y 個配置した中心位置を示し、 M を基準に上下方向に k 番目 ($0 \leq k \leq (Y-1)/2$) の検出位置を $(M\pm k)$ で示す。 CT_i は左右方向を定位する ITD 検出モデルの出力部に相当する。添え字 i は左右方向に全 X 個配置した i 番目 ($1 \leq i \leq X$) の検出位置を示している。 $CO_{i,M\pm k}$ は、上下左右方向の i 番目、 $(M\pm k)$ 番目の 2次元ハードウェア音源定位モデルの出力部を示しており、上下左右方向の 2次元上に配列した。抑制性結合、興奮性結合の W は結合荷重値を示し、 V は CN から CV へ、 O は CV から CO への結合を、 E は興奮性、 I は抑制性を示し、 WVE, WVI, WOE, WOI とした。 WVI_L, WVI_R は、 CV_L, CV_R がそれぞれ CN_L, CN_R から遠くなるにつれて一次関数

的に荷重値を弱くなるように設定し、section M では $WVI_{LM} = WVI_{RM}$ とした。また、 WVI_L, WVI_R 以外の荷重値は上下左右方向の位置に依存せず、一定の荷重値に設定した。本モデルは、ILD 検出モデルの section $(M\pm k)$ のパルス出力が停止した出力部と ITD 検出モデルの CT_i のパルス出力した出力部の出力結果をそれぞれ $CO_{i,M\pm k}$ に入力した場合に、 $CO_{i,M\pm k}$ の閾値を超え、パルスを出力する。即ち、ILD 検出モデルの出力が停止した位置と、ITD 検出モデルが出力した位置により、ITD と ILD の出力結果をマッピングし、2次元音源定位が可能なモデルである。

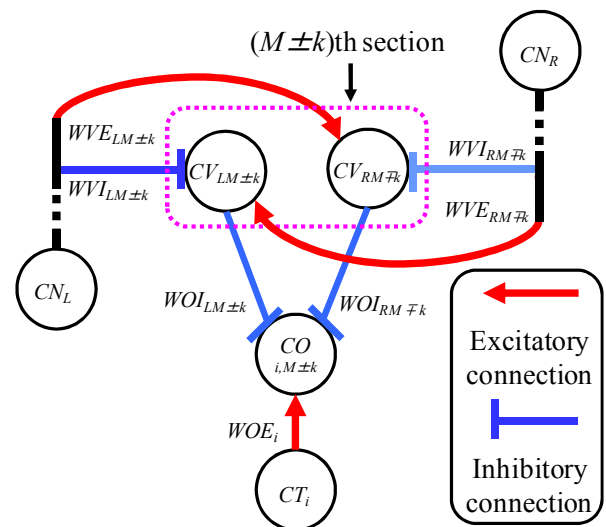


Figure 1. Schematic diagram of a two-dimensional hardware sound source localization model.

今、図 1 のモデルにおいて CN_L, CN_R に入力する音圧の和が一定とすると、 CN_L, CN_R それぞれのパルス頻度 V_{inL}, V_{inR} は変化量が正負対称となり、次式で示せる。

$$V_{inL} = V_M - \Delta V_M \dots \dots \dots (1)$$

$$V_{inR} = V_M + \Delta V_M \dots \dots \dots (2)$$

但し、 $V_M = (V_{inL} + V_{inR})/2$ で、 V_M は音源が中心位置の場合のパルス頻度、 ΔV_M は上下における変化量とした。また、section M から上下方向に k 番目の WVI_L, WVI_R は、 a を中心位置の抑制性結合係数、 Δa を隣接する出力部間の変化量とすると、 $a \pm k\Delta a$ で示せる。更に、 $WVE_L,$

1 : 日大理工・院(前)・電子 2 : 日大理工・教員・子情

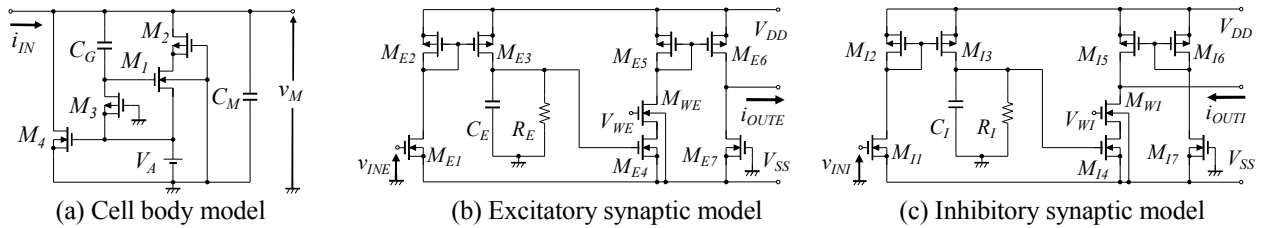


Figure 2. Pulse-type hardware neuron model.

WVE_R , WOE を b , WOI_L , WOI_R を w で示し, k , i の位置に依存せず, 一定の値とした. 但し, $a, \Delta a, k, b, w \geq 0$ とした. CT_i の出力パルス頻度を V_T で示す. これらの定数を用いて, section ($M \pm k$) の CV_L , CV_R のパルス頻度 $V_L[t]$, $V_R[t]$, 及び $CO_{i,M \pm k}$ のパルス頻度 $Vo[t]$ は次式で近似した. 定数 s は自己回帰係数, h は各細胞モデルの閾値を示し, $V_L[t]$, $V_R[t]$ が負の場合, 0 とした.

$$\frac{dV_L[t]}{dt} = -s_L V_L[t] - (a \pm k \Delta a) V_{inL} + b V_{inR} - h_L \dots (3)$$

$$\frac{dV_R[t]}{dt} = -s_R V_R[t] - (a \mp k \Delta a) V_{inR} + b V_{inL} - h_R \dots (4)$$

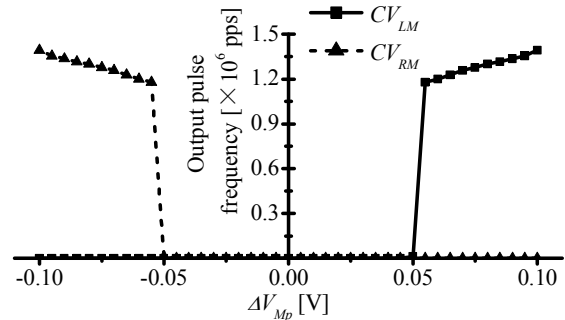
$$\frac{dVo[t]}{dt} = -s_O Vo[t] - w(V_L[t] + V_R[t]) + b V_T - h_O \dots (5)$$

上式より, $V_L[t]$, または $V_R[t]$ が 0 より大きい場合, bV_T を抑制することで h_O を超えず, $Vo[t]$ は 0 になる. 一方, $V_L[t]$, $V_R[t]$ が共に 0 の場合, bV_T は h_O を超えるように設定することで, $Vo[t]$ は出力し, ITD と ILD をマッピングすることができる.

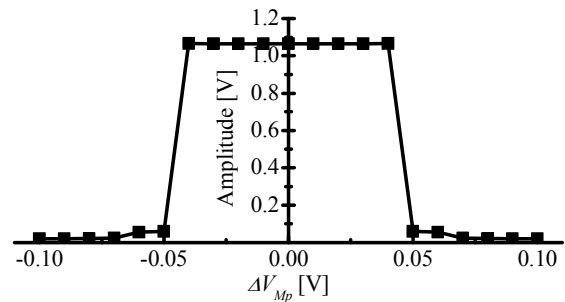
3. シミュレーション結果

図 3 に, 図 2 に示すハードウェアモデル^[3]を用いた 2 次元音源定位モデルの応答特性の一例を示す. ILD 検出モデル内の CN_L , CN_R の入力電圧は, 細胞体モデルの電源電圧 V_A を用いて, 式(1), (2)を電圧で表現する為添え字 p を付けて, それぞれ V_{inLp} , V_{inRp} とした. また, 式(1), (2)内の V_M , ΔV_M も同様に電圧で表現する為, V_{Mp} , ΔV_{Mp} とした. ITD 検出モデルの CT_i は, 外部からパルス電流 i_{IN} を入力した. 以下, CT_i の添え字 i は省略する. 同図(a)は横軸に ΔV_{Mp} を示し, 縦軸は section M における各細胞体モデルの出力パルス頻度とした. 同図より, section M の CV_{LM} , CV_{RM} の出力パルス頻度は $-0.05 \leq \Delta V_{Mp} \leq 0.05$ の範囲で共に 0 になり, 極小範囲が得られることを示している. このことは, ILD 検出モデルの中心の出力部 section M は V_{inLp} と V_{inRp} の差が完全に一致しない場合においても, $V_{inLp} = V_{inRp}$ の前後で許容範囲を持ち, 検出可能であることを示している. (b)は横軸に ΔV_{Mp} を示し, 縦軸は CO_M の出力パルス振幅とした. 同図より, (a)の極小範囲が得られる範囲において, CO_M の出力パルス振幅は約 1.1[V]となり, 出力状態になることを示している. このことは, ILD 検出モデルの検出位置と ITD 検出モデルの検出位置をマッピングできることを示している.

以上の結果より, 提案モデルは ILD 検出モデルのパルスの出力停止位置に ITD 検出モデルからのパルスの出力位置をマッピングすることで, 2 次元音源定位が可能なモデルであることを明らかにしている. 更に, 入力電圧にばらつきが生じた場合でも検出可能であることから, ハードウェア化に有効であることを示している.



(a) Input-output characteristics of section M .



(b) Input-output characteristics of CO_M .

Figure 3. Response characteristics.

4. まとめ

今回, ILD 検出モデルと ITD 検出モデルをマッピングする 2 次元ハードウェア音源定位モデルを構成し, その応答特性について検討を行った. ILD 検出モデルの中心出力部では, $-0.05[V] \leq$ 入力電圧の変化量 $\Delta V_{Mp} \leq 0.05[V]$ の範囲で出力パルス頻度は極小になり, 許容範囲が得られることを示した. 更に, この極小範囲に ITD 検出モデルの出力結果であるパルス出力をマッピングすることで, 提案モデルはパルスを出力する特性を有し, ILD 検出モデルの出力が停止した位置を出力結果として取り出せることを示した. 以上の結果, ITD と ILD の情報をマッピングできることを明らかにした. 今後は, 今回提案したモデルを IC 化する予定である. 謝辞 本研究の一部は日本大学学術研究助成金(総合研究)の援助を受けて行われた.

5. 参考文献

- [1] E. I. Kundsén, G. G. Blasdel and Konishi, "Sound localization by the barn owl (*Tyto alba*) measured with the search coil technique", *J. Comp. Physiol.* 133, pp.1-11, 1979.
- [2] 櫻井翼, 関根好文: 「メンフクロウの音源定位機構に着目したパルス形ハードウェア音圧差検出モデル」, 平成 23 年電学 C 部門大会, pp.134-139, 2011.
- [3] 関根好文, 隅山正巳, 佐伯勝敏, 合原一幸: 「エンハンスメント型 MOSFET による Λ 形ニューロンモデル」, *電学論(C)*, Vol.J84-C, No.10, pp.988-994, 2001.