

Title	聴覚生理モデルを用いた音源方向定位に関する基礎的研究
Author(s)	伊藤, 一仁
Citation	
Issue Date	1998-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1133
Rights	
Description	Supervisor:赤木 正人, 情報科学研究科, 修士

聴覚生理モデルを用いた 音源方向定位に関する基礎的研究

伊藤 一仁

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1998年2月13日

キーワード： 両耳間時間差、時間差検出回路モデル、神経発火、シナプス伝達、抑制.

音源方向定位とは、音波が左右の耳に到達する時の時間差 (ITD: interaural time difference) や音圧差 (ILD: interaural level difference) を使って、音源の方向を知覚するための聴覚の機能である。本研究では、聴覚の生理学的知見に基づいて、両耳間時間差 (ITD) による音源方向定位の機能モデルを提案する。

左右の耳に到達した音波は、聴覚末梢系で周波数毎に分解され、インパルス信号に変換されて聴覚中枢系へと伝達される。聴神経は、刺激の一定の位相角に同期して発火を起こすため、インパルス信号には時間情報が保存されている。時間差の検出機構は、左右の耳からの神経線維が初めて交差する聴覚中枢系の上オリーブ複合体にあると考えられてきた。その時間差検出機構のモデルとしては、Jeffress のモデルが良く知られている。このモデルは単純明解な理論や構造上の類似性から旧くから支持されてきた。本研究では、まず初めにこのモデルを計算機上に実装し、その時間差検出の仕組みを検証すると共に、幾つかの工学的な改良を試みた。

Jeffress モデルは、数個の一致検出細胞とそれに繋がる左右 1 本ずつの遅延線で構成されている。一致検出細胞は左右のインパルスが同時に到着したときに発火する。つまり、このモデルは、2 つのインパルス列の相関によって、時間の差を計算するものである (図 1)。音源が正中面にあれば、音波が耳に到着するまでの時間も、信号が検出回路に入力される時間も左右で同じになるから、ちょうど真中の検出細胞が最大の興奮を示す。音源の位置が違えば、反応する検出細胞も違ってくる。

但し、実際の聴神経は常に正確な位相角で発火している訳ではなく、神経インパルスには時間的なゆらぎが含まれている。そのため、信号を単純なパルス列として相関をとってみても、時間差の検出は難しい。図 2 は、位相角からのばらつきが大きいインパルス列の

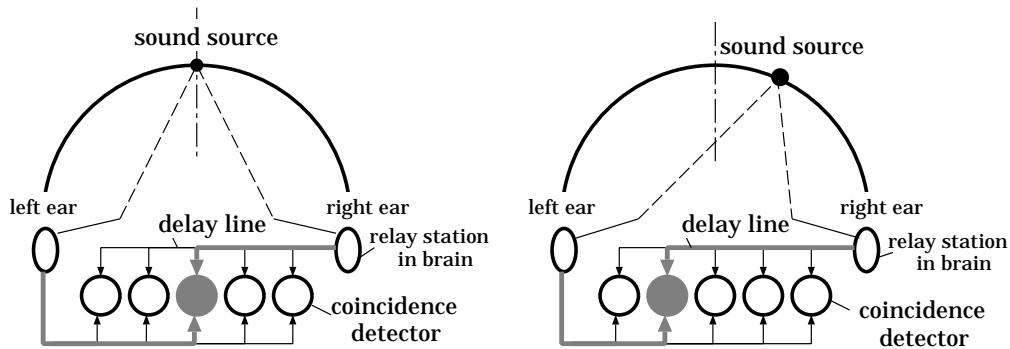


図 1: Jeffress のモデル

周期ヒストグラム (上図) と、インパルス列の相関による時間差検出回路の出力 (下図) である。その出力結果からは正しい ITD がわからなかった。

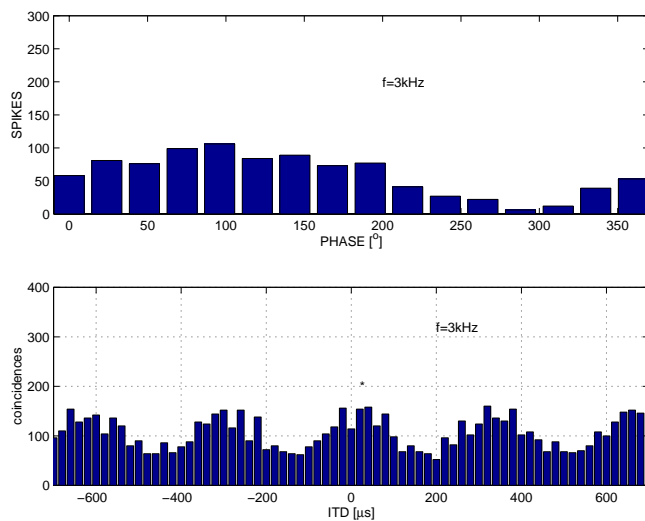


図 2: 入力信号の周期ヒストグラムとその結果

そこで、本モデルでは、時間差検出回路内で取り扱う信号に、例えばのこぎり波のような、ある程度の時間的な幅と振幅の変化を持たせることによって、時間的ゆらぎを含む神経インパルスに対する時間差検出の誤りを減らし、精度の向上を図った。図 3 は、位相角からのばらつきが大きいインパルス列の周期ヒストグラム (上図) と、のこぎり波の信号による時間差検出回路の出力 (下図) である。ピークが正しい ITD を示している。

また、時間差検出回路には位相多義性の問題もはらんでいた。それは、真の時間差を $\Delta\tau$ とすれば、時間差回路は $\Delta\tau + nT$ (n は整数、 T は刺激音の周期) となる複数の時間差

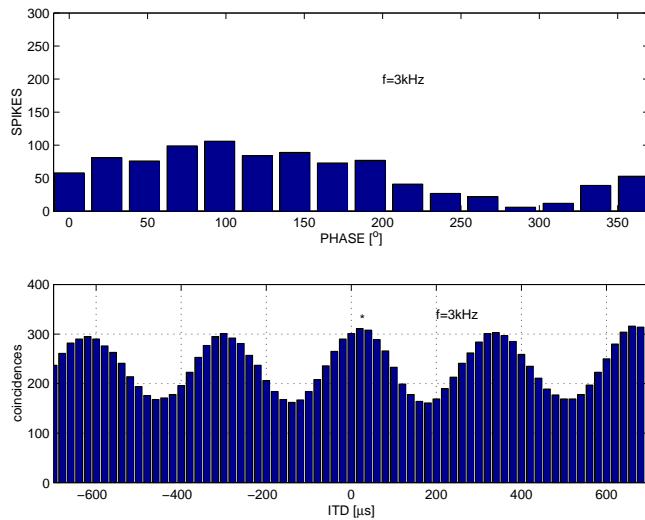


図 3: 入力信号の周期ヒストグラムとその結果

に対しても、反応してしまうというものである。この問題に対し本モデルでは、各周波数毎に時間差検出回路を配置し、同調する細胞の多い時間差を真の時間差とすることによって対処した(図 4)。実際の生体においても、時間差検出部が周波数に応じて組織的に配列されていることが発見されている。

以上のように、生理学的知見を活かしながら、幾つかの改良を経ることによって、既存のモデルの精度を上げることができた。しかし、左右の信号の相関をとるという単純な機構だけでは、複数の音源や雑音などを多く含む実環境下において、生体が行なう音源方向定位の能力を説明することは難しい。

これらの問題をより深く検討するために、生理学的知見に基づいて、神経発火やシナプス伝達などの生体内部で行なわれる情報伝達の信号パターンを計算機上に表現し、それらを時間差検出回路モデルに適用した。例えば、神経インパルスは活動電位と呼ばれる細胞膜の電位変化であり、時間的な幅のある信号である。また、細胞間にはシナプス結合による信号伝達が考えられ、信号の時間的な冗長性はさらに大きくなる。これらの事実が時間差検出にどのような影響を与えるのかをシミュレーションにより検証した。

その結果、左右からのたった一对のインパルス刺激に対して、検出回路単独では回路全体に幅広く興奮が起こり、正しい時間差を示す細胞が一意的に決まらないことが明らかになった(図 5)。

このため、本モデルでは、より時間差検出の向上を図るとともに、効率の良い処理を行なうために、単独の検出回路からの出力に対し、多段の閾値電位による選別と抑制性働きを設定した。時間差検出回路において、刺激の単位周期では正しい時間差を示す一致検出細胞が比較的早く発火する傾向があることから(図 6)、それ以外の発火の影響を抑制することによって正しい時間差の検出を可能にした(図 7)。

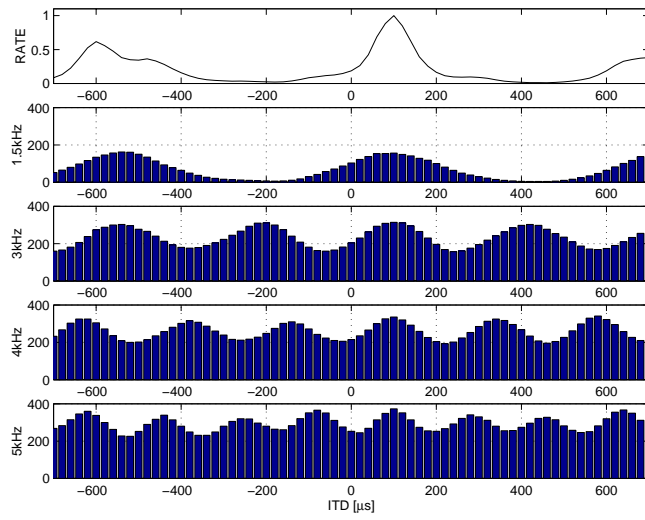


図 4: 位相多義性の解消

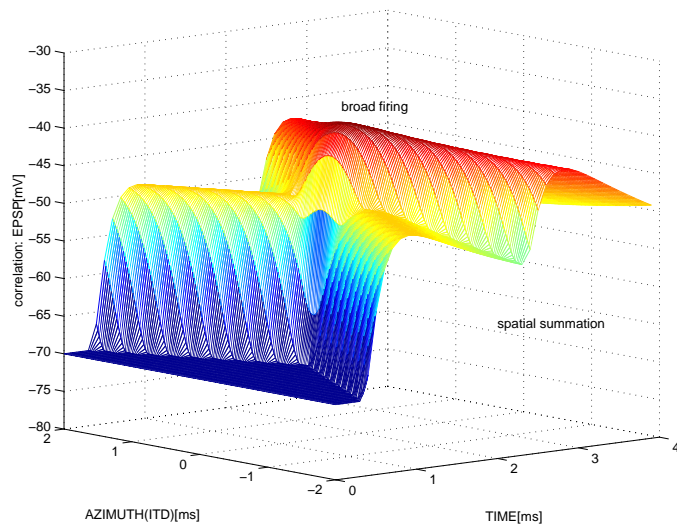


図 5: 検出回路における EPSP の加重

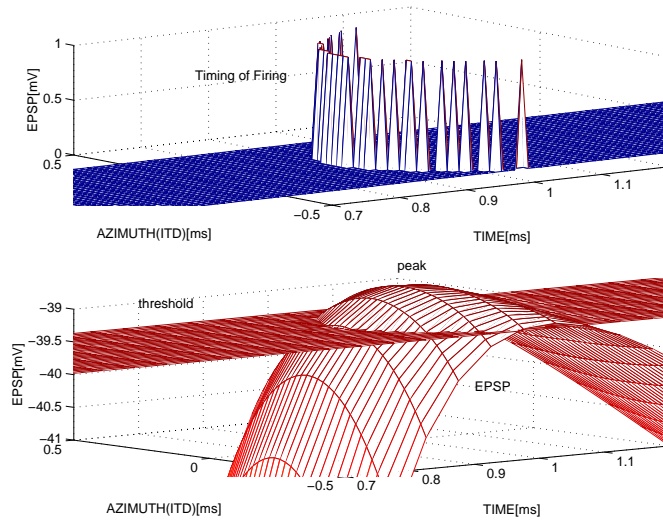


図 6: 発火タイミングの違い

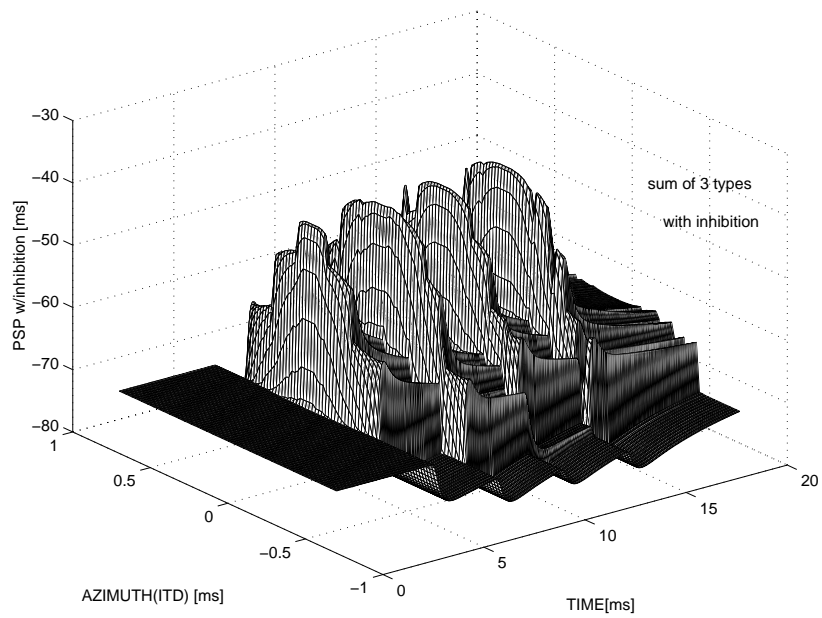


図 7: 抑制作用によるピークの強調

以上、神経発火やシナプス伝達などの生体内で行なわれる情報伝達のモデル化を行ない、音源方向定位の時間差検出機構へと発展させた。両耳間相互相関に基づくモデルの精度を上げるために、多段の閾値電位による選別と抑制性の働きを設定し、時間差検出の精度を向上させることができた。