

前庭動眼反射を考慮した初期聴覚モデル ～有毛細胞への雑音印加による音圧評価～

A model for an early auditory system based on vestibulo-ocular reflex

Evaluation of white noise injection to hair-cell arrays towards sound-pressure enhancement

池上高広 Takahiro Ikegami 池辺将之 Masayuki Ikebe 高前田伸也 Takamaeda Shinya 本村真人 Masato Motomura 浅井哲也 Tetsuya Asai

北海道大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

1 研究背景・目的

MP3 やストリーミング配信、ワイヤレスオーディオなどの圧縮音源に対し、低負荷で信号処理を施すことで音質の向上を知覚させるというニーズがある。

本研究では初の試みとして、前庭動眼反射モデル (VOR: Vestibulo-ocular reflex) をもとに、聴覚を司る蝸牛において、高域に雑音を印加しただけで低域の音圧が上がって知覚されうることを検証する。

2 蝸牛と前庭動眼反射モデル

耳に入ってきた音波を一種の BPF 郡である蝸牛という器官が高域から低域までの各周波数成分に分解する。各周波数ごとに有毛細胞が半波整流し、振幅密度変調された神経パルスに変換する [1]。そして隣り合った有毛細胞同士の出力が統合ニューロンに集められ、加算結果に応じてパルスを発する。このような仕組みが既に前庭動眼反射 (VOR) モデルとして提唱されている [2]。図 1 のような系全体の出力は、各系が低速であっても高速な入力に追従出来るようになる。

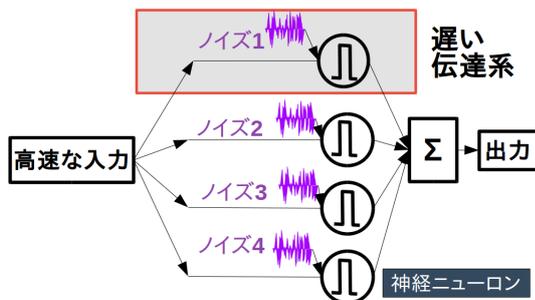


図 1 前庭動眼反射 (VOR) モデル

3 蝸牛の回路化

人間の蝸牛にもこの VOR モデルが適用できると考え、[3] を元に蝸牛の電子回路化を行った (図 2)。BPF 特性がほぼ同じ隣り合った 2 つの低域有毛細胞 A, B を用意し、ここに同一正弦波を加えると A と B は全く同じタイミングでパルスが発生する。しかし同時に単一の高域ノイズを加えると、各有毛細胞に加わるノイズは位置ずれにより無相関になり、図 3 の波形に示すように A と B の発火タイミングがずれることで、出力パルス密度が上昇することが分かった。この回路において入力振幅を変化させる代わりに入力周波数を変化させて出力追従周波数を記録し、VOR モデルのとしての特性を調べたも

のが図 3 に示すグラフである。これにより知覚される低域の音量が通常より大きくなり、音のアタック感が強調されるコンプレッション効果が生じる可能性を示した。

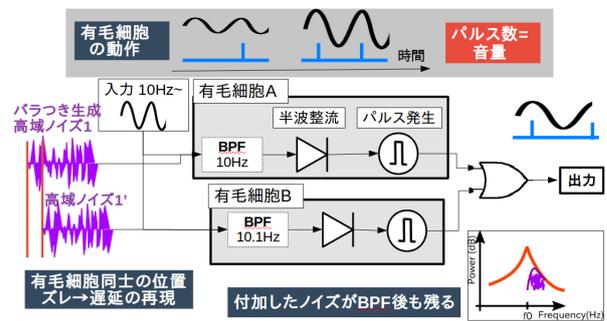


図 2 VOR モデルに基づく蝸牛の回路化

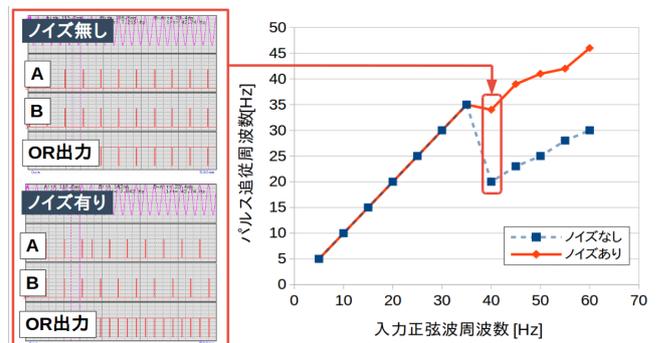


図 3 蝸牛 VOR 電子回路モデルにおける入力周波数と出力追従周波数

参考文献

- [1] C. ミード著, 白井支朗, 米津宏雄 訳, "アナログ VLSI と神経システム", トッパン, pp.327-333, 1993.
- [2] T.M. Hospedales, M.C.W. van Rossum, B.P. Graham, and M.B. Dutia, " Implications of noise and neural heterogeneity for vestibulo-ocular reflex fidelity, " Neural Computation, vol. 20, no. 3, pp. 756778, 2008.
- [3] Akira Utagawa, Tetsuya Asai, Yoshihito Amemiya, "High-fidelity pulse density modulation in neuromorphic electric circuits utilizing natural heterogeneity", Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Released April 01, 2011