

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20700166

研究課題名 (和文) 嗅覚神経計算モデルを応用した匂いセンサ信号処理

研究課題名 (英文) Odor-sensor signal processing based on olfactory neurodynamics model

研究代表者

山中 高夫 (TAKAO YAMANAKA)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号：20433790

研究成果の概要 (和文) : ガスセンシングに応用するため、生物の嗅覚順応機能を模倣した背景臭抑制手法を提案し、その有効性をシミュレーションにより確認した。さらに、その手法をリアルタイムガスセンシングに適用するため、FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いてスパイクニューラルネットワークとしてデジタル回路に実装した。その結果、検出対象と背景臭の混合パターンから背景臭の影響を除去して、検出対象のパターンだけを計測できることが分かった。

研究成果の概要 (英文) : A bio-inspired background suppression model for gas sensing was implemented in a digital circuit using FPGA (Field Programmable Gate Array) for realizing a real-time gas sensing. The circuit successfully suppressed the background pattern from the mixture of target and background patterns.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成20年度	2,000,000	600,000	2,600,000
平成21年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：知覚情報処理

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：生態模倣，ニューロモーフィック，神経回路，匂いセンサ，ハードウェア化，ガスセンサ，FPGA，化学センサ

1. 研究開始当初の背景

最近20年間で、エレクトロニックノーズと呼ばれる匂いセンシングシステムが発展してきた。これは複数種類の匂いセンサを用いて、そのセンサ応答パターンによりガスや匂いの種類・濃度を検出するシステムである。このようなシステムは、災害救助、ガス漏れ探知、食品管理、環境計測などを目的として発展し、その応用が期待されている。

しかし、現在の匂いセンサには、ベースラインのドリフトやバックグラウンドの匂いの影響など、いくつかの問題点がある。生物の嗅覚ではこれらの問題点を解決しており、例えば犬を麻薬の捜査に利用したり、食品の品質管理や臭気計測にヒトの鼻を活用したりしている。センサに相当する嗅覚受容体の感度・選択性が匂いセンサより優れていることも一因であるが、優れた情報処理もセンサ

の特性を補っている。つまり、匂いセンサというデバイス自体の改良に加えて、生物の嗅覚における情報処理を模倣した信号処理手法も匂いセンシングシステムの性能向上に有効であると考えられる。

このような脳の計算メカニズムの工学的応用を目指した研究として、Neuromorphic Engineering という研究分野が確立されつつある。しかし、現在のところ視覚・聴覚センサやロボット制御などの研究がメインであり、嗅覚における神経計算メカニズムを匂いセンサに応用する研究は始まったばかりである。

2. 研究の目的

本研究では、前述のような嗅覚に対する Neuromorphic Engineering の研究を発展させて、嗅球の神経計算モデルを回路実装し、匂い検出をリアルタイムに行うことができるシステムを構築して、Neuromorphic Engineering の手法が匂いセンサにも有効であることを実証することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究の前に行っていた科学研究費補助金若手研究（スタートアップ）で、嗅覚順応モデルをガスセンサ信号処理に応用し、シミュレーションにより、ガスセンサに対する背

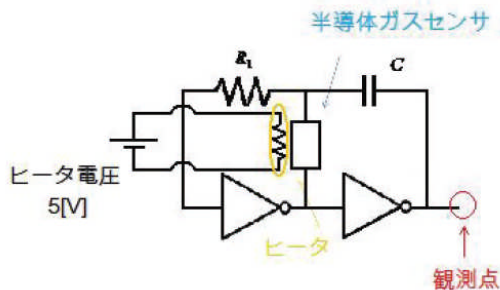


図 1 デジタルロジックオシレータを利用した半導体ガスセンサ計測回路

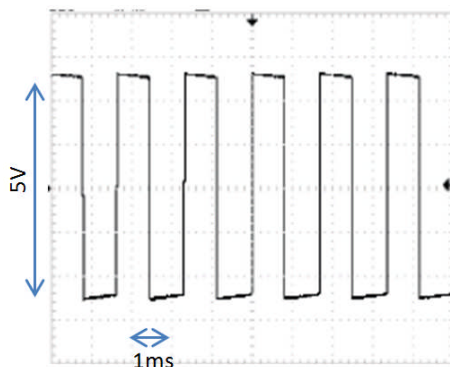


図 2 デジタルロジックオシレータの出力波形

景臭の影響を抑制するのに有効であることを確かめた。本研究では、この研究を発展させて、嗅覚順応モデルをデジタル回路に実装し、リアルタイムセンシングの実現を目指した。当初の計画では、この嗅覚順応モデル以外にも様々な神経回路モデルを検討する予定であったが、研究の焦点を絞って着実に進展を図るために、嗅覚順応モデルのデジタル回路実装に重点的に取り組んだ。

また、提案する嗅覚順応モデルによる効果を実証するために、ガスセンシングシステムの構築にも取り組んだ。センサとして当初水晶振動子ガスセンサを使用していたが、安定性や取り扱いの容易さから半導体ガスセンサを使用することにした。嗅覚順応回路は、スパイクングニューラルネットワークを利用して実現しているため、回路の入力として、ガス濃度を周波数変化で検出した信号を利用することが望ましい。半導体ガスセンサは抵抗変化型のセンサであるので、抵抗変化の情報を周波数変化に変換するために、図 1 に示すデジタルロジックオシレータを利用した。この回路を用いることにより、ガスセンサの抵抗変化を、図 2 に示すような周期的な信号の周波数変化として検出できる。

4. 研究成果

嗅覚順応モデルのシミュレーション結果を図 3 に示す。ガスセンサに対する背景臭の影響除去の効果を調べるために、実際のセンサ応答波形に適用する前に、人工的に作成したデータを使用してシミュレーションを行った。背景臭に対する応答パターンとして図 3(b) のパターン 1 を仮定し、検出対象のガスに対する応答パターンとして同図パターン 2 を仮定した。センサはガスに対して線形性が成り立つことを仮定し、背景臭と検出対象のガスの混合臭に対する応答パターンを、同図パターン 1+2 のようにパターン 1 と 2 の和で表した。背景臭及び対象臭のガス濃度は、図 3(a) に示すように、正弦波状に時間変化することを仮定した。

シミュレーションでは、初めに背景臭（パターン 1）に対してニューラルネットワークの学習を行い、その背景臭に対する応答が 0 となるようにニューラルネットワークの重み係数を学習した。学習には anti-hebbian learning を利用した。背景臭を学習した後のニューラルネットワークに、対象臭と背景臭の混合臭に対する応答パターン（パターン 1+2）を入力すると、背景臭の応答パターンが抑制され、対象臭の応答パターン（パターン 2）だけが出力されることが分かった。図 3(b) の Output Pattern がその出力波形であり、対象臭の応答パターンであるパターン 2 と近いパターンが出力されていることが分かる。

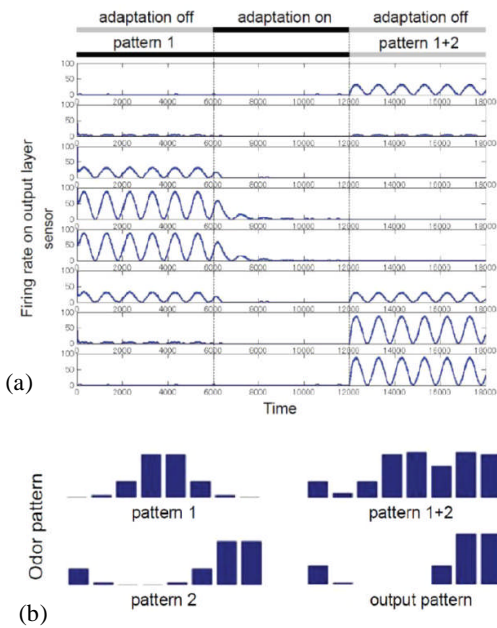


図 3 嗅覚順応モデルを利用した背景臭の影響抑制効果：シミュレーション

このアルゴリズムをリアルタイムでガスセンサ信号処理に適用するために、嗅覚順応モデルをデジタル回路に実装することを試みた。回路実装には FPGA(Field Programmable Gate Array)を利用した。図 4 に示すように、2 枚の FPGA 評価ボードを利用し、1 枚目の FPGA 評価ボードに動作確認のための入力信号作成回路を実装し、2 枚目の FPGA 評価ボードに嗅覚順応回路を実装した。ガスセンサに適用するときには、1 枚目の FPGA ボードをガスセンサに置き換えて利用すればよい。嗅覚順応回路には重み係数の学習回路も実装し、オンラインで学習を行えるように実装した。

動作確認を行った結果を図 5 に示す。ニューラルネットワーク学習前のパターン 1 に対する出力パターンを (a) に、パターン 2 に対する出力パターンを (b) に、パターン 1+2 に対する出力パターンを (c) に示す。ニューラルネットワークの学習を行っていないので、入力したセンサ応答パターンがそのまま出力され、背景臭に対するパターンであるパターン 1 が抑制されていない。それに対して、学習過程における出力応答パターン (d) ~ (f) では、パターン 1 に対する応答が小さくなっており、背景臭に対して抑制効果があることが分かる。学習後の応答パターン (g) ~ (i) では、パターン 1 に対する応答がほぼ 0 になっており、混合臭に対する出力パターンはほぼパターン 2 (対象臭) と等しくなった。つまり、背景臭の影響を除去して検出したい対象臭だけを計測することが可能である。この嗅覚順応モデルは背景臭の濃度が変化し

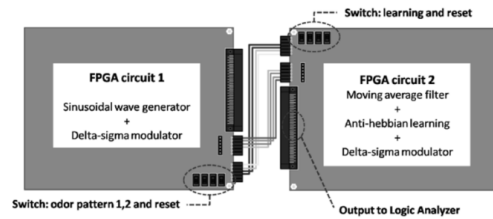


図 4 FPGA を利用した嗅覚順応モデルの回路実装

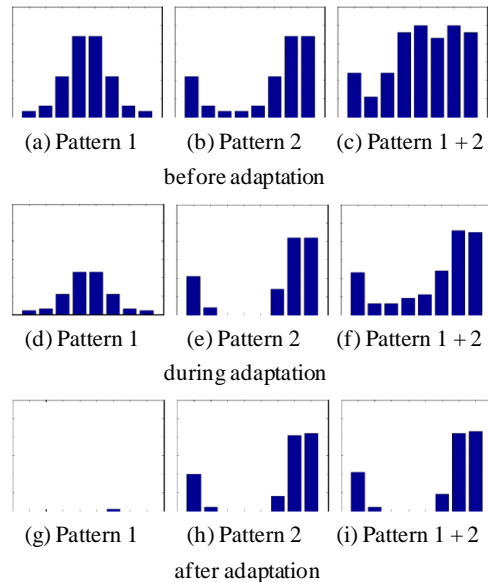


図 5 嗅覚順応回路の動作結果

た場合でもそのパターンを抑制することが可能なので、背景臭の濃度が変化するような環境において非常に有望な手法である。

現状では、まだガスセンサに接続したリアルタイムの動作実験を行うことができていないが、前節で述べたように、デジタルロジックオシレータを利用した半導体ガスセンサの計測システムを構築したので、今後実現した嗅覚順応回路をガスセンサに接続し、リアルタイム計測を実現する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- [1] T. Ohba and T. Yamanaka, Suppression of background odor effect in odor sensing system using olfactory adaptation model, IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines, vol. 128, 2008, pp. 240-245, 査読有。

[学会発表] (計 3 件)

- [1] 野呂敏孝, 山中高夫, 匂いセンシングシステムのための嗅球側抑制モデルの回

路実装, 電気学会全国大会, 2009/3/17,
札幌

- [2] 大羽恒彰, 山中高夫, 匂いセンシングシステムにおける背景臭抑制のための嗅覚順応モデルの回路実装, 電気学会全国大会, 2009/3/17, 札幌
- [3] T. Yamanaka, Y. Munakata, and T. Ohba, Digital-circuit implementation of olfactory-adaptation neural network for gas sensing, 13th International Meeting on Chemical Sensors, July 11-14, 2010, Perth, Australia (発表予定)

[図書] (計2件)

- [1] 中本高道, 山中高夫, 培風館, 電気電子計測, 2009, 165 ページ
- [2] T. Nakamoto and T. Yamanaka, IGI Global, Odor reproduction with movie and its application to teleolfaction, (Book Chapter in E. Hines and M. Leeson (eds.) "Intelligent Systems for Machine Olfaction: Tools and Methodologies,"), 2010年10月出版予定

[その他]

ホームページ等

<http://islab.ee.sophia.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山中 高夫 (YAMANAKA TAKAO)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号: 20433790