ロボット車両の衝突回避のための智能視覚システム

An intelligent vision system for collision avoidance for a robotic vehicle

○奥野 弘嗣 (阪大) 八木 哲也 (阪大)

Hirotsugu OKUNO, Osaka University, h-okuno@eei.osaka-u.ac.jp

Tetsuya YAGI, Osaka University, yagi@eei.osaka-u.ac.jp

An intelligent vision system for collision avoidance for a robotic vehicle was designed and implemented. To respond selectively to approaching objects on the collision course, the sensor employed an algorithm inspired by a visual nervous system in the locust, which can avoid a collision robustly by use of visual information. We implemented the model with a compact hardware system comprised of a silicon retina and FPGA circuits. The response of the system was examined by loading it on a robotic vehicle.

Key Words: collision avoidance, robot vision, neuromorphic

1. はじめに

車両の安全性を向上させるため、衝突防止技術は重要である。近年、坂道やカーブで誤認識しうるといふレーダの欠点を補うべく、視覚センサとデジタル画像処理を利用した衝突警告システムの研究が活発化している。しかしながら、従来のデジタル画像処理システムは、莫大な演算を必要とする画像処理を逐次的に行うため、車両等に搭載する視覚システムに求められる、小型・低消費電力・実時間処理といった要件を同時に満たす事は難しい。

一方で、自然界に目を向けると、空を飛び交う鳥たちから地面を跳ねる昆虫に至るまで、なんら高速な処理システムを持たない生物たちが、見事に視覚制御の衝突防止を実現している[1]。これは、生体視覚系の持つ、並列・階層的なアルゴリズムやアーキテクチャに依るところが大きい。この様に優れた生体のアルゴリズムやアーキテクチャの一部を模倣した視覚制御システムが、これまでも複数提案され、その可能性の高さを実証してきた (例えば[2][3])。

先行研究において我々は、衝突検知を担っているバットの視覚神経回路モデル[4]を参考に、衝突経路を接近する物体に対して特異的に反応する電子回路モデルを考案した[5]。更に、超並列的に空間フィルタ処理を行う抵抗回路網と、並列・階層的な回路構造をプログラムできるFPGA(field-programmable gate array)を活用して、この電子回路モデルをハードウェアに実装した。実装したシステムは、様々な状況を模倣したシミュレーション動画や、小型模型自動車を利用して、実験室内に限られた環境においては適切に動作することが確かめられたが[6][7]、車両振動への対策や視野を横切る物体の排他的処理等、まだまだ実環境応用に向けて解決すべき問題点も多い。

本研究では、生体のモデルを模倣するだけでは解決できない実用上の問題点に対し、工学的な画像処理手法を積極的に活用する事により、上記衝突検知システムの実環境応用を目指した。車両ロボットに本システムを搭載し、システムの応答を検証した。

2. 衝突検出アルゴリズム

2.1 昆虫視覚神経系における衝突検知

本研究で実現したシステムは、図1(a)に示すバットの視覚神経回路モデルに基づいている[4]。本神経モデルは、接近物体が眼前に迫った際に、網膜に投影された物体像が急激に拡大する性質を利用し、衝突の危険を判断する。物体像の急激な拡大は、高速で移動する物体輪郭の総量を評価基準と

して検出する。バットの視覚神経系では、図1(b)に示す通り、移動輪郭に対し即興奮を示すE細胞と、遅延を持って移動輪郭の周辺を抑制するI細胞の差分をとる事により、高速で移動する輪郭領域を抽出している。衝突検知細胞の出力 V_{out} は、以下の様に表される。

$$V_{out} = \sum_i V_{Si}$$

$$V_{Si} = V_{Ei} - V_{Ii}$$

ここで、 V_E は興奮細胞の応答、 V_I は抑制細胞の応答、 V_S は興奮と抑制の差分をとる細胞の応答である。この様に本モデルでは、輪郭とともに移動する興奮と、遅延をもって周囲に拡散する抑制の競走の結果が、最終出力に大きな影響を与える。

Fig. 1 (a) Neuronal network model generating collision-warning signals [4]. (b) Spatial profile of the response of the model.

2.2 衝突検知のための情報処理

上記細胞モデルに基づいた、物体像の急激な拡大を検出するための情報処理フローを、図2に示す。まず、局所的な輝度変化(主に輪郭の移動に起因する)が処理の起点として取得される(図中の transient response)。この輝度変化情報は、平滑化された後で二分岐され、一方は時定数の短い減衰フィルタ処理を受けて興奮細胞出力を模倣する信号 V_E に、もう一方は遅延後に時定数の長い減衰フィルタ処理を受けて抑制細胞出力を模倣する信号 V_I となる(時間フィルタの形状は

図 3). 神経細胞モデルにおいては, E と I の空間フィルタ特性は異なっているが, E と I の競走を再現する上では, 空間フィルタを二種類用意する必要はない.

抑制信号における長い時定数の減衰は, システム自身の振動に起因するノイズの影響を減少させることがシミュレーションにより示唆されているため[7], 車両に搭載した際の, 車両振動の影響軽減が期待される.

また, 細胞モデルでは運動方向に関係なく高速で移動する輪郭の影響を加算していくが, 本研究のシステムでは, 運動方向別に加算していくことにより, 視野内の運動をより細かく特徴づける. 輪郭の運動方向は, 側抑制信号の傾きから検出する.

Fig. 2 Visual signal flow diagram for collision-warning.

Fig. 3 Profiles of the temporal filters.

3. システムの構成

3.1 衝突検知視覚センサ

前節の原理を利用した衝突検知システムを, シリコン網膜カメラ (ASPECTUS-U, ニューラルイメージ) を用いて実現した (シリコン網膜の詳細は[8]). 図 4 に示す通り, システムは主にシリコン網膜と FPGA から構成されている. 側抑制に求められる広い平滑化フィルタを, シリコン網膜内の抵抗回路網を活用して実現することにより, 後段のデジタル演算部の負荷を軽減している. これにより計算時間は大幅に短縮され, フレームレートは最大 100 fps まで設定可能である. また消費電力は, 結果記録用の USB 通信機能を含め, 100 fps 動作時で約 1.3 W であり, 通信機能を省くと約 0.9 W 程度と見積もられる.

Fig. 4 Block diagram of the system implemented using FPGA circuits and a silicon retina.

Fig. 5 Robotic vehicle.

3.2 ロボット車両

上記の衝突検知視覚センサを実環境で試験するため, 図 5 に示すロボット車両を開発した. 車体 (DF-03, タミヤ) の上にアクリル製のプラットフォームを築き, その上に, 衝突検知視覚センサ, 制御ボード, 及びこれらに電源を供給するリチウムイオンバッテリー (eneloop mobile booster, 三洋電機) を設置した. 制御ボードは FPGA (XC3C50AN, Xilinx) により, スピードコントローラ, ステアリングモータ, 3 軸加速度センサ (AS-3ACC, 浅草ギ研), および Zigbee 無線通信 (XBee Series 2, MaxStream) の制御を行う. スピードコントローラとステアリングモータは, 衝突検知センサからの信号に加え, 無線からの制御も行えるため, 様々な状況における試験を行うことができる.

4. 実験と結果

開発したロボット車両を障害物 (直径約 10 cm の白い柱状物体) に向かって前進させた際の衝突検知センサの出力を, 図 6 に示す. ここで, 衝突検知センサのフレームレートは 100 fps とした. 物体 (障害物以外の背景物体も含む) が遠方にある場合, その輪郭の移動が低速であるため, システムは大き

な出力を発しない。しかし、障害物が目前（視覚センサの約 40 cm 前方）に迫ったとき、システムは急激に強く応答した。

図 7(a)に、上記と同様の物体を、視覚センサの前方 40 cm を横切らせた際の出力を示す。この場合も、物体が視野の中央を通り過ぎた後、物体接近時と同様に強く応答している。接近物体に対して選択的に応答するためには、こういった横切り等の運動を見分けなくてはならない。今後は、運動方向別の応答（図 7(b)）を活用することにより、視野内の運動の判別を試みる。

Fig. 6 System response to an approaching object.

Fig. 7 System response to a crossing object.

5. まとめ

本研究では、バッタの視覚神経系における効率的な衝突検知に学び、小型で低消費電力な衝突検知視覚センサを実装した。また、ロボット車両を開発し、これに衝突検知視覚セ

ンサを搭載してセンサ出力を検証した。実装したセンサは、車両走行時、衝突の危険のない背景物体に対してはほとんど反応せず、物体が至近距離に迫ったときにのみ強く応答した。しかし、横切り等の接近以外の動作を行う物体に対しても強く応答するため、運動の見分けが必要である。

今後は、加速度センサから得られる車両の運動情報と、視覚センサから得られる周囲の運動情報を組み合わせることにより、高度な視覚制御車両の開発を目指す。

謝 辞

本研究は、財団法人 三井住友海上福祉財団の研究助成を受けて行われたものである。

文 献

- [1] F.C. Rind and P.J. Simmons, "Seeing what is coming: building collision-sensitive neurons," *Trends Neuroscience* 22(5), pp.215-220, May 1999.
- [2] N. Franceschini, "Visual guidance based on optic flow: a biorobotic approach," *J. Physiol. Paris*, vol.98, pp.281-292, 2004.
- [3] R. R. Harrison, "A biologically inspired analog IC for visual collision detection," *IEEE Trans. on Circuits and Systems I*, vol.52, pp.2308-2318, 2005.
- [4] F. C. Rind and D. I. Bramwell, "Neural network based on the input organization of an identified neuron signaling impending collision," *J. Neurophysiol.*, vol.75, pp.967-984, 1996.
- [5] H. Okuno and T. Yagi, "Bio-inspired real-time robot vision for collision avoidance," *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol.20, pp.68-74, 2008.
- [6] H. Okuno and T. Yagi, "A mixed analog-digital vision sensor for detecting objects approaching on a collision course," *Robotics and Autonomous Systems*, in press.
- [7] H. Okuno and T. Yagi, "A visually guided collision warning system with a neuromorphic architecture," *Neural Networks*, vol.21, pp.1431-1438, 2008.
- [8] S. Kameda and T. Yagi, "An analog VLSI chip emulating sustained and transient response channels of the vertebrate retina," *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol.14, pp.1405-1412, 2003.