人工昆虫視覚を用いた後方車両の検出

新島 和孝[†]　太田 直哉[†]　金谷 健一[†]

[†] 群馬大学工学部情報工学科

自動車の運転者の支援を目的として、死角となりやすい左右後方から近付いて来る車両を画像処理を用いて検出する。検出のために用いる基礎的情報は画像の動き (オプティカルフロー) であるが、一般に画像の動きを計算するためのに必要な演算量は多く、それを実行するためには高価な装置を必要とする。これに対し、ここでは昆虫が複眼のような単純なセンサによる情報と、簡単な神経系による処理で十分な情報を得ていることに注目し、荒い解像度の画像情報と簡単な処理により目的を達成することを試みる。実験には通常のカメラと計算機を使用しているが、将来的にはフォトダイオードアレーのような簡単な受光素子と電子回路で装置を実現することを想定している。

キーワード: 車両検出、運転者支援、昆虫の視覚、複眼、一次元オプティカルフロー

Detection of an Approaching Car via Artificial Insect Vision

Kazutaka Niijima[†], Naoya Ohta[†] and Kenichi Kanatani[†]

[†]Department of Computer Science
Gunma University, Kiryu, Gunma 376-8515 Japan

We present an algorithm for a visual system that is able to warn a driver that another vehicle is approaching from the rear. The system detects an approaching car by computing changes in the image over time (optical flow). In particular, it decides that a car is approaching when looming optical flow is detected. However, determining image movement via traditional techniques is known to be computationally demanding, and may require expensive hardware. Accordingly, inspired by insect vision, we construct a simple algorithm that operates upon low resolution images. Although we use a conventional camera and computer in our experiments, emphasis is placed upon a straightforward design that will in future permit the algorithm to be implemented on a simpler imaging device like photo diode arrays and smaller scale electric circuits.

Key words: car detection, car driving support, visual system of insects, compound eyes, one dimensional optical flow.

謝辞: 本研究の一部は文部省科学研究費基盤研究 C (2) (No. 11680377) によった。

[†] 376-8515 桐生市天神町 1–5–1 群馬大学工学部情報工学科, Tel: (0277)30-1842, Fax: (0277)30-1801
Web page: `http://www.ail.cs.gunma-u.ac.jp/`
E-mail: `niijima@ail.cs.gunma-u.ac.jp`, `ohta@cs.gunma-u.ac.jp`, `kanatani@cs.gunma-u.ac.jp`

1　はじめに

近年、自動車を運転するドライバーの支援、さらに進んでは自律的な運転を目的として、コンピュータビジョンの技術により車両の周囲の状況を認識するシステムが開発されている [1]。認識対象は道路や他車両に始まり歩行者、障害物、路面の状態まで様々であるが、ここではドライバーの支援を目的として、死角になりやすい後側方から近付いて来る車両を検出し、ドライバーに警告を与えるシステムについて考察する [2, 3]。

後側方車両の検出装置に限らず、一般に上記のような車載システムは、撮像装置として通常のビデオカメラを想定していることが多い。しかしビデオカメラは本来は人間が見るための画像を得るための装置であり、必ずしも画像処理によって目的の情報を得るために適切であるとは限らない。目的によっては、より簡単な機構の撮像装置が適している場合もあると考えられる。また画像処理自体の設計においても、入力情報として暗黙のうちにビデオカメラによって得られる画像を対象とするため、必要とされる処理量が多くなり、結果的に高価なハードウエアが必要とされる場合が多い。装置の普及まで考慮に入れると、必要最小限のハードウエアで安価にシステムを構成することは重要である。ここで生物のうちで昆虫の視覚系に目を向けると、複眼のような明確な像を結ばない光センサと比較的単純な神経系による処理で、彼らが行動するのに必要十分な情報を得ている [4]。たとえばハエはこのような簡単な視覚系で飛翔に必要な体の安定を得、また着地の時期を判断していることが知られている [5]。このことから、昆虫の視覚系に範を取ることで、単純で安価なハードウエアで目的を達成するヒントが得られる可能性がある。

ここで一般的なコンピュータビジョンの研究テーマについて考えると、人間の持つ高度な視覚機能を目標としていることが多いと思われる [6]。しかし、高度に進化し複雑化した人間の視覚機能を実現することのみがコンピュータビジョンのすべての利用場面に必要なこととは思われない。場合によっては、より単純な昆虫の視覚機能を目標にすることで十分であり、それがかえって有効である場合も多いと考えられる。実際のところ、昆虫の視覚は進化によって最適化された一つのシステムであり、その機能は彼らの生存のために十分に役立っている。そこで、本論文では昆虫の視覚程度の機能と複雑さを持ったコンピュータビジョン装置、人工昆虫視覚 (AIV: Artificial Insect Vision) と言う考え方を提案し、その方針にしたがって後側方車両検出装置を構成する。次に人工昆虫視覚の考え方について述べた後、具体的な後側方車両検出アルゴリズムについて説明する。

2　人工昆虫視覚

図 1に視覚システムの機能のレベルによる分類を示した。 自然界の生物が持つ最も低いレベルの視覚システムは、植物の枝が光の方向に向かって伸びたり、花が日中に開くなどの動作を司る機構であろう。このレベルに対応した人工のシステムは、光の遮断によって物体が通過したことを検出する遮断センサや、暗くなると自動的に電灯を点灯する装置として既に広く実用化されている。一方最も高いレベルのシステムは生物では補乳類の視覚システムであり、一般のコンピュータビジョンの研究はこのレベルの機能の実現を目標にしている。昆虫の視覚は機能の高さと複雑さのレベルで言えばこれらの中間にあり、人工昆虫視覚はこのレベルの人工的な視覚システムに焦点を当てる。

昆虫レベルの視覚を参考にした人工の視覚システムの研究は現在までにいくつか行われて来たが、単に処理が単純であることのみに重点を置いていたり [7]、また逆に昆虫の視覚系を忠実に模倣することを目指したものが多いと思われる [8]。ここでも昆虫の視覚系の参考にでき得る部分は参考にするが、その単なる模倣を目指すのではなく、次のような視点からコンピュータビジョンの装置を見直してみることを提案している。

(a) 低解像度画像の利用

たとえば昆虫が複眼という受光組織を用いていることは、精密な光学系による高い解像度の画像情報を用いなくても、有用な情報を引き出せることを意味している。このことから、必要に応じて低解像度の画像を積極的に利用することを検討する。

(b) ビデオカメラ以外の撮像装置の利用

適切な解像度の画像を得るためには、必ずしも標準的な CCD カメラが優れているとは限らない。場合によっては受容野を適切に制御したフォトダイオードなどの方が、安価に装置を構成できる場合がある。

(c) 光学的画像処理の利用

機能 (複雑さ)	低 ⟸		⟹ 高
自然物	植物の向光	昆虫の視覚	補乳類の視覚
人工物	遮断センサ	人工昆虫視覚	コンピュータビジョン

図 1: 機能のレベルによる視覚システムの分類

一つの受光素子の受容野を適切に設定することによって、それ自身に画像処理の一端を担わせることを検討する。本研究では大きさの異なったガウス分布の受容野を光学的に構成し、受光段階で車両検出に適した信号をつくり出すことを試みている。通常の CCD 素子を利用する場合でも光学情報処理が活用できる場面は多いと考えられる。特に周波数フィルタリングは光学的処理によって簡単に実行できる[9]。

(d) アナログ演算回路の利用

一般的なコンピュータビジョン装置では、通常はデジタル計算機の利用が前提とされるが、受光素子からの信号の和や差、時間遅れ信号の演算を組み合わせて目的とする情報が得られる場合には、簡単なアナログ電子回路により実現する方が有利である場合も多いと考えられる。

以上述べた視点は、これら全ての項目を装置に利用するという意味ではなく、利点がある場合にはその利用を検討するということである。本研究においては、上記 (a), (b), (c) の適用を考えて処理を構成している。

3 後方車両検出処理

後方·側方はドライバーの死角になりやすいため、その方向に存在する車両を検出する手法はいくつか報告されている。文献 [2] ではレーザレーダが用いられているが、視覚のみを用いた例では文献 [3] がある。ここで用いられている基本的な考え方は以下の通りである。自車両が前方に向かって走行している場合、後側方の背景は後方に移動する。しかし、接近しつつある車両がある場合、その部分の画像では前方に向く移動が観測される。したがって、後側方を撮影した画像の移動 (オプティカルフロー) を計算し、前方に向かう移動が検出されれば、その領域に車両が存在すると判断できる。同様の考え方を追い抜き車両の検出に利用した例が文献 [10, 11] に報告されており、オプティカルフローの方向により車両を検出する方法は、簡単でありながら比較的精度の高い結果が得られると考えられる。そこで本研究でもこの考えによる検出アルゴリズムを採用する。しかし本研究では特に、この処理のためには精密なオプティカルフローの情報は必要がないことに着目し、処理の初期の段階から非常に荒い画像情報を使用して処理量を減らす。これには図 2に示すように、車両の後方に向かってガウス分布状の感度を持つ複数のウインドウ $W_x (x = 0, 1, \ldots, n)$ を設定し、各視野内の輝度を一つの画素とした配列状のデータ (輝度データ) を用いる。それ以降の処理はこの輝度データに対して行われる。昆虫の視覚との比較では、このようなガウス窓状の受容野を持つ複眼に例えられる。この配列データを実際に得るために、本来は専用の受光デバイスを作成するべきであるが、ここでは実験のしやすさからまず通常の画像を撮影し、画像上でガウス窓を乗じることにより輝度の配列データを得た。以下、具体的な接近車両検出処理について述べる。

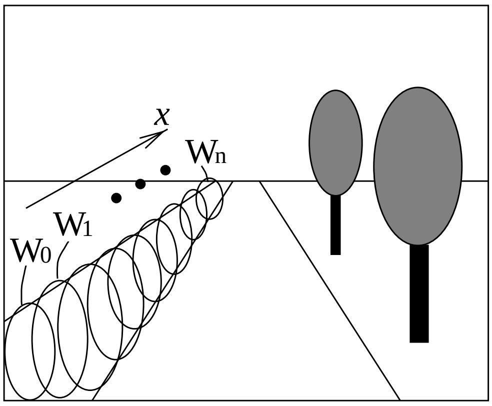


図 2: ガウス窓形状の受容野の設定

— **Step 1** —

車両の後方に向けてカメラを設置して撮影した動画像を入力画像とする。その画像に対し、自車両が直進路を走行しているときに隣のレーンと重なるように、複数のガウスウインドウ W_x を設定する。この様子を図 2に示した。後に述べる実験ではガウスウインドウの間隔は一定とし、大きさ (標準偏差) は隣

のレーンの幅の比率に合わせた。すなわち、道路が平面でレーンの両端が平行である場合に、その両端の消失点でウインドウの大きさ 0 になるようにその大きさを直線的に変化させた。なお図 2では進行方向右側のレーンのみで説明しているが、左側のレーンに対しても同様に設定できる。次に動画像の各フレーム I_t ごとに、各ウインドウ W_x との積和を次式で計算して輝度データ $S_{[t,x]}$ を得る。

$$S_{[t,x]} = \sum_{i,j} W_{x[i,j]} I_{t[i,j]} \tag{1}$$

なお、上式において $W_{x[i,j]}$ は x 番目のウインドウの位置 (i,j) での値、$I_{t[i,j]}$ は動画像の t 番目のフレームの位置 (i,j) の画素値を表す。

— **Step 2** —

輝度データ $S_{[t,x]}$ の空間差分値 $S_{X[t,x]}$ と時間差分値 $S_{T[t,x]}$ を次式によって計算する。

$$S_{X[t,x]} = \frac{S_{[t,x+1]} - S_{[t,x]} + S_{[t+1,x+1]} - S_{[t+1,x]}}{2} \tag{2}$$

$$S_{T[t,x]} = \frac{S_{[t+1,x]} - S_{[t,x]} + S_{[t+1,x+1]} - S_{[t,x+1]}}{2} \tag{3}$$

— **Step 3** —

状態を格納する配列 $Q_{[t,x]}$ を用意し、条件

$$|S_{X[t,x]}| < \theta_1 \tag{4}$$

が成立する部分を状態 A に設定する。ここで θ_1 はしきい値である。次のステップで 1 次元フローを計算するが、上記の条件は空間差分値 S_X が小さく、フローが正確に計算できないことを示している [12]。また、車両が存在すれば空間差分値 S_X が大きくなることが普通なので、状態 A は車両が存在しないと解釈できる。状態 A に設定されなかった部分について、引続き以下の処理を行う。

— **Step 4** —

1 次元フロー $v_{[t,x]}$ を次式で計算する。

$$v_{[t,x]} = -\frac{S_{T[t,x]}}{S_{X[t,x]}} \tag{5}$$

— **Step 5** —

1 次元フロー $v_{[t,x]}$ に対し、条件

$$v_{[t,x]} \geq 0 \tag{6}$$

が成立する部分で $Q_{[t,x]}$ を状態 B に、その他の部分、すなわち

$$v_{[t,x]} < 0 \tag{7}$$

の部分で状態 C に設定する。状態 C は、自車両に向かうフローが検出されたことを意味しており、近付きつつある車両があると判断できる。一方状態 B は自車両から遠ざかるフローが検出された領域で、横断舗道など道路面上のパターンによって生じたフローか、遠ざかる車両によるものと判定できる。車速センサなどから道路面の移動によって生じるであろうフローの大きさが計算できれば、検出されたフローが道路面上のパターンによるものか、あるいは遠ざかる車両によるものかが判定できる。しかしここでは実験を行う上での簡便性と、近付く車両が危険度が高いことを考慮して上記のように近付く車両のみを検出する判定条件を採用した。ここで各状態の意味をまとめると、次のようになる。

状態 A $\Longrightarrow$ 車両なし
状態 B $\Longrightarrow$ 車両がないか、遠ざかる車両あり
状態 C $\Longrightarrow$ 近づく車両あり

— **Step 6** —

状態を格納した配列 $Q_{[t,x]}$ 上で、現在から過去に向かって矩形の領域を設定する。すなわち配列 $Q_{[t,x]}$ を画像として見た場合、時間に関しては現在のフレーム t_0 と一定時間前のフレーム t_1、位置に関してはある点 x_0 と x_1 で囲まれる領域を考える。この領域の中の状態 C の数を数え、その数がしきい値 θ_2 以上の場合、最終的に近付く車両がある判断し、判定結果を出力する。それ以外の場合は近付く車両はないと判断する。状態の配列 $Q_{[t,x]}$ の個々の状態は局所的情報から計算されるため、上記の処理で個々の状態を統合して安定な判断を行う。

以上で後側方車両検出のアルゴリズムを述べた。次に実験について述べる。

4 実験

実験に用いた画像を図 3に示す。この動画像は大きさ 640 ×480 画素で、298 フレームからなるが、図にはそのうちの第 1, 30, 60, 100, 140, 170, 200, 230 フレームを示した。画像上の楕円はガウスウインドウの 1σ 範囲 (σ は標準偏差) を示しており、ウインドウの総数は 50 である。ウインドウは縦長で、長軸と短軸の比は 0.2 に設定した。処理結果を示したのが図 4である。この図の上から (a) 輝度データ $S_{[t,x]}$、(b) 空間差分値 $S_{X[t,x]}$、(c) 時間差分値 $S_{T[t,x]}$、(d) 1 次元フロー $v_{[t,x]}$、(e) 状態 $Q_{[t,x]}$、(f) 車両の検出結果

であり、(a) 輝度データから (d)1次元フローまではその値を濃淡表示したものである。これらの図の軸は、横軸右向きに時刻 (フレーム)t、縦軸下向きに位置 x であり、各画像の下に描かれている目盛りは10フレーム間隔である。なお (d) 一次元フロー $v_{[t,x]}$ は、確認のためアルゴリズムの **Step 3** で状態Aと判定された部分でも計算した結果を示している。また (e) 状態 $Q_{[t,x]}$ の図では灰色が状態A、白が状態B、黒が状態Cを表している。アルゴリズムの **Step 3** および **Step 6** で用いられるしきい値 θ_1 および θ_2 は、それぞれ0.5および110に設定した。また **Step 6** で判定に用いる矩形領域は時間方向には15フレームの大きさとした。空間方向については $x_0 = 0$、$x_1 = 49$ とし、データ全体を用いた。図の (f) 車両の検出結果は白い部分が近付く車両の存在を検出したことを表している。

この画像シーケンスには接近する車両が2台撮影されているが、図4の (f) から、それらが正しく検出されていることが分かる。一台目の車両の接近が検出されているフレームは23 ~ 109、二台目は170 ~ 231である。原画像と照らし合わせて見ると、10フレーム程度の遅れは感じられる。これは判定に過去のフレームのデータをも使用しているからであるが、この遅れは時間的には30msほどであり、ドライバーに対する警告として大きな問題ではないと考えられる。

ここで示した結果の他、ガウス窓の数や大きさ、縦横比などを変えていくつか実験を行った。これらのパラメータの変化に対し、検出結果は大きくは変化しなかったが、その中でも最も安定した結果得られると思われたのがここで使用したパラメータである。また異なったシーンについてもいくつかの実験を行い、同様な検出結果が得られることを確認した。この中には緩やかなカーブのシーンが含まれていたが、この場合にも直線路と同様に車両が検出できた。しかし、交差点のような鋭角のカーブの場合には正しく検出できないことも予想される。

5　まとめ

本論文では昆虫の視覚を参考にした人工的な視覚システムの提案を行い、この考え方に基づいて後側方車両を検出する手法を示した。実験により提案手法が有効であることを確認した。

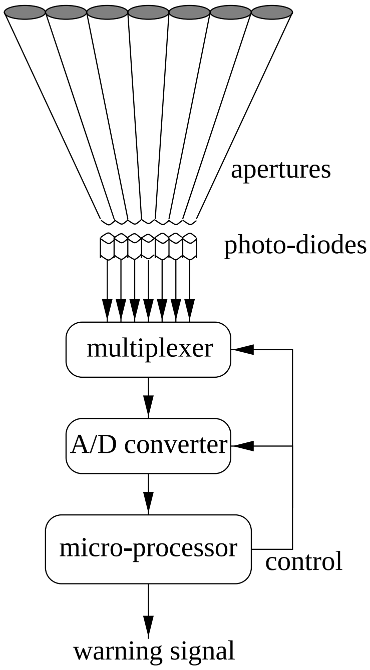
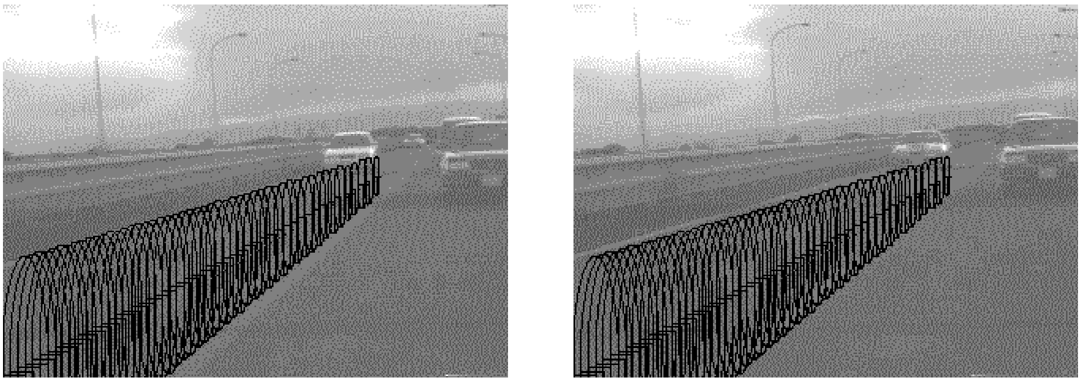


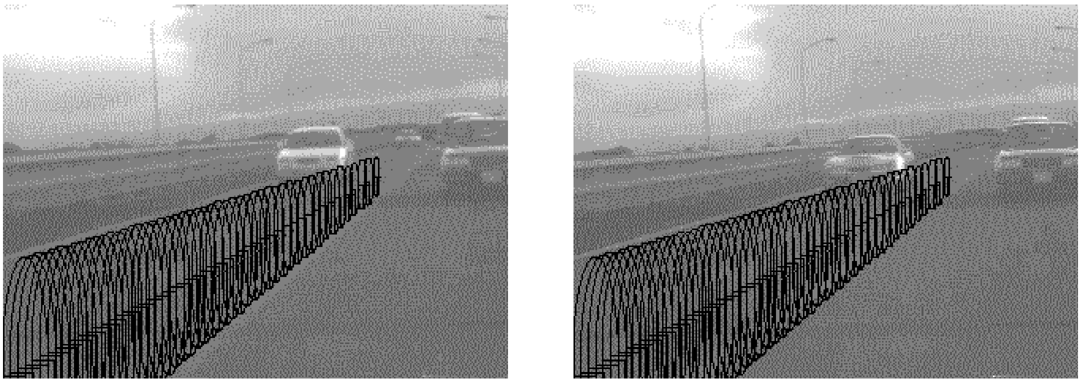
図5: 提案手法が想定するハードウエア

これからの課題として第一に挙げるべきことは、道路状況による動作の変化を検証することである。ここでのウインドウ設定は自車は、直線路を走行中で、隣にも走行レーンがあることを想定している。しかし一般にはウインドウの部分が道路でなく、ガードレールや建物などの物体の場合もある。また自車の走行パターンに関しても直進ばかりではない。したがって、ウインドウ内の物体の位置と自車の運動に対してどのようなフローが生じるかを理論的に導くと共に、実験によって検出性能を検証することが必要である。なお、これに関連する問題に対する多少理論的な解析が文献[11]でなされている。また、天候や時刻 (昼夜) の変化による安定性の検証も重要である。

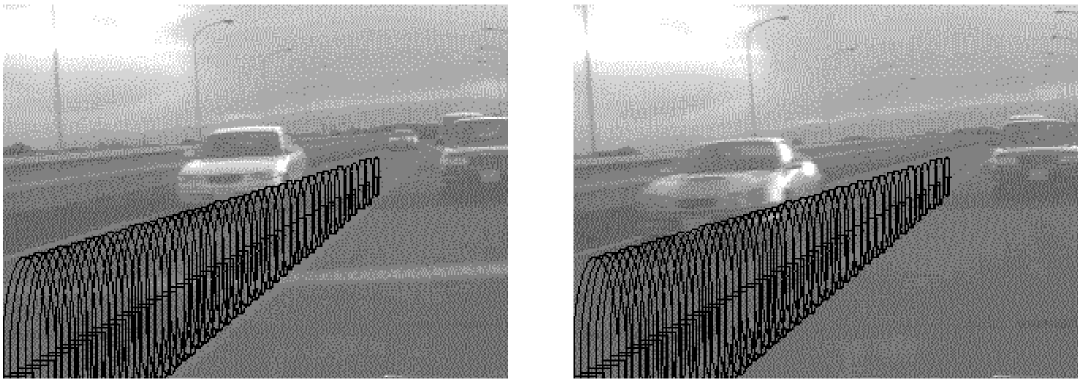
もう一つの課題は、ここで述べたアルゴリズムを実装するハードウエアを実際に作成してみることである。現段階で考えているハードウエアのラフスケッチを図5に示した。受光素子にはフォトダイオードを利用し、レンズは用いずに筒状のアパーチャによって視野を制御する。各フォトダイオードの出力はアナログマルチプレクサによって切り替えられ、A/Dコンバータに入力される。デジタル化された信号はマイクロプロセッサに入力され、アルゴリズムの **Step 2** 以降の処理が行われる。このマイクロプロセッサ



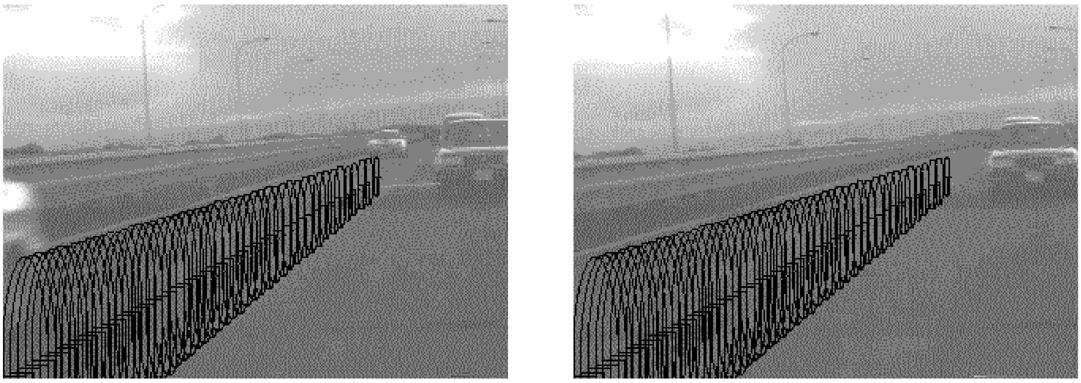
frame 1 frame 140



frame 30 frame 170

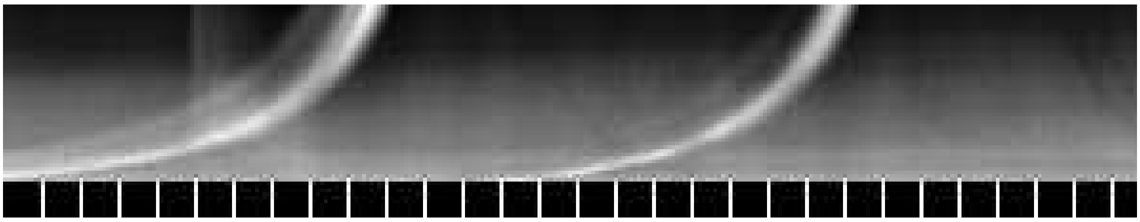


frame 60 frame 200

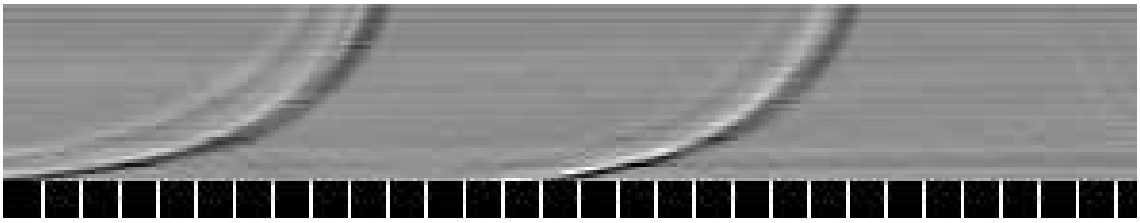


frame 100 frame 230

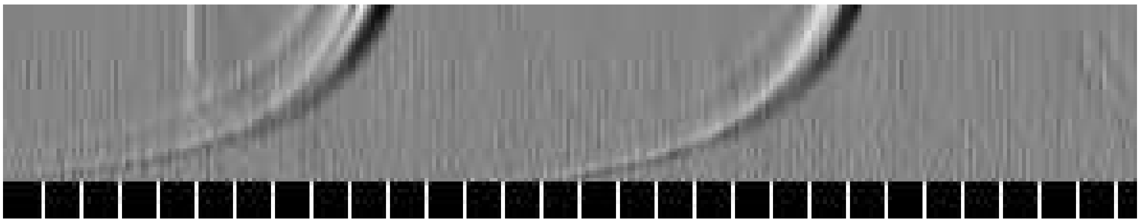
図 3: 実験に用いた動画像



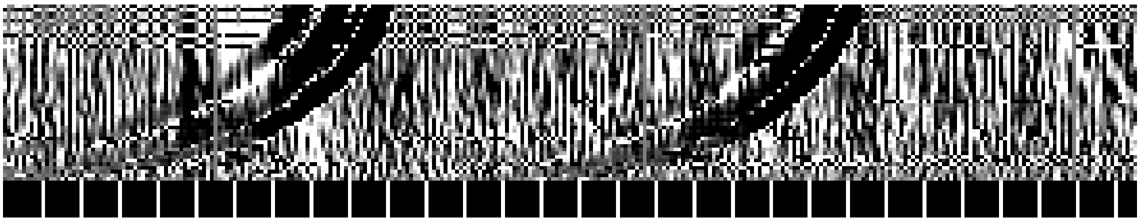
(a) 輝度データ $S_{[t,x]}$



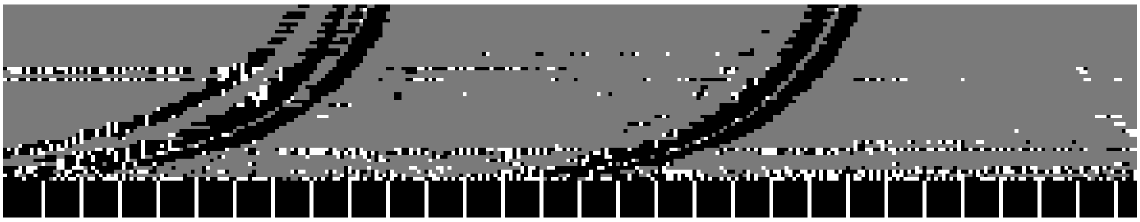
(b) 空間差分値 $S_{X[t,x]}$



(c) 時間差分値 $S_{T[t,x]}$



(d)1 次元フロー $v_{[t,x]}$



(e) 状態 $Q_{[t,x]}$ (灰色:状態 A、白:状態 B、黒:状態 C)

(f) 車両の検出結果 (白:接近車両あり、黒:接近車両無し)

図 4: 画像の処理結果

は電卓程度の能力があれば十分なため、たとえば家庭電化製品などにコントローラとして組み込む用途のものが適当と考えている。

参考文献

[1] 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, “次世代道路交通システムにおけるパターン認識・メディア理解,” 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU97-6 ~ 12, PRMU97-25 ~ 36, 1997-5, PRMU98-92 ~ 105, 1998-10.

[2] 辻正文, 山田勝規, 是石純, “後側方領域の障害物警報システム,” 電子情報通信学会技術研究報告, PRU97-29, pp.33–38, 1997-5.

[3] 藤岡浩 他, “オプティカルフローによる車両後側方の監視,” 1994年電子情報通信学会春季大会講演論文集, D-629, p.7-365, 1994-3.

[4] 立田栄光, 三村珪一, 冨永佳也, 小原嘉明, “昆虫の神経生物学,” 培風館, 1979.

[5] W. Bialek, M. Potters, D. Ruderman and R. R. de Ruyter van Steveninck, “Visual Computation: A Fly’s Eye View,” Proc. of the 4th NEC Research Symposium, pp.7–22, 1993-5.

[6] 松山隆司, 久野義徳, 井宮淳 編, “コンピュータビジョン: 技術評論と将来展望,” 新技術コミュニケーションズ, 1998.

[7] 森英雄, “サインパターンとは何か —定型行動型自律移動ロボット—,” 日本ロボット学会台3回ロボットシンポジウム, pp.115–120, 1993-5.

[8] 森井洋, 末松啓吾, 星野一憲, F. Nura, 下山勲, 三浦弘文, “複眼センサを用いた並列画像処理,” 日本機会学会 [No.98-4] ロボティクス・メカトロニクス講演会’98 講演論文集, 1BIII2-3, 1998-6.

[9] 辻内順平, “光学的画像処理,” 計測と制御, Vol.13, No.1, pp.77–89, 1974-1.

[10] 大中慎一, 太田直哉, “移動情報にもとづく移動車両の検出,” 情報処理学会第47回全国大会, 6L-5, pp.2-175–2-176, 1993-10.

[11] 太田直哉, 大中慎一, 亀井俊男, 土屋徹雄, 溝口正典, “3次元環境モデルを持った自律走行視覚システム,” 電子情報通信学会技術研究報告, PRU94-26, pp.57–64, 1994-9.

[12] 太田直哉, 齋藤佳明, “オプティカルフローの再検出による高精度な形状復元,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D-II, No.6, pp.1123–1131, 1998-6.