

可変テンプレート画像による 車両前方のオプティカルフローの検出

池ヶ谷 直樹 佐治 斉
静岡大学大学院情報学研究科

概要 動画像中におけるオプティカルフローの検出は、コンピュータビジョンにおける種々の研究において重要な課題となっている。このフロー検出精度は、フレーム画像中に輝度変化の少ない箇所があるときには、著しく低下する。本研究では、車両前方を撮影して得られる動画像を用いてオプティカルフローを検出する新たな方法を提案する。ここでは、アルゴリズムが比較的簡単で直感的に理解しやすいブロックマッチング法を使用し、フロー検出ブロックのサイズを可変にすることで検出精度を向上させる。また、SUSAN オペレータを用いてフレーム画像内の特徴領域を求め、誤りの生じやすいブロックにおけるフロー検出を放棄する。提案手法の有効性については、実験により検証する。

Extraction of Optical Flow in Front of a Vehicle by Using Variable Size Template Images

Naoki Ikegaya Hitoshi Saji
Graduate School of Information, Shizuoka University

Abstract It is important in computer vision to extract optical flow from sequential images. However, on the regions where the pixel intensities are almost the same, we cannot obtain optical flow accurately. In this paper, we propose a new method of extracting optical flow from sequential images taken by a video camera on a moving vehicle. We use the variable size block matching for accurate extraction of optical flow. In addition, we avoid extracting erroneous flow by using Susan filter. We evaluate the efficacy of our approaches by several experiments.

1 はじめに

現在、自動車は我々が生活していく上で欠かせない移動手段のひとつとなっている。しかし、便利さと豊かさを与えてくれる自動車は、同時に交通事故や環境問題などといった新たな問題を生み出している。特に、交通事故は年々深刻になってきており、我々にとって大きな課題となっている。

このことから、自動車を取り巻く安全性の向上は非常に重要である。しかし、自動車自体を運転するのが人間である以上、すべての人が常に自車の周囲の状況を正確に把握することは困難である。そのため、事故を未然に防ぐために、自動車側で周囲の状況を把握しドライバをサポートしてくれるようなシステムが必要とされている。この車両周囲の情報を把握するための一つの方法として、動画像を用いた情報解析が考えられる。

本研究では、動き解析のために重要なオプティカルフローの抽出方法として、アルゴリズムが比較的

簡単で直感的に理解しやすいブロックマッチング法を活用する。そして、車両前方画像中に求められるオプティカルフローから正しいフローだけを分離して検出することで、車両前方における移動物体の動きの抽出に供する方法を提案する [1]。以下、2章において本研究でフローを検出するための各手法を、3章と4章でフローを検出した実験結果を、5章でまとめと今後の課題についてそれぞれ述べる。

2 オプティカルフロー検出手順

ここでは、本研究でフローを検出するにあたって用いた手法について順に述べる。2.1節で処理概要を、以降では具体的な処理内容について詳しく解説する。

2.1 処理概要

本研究では、ブロックマッチング法を用いて画像上各点におけるオプティカルフローを求める。このフローを各ブロック独立に求めた場合、画像上同じパターンが連続するような箇所においては正しく結果を求めることが困難となる。これに対しては、ブロックの大きさを可変にすることや、画像上で特徴的な領域（コーナーやエッジ）をあらかじめ検出し、その領域内のみのフローを求めるといった拘束条件を用いることで対処する。図1に本研究におけるフロー検出の手順を示す。

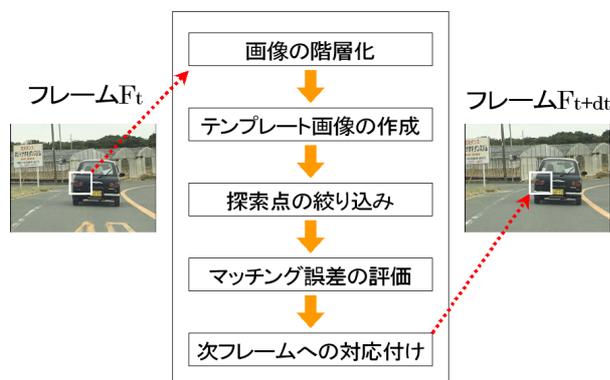


図 1: 処理概要

2.2 画像の階層化

ブロックマッチング法では、フレーム間での予測誤差が最も小さい場所を検出位置とするため、誤ったフローが検出される頻度が高く、物体の本来の動きに即した動き量の検出を完全に正しく行えないことが問題となっている。また、処理時間に関しても膨大な処理量を要するため、検出精度を劣化させることなく処理量を削減する必要がある。

一般に、フローを検出する際、テンプレート画像をどの程度の範囲内で探索するかによって、処理量は大きく変わってくる。探索範囲が狭ければ、処理量は少なく済むが被写体の動きが速い場合はフローの検出が困難になる。反対に探索範囲が広ければ、正しくフローが検出できる可能性は高まるが、処理量は増大する。

そこで本研究では、図2に示されるような、近傍4画素の輝度値の平均値を計算して得られる4分木階層画像を用い、各階層でのマッチング画素数を一定に保つことで検出ブロックを段階的に細分化

し、処理量を増加させることなくフローの検出を行う [2, 3]。

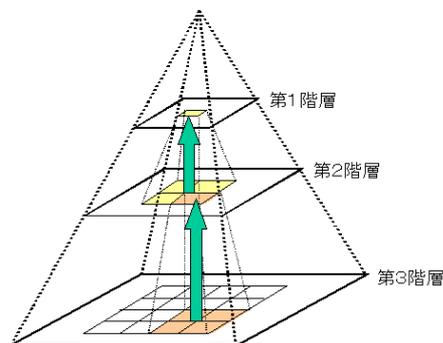


図 2: 画像の階層化 (3階層)

2.3 可変テンプレート画像の作成

ブロックマッチング法では、フレーム画像をいくつかのブロックに分割し、ブロック単位で動き量を検出する。このとき、画像を同じ大きさの格子状のブロックに分割した場合、処理自体は簡潔になるが、特徴的なパターンが存在しないブロックでは、検出結果に誤りが生じやすい。そのため、本研究では次のような方法でブロックを分割していき、テンプレート画像の大きさを可変にする方法を提案する。

最初に画像全体を一つの矩形領域と見なし、分割を進めていく。ある時点において、領域内の各画素の輝度値が同じような値である場合に、無理に領域を分けると誤ったフローが求められる可能性が高くなる。そこで、矩形領域内で輝度値の最大値と最小値の差がある閾値以上のときのみ4等分割する。そして、最終的に分割された各領域をテンプレート画像としてマッチング処理を行う。

これにより、特徴的なパターンが少ない箇所では、テンプレート画像の面積を大きく設定することができ、その結果検出誤りを低減できると考えられる。また、適応的にテンプレート画像の大きさを変えるため、等間隔にブロックを分割した場合よりもマッチングを行うテンプレート画像の数を効率よく減らすことができる。

ここで作成した可変テンプレート画像を使い、上位階層から順次マッチングを行っていく。このとき、ある階層での検出結果を下位の階層に伝播する方法については、後ほど説明する。

2.4 探索点の絞り込み

フロー検出時、フレーム画像間において対応の取りやすい箇所は、テンプレート画像内に輝度変化の激しい特徴点が多くなる可能性が高い。そこで画像上で特徴的な領域(コーナーとエッジ)を検出し、各ブロックにおいてその領域内に占める特徴量の割合が少ないフローは削除することとする。なお、ここでの特徴検出オペレータとして、SUSAN オペレータを用いる [4]。

SUSAN オペレータは、円形のマスクを用い、中心の画素値と近い値をもつマスク内の画素の数をかぞえるものである。SUSAN オペレータは、加重平均による平滑化が不要なため、検出位置がずれることはない。式としては以下のように表される。

$$N(r_0) = \sum \{1 - \delta(|F(r) - F(r_0)|) - h\}$$

$$r \subset M, \quad \delta(x) = \begin{cases} 1(x > 0) \\ 0(x \leq 0) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 F はフレーム、 r はフレーム上の点の座標、 r_0 はマスクの中心座標、 M はマスクの範囲、 h は閾値を示す。

2.5 マッチングと誤差評価

本研究におけるブロックマッチングでは、画素値間の残差を計算し、マッチングの評価値として活用する。すなわち、時刻 t におけるフレーム F_t 上のテンプレート画像 B を、時刻 $t+dt$ におけるフレーム F_{t+dt} 上に重ね、画素値の差分の総和値 D が最小になる位置 $(x+m, y+n)$ を、マッチング位置として求めるものである (式 2)。

$$D = \sum \sum_{m, n \in B} |F_{t+dt}[y+n][x+m] - F_t[n][m]| \quad (2)$$

2.6 フロー伝播方法

上位階層で求めたフローを下位階層に伝播する方法について述べる。

4 分木階層画像の最上位階層から最下位階層に向けて、各階層ごとに動き量を検出する。第 h 階層におけるマッチング位置の探索は、階層画像の解像度が縦横ともに 2 倍ずつ大きくなっていることを考慮し、一つ上の第 $h-1$ 階層での検出結果 $2V_{h-1}$ を初

期変位として行う。つまり、マッチング評価関数を式 (2) に代わり式 (3) で定義して、 D' を最小とする V_h' を探索し、検出する。

$$D' = \sum \sum_{m, n \in B} |F_{t+dt}[v_h' + 2v_{h-1} + n][u_h' + 2u_{h-1} + m] - F_t[n][m]| \quad (3)$$

ここで、初期変位点: $2V_{h-1} = (2u_{h-1}, 2v_{h-1})$ 、探索点: $V_h' = (u_h', v_h')$ である。またこのとき、階層 h での検出動き量 V_h は下記の式で表される。

$$V_h = V_h' + 2V_{h-1} \quad (4)$$

このようにして、上位階層において比較的大まかな動きを求め、下位階層では上位階層での結果をもとに、さらに詳細な動きを検出していくことができる。

3 実験

3.1 実験環境及び条件

自動車に汎用のビデオカメラを搭載し、車両前方を撮影して得られた画像を用いて実験を行った。ビデオフレームは、1/30 秒間隔で撮影され、各フレームは 640×480 画素で、各画素とも 8 ビットのフルカラー画像である。また、実験で使用した PC は、CPU が Pentium4 2.80GHz、メモリは 512MB である。

撮影した動画画像から、直進 (例 1) と右にカーブを切っている (例 2) 2 つのシーンから、それぞれ 5 フレーム間隔でフレーム画像を抜き出し、オプティカルフローの検出を試みた。なお、表 1 にフロー検出時に用いた各種条件を示す。

表 1: 実験条件

ブロック分割	最大 4 段階
階層数	3 階層推定
テンプレートサイズ	ブロック分割の結果に依存
テンプレートの探索	テンプレートの中心を基準とした 7×7 の範囲

3.2 実験結果

本研究におけるフロー検出結果を次に示す。

図3及び図4は、画像をブロックに分割した結果である。ここで黒枠で囲まれた各ブロックをテンプレート画像とみなし、上位階層からフローの検出を行っていく。そのようにしてフローを検出した結果が、図5から図10である。解像度の低い第1階層で求めたフローを第2階層、第3階層で適宜修正しながら最終的なフローを検出している。

図5から図10では、全てのフローを検出したが、この中には実際の動きとは異なるフロー、すなわち誤ったフローが含まれている。そこでSUSANオペレータによる絞り込みを行う。SUSANオペレータによる特徴点検出結果が図11及び図12である。ここで画像中の白い部分が特徴量の多い部分を示している。図3、4で作成した各テンプレート画像内に、この特徴領域の占める面積が多い(テンプレート領域の10%以上)場合にのみフローを検出した。最終的にフローを絞り込んだ結果を図13、14に示す。

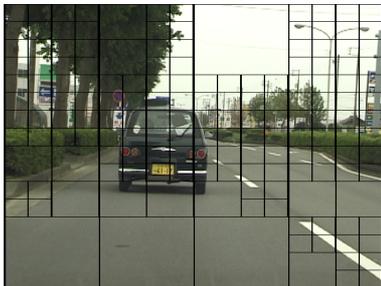


図 3: 例 1 のブロック分割画像



図 4: 例 2 のブロック分割画像



図 5: 例 1 のフロー検出結果 (第 1 階層)



図 6: 例 1 のフロー検出結果 (第 2 階層)



図 7: 例 1 のフロー検出結果 (第 3 階層)



図 8: 例 2 のフロー検出結果 (第 1 階層)



図 9: 例 2 のフロー検出結果 (第 2 階層)



図 10: 例 2 のフロー検出結果 (第 3 階層)



図 11: 例 1 の特徴点画像



図 12: 例 2 の特徴点画像



図 13: 図 7 に対し SUSAN オペレータを用いてフローを絞り込んだ結果



図 14: 図 10 に対し SUSAN オペレータを用いてフローを絞り込んだ結果

表 2: 実験結果

	SUSAN 無し		SUSAN 有り	
	検出数	誤検出数	検出数	誤検出数
例 1	163	38	118	14
例 2	193	49	143	26

4 実験結果の評価

フローの検出結果を表 2 に示す。

表 2 より、SUSAN オペレータを使用することによって、検出数に対する誤検出数の割合が 10%前後改善されているのがわかる。SUSAN オペレータを使用しなかったときに誤検出されたフローのうち、SUSAN オペレータを使用することによって取り除かれたフローが、実験例 1 で 23 個、実験例 2 で 21 個にのぼった。これは誤検出のうち、テンプレート内の明るさの変化が少ない箇所のフローがどちらの例でも半数近くを占めたことに起因するものであり、それらが SUSAN オペレータによって確実に除去することができたことを示している。

また、画像の中心部よりも周辺部の方が検出誤りが多い。今回使用した画像では、中心部よりも周辺部の方が、路面や空など検出誤りが発生しやすい条件がそろっていることも理由の一つだが、もう一つの理由として、画像上の消滅領域の存在が考えられる。これは、対応付けたいテンプレートの領域が、次フレームで部分的に、もしくは完全に消えてしまうことにより、検出精度に悪影響を及ぼすものである。

この問題に対しては、今村らによる外挿予測を用いた方法 [5] などの解決策が提案されている。しかし、すべてのブロックに対して正確な動きの検出を要求されるような場合でないのであれば、画像の周辺部数画素～数十画素をフロー検出の対象外とすることも考えられる。どちらにせよ、対象となる動画像や検出フローの利用方法に応じて処理すべきである。

5 おわりに

本研究では、アルゴリズムが比較的簡単で直感的に理解しやすいブロックマッチング法を活用し、車両前方動画からのオプティカルフローの検出を行った。ブロックのマッチング位置の検出精度を上げるため、可変テンプレートと SUSAN オペレータを用

いて、フローの検出領域の大きさと検出位置を限定し、正しいフローをより多く分離して検出することができた。

今後の課題として、以下のことを検討している。

・過去のフレームにおける履歴の活用

過去に求められたフローから次フレームのフローを予測することで検索範囲を狭めて検出精度を向上させる。2枚のフレーム画像のみによる正確なフローの検出には限界がある。雑音や照明変化によりフローの検出精度に悪影響が出る可能性が高いからである。今回のような車両前方を撮影した画像を用いた場合、フローを検出するフレーム間隔が十分に短ければ、前フレームでのフロー検出結果は現フレームでのそれと非常に類似している可能性が高い。そのため、前フレームにおけるフロー検出結果を利用することで、その次のフレームにおける結果をある程度予測することができる。

・照明変化への対応

一様な照明変化（トンネルや建物影など）と局所的な照明変化（ブレーキ灯、ヘッドライト、街灯など）が発生しても、正確なフローを検出する方法を検討する。一様な照明変化の場合は、画像全体の明度が同じように変化するため、輝度変化値の平均値を各画素から差し引くことによって対応することができるものと考えられる。一方、一部の箇所だけが明度変化を起こすような局所的な照明変化では、この方法は使えない。そのため、エッジなど明度変化に影響しない情報を用いて対応する必要がある。

・移動物体の検出

フローの検出が正しく行えたと仮定すると、次のステップとして先行車両や歩行者などといった移動物体の検出が考えられる [6, 7, 8]。フローを使って移動物体を検出する方法として、消失点を使った方法が挙げられる。これは、複数のフローの延長線は消失点 (Focus Of Expansion: F.O.E) と呼ばれるある一点に収束するという考え方を利用したものである。このとき、移動物体領域の消失点と背景領域の消失点とは異なることから、移動物体と背景等の静止物体を分離させることができる。

消失点を使った移動物体の検出では、武田らによる推定残差を用いた移動物体の検出 [9] などの研究

が行われている。一般に、観測側が並進運動のみを行っている場合のフローベクトルは、消失点を中心とした放射状の直線上にのる。しかし、カメラの動きなどにより回転運動が発生した場合は、求めたフローベクトルから回転運動によって生じた動きを取り除き、対象物体の真の動きを導出する必要がある。

参考文献

- [1] 池ヶ谷直樹, 佐治斉. オプティカルフローの分離による車両前方の移動物体の検出. 情報学ワークショップ 2003 論文集, pp. 295–298, 2003.
- [2] 富永英義, 小松尚久, 宮下壮史, 花村剛. 階層画素情報を用いた動画像における動き量検出方式. 信学論, Vol. J72-D-II, No. 3, pp. 395–403, 1989.
- [3] 佐藤誠, 佐々木宏. 動画像における動きベクトルの階層的推定法. 信学論, Vol. J69-D, No. 5, pp. 771–776, 1986.
- [4] S.M.Steve and M.Brady. Susan-a new approach to low level image processing. *International Journal of Computer Vision*, Vol. 23, No. 1, pp. 45–78, 1997.
- [5] 今村弘樹, 剣持雪子, 小谷一孔. 外挿予測を用いた遮へい・発生領域におけるオプティカルフロー推定. 信学論, Vol. J84-D-II, No. 8, pp. 1636–1644, 2001.
- [6] 太田直哉. 信頼性情報をもったオプティカルフローからの形状復元とその移動物体検出への応用. 信学論, Vol. J76-D-II, No. 8, pp. 1562–1571, 1993.
- [7] 加藤禎篤, 佐々木一幸, 中島真一. エネルギー汎関数を用いた対応点探索による車両前方環視. 信学技報, ITS2000-63, pp. 43–48, 1993.
- [8] 小野口一則, 武田信之, 渡辺睦. ステレオ画像の平面投影による移動障害物位置検出. 信学論, Vol. J81-D-II, No. 8, pp. 1895–1903, 1998.
- [9] 武田信之, 渡辺睦, 小野口一則. 消失点推定残差法を用いた移動観測系からの移動体検出. 第 51 回情処全大, pp. 241–242, 1995.