JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	カラー画像シーケンス中の動物体の色情報とその信頼性に基づく照明条件変化にロバストな速度ベクトル推定法
Author(s)	鈴木,英樹; 小谷,一孔
Citation	情報処理学会研究報告 : オーディオビジュアル複合情報処理, 2003(125): 23-28
Issue Date	2003-12
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/3283
Rights	社団法人 情報処理学会, 鈴木英樹／小谷一孔, 情報処理学会研究報告 : オーディオビジュアル複合情報処理, 2003(125), 2003, 23-28. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は（社）情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

社団法人 情報処理学会 研究報告
IPSJ SIG Technical Report

2003－ＡＶＭ－43 （５）
2003／12／18

カラー画像シーケンス中の動物体の色情報とその信頼性に基づく照明条件変化にロバストな速度ベクトル推定法

鈴木 英樹† 小谷 一孔†

† 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
〒923-1292 石川県能美郡辰口町旭台 1-1
E-mail: †{hideki-s,ikko}@jaist.ac.jp

アブストラクト カラー動画像中に存在する動物体の速度ベクトル推定において，照明条件の変化によって生ずる速度ベクトル推定誤差の増加を低減するために，物体の色成分に着目した速度ベクトル推定手法について検討した．

特に，色成分の量子化誤差から生ずる推定精度への影響を解析して，明度・色度情報の信頼度を定義し，速度ベクトル推定における拘束方程式に導入して従来手法よりも推定誤差の小さい速度ベクトル推定手法を検討した．

Estimation of the velocity vector using reliability function based on quantization error of color components for moving objects in image frame sequences

Hideki SUZUKI† and Kazunori KOTANI†

† School of Information Science , Japan Advanced Institute of Science and Technology
1-1 Asahidai, Tatsunokuchi-machi, Nomi-gun, Ishikawa-ken, 923-1292 Japan
E-mail: †{hideki-s,ikko}@jaist.ac.jp

Abstract This paper describes an estimation method of velocity vector by using color components of moving objects in the image sequences for reducing estimation errors of velocity vector caused by a lighting condition. This method can estimate the velocity vector with high accuracy compare with conventional method by using the reliability of color components (luminance and chrominance) of moving objects based on results of analyzing a relationship between quantizing error of digital color image and the accuracy of estimation.

1. はじめに

ロボットビジョンの中心的なテーマの一つに，動画像中に存在する物体を認識・追跡する手法の研究がある．その研究の中で，画像中の画素値の変化に着目した手法であるオプティカルフロー推定法は，解析におけるモデル構築の柔軟性と速度ベクトルの推定精度の良さから多くの研究がなされている．

従来，画像の輝度値の変化から速度ベクトルを推定するオプティカルフロー推定手法にはグレイスケールの画像が用いられてきた．しかし近年，カラー画像を用いた色情報を考慮した速度ベクトル推定法の研究が活発化している [1]-[5].

従来の輝度勾配を用いたオプティカルフロー推定法では，速度ベクトルを推定するために拘束方程式以外の拘束条件を一つ以上付加する必要があった．これに対して，P.Golland ら [5] が提案したイメージフロー推定法は，明度成分を除外した二つの色度成分から速度ベクトルを求めることで，1 画素上で二つ以上の色度勾配が得られるために拘束条件を増やす必要がなく，1 画素で速度ベクトルを決定できる長所を持つ上，理想状態においては照明変化の影響が小さくかつ高精度のフローベクトル推定が期待できる．

しかし，実際にフローベクトルをコンピュータ上で計算する場合には，離散的に色値を扱うことから量子化間隔の問題や，色成分の誤差の影響を受けやすい問題が発生する．

本稿では，これらの問題を離散的な色値から発生する問題と解釈し，その問題点を解析しながら，改善策を検討する．

2. 速度ベクトル推定手法

2.1 オプティカルフロー拘束方程式 [6]

まず始めに，本手法の速度ベクトル推定の基本となる勾配法 [6] の説明をする．ある時刻 t の画像座標 (x,y) 点の濃淡値 $I(x,y,t)$ が，ある微少時間後 $t+\delta t$ に座標 $(x+\delta x, y+\delta y)$ へ，その濃淡値を一定に保ったまま滑らかに移動したとすると，オプティカルフロー拘束方程式は以下の式で与えられる [6].

$$\frac{\partial I}{\partial x}u + \frac{\partial I}{\partial y}v + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \tag{1}$$

ここで u,v は，それぞれ画像座標 (x,y) におけるオプティカルフローベクトルの x,y 成分とする．このようにオプティカルフローは二つの変数が含まれるのでその他の拘束を設けて u,v を一意に導き出すように工夫しなければならない．

2.2 イメージフロー推定法 [5]

次に，照明変化に対してロバストなフロー推定を行なうために，式 (1) のオプティカルフロー拘束方程式の輝度勾配を，明度を除いた色情報，色相 H と彩度 S を用いた濃度勾配へと拡張する．これらの色成分は独立性が高いと期待できるため拘束方程式が分離でき，式 (2)，(3) のように導き出される．

$$\frac{\partial H}{\partial x}u + \frac{\partial H}{\partial y}v + \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial S}{\partial x}u + \frac{\partial S}{\partial y}v + \frac{\partial S}{\partial t} = 0 \tag{3}$$

理想的な条件下ではこれらの拘束方程式から動きベクトルである u,v が一意に決定できる．

2.3 フロー推定に用いる色空間モデル

色空間上での各色成分の独立性は，各色成分から個別に求まるオプティカルフロー拘束方程式の独立性に影響を与える．それゆえに使用する色空間は各色成分の相関関係が低い（独立性が高い）ものが望まれる．これには Lab,Luv 等の均等色空間が使用候補に挙げられるが，本稿では色相・彩度・明度と各成分の独立性が入力画像である RGB より高く，また RGB から簡易に変換できる利点から，HLS 色空間 [7] を用いる．HLS の色立体を図 1 に示す．

2.4 イメージフロー推定法の問題点

オプティカルフローが式 (1) を満たす見かけ上の物体の動きと定義されているのと同様に，イメージフローも式 (2)，(3) を満たす見かけ上の動きの定義だと見なせば，これら見かけ上の動きと実際の物体の動きとを比較して精度を評価することはなじまない．

しかしながら，本稿ではこれらのフロー推定手法を基礎として実際の動きであるフローベクトル（これを速度ベクトルと呼ぶこととする）を精度良く推定することを目標とするため，推定されたイメージフローと速度ベクトルとの誤差について原因の解析と改善方法を議論する．

イメージフロー推定法は，理想条件の下では照明変化に依存しない高精度な速度ベクトル推定が期待できる．しかし実際にコンピュータを用いて速度ベクトルを推定する場合には，量子化誤差に起因する問題が発生する．本節ではその問題について詳述する．

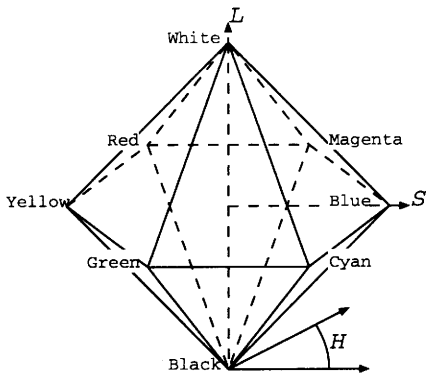

図 1 HLS の色立体 [8]

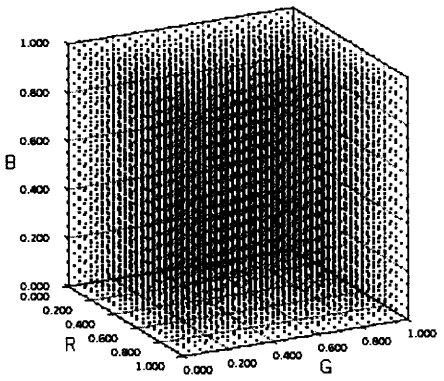

図 2 RGB の色立体

まず始めに，各 RGB 成分を 21 階調に離散化した RGB の色立体を図 2 に示す．次にこの値を使って RGB から HLS 空間へと写像した HLS 色立体を図 3 に示す．ここで図 3 に示されるように，離散的な HLS 系の色立体では明度成分 L の値によって彩度 S や色相 H 方向の色値の間隔は広がってしまう．また彩度の値によっても色相の色値の間隔は広がってしまう．この間隔は離散的色値を用いる事により生ずる量子化間隔であり，この数値を用いて計算する速度ベクトルの精度に影響を与える．

ここで HLS における色相と彩度の階調数 c_S，c_H をそれぞれ式 (4)，(5) に示す．

$$c_S = (1 - |2L - 1|) \times \frac{c_{max}}{2} \tag{4}$$

$$c_H = 6 \times S \times (1 - |2L - 1|) \times c_{max} \tag{5}$$

なお，L は明度，c_{max} は画素に用いている RGB 各成分の階調数，S は彩度を表す．

これらの式から，色相は無彩色に近づく程にその内包する階調数が減少し，量子化間隔が広がることが分かる．また彩度の階調数は明度の値が絶対白か絶対黒に近づく程に減少し，量子化間隔が増大していくことも分かる．ここで，量子化間隔の広

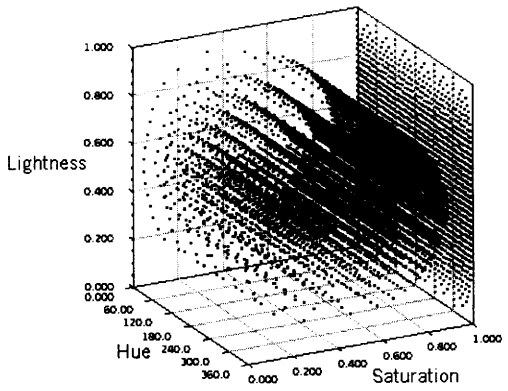

図3 RGB 各21階調で表されたデータを HLS 色空間へ写像した結果

がりは量子化誤差の増大と等価である [9].

量子化誤差が大きくなると,『画像中の濃淡勾配は滑らかに変化する』というオプティカルフロー拘束方程式の前提条件を満たさなくなり,フロー推定精度が低下する問題が生じる.

3. 速度空間上の速度ベクトルの分散を考慮した,局所領域内の色情報の信頼性に基づく速度ベクトル推定手法

イメージフローは1画素でフローベクトルを推定できる優れた手法である.しかし,前述のように量子化された RGB から計算した彩度と色相では部分的に大きな量子化誤差が生じて拘束方程式の条件から外れ,速度ベクトルとの誤差が大きくなってしまう場合がある.この問題を改善するには1画素だけでは限界があり,オプティカルフローと同様にサポート領域(局所領域)を設定し,周囲の画素を考慮した拘束方程式から解を求めるのが妥当であろう.

ただしオプティカルフローのようにサポート領域から直接に拘束方程式をたてて解を求めたのではイメージフローの利点が失われる恐れがある.そのため本稿では,拘束方程式を満たす割合を信頼度として定義し,彩度・色相からの値に重み付け・選択を行って解を求める手法を考える.

3.1 彩度・色相成分に対する信頼度と信頼性評価関数

まず本手法の基礎として,画像中の局所領域 W とその重み関数 $W_1(\mathbf{x}',t)$ を定義する.

大きさ $(2N+1)\times(2N+1)$ の局所領域 W は,時間 t における画像中の座標 $\mathbf{x}=(x,y)^T$ の画素を中心にして形成される.

ここで,局所領域中の座標 $\mathbf{x}'=(x',y')^T$ は,$-N \leqq x'-x, y'-y \leqq +N$ の正方形の範囲内で動くとする.

また,局所領域中の座標 $\mathbf{x}'$ は注目画素の座標 $\mathbf{x}$ から離れるほど相関が低くなると仮定する.そこで,局所領域中の座標 $(\mathbf{x}',t)$ に関する重み関数 $W_1(\mathbf{x}',t)$ は,

$$W_1(\mathbf{x}',t)=\exp\left[-\beta||\mathbf{x}'-\mathbf{x}||^2\right] \tag{6}$$

と定義する.ここで β は距離に対する重み付け定数とする.

HLS 系の色成分である色相と彩度の階調数は,式 (4), (5) に示すように明度や彩度の値に依存する.そこで時間 t,局所領域中の座標 $\mathbf{x}'$ における,明度成分 $L(\mathbf{x}',t)$ の影響を受ける彩度成分 $S(\mathbf{x}',t)$ の濃度勾配から求められる信頼度 $r_S(\mathbf{x}',t)$ と,明度成分と彩度成分の影響を受ける色相成分 $H(\mathbf{x}',t)$ の濃度勾配から求められる信頼度 $r_H(\mathbf{x}',t)$ を定義する.ここで,各信頼度は式 (4), (5) の変化量と同等でみなせるので,

$$r_S(\mathbf{x}',t) = 1-\left|2L(\mathbf{x}',t)-1\right| \tag{7}$$

$$r_H(\mathbf{x}',t) = S(\mathbf{x}',t)r_S(\mathbf{x}',t) \tag{8}$$

のように定義する事ができる.ここで,$0 \leqq r_S(\mathbf{x}',t), r_H(\mathbf{x}',t) \leqq 1$ とする.

次に,$r_S(\mathbf{x}',t)$, $r_H(\mathbf{x}',t)$ を,拘束直線に関する信頼性評価関数 $r'_S(\mathbf{x}',t)$, $r'_H(\mathbf{x}',t)$ へと拡張する.ここで拘束方程式に信頼度を組み込む必要性は,拘束方程式に関わる座標とその時間 $(\mathbf{x}',t)$, $(\mathbf{x}'+\Delta x',t)$, $(\mathbf{x}'+\Delta y',t)$, $(\mathbf{x}',t+\Delta t)$ における信頼度が一つでも低下した場合,拘束方程式より求まる速度ベクトルの推定精度が低下するからである.

本稿では式 (2), (3) から明らかなように,一つでも座標の信頼度が悪化した場合には,その拘束方程式の信頼性は保証されなくなると考え,これら4つの座標の信頼度が高く,かつ均一であればあるほど,拘束方程式の保証する速度ベクトルの推定精度が高くなると仮定する.

この仮定より,一つの拘束方程式が持つ階調数より決定される量子化間隔からの信頼性評価関数は,

$$r'_S(\mathbf{x}',t) = \bar{r}_S(\mathbf{x}',t)\exp[-\mathrm{k}_1 R_S(\mathbf{x}',t)] \tag{9}$$

$$r'_H(\mathbf{x}',t) = \alpha\bar{r}_H(\mathbf{x}',t)\exp[-\mathrm{k}_2 R_H(\mathbf{x}',t)] \tag{10}$$

と定義する.ここで,$\bar{r}_S(\mathbf{x}',t)$, $\bar{r}_H(\mathbf{x}',t)$ を彩度・色相の信頼度の平均,$R_S(\mathbf{x}',t)$, $R_H(\mathbf{x}',t)$ を彩度・色相の信頼度のばらつき,k_1 と k_2 を信頼度のばらつきに対する重み付け定数,α を色相の彩度に対する信頼性評価関数の重み付けとする.なお,信頼度の平均 $\bar{r}_S(\mathbf{x}',t)$, $\bar{r}_H(\mathbf{x}',t)$ は

$$\begin{aligned}\bar{r}_i(\mathbf{x}',t) &= \frac{1}{3}\left\{\frac{r_i(\mathbf{x}',t)+r_S(\mathbf{x}'+\Delta x',t)}{2}\right.\\ &\quad+\frac{r_i(\mathbf{x}',t)+r_i(\mathbf{x}'+\Delta y',t)}{2}\\ &\quad\left.+\frac{r_i(\mathbf{x}',t)+r_i(\mathbf{x}',t+\Delta t)}{2}\right\}\\ &= \frac{1}{6}\left\{3r_i(\mathbf{x}',t)+r_i(\mathbf{x}'+\Delta x',t)\right.\\ &\quad\left.+r_i(\mathbf{x}'+\Delta y',t)+r_i(\mathbf{x}',t+\Delta t)\right\}\end{aligned} \tag{11}$$

(ただし $\quad i\in\{S,H\}$)

と計算され,信頼度のばらつき $R_S(\mathbf{x}',t)$, $R_H(\mathbf{x}',t)$ は

$$\begin{aligned}R_i(\mathbf{x}',t) &= \frac{1}{6}\left\{3\left|r_i(\mathbf{x}',t)-\bar{r}_i(\mathbf{x}',t)\right|\right.\\ &\quad+\left|r_i(\mathbf{x}'+\Delta x',t)-\bar{r}_i(\mathbf{x}',t)\right|\\ &\quad+\left|r_i(\mathbf{x}'+\Delta y',t)-\bar{r}_i(\mathbf{x}',t)\right|\\ &\quad\left.+\left|r_i(\mathbf{x}',t+\Delta t)-\bar{r}_i(\mathbf{x}',t)\right|\right\}\end{aligned} \tag{12}$$

(ただし $\quad i\in\{S,H\}$)

と計算される．

彩度に対する色相の信頼性評価関数の重み付け α を設定する理由は，色相の階調数と彩度の階調数が異なるからである．

局所領域から得られる色相・彩度の拘束方程式の中で，一つの拘束方程式が持つ階調数より決定される量子化間隔からの信頼性評価関数 $r'_S(\mathbf{x}',t)$，$r'_H(\mathbf{x}',t)$ と座標 $(\mathbf{x}',t)$ に関する重み関数 $W_1(\mathbf{x}',t)$ を乗じた値が高いものを選ぶことで，量子化間隔から生ずる問題に対して改善が期待できる．

次にこの考え方を整理して，速度ベクトルを推定するために用いる信頼性評価関数 $R_C(\mathbf{v},t)$ として定式化する．速度空間上にプロットされる一つの速度ベクトルは，二つのフローの拘束方程式の影響を受ける．このことは，一つの速度ベクトルには二つの拘束方程式の信頼性評価関数が反映されていることを意味している．そこで，速度ベクトル $\mathbf{v}$ を推定するために用いる信頼性評価関数 $R_C(\mathbf{v},t)$ を，

$$R_C(\mathbf{v},t) = r'(\mathbf{x}'_1,t)r'(\mathbf{x}'_2,t) \tag{13}$$

と定義する．ここで，$\mathbf{x}'_1 = (x'_1,y'_1)^T$ と $\mathbf{x}'_2 = (x'_2,y'_2)^T$ は $(\mathbf{x}'_1 = \mathbf{x}'_2) \cap (r'(\mathbf{x}'_1,t) = r'(\mathbf{x}'_2,t))$ でない座標，$r'(\mathbf{x}',t)$ は $r'(\mathbf{x}',t) \in \{r'_S(\mathbf{x}',t), r'_H(\mathbf{x}',t)\}$ とする．

なお，速度ベクトル $\mathbf{v}$ は

$$\mathbf{v} = \mathbf{C}^{-1}\mathbf{D}$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} F_x(\mathbf{x}'_1,t) & F_y(\mathbf{x}'_1,t) \\ F_x(\mathbf{x}'_2,t) & F_y(\mathbf{x}'_2,t) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D} = \left[-F_t(\mathbf{x}'_1,t), -F_t(\mathbf{x}'_2,t)\right]^T$$

によって与えられる．ここで $F(\mathbf{x}',t)$ は，$F(\mathbf{x}',t) \in \{S(\mathbf{x}',t), H(\mathbf{x}',t)\}$ の関係を持つ．

ここで，$R_C(\mathbf{v},t)$ を決定する時の色値の座標を踏まえて，速度ベクトルに対する座標から生ずる重み関数について考える．

一つの速度ベクトルには座標に関して二つの重み関数 $W_1(\mathbf{x}'_1,t)$ が関わっているので，速度ベクトルに対する座標からの重み関数 $W'_1(\mathbf{v},t)$ は

$$W'_1(\mathbf{v},t) = W_1(\mathbf{x}'_1,t)W_1(\mathbf{x}'_2,t) \tag{14}$$

となる．ここで $\mathbf{x}'_1$ と $\mathbf{x}'_2$ は局所領域中の座標である．

次に，拘束方程式同士の重み関数 $W_2(\mathbf{v},t)$ について詳述する．

拘束方程式同士の重み関数 $W_2(\mathbf{v},t)$ は，局所領域中の座標の重み関数と同様に考えて，「局所領域中の拘束方程式の座標を比較してその距離に応じて重みをつける」といった方法を行う．そこで拘束方程式同士の重み関数 $W_2(\mathbf{v},t)$ は

$$W_2(\mathbf{v},t) = \exp\left[-\zeta||\mathbf{x}'_1 - \mathbf{x}'_2||^2\right] \tag{15}$$

と定義する．ここで，$\mathbf{x}'_1$ と $\mathbf{x}'_2$ はそれぞれ局所領域中の座標とし，ζ を拘束方程式間の距離の差の重み付けとする．

結局，最終的に速度ベクトルに関わる重み関数はこの二つの重み関数 $W'_1(\mathbf{v},t)$ と $W_2(\mathbf{v},t)$ の積となる．すなわち，

$$W(\mathbf{v},t) = W'_1(\mathbf{v},t)W_2(\mathbf{v},t) \tag{16}$$

と書き表せる．

3.2 フロー決定信頼性評価関数を用いた，イメージフロー推定法を改善した速度ベクトル推定手法

本節では速度ベクトルを推定するために用いる信頼性評価関数 $R_C(\mathbf{v},t)$ に，局所領域の座標と拘束方程式の相関に関しての重み関数 $W(\mathbf{v},t)$ を組み合わせて速度ベクトルを推定する，フロー決定信頼性評価関数 $A(\mathbf{v},t)$ を定義する．

本手法では局所領域 W の中から得られる速度ベクトル毎にフロー決定信頼性評価関数 $A(\mathbf{v},t)$ を導きだし，その値が最大となる時の速度ベクトルを推定された速度ベクトルとする．

フロー決定信頼性評価関数 $A(\mathbf{v},t)$ は

$$A(\mathbf{v},t) = W(\mathbf{v},t)R_C(\mathbf{v},t) \tag{17}$$

と定式化され，推定される速度ベクトル $\mathbf{v}$ は

$$A_{\max}(\mathbf{v},t) = \max_{\mathbf{v}_d \in \mathbf{B}} A(\mathbf{v}_d,t) \tag{18}$$

とした時，$A_{\max}(\mathbf{v},t)$ の引数 $\mathbf{v}$ から決定される．ここで $\mathbf{B}$ は局所領域 W 内の拘束方程式から得られる速度ベクトルの集合，$\mathbf{v}_d$ を $\mathbf{B}$ に含まれる任意の速度ベクトルとする．

上記手法は定義からも明らかなように，並進運動のような画像の各画素の動きベクトルの分散が小さい場合には良好に適合できるが，拡大・回転のような動きベクトルの分散が大きい場合には適合しにくい問題が予見される．

3.3 速度空間上の速度ベクトルの分散を考慮した，局所領域内の色情報の信頼性に基づく速度ベクトル推定手法

本節では上記した速度ベクトルの分散問題に対する改善策として，速度ベクトルの分散から最尤値を決定する手法を考えその手法に重み平均法を用いることで改善を試みる．この手法の利点は分散値へ重み値を付与することで最尤推定を行える点にある．

[重み平均法]

重み平均法はすでに述べたように，分散した値に対して重み値を考慮することでその重み値を反映させた平均値を求める手法である．本稿はこの重み値を優先度として考えて，重み値に $A(\mathbf{v},t)$ を用いる．これにより $A(\mathbf{v},t)$ が高い値を持つほどにその $A(\mathbf{v},t)$ に付随する速度ベクトルの値が優先される．それ以外の利点として，等方的な動きをする拡大・縮小・回転といった複雑な動きや，素早い動きをする物体，そして照明が変化する場合に対しても高い推定精度が期待できる点が挙げられる．

重み平均の式は，速度空間上に n 個分散する速度ベクトルを $\mathbf{v}_i$ (i は $i \in \{1,\cdots,\mathrm{n}\}$)，その時の重み値を w_i とすると，

$$\mathbf{v} = \sum_{i=1}^{\mathrm{n}} w_i\mathbf{v}_i \tag{19}$$

と表される．ここで重み値 w_i は，$\sum_{i=1}^{\mathrm{n}} w_i = 1$ とする．

[速度ベクトルに付随する信頼度とその周囲の信頼度との差に関する考察]

次に，重み平均法を用いる時にその重み値をどう扱うべきかについて議論する．

ここで従来の重み値を考えると，速度空間中の各速度ベクトルから得られる重み値は互いに相関を考慮しなかった問題があ

る．この問題は，各重み値の評価が数値的な優劣しか得られない絶対評価となることから，局所領域の分散性を全く考慮していない点が挙げられる．

この問題に対して，局所領域から得られる各重み値同士を比較することで各重み値の相対的な値を得ることを考える．相対的な値を得る利点は各重み値自身の周囲の値に対する優位性を正規化した値で表すことができる点にあると言える．

ここで，相対的な重み値を定式化する．ある局所領域中の一つの重み値 w_i とそれ以外の重み値 w_j(ただし，$j \in \{1,2,\cdots,n\} \setminus i = \mathbf{W}$) とした時，相対的な重み値 w_i' は

$$w_i' = \frac{1}{|\mathbf{W}|} \sum_{j \in \mathbf{W}} \frac{w_i}{w_i + w_j} \tag{20}$$

となる．この式から，相対的な重み値 w_i' は w_i がその他の重み値 w_j と比較して相対的に同じような値だと 0.5 付近に，相対的に高くなれば 1.0 に近づく．この式を用いることで独立に求めた重み値を，相対的に評価した値に変換することができる．

3.4 速度空間上の速度ベクトルの分散を考慮した，局所領域内の色情報の信頼性に基づく速度ベクトル推定手法の構築

前節の議論によって分散問題に対しては重み平均法が有力な手法となりうることが考察された．また，その重み平均法に用いる重み値には相対的な値を使うことが優れていることも述べた．本節ではこれらの議論を踏まえ，本手法を拡張した新たな速度ベクトル推定手法を提案する．

提案手法は式 (19) に示した重み平均法を用いて定式化する．また重み平均法に用いる重み値には，式 (20) を使って相対的な値に変換した $A(\mathbf{v},t)$ を用いる．

まず始めに，$A(\mathbf{v},t)$ を相対的な値に変換したフロー決定信頼性評価関数 $A'(\mathbf{v},t)$ へと拡張する．

相対的な値に変換したフロー決定評価関数 $A'(\mathbf{v},t)$ は

$$A'(\mathbf{v},t) = \frac{1}{|\mathbf{B} \setminus \{\mathbf{v}\}|} \sum_{\mathbf{v}' \in \mathbf{B} \setminus \{\mathbf{v}\}} e(\mathbf{v},\mathbf{v}',t) \tag{21}$$

ただし

$$e(\mathbf{v},\mathbf{v}',t) = \frac{W(\mathbf{v},t)R_C(\mathbf{v},t)}{W(\mathbf{v},t)R_C(\mathbf{v},t) + W(\mathbf{v}',t)R_C(\mathbf{v}',t)}$$

のように表す．ここで $\mathbf{B}$ は局所領域 W 内の拘束方程式から得られる速度ベクトルの集合，$|\mathbf{B} \setminus \{\mathbf{v}\}|$ は集合 $\mathbf{B}$ から $\mathbf{v}$ を除いた数列の次元数を示す．

次に局所領域の特性を考慮した値である $A'(\mathbf{v},t)$ を重み値として，式 (19) で定義した重み平均法を行う．なお，w_i には $A'(\mathbf{v},t)$ が高い方から γ 個分使用し，また $\mathbf{v}_i$ には各 $A'(\mathbf{v},t)$ に付随する $\mathbf{v}$ を使用する．

以上の定義より，最終的に推定する速度ベクトル $\mathbf{v} = (u(\mathbf{x},t), v(\mathbf{x},t))^T$ は，

$$\mathbf{v} = \frac{\sum_{i=1}^{\gamma} A_i'(\mathbf{v}_i,t)\mathbf{v}_i}{\sum_{i=1}^{\gamma} A_i'(\mathbf{v}_i,t)} \tag{22}$$

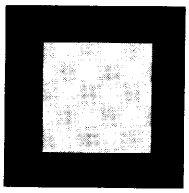

図 4　モデル画像 1

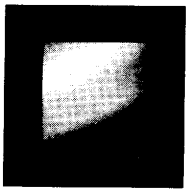

図 5　モデル画像 2

となる．ここで，$A_i'(\mathbf{v}_i,t)$ は i 番目に値の大きい $A'(\mathbf{v},t)$，$\mathbf{v}_i$ は $A_i'(\mathbf{v}_i,t)$ に付随する速度ベクトルである．

4. 実　　験

4.1 実験の内容

上記手法の有効性を定量的に評価するために，CG により生成したモデル画像を用いて精度の確認実験を行なう．まずモデル画像に種々の運動をさせてその速度ベクトルを本手法と従来手法であるイメージフロー推定法 [5] から求め，その結果を比較する．

また，他の実験としてノイズを付加したモデル画像を用いた実験とモデル画像を用いて照明条件の変化をシミュレートした実験を行う．

4.2 実験に用いるモデル画像

実験に用いるモデル画像には，画像解像度 (256 × 256 × 256) 階調，画像サイズ (100 × 100[pixels]) のカラー画像 2 種（図 4(RGB 成分を微小に動かして生成)，図 5(HLS 成分を微少に動かして生成)）を用いる．

4.3 実験の評価尺度

本稿では客観的な実験の評価尺度として，平均二乗誤差 (MSE) を使用する．MSE は

$$MSE = \frac{1}{\mathrm{PK}} \sum_{p=1}^{\mathrm{P}} \sum_{k=1}^{\mathrm{K}} ||\mathbf{d}_{pk} - \mathbf{o}_{pk}||_2^2 \tag{23}$$

で求められる．ここで P を画像の x 方向の画素の総数，K を画像の y 方向の画素の総数，$\mathbf{d}_{pk}$ を推定した速度ベクトル，$\mathbf{o}_{pk}$ を正解の速度ベクトルとする．

4.4 種々の運動を行なったモデル画像に対する比較実験

本手法の有効性の確認のため前述のモデル画像（図 4，図 5）を用いて実験を行なう．モデル画像はそれぞれ

運動 1　1 (pixel/frame) 分の右方向への並進運動
運動 2　2 (pixels/frame) 分の右方向への並進運動
運動 3　1.05 (倍/frame) の拡大運動
運動 4　0.95 (倍/frame) の縮小運動
運動 5　2 (deg/frame) 分の右回りの回転運動

の運動を行ない，本手法と彩度と色相を用いたイメージフロー推定法との MSE 比較の実験を行なった．なお局所領域の大きさ，式 (22) 内の γ は，予備実験によりそれぞれ 5 × 5, 10 とした．

モデル画像 1, 2 を用いた実験結果を表 1 に示す．

実験結果から本手法の MSE はイメージフロー推定法よりも小さくなり，本手法の有効性を示すことができた．これはモデ

表 1　モデル画像に対するフロー推定誤差 (MSE)

	本手法		イメージフロー	
運動 \ モデル画像	画像 1	画像 2	画像 1	画像 2
運動 1	0.000	0.000	0.080	0.008
運動 2	0.320	1.405	1.572	1.615
運動 3	0.390	0.700	1.245	1.536
運動 4	0.473	0.636	1.408	1.612
運動 5	0.240	0.473	0.886	1.262

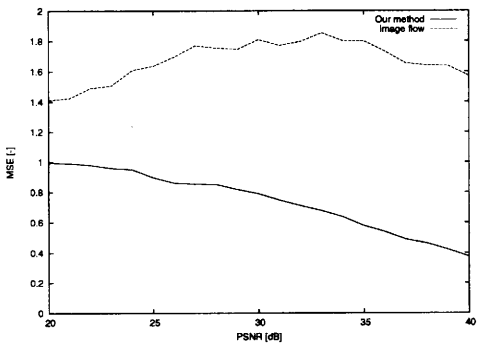

図 6　ノイズを付加したモデル画像に対するフロー推定誤差 (MSE)

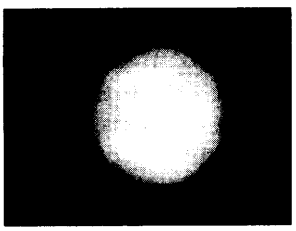

図 7　照明実験に用いるモデル画像

ル画像の局所部分において量子化誤差増加の一要因となる彩度と色相の信頼性が低い部分が存在した場合，従来手法では信頼性が低い部分もそのままにしてフロー推定してしまうのに対し，本手法では信頼度を評価することで信頼性の低い部分を避けて，より評価の高い周囲にあるベクトルを用いてフロー推定を行なえる点が，誤差低減へ寄与したと考えられる．

4.5　ノイズを付加したモデル画像を用いた実験とモデル画像を用いて照明条件の変化をシミュレートした実験

次に，ノイズを付加した実験と照明変化をシミュレートした実験を行う．PSNR=20～40[dB] を付加したモデル画像 1 を用いて運動 1 の場合についての MSE を比較した．実験結果を図 6 に示す．

実験結果より，ノイズを付加した MSE 比較で本手法はイメージフローより低い MSE となった．

照明変化のシミュレーション実験について，今回の実験では図 7 のモデル画像において照明角を左 4 度から右 4 度へと動かした場合に生ずる速度ベクトルの MSE を計算した．実験には本手法とイメージフロー，そして勾配法（今回は Lucas-Kanade 法 [10]) を使用した．実験結果を表 2 に示す．

実験結果より本手法による推定誤差は，他の手法よりも低い

表 2　照明変化を伴うモデル画像に対するフロー推定誤差 (MSE)

	本手法	イメージフロー	L-K 法
MSE	0.334	3.199	3.784

MSE となり精度の改善が得られた．

5. おわりに

イメージフロー推定における色相や彩度に依存する量子化間隔に関する問題についてこれら成分の信頼度を定式化し，その信頼度をベースにして速度ベクトルを高精度かつ照明変化・ノイズの影響が小さい速度ベクトル推定法を検討した．特に，速度空間上の速度ベクトルの分散を考慮して，局所領域内の信頼性に基づく速度ベクトル推定手法の有効性を示すことができた．モデル画像を用いた実験により従来手法よりも本手法が高い推定精度を有している事を示した．

本手法は，イメージフロー推定法の利点であった照明変化に対するロバスト性を保ちながら同時にエッジやノイズに対するロバスト性の向上を目指す事で推定精度を向上できる手法である．

今後の課題としては，計算量の増加に伴うフロー推定時間の増加を抑制すること等が挙げられる．

参考文献

[1] 鈴木，今村，剣持，小谷 “ 動画像中のオブジェクトの色情報の信頼性を考慮したオプティカルフロー推定法 ” 信学技報，PRMU2002-125, pp.31-36, 2002.

[2] 安部，杉山，阿部 “ オプティカルフローと色情報を用いた腕の動作の 3 次元追跡 ” in *Proc.MIRU*, vol.I, pp.267-272, 2002

[3] 小渡，星野 “ オプティカルフローと色情報に基づく掌の検出と追跡によるジェスチャ認識 ” 情報処理学会 研究報告 コンピュータビジョンとイメージメディア, 125-6, pp.47-54, 2001

[4] 加藤，伊藤，金田 “ カラー情報に基づくオプティカルフロー推定に関する研究 ” 情報処理学会 第 56 回全国大会, 3P-2, pp.129-130, 1998

[5] P. Golland and A. M. Bruckstein “ Motion from Color ” *Computer Vision and Image Understanding*, **68**(3), pp.346-362, 1997

[6] B. Horn and B. Schunck “ Determining opticalflow ” *Artificial Intelligence*, **17**, pp.185-203, 1981

[7] 町田，井澤，吉良ら “ コンピュータイメージング ” コロナ社, pp.110-116, 1984

[8] 小谷 “ コンピュータグラフィックスにおける色再現 ” テレビジョン学会誌 Vol.47, **No.9**, pp.1216-1224, 1993

[9] 宮脇，石橋，岸野 “ 色彩情報を用いたカラー画像の領域分割” 信学技報, IE89-50, pp.43-48, 1989

[10] B. Lucas and T. Kanade “ An iterative image registration technique wiht an application to stereo vision ” *Proc. 7th IJCAI*, pp.674-679, 1981