

運動領域注視型ステレオカメラシステムの開発 —基本アルゴリズムの検証と移動物体の検出への応用—

Development of a Stereo Camera System That Focuses on Moving Regionst
-Verification of Basic Algorithm and Application to Detection of Moving Objects -

学 和田 正樹 (中大/JST CREST) 正 梅田 和昇 (中大/JST CREST)
○学 中西 達也 (中大/JST CREST) 学 橋本 優希 (中大/JST CREST)

Masaki WADA, Chuo University wada@sensor.mech.chuo-u.ac.jp
Tatsuya NAKANISHI, Chuo University tnakani@sensor.mech.chuo-u.ac.jp
Kazunori UMEDA, Chuo University umeda@sensor.mech.chuo-u.ac.jp
Yuki HASHIMOTO, Chuo University hashimoto@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

In many computer vision applications such as surveillance, targets to detect and measure move. We have proposed a stereo camera system that focuses on moving regions. In the system, what is called the "correspondence problem" of the stereo cameras is solved by restricting the stereo matching process to moving regions. In this paper, the fundamental algorithm to realize robust measurement of stereo images by detecting moving regions with each camera and then applying stereo matching for the detected moving regions is verified, and detection of features of moving regions using the proposed stereo system is discussed and evaluated by experiments.

Key Words: Stereo Camera, Motion, Detection of Moving Objects, Surveillance Camera

1. 序論

ステレオカメラに関しては、これまでに数多く研究開発が行われてきた [1, 2]. 最近では, CPU や GPU (Graphics Processing Unit) の高速化に伴い, 比較的容易に PC を用いた実時間での距離画像取得が可能となっている [3, 4]. PC に接続して用いる市販品もいくつか利用可能である [5, 6]. また, FPGA を用いた高速な距離画像取得も提案されている [7]. さらに, 車載用などに実用化されているステレオカメラもある [8].

ステレオカメラには, テクスチャが弱い場合や繰り返しパターンがある場合に左右の画像での対応づけを求めるのが困難になる, いわゆる対応点問題が不可避である. この問題に対しては, 多数台のカメラを用いることでロバスト化を行うマルチベースラインステレオ [1] や, ランダムドットパターンをステレオカメラのシャッターに同期させて照射するシステム [9] が提案されている.

本研究では, 不審者検出や人の流れの計測を行う監視カメラなどの用途を想定する. ステレオカメラを用いて人流データなどを計測する手法も提案されている [10], RFID タグを用いているため使用用途が限定される. また, 単眼のカメラで歩行者の検出などを行うシステムは色々提案されている [11, 12], ステレオカメラは, 寸法情報を得ることができ, スケーラブルな利用が可能となるため, これらの用途に有用であると考えられる. すなわち, 例えば, 検出された運動領域情報 (距離, 高さ, 幅など) を得ることができれば, 検出された領域が人なのか小動物なのか, 大人なのか子供なのか, 何名程度の人がいるのか, などの情報を得ることが容易になると期待できる.

これらの用途では, 計測したい対象物は一般に動きを伴うことが多い. そこで, 運動情報に陽に注目することによってステレオカメラのロバスト化を実現することを考え, 運動領域注視型ステレオカメラシステムを提案する [13]. 基本アルゴリズムの検証を行い, さらに移動物体の検出手法を示し, 実験により検証する.

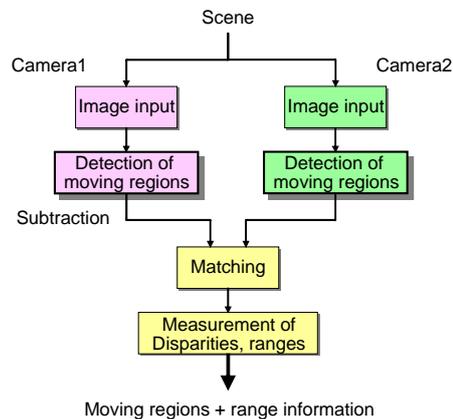


Fig.1 Flow of our stereo algorithm

2. 運動領域注視型ステレオの概要

2.1 基本アルゴリズム

本研究で提案するステレオカメラシステムの基本アルゴリズムを Fig.1 に示す. 通常のステレオでは, 左右カメラの画像をマッチングすることで視差画像を得る. これに対し, 本研究で提案する手法では, 左右カメラそれぞれでまず運動領域を抽出し, その後に抽出された運動領域を左右画像でマッチングする. 運動領域の抽出には差分処理を用いる. この手法は, 運動している領域にしか適用できないという欠点がある反面, 以下の理由からマッチングを大幅にロバスト化することができると考えている.

- 対応点探索を左右カメラの運動領域に大きく限定することができる.
- マッチングのための情報に, 元画像だけでなく運動情報も利用可能である.

2.2 運動領域注視型ステレオの特徴

Fig.2 のシーンに対して, 本研究で提案している手法と通常のステレオ手法とで得られた視差画像をそれぞれ Fig.3(a), (b)に

示す。視差画像は、近いものが青く、遠いものが赤く表示されている。Fig.3(a)での運動領域抽出には、単純な背景差分を用いている。Fig.3(a), (b)を比べると、提案手法では視差画像の算出が運動領域のみに限定されていることが示されている。ステレオマッチングが運動領域に限定されることによって、左右画像の誤対応が抑制されることが期待される。また、監視用途などを考えれば、提案手法の方が必要十分な領域のみに対して結果を出していると言え、その後の処理が容易になると考えられる。さらに、ステレオマッチングを行う領域が限定されることから、計算コストが削減されることも期待できる。

3. 移動物体の計測

運動領域注視型ステレオで得られる視差画像から移動物体を計測することを考える。本手法では、得られる距離画像が運動領域に限定されているため、運動領域は最初から抽出されていると言える。この抽出されている運動領域の特徴量（距離、重心座標値、高さ、幅）の計測について示す。これらの特徴量が計測できれば、1章で示したような、検出された運動領域が猫なのか人なのか、大人なのか子供なのか、何名程度いるのか、などの情報を得ることが容易になると期待できる。まず、抽出された領域に対してラベリングを行う。このとき面積に対して閾値を設けることで、処理領域を限定する。そして、領域を囲む矩形を求め、その中心における視差 Δ を用い、カメラから移動物体までの距離 z_c を以下の式により算出する。

$$z_c = \frac{b \cdot f}{\Delta \cdot \rho} \quad (1)$$

ここで b はステレオカメラの基線長、 f は焦点距離、 ρ はステレオカメラの1画素の幅を表す。さらに、得られた距離 z_c から、カメラ座標系における3次元での運動領域の中心 x_c, y_c は以下の式によって算出される。

$$(x_c, y_c) = \left(\left(\tan \frac{\alpha}{2} \right) \frac{u_c - X}{u_c} \cdot z_c, \left(\tan \frac{\beta}{2} \right) \frac{v_c - Y}{v_c} \cdot z_c \right) \quad (2)$$

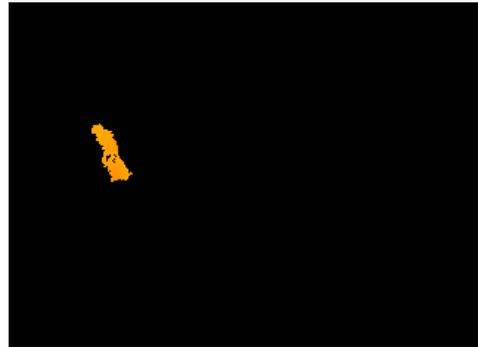
ここで α, β はステレオカメラの水平画角および垂直画角、 X, Y は画像サイズを表す。また、カメラ座標系と世界座標系の関係をFig.4に示す。求めたカメラ座標系における (x_c, y_c, z_c) を用いることで、世界座標系における運動領域の中心座標 (x_w, y_w, z_w) は以下の式によって算出することができる。

$$(x_w, y_w, z_w) = (x_c, -y_c \sin \theta + z_c \cos \theta, -y_c \cos \theta - z_c \sin \theta + z_0) \quad (3)$$

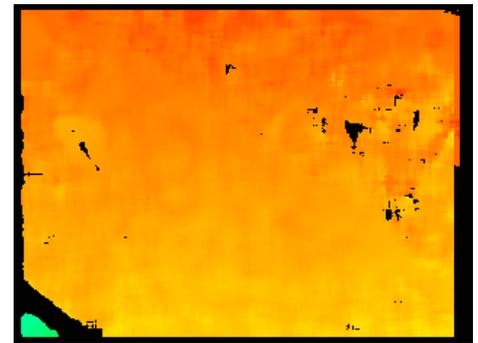
ここで θ はカメラのPan角、 z_0 はカメラの高さを表す。
高さ、幅に関しては、領域の端点を求め、縦方向の最大値から最小値を引いたものを高さとし、横方向の最大値から最小値を引いたものを幅とする。なお、対象が遠く距離計測誤差が大きい場合は、領域の距離を一様として高さ・幅を求めるのが良いと考えられる。



Fig.2 An example scene



(a) With motion detection (proposed method)



(b) Without motion detection

Fig.3 An example of our stereo algorithm: disparity images for Fig.2

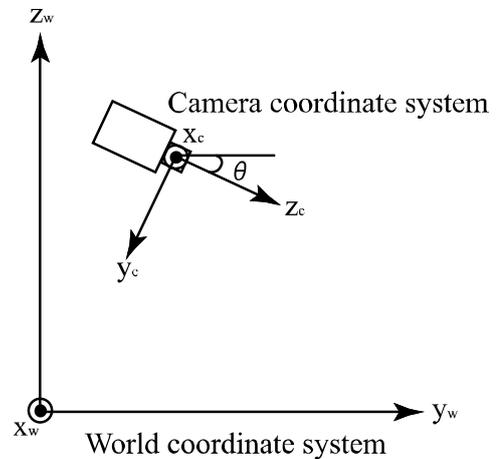


Fig.4 Relation between camera coordinate system and world coordinate system

4. 移動物体計測実験

3章で定義した運動領域の特徴量の計測実験を行った。対象シーンは前節のFig.2のように1人の人物が屋外を歩行している状態で、式(3)を用い、 $\theta=50^\circ, z_0=8.3[m]$ の実験条件で人物の重心座標値、重心までの距離、高さ、幅を時系列で求めた。実験結果をFig.5に示す。人物が歩行している場合は、値に多少のばらつきや外れ値などが出ているが、人物の大きさや移動している方向などの特徴はほぼ正しく求まっている。まだ、定量的評価は行っていないが、監視用の用途としては十分に用いることができるのではないと思われる。

5. 精度評価実験

ステレオカメラから得られる対象物体までの距離についての精度評価実験を行った。

実験場所はFig.6に示すように、廊下でおこなった。Fig.7に示すように、対象物体は平面であるダンボールにテクスチャを貼り付けたものであり、カメラの角度はPan角、Tilt角、それぞれ 0° とした。以上の実験条件で、提案した運動領域注視型ステレオカメラシステムの距離の精度評価実験を行った。カメラから1~10[m]までは1[m]の間隔、10[m]~35[m]までは5[m]の間隔の位置に対象物体を置き、それぞれの位置で100回分の距離データを取得し、平均値と標準偏差を求めた。結果をFig.8に示す。距離が35[m]付近では4[m]程度の誤差が生じてしまっているが、ステレオ計測の場合、誤差は距離の2乗に比例する

ので、この結果は妥当だといえる。また、監視用途での使用を想定した場合、許容できる誤差であると思われる。

次に、Fig.9に示すように、カメラの位置から一直線上に人物が歩行する実験を行った。結果をFig.10に示す。やはり、距離が遠くなるにつれて値にばらつきが生じている。同じ実験を

10回行ったが、どの結果も同様の傾向が見られた。

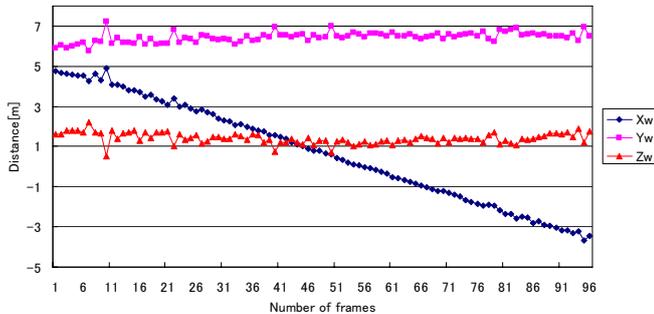
次に、Fig.11に示すように、カメラの位置から一直線上に移動ロボットが移動する実験を行った。移動ロボットには、カメラで認識しやすいようにテクスチャとしてポスターを貼り、30[cm/s]の速度で移動させた。実験結果をFig.12に示す。外れ値が多少生じているが、人物が歩行しているときよりも値にばらつきが少ない。同じ実験を10回行ったが、どの結果も同様の傾向が見られた。Fig.10とFig.12より、対象物体が移動している場合においても、監視用として許容できる誤差であると思われる。



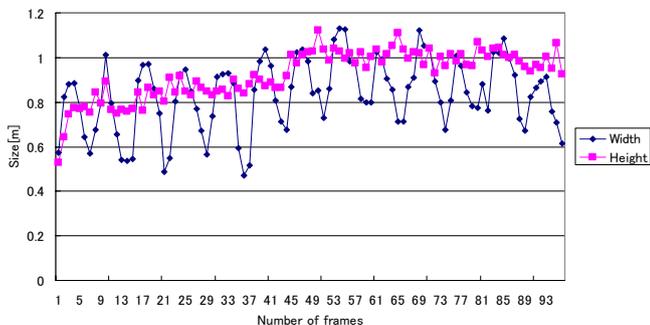
Fig.6 Experimental scene



Fig.7 Object



(a) (x,y,z) coordinates



(b) Height and width

Fig.5 Feature extraction results of a person walking outside

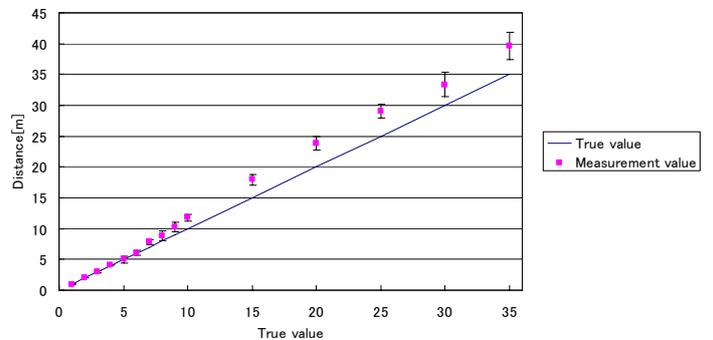


Fig.8 Evaluation of distance



Fig.9 Experimental scene

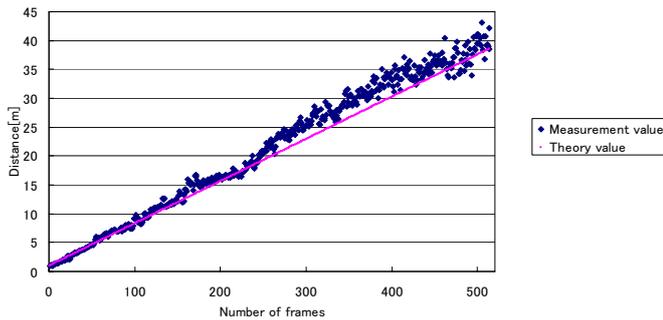


Fig.10 Evaluation of distance: a person's walking



Fig.11 Experimental scene

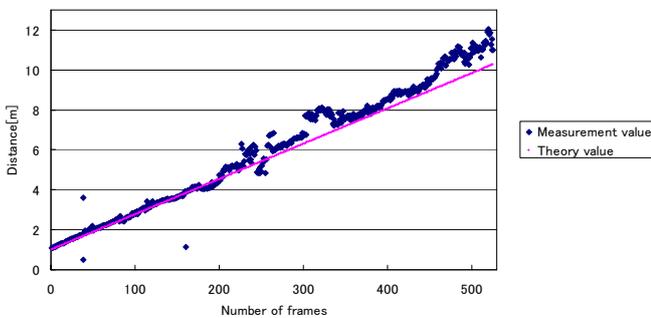


Fig.12 Evaluation of distance: robot's moving

6. 結論と今後の展望

運動領域注視型ステレオカメラシステムについて基本アルゴリズムの検証と運動領域情報を算出する手法の提案を行った。さらに、市販のステレオカメラを利用した簡単な検証実験を行い、提案手法の有効性を示した。

今後は以下を行っていく予定である。

- 差分手法の改良[14]などによる基本アルゴリズムの詳細化、改良
- 得られる運動領域情報からの上位情報の抽出
- 運動領域情報抽出の定量的評価

参考文献

- [1] 奥富正敏：“コンピュータビジョン：技術評論と将来展望第8章 ステレオ視(Stereo Vision)”，新技術コミュニケーションズ，1998.
- [2] M.Z. Brown, D. Burschka, and G.D. Hager: “Advances in computational stereo,” IEEE Trans. PAMI, Vol.25, No.8, pp.993-1008, 2003.
- [3] 岡田慧，加賀美聡，稲葉雅幸，井上博允：“PC による高速対応点探索に基づくロボット搭載可能な実時間視差画像・フロー生成法と実現”，日本ロボット学会誌，Vol.18, No.6, pp.896-901, 2000.
- [4] 植芝俊夫：“リアルタイム3眼ステレオビジョンにおける双方向視差探索の効率的な実装”，画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2006), IS3-60, 2006.
- [5] Point Grey Research, <http://www.ptgrey.com/>
- [6] Videre Design, <http://www.videredesign.com/>
- [7] M. Hariyama, Y. Kobayashi, H. Sasaki, M.Kameyama: “FPGA Implementation of a Stereo Matching Processor Based on Window-Parallel-and-Pixel-Parallel Architecture,” IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E88-A, No.12, pp.3516-3522, 2005.
- [8] 十川能之，塙圭二：“ステレオ画像認識による車両前方監視システム”，自動車技術，Vol.56, No.4, pp.34-39, 2002.
- [9] 佐藤雄隆，松山方大，坂上勝彦：“ステレオビジョンを搭載した電動車いすにおける近赤外パタン光投影の検討”，動的画像処理実用化ワークショップ(DIA2007)，2007.
- [10] 依田育士，細谷大輔，坂上勝彦：“ユビキタスステレオビジョンによる滞留人数計測システム”，映像情報メディア学会誌，Vol.60, No.11, pp.1829-1834, 2006.
- [11] 寺田賢治：“車と人の監視”，日本ロボット学会誌，Vol.22, No.7, pp.864-867, 2004.
- [12] 羽下哲司，鷺見和彦，八木康史：“変化領域内の動きの時空間特徴に着目した屋外情景における歩行者の検出”，電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J87-D II, No.5, pp.1104-1111, 2004.
- [13] 梅田和昇，和田正樹，松木優介：“運動領域注視型ステレオカメラシステムの提案 第一報：基本コンセプトの提案”，第25回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2007), 1N31, 2007.
- [14] 関真規人：“画像情報を用いた屋外監視技術の動向と事例”，精密工学会画像応用技術専門委員会研究会報告，Vol.22, No.2, pp.11-17, 2007.