

インターレース方式カメラによる高速移動対応の位置推定手法

鈴木 雄貴 荻原 崇[†] 塚本 昌彦

神戸大学工学部電気電子工学科

近年、カメラの小型化・高性能化に伴い、カメラから取得した画像をもとに解析を行い、移動量を算出する研究が盛んに行われている。多くの研究は、マーカを天井、壁、または床などに配置し、これらを撮影した画像を処理することで位置推定を行う。しかし、これらの研究では、対象がカメラの画像が歪まない程度の比較的低速な移動を行うことを想定して進められている。実運用時には対象が必ずしも低速で移動するとは限らず、カメラを装着した対象が高速で移動を行った場合、カメラ画像に歪みが生じ、マーカを検出することができなくなるため、移動量の算出が不正確となる。本稿では、移動が高速な場合に対応するため、1フレーム内の画像のぶれから速度を検出し位置を推定する方法を提案する。

A location estimation method by an interlace camera for supporting high-speed movement

Yuhki SUZUKI, Takashi OGIHARA[†], Masahiko TSUKAMOTO

Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Kobe University

Recently, many reseaches are done on estimating the location of an object by using a fixed camera or an embedded camerat. In the latter case, a marker pasted on a ceiling, a wall, or a floor is usually used. However, they assume a slow movement is assumed so that the camera image is well focussed. In fact, it is not always true that an object or a camera moves at a slow speed. When an object moves at a high speed, they cannot calculate the location correctly because the image taken by a camera becomes distorted and they cannot detect the concise position of markers. In this paper, we propose a method of location estimation by caluculating the speed of an object or a camera from the distorted image in a frame in order to supprtt their high-speed movement.

1 はじめに

近年のコンピュータの小型化・軽量化に伴い、コンピュータを身につけることが可能となった。展示会やテーマパーク内でユーザの道案内などを行うヒューマンナビゲーションに関する研究が数多く行われており、その結果正確にユーザの位置を同定する要求が高まっている。従来、屋外での位置推定においては、広範囲での実行が可能であるGPSを利用することが一般的であるが、屋内など人工衛星からの電波が届かない場所では、GPSを用いた各種サービスを利用することができない。そこで、屋内での位置情報を得る手段として、GPSの代わりとなる位置検出システムの研究が行われている。

位置検出システムに用いられる手法として、屋内の天井、壁また、床などにセンサやマーカを配置し、それらをカメラで画像に取り込み解析したり、センサから値を受信したりすることによってユーザの位置を割り出すというものが多く見られる。ここで使用されるセンサやマーカには多くの種類が存在し、また、これらの配置の仕方によっても位置推定の手

法が異なる。さらには、マーカとセンサの両方を組み合わせた手法なども研究されており、従来から様々な位置推定の手法が存在するが、いずれの手法にも利点と欠点がある。センサによって位置推定を行う手法として、赤外線センサや加速度センサなどを用いた手法が挙げられる。センサによる手法では、マーカを用いた手法に比べてカメラが撮影した画像を解析する必要がないため、暗闇などの視界が悪い状況においても精度を保つことができる。しかし、高価なセンサ類やセンサからの値を解析する受信機を屋内の空間にあらかじめたくさん配置しなければならず、効率的であるとは言えない。

そこで、本研究で注目したものがカメラである。携帯電話やPDAに搭載されたカメラの普及によって、小型で高性能なカメラの開発が進められ、カメラは人々の日常生活と密接な関係になってきた。さらに、カメラの小型化・高性能化に伴い、カメラから取得した画像をもとに解析を行い、移動量を算出する研究が盛んに行われている。多くの研究は、マーカを天井、壁、または床などに配置し、これらを撮影した画像を処理することで位置推定を行う。しかしながら、これらの研究では、対象がカメラの画像が歪まない程度の比較的低速な移動を行うことを想定して進められている。実運用時には対象が必ずしも低速で移動するとは限らず、カメラを装着し

[†] 現在、東京大学大学院工学研究科電子工学専攻

Currently, Department of Electronic Engineering, School of Engineering, Tokyo University



図 1: Hoff らのマーカ

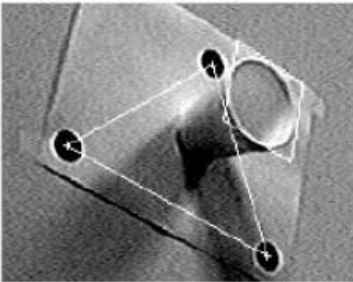


図 2: Neumann らのマーカ

た対象が高速で移動を行った場合、カメラ画像に歪みが生じ、マーカを検出することができなくなるため、移動量の算出が不正確となる。

そこで本研究では、特にインターレースカメラを想定し、カメラが高速で移動する場合を想定し、1フレームの画像の中で、カメラの画像の歪みを利用することで速度ベクトルを割り出し、求めた速度ベクトルと前フレームとのフレームレートによって移動量を算出し、位置推定を行う手法を提案する。提案手法では、前後のフレームの画像と全く共通部分がない場合においても、1フレームの画像のみを処理し、歪みの程度を解析することによってカメラの速度ベクトルを求められる。

以降、2章ではカメラとマーカを用いた位置推定手法に関する関連研究を紹介し、3章ではカメラを用いた移動量算出、4章では提案手法の実装、5章では評価と考察、最後に6章で本稿のまとめを述べる。

2 関連研究

マーカをカメラで撮影する手法として、位置合わせの対象とする物体が1つの場合には、そこに配置した各マーカを検出し、それぞれがいずれのマーカであるかを同定することで、物体の位置と姿勢を得ることができる [1, 2].

文献 [1] では、図 1 に示すような平面状に配置し



図 3: Thomas らのマーカ配置

た 4 点のマーカと、マーカを同定するための 1 点の補助マーカによって位置合わせを実現した。しかし、識別可能な「マーカの組」パターンは 2 種類しかなかった。

一方、文献 [2] では、図 2 に示すような、色の異なる 3 点のマーカを「マーカの組」として、3 点の配置の形状や色のバリエーションによって「マーカの組」のパターンを増やした。しかし、文献 [1, 2] の手法では、複数の「マーカの組」が同時に観測された場合にこれらを分離する手段を有しておらず、複数の物体が同時に観測されるような状況への対処が困難という問題がある。

また、CG によるアニメーションや映画、ゲーム・ソフトウェアの製作などに人の各部の動きを位置座標として連続的に計測するモーションキャプチャにマーカとカメラでの画像処理を用いる手法がある [3, 4, 5, 6]. しかしこれらの手法では、個別にマーカを識別できないため、マーカを交差したり隠れて見失ったりした時に復元できず、撮影終了後にオペレータによる煩雑な編集作業が必要になる。そこで文献 [6] ではマーカに固有の着色したカラーマーカを用い個別に識別する手法を提案している。

また、近年、屋内での位置情報を得る手段として、センサやマーカを用いて位置推定を行なう手法について研究されている [7, 8, 9, 10, 11, 12]. 文献 [7] は、環境中に設置した赤外線ビーコンから信号を受信することにより絶対位置を取得する手法である。しかし、この手法では位置検出は安定に行えるが、電源を必要とするビーコンをインフラとして設置する必要がある。

上述のマーカを用いた位置同定手法のように電源が必要なインフラを設置できない場合や、インフラの設置コストを安価に抑えたい場合、画像マーカを用いてユーザの位置情報を連続的に推定する手法として、Thomas らの手法 [8] や、Kalkusch らの手法 [9] がある。もし仮に、多数の ID 付きマーカを常に十分な個数が観察されるように情景中に配置し、これを検出することができれば、原理的にはあらゆる観察位置において位置合わせをおこなうことができる。



図 4: Baratoff らのマーカ配置



図 5: 羽原らのマーカ配置

Thomas らの手法 [8] では、図 3 のように 9 ビットのバーコードを同心円状に配置することで、512 通りのマーカを作り、それを天井に配置し、マーカ撮影用の上向きカメラで撮影することで位置検出を行なった。

画像マーカを利用した手法では、実環境に位置・形状・色が既知の画像マーカを多数配置し、ユーザが装着したカメラによる撮影画像からそれらを抽出し、ユーザの位置を推定する。Baratoff らの手法 [10] や羽原らの手法 [11] では、図 4, 図 5 のように正方形のマーカを実環境中に配置することによってユーザの位置同定を行っている。

文献 [11] で羽原らは、マーカのパターンから一意に ID を決定できるマーカを提案し、ユーザの位置同定に利用している。このような画像マーカを通常カメラで撮影する手法は、安価でかつインフラに電源を必要としないという利点があるが、図 5 から明らかなように、マーカの種類もたくさんあり、なおかつ配置も乱雑で実環境の景観を損ねてしまうという問題がある。

文献 [12] では再帰性反射マーカと赤外線カメラを用いた手法を提案している。この方法は再帰性反射マーカに赤外線 LED をあて、その反射光を赤外線カメラで撮影する手法で、景観を損ねることはない。

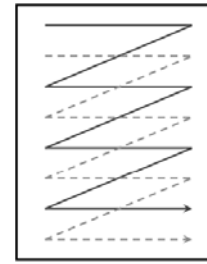


図 6: インターレース方式

しかし、多数の ID 付きマーカをシーン中に配置することは、多くのアプリケーションでは現実的ではない。情景への視覚的影響をより少なくするための選択肢としては、ID 情報を有していない点マーカを用いることが考えられる。ただしこの場合、ほかの情報を利用して同定処理を行なう必要がある。多くの場合は、前フレームでの同定情報を利用して、次のフレームでの同定が行なわれる。

これらの手法すべてにおいて、高速移動による画像の歪みによるマーカの不検出、前画像との共通点なしにより現在地を見失うなど、高速移動による位置推定手法はあまり確立されていない。

3 カメラを用いた移動量の算出

カメラ画像から対象物あるいはカメラ本体が高速に移動する場合の速度を推定する方式では、前フレームと現フレームとで対応する部分を見つけて、その変化量からカメラと物体との対象運動が計測できる。しかし、前フレームと現フレームとで対応する部分が見つからない場合の計測は確立されていない。そこで、現フレームのみでおよその速度を推定し、前フレームとのフレームレートをを用いて、移動量を計測する手法を述べる。

3.1 インターレース方式

今回の提案手法では、インターレース方式のカメラを用いている。1つの画面をスキャンするとき、水平方向の走査線を上から下に走査することを繰り返している。このとき、1つの画面（フレーム）の表示を2回に分けて行い、1回目に奇数行をスキャンし、2回目に偶数行をスキャンする方式のことを「インターレース」という。（図 6）

インターレース方式のスキャン方法は、高速の物体を捉える場合やカメラ本体が高速に移動する場合、スキャンの具合によって取得した画像が歪む。これは、スキャンの実行時間によるもので、インターレースの場合は図 7 のように偶数操作線画像と奇数走査線画像の被写体のずれが生じる。そのずれの方向と距離によって速度ベクトルが求まり、その速度ベクトルをフレームレートと合わせて線形補

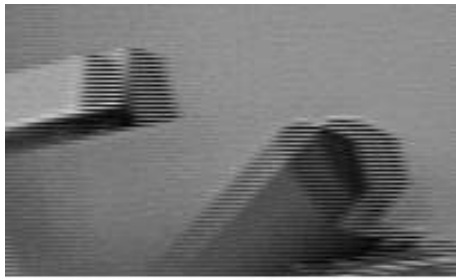


図 7: インターレースによる画像のぶれ

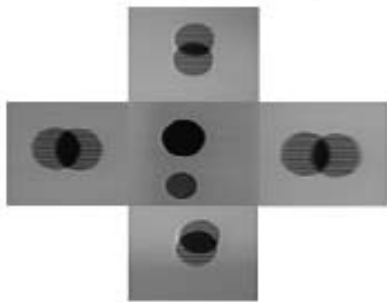


図 8: インターレースによる位置推定手法

完、またはなめらかに補完することによって移動量を測定する（図 8）。

3.2 提案手法の原理

取得した画像 1 枚で速度を得ることにより、前フレームとのフレームレートが分かれば、例えば速度一定を仮定して移動距離を求めることができる。この値は図 9 のようにある程度近い値が求められる。一連の動きに関してはこの場合、図 10 のように実際の移動量に近づくと予想される。もう少しなめらかに速度を補正すれば、実際の移動量により近づけることになる。

今回は、図 9 のよりフレーム間で速度が一定であるとしたとき、移動量を用いて実際の移動量とのずれを調査する。

4 提案手法の実装

4.1 システム構成

本研究で提案するシステムの構成を図 11 に示す。黒色、直径 1.5cm、同一色、同一形状の円形マーカが 10cm 間隔に配置された円を図 11 のように設置する。その円の円周は 200cm であるため、円上には 20 個のマーカが配置されている。また、その円から 18cm の距離にカメラを設置する。背景は、すべて白色に限定する。カメラで撮影された映像は PC に送られる。カメラはアールエフ社製「The CARD

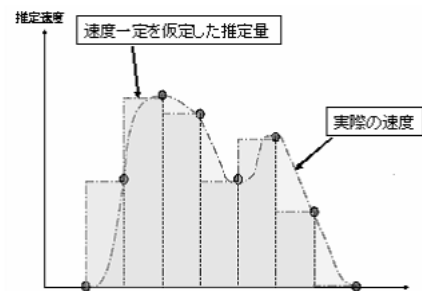


図 9: 実際の速度・移動量と直線的に補完した速度・移動量の関係

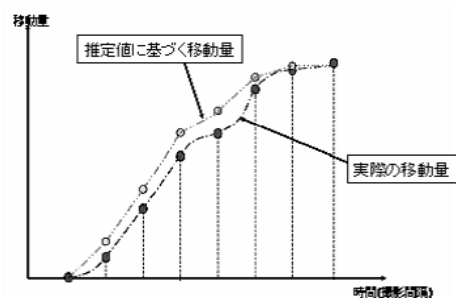


図 10: 実際の移動量の変化と直線的に補完した移動量との関係予想図

7RL」を使用した。このカメラはインターレース方式で画像のスキャンを行う。

4.2 基本

手順を図 13 のフローチャートで説明する。まず、カメラで撮影した 256 階調の画像を取得する。画像の大きさは横の画素数 640、縦の画素数 480 である。次に、マーカ検出を容易にするために画像に二値化処理を行う。二値化の閾値は、黒色マーカの検出を行いやすいよう、その場の明るさに応じて変更して実験を行った。

二値化処理を行った画像の各ピクセルの画素値は、白なら 255、黒なら 0 となっている。それを縦方向に奇数行（偶数行）合計した値を 100 で割ったもので横軸のヒストグラムを作る。そこから閾値 590 以下かつ前列も 590 以下である列の集合をとりだし、その中間の列を x 座標とする。集合が複数ある場合には x 座標が集合の個数分だけ求まることになる。

導き出した x 座標を中心として横 128 縦 96 の小窓を縦に 5 つ作り、それぞれに横軸、縦軸の画素ヒストグラムを作る。作り方は上記の全体画像のヒストグラムの作り方と同じで、各ピクセルの画素値を奇数行（偶数行）縦方向に合計した値を合計した値



図 11: 実験装置

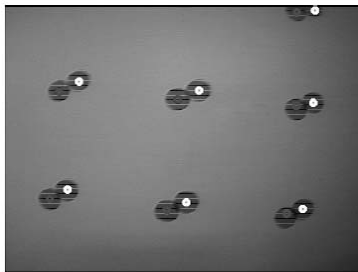


図 12: 奇数行, 偶数行のポイント

を 100 で割ったもので横軸のヒストグラム, 画素値を横方向に合計した値を 100 で割ったもので縦軸のヒストグラムを作る. そこから横軸の閾値以下の列の集合を取り出して, その中間の列を x 座標とし, 縦軸の閾値以下の行の集合を取り出して, その中間の行を y 座標とする. その取り出した x 座標 y 座標から奇数行 (偶数行) ポイントを取り出す.

しかし, このままだと同じマーカに複数のポイントをとってしまう場合がある. そこでマーカの一つのポイントを中心として, 半径約 40 画素にあるポイントと同じポイントとみなすようにしている. この半径 40 画素という値は, マーカからの距離 18cm に位置したカメラから取得した画像において, 同じマーカのポイント集合の範囲を十分に確保できる値である. これで図 12 のように各マーカに奇数行, 偶数行一つずつのポイントがついている状態になる.

次に各奇数マーカ, 偶数マーカの対応付けを行う. この対応付けは奇数マーカを中心に半径 100 画素の範囲で偶数マーカを探し出す. この数字は静止時に隣のマーカが入らず, かつ移動時, さらには高速移動時にも隣のマーカが入らない値である. そして, 対応付けされた奇数マーカ偶数マーカの距離と方向を求め, 各マーカ全体の平均値をとる. このとき, 極端に不自然なマーカの距離と方向は省く. 平

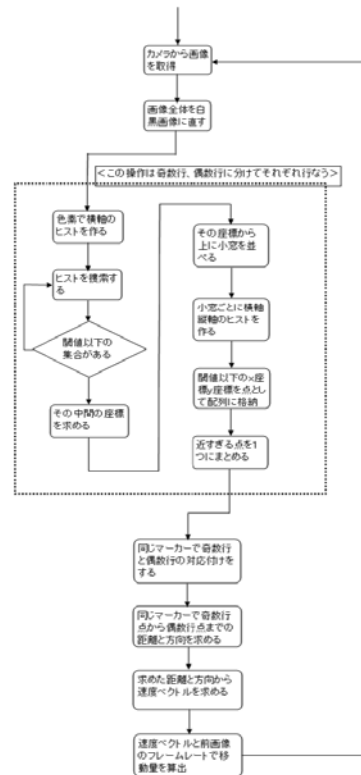


図 13: フローチャート

均値からあらかじめ実験していたデータを元に速度ベクトルを作る. 前画像とのフレームレートとで移動量を算出する. 図 13 にこの手法のフローチャートを示す.

5 評価と考察

5.1 実験環境

- 1 で述べた実験環境を用いて, 実験を行う.

5.2 速度推定実験

この実験は取得した画像中のマーカの奇数点と偶数点の間の画素数を実空間の速度ベクトルに変換する時の値を求める.

1. 図 11 の装置を 1 周回す. 1 周回すと, 円自体は 3 周回ることになり, 実際の移動距離は 600cm である. また, そのとき装置を 1 周回すのにかかる時間を測定しておく.
2. フレームごとに画像を記録しておく. そのとき, その画像内の奇数点偶数点間の画素の平均値と前画像との間のフレームレートを記録しておく.
3. 取り出した連続フレームの画像から実空間の

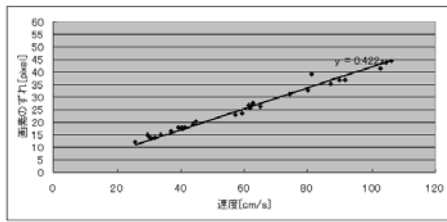


図 14: 速度と画素のずれとの関係（進行方向）

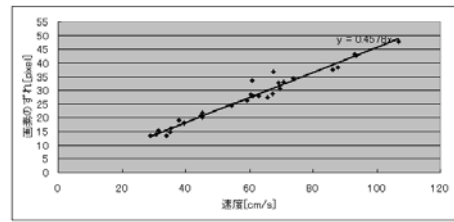


図 16: 速度と画素のずれとの関係（右方向）

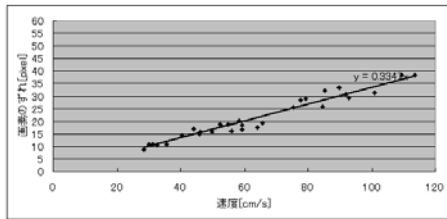


図 15: 速度と画素のずれとの関係（後退方向）

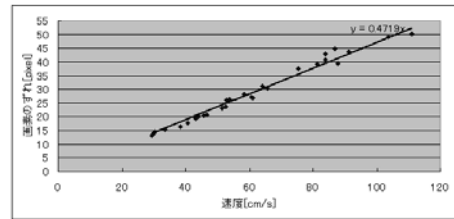


図 17: 速度と画素のずれとの関係（左方向）

移動量を求め、また 1. で求めた時間より 1 周装置を回すときの平均速度を計算する。

4. 1 から 3 の作業を 30 回繰り返す。
5. 求めた速度ベクトルと画素数の平均値をグラフにプロットする。
6. グラフから近似直線を求め、その傾きから画素数から速度ベクトルへの変換値を求める。
7. カメラの方向を変えて、カメラに対して進行方向、後退方向、右方向、左方向の 4 方向にマーカが動くようにし、それぞれの方向について同様の実験を行う。

図 14～図 17 は進行方向、後退方向、右方向、左方向の速度と画素数のずれをプロットした図である。

各実験の変換値はそれぞれ進行方向：0.4220、後退方向：0.3347、右方向：0.4578、左方向：0.4719 となった。

ここで、変換値とは、1 ピクセルが何 cm であるかを示す値であり、図 14～図 17 の傾きから求められる。

5.3 評価実験

この実験は実際動いた距離とシステムによって算出された移動量とのばらつきを求めるものである。

1. 図 11 の実験環境にて 600cm カメラを移動させる。すなわち、装置を 1 周させる。
2. 速度推定実験で求めた変換値を用いて、前画像からの移動量を算出する。

3. 取り出した連続フレームの画像から実空間の移動量を求める。

4. 2,3 の作業を繰り返し、積み重ねることで、全体の移動量を算出する。

5. 1 から 4 の作業を 30 回繰り返す。

6. 得られた値をグラフにし、実際の移動量とのばらつきを調べる。

7. カメラの方向を変えて、カメラに対して進行方向、後退方向、右方向、左方向の 4 方向にマーカが動くようにし、それぞれの方向について同様の実験を行う。

図 18～図 21 は進行方向、後退方向、右方向、左方向の実際の移動距離とシステムが算出した移動距離との差を示した図である。

5.4 考察

速度推定実験では、図 14～図 17 から明らかのように 1 つの画像から取り出される奇数マーカ、偶数マーカの間画素数は実空間の速度に比例しており、画素数から速度を算出することがわかった。また、何度も実験を繰り返した結果、カメラが進む方向および実験環境の明るさによって変換値が異なることも分かった。

評価実験では、図 18～図 21 から分かるように、30 回の実験のうち、600cm の移動に対して誤差が -30cm から +30cm の範囲に収まった回数が、進行方向：18 回、後退方向：18 回、右方向：21 回、左方向：23 回であり、比較的正確な位置推定が行われているという結果が得られた。

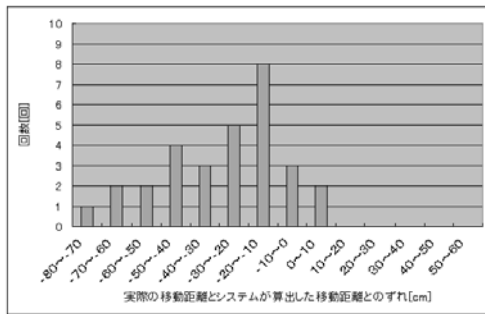


図 18: カメラを 600cm 移動したときのシステムの算出した移動量とばらつき（進行方向）

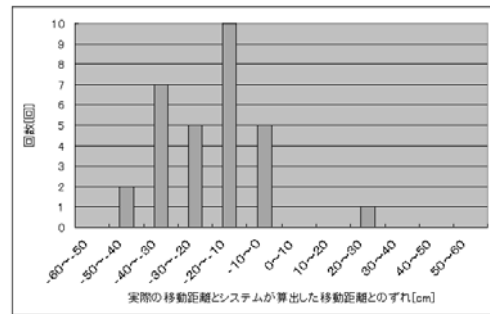


図 20: カメラを 600cm 移動したときのシステムの算出した移動量とばらつき（右方向）

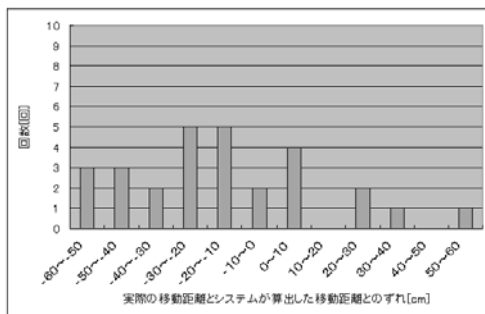


図 19: カメラを 600cm 移動したときのシステムの算出した移動量とばらつき（後退方向）

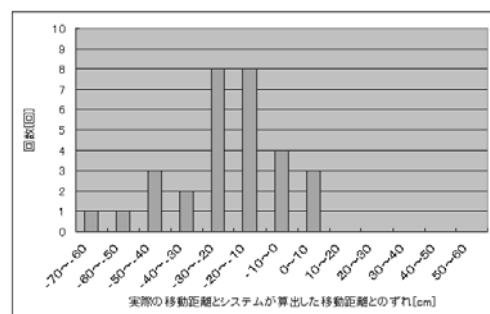


図 21: カメラを 600cm 移動したときのシステムの算出した移動量とばらつき（左方向）

しかし、中には誤差が 60cm 以上という結果も出た。その理由として以下のことが考えられる。

- カメラのノイズ。
- 適切な閾値が設定できているか分からない。

カメラのノイズに関しては、ノイズの少ないカメラを用いることで解決できると思われる。

実験環境の照明条件によって閾値が変わるが、その場の明るさに最も適した閾値を設定することはなかなか難しい。また、背景部分の濃度値や対象部分の濃度値が画像全体で一定していないことがある。その場合、画像に明るいところと暗いところの差ができてしまい、暗いところを黒色マーカと間違えてシステムが認識してしまうことで、位置推定に誤差が生じてしまうことがある。その問題を解決するために、画素ごとに閾値を変化させる可変閾値処理を取り入れる必要があると考えられる。

6 まとめ

今回の研究をふまえた今後の課題として、次のようなものが挙げられる。

- 実験環境を改善し、より正確な位置推定ができるようにする。

- カメラの移動方向を 4 方向ではなく、8 方向、回転さらには 3 次元空間など、さまざまな方向に動かしても位置推定が行われるようにする。
- 1 つの画面を 1 回の走査で表示させるノンインターレース方式のゆがみを利用した、同様のシステムを作る。(図 22,23)
- 円形マーカ以外にも、様々な規則的パターンにも対応できるようにする。

さらに、このシステムの応用分野として次のようなものが挙げられる。

- 屋内のナビゲーションシステム
- 拡張現実感アプリケーション
- 移動ロボットの位置推定
- 移動物体の速度推定

謝辞 本研究の一部は、文部科学省特定領域研究「情報爆発のための装着型入出力デバイスを用いた情報操作方式」(18049058) によるものである。ここに記して謝意を表す。



図 22: ノンインターレースによる画像のぶれ

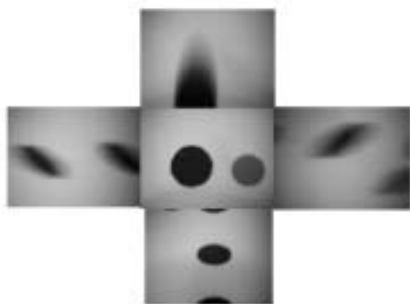


図 23: ノンインターレースによる位置推定手法

参考文献

- [1] W. A. Hoff and K. Nguyen: Computer Vision-based Registration Techniques For Augmented Reality, Proc. SPIE, vol.2904, pp. 538-548, Nov. 1996.
- [2] U. Neumann and Y. Cho: A Self-tracking Augmented Reality System, Proc. VRST '96, pp.109-115, July 1996.
- [3] 角保志, 石山豊, 富田文明: ステレオビジョンシステムのためのモデルベースアプローチによる自由曲面体の実時間運動追跡, 信学論 (D-2), VOL.J84-D-2NO.8, pp. 1693-1700, Aug. 2001.
- [4] 西村拓一, 十河卓司, 小林しのぶ, 岡隆一, 石黒浩: 動き変化に基づく View-based Model による動作認識, 信学論 (D-2), VOL.J84-D-2NO.10, pp. 2212-2223, Oct. 2001.
- [5] 桐島俊之, 佐藤宏介, 千原國宏: 多注視点の選択制御による身振りの実時間画像認識, 信学論 (D-2), VOL.J84-D-2NO.11, pp. 2398-2407, Nov. 2001.
- [6] 幡生安紀, 川辺貴裕, 白岩信夫, 浅田勝彦: カラーマーカを用いたリアルタイムモーションキャプチャシステム, 電子情報信学会, 巻号 102, pp. 25-30, July 2002.
- [7] R. Tenmoku, M. Kanbara and N. Yokoya: A Wearable Augmented Reality System Using Positioning Infrastructures And A Pedometer, Proc. IEEE Int Symp. on Wearable Computers, pp. 110-117, 2003.
- [8] B. Thomas, B. Close, J. Donoghue, J. Squires, P. D. Bondi, M. Morris and W. Piekarski: AR-Quake: An Outdoor/Indoor Augmented Reality First Person Application, Proc. ISWC 2000, pp. 139-146, 2000.
- [9] M. Kalkusch, T. Lidy, M. Lnapp, G. Reitmayr, H. Kaufmann and D. Schmalstieg: Structured Visual Markers for Indoors Pathfinding, Proc. of The First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop(ART02), Sep. 2002.
- [10] G. Baratoff, A. Neubeek, H. Regenbreeht: Interactive Multi-marker Calibration For Augmented Reality Application, Proc. 1st IEEE/ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2002), pp. 107-116, 2002.
- [11] 羽原寿和, 町田貴史, 清川清, 竹村治雄: ウェアラブル PC のための画像マーカを用いた広域屋内検出機構, 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2003-76, 2004.
- [12] 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和: 再帰性反射マーカと赤外線カメラを用いた位置同定システム, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004) 講演論文集, Vol. I, pp. 119-120, July 2004.