

物体検出のための周波数スペクトルマーカに関する研究と開発

Development of Frequency Spectrum Marker for Object Detection

2001010



研究代表者 山梨大学大学院 医学工学総合研究部 助教 豊 浦 正 広

〔研究の目的〕

画像マーカをカメラで観測することで、これを貼った物体の位置・姿勢を知ることができる。ロボットなどの機械は、カメラを通して自身と世界の位置関係を理解する。機械に検出しやすいマーカができると、機械は人間世界をより詳しく理解できるようになる。

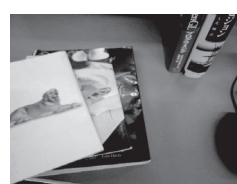
従来の画像マーカは、観測画像のぶれに弱いという欠点があった。ロボットが移動しながら周囲を観測するような状況においては、この欠点は致命的となる。我々は周波数スペクトルに特徴を持つマーカを提案することで、この欠点を克服する。提案するマーカは観測画像のぶれに頑健であり、GPUを用いて高速に抽出することができる。

〔研究の内容、成果〕

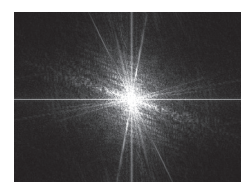
1 動きぶれと焦点ぼけによる高周波成分抑制

従来の画像マーカである ARTToolKit のマーカや QR コードは、高周波成分であるエッジでパターンを表現する。このため、動きぶれや焦点ぼけがあるときには、観測画像の高周波成分が抑制され、画像マーカをうまく検出することができなかった。

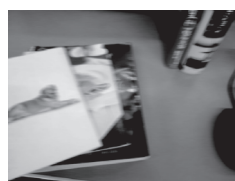
動きぶれはカメラの露光中にカメラと撮影対象物体の相対位置が変わることによって生じる。カメラ自体が動く場合や、撮影対象物体が動く



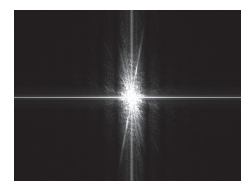
(a) 原画像



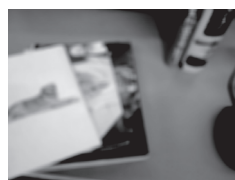
(b) (a) の周波数スペクトル



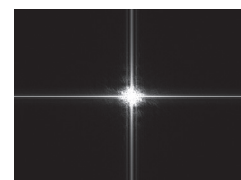
(c) 動きぶれを含む画像



(d) (c) の周波数スペクトル



(e) 焦点ぼけを含む画像



(f) (e) の周波数スペクトル

図1 動きぶれや焦点ぼけによる周波数スペクトルの変化

場合がこれに当たる。図1(a)に示す観測画像があるとき、図1(b)に示すような周波数スペクトルが得られる。これに対して、横方向の動きぶれが起こると、図1(c)に示すような画像が得られる。垂直方向のエッジで高周波成分が失われ、図1(d)に示す周波数スペクトルでは、横軸方向に高周波な成分が失われていることがわかる。

一方で、焦点ぼけはカメラの焦点位置とカメラから撮影対象物体までの距離が異なるときに

起こる。焦点ぼけの大きさは、焦点距離から撮影対象物体が離れるほどに大きくなる。図 1 (a) に示した観測画像に対して焦点ぼけが起これば、図 1(e) に示すような画像が得られる。全方向のエッジで高周波成分が失われ、図 1 (f) に示す周波数スペクトルでは、全方向に高周波成分が失われていることがわかる。

動きぶれや焦点ぼけが生じると、観測画像の高周波成分が抑制されることになる。たとえば、拡張現実感実現のためには、移動環境で撮影を行うことが多く、動きぶれを生じさせないことは難しい。また、撮影対象が複数あり、それらとカメラまでの距離が異なる場合には、両方の撮影対象物体に焦点を合わせることはできない。従来の画像マーカは、高周波成分であるエッジでパターンを表現するために、動きぶれや焦点ぼけのある観測画像上でマーカの位置・姿勢の推定をすることが難しいことがあった。

2 モノスペクトルマーカの設計

我々は、図 2(a) に示すように色が単一の低周波で変化するマーカを設計した。これをモノスペクトルマーカと呼ぶ。単一の低周波成分しか持たないマーカは、動きぶれや焦点ぼけなどによる観測画像の高周波抑制の影響を受けにくい。単一の低周波で構成されることを特徴として観測画像上を探索すれば、マーカ領域を検出することができる。

2.1 色の決定

(1) 色相 H の設計

図 2(d) に示すように、ある H の値を、マーカの四隅の色として定義する。本研究では、黄色 ($H=60$) をこの色とする。 H の値を手掛かりのひとつとしてマーカの四隅を検出するので、マーカ以外の領域の色としてあまり現れない色が望ましい。仮に現れたとしても、単一の低周波でないような領域でなければ四隅としては検出されないため、あまり問題とはならない。

また、青周辺の色は明度 V が低く観測され

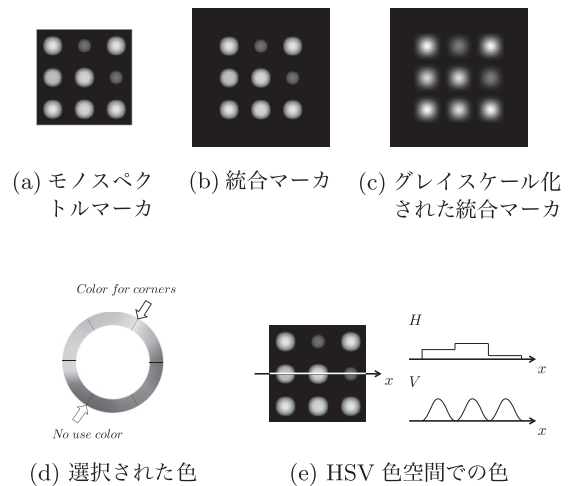


図 2 モノスペクトルマーカの設計

やすく、明度を手掛かりとする検出が難しいので、使用しないことにする。他の色を四隅以外の色として用いる。

色の並びをパターンとしてマーカを識別するので、それぞれの色が区別可能なように、 H の値が観測画像からでも識別可能となるように色を選択した。本稿では、実験的に求めた識別可能な色として $H=60n$ ($n=0, 2, 3, 5$) となる 4 色を採用した。

(2) 彩度 S の設計

彩度 S は、それぞれの色で最大となるように設定する。

(3) 明度 V の設計

明度 V は、図 2(e) に示すように単一の低周波で変化するよう設計する。マーカ検出のときには、 V が単一の低周波で変化することを利用することができる。

2.2 ARTToolKit のマーカとの併用

マーカの位置は、低周波成分で構成される領域の中で、極大値を取る位置によって定義することになる。低周波信号で極大値を取る位置を検出する精度は、高周波成分であるエッジ位置を検出する精度に比べて劣る。たとえば、ARTToolKit のマーカでは、高周波成分であるコーナーによってマーカの位置を定義しており、

焦点ぼけや動きぶれがないときには、モノスペクトルマーカよりも高い検出精度が期待できる。

そこで、図 2(b) に示すように ARToolKit のマーカと併用することで、焦点ぼけや動きぶれがないときには ARToolKit のマーカとして検出されるようにすることを提案する。ARToolKit であるためのマーカの条件は、(1) 黒の矩形枠を持つことと、(2) 枠内部のパターンがマーカごとに異なることである。ARToolKit の検出および識別は、グレースケールに変換して行われる。図 2(b) に示すマーカは、グレースケールに変換すると図 2(c) に示すように見え、ARToolKit のマーカであるための 2 つの条件を満たす。

3 実験

実験では、図 2(b) に示したモノスペクトルマーカと ARToolKit のマーカを併用するものを観測した。実験には Logicool 社製ウェブカメラ Qcam S7500 を用い、解像度 640×480、フレームレート 15 fps で撮影を行った。処理端末は、CPU は Intel Core 2 Duo 2.66 GHz、GPU は NVidia GeForce GTX295 896 MB を搭載したものを利用した。

実験ではまず、カメラを動かしながら観測画像列を獲得した。このとき、動きを小さくし、かつ、焦点をマーカに合った状態で撮影することで、動きぶれや焦点ぼけがほとんどない観測画像列となるようにした。この画像列に対して、動きぶれと焦点ぼけを人工的に付加した。

それぞれの画像列に対する実験結果を図 3 と図 4 に示す。図 3(a) と図 4(a) は、動きぶれと焦点ぼけをそれぞれ付加した画像の例である。元の観測画像列で ARToolKit によって検出されたマーカ中心位置の座標を正解として、それぞれの生成画像列に対して検出されたマーカ中心位置の座標との誤差を調べた。

図 3(c) は、動きぶれがある画像列に対して、ARToolKit のマーカとして中心位置を検出した結果である。横軸がフレーム番号、縦軸が正

解からの誤差である。ただし、マーカを検出することができなかったフレームでの誤差は、正の無限大としてグラフを作成している。いくつかのフレームに対して、マーカを抽出することができなかったことがわかる。誤差の平均は 27.8、分散は 320.0 であった。対して、図 3(d) は、提案するモノスペクトルマーカとして位置を検出した結果である。ただしこのとき、ARToolKit によって検出される位置・姿勢は利用していない。すべてのフレームでマーカの位置を検出することができ、ARToolKit のマーカとして検出した位置よりも誤差も小さいことがわかる。誤差の平均は 18.5、分散は 90.0 であった。動きぶれがあるときには、動きと垂直な方向のエッジが検出しにくくなり、結果として ARToolKit のマーカとして検出した位置は精度が悪くなる。また、原理的には動きぶれの影響を受けないはずのモノスペクトルマーカにも誤差が生じており、2.2 で説明したように ARToolKit と併用することが必要であることも確かめられた。図 3(b) は、モノスペクトルマーカによって検出したマーカ位置に合わせてティーポットを重畳表示した画像である。マーカ位置・姿勢が正しく推定されていることがわかる。

図 4(c) は、焦点ぼけがある画像列に対して、ARToolKit のマーカとして位置を検出した結果である。すべてのフレームに対して、マーカを抽出することができたものの、誤差は高いところで安定した。誤差の平均は 42.6、分散は 12.4 であった。対して、図 4(d) は、提案するモノスペクトルマーカとして位置を検出した結果である。このとき、動きぶれのとくと同様に、ARToolKit によって検出される位置・姿勢は利用していない。すべてのフレームでマーカの位置を検出することができ、ARToolKit のマーカとして検出した位置よりも誤差も小さいことがわかる。誤差の平均は 18.3、分散は 85.2 であった。焦点ぼけがあるときには、すべての方向のエッジが検出しにくくなり、ARToolKit

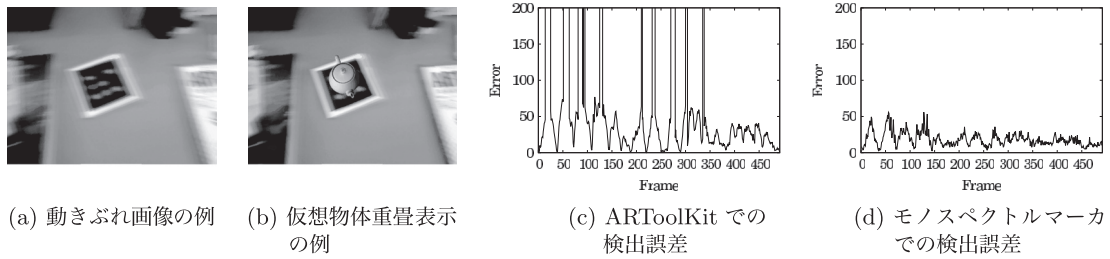


図3 動きぶれを含む画像列に対するマーカ位置推定結果

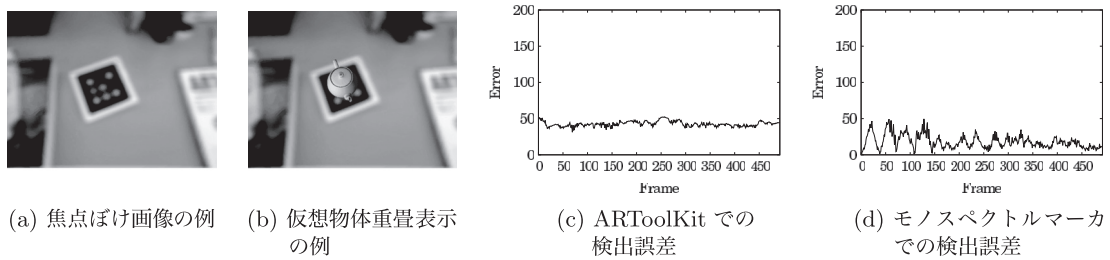


図4 焦点ぼけを含む画像列に対するマーカ位置推定結果

のマーカは実際よりも遠くに見える効果があった。このため、誤差は全体的に大きくなった。モノスペクトルマーカでは、動きぶれの場合と同様に高い精度で検出できていることが確かめられた。

図4(b)は、モノスペクトルマーカによって検出したマーカ位置に合わせてティーポットを重畳表示した画像である。焦点ぼけがある画像に対して、マーカ位置・姿勢が正しく推定されていることがわかる。

実験では、毎秒11フレーム以上で処理が実現し、ほぼ実時間で処理できることが確かめられた。この処理速度は、GPUの性能向上や専用チップを利用することによって、さらに向上する可能性がある。

[今後の研究の方向、課題]

今後の課題として、モノスペクトルマーカ抽

出の信頼度の計算を検討することを挙げる。2.2において、ARToolKitのマーカと併用することを提案し、実験においてもモノスペクトルマーカとARToolKitのマーカの両方の性質を持つマーカを利用した。しかし、どちらの推定結果を利用するかを抽出の信頼度によって選択する手法については、まだ実現していない。どれほどの動きぶれや焦点ぼけによって、どれほどARToolKitのマーカの推定精度が低下するのか、モノスペクトルマーカの推定結果がどの程度で優位になるのかを調べる必要がある。信頼度が適切に計算できれば、両方のマーカの性質を生かしたマーカの実用が実現できる。

[成果の発表、論文等]

1. 有賀治人, 豊浦正広, 茅暁陽: “動きぶれや焦点ぼけがある画像からでも抽出できる拡張現実マーカの実現,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) (2011)