

# 情報機器プロトタイピングのためのモデルベース画像トラッキング

北海道大学 ○内山 圭太, 金井 理

## 要旨

高性能な情報機器の普及に伴いユーザインターフェース(UI)のユーザビリティを考慮した設計の重要性が高まっており、機器開発の初期段階でユーザビリティ評価を可能とする、仮想実体融合型プロトタイプの研究が進められている。本研究では高価な機器を用いず同プロトタイプを実現することを目的に、カメラ画像から筐体の3次元の位置姿勢を推定するモデルベース画像トラッキングのシステムを構築し、その高精度化を実現した。

## 1. はじめに

情報機器の普及に伴い、ユーザビリティに配慮したユーザインターフェース(UI)品質の実現が、情報機器に求められている。特に携帯型情報機器のユーザビリティ評価では、筐体形状とUI画面の両者を同時に評価できる必要がある。通常この評価には、UI 可動型物理プロトタイプが使われるが、このプロトタイプは高価でかつ開発後期でなければ入手できない。一方、筐体みの物理モック上に拡張現実感により仮想UI画面を重畳する仮想実体融合型プロトタイプの研究もなされているが[1][2], [1]は非常に大きなマーカを物理モック上に取り付ける必要があり, [2]はマーカの一部が手で隠されるとトラッキングが不可能になる, という問題をもつ。

そこで本研究では、図1に示す通り、ユーザが把持するマーカのない情報機器筐体の物理モック画像に対して、3次元CADモデルの実時間トラッキングを行うシステムの開発を目的とする。前報[3][4]では筐体3次元モデルを利用したマーカレストラッキングの基本機能を開発し、そのトラッキング精度を評価した。本報では、トラッキングの画像処理方法に改良を加え、精度を向上させたので報告する。

## 2. モデルベース画像トラッキングアルゴリズム

本研究では、Comportらの手法[5]を応用し、ユーザが把持する筐体物理モックアップ実画像に対し、筐体CADモデルから作成された3次元仮想オブジェクトをトラッキングさせる。この手法は、図2に示す3つの処理で構成される。なお、トラッキング理論の詳細は、前報[3][4]で既報告である。現時点では、トラッキング処理でのedge抽出安定化を図るため、図5(b)のように、筐体の仮想オブジェクトは単純直方体形状とし、同一形状の筐体をRP装置により白色ABSライク樹脂で造型し、その筐体上の稜線を黒マジックで描画したものを物理モックアップとして利用している。

本トラッキング処理は、以下の3処理で構成される。

### 1) 特徴点探索

仮想オブジェクトのedge上に特徴点を定義し、それらに対応した物理モック上の対応点を実画像から探索する。探索は仮想オブジェクト特徴点に乗っているedgeの法線方向に行い、一定範囲内に物理モックのedge部分が見つけれられた場合に、その点を対応点とする。物理モック上のedge抽出はSobelオペレータを用いている。

### 2) 特徴点への重み付け

特徴点と対応点間の差分ベクトルから特徴点毎の信頼度を示す重みを算出する。前報[3][4]では、この差分が正規分布をするという仮定の下、式(1)により重みを算出していた。

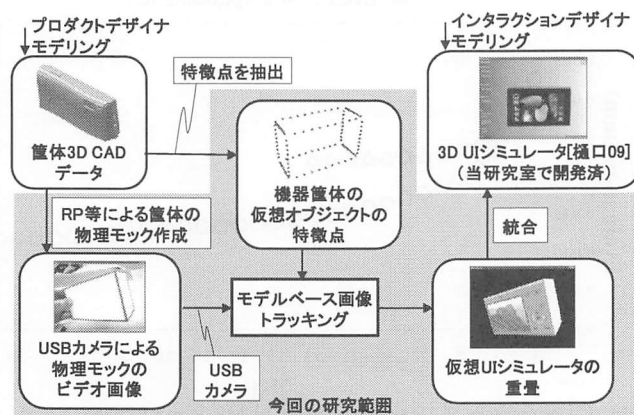


図1 本研究の概要

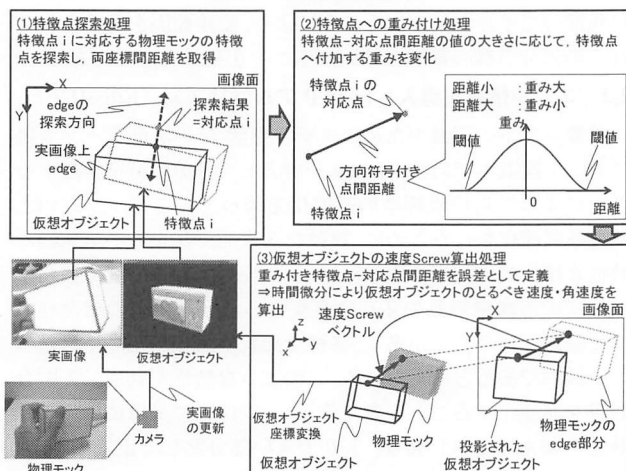


図2 マーカレストラッキングの概要

$$\omega_i = \begin{cases} (C^2 - (\delta_i/\delta)^2) & (|\delta_i/\delta| \leq C) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $\omega_i$ は特徴点*i*の重み、 $\delta_i$ は特徴点*i*と対応点*i*の点間距離の感度を増幅させて正規化した値、 $\delta$ は全特徴点の中央値に対する $\delta_i$ の絶対偏差、 $C$ は閾値をそれぞれ表す。しかしこれまでの実験より、特徴点-対応点間距離は必ずしも正規分布に近い分布を持たず、むしろ図3の様に0付近と $|C| \leq \delta_i/\delta$ の範囲に分布する 경우가多く、式(1)の重み付けでは仮想オブジェクトの位置姿勢の修正に必要なこの範囲において重み値が0となり、位置姿勢の修正に寄与しないという問題点が明らかになった。そこで今回新たに、式(2), (3)の二通りの重み付け計算法を本研究で提案する。各重みの分布を図4(a)(b)に示す。

$$\omega_i = \begin{cases} (C^2 - u_i^2)^2 & (|u_i| \leq C) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\omega_i = \begin{cases} (u_i + (C_1 + C_2))^2 \cdot (u_i + (C_1 - C_2))^2 & (-C_1 - C_2 \leq u_i \leq -C_1) \\ C_2^4 & (-C_1 \leq u_i \leq C_1) \\ (u_i - (C_1 + C_2))^2 \cdot (u_i - (C_1 - C_2))^2 & (C_1 \leq u_i \leq C_1 + C_2) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $u_i$ は  $i$  番目の特徴点と対応点の間の方向符号付き距離、 $C$ と $C_1$ 、 $C_2$ は重みを決定する際に用いる閾値をそれぞれ表す。

3) 仮想オブジェクトの速度 Screw 算出

上式で計算された重みを加味しながら、両特徴点の偏差を 0 にするような現在位置姿勢を修正する仮想カメラの速度・角速度を表す速度 Screw を式(4)で算出し、その逆変換として仮想モデルの位置姿勢を移動する。この仮想カメラの速度 Screw  $v$ は式(4)で計算される。

$$v = -\lambda(DL_s)^+ D(s(r) - s^*) \quad (4)$$

ここで、 $\lambda$ は速度 Screw のゲインを、 $D$ は上記 2)で求められた重み $\omega_i$ を対角成分に並べた行列、 $L_s$ は相互作用行列と呼ばれる、画像面での位置姿勢の変化に対する各特徴点を持つ感度を示す 6 次元ベクトルを縦に並べた行列、 $s(r) - s^*$ は特徴点-対応点間符号付き距離を縦に並べたベクトルをそれぞれ示す。また $(A)^+$ は、 $(A)^+ = (A^T A)^{-1} A^T$ で定義される疑似逆行列を表す。なお相互作用行列 $L_s$ は、特徴点-対応点の点間符号付き距離の時間微分によって定義され、毎時更新する。

3. 実験結果

提案手法を用い、 $C = 25, C_1 = 10, C_2 = 15$ として、特徴点間の重み $\omega_i$ に式(2), (3)の各々を用いてトラッキングを行い、5通りの物理モックの姿勢で精度を検証した。トラッキングの様子を図5に示す。なお、トラッキング用計算機は Core i7 (2.8GHz)、カメラは Logicool QcamS7500 (画像解像度: 1280 × 960)、特徴点数は最大 315 点 (可視領域内の辺数により変化)であり、画像処理には OpenCV と Direct3D を組み合わせて実装した。トラッキング速度は、画像による仮想オブジェクトの速度 screw を更新するのみの場合は 20fps、図5(a)に示すテクスチャ付仮想オブジェクトの描画更新を行うと 8fps であった。

トラッキング精度は、オブジェクト静止状態でのカメラ画像上に透視投影された仮想オブジェクト全特徴点と、物理モック対応点間距離の 2 次元及び 3 次元での平均誤差により評価した。その結果を図6に示す。この結果より、実空間上の平均誤差は式(2)を用いると 0.09mm、式(3)で 0.07mm 程度、画像面上の平均誤差は式(2)で 0.03mm、式(3)で 0.02mm 程度であり、従来のトラッキングの手法より誤差が 1/2 から 1/8 に減少し、トラッキング収束時間も十分に速くなった事を確認した。

4. 結論

情報機器ユーザビリティ評価向け仮想実体融合型プロトタイプに必要となる、マーカレストラッキングの基本機能を開発した。また実験により、そのトラッキング精度を従来のものに比べ 2 倍から 8 倍程度に向上させ、評価に妥当な精度を持つ事を確認した。今後は、トラッキング速度の向上に取り組む。

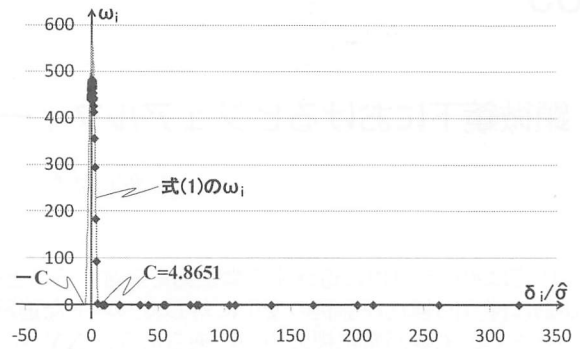
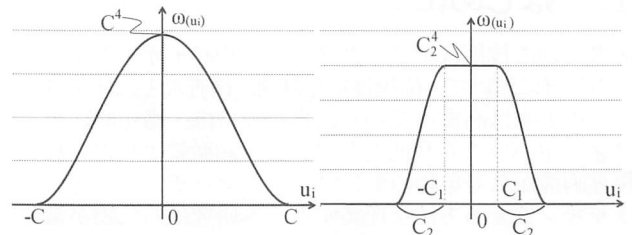
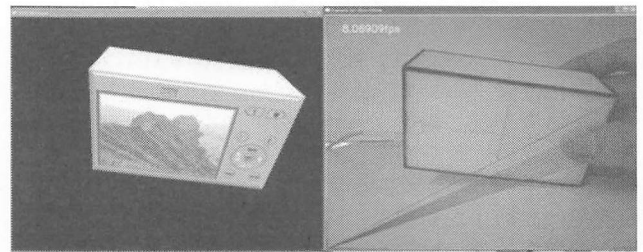


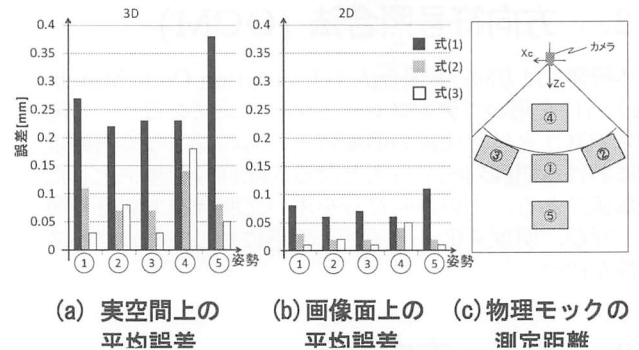
図3 式(1)の $\omega_i$ の関数形と実際の $\delta_i/\hat{\delta}$ の分布例



(a) 式(2)の分布 (b) 式(3)の分布  
図4 提案する重み $\omega_i$ の分布



(a) 仮想オブジェクト (b) 物理モック  
図5 トラッキングの様子



参考文献

[1] 高橋, 他: 携帯情報機器開発のための触感知拡張現実感システム, 日本設計工学会誌設計工学, 45(7), pp.22-25,(2010)  
 [2] H.Park et al.: "Tangible augmented prototyping of digital handheld products", Computers in Industry, 60, pp.114-125, (2009)  
 [3] 内山, 他: 三次元 UI シミュレーションの為の実時間マーカレストラッキングの基礎研究, 精密工学会北海道支部 50 周年記念学術講演会講演論文集, pp.65-66,(2009)  
 [4] 内山, 他: Mixed Reality を用いた 3 次元 UI シミュレーションの研究 -マーカレストラッキングによる物理モックアップの位置姿勢推定-, 2010 年度精密工学会春季大会講演論文集, pp.661-662,(2010)  
 [5] A.I. Comport et al.: "Real-Time Markerless Tracking for Augmented Reality: The Virtual Visual Servoing Framework", IEEE Trans on visualization and computer graphics, 12(4), pp.615-628,(2006).