

3次元UI シミュレーションの為の 実時間マーカストラッキングの基礎研究

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いる。ユーザビリティ評価では、筐体形状と UI 画面の両者の操作容易性が同時に評価できる必要がある。本研究では高価なプロトタイプ試作無しでユーザビリティ評価を行うことを目的に、カメラ画像からマーカストラッキングにより筐体物理モデルの3次元の位置姿勢を推定し、拡張現実感により UI 画面を重畳するシステムの基礎部分を構築したので報告する。

1. はじめに

情報機器の一般ユーザへの普及に伴い、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、筐体の物理モックアップ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]、磁気センサやマーカなどトラッキングのために高価で特殊な設備が必要となる問題をもつ。

そこで本研究では、図1のようにカメラから撮影されたユーザが把持する情報機器筐体の物理モックアップ画像に対し3次元 CAD モデルを実時間トラッキングさせ、そのモデル上に仮想 UI 画面を重畳させ、操作シミュレーションを可能とする新たな仮想実体融合型プロトタイプの開発を目的とする。本報では、その基本機能である筐体3次元 CAD モデルを利用したマーカストラッキング機能を開発したので報告する。

2. 実時間マーカストラッキングアルゴリズム

本研究は、Comport らの手法[2]を用い、筐体物理モックアップのマーカストラッキングを行う。この手法は、図2に示すように以下の3ステップで構成される。1) 仮想オブジェクト上の特徴点に対応する物理モック上の特徴点を画像から探索する。2) 両特徴点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。3) 重みを加味しながら、両特徴点の偏差を0にするような、仮想オブジェクトを撮影する仮想カメラの速度・角速度を算出し、仮想モデルの位置姿勢を変換する。

以下にこれらの詳細を説明する。

ステップ1) 仮想モデルと物理モックの対応する特徴点習得

特徴点探索の概要を図3に示す。まず、カメラで得た物理モックの実画像からエッジを抽出する。次に、あらかじめエッジ上に特徴点が設定された仮想オブジェクトの各特徴点の3次元座標を、実画像と同一画面上の2次元座標へ投影する。そして仮想オブジェクトの各特徴点座標の近傍で、物理モック画像上のエッジを探索し、一定範囲内で最初に発見した座標値を対応特徴点とする。エッジの探索方向は、仮想オブジェクト特徴点に乗っているエッジの法線方向である。

ステップ2) 各特徴点への重み付け

各特徴点へ重み付けを行う際に用いる変数を図4に示す様に定義する。まず、対応する物理モック特徴点と仮想オブジェクト特徴点の間の偏差ベクトル $s_i(r) - s_i^*(r)$ を取得し、非単調減少関数である影響関数 ρ (式(1)より) により Δ_i を得る。

$$\Delta_i = \rho(s_i(r) - s_i^*) \quad (1)$$

ここで、影響関数 ρ は式(2)で定義される。

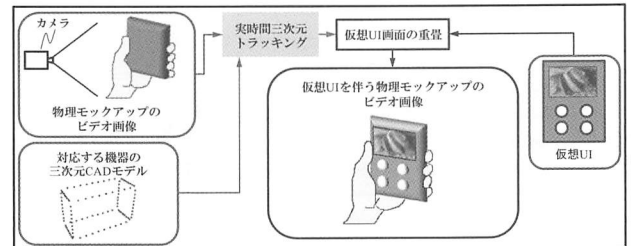


図1 仮想実体融合型プロトタイプ概念図

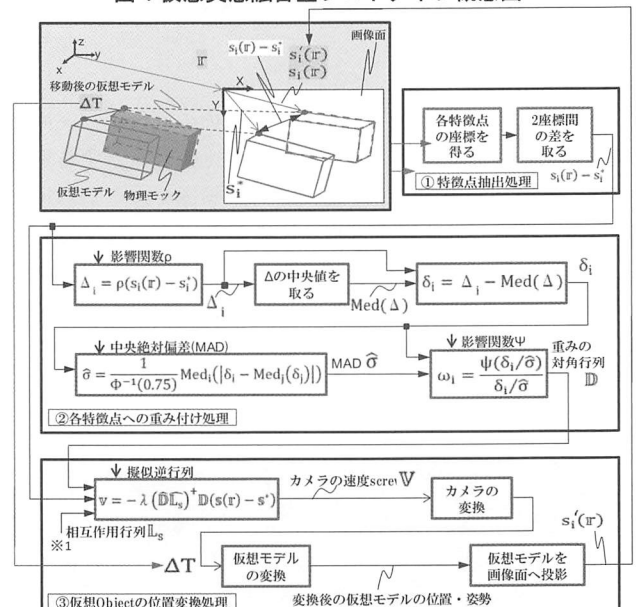


図2 トラッキングアルゴリズム

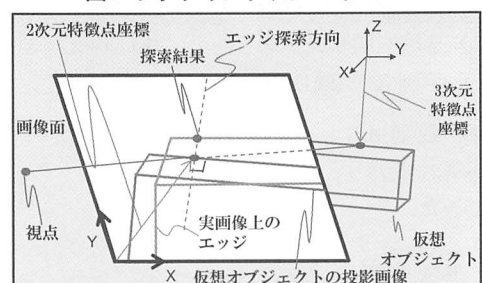


図3 特徴点探索の概要

$$\rho(u) = \begin{cases} \frac{1}{6}u^6 + \frac{c^2}{2}u^4 + \frac{c^4}{2}u^2, & \text{if } |u| \leq C \\ \rho(u), & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 C は閾値であり、統計的に 4.68 程度が適している。この影響関数は非単調減少分布をとる。次に式(1)より得た Δ_i の中央値と Δ_i との差分をとり、式(3)のように正規化する。

$$\delta_i = \Delta_i - \text{Med}(\Delta) \quad (3)$$

さらに中央絶対偏差を用いることで偏差 $\hat{\sigma}$ を得る。

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{\Phi^{-1}(0.75)} \text{Med}_i(|\delta_i - \text{Med}_i(\delta_i)|) \quad (4)$$

この $\hat{\sigma}$ を用い、各特徴点での点間距離に応じた重み ω_i を式(5)

で定義される.

$$\omega_i = \begin{cases} (C^2 - (\delta_i/\delta)^2)^2, & \text{if } |u| \leq C \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

ステップ3) 仮想オブジェクトの位置・姿勢変換

まず, ステップ2)で得た特徴点ごとの重みを対角成分に並べた対角行列 \mathbb{D} により $\mathbf{s}(\mathbf{r}) - \mathbf{s}^*$ をスケーリングし, トラッキング誤差 \mathbf{e} を式(6)の様に定義する.

$$\mathbf{e} = \mathbb{D}(\mathbf{s}(\mathbf{r}) - \mathbf{s}^*) \quad (6)$$

この \mathbf{e} を $\mathbf{0}$ にすれば, 画像面上で仮想オブジェクトと物理モックが重なり, トラッキングが行える. また, トラッキング誤差 \mathbf{e} は, 時間経過により収束するものと仮定すると, 式(7)と定義できる.

$$\dot{\mathbf{e}} = -\lambda \mathbf{e} \quad (7)$$

ここで, λ は仮想オブジェクトの速度ゲインを示す.

重みの対角行列 \mathbb{D} が一定値であると仮定した場合, 式(6)(7)よりトラッキング誤差 \mathbf{e} の導関数は式(8)のように表わすことができる.

$$\dot{\mathbf{e}} = \frac{\partial \mathbf{e}}{\partial \mathbf{s}} \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial \mathbf{r}} \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbb{D} \mathbb{L}_s \mathbf{v} \quad (8)$$

ここで, \mathbb{L}_s は相互作用行列であり, 各特徴点が画像面上での位置姿勢の変化に対して持つ感度を示す6次元ベクトルを縦方向に並べた行列を表す. また, \mathbf{v} はカメラの速度, 角速度からなる6次元ベクトルの速度 screw を表す.

よって式(8)より, カメラの速度 screw は式(9)で求まる.

$$\mathbf{v} = -\lambda (\mathbb{D} \mathbb{L}_s)^{\dagger} \mathbb{D}(\mathbf{s}(\mathbf{r}) - \mathbf{s}^*) \quad (9)$$

こうして, トラッキング誤差 \mathbf{e} を最小化するためのカメラの速度, 角速度 \mathbf{v} が求められる.

3. 実験結果

図5および6に, 筐体を撮影した実画像の代わりに, 仮想オブジェクトに対する3次元変換をあらかじめ与え, これを画像面上に投影して画像を生成し, トラッキングした際のオブジェクトの特徴点の挙動を示す. 図7はトラッキング中の両オブジェクトの画像表示例である. 実験は, CPU: Core2P6600(2.4GHz), 画像解像度 1280*960, オブジェクト寸法 (100 mm × 60 mm × 40 mm), 速度ゲイン $\lambda=0.5$ の条件で行った. フレームループ速度は約7fpsであった.

図5は, あらかじめ仮想オブジェクトに対しオブジェクト座標系z軸まわりの回転を与え, これを仮想オブジェクトでトラッキングした際の両オブジェクト上の3次元特徴点座標のx,z成分の時間推移を示す. また図6は, ワールド座標系x軸方向へ変位させた際の両特徴点座標のx,z成分推移を示す. 図5のx成分より, オブジェクトが画像を正しく追従していることが確認される. またz成分も微小な誤差はあるもののほぼ一定値を保っていることが判る. また図6からも, x成分およびz成分も多少の摂動はあるもの, トラッキングが安定に行われ, その追従性能が十分であることが判る.

4. 結論

低コスト情報機器ユーザビリティ評価向けの仮想実体融合型プロトタイプ実現に必要な, 3次元CADモデルを利用したマーカレストラッキング機能を開発した. またそのトラッキング精度が十分であることを, シミュレーションにより確認した. 今後の課題は, トラッキング速度の向上である.

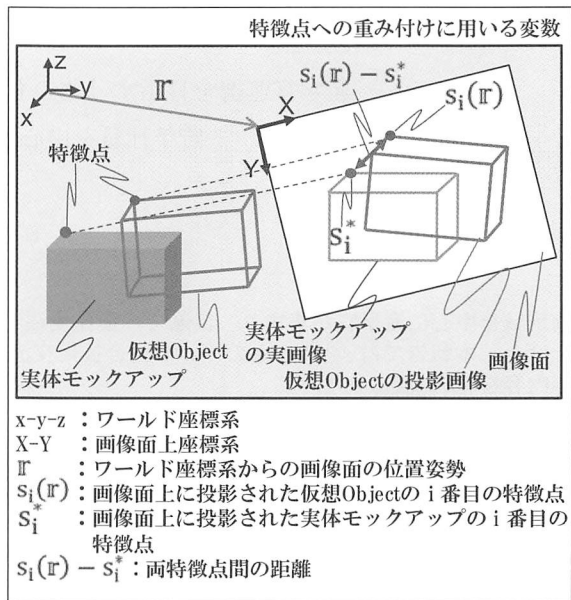


図4 特徴点への重み付けに用いる変数

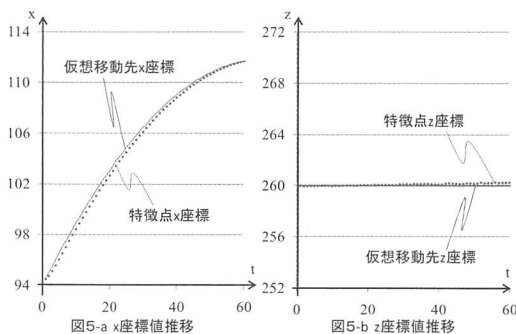


図5 オブジェクト座標系z軸回転による特徴点の挙動

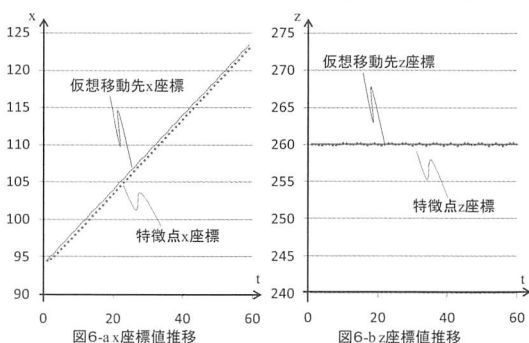


図6 ワールド座標系x軸方向への移動による特徴点の挙動

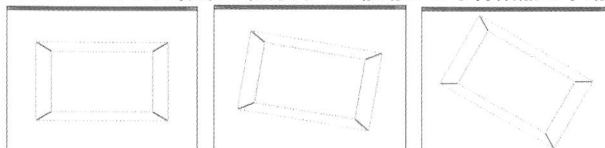


図7 トラッキング中の画像例

参考文献

- [1] Takahashi, H., et al., "Augmented Reality System for Development of Handy Information Device with Tangible Interface", Lecture Notes in Computer Science, 4563, pp.564-573,(2007)
- [2] 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).