

大阪大学工学部

学生員 ○小森 絵未

大阪大学大学院工学研究科教授

正会員 矢吹 信喜

大阪大学大学院工学研究科准教授

正会員 福田 知弘

1. 研究の背景と目的

近年、拡張現実感（Augmented Reality：AR）が注目されている。現実世界の映像にコンピュータグラフィックス（CG）などのデジタル情報を重畳させ、現実を拡張・強化する技術である。ARを実現するためには、現実空間と仮想空間を一致させるための位置合わせ手法が重要である。代表的な位置合わせ手法として、GPSとジャイロスコプを用いる手法、特徴点を抽出し既知の点と照合する手法、人為的マーカを用いる手法がある。中でも、ARToolkitに代表される人為的マーカを用いる手法はコストパフォーマンスが高いためARでは広く研究が為されてきた。この手法は位置合わせの精度が画面上に占めるマーカの大きさに依存するため、環境デザイン、土木・建設分野において、マーカを使用し屋外での大規模構造物に対して位置合わせを行うためには、Yabukiら¹⁾が行ったように、非常に大きなマーカを用意する必要がある。そこで、Otaら²⁾は屋外大規模構造物を対象としたARの実現を目的として、4個のマーカを用いて位置合わせを行う4点マーカ法を開発した。この手法は高精度が見込まれているものの、マーカが大規模構造物に設置された場合（マーカ～対象建造物間距離0m）の精度検証しか実施されていない。そこで本研究では、遠方の屋外大規模構造物を対象として4点マーカ法を用いて位置合わせの精度検証実験を行い、遠方の対象建造物に対してどの程度精度が確保されるか検証することを目的とした。

2. 4点マーカ法の概要

4点マーカ法について述べる。まず4個の異なる正方形マーカを用意し、各マーカの中心座標が平面上で巨大な正方形の頂点位置となるように4個のマーカをそれぞれ設置する。次にコンピュータに認識させたそれぞれのマーカの中心座標を仮想的に巨大

なマーカの頂点として認識させることで、ユーザの位置・姿勢を推定する（図1）。位置・姿勢の推定にはARToolkitのアルゴリズムを利用する。本研究では、一辺1,800mmの正方形の頂点位置に配置した400×400mmの正方形マーカ4個を用いて位置合わせを行った。

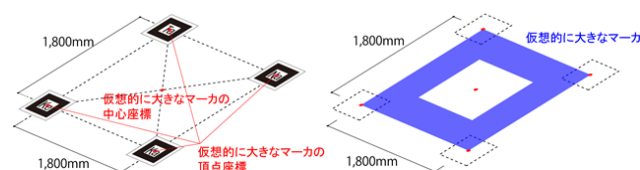


図1 4個のマーカから作成される仮想マーカ

3. 検証実験の方法

4点マーカ法と、従来の手法である1個のマーカを用いて、位置合わせの精度検証実験を行った。実際の屋外建造物を対象に、OpenGLで描画した建造物の3Dワイヤフレームモデルを同位置に表示させ、その誤差を計測した。その際、マーカ～対象建造物間距離 k (m)、マーカ～カメラ間距離 d (m)を変化させた時の、3Dオブジェクトの表示位置の誤差に与える影響を調べるため、マーカ～対象建造物間距離 k は56m・123m・250m・453mの4段階、マーカ～カメラ間距離 d は5m、8m、11mの3段階とした。マーカ～カメラ間角度は20度で固定した。

誤差の計測方法は、まずAR表示した画像を2秒間隔で計10枚キャプチャし、実際の建造物の角を誤差計測点とする。次にその点と描画した3Dオブジェクトの横方向、縦方向のピクセル誤差をそれぞれ Δx (pixel)、 Δy (pixel)としピクセル数で計測し、各誤差計測点における3Dオブジェクトの表示位置のピクセル誤差の距離 $\Delta s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ (pixel)を計算し、各誤差計測点での Δs の平均値 $\overline{\Delta s}$ (pixel)を求めた。これをメートルに換算したものを $\overline{\Delta S}$ (m)

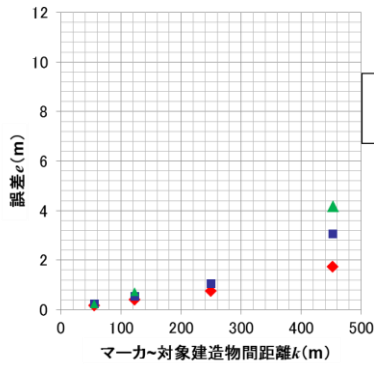


図2 4点マーカ法を用いた場合の誤差

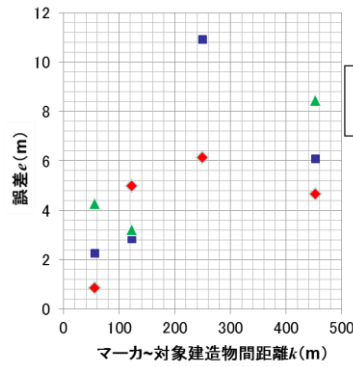


図3 1個のマーカを用いた場合の誤差

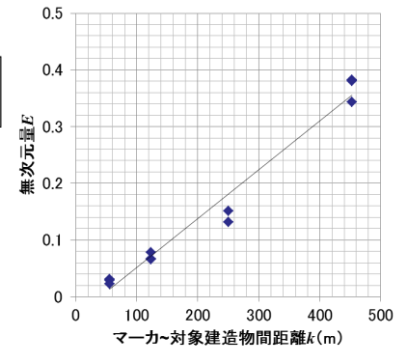


図4 無次元量 E

とし、各実験におけるキャプチャ画像全体の平均値を誤差 e (m) として評価した。また、描画した 3D オブジェクトの振動を評価するために、各キャプチャ画像の誤差計測点それぞれにおいて $\angle x$, $\angle y$ の標準偏差および、各々の平均値 SD_x , SD_y を求めた。

4. 実験結果

4 点マーカ法を用いた場合と 1 個のマーカを用いた場合において、誤差 e と、マーカ~対象建造物間距離 k の関係を表すグラフをそれぞれ図 2, 図 3 に示す。4 点マーカ法を用いた場合の誤差 e の全体の平均が、1 個のマーカを用いた場合の 1/4 程度に収まることから分かる。また、1 個のマーカを用いた場合は、マーカ~カメラ間距離 d が増加するにつれて、3D オブジェクトが振動し表示誤差のばらつきが大きくなり、 SD_x , SD_y も増大した。これに対し、4 点マーカ法を用いた場合では、マーカ~カメラ間距離 d を離してもほぼ振動せず安定して 3D オブジェクトを描画でき、 SD_x , SD_y もほぼ 0 であった。

5. 誤差評価

図 2 の 4 点マーカ法を用いた場合の誤差 e の結果から、マーカ~カメラ間距離 d 毎に最小二乗法により近似直線を得た。その得られた 3 本の直線に対して、マーカ~カメラ間距離 d によらない唯一の直線式を得るために、(式 1) より誤差 e の無次元量 E を導入した。

$$E = \frac{e(m)}{d(m)} \quad (\text{式 1})$$

これにより得られた無次元量 E とマーカ~対象建造物間距離 k の関係を表すグラフを図 4 に示す。図中の直線は最小二乗法により求めた近似直線である。得られた近似直線の式を (式 2) に示す。また、その相関係数 R^2 は 0.9739 であった。

$$E = 8.63 \times 10^{-4}k - 3.52 \times 10^{-2} \quad (\text{式 2})$$

(式 1) と (式 2) より、本実験における 4 点マーカ法を用いた場合の誤差 e とマーカ~対象建造物間距離 k の関係式が導出される (式 3)。

$$\frac{e}{d} = 8.63 \times 10^{-4}k - 3.52 \times 10^{-2} \quad (\text{式 3})$$

6. 結論と今後の課題

本研究で得られた結論を以下に記す。

- ① 4 点マーカ法は、遠方の大規模構造物に対しても、誤差の小さい位置合わせが可能である。
- ② 4 点マーカ法は、マーカ~カメラ間距離 d が離れても、3D オブジェクトの振動が小さく、描画が安定している。
- ③ 4 点マーカ法を用いた場合の、誤差 e とマーカ~対象建造物間距離 k の関係式を導出した。

今後の課題としては、4 点マーカ法の仮想マーカの頂点位置検出に、より高精度のアルゴリズムを使用すること、また、より汎用的な誤差 e の関係式を導くためより多くのサンプルによる検証が挙げられる。

参考文献

- 1) Nobuyoshi Yabuki, Kyoko Miyashita, Tomohiro Fukuda: An invisible height evaluation system for building height regulation to preserve good landscapes using augmented reality, Automation in Construction, In Press, Available online 30 December 2010.
- 2) Naoki Ota, Nobuyoshi Yabuki and Tomohiro Fukuda: Development of an accurate positioning method for augmented reality using multiple markers, Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Paper 4, 2010.