

モバイル型複合現実感システムにおける 疑似運動視差の実現法

Providing Pseudo Motion Parallax for Mobile Mixed Reality Systems

松田祐樹, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行

Yuki Matsuda, Fumihisa Shibata, Asako Kimura and Hideyuki Tamura

立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

Abstract: In this paper, we propose a displaying method for mobile MR system that gives a three-dimensional appearance based on motion parallax. In these days, a variety of mobile devices, such as smartphones, are supposed for mobile MR systems because they can be used anytime and anywhere. However, most of them lack stereoscopic effect because they are equipped with a simple planar LCD. Therefore, we propose a displaying method based on motion parallax, in which the displayed MR image varies depending on the user's position to emphasize stereoscopic effect. We implemented and tested our proposed method on a smartphone.

Key Words: Mixed Reality, Mobile System, Motion Parallax

1. はじめに

近年, スマートフォンなどの携帯端末の高機能化を背景に, モバイル型の複合現実感 (Mixed Reality; MR) システムへの関心が高まっている[1]. モバイル MR システムは, いつでもどこでも手軽に MR を利用可能というメリットがある反面, 端末のディスプレイ上で描画を行うことから, HMD を利用した従来型の MR システムと比較して, 立体感が不足しているという問題が存在していた. 一般に, 立体感を知覚させる主な要因には, 両眼視差と運動視差がある[2]. このうち前者については, 視差バリア方式を採用した携帯電話などがあるが, 表示解像度が半減する問題やフィルタの性質上, ある程度視点が限定されてしまうという問題がある. 一方, 運動視差を利用したものとしては, Alex Hill らが, タブレット型端末を使ってユーザの顔の位置を追跡し, それに合わせて背景画像を変更する手法[3]を提案しているが, CG と背景画像を 1 枚の画像としてレンダリングする手法であることから, 頭の位置に合わせて背景画像を変化させても, CG の見え方は変化しないという課題が残されている.

そこで本研究では, ユーザの視点と端末のディスプレイの位置関係を考慮して疑似的に運動視差を与えることで, CG に立体感を持たせる 3 次元提示手法について検討する. 具体的には, 端末のユーザ方向に設置したカメラ映像からユーザの視点位置を推定し, それにあわせて背面方向に設置したカメラから得られる実空間の光景から, 本来ディスプレイの後方に存在している光景を切り抜き, 背景画像として描画する. その後, 背景画像に合わせて CG を重畳描画することで, 立体感を持たせた MR 空間の描画を実現する. 本稿では, 提案手法をスマートフォン上で実装した試

作システムを構築し, 運用した結果について報告する.

2. 運動視差を考慮した MR 描画手法

本研究は, 市販のスマートフォンでの実現を前提に, ユーザの視点と端末の位置関係に基づく運動視差を考慮した MR 提示可能なシステム的设计・実装を目的とする. すなわち, 端末のディスプレイによってあたかも現実の光景の一部を切り取り, その範囲において MR 描画を実現することを目指す. そのためにはディスプレイとユーザの位置関係および端末に装着されたカメラの画角を考慮する必要がある (図 1 参照). 本章ではまず, 提案手法の全体の流れを述べ, その後, 各処理について具体的に説明する.

2.1 処理の流れ

本手法の処理の流れは以下に示す 5 つのステップから成る. なお, ここでは, 端末に搭載されているユーザ方向に設置されたカメラ (正面カメラ) と, ユーザの視線方向を撮影するためのカメラ (背面カメラ) の利用を前提とする.

(1) ユーザ方向の画像取得

正面カメラから画像を取得する.

(2) 顔位置の推定

正面カメラから得られた画像をもとに, 端末のカメラ

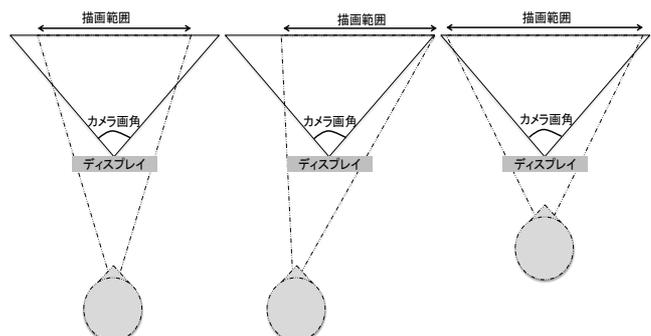


図 1 顔位置を考慮した描画範囲

座標系におけるユーザの顔位置を求める

(3) 背面方向の画像取得

背景画像となるディスプレイ後方の光景を取得する。

(4) 端末の3次元位置姿勢推定

背面カメラ画像からワールド座標系におけるカメラの位置姿勢を推定する。

(5) 運動視差を考慮した背景とCGの重畳描画

ステップ(2)で得られたユーザの顔と端末との位置関係に基づき、背景カメラで取得した画像から、ユーザ視点から観測した場合に、ディスプレイで隠されている部分だけを切り抜き、背景画像として表示する。その後、ステップ(2)で得られたユーザの顔位置とステップ(4)で得られた端末の3次元位置姿勢をもとに、ユーザ視点から見たCGを描画する。

2.2 顔位置の推定

正面カメラから得られた画像を用いて、ユーザの顔の3次元位置を推定する。

【z軸方向の距離の算出】

端末とユーザ間の奥行き方向(z軸)の距離推定は、人間の両眼の瞳孔間距離が平均60mmであるという既知情報と、正面カメラから得られたユーザの瞳孔間距離*l* [pixel]を比較することで実現する。ここでは、ユーザは正面カメラの光軸方向に常に正対しているものとする(図2参照)。

ユーザの瞳孔間距離が一定だとすると、正面カメラの画角に占める瞳孔間距離の割合と、ユーザと正面カメラ間の距離*z'* [mm]の間には反比例の関係がある。この関係から、以下の式(1)および(2)が導ける。ここで α は正面カメラの画角であり、*pd*は瞳孔間距離[mm]、ディスプレイの左右方向の幅は*f_w* [pixel]である(図2, 図3参照)。

$$A = \frac{l \times pd}{2z' \tan \frac{\alpha}{2}} \quad (1)$$

$$z' = \frac{A}{l \times f_w} \quad (2)$$

事前に一度*z'*および*l*を計測し、式(1)を用いて*A*を算出す

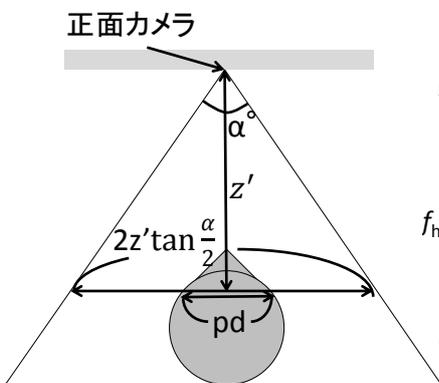


図2 顔位置推定

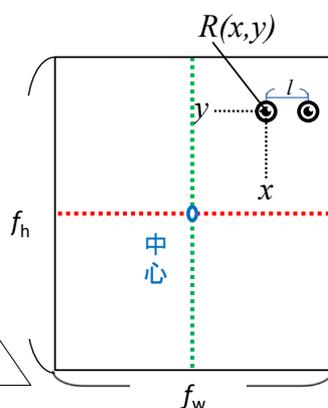


図3 正面カメラから取得した画像

ると、以降は正面カメラから得られた*l*の値を、式(2)に代入にすることによって*z*軸の距離を求めることが可能となる。

【x-y軸方向の距離の算出】

正面カメラ画像の画像中心を原点とした際に、画像上における右目の位置を*R(x, y)*とする(図3参照)。このとき、実空間におけるユーザの右目から、ディスプレイの光軸方向の中心までの垂線距離*x'* [mm]は以下の式(3)によって求まる。

$$x' = \frac{l \times x}{pd} \quad (3)$$

同様に*y'*についても以下の式(4)が得られる。

$$y' = \frac{l \times y}{pd} \quad (4)$$

この式(2), (3), (4)から得られた(*x', y', z'*)が、正面カメラ座標系におけるユーザの顔位置となる。

2.3 カメラとディスプレイの位置ずれ問題

一般に市販されているモバイル端末では、背面カメラの設置位置とディスプレイの中心はずれていることが多い。本研究では、市販の端末上での動作を目的としていることから、この問題(図4参照)を解決する必要がある。ここでは、背面カメラから得られた画像の中心をカメラの光軸にあわせて配置することで解決を図る(図5参照)。

2.4 運動視差を考慮した背景とCGの重畳描画

【背景の描画範囲の決定】

背景画像の*x*軸方向の描画範囲を*t_w*、*y*軸方向の描画範囲を*t_h*とする。*t_w*、*t_h*は、2.2節で推定した*z'*を用いて、以下に示す式(5), (6)から求めることができる。ここで、*d_w*と*d_h*はそれぞれ、端末のディスプレイの横幅と縦幅の実寸を表す(図4参照)。また、仮想的に背景画像を配置する平面(以下、背景画像面)を仮定し、*L*は、背面カメラから背景画像面までの距離である。

$$t_w = \frac{d_w(z' + L)}{z'} \quad (5)$$

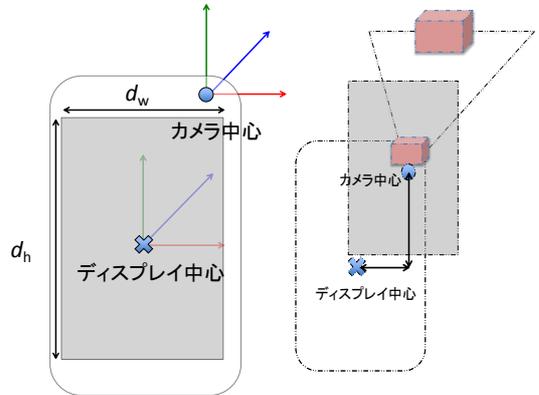


図4 カメラとディスプレイの位置ずれ

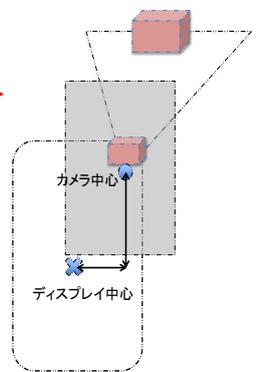


図5 ずれを考慮した描画

$$t_h = \frac{d_h(z' + L)}{z'} \quad (6)$$

一方、背景画像の中心座標(t_x, t_y)は以下の式(7), (8)によって求めることができる(図6参照)

$$t_x = \frac{x'L}{z'} \quad (7)$$

$$t_y = \frac{y'L}{z'} \quad (8)$$

上記のようにして得られた(t_w, t_h)と(t_x, t_y)によって、画像から切り抜く背景画像の範囲を算出する。

【CGの描画】

通常、モバイル端末でMRを実現する場合、ワールド座標系における端末の位置を求めた上で、端末の位置、すなわち端末のカメラ位置を投影中心としてCGを描画する。しかしながら本研究では、ユーザ視点を投影中心とするため、描画する仮想世界の範囲は図7に示すように、端末の位置をニアクリップ面に、背景画像面をファークリップ面とする視錐台となる。そこで、背面カメラの座標系からワールド座標系への変換行列を M とし、顔位置検出から得られる正面カメラ座標系におけるカメラからユーザの顔位置への変換行列 F と組み合わせることで、ワールド座標系におけるユーザ視点の位置を求める(図7参照)。

3. 動作確認

3.1 確認手法

提案手法をiPhone4S上で実装し、以下の3点について動作確認を行った。

(1) 顔とカメラ間の距離が正しく取得できるか

2.2節で述べた手法によって推定されたユーザと正面カメラまでの距離の精度を確認する。具体的には、顔と正面カメラの距離を30~130cmまで10cm間隔で変化させ、各10回の計測結果の平均から推定精度を評価する。

(2) ディスプレイに表示する背景画像が正しいか

本システムを起動した端末を三脚に固定し、ユーザの視点位置からカメラで撮影する。その上で、撮影した画像からユーザの視点位置に合わせて背景画像の描画範囲が変更されているかを確認する。ユーザの位置はカメラの光軸方向に沿った移動と、光軸に垂直な動きの2種類が考えられる。それぞれの動きを行い、それぞれの動きに対してディスプレイ後方の光景が正しく切り抜かれているかを確認する(図8参照)。

(3) CGの描画に運動視差が正しく反映されているか

本システムを起動した端末を三脚に固定し、ユーザの視点位置に合わせて仮想世界の描画ができているかを確認する。この際に、視点の位置によってCGの見え方が変化することで運動視差を考慮した描画ができているかを確認を行う(図9参照)。なお本研究では、端末の位置姿勢検出機構としてARToolKit[4]を用いた。

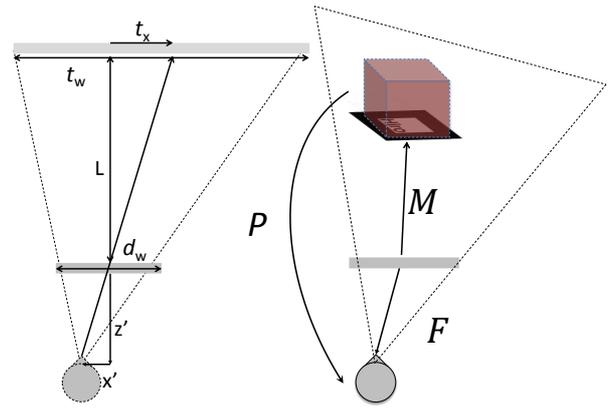


図6 顔位置を考慮した背景画像描画

図7 顔位置を考慮した仮想世界描画範囲

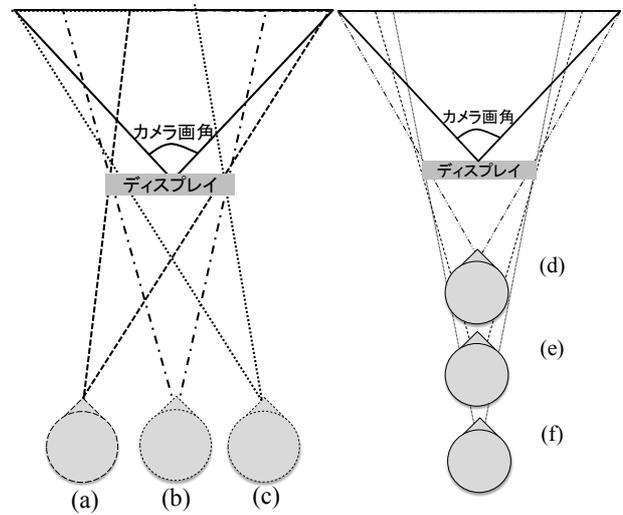


図8 確認手法 (1)

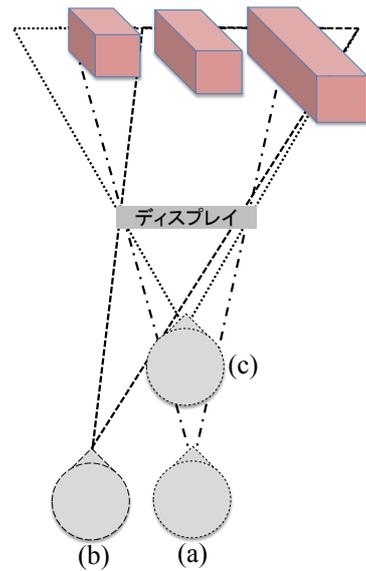


図9 確認手法 (2)

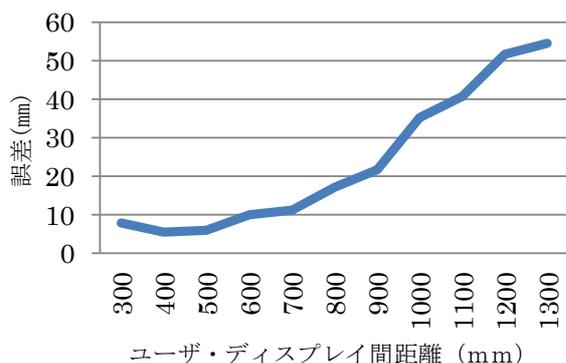


図 10 顔位置推定の精度

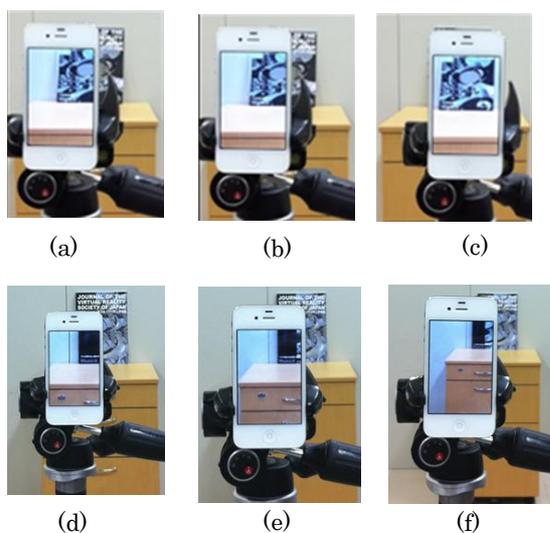


図 11 運動視差を背景画像の描画

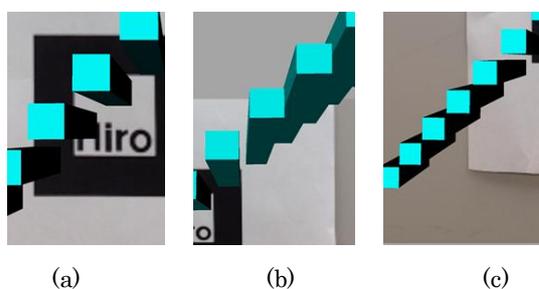


図 12 運動視差を CG の描画

3.2 確認結果

(1) 顔とカメラ間の距離が正しく取得できるか

確認結果を図 10 に示す。ユーザとモバイル端末間の距離に比例して誤差が大きくなる傾向があるが通常、人間の腕の長さは 65~75cm 程度であるため、端末を把持して利用することを想定すれば、精度に問題はないと言える。

(2) ディスプレイに表示する背景画像が正しいか

確認結果を図 11 に示す。(a)~(c)では、端末に対して顔の位置が平行に移動しており、(d)~(f)では、端末に対して顔が奥行き方向に移動している。この結果から、背景画像の描画が正しいことを確認できる。

(3) CG の描画に運動視差が正しく反映されているか

確認結果を図 12 に示す。(a)は端末正面から見た場合、

(b)は(a)からユーザが下方方向に移動、(c)は(a)からユーザが前に進んだ場合の結果である。(a)の場合では、ボックス型の直方体の正面部分しか見えないが、(b)では、オブジェクトの下部面が見えている。(c)の場合は(a)(b)に比べて広範囲が描画できることを確認した。これらの結果から、運動視差を考慮した CG の描画が正しいことを確認できた。

3.3 考察

動作確認の結果から、提案手法によって運動視差を考慮した MR 画像提示が実現でき、立体感を持たせることが可能であることが確認できた。

本手法では、ユーザの顔の位置に合わせて描画範囲を変更している。しかしながら、背面カメラから取得した画像の範囲外を描画することはできない。2.3 節で記述したように、画像の中心をカメラ位置に合わせているため、顔の移動による背景画像の描画可能範囲が上下左右で均等ではない。

4. おわりに

本稿では、ユーザの視点と端末のディスプレイの位置関係に基づいて疑似的な運動視差を実現し、CG に立体感を持たせる 3 次元提示手法を提案し、iPhone4S 上で実装した上で、動作確認を行った。ユーザの動きに対して、ディスプレイで隠される後方の光景を正しく切り抜くことができおり、運動視差による立体感が表現できることを確認した。提案手法は、ディスプレイの中心と背面カメラ位置の差異を吸収可能な設計であるため、多様なモバイル端末で利用可能である。しかしながら本手法では、ユーザの顔の方向が正面カメラの光軸の逆方向と一致していることを仮定しており、顔の傾きに対応が出来ていない。今後、アルゴリズムを再検討し対応する予定である。また、本手法は、従来の MR 提示と比べて、顔の位置を検出するための処理や、カメラから受け取った背景をそのまま表示できないため、計算コストが高くなるという問題を抱えている。今後はこの課題の解決に向けての検討も行う。

参考文献

- [1] 柴田 史久：応用 1:モバイル AR 位置情報に基づく AR システム, 情報処理, Vol. 51, No. 4, pp. 385-391, 2010
- [2] 末永 剛, 松本 吉央, 小笠原 司: "非拘束な運動視差提示 3次元ディスプレイの提案と評価", ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 9, No. 1, pp. 49-56, 2007. 2.
- [3] Alex Hill, Jacob Schiefer, Jeff Wilson, Brian Davidson, Maribeth Gandy, Blair MacIntyre, "Virtual transparency: Introducing parallax view into video see-through AR," ismar, pp.239-240, 2011 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2011
- [4] 加藤博一, M. Billinghurst, 浅野浩一, 橘啓八郎: "マーカ追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 4, No. 4, pp. 607-616, 1999.