

影を拡張したインタラクティブな映像空間の創出

苗村 健 原島 博

情報理工学系研究科電子情報学専攻

1. はじめに

拡張現実感(AR)は、現実空間を仮想世界の情報で拡張しようという考え方である。現実空間への情報の重畳、サイバースペースと融合したインタフェースの構築などの研究トピックがあるが、まさに現実を拡張した超現実的な世界の中でのインタラクションも興味深いトピックである。

AR で用いられるディスプレイは、大別すると、

- 大画面によって観察者の視野を満たすディスプレイ
- シースルーHead Mounted Display(HMD)に代表される観察者の頭部に装着する小型ディスプレイ

の2種類がある。本稿では、特に前者のディスプレイを採用し、単にユーザの視界だけでなくユーザのいる物理的環境そのものに直接合成画像が統合される、Spatially Augmented Reality(SAR)[1]に注目する。SAR では合成画像はプロジェクタを用いて実空間に投影したり、フラットパネルディスプレイを環境に埋め込んで表示したりするため、同時に多数の人が映像を観察できる。また、ユーザは特別なディスプレイ/センシングデバイス等を身に付けることなく、SAR 環境に自由に出入りできる。本稿では、SAR 技術を応用し、実空間における“影”の表現を通じたインタラクティブシステムを考える。また、“影”を CG で合成することで、現実の影に表現力を与え、空間の演出と、“影”とのインタラクションを行う環境を提案する。

2. 拡張・複合現実環境における光と影

2.1 仮想光源

複合現実環境における光源は必ずしも発光する必要はない。IPT や SAR のようなシステムでは、スクリーンに投影する映像を操作することにより、光源が存在するのと等価な効

果を出すことも可能である。また、実際に発光する光源を用いる場合でも、その光をコントロールすることにより、さまざまな照明効果を作り出すことができる。このような発光源のメタファとなるデバイスを“仮想光源”と呼ぶ。仮想光源は実際に光を照射するデバイスと光を照射しないデバイスに大別することができる。

プロジェクタなど、光を照射するデバイスを用いた場合、実空間に光を直接照射することができる。プロジェクタと投影面間の実物体の影はもちろんのこと、仮想物体の影などを実空間に表現することができる。しかし、インタラクティブな仮想光源として動作させるには、プロジェクタの位置や姿勢を取得するセンシングデバイスなど、実空間から何らかの入力が必要となる[2]。

光を照射しないデバイスは、実空間の情報を得るために用いられる[3]。取得される実空間の情報としては、実物体の位置および姿勢、3次元形状データ、仮想光源から実物体や実空間を見たときの画像などが考えられ、これらの情報を用いて実物体、仮想物体の影を合成する。合成された影はシースルーHMDを用いるか、またはコンピュータ内の仮想空間やプロジェクタによって実空間に投影することによってユーザへ呈示される。

2.2 複合現実環境における影の分類

複合現実環境における影は、影が投影される空間、影を作る物体、それぞれが現実のものか、仮想的なものか、仮想光源が光を照射するものかしないものか、で分類できる[4]。

RR Shadow(Real to Real) RR Shadow は実空間に投

影される実物体の影である。本稿では、実物体の影を拡張表現した上で、実空間に投影する手法について報告する。仮想光源としては光を照射するデバイス、しないデバイス両方が考えられる。実空間に投影される影は複数人で同時に観察できる。

VR Shadow (Virtual to Real) VR Shadow は実空間に投影される仮想物体の影である。この場合、仮想物体の3次元形状情報から、投影されるべき影の形を計算する。仮想光源から実際に光を照射する場合には、投影面の形状に依らず常に正確な影が観察されることになる。

RV Shadow (Real to Virtual) RV Shadow は仮想空間に投影される実物体の影である。仮想空間に実物体の影を投影するためには実物体の位置、姿勢、3次元形状、光源位置から見た実物体の画像などの情報が必要となる。

VV Shadow (Virtual to Virtual) VV Shadow は仮想空間に投影される仮想物体の影である。影を作る物体、影が投影される空間が共に仮想空間内であるため、CGやVRの技術でさまざまに実現可能である。

光学的整合性とインタラクションという点に注目し、複合現実感における影の表示を行った新田らの研究[4]では、RV ShadowやVR Shadowを投影する手法についての提案と実装を行っている。本稿では、仮想光源にビデオカメラを用いてコンピュータで生成した影を再び実空間にプロジェクタで表示する、“RR Shadowを表示するシステム”について報告する。

2.3 影の拡張

現実環境の影は、光が物体に遮られることで生じる現象であり、言い換えれば影には物体形状の一面が現れる。複合現実環境では、この“物体形状の一面”を、幾何学的・時間的整合性を保って提示すれば、“光に対する影”が再現されるだろう。一方で、それが影であるとわかるように提示しながら、形状や整合性を操作することで、“光に対する影”“物体形状の一面”にとどまらない、拡張された空間を作り出すこともできると考えられる[5]。たとえば、“影”ということばの持つほか

の意味やイメージ(たとえば内面や過去などのセマンティックな要素)を、影に重ね合わせるなどが考えられるだろう。

本稿では、この“影の拡張”によって、表現力豊かな空間を作ることを提案する。

3. 仮想光の影を投影するシステム

3.1 システムの設計と実装

実装システムの概要を図1に示す。実装システムでは、仮想的な光を照射し、実物体の影を生成する仮想光源としてCCDビデオカメラ(発光しない仮想光源)を用いる。あらかじめユーザや実物体が存在していない状態でカメラから取得された画像と現在の画像(図2)との背景差分を行い、その差分距離をもとに物体領域を表した α マップを生成する。抽出された物体領域に対して、適当なテクスチャを貼り付け、後述の(1)式に示された透視投影変換を行い、仮想光源とは異なる位置・方向にあるプロジェクタからの投影画像(図3)を生成する。

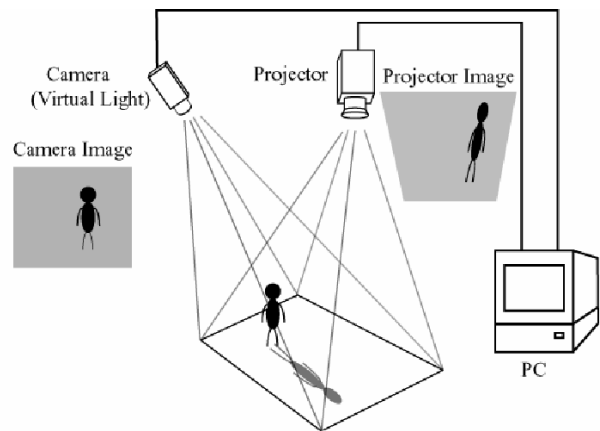


図 1: “仮想光の影を投影するシステム”の模式図



図 2: カメラ取得画像



図 3:透視投影変換によって得られた
プロジェクタ投影画像

ここで、投影面は平坦であると仮定すると、カメラやプロジェクタの光学は透視投影変換によってモデル化できる。そして、カメラとスクリーン、プロジェクタのすべてが(1)式のような 2 次元 Homography として書き表すことができる。

$$\begin{pmatrix} xw \\ yw \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_1 & p_2 & p_3 \\ p_4 & p_5 & p_6 \\ p_7 & p_8 & p_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

(x, y) と (X, Y) は、2 つの参照フレーム内で対応する点同士である。そして、 $\vec{p} = (p_1, p_2, \dots, p_9)^T$ (ただし、 $|\vec{p}|=1$) は Homography のパラメータを指定する。カメラやプロジェクタの位置や姿勢、光学的条件が未知でも、カメラ-プロジェクタ間の Homography のパラメータは、[6]に示されている手法により、カメラフレームとプロジェクタ座標との最低 4 組の対応点から導出することができる。本稿での実装では、

- プロジェクタから格子模様(図 4 左)を床に投影し、(プロジェクタ座標内での格子の各頂点座標 (x_i, y_i) は既知)それをカメラで取得する
 - ディスプレイでモニタしている、カメラフレーム内に表示された格子(図 4 右)の各頂点座標 (X_i, Y_i) をマウスクリックとキーボード操作によって対応点を求める
- という操作によって Homography を求めている。

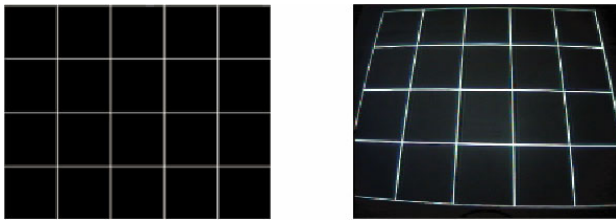


図 4:カメラ-プロジェクタ Homography の取得
プロジェクタ投影画像(左)とカメラ取得画像(右)

ここで注目すべきことは、カメラは仮想的な光源としての役割を果たしているため、“床に投影される影はカメラ(光源)位置からは実物体に完全に遮蔽される”ということである(図 5)。つまり、仮想光源からスクリーン(床面上)に投影された影をカメラ視点から見たものと、カメラフレーム内の物体領域とは完全に一致するというのである。そして、カメラフレーム内の 1 点と投影面(床面)上の 1 点は 1 対 1 に対応している。同様に、投影面(床面)上の点とプロジェクタ投影画像内の点も 1 対 1 に対応している。したがって、カメラから得た画像の透視投影変換によって、仮想光源からの影にあたる画像が生成できることになる。

本システムを用いてインタラクションを行っている様子を図 6 に示す。

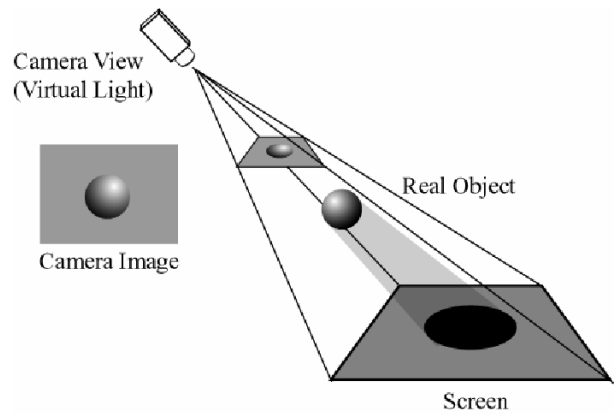


図 5:カメラ(光源)視点からは、
影は実物体自身に遮蔽される

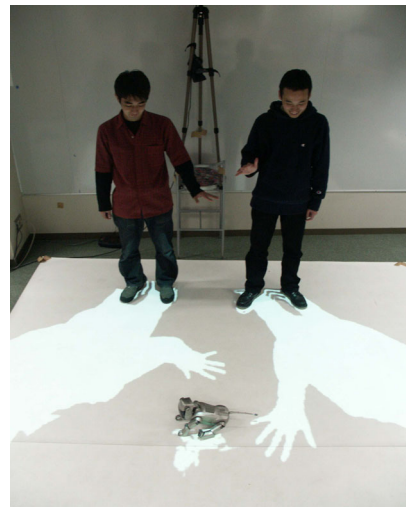


図 6:影とのインタラクションの様子

3.2 システムの特徴

今回実装したシステムは、以下のような特徴を持つ。

仮想光源を用いて RR Shadow を表示するシステム 光を照射しない仮想光源としてビデオカメラを用い、仮想光源によってできる実物体の影を合成しプロジェクタで実空間に表示している。このとき仮想光源はプロジェクタとの簡単なキャリブレーション操作によって自由に移動が可能である。

各種物理法則を維持しながら影を拡張 本システムは Pentium 4 2.3GHz 搭載の PC で 30fps のリアルタイム処理を実現し、幾何学的、光学的整合性を維持だけでなく、高いレベルで時間的整合性も維持している。この結果、影としてのリアリティを高めることができた。さらに、影の投影位置や背景の色、テクスチャなどは自由に設定可能であり、現実の影を表現力豊かに拡張することもできる。現に、図 3 のように空のテクスチャを持つたり、図 6 のように、光と影を反転させ、影は周囲よりも明るくしたりもできる。

オープンな環境への設置と全身によるインタラクション 従来の VR や MR では、没入型の環境の構築や、ユーザが HMD などの特別なディスプレイ／センシング機器の装着を必要とすること多かった。しかし、インタラクティブシステムとして、いかに負担がかからない状況でユーザがインタラクションに参加できるかは重要である。本システムでは、ユーザはただカメラフレーム内に入るだけでよく、特別な機器の装着や前処理などの操作を必要とせず、全身を使ったインタラクションできる。また、本システムはインタラクションする実物体の形状やその数に制限がないため、複数人が同時利用可能である。

4. まとめ

本稿における実装システムは、MR システムに要求される各種整合性を維持することによって、影という現象のリアリティを維持しながら、それを拡張して呈示するものである。特に、複数の人が同時にインタラクションをすることが可能であり、

ユーザは特別な機器を装着する必要がない、といった特徴を持つ。

今後の展望として、床面に投影される影を自由にコントロールできる本システムに対して、マルチプロジェクションシステムを適用し、現実空間と同様な物理法則が適用された仮想光源環境を再現するとともに、そのような物理法則を超えた超現実的な影が表示されるインタラクティブな拡張現実環境の構築を目指す。

参考文献

- [1] R. Raskar et al.: "Spatially Augmented Reality", IEEE Workshop on Augmented Reality, pp. 11 - 20, 1998
- [2] J. Underkoffler et al.: "Urp: A Luminous-Tangible Workbench for Urban Planning and Design", ACM CHI'99, pp. 386-393, 1999
- [3] 宮里ほか: "Magic Light による物体内部の観察—超現実的なインタラクティブ展示方法—", 映情学誌, Vol. 53, No. 3, pp. 429-432, 1999
- [4] 新田ほか: "複合現実環境における影のインタラクション", 日本バーチャルリアリティ学会第 5 回大会, pp. 459-462, 2000.
- [5] L. Pocock: "Touchware", ACM SIGGRAPH 98, pp. 20-21, 1998.
- [6] R. Sukthankar et al.: "Smarter Presentations: Exploiting Homography in Camera-Projector Systems", IEEE ICCV 2001, pp. 247 - 253, 2001.

発表文献

- [7] 加藤 寛, 筧 康明, 牛田 啓太, 苗村 健, 原島 博: "影の表現を通じたインタラクティブ拡張現実空間", 日本バーチャルリアリティ学会第 7 回大会, pp. 105 -- 108 (2002.9).
- [8] 加藤 寛, 苗村 健, 原島 博: "光る影", インフォメーションアートの想像力展 (東京都写真美術館) (2003/3/26-3/30)