

# 仮想視点移動が可能な広範囲でのシースルービジョン

See-Through Vision in Wide Area with Virtual Viewpoint Motion

山崎 真也, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一

Shinya YAMAZAKI Itaru KITAHARA Yoshinari KAMEDA and Yuichi OHTA

筑波大学 大学院システム情報工学研究科

(〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, yamazaki@image.esys.tsukuba.ac.jp)

**Abstract:** This paper introduces a Mixed Reality (MR) system to support pedestrians by utilizing the surveillance cameras. Our system, See-Through Vision, visualizes blind areas by transparentizing the occluding objects such as buildings by merging the visual information captured by surveillance cameras with MR technology. However, in our previous See-Through Vision system, users can only observe a blind area occluded by the building in front of them, thus it is difficult to observe a wider blind area, e.g. beyond more than two buildings. We propose a novel interface that aims to enlarge the observable area of See-Through Vision by virtually moving the user's viewpoint.

**Key Words:** Outdoor Mixed-Reality, Blind Area, Visualization, User Interface

## 1. はじめに

現実世界に仮想世界の見え方情報を重畳し、視覚情報を増強する複合現実感技術を屋外環境に適用することにより、歩行者ナビゲーションや観光案内の実現が期待されている[1][2]。我々は、屋外歩行者の視覚支援を目的として、建物などによって隠され、肉眼で観察ことが困難な死角領域の見え方情報を歩行者に提示する“シースルービジョン”の研究に取り組んでいる[3]。

シースルービジョンでは、死角領域を撮影する定点カメラの映像を、リアルタイムで歩行者の視点からの見え方に変換して提示することにより、目の前の遮蔽物を仮想的に透視して死角領域の状況を確認することが可能である。しかし、従来のシステムでは、観察視点が歩行者位置に固定されているため、遮蔽物体が奥行き方向にいくつも存在する場合、その位置関係が分かりにくいといった問題や、遮蔽物と死角領域の映像が混ざることにより、死角領域の視認性が低下するといった問題が存在する[4]。

本稿では、図1に示すように、より広範囲でのシースルービジョンの実現を目的とした新たなインタフェースとして、観察視点を固定することなく、任意の視点位置から死角領域を観測することが可能な“仮想視点移動”を提案する。この仮想視点移動は、CGモデルで構築したモデル空間内を仮想的に視点移動や視線方向を変えながら動きまわることにより、実際にユーザが移動することなく、見たい領域を、見たい位置・方向から確認できるという特長を有する。現実空間でのユーザ位置を起点とし、そこから死角領域に視点を移動させることにより、遮蔽物と死角領域

の位置関係が直観的に分かりやすく、かつ死角領域の視認性も確保されると考えられる。

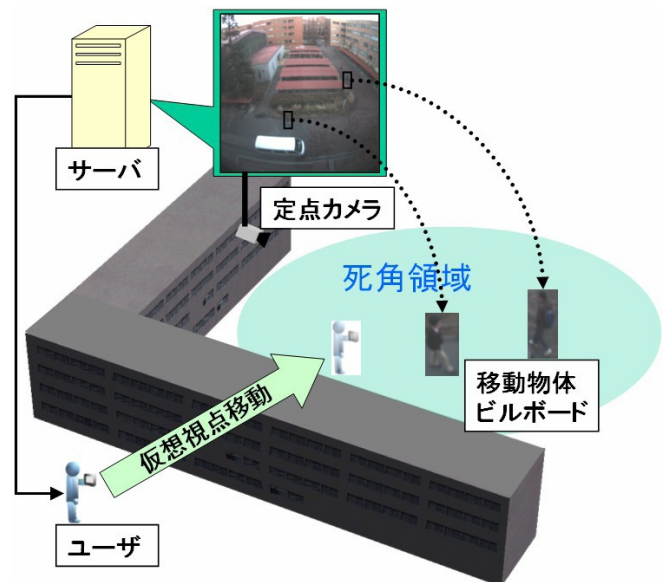


図1：仮想視点移動が可能な広範囲でのシースルービジョンシステム

## 2. 仮想視点移動

仮想視点移動とは、観察視点が、その位置・姿勢を変えながら現実空間またはそれに対応するモデル空間内を仮想的に動きまわることであり、実際にユーザが移動することなく、見たい領域を見たい視点から確認できるという特長を有する。現実空間でのユーザ位置を仮想視点移動の起点とすることにより、仮想視点・遮蔽物・死角領域の位置関係を直観的に理解することが可能となる。

周囲の安全に気を配る必要がある屋外環境において複合現実感を提示する手段として、本研究ではPDA (Personal Digital Assistant) 端末や小型ノートPC (以下、ユーザ端末) のディスプレイを用いる。ユーザ端末の位置・姿勢が仮想視点移動の起点となる。ユーザ端末に装備した、RTK-GPS (Real Time Kinematic Global Positioning System) と地磁気センサを用いて、端末の位置・姿勢の初期値を求め、慣性ジャイロセンサから獲得した回転角情報を用いて姿勢変化を更新する。仮想視点の平行移動情報は、ユーザが端末のキーボードを用いて入力する。

## 3. 仮想視点移動映像の生成

死角領域の任意視点映像を生成するためには、対象空間の3次元情報が必要である。建造物や地面などの静止物体については、測量器を用いて3次元モデルをあらかじめ作成する。歩行者等の移動物体の3次元モデルは、移動物体を1枚の平面ビルボードで近似し、定点カメラ映像中での観測位置から算出した3次元位置に配置する処理により生成する[5]。

### 3.1 環境の3次元CGモデル

観察対象となるエリア内に存在する建物や地面については、事前にレーザー測量器を用いた形状計測を行ない、その結果を用いてポリゴンとテクスチャからなる3次元CGモデルを作成する。図2に今回作成した実験環境周辺の3次元CGモデルを示す。この3次元モデルに、カメラキャリブレーションによって得られる射影関係を用いて、定点カメラで撮影されたライブ映像を投影することにより、CGモデルのテクスチャ (モデルテクスチャ) を動的に更新する。

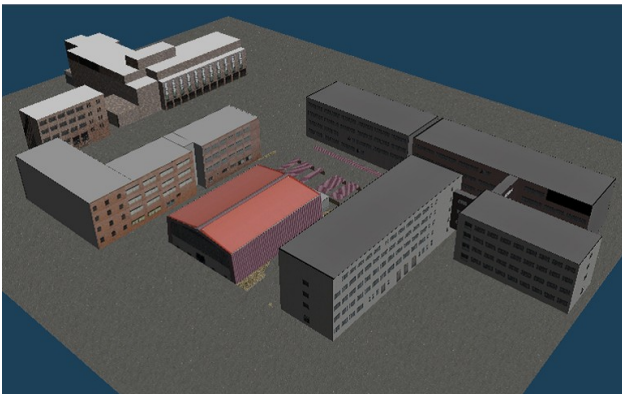


図2：実験環境の3次元CGモデル

### 3.2 定点カメラ映像における移動物体抽出

定点カメラで撮影された映像中から、移動物体を抽出することにより、移動物体用3次元モデル (ビルボード) に貼り付けるテクスチャ情報を獲得する。複合現実感では、撮影から提示までの処理を実時間で実行する必要があるため、本システムでは計算コストの少ない背景差分法を利用する。

背景差分法による移動物体検出の問題点として、照明条件の変化や、背景物体の変動がある。本研究では、背景の変動に合わせて背景画像と閾値を動的に更新することにより、背景変化の問題に対応する[6]。まず、入力画像の最初の  $j$  フレームにおいて画素毎に輝度値  $I$  の平均値  $\bar{I}$  を計算する。さらに次の  $j$  フレームについて  $(\bar{I} - I)$  の絶対値を輝度振幅  $\sigma$  とし、その平均値  $\bar{\sigma}$  を求め、この  $\bar{I}$ 、 $\bar{\sigma}$  を初期値とする。  $2j+1$  フレーム目からは、輝度値  $I$  が以下の範囲内であればその画素を背景と判断し、範囲外であれば前景と判断する。

$$\bar{I} - \bar{\sigma} \leq I \leq \bar{I} + \bar{\sigma} \quad (1)$$

以降のフレームでは、背景と判断された画素については、式(2)を用いて、 $\bar{I}$  と  $\bar{\sigma}$  を更新し、前景と判断された画素については、式(3)を用いて  $\sigma$  を更新する。ただし、 $\bar{I}'$  と  $\bar{\sigma}'$  はそれぞれ次フレームの平均値とする。

$$\begin{aligned} \bar{I}' &= (n-1)/n \times \bar{I} + 1/n \times I \\ \bar{\sigma}' &= (n-1)/n \times \bar{\sigma} + 1/n \times \sigma \end{aligned} \quad (2)$$

$n$ : 更新頻度パラメータ

$$\sigma' = (m-1)/m \times \bar{\sigma} + 1/m \times \sigma \quad (3)$$

$m$ : 更新頻度パラメータ ( $m \geq n$ )

このような背景更新処理を適用するだけでは、移動物体を正確に検出することが困難である。例えば、輝度値を用いて背景差分を行った場合、移動物体の影も前景として誤検出してしまふ。以下の式で求まるL\*a\*b\*色差を用いることにより移動物体と影との区別を行う。

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$

L\*a\*b\*色空間において影領域は、背景との明度差が大きく、色度差が小さいという特性を持つ。そのため、背景との輝度差が閾値以上かつL\*a\*b\*色差が閾値以上である領域を前景とした。

また、木の葉の揺らぎや、カーテンの揺れなどの背景物

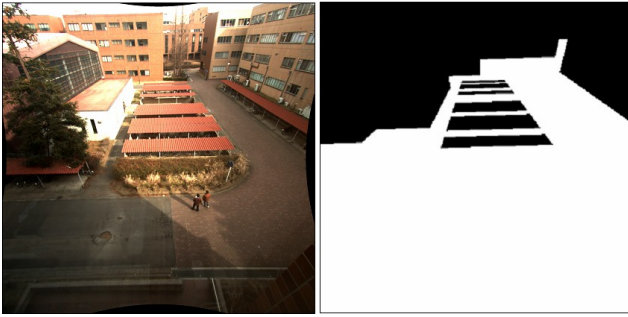


図3：定点カメラ映像（左）と作成したマスク画像（右）

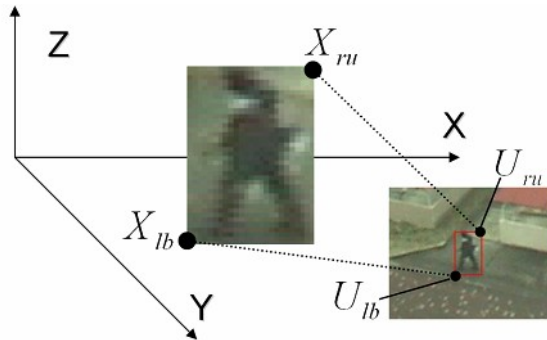


図4：移動物体ビルボードの配置

体の変動も背景差分の結果に大きな影響を及ぼす。これらについては、対象空間の3次元モデルを利用してマスク画像を生成することで対応する。一般的な歩行者の身長は2m以下と考え、3次元モデルの情報を用いて定点カメラ映像中の2mよりも高い領域にマスク処理を施す。図3に、定点カメラ映像と、その映像に対して作成したマスク画像を示す。

### 3.3 3次元位置推定

物体の3次元位置を求めるためには、一般には同じ物体を異なる方向から撮影した2台以上のカメラが必要であるが、定点カメラとして利用する監視カメラは、一台なるべく広い範囲をカバーするように配置されているため、同じ領域が重複して撮影されることは少ない。本研究では、提示する移動物体は地面に直立していると仮定することにより、単眼映像から移動物体ビルボードを配置する3次元位置を推定する。移動物体ビルボードは、四角形ポリゴンで表されるため、図4に示すように、移動物体テクスチャ左下の座標  $U_{lb}$  に対応する3次元位置  $X_{lb}$  と、右上の座標  $U_{ru}$  に対応する3次元位置  $X_{ru}$  が分かれば、生成することができる。定点カメラのキャリブレーション処理において推定される透視投影行列を用いてこれらの3次元座標を算出する。

### 3.4 定点カメラの選択

同一の空間を複数の定点カメラで撮影している場合、テクスチャ情報を獲得するカメラを選択する必要がある。仮想視点位置における仮想のユーザー端末カメラの視野と各

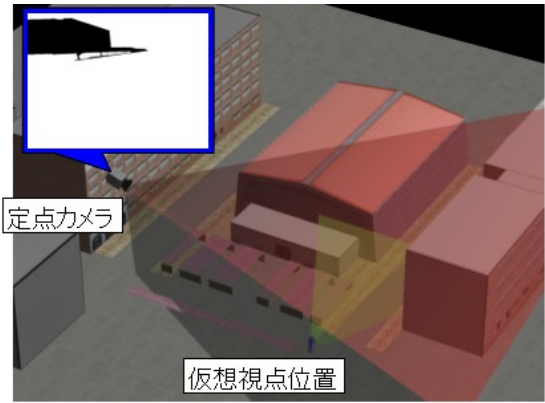


図5：定点カメラ画像上への逆投影結果

定点カメラの視野で共通している領域を、図5に示すように、各々の定点カメラ画像面上に逆投影し、その面積を算出する。この面積が最大となる定点カメラが、注目領域を一番大きく撮影していることになるので、そのカメラからテクスチャ情報を獲得する。

## 4. 実験システムの構成

本研究で提案する実験システムは、図6に示すように、次の4つの部分から構成される。

- 定点カメラ：サーバへ撮影画像を送信する
- 定点カメラ映像用サーバ：データの送受信・管理、画像処理を行う
- ユーザ端末映像用サーバ：ユーザへ提示する映像を生成する
- ユーザ端末：ディスプレイ上でユーザに対して情報提示を行う

全体の処理の流れを説明する。屋外に設置した定点カメラを用いて、移動物体を含んだ映像を撮影する。撮影された映像は、定点カメラ映像用サーバへ送信される。定点カメラ映像用サーバでは、送られてきた定点カメラ映像に画像処理を施し、ビルボード生成に必要な移動物体のテクスチャ獲得と、3次元位置の算出を行う。そして、ユーザー端末映像用サーバに対し、移動物体テクスチャとその位置座標、3次元CGモデルテクスチャの更新に使う撮影視野全体の画像、定点カメラのカメラパラメータを送信する。ユーザー端末映像用サーバでは、送られてきた画像とカメラパラメータから移動物体ビルボードとモデルテクスチャの更新

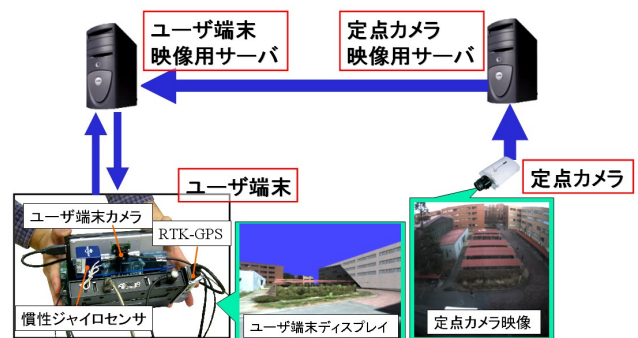


図6：実験システムの構成

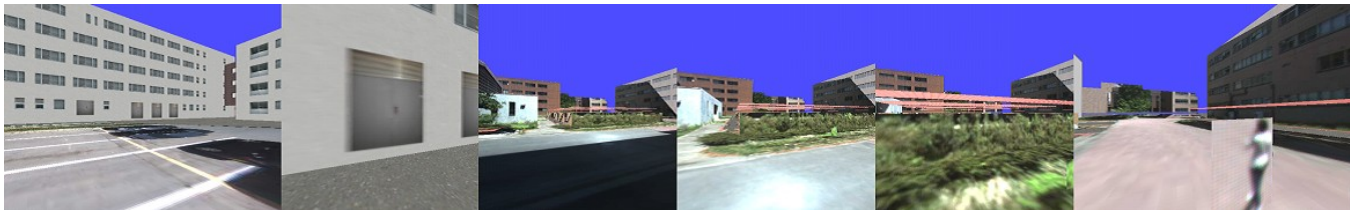


図 8 : 実験結果 (左図から右図へと仮想視点が前方に移動し、壁の向こう側の観察を実現している)

を行う。また、ユーザ端末の位置・姿勢情報と視点移動命令に基づき、3次元 CG モデルの位置合わせを行い、提示映像を生成する。ユーザ端末では計測した自身の位置・姿勢情報とユーザが入力した視点移動命令を、ユーザ端末映像用サーバに送信し、送られてきた映像をユーザに対して提示する。

## 5. 仮想視点移動映像生成実験

大学構内に配置した2台の定点カメラ・定点カメラ映像用サーバを用いて仮想視点移動映像を生成し、リアルタイムに死角領域の見え方を確認する実験を行った。定点カメラの設置位置を図7に示す。各定点カメラ・定点カメラ映像用サーバは有線ネットワークで通信を行う。またユーザ端末へは、定点カメラ映像用サーバから無線LANを経由して情報が送られる。今回の実験ではユーザ端末位置は固定とし、ユーザは図7中に示す矢印の方向に視点を移動する。実験の結果、ユーザ側のディスプレイ上では図8に示すように死角領域を歩く歩行者の様子が確認された。定点カメラ映像用サーバ側での移動物体画像の送信速度は毎秒11-13枚であり、ユーザ端末のディスプレイに提示される映像は毎秒約11枚で更新された。

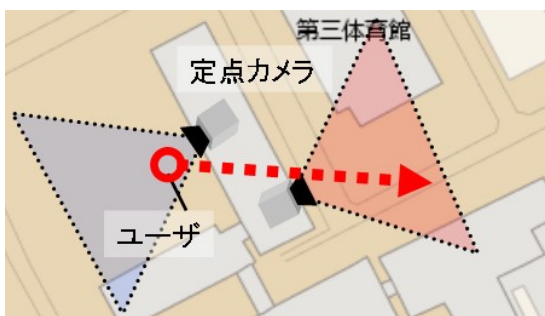


図 7 : 実験環境

## 6. おわりに

シースルービジョンに仮想視点移動機能を実現するインタフェースを追加し、任意視点からの死角領域の確認を可能とした。ユーザ位置を起点に、死角領域へ仮想的に視点を移動することにより、仮想視点・遮蔽物・死角領域の相対的な位置関係が直観的に理解しやすく、かつ視認性も損なわない情報提示が可能である。死角領域の見え方を復元

提示する手法として、ビルボードを用いた提示手法を導入した。移動物体を1枚のビルボードで近似し、そこに移動物体のライブテクスチャを貼り付けることにより、計算コストと通信帯域を低く抑えることが可能となる。

謝辞 本研究の一部は科研費基盤研究(A)(18200011)の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1]R.Tenmoku, M.Kanbara, and N.Yokoya, "Annotating user-viewed objects for wearable AR systems," Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Mixed Augmented Reality (ISMAR2005), 2005.
- [2]J.Wither, S.Feiner, "Using Aerial Photographs for Improved Mobile AR Annotation," Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2006), 2006.
- [3]Y.Kameda, T.Takemasa, and Y.Ohta, "Outdoor See-Through Vision Utilizing Surveillance Cameras," Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2004), 2004.
- [4]T.Tsuda, H.Yamamoto, Y.Kameda, Y.Ohta, "Visualization Methods for Outdoor See-Through Vision," Proceedings of 15th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2005), 2005.
- [5]T.Koyama, I.Kitahara, and Y.Ohta, "Live Mixed-Reality 3D Video in Soccer Stadium," Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2003), 2003.
- [6]S.Morita, K.Yamazawa, and N.Yokoya, "Networked video surveillance using multiple omnidirectional cameras," Proceedings of IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA2003), 2003.