

# 撮影空間における環境カメラ情報の複合現実感技術による可視化

住谷 司<sup>†</sup> 亀田 能成<sup>††</sup> 大田 友一<sup>††</sup>

<sup>†</sup> <sup>††</sup> 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  
E-mail: <sup>†</sup>sumiya@image.iit.tsukuba.ac.jp, <sup>††</sup>{kameda,ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

**あらまし** 本稿では、カメラ付きモバイル端末を持ったユーザに対して、複合現実感技術を用いてモバイル端末上で環境カメラ情報の可視化を行うシステムについて提案する。ここで可視化されるのは環境カメラのライブ映像と、その位置・向きである。本研究では、複合現実感技術を用いて、撮影空間中に存在するユーザに対して、モバイル端末のディスプレイ上に環境カメラ映像を鏡のように重畳し、提示することで、これらの環境カメラ情報を直感的に理解できるシステムを構築する。このシステムの実現に際して、自然特徴点マップを、環境カメラ位置を含んだ状態で予め構築しておくことで、環境カメラに対するモバイル端末のマーカレス位置関係推定も行った。

**キーワード** 可視化, 環境カメラ, モバイル端末, 複合現実感

## Visualization of Surveillance Camera Information Based on Mixed Reality

Tsukasa SUMIYA<sup>†</sup>, Yoshinari KAMEDA<sup>††</sup>, and Yuichi OHTA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan.  
E-mail: <sup>†</sup>sumiya@image.iit.tsukuba.ac.jp, <sup>††</sup>{kameda,ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

**Abstract** This paper proposes a Mixed Reality system for visualization of surveillance camera information at user's handheld device. Our goal is to construct an MR system that a user can intuitively understand the location, orientation, and movie images of surveillance cameras around him/her. We exploit the idea of two floating virtual mirrors for one surveillance camera. We also propose PTAM based surveillance camera registration method which runs as markerless tracking on visualization.

**Key words** Visualization, Surveillance Camera, Mobile Computer, Mixed Reality

### 1. はじめに

近年、セキュリティ確保を行う必要性が高まっており、人間の行動を観測するため、人間が生活する環境中にカメラを設置するケースが増加している。

人間の生活環境に、広範囲にわたって環境カメラを設置する場合、撮影対象である我々は、プライバシーの問題や、撮影データの管理状況が不透明であることに対して、不安を感じることもある。一方で、カメラに見守られているという安心感を得ることもできる。我々が、これらのバランスを十分に考慮していくためには、まずもって環境カメラ群が現在どのような配置にあるかを知ることが重要である。しかし、現在運用されている殆どのカメラシステムでは、撮影対象となる我々にとって、環境カメラの情報を知ることは困難である。環境カメラの有用性を正しく評価するためには、実際に環境カメラが撮影してい



図1 複合現実感技術を利用した環境カメラ情報の提示・可視化の概念図

る映像を見ることで、撮影空間における、カメラの役割を把握できることが必要である。すなわち、環境カメラの映像や設置

場所を、撮影対象である我々が正確に理解できることが重要である。

そこで、本研究では、撮影空間中に存在するカメラ付きモバイル端末を持ったユーザに対して、設置された環境カメラが“どこで”、“何を”撮影しているかを判断できる材料を用意し、複合現実感技術 (Mixed Reality : MR) を用いてモバイル端末上にそれらを提示・可視化することで、環境カメラの情報の直感的理解を促すシステムを構築する。システムの概念図を図 1 に示す。図 1 では、2 台のカメラがほぼ正面からユーザを写しているということがわかる。丸印はそれぞれ対応する実在の環境カメラを示す。本稿では、複合現実感技術を用いて環境カメラの映像を直接提示することで、環境カメラ情報を効果的に伝える可視化手法を提案する。また、適切な提示を行うために、環境カメラとモバイル端末の位置関係をリアルタイムにマーカーレスで求める手法についても述べる。

## 2. 関連研究

撮影対象となる人々が、環境カメラ情報を知ることのできる状況は少なく、一般的には、せいぜいその地域内にカメラの設置場所や目的、カメラ管理者の掲示がある程度である。一例として、東京都杉並区の防犯カメラ設置・利用条例 [1] がある。これは、防犯カメラの適正な設置・利用に関して基本原則などを明確にした条例の例である。ここでは、防犯カメラを取り付ける際は、申請を行ったうえで、そのカメラの管理責任者や、防犯カメラを設置している旨と目的などを表示する必要がある。これにより、防犯カメラの有用性を失うことなく、撮影対象となる人々の自由や権利利益を保護している。しかし、実際に映像が見られるわけではないため、そのカメラの有用性を各個人が直接的には判断しにくいという問題がある。

人間が理解・判断することが困難である問題に対して、IT 技術を用いて環境カメラに関する情報を分かりやすく可視化することで、理解・判断を促す研究がある [2] [3]。Fleck ら [4] は広範囲にわたって設置された高性能カメラの位置情報を Google Earth に埋め込み、更にカメラの撮影空間を 3D 化することによって、より直感的にモニタリングを行うことができる手法を提案している。また、我々もこれまでに、環境カメラの情報を可視化する試みを行っている。ホッピングカメラ [5] は、撮影空間の 3D モデルに対して複数の環境カメラ映像を張り付けてカメラ間の映像切り替えをスムーズに行うことによって、複数の環境カメラ間の関係性の可視化を行っている。

一方で、コンピュータを用いて現実世界と仮想世界を融合することによって、人間が獲得できる情報を増強することで、直感的な理解を促す複合現実感 (Mixed Reality : MR) 技術がある。コンピュータグラフィックスによって描かれた仮想物体を現実空間に重畳した映像をユーザに対して提示する技術を拡張現実感 (Augmented Reality : AR) といい、AR を用いた医療や、作業支援、ナビゲーションなどの研究が盛んに行われている [6]。

Takemasa ら [7] は、自分の目では直接観察できない視覚情報を複合現実感技術を利用して可視化し、提供する“シース

ルービジョン”に関する研究を行った。ここではモバイル端末のディスプレイに対して、環境カメラ映像を重畳し、死角領域を仮想的に透視することで、歩行者に対する視覚支援を行っている。また、Kameda ら [8] は、環境カメラの撮影領域を可視化し、撮影対象となる人々の持つモバイル端末上に提示することで、撮影対象となる人々自身が、環境カメラの設置位置とその撮影範囲を確認できるシステムを提案した。さらに、現在、センサ情報を社会利用するため、コンテンツ化する研究として Sensing Web [9] [10] があり、様々な用途を想定し設置されたセンサ情報を、プライバシーに配慮しつつも積極的にユーザに対して提供する試みが行われている。

本研究では、複合現実感技術を用いて、環境カメラ位置とその映像を可視化し、撮影空間中に存在する人々自身に提供することで、撮影対象となる人々が、カメラシステムの運用状況を確認できるシステムの構築を目指す。

## 3. 環境カメラ情報の可視化

### 3.1 環境カメラ情報の提供

本稿における環境カメラ情報とは、環境カメラ映像と環境カメラ位置の 2 つである。ここで、環境カメラ位置情報には設置点と、その撮影方向も含むものとする。撮影対象となる人々が、環境カメラに対する正しい評価を行えるようにするためには、撮影対象となる人々に対して、環境カメラ映像と環境カメラ位置を的確に伝えることが重要である。

環境カメラ情報を的確に知るための良い手法の一つが、実際の撮影空間中で環境カメラ位置を確認しつつ、環境カメラ映像を見ながら、その映像と実環境とを照合する方法である。しかし、環境カメラ位置を地図などで探しながら環境カメラ映像を見る手法では、二次元マップである地図から三次元の位置を改めて推測するという面倒な認知過程が必要である。

そこで本研究では、複合現実感技術を用いて、ユーザの持つモバイル端末上で環境カメラ位置に応じて環境カメラ映像を提示する手法を提案する。本手法では、モバイル端末のディスプレイ上に環境カメラから得られるリアルタイム映像を複合現実感技術によって重畳し、環境カメラ映像の提示を行う。これによって、ユーザは撮影空間中に居ながら環境カメラ映像を直接確認することが可能となり、実環境との照合を行いやすくなる。更に、環境カメラとモバイル端末の位置関係に基づいて環境カメラ映像の提示位置を定めることで、環境カメラ映像と環境カメラ位置を同時に伝えることができる。

本研究では、カメラ付きモバイル端末を持ったユーザを対象とし、環境カメラ情報を提供するにあたり、撮影空間の条件として、以下のようなシナリオを設定する。また、撮影空間と、シナリオに関する概略図を図 2 に示す。

- 環境カメラが複数設置された撮影空間が存在する。
- 撮影空間中にユーザが存在する。
- ユーザは環境カメラ映像にアクセス可能である。
- 環境カメラ位置情報は公知である。
- 環境カメラとモバイル端末の位置関係は未知である。

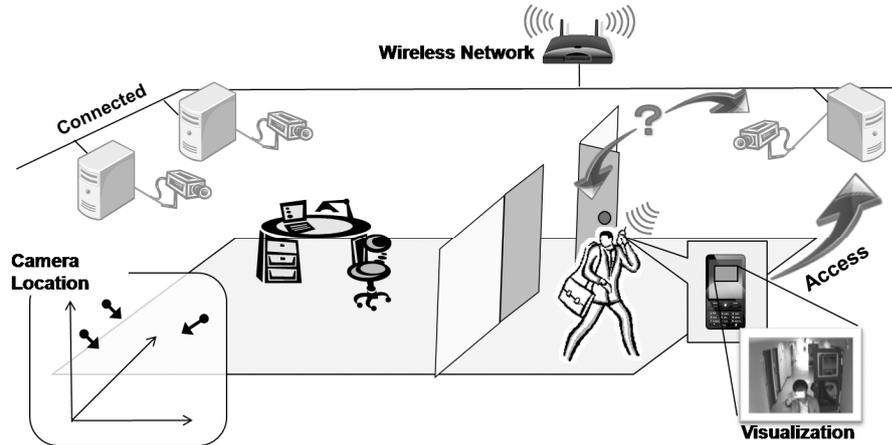


図 2 本研究で想定する撮影空間とシナリオの概略図

### 3.2 鏡の概念を用いた環境カメラ映像の直接提示

環境カメラ映像をモバイル端末のディスプレイ上に重畳するにあたって、ユーザが環境カメラ映像と環境カメラ位置をより簡単に理解するためには、ディスプレイ上に重畳された環境カメラ映像とユーザ自身の位置関係を実際に存在する何かの性質を援用して可視化するのがよい。そこで、本研究では、鏡の概念を利用した仮想浮動ミラー [11] を援用して環境カメラ映像を直接提示することを考える。

仮想浮動ミラーは、環境カメラから得られる画像に対して、鏡の光学的特性を再現するように幾何的な変換処理を行うことで、ユーザの前方に仮想的に鏡を生成し、そのユーザの周囲を直接提示する手法である。仮想浮動ミラーを本研究で設定した撮影空間に対して適用したときの概略図を図 3 に示す。ユーザの持つモバイル端末が環境カメラの光軸上にあるとき、環境カメラ  $C_e$  とモバイル端末に付いているカメラ  $C_m$  を結ぶ線分  $C_e C_m$  の中点に仮想浮動ミラー  $M$  が垂直に存在することになる。ミラーの中心を  $M_O$  とすると、 $C_e$ 、 $M_O$ 、 $C_m$  が同一直線上であるため、ユーザは環境カメラ位置を把握しやすい。また、同時に環境カメラ映像を見ることができ、その映像を撮影している環境カメラを特定できるだけでなく、その環境カメラの撮影領域も知ることができる。ユーザが仮想浮動ミラー  $M$  上で、環境カメラ  $C_e$  に写る物体  $O_1$  を見る場合、それは仮想浮動ミラー  $M$  越しには、図 3 の仮想物体  $O'_1$  の位置に見えることになる。なお、この時の  $C_e C_m$  の長さを  $2L$  と定義する。

多くの場合、環境カメラは上方に設置されているため、その仮想浮動ミラーもユーザから見ると上方になることが多いと考えられる。これでは、ユーザがモバイル端末を上に向けない限り、環境カメラ情報を見逃す可能性がある。そこで、モバイル端末が水平方向や下方向を向いていても環境カメラ情報に気付くようにするため、各々の環境カメラにはもう一枚、仮想対称ミラーを用意する。図 4 に示すように、環境カメラの光軸上にモバイル端末がある場合、ユーザは仮想浮動ミラーと仮想対称ミラーの 2 枚に挟まれることになる。図 3 と同様に、環境カメラ  $C_e$  とモバイル端末  $C_m$  を結ぶ線分  $C_e C_m$  の中点に仮想浮動ミラー  $M$  を生成する。更に、仮想浮動ミラー  $M$  について、 $C_m$

に鏡対称な位置に仮想対称ミラー  $N$  を置く。この結果、ユーザからは物体  $O_1$  上の点  $P_{O_1}$  は、見かけ上  $P_{O'_1}$  に見えるようになる。これは丁度環境カメラ  $C_e$  から  $P_{O_1}$  を見たのと同じ状況で、ただ環境カメラの光軸に沿って全てが  $C_e C_m (= 2L)$  だけ平行移動していることになる。すなわち、ユーザは実物体上の  $P_{O_1}$  と虚像  $P_{O'_1}$  との距離  $2L$  を認知して、自らの後方  $2L$  のところに環境カメラ  $C_e$  があることがわかる。

ユーザのモバイル端末上が光軸上でない場合は、環境カメラと仮想浮動ミラーの距離  $L$  のみをモバイル端末の位置に応じて変化させる。この時、仮想浮動ミラー  $M$  の中心  $M_O$  は光軸上を移動するが、向きは固定しておく。すなわち、重畳された環境カメラ映像を正面から見るためには、ユーザは環境カメラに相対するように回りこむことになる。これによって、ユーザは環境カメラの撮影している位置と方向を知ることができる。

### 4. 環境カメラとモバイル端末の位置関係推定

屋内環境で仮想浮動ミラーと仮想対称ミラーを用いるためには、環境カメラとモバイル端末の位置関係を求める必要がある。

本研究では、撮影空間中における自然特徴点を用いて、環境カメラ映像とモバイル端末の位置関係を求める。まず、事前に撮影空間中における自然特徴点の 3D マップを作成する。それに対して、環境カメラ位置を組み込む。ユーザは事前に作成したこの環境カメラ位置付き 3D マップをモバイル端末に読み込ませることによって、3D マップの座標系における環境カメラ位置情報を取得することができる。更に、モバイル端末上の撮影画像において、撮影空間の自然特徴点を算出し、読み込んだ 3D マップ上の自然特徴点とのマッチングを行うことにより、同じ座標系で決定された 3D マップにおいて、環境カメラとモバイル端末の位置関係を求める。

本研究では、環境カメラとモバイル端末の位置関係を求める為に、PTAM (Parallel Tracking and Mapping) [12] を用いる。PTAM は Georg Klein らによって考案されたマーカーレス環境におけるリアルタイム AR 手法である。PTAM を実行する際には、初めにマップの初期化を行う。マップの初期化では手動で 2 つのキーフレームを設定し、8 点アルゴリズムによって

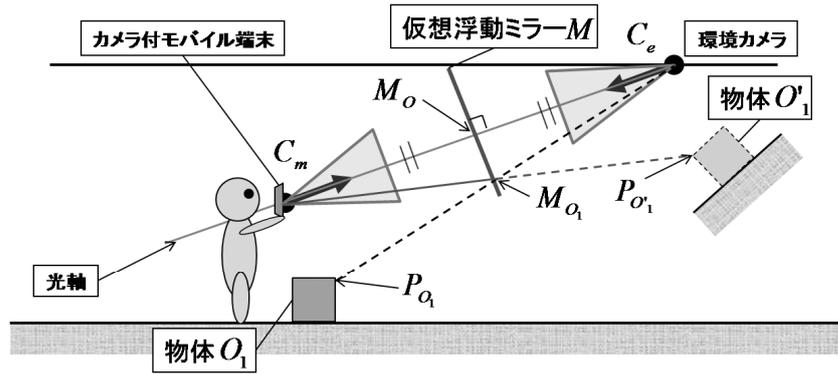


図3 環境カメラ映像の仮想浮動ミラー提示

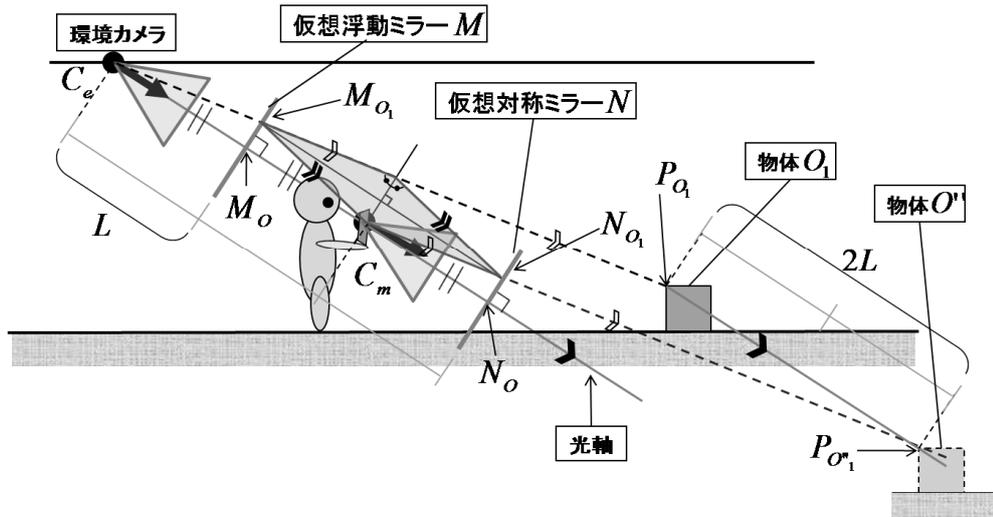


図4 環境カメラ映像の仮想対称ミラー提示

特徴点を三次元化することで、3D マップの座標空間を定義する。この際に基準となる座標空間が設定され、それ以降は、特徴点のトラッキングと、マップの更新を行うことによって、カメラの位置姿勢が推定される。ここでは、事前に環境カメラの位置情報が容易できるものとして、環境カメラ位置の情報を含む PTAM 用 3D マップを構築する手法について以下で説明する。

環境カメラ位置付の 3D マップを構築する際には、PTAM のマップ生成アルゴリズムを用いる。そのマップに対して、同時に環境カメラ位置を入力する必要がある。そこで、本研究では、マップの初期化を行う段階で、環境カメラ位置に設置した特定のマーカーを同時に読み込むことで、環境カメラ位置を 3D マップ上に登録する。具体的には、事前に 3D マップを構築する際に、カメラ位置にマーカーを設置し、それを認識することで、3D マップ上に環境カメラ位置を反映する。マーカーの三次元座標を点  $P_{cw} = (x_{cw} \ y_{cw} \ z_{cw} \ 1)^T$  として、読み込むことで、3D マップ上に環境カメラ位置を表した点を組み込むことができる。これを用いることによって、ユーザは環境カメラ位置付きの 3D マップを読み込むことが可能になり、環境カメラとモバイル端末の位置関係を PTAM によって推定することができる。

## 5. 複合現実感技術を用いた画像提示実験

本提案手法の実験として、PTAM の利用による事前の環境カメラ位置の 3D マップへの登録と、それを利用した仮想浮動ミラー、仮想対称ミラーによる環境カメラ情報の提示実験を行った。手順としてはまず、4 節の手法を用いて、環境カメラ位置付きの 3D マップの構築を行う。環境カメラ位置にマーカーを設置し、マーカーを認識しつつマップの初期化を行うことで、環境カメラ位置付きの PTAM 用 3D マップを事前に構築する。続いて、構築したマップを、ユーザはモバイル端末上でシステム内に読み込むことで、環境カメラ情報の MR 提示を受けられるようになる。

### 5.1 実験環境

実験は 1 部屋を利用して行った。実験環境の様子を図 5 に示す。使用する環境カメラはユーザが存在する領域を撮影している。本実験では、環境カメラとして AXIS205 を用いた。また、モバイル端末カメラとして、USB カメラ (Creative:VF0490) を用いた。取得する画像の解像度は共に 640x480 である。環境カメラ位置付き 3D マップを構築する際は、環境カメラの下に図 6 のような人工マーカーを設置した。複合現実感を用いた画像提示実験では、ユーザに対して、3.2 節に従って、画像の提示を行った。

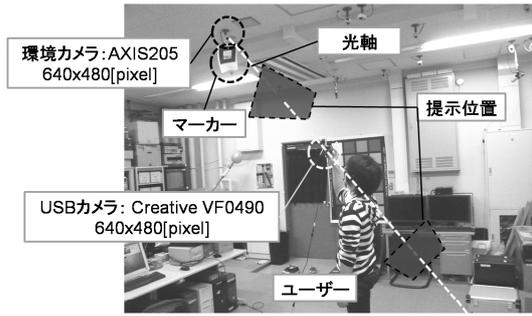


図5 実験環境



図6 マーカーを用いて3Dマップの初期化を行った際に決定された座標平面

## 5.2 実験結果

### 5.2.1 環境カメラ位置付き3Dマップの構築

PTAMを実行し、マーカーが画像中に存在する状態で3Dマップの初期化を行う。この時、初期化されたマップにおける座標平面を図6に示す。ここではPTAMによって決定される初期座標系の直交2軸平面の1つが人工マーカーの平面と合致するように操作する。その後、部屋全体を撮影し、3Dマップを更新していくことで、環境カメラ位置付き3Dマップを構築する。環境カメラ位置付き3Dマップ構築後は、3Dマップを構築する際に用いたマーカーは除去する。

### 5.2.2 複合現実感技術を用いた画像提示

5.2.1節の実験において構築した環境カメラ位置付き3Dマップを用いて、実際に提案手法による環境カメラ情報の提示を行った。ユーザが3Dマップを読み込んだ直後の座標平面の1つを図7に示す。図6と比較すると、人工マーカーを取り去ったあとでも、事前に構築した3Dマップと同様の座標空間が推定されていることがわかる。ここで、仮想浮動ミラー  $M$ 、仮想対称ミラー  $N$  を設置し、環境カメラ情報の提示を行った。その実験結果を図8, 9に示す。また、人工マーカーが存在する際の提示位置を図10に示す。図8に示す通り、人工マーカーが無い状態でも複合現実感技術を用いて仮想浮動ミラー  $M$  が設置され、環境カメラ映像が提示されていることが分かる。また、確認のため、人工マーカーを用いて環境カメラ映像を提示した場合(図10)と比較すると、ほぼ同じ場所に画像が提示されていることが分かる。これは、3Dマップを用いて正しい環境カメラ位置が推定できていることを示している。更に、図9に示す通り、仮想対称ミラー  $N$  の位置にも画像が提示されて



図7 マーカー除去後、3Dマップを読み込んだ際に決定された座標空間



図8 仮想浮動ミラーを用いて提示された画像



図9 ユーザを挟むように提示された画像



図10 マーカーを用いた際の仮想浮動ミラー提示位置

おり、3.2節で示した通り、2枚の像でユーザが挟まれていることが確認できた。

## 6. おわりに

本研究では、撮影空間中に存在するカメラ付きモバイル端末を持ったユーザに対して、環境カメラの位置・方向・映像が直感的にわかるように、モバイル端末のディスプレイ上に提示するシステムを提案し、実際に構築した。

環境カメラ情報の可視化を行うに際し、撮影空間中に存在するユーザに対して、環境カメラ映像と環境カメラ位置を的確に伝えるために、鏡の概念を利用した仮想浮動ミラーと仮想対称ミラーを用いて環境カメラ映像を提示した。環境カメラ位置とモバイル端末位置の関係に応じて、2つの仮想ミラーの提示位置を変更することによって、環境カメラ映像と環境カメラ位置を同時にユーザに伝えられるようにした。

また、事前に環境カメラ位置付きの自然特徴点 3D マップを作成し、ユーザがそれを読み込むことによって、環境カメラとモバイル端末の位置関係をマーカーレスでリアルタイムに推定する手法を実現し、実験によって、マーカーレスの状態でも適切な位置に環境カメラ映像が重畳されることを確認した。

今後の課題として、複数の環境カメラでの実証実験や、環境カメラ情報を可視化・提示できる撮影空間の拡大、ユーザによる評価実験などがあげられる。また、環境カメラとモバイル端末の位置関係をより正確に検出するため、画像ベースでの解析のみに頼るのではなく、慣性センサ等を用いることで、環境カメラとモバイル端末の位置推定の精度を向上させることが考えられる。

## 文 献

- [1] “杉並区防犯カメラの設置及び利用に関する条例”, <http://www.city.suginami.tokyo.jp/> 2004.
- [2] Alfred Kobsa, “User Experiments with Tree Visualization Systems” INFOVIS '04: Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization, pp.9-16, 2004.
- [3] Andy Cockburn and Bruce McKenzie, “Evaluating the Effectiveness of Spatial Memory in 2D and 3D Physical and Virtual Environments” CHI '02: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.203-210, 2002.
- [4] Fleck Sven, Vollrath Christian, Walter Florian and Strasser Wolfgang, “An Integrated Visualization of a Smart Camera Based Distributed Surveillance System” IASTED International Conference on Advances in Computer Science and Technology, pp.234-242, 2007.
- [5] Yoshinari Kameda, Takahiro Tsuda, Itaru Kitahara and Yuichi Ohta, “Smooth video hopping for surveillance cameras”, The 33rd International Conference on the Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH2006), 2006.
- [6] Yuichi Ohta and Hideyuki Tamura, “Mixed Reality - Merging Real and Virtual Worlds -”, Ohmsha, Ltd. 1999.
- [7] Taisuke Takemasa, Yoshinari Kameda and Yuichi Ohta, “Outdoor see-through vision utilizing surveillance cameras”, IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR04, pp.151-160, 2004.
- [8] Yoshinari Kameda, Ngoc Thanh Dao, Itaru Kitahara, and Yuichi Ohta, “MR Based Visualization of Viewing Fields of Surveillance Cameras in Outdoor Scene”, The 1st International Workshop on Aware Computing (IWAC2009), pp.733-736, 2009.
- [9] Michihiko Minoh, Koh Kakusho, Noboru Babaguchi, and Tsuneo Ajisaka, “Sensing Web Project - How to Handle Privacy Information in Sensor Data”, 12th International Conference on Information Processing and Management Uncertainty in Knowledge-Based Systems, pp.863-869, 2008.
- [10] “Sensing Web センサ情報の社会利用のためのコンテンツ化” <http://www.mm.media.kyoto-u.ac.jp/sweb/>, 2009.
- [11] 宮本徹, 北原格, 亀田能成, 大田友一 “Floating Virtual Mirror: 浮動式仮想鏡による車両背後領域の可視化”, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, Vol.106, pp.13-18, 2006.
- [12] Georg Klein and David Murray, “Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces” Proc. Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'07), 2007.