

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(A)
研究期間：2006～2009
課題番号：18200011
研究課題名（和文） シースルービジョン：監視カメラ映像を活用する歩行者のための視覚支援方式の開発
研究課題名（英文） See-through Vision: Visual Augmentation for Pedestrians by Using Surveillance Cameras
研究代表者
大田 友一 (OHTA YUICHI)
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授
研究者番号：50115804

研究成果の概要（和文）：監視カメラの映像を加工して歩行者が持つ携帯型情報端末に提示することにより、死角領域を可視化する技術を開発した。このため、1) 携帯型情報端末の位置・姿勢推定技術、2) 監視カメラ映像を歩行者の視点に変換し違和感なく整合させるための幾何的整合技術と光学的整合技術、3) 可視化した映像の重畳方式、4) 視点ナビゲーション技術、5) 監視カメラ映像にたまたま写り込んでいる人物のプライバシーを保護するため技術、に関する研究開発を行った。

研究成果の概要（英文）： We have developed “See-Through Vision,” a visual augmentation method for pedestrians by using surveillance cameras. In the four years project period, we have conducted the following researches. 1) Pose estimation of mobile personal display device; 2) Geometric registration and photometric registration between the surveillance camera images and pedestrian’s view; 3) Overlay of virtual world onto real world; 4) Privacy protection of pedestrians captured by the surveillance cameras.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|------------|------------|------------|
| 2006 年度 | 12,400,000 | 3,720,000 | 16,120,000 |
| 2007 年度 | 11,400,000 | 3,420,000 | 14,820,000 |
| 2008 年度 | 5,500,000 | 1,650,000 | 7,150,000 |
| 2009 年度 | 5,800,000 | 1,740,000 | 7,540,000 |
| 年度 | | | |
| 総計 | 35,100,000 | 10,530,000 | 45,630,000 |

研究分野：視覚情報メディア

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理

キーワード：画像認識、可視化、スマートセンサ情報システム、バーチャルリアリティ、ユーザインタフェース

1. 研究開始当初の背景

監視カメラの映像をコンピュータで自動

処理する問題は、ビデオサーベイランスと呼ばれる分野を形成し、活発な研究が行われて

いる。これらの研究は、人間のオペレータが監視カメラ映像を常時監視しなくてもよいように監視業務の自動化を目指すものであり、端的に言えば、監視カメラ設置者に便利な機能の実現を目指すものである。

これに対して、本研究では、監視カメラの被写体である一般の歩行者が、監視カメラ映像を有効利用できるような機能の実現を目指すという点に特色があり独創的である。監視カメラの映像を適切に加工して、被写体である歩行者に提供しようという発想は、国際的にも国内的にも他に例をみない。

2. 研究の目的

本研究は、公共空間における監視カメラ設置数の増大は避けられないであろうことを前提に、一般市民が、自らのプライバシーと引き替えに監視カメラから得られるメリットとして、「安全」という重要だが眼に見えにくい価値の他に、眼に見えて便利さを実感できる新しい付加価値の在り方を提案し、それを実現する基盤技術を創成することを目的とする。

新しい付加価値の在り方として、具体的には、従来、カメラの設置者のみが利用していた監視カメラ映像を、被写体である一般市民も利用可能とすることを前提に、歩行者が持つ PDA などの携帯型情報端末に監視カメラ映像を適切に加工した映像情報を提示し、自分の眼では直接見ることが出来ない視覚情報を歩行者に提供する「シースルービジョン」を提案する。

シースルービジョンとは、スーパーマンが持っている、物体の透視能力を備えた眼を意味し、歩行者が目の前のビルなどの遮蔽物を透視して遠方を見ることが出来る機能を端的に表現するキーワードとして、本研究の標題に採用している。しかし、ネーミングに際してのもう一つの重要な意図として、監視カメラ映像の「透明性」を高める、すなわち、監視カメラで何が撮影されているかを被写体である一般市民が日常生活の中で容易に把握できる環境を提供する、という意味合いが込められている。

3. 研究の方法

研究期間内に所期の研究目的を達成するため、シースルービジョンを実現するための基盤技術として、以下の研究項目について並行して研究を進めた。

(1) 位置・姿勢計測機能を持つ携帯型情報端末の試作

複合現実感において現実世界と仮想世界を融合して提示するためには、頭部装着型ディスプレイ (HMD) を用いるのが一般的である。しかし、屋外の歩行者が HMD を使用することは現実的ではない。本研究では、携帯型

情報端末の画面を用いて複合現実型の情報提示を行うことを考える。

この端末には、小型 P C が内蔵する無線 LAN 機能に加えて、端末位置からの視界を撮影する小型カメラ、端末位置を計測する GPS、端末の姿勢の変化を計測するジャイロを装着する。ランドマーク検出とのセンサフュージョンによって、精度 10m 程度の普通の GPS でも十分に機能するような技術開発を行う。

ジャイロの計測結果と画像中のランドマーク検出を併用したセンサフュージョンによって、姿勢推定精度を向上させる手法は、複合現実感技術において一般的になりつつあるが、本研究が対象とするような屋外環境では、ランドマークの見え方が日照変化や天候によって大きく変化するため、ランドマーク検出が困難になるという問題がある。本研究では、監視カメラで撮影された映像を援用して、この問題を解決する。すなわち、固定された監視カメラで、常時、ランドマークを観測しているため、ランドマーク自体の見え方の変化に関する情報は、監視カメラの映像から獲得することが可能である。従って、端末のカメラで撮影された映像からランドマークを検出する場合には、まず、監視カメラの映像に撮影されている当該ランドマークの像から、その時点の見え方を反映したテンプレートを作成し、そのテンプレートを用いてランドマーク検出を行う。

(2) 監視カメラ映像を歩行者の視点に視点変換し、携帯端末の映像と違和感なく整合させるための、幾何的整合技術と光学的整合技術の開発

シースルービジョンは、歩行者から死角になって見えない部分の情景を、監視カメラで撮影された映像から切り出して、携帯型情報端末の画面に提示することにより実現する。この際、監視カメラが設置されているのは、歩行者が居る場所とは異なる位置なので、監視カメラの映像をそのまま端末の画面に提示しても、シースルーしているという感覚を歩行者に与えることは出来ない。すなわち、監視カメラから得られる映像を、あたかも、歩行者の視点から見たような映像に「視点変換」した上で提示する必要がある。

1 台の監視カメラの映像を視点変換するために、本研究では、情景の 3 次元形状を、複数のビルボードの組み合わせで粗く近似する方法を採用する。建物や道路など殆ど変化しない大きな構造物については、あらかじめ 3 次元形状モデルを可能な範囲で作成しておくが、それ以外の構造物や車両や人物については、適宜、ビルボードを地面上に立てて近似する。3 次元空間中の平面上のテクスチャについては、一視点から撮影された映像を任意の視点の映像に、2 D 射影変換 (ホモグ

ラフィー)で正確に変換できる性質を利用して、視点変換処理を行う。

多数の監視カメラと不特定多数の携帯端末のカメラでは、ホワイトバランスなどの色特性が整合しておらず、画像を重畳した場合に違和感を生じる。このため、デバイスに依存しない色空間を介して色再現を統一することにより光学的整合性をとることを試みる。

(3) 歩行者が直視できる現実世界と仮想的にシースルー提示される世界との情報端末の画面上での重畳方式の開発と評価

端末のカメラで撮影された映像と、監視カメラで撮影された死角部分の映像を、情報端末の画面上で重畳することにより仮想的にシースルー提示を行うが、現実にはあり得ない未体験のシースルー提示を人間の視覚がどの程度容易に受け入れることが出来るかは、興味深い問題である。これまでの予備検討では、シースルー提示の方法をうまく工夫しないと、提示された死角部分の3次元配置が把握しにくいという知見を得ている。重畳方式について、多様な方法を実験的に検討し、主観評価実験を行うことによって、人間の視覚との関係も含めて評価していく。

(4) 自分の周辺にある監視カメラの配置を意識することなく注目領域を適切に撮影している監視カメラ映像に容易に辿り着くことを可能にする視点ナビゲーション技術の開発

歩行者に提示する映像を、目の前の遮蔽物を透視したものに限定する技術的な理由はない。監視カメラによって得られる映像を視点変換する技術を用いれば、任意の監視カメラで撮影されている情景を任意の方向から見た映像を、歩行者に提供することが可能である。見ることが可能な映像の選択肢が拮がった場合に、本当に必要な映像を歩行者自身が選び出すことは容易ではない。シースルービジョンは、映像の選択肢の拮がりを意識させることなく、適切な映像を選択し提示するための、直観的で分かりやすいインタフェースであると考えているが、この研究項目では、より選択の自由度が大きく、かつ、分かり易さが失われないインタフェースを開発する。歩行者が実在する3次元空間の体勢感覚を取り入れること、異なる監視カメラ間の映像切り替えて体勢感覚が途切れないようにすることをポイントに技術開発を進める。

(5) 監視カメラ映像に写り込んでいる人物のプライバシーを保護するためのプライバシー保護技術の開発

公共の場所に設置された監視カメラの映像を、その被写体である歩行者に提供する場

合に、その映像にたまたま写り込んでいる第三者のプライバシーを保護する技術が必要である。しかし、一般的には、情報の利用者と被写体の間柄とプライバシー保護の必要度の関係は、かならずしも自明ではない。映像に含まれるプライバシー情報を、情報の利用者と被写体との関係において、段階的かつ選択的に取り除いて提供するためには、プライバシー情報のレベル分けなど基本的な情報構造を明らかにする必要がある。

4. 研究成果

(1) 携帯型情報端末の位置・姿勢推定

図1に、本研究で開発した携帯型情報端末の一例を示す。端末の姿勢は慣性センサを利用して求めるが、慣性センサで計測された姿勢は、建物や近くの電子デバイスから来るノイズ等の影響で誤差を含むことが多い。そこで、端末カメラで撮影された画像を利用して補正する。屋外環境では、人工マーカ等の設置は困難であるため、建物の形状・模様の特徴のある領域(建物の角や窓枠など)をランドマークとして用いる。また、日照変動に柔軟に対応するために、屋外に設置された監視カメラ画像上でランドマークを複数個所設定する。端末では、機器から得られる位置姿勢を利用して、端末カメラで撮影されている可能性が高いランドマークを選出し、それらの検出を試みる。端末カメラ画像上で、ランドマークを3点以上検出した場合にICP(Iterative Closest Point)アルゴリズムによって現在の位置姿勢の補正を行う。

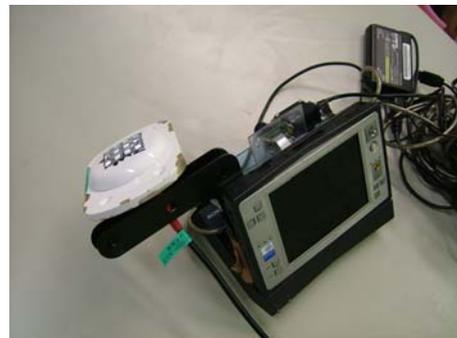


図1. 携帯型情報端末

(2) 幾何的整合技術と光学的整合技術

監視カメラ映像を加工し、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、監視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。

図2に、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、監視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を動的に更新する。

監視カメラ映像中から、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行う必要があるため、計算コストの少ない背景差分法を利用する。

本システムでは、多数の監視カメラを利用しているが、各カメラの画像は、カメラ特性等によって色合いが異なる。これを解決するためにカメラ間の色補正を行う。補正には、分光放射輝度計とカラーチャートを利用する。分光放射輝度から理想三刺激値を求め、カメラ画像から実測三刺激値を求める。これらの差が最小になるような変換行列を求める。



図2. 実験環境の3次元CGモデル

(3) 重畳方式

死角領域の透視表示において、直観的に理解しやすい提示を行うためには、利用者に対して、何が、何処に、あるのかの情報を伝えることが重要である。このために、我々は、以下の2項目が重要であると考えた。

- 死角領域の視認性の確保
- 利用者から見た遮蔽物と死角領域の位置関係の認知

この2項目は相反する要素を含むが、両立させる必要がある。また、ヘッドマウント型の表示装置でなく、携帯型情報端末により死角領域を提示する場合には、利用者の視界は遮られていないため、現実世界を直接目視できるという特徴がある。

以上の考察に基づいて、以下の重畳方式について実験的に有効性を検証した。

- 遮蔽物領域の非表示
- 遮蔽物モデルの重畳（ワイヤフレーム／ワイヤフレーム+面）
- 地面グリッド表示
- 空瞰マップ表示

主観評価実験により、これらの重畳方式がそれぞれ期待した効果を持っていることが確認された。また、遮蔽物領域を非表示にし、遮蔽物をワイヤフレーム表示し、地面グリッドを表示する方法が、最も高い評価となった。

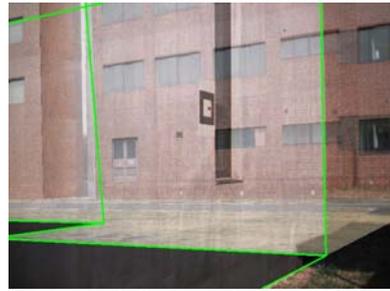


図3. 遮蔽物モデルの重畳例（ワイヤフレーム）

(4) 視点ナビゲーション

広範囲でのシースルービジョンを実現するための新たなインターフェースとして、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”を提案した。この仮想視点移動は、CGモデルと実写映像で構築した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。

同一の空間を複数の監視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適切に選択する必要がある。仮想視点位置における仮想の端末カメラの視野と、各監視カメラの視野で共通している領域を、各々の監視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監視カメラが、注目領域を一番大きく撮影していることになるので、そのカメラの映像からテクスチャ情報を獲得する。

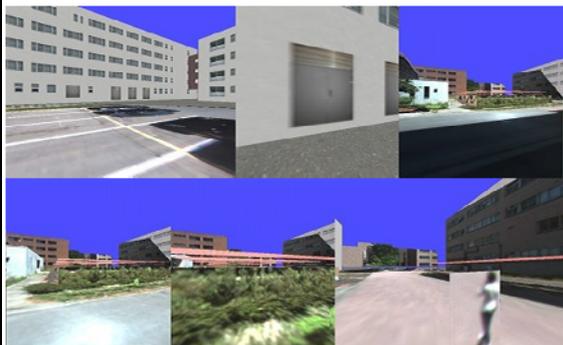


図4. 視点移動が可能なシースルービジョン（左上から右下へ：前方に視点移動）

(5) プライバシ保護

プライバシー情報は、監視カメラで撮影された映像に含まれる情報と、その情報の利用者との関係に、大きく依存する。撮影された映像に含まれる情報を、情報の利用者が観察することによって、被写体の個人同定がどの程

度可能かを示す度合いを、プライバシー情報のIDレベルの高さと呼ぶことにする。プライバシー情報のIDレベル自体も、情報の利用者と被写体との関係によって変化しうる。

車のナンバーのような記号情報は、誰が観察しても正確にその所有者を同定できるので、情報利用者に依存せず、常にIDレベルは高い。一方、顔や服装は、情報利用者と被写体個人との関係が強い程、個人同定が容易になる。逆に、全くの他人が情報利用者の場合には、顔や服装で、それが何処の誰かを同定することは不可能であろう。被写体の人物が所持している物品が、大量生産品の場合にも、被写体をよく知る情報利用者であれば、個人同定に関して何らか情報が得られる可能性があるが、そのIDレベルは低い。

監視カメラ映像に写っている被写体のプライバシー情報を保護する必要性は、被写体のプライバシー情報が情報利用者に漏れた場合に、被写体の人物が抱く不快感の大きさにも依存する。これを、プライバシー情報のメンタルレベルの高さと呼ぶことにする。図5は、被写体の人物と情報利用者との関係によって、プライバシー情報のメンタルレベルの高さが、一般的にはどのように変化しうるかを表している。情報利用者が同居家族であれば、メンタルレベルが低いのは当然であるが、全く会う可能性のない他人についてもメンタルレベルは低いものと考えられる。図5は、あくまで一般的な考察に基づくものであり、メンタルレベルは、被写体の個人ごとに異なるものである。個人ごとのメンタルレベルを、どのように取得するかは、今後に残された興味深い問題である。

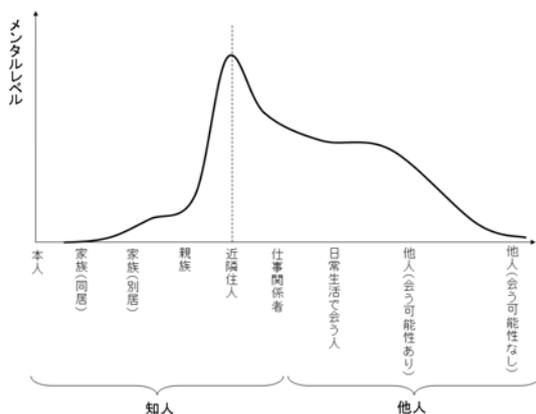


図5. プライバシー情報のメンタルレベル

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

① Yoshinari Kameda, Dao Ngoc Thanh, Itaru Kitahara, Yuichi Ohta, "MR based

Visualization of Viewing Fields of Surveillance Cameras in Outdoor Scene," The 1st International Workshop on Aware Computing (IWAC2009), 査読有, pp. 733-736 (2009.9)

② Nozomu Kasuya, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "Automatic Player's View Generation of Real Soccer Scenes Based on Trajectory Tracking," Proceedings of 3DTV Conference 2009 (Capture, Transmission and Display of 3D Video), 査読有, 4 pages (2009.5)

③ 大田友一, 亀田能成, 北原格, "シースルービジョンとプライバシー情報の管理", 人工知能学会誌, 査読無, 24, 2, pp. 214-219 (2009.3)

④ 糟谷望, 北原格, 亀田能成, 大田友一, "サッカーシーンにおける選手視点映像提示のためのリアルタイム選手軌跡獲得手法", 画像電子学会誌, 査読有, 38, 4, pp. 395-403 (2009.7)

⑤ Nozomu Kasuya, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "Robust Trajectory Estimation of Soccer Players by Using Two Cameras," Proceedings of the 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR2008), 査読有, 4 pages (2008.12)

⑥ 南谷真哉, 北原格, 亀田能成, 大田友一, "変型ビルボードを用いた人物像の提示による複合現実感卓上作業の遠隔共有", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, 13, 3, pp. 363-374 (2008.9)

⑦ Norihiro Ishii, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "3D Tracking of a Soccer Ball Using Two Synchronized Cameras," Proceedings of Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM2007), 査読有, 10 pages (2007.12)

⑧ Shinya Minatani, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "Face-To-Face Tabletop Remote Collaboration in Mixed Reality," Proceedings of the Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR07), 査読有, pp. 43-46 (2007.11)

⑨ Yoshinari Kameda, Itaru Kitahara, Yuichi Ohta, "Visual Assistance for Drivers by using Mixed Reality," CDROM Proceedings of 14th World Congress on Intelligent Transport Systems, 査読有, 8 pages (2007.10)

⑩ 北原格, 橋本浩一郎, 亀田能成, 大田友一, "サッカーの自由視点映像提示における気の利いた視点選択手法", 日本バーチ

ャルリアリティ学会論文誌 (TVRSJ), 査読有, 12, 2, pp.171-180 (2007.6)

- ⑪ Naobumi Nomura, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "A Background Modeling Method with Simple Operation for 3D Video," 3DTV CON 2007 (Capture, Transmission and Display of 3D Video), 査読有, 4 pages (2007.5)
- ⑫ Yuichi Ohta, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Hiroyuki Ishikawa, Takayoshi Koyama, "Live 3D Video in Soccer Stadium," International Journal of Computer Vision, 査読有, Vol.75, No.1, pp.173-187 (2007.3)
- ⑬ Toru Miyamoto, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "Floating Virtual Mirrors: Visualization of the Scene behind a Vehicle," 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2006), LNCS4282, 査読有, pp.302-313 (2006.11)
- ⑭ Akihiko Sato, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "Visual Navigation System on Windshield Head-Up Display," CDRM Proceedings of 13th World Congress on Intelligent Transport Systems, Technical Paper, 査読有, PaperID 1221, 8 pages (2006.10)
- ⑮ Takahiro Tsuda, Haruyoshi Yamamoto, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "Visualization Methods for Outdoor See-Through Vision," Transactions of the IEICE D, 査読有, Vol.E89-D, 6, pp.1781-1789 (2006.6)

[学会発表] (計8件)

- ① Masayuki Hayashi, Ryo Yoshida, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "An Installation of Privacy-Safe See-Through Vision", Conference Digest of International Conference on Security Camera Network, Privacy Protection and Community Safety 2009 (SPC2009), 2 pages (2009.10.29) 桐生
- ② Masayuki Hayashi, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "3D Pointing Interface by using Virtual Diorama for Attention Sharing," Proceedings of "Let's Go Out" Workshop in conjunction with International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2009 (ISMAR09), 2 pages (2009.10.19) Orlando
- ③ Itaru Kitahara, Shinya Yamazaki, Takahiro Tsuda, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "Visual Augmentation

Methods for Surveillance Cameras by Using Mixed Reality," International Workshop on "Sensing Web", 8 pages (2008.12.7) Tampa

- ④ 濱田修平, 北原格, 亀田能成, 大田友一, "環境カメラ画像情報を用いた複合現実感のためのモバイルカメラの位置・姿勢推定", 信学技報 IEICE Technical Report PRMU, 108, 327, pp.109-116 (2008.11.27) 大阪
- ⑤ 山崎真也, 北原格, 亀田能成, 大田友一, "仮想視点移動が可能な広範囲でのシーンスルービジョン", 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会論文集, pp.640-643 (2008.9.26) 奈良
- ⑥ 山本治由, 津田崇博, 塚田正人, 北原格, 亀田能成, 大田友一, "屋外における複合現実型情報提示の広域化—特性の異なるカメラ群の利用—", 電子情報通信学会技術研究報告 MVE, Vol.106, No.396, pp.23-28 (2006.11.30) 東京
- ⑦ Takahiro Tsuda, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "Smooth Video Hopping for Surveillance Cameras," The 33rd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH2006) Sketches, (2006.8.3) Boston
- ⑧ 大田友一, "計算メディア: センシング機能がネットワークと融合するとき", 画像の認識・理解シンポジウム 2006 論文集 (MIRU2006), pp.13-18 (2006.7.20) 仙台

[その他]

ホームページ等

<http://www.image.iit.tsukuba.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大田 友一 (OHTA YUICHI)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号: 50115804

(2) 研究分担者

亀田 能成 (KAMEDA YOSHINARI)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授

研究者番号: 70283637

北原 格 (KITAHARA ITARU)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授

研究者番号: 70323277