多視点カメラによる監視システムの状況把握効率向上

Improving the Situation Assessment Efficiency of Monitoring Systems Using Multiple Cameras

学生会員 村松孝治^{†1*},
山下 淳^{†5},

小林一郎^{†2}, 正会員 谷川智洋^{†3,†4},
広田光一^{†4,†6}, 廣瀬通孝^{†4}

Koji Muramatsu^{†1*}, Ichiro Kobayashi^{†2}, Tomohiro Tanikawa^{†3,†4}, Jun Yamashita^{†5}, Koichi Hirota^{†4,†6} and Michitaka Hirose^{†4}

Abstract Currently, video cameras with high performance and high resolution have been getting cheaper, and the number of video cameras positioned in various places has increased. With this background, we have done research with the aim of improving the situation assessment efficiency when observing multiple video images from multiple monitoring cameras. In this paper, we propose a system that generates mixed video images to see both obstacles and the obscured views behind them, using multi-viewpoint images from multiple outdoor cameras arranged to record images of the same space from different perspectives. Additionally, we evaluate and report the validity of this system.

キーワード: ビデオカメラ 障害物消去 複合現実感

1. ま え が き

近年、ビデオカメラ技術の進歩に伴い、高性能・高画質

のビデオカメラの価格が低下しており、ビデオカメラの設置台数、その中でも特に監視カメラの設置台数が増加してきている。これにより、多地点におけるカメラ映像が入手可能となるが、膨大な数のカメラ映像をすべて同時に監視するのは困難であり、このため、状況把握を効率よく行うための手段が求められてきている。

カメラ設置台数の規模や、把握すべき状況の種類により、この課題の持つ意味は変わってくる。まず、単一の監視対象空間を対象とする場合は、単一のコンテキスト（ここでは、単一の場所で起きている事象をさす）を部分的に捉えた複数の映像を如何に融合して全体像を把握するか、などが重要となる。次に、複数の監視対象空間に設置したカメラ映像を対象とする場合は、同時進行する複数のコンテキストを如何に効率よく把握するか、などが重要となる。我々のグループでは、まずは前者に注目し、複数のカメラ映像をシームレスに（連続的に境界なく）つなぎ、また、効率よく融合させて状況把握効率を向上することを目的とした研究に取り組んでいる。

2. 関 連 研 究

単一の監視対象空間を対象に状況把握効率を向上する他の研究例としては、川崎らが監視対象空間をいろいろな位置から撮影した多視点映像を用いて3次元モデルを構成し、自由な視点位置からの映像を生成・提示する研究を行っている¹⁾。しかし、監視対象空間を囲む壁には、別途用意し

2004年9月8日、日本バーチャルリアリティ学会第9回大会で発表
2004年12月24日受付、2005年3月22日最終受付、2005年4月11日採録

†1 東京大学 大学院 工学系研究科

(〒153-8904 目黒区駒場 4-6-1, TEL 03-5452-5197)

†2 日本電気株式会社

(〒108-0014 港区芝 5-7-1, TEL 03-3454-1111)

†3 独立行政法人 情報通信研究機構 駒場 SVR リサーチセンター

(〒150-8904 目黒区駒場 4-6-1, TEL 03-5452-5197)

†4 東京大学 先端科学技術研究センター

(〒153-8904 目黒区駒場 4-6-1, TEL 03-5452-5197)

†5 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科

(〒305-8573 つくば市天王台 1-1-1, TEL 029-853-5800)

†6 東京大学 大学院 新領域創成科学研究科

(〒113-0033 文京区本郷 7-3-1, TEL 03-5841-6366)

* 東京大学 大学院 工学系研究科

†1 Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

(4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 150-8904, Japan)

†2 NEC Corporation

(5-7-1 Shiba, Minato-ku, Tokyo 108-0014, Japan)

†3 Komaba SVR Research Center, National Institute of Information and Communications Technology

(4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 150-8904, Japan)

†4 Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

(4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 150-8904, Japan)

†5 Graduate School of Systems and Information Engineering, The University of Tsukuba

(1-1-1 Tenoudai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8573, Japan)

†6 Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

(7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan)

* Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

た CAD データが適用されるため、監視対象空間を囲む壁付近の映像情報、すなわち、壁の模様やガラス窓、壁に張り付いている額、壁に接した棚などに関する映像情報はリアルタイムな情報ではない。また、監視対象空間の CAD データの準備も必要となる。

そこで我々は、多視点映像を元に自由な視点位置からの映像をリアルタイムに生成・提示して利用者に空間を認識させる監視システムを目指し、また、特に、監視対象空間を囲む壁付近の映像情報をリアルタイムな映像情報とするために必要な手段として、障害物を消去した映像の生成に注目した研究を進めてきている²⁾³⁾。

障害物消去の他の研究例としては、まず、Zokai らが、カメラが正確にキャリブレーションされていることを前提に、障害物を他のカメラからの背景画像に入れ替えて、障害物消去画像を生成する研究を行っている⁴⁾。しかし、監視対象空間に多数のカメラを配置する場合には、カメラを新たに設置する時や、監視対象の変化によりカメラの位置/向きを変更する時、悪意のある人によりカメラの位置/向きが不当に変えられた時、カメラの位置/向きがずれた時などに毎回キャリブレーションが必要となり、手間がかかってしまう。

また、Kameda らがカメラ付 PDA の映像と定点カメラの映像を融合して透視する研究を行っている⁵⁾。しかし、この研究では PDA のカメラのキャリブレーションを行うのにランドマーク（窓の隅等）を利用しており、このランドマークを自動認識するのに建物の CAD データを利用している。このため、監視対象空間の CAD データを予め準備する必要があり、手間がかかってしまう。

以上の背景から、今回、我々は、多数のカメラを配置した監視対象空間内で、CAD データを使用することなく、人手によるキャリブレーションの手間が少なく、かつ、障害物の消去/半透明化をリアルタイムに行って状況把握効率の高い映像を提示する監視システムの検討を行った。そして、特に今回は 2 レイヤ（障害物と障害物のない層）を扱うシステムを検討した。

また、今回我々は、状況把握効率の向上に向け、障害物領域の半透視化というアプローチを行っているが、一方で、障害物領域を半透視化すると、情報量が増える反面、障害物領域で重なり（例えば、人物と柱の重なり、人物と人物の重なり等）が生じ、見づらい画像になる。しかし、フレームレートが高ければ、重なった人物等の動きを目で追えるようになり、この見づらさがある程度補うことができる。このため、半透視化映像を提示する監視システムでは、フレームレートの高さが重要となる。また、フレームレートが高ければ、人物が素早く動く場合、特に、複数の人物が動いてそのうちの一人が万引きを一時のうちにやる、というような場合にも有用と考えられる。以上の観点から、今回のシステムでは、高いフレームレートの実現に重点を置き、画質の議論は行わないものとする。

3. 提案手法

3.1 障害物消去/半透視化のリアルタイム性追求

障害物消去/半透視化は、

- 障害物の映ったカメラ画像（以下、視点画像）
- 障害物の背後の映った他カメラの画像（以下、補完用画像）

の 2 画像を入力とし、障害物の背後の各画素を視点画像の障害物領域の各画素に重ね合わせた画像を出力とすることで実現する。ここで、障害物領域は手動により指定する。また、視点画像と補完用画像における画素の対応付けは、補完用画像に射影変換を行うことで行う。射影変換は、事前にカメラ間の射影変換行列を求めておけば高速に行うことができ、リアルタイム処理が必要な本研究に適しているためである。また、前述の画素の重ね合わせは、視点画像と補完用画像の各々の画素を一定の割合ずつ（例えば、40% : 60%）にして足すことで行う。これにより半透視化画像を生成でき、生成画像に含まれる情報量の増加を期待できる。

なお、射影変換行列はカメラの相互の位置関係により定まるため、カメラを配置/再配置する段階で求める。また、人手による手間がかからないよう、自然特徴点の自動対応付けを利用して自動算出する。ここで、自動算出には、木山ら及び金澤らの手法⁶⁾⁷⁾を用いている。これらの手法では、画像内から、より多くの特徴点を含む平面部分に含まれる特徴点を投票により自動的に選び出し、対応付け、射影変換行列の算出を行う。この手法により、平面シーンの一部に非平面物体が含まれていたり、壁と床などの 2 平面が存在するシーンであっても、画像内で平面部分（壁など）の特徴点数が多ければ良好な結果が得られる。このため、提案手法では領域分割処理等の他の手法を組合せることはしていない。しかし、逆に、壁と床などの 2 平面が存在するシーンで床の特徴点数が多い場合には、床に対して最適な射影変換行列が算出されてしまい、障害物領域の重ね合わせ時にずれが生じて画質が低下する可能性がある。このため、監視カメラは、シーンの背景（壁など）の割合が他の平面（床など）の割合よりも高くなるよう設置する必要がある。

また、この射影変換行列の算出により、カメラ視線およびカメラ位置に関するキャリブレーションは不要となる。このため、カメラの設置時やカメラの位置/向きの変更時などに必要な作業は、射影変換行列の自動算出のみとなり、人手によるキャリブレーションの手間を削減することができる。

一方、射影変換行列を用いることの制約として、障害物が背景あるいは撮影対象よりも充分手前に位置していること、および、背景が単一平面もしくは遠景のように単一平面と近似できることが前提となるが、監視カメラは主に建造物壁面など平面で構成されることの多い都市空間を対象としており、撮影画像内で背景平面の占める割合が高いケー

スも少なくないことから、適用範囲は狭くはないと考えられる。また、広角レンズ使用時はレンズ歪みの影響が出てくるが、現時点では通常のレンズを想定しており、レンズ歪み補正はまだ実装していない。

また、射影変換行列を自動算出することの制約として、手間を省ける反面、画質の低下が生じることがある。具体的には、計算誤差や自然特徴点の誤対応により、射影変換行列に誤差が生じ、障害物領域の重ね合わせ時にずれが生じて画質が低下することがある。また、背景や障害物に複雑な図形(木の枝や葉等)が多く含まれる場合には、特徴点の対応付けに失敗して不正な射影変換行列が求まってしまい、結果として、障害物領域に不適切な領域の画素を融合してしまうことがある。

3.2 処理の流れ

提案手法の処理は以下の三つのフェーズから成り立つ。

(1) 初期設定処理

- 視点画像とするカメラを利用者が選択
- 視点画像に対して利用者が障害物領域を指定

(2) 事前処理

- 視点画像と補完用画像を取得
- 障害物領域近傍で自然特徴点を抽出
- 同一特徴点を画像間で対応付け(含キャリブレーション)
- 対応特徴点の視差情報から射影変換行列を算出

(3) 実時間処理(各フレームごとに実施)

- 視点画像と補完用画像を取得
- 補完用画像を射影変換
- 変換画像を半透明化
- 障害物領域に半透明化した変換画像を重ね合わせる

4. システム構成

システムは、映像を撮影するカメラノード部と画像処理を施して障害物消去映像を生成する統合 PC に大別される。各々のノードと統合 PC は、イーサネットでは、全体でギガビットネットワークを形成している(図 1)。視点画像の選択は、統合 PC にてカメラノードを指定することで行う。また、障害物領域の指定は、統合 PC 上で視点画像を見ながら、マウスで矩形を指定することで行う。補完用画像の選択も統合 PC にてカメラノードを指定することで行う。

カメラノードは画像の取得、送信を行う。IEEE1394 カメラと画像送信用 PC とで構成され、統合 PC から要求があれば VGA 画像を 30 [fps] で撮影、補完用画像の場合は、予め統合 PC 部で算出しておいた射影変換行列を施し、TCP/IP により送信する。

統合 PC 部では画像の受信、処理、表示を行う。まずフレーム毎に、視点画像と補完用画像を撮影しているカメラノード部へ映像の伝送を要求する。受信した補完用画像を視点映像の障害物領域に重ね合わせて、障害物消去画像を生成、表示する。表示までの一連の処理を終えた後に次の映

図 1 システム構成図
System architecture.

像の伝送を要求する。

画像の解像度は 640×480 で、統合 PC は Xeon 3.20GHz $\times 2$ + メモリー 3.5GB、画像送信用 PC は PentiumM 1.60GHz + メモリー 640MB である。OS は共に Linux で、レンダリングには OpenCV-0.9.5 を使用した。全カメラノードでレンズ仕様は同じであり、垂直画角 36 度、水平画角 47 度、対角画角 57 度である。

5. 実験と評価

本校構内の中庭(屋外)にて、障害物(柱)の手前と背後に一人ずつの人物が移動するシーンを撮影した。障害物(柱)の正面を向くように、カメラノード(視点画像用)を設置し、このカメラノードの左右に約 80cm 間隔で他のカメラノード(補完用画像用)を 8 台ずつ一列に設置した。ここで、補完用画像用カメラノードは、障害物領域あるいはその背後が撮影できる方向に設置している。補完用画像としては、視点画像の 7 台左(約 5.6m 左)のカメラノードから撮影した画像を使用した。視点画像と補完用画像、および、それぞれの自然特徴点の抽出および対応付け結果(図 2)、射影変換適用後の補完用画像(図 3)、障害物半透明化画像(図 4)を図に示す。

図 4 において、障害物(柱)の手前と背後の人物が同時に映っており、視点画像と補完用画像の情報量を網羅する、状況把握効率の高い映像を提示できていることがわかる。また、今回の実験における撮影フレームレートは約 29.97 [fps] であり、リアルタイム性をほぼ実現できている。以上から、本手法が有効であることが確認できた。

6. むすび

本論文では、多数のカメラを配置した監視対象空間において、キャリブレーションの手間が少ない、障害物の消去/半透明化を行う監視システムを提案し、実時間性を満足しており、また、状況把握効率向上のために有効であることを示した。

今後は、人物などの移動体が障害物となるような動的な

図 2 視点画像 (左上), 補完用画像 (右上), 各々の自然特徴点の対応付け結果 (左下, 右下)

A viewpoint image (upper left), an image for assistance (upper right), and results of matching natural feature points of those images (lower left and lower right).

図 3 射影変換適用後の補完用画像

An image for assistance converted by a projection matrix.

図 4 障害物半透視化画像

An image with a see-through obstacle.

状況に対応していく予定である。また、長期的展望として、単一の監視対象空間の状況把握向上の成果を元に、複数の監視対象空間に設置したカメラ映像を対象とする場合にも対応していく予定である。

本研究の一部は、文部省の科学研究費補助金 (基礎研究 (A)(2), 課題番号 15200008) の助成によった。記して謝意

を表す。

〔文 献〕

- 1) 川崎直之, 高井昌彰: 複合現実感によるビデオ監視, 日本バーチャルリアリティ学会第 7 回大会論文集, pp.429-430 (2002)
- 2) 村松孝治, 小林一郎, 谷川智洋, 山下淳, 広田光一, 廣瀬通孝: 多視点カメラによる自由視点監視システム, 日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会論文集, pp.52-52 (2004)
- 3) 小林一郎, 村松孝治, 谷川智洋, 山下淳, 広田光一, 廣瀬通孝: 超多眼カメラによる障害物消去に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会論文集, pp.56-56 (2004)
- 4) Siavash Zokai, Julien Esteve, Yakup Genc, Nassir Navab: Multi-view Paraperspective Projection Model for Diminished Reality, Proc. of ISMAR2003, pp. 217-226 (2003)
- 5) Yoshinari Kameda, Taisuke Takemasa, Yuichi Ohta: "Outdoor See-Through Vision Utilizing Surveillance Cameras", IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR04), pp.151-160 (2004)
- 6) 木山真伸, 太田直哉, 金谷健一: 2 台のカメラと射影変換を用いた進入者検出, 情報処理学会研究会報告, 99-CVIM-118-8, pp.53-58 (1999)
- 7) 金澤靖, 金谷健一: 段階的マッチングによる画像モザイク生成, 信学論 J86-D-II, 6, pp.816-824 (2003)

むらまつ こうじ
村松 孝治 1994 年, 東京大学 工学部 産業機械工学科 卒業。1996 年, 同大学 大学院 産業機械工学専攻 修士課程 修了。同年, 株式会社 東芝 入社。2003 年, 東京大学 大学院 工学系研究科 博士課程 入学。多視点カメラに関する研究に従事。学生会員。

こばやし いちろう
小林 一郎 2003 年, 東京大学 工学部 情報理工学部 卒業。2005 年, 東京大学 大学院 情報理工学研究科 修士課程 修了。同年, 日本電気株式会社 入社。

たにかわ ともひろ
谷川 智洋 1997 年, 東京大学 工学部 産業機械工学科 卒業。1999 年, 同大学 大学院 工学系研究科 機械情報工学専攻 修士課程 修了。2002 年, 同大学 博士課程 修了。同年, 通信・放送機構 研究員。イメージ・ペーセント・レンダリング, MR に関する研究に従事。博士 (工学)。正会員。

やました じゅん
山下 淳 1999 年, 筑波大学 大学院 修士課程 理工学研究科 修了。2002 年, 同大学 大学院 博士課程 工学研究科 単位取得退学。同年, 東京大学 先端科学技術研究センター 特任助手。2005 年, 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科 講師。共同作業支援 (CSCW), グループウェア, 五感情報通信の研究に従事。博士 (工学)

ひろた こういち
広田 光一 1988 年, 東京大学 工学部 産業機械工学科 卒業。1990 年, 同 大学院 産業機械工学専攻 修士課程 修了。1994 年, 同 博士課程 修了。1995 年, 豊橋技術科学大学 情報工学系 助手。2000 年, 東京大学 先端科学技術研究センター 助教授。2005 年, 東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 助教授。主にヒューマンインタフェースの研究に従事。工学博士。

ひろせ みちたか
廣瀬 通孝 1982 年, 東京大学 大学院 博士課程 修了。同年, 東京大学 工学部 産業機械工学科 専任講師。1983 年, 同大学 助教授。1999 年, 東京大学 大学院 工学系研究科 機械情報工学専攻 教授。同年, 東京大学 先端科学技術研究センター 教授。主にシステム工学, ヒューマンインタフェース, バーチャルリアリティの研究に従事。工学博士。