

場所に依存した情報の発信と共有を可能にする
着用型拡張現実感システムの開発

(課題番号 13558035)

平成13年度～平成15年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))
研究成果報告書

平成16年3月

研究代表者 横矢直和
(奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授)

場所に依存した情報の発信と共有を可能にする
着用型拡張現実感システムの開発

(課題番号 13558035)

平成 13 年度～平成 15 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (B))(2))
研究成果報告書

平成 16 年 3 月

研究代表者 横矢直和
(奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授)

平成 13 年度～平成 15 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (B)(2)) 研究成果報告書

研究課題 場所に依存した情報の発信と共有を可能にする着用型拡張現実感システムの開発

課題番号 13558035

研究種目 基盤研究 (B)(2)

研究期間 平成 13 年度～平成 15 年度

研究組織

研究代表者:	横矢 直和	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授
研究分担者:	山澤 一誠	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 助教授
	神原 誠之	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 助手
	竹村 治雄	大阪大学 サイバーメディアセンター 教授
	荒木 昭一	松下電器産業 (株) 先端技術研究所 主任研究員
	大隈 隆史	(独) 産業技術総合研究所 知能システム研究部門 研究員
研究協力者:	佐藤 智和	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 助手
	Steve Vallerand	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士後期課程
	天目 隆平	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士後期課程
	寺田 智裕	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士前期課程 (平成 13 年度)
	山本 光重	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士前期課程 (平成 13 年度)
	小田島 太郎	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士前期課程 (平成 14 年度)
	牧田 孝嗣	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士前期課程 (平成 14～15 年度)
	中里 祐介	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士前期課程 (平成 15 年度)

研究経費

平成 13 年度	5,600 千円
平成 14 年度	3,500 千円
平成 15 年度	2,100 千円

計	11,200 千円 (直接経費のみ)
---	-----------------------

研究発表

A. 学会誌等

- A1. T. Okuma, T. Kurata, and K. Sakaue: “Real-time camera parameter estimation for 3-D annotation on a wearable vision system”, *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol.E84-D, No.12, pp.1668-1675, December 2001.
- A2. 神原 誠之, 横矢 直和: “光源環境マップの実時間推定による光学的整合性を考慮したビジョンベース拡張現実感”, *情報技術レターズ*, Vol.1, pp.127-128 (No.LI-2), September 2002.
- A3. 神原 誠之, 横矢 直和, 竹村 治雄: “マーカと自然特徴点を併用した広範囲見回し可能なステレオビデオシースルー拡張現実感”, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.7, No.3, pp.367-373, September 2002.
- A4. 山本 光重, 佐藤 智和, 横矢 直和: “実写映像を利用した花火演出支援システム FirePainter”, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.7, Vol.3, pp.385-392, September 2002.
- A5. 神原 誠之, 横矢 直和: “実世界の光源環境を考慮した拡張現実感 — ビジョンベース拡張現実感における幾何学的・光学的整合性の解決 —”, *画像ラボ*, Vol.14, No.10, pp.43-47, October 2003.
- A6. 小田島 太郎, 神原 誠之, 横矢 直和: “拡張現実感技術を用いた屋外型ウェアラブル注釈提示システム”, *画像電子学会誌*, Vol.32, No.6, pp.832-840, November 2003.
- A7. S. Vallerand, M. Kanbara, and N. Yokoya: “Three point based registration for binocular augmented reality”, *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol.E87-D, No.6, June 2004 (to appear).

B. 国際会議

- B1. M. Kanbara, N. Yokoya, and H. Takemura: “A stereo vision-based augmented reality system with marker and natural feature tracking”, *Proc. 7th Int. Conf. on Virtual Systems and MultiMedia (VSMM2001)*, pp.455-462, Berkeley, California, October 2001.
- B2. M. Kanbara, N. Yokoya, and H. Takemura: “Stereo vision-based augmented reality registration with extendible tracking of markers and natural features”, *CD-ROM Proc. IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2001) (Technical Sketches)*, Kauai, Hawaii, December 2001.
- B3. M. Kanbara, N. Yokoya, and H. Takemura: “Registration for stereo vision-based augmented reality based on extendible tracking of markers and natural features”, *Proc. 16th IAPR Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR2002)*, Vol.II, pp.1045-1048, Quebec City, Quebec, Canada, August 2002.
- B4. M. Kanbara and N. Yokoya: “Geometric and photometric registration for real-time augmented reality”, *Proc. IEEE/ACM Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 02)*, pp.279-280, Darmstadt, Germany, September 2002.
- B5. R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya: “A wearable augmented reality system using an IrDA device and a passometer”, *Proc. SPIE, Vol.5006, Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems X*, pp.478-486, Santa Clara, California, January 2003.

- B6. S. Vallerand, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Vision-based registration for augmented reality system using monocular and binocular vision", *Proc. SPIE, Vol.5006, Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems X*, pp.487-498, Santa Clara, California, January 2003.
- B7. S. Vallerand, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Binocular vision-based augmented reality system with an increased registration depth using dynamic correction of feature positions", *Proc. IEEE Virtual Reality 2003 (VR2003)*, pp.271-272, Los Angeles, California, March 2003.
- B8. R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya: "A wearable augmented reality system for navigation using positioning infrastructures and a pedometer", *Proc. 2nd IEEE/ACM Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 03)*, pp.344-345, Tokyo, Japan, October 2003.
- B9. R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya: "A wearable augmented reality system using positioning infrastructures and a pedometer", *Proc. 7th IEEE Int. Symposium on Wearable Computers (ISWC2003)*, White Plains, New York, pp.110-117, October 2003.
- B10. K. Makita, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Shared database of annotation information for wearable augmented reality system", *Proc. SPIE, Vol.5291, The Engineering Reality of Virtual Reality 2004*, San Jose, California, January 2004.
- B11. T. Okuma, T. Kurata, and K. Sakaue: "A natural feature-based 3D object tracking method for wearable augmented reality", *Proc. 8th Int. Workshop on Advanced Motion Control (AMC'04)*, pp.451-456, March 2004.

C. 研究会、シンポジウム

- C1. 山本 光重, 佐藤 智和, 横矢 直和: "実写画像を利用した花火演出支援システム", 電子情報通信学会 画像工学研究会, 信学技報 IE2001-199, January 2002.
- C2. 寺田 智裕, 神原 誠之, 横矢 直和: "拡張現実感を用いた車載型アノテーションシステムの構築", 電子情報通信学会 コミュニケーションクオリティ研究会, 信学技報 CQ2001-103, February 2002.
- C3. Steve Vallerand, 神原 誠之, 横矢 直和: "領域追跡を用いたステレオビデオシースルー型拡張現実感", 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報 PRMU2001-227, February 2002 (in English).
- C4. 神原 誠之, 横矢 直和, 竹村 治雄: "マーカと自然特徴点を併用した広範囲見回し可能なステレオビデオシースルー拡張現実感", 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報 PRMU2001-228, February 2002.
- C5. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: "赤外線ビーコンと歩数計測を用いたウェアラブル型注釈提示システム", 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報 PRMU2002-68, July 2002.
- C6. 山本 光重, 佐藤 智和, 横矢 直和: "実写映像を利用した花火演出支援システム FirePainter", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2002) 講演論文集, Vol.II, pp.231-238, August 2002.

- C7. 寺田 智裕, 神原 誠之, 横矢 直和: “拡張現実感を用いた車載型注釈提示システムの構築”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2002) 講演論文集, Vol.II, pp.359-364, August 2002.
- C8. 小田島 太郎, 神原 誠之, 横矢 直和: “拡張現実感技術を用いた屋外型ウェアラブル注釈情報提示システム”, 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報 PRMU2002-181, January 2003.
- C9. 神原 誠之, 横矢 直和: “光源環境の実時間推定による光学的整合性を考慮したビジョンベース拡張現実感”, 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報 PRMU2002-190, January 2003.
- C10. 牧田 孝嗣, 神原 誠之, 横矢 直和: “ウェアラブル注釈提示システムのためのネットワーク共有型注釈データベース”, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.5, No.4, pp.37-42, November 2003.
- C11. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: “拡張現実感を用いたウェアラブル観光案内システム「平城宮跡ナビ」”, 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報 PRMU2003-186, January 2004.
- C12. 清川 清, 神原 誠之, 佐藤 清秀, 伴 好弘: “ISMAR03 報告～複合現実感研究の最新動向～”, 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報 PRMU2003-194, January 2004.
- C13. 前田 真希, 小川 剛史, 清川 清, 竹村 治雄: “ウェアラブル AR による屋内ナビゲーションのための赤外線を用いたビジョンベーストラッキング”, 電子情報通信学会 ITS(高度交通システム) 研究会, 信学技報 ITS2003-54, February 2004.

D. 全国大会等

- D1. 山本 光重, 佐藤 智和, 横矢 直和: “IBR による描画を利用した花火演出支援システム”, 日本バーチャルリアリティ学会第 6 回大会論文集, pp.15-16, September 2001.
- D2. 神原 誠之, 横矢 直和, 竹村 治雄: “マーカと自然特徴点を併用した広範囲見回し可能なビジョンベース拡張現実感”, 日本バーチャルリアリティ学会第 6 回大会論文集, pp.281-282, September 2001.
- D3. S. Vallerand, M. Kanbara, and N. Yokoya: “Video see-through augmented reality system with tracking regions”, 日本バーチャルリアリティ学会第 6 回大会論文集, pp.465-468, September 2001.
- D4. 神原 誠之, 横矢 直和, 竹村 治雄: “マーカと自然特徴点を併用した広範囲見回し可能なビジョンベース拡張現実感システム”, 平成 13 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, No.G15-9, November 2001.
- D5. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: “拡張現実感技術を用いたウェアラブル型注釈提示システム”, 2002 年電子情報通信学会総合大会講演論文集 情報・システム (2), No.A-16-46, March 2002.
- D6. 小田島 太郎, 神原 誠之, 横矢 直和: “GPS を用いた屋外で利用可能なウェアラブル型拡張現実感システム”, 第 1 回情報科学技術フォーラム (FIT2002) 講演論文集, No.I-94, September 2002.
- D7. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: “赤外線ビーコンと歩数計測を利用したウェアラブル型拡張現実感のための幾何学的位置合わせ”, 第 1 回情報科学技術フォーラム (FIT2002) 講演論文集, No.K-32, September 2002.

- D8. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: “赤外線ビーコンと歩数計測を利用したウェアラブル拡張現実感システム”, 平成 14 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, No.G14-10, November 2002.
- D9. 牧田 孝嗣, 神原 誠之, 横矢 直和: “注釈データベースをネットワーク共有したウェアラブル型注釈提示システム”, 2003 年電子情報通信学会総合大会講演論文集 情報・システム (2), No.A-16-4, March 2003.
- D10. 神原 誠之, 横矢 直和: “仮想物体のキャストシャドウが表現可能なビジョンベース拡張現実感”, 第 2 回情報科学技術フォーラム (FIT2003) 講演論文集, No.I-42, September 2003.
- D11. 牧田 孝嗣, 神原 誠之, 横矢 直和: “ウェアラブル注釈提示システムのためのネットワーク共有型注釈データベース”, 第 2 回情報科学技術フォーラム (FIT2003) 講演論文集, No.K-82, September 2003.
- D12. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: “ウェアラブル拡張現実感を利用した屋外型観光案内システム”, 第 2 回情報科学技術フォーラム (FIT2003) 講演論文集, No.K-97, September 2003.
- D13. 神原 誠之, 天目 隆平, 牧田 孝嗣, 横矢 直和: “ウェアラブル型拡張現実感とその応用”, 計測自動制御学会第 4 回システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2003) 講演論文集, pp.1060-1061, December 2003.
- D14. 神原 誠之, 横矢 直和: “複数の赤外線受光体を利用した位置姿勢センサの試作”, 2004 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, No.A-16-7, March 2004.
- D15. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: “ウェアラブル拡張現実感システムのための直観的な注釈情報のフィルタリング”, 2004 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, No.A-16-35, March 2004.
- D16. 中里 祐介, 神原 誠之, 横矢 直和: “再帰性反射マーカと赤外線カメラを利用した位置同定手法”, 2004 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, No.D-12-138, March 2004.

E. その他: マスメディア報道等

- E1. 21 世紀みらい体験博レポート — 過去と未来を行き来する電腦未来都市, PC WEB, 2001 年 7 月 24 日.
- E2. 「先端科学」リレーエッセー < 23 > 不思議の世界 — 重ね合わせる現実と仮想, 朝日新聞, 2001 年 12 月 18 日.
- E3. 奈良先端大がシンポ開く, 科学新聞, 2002 年 7 月 12 日.
- E4. ニュース関西発 2002 奈良ウィーク「新・まほろば宣言」, NHK 総合テレビ, 2002 年 9 月 11 日.
- E5. リアルな風景に情報を合成「これって何?」はもうなくなる, 日経 NETWORK, No.33, pp.104-105, December 2002.
- E6. CG(コンピュータ・グラフィクス), 知恵蔵 2003, p.834, January 2003.
- E7. 平城京も再現 — 空間を「作り込む」システム, ZDNet News, 2003 年 6 月 4 日.
- E8. 情報拡張コンピュータ使用 — 消防隊員に伝達, 奈良日日新聞, 2003 年 8 月 28 日.
- E9. 先端大が消防隊員支援システム開発, 奈良新聞, 2003 年 8 月 30 日.
- E10. 消防活動の新装備披露, 朝日新聞, 2003 年 9 月 1 日.

- E11. 映像とCGで迅速に状況把握, 産経新聞, 2003年9月1日.
- E12. ニュースなら630「消防支援の装置開発」, NHK総合テレビ, 2003年9月1日.
- E13. 首都圏ニュース「MR-EXPO開催」, NHK総合テレビ, 2003年10月8日.
- E14. リアルタイム & インタラクティブな複合現実空間を体験 — MRテクノロジー EXPO 2003 開幕, ASCII24.com, 2003年10月9日.
- E15. CGで描かれたバーチャル空間で遊んでみよう — MRテクノロジー EXPO 開催, asahi.com, 2003年10月10日.
- E16. やって見ないとわからない「MIXED FANTASY — MRテクノロジー EXPO2003」, ZDNet News, 2003年10月10日.
- E17. もっと多くの命を救いたい — 新システム開発へ, 奈良新聞, 2004年3月7日
- E18. 五感情報通信への挑戦, TIME & SPACE, Vol.5, No.1, pp.7-8, April 2004.

研究成果による工業所有権の出願・取得状況

F. 特許

該当なし。

研究概要

研究目的

高度情報化社会の到来とともに、あらゆる場面で人間の活動を支援する情報機器の開発が急務となっている。このような状況で、近年、計算機で生成・管理された情報を現実環境に重畳表示し、現実環境と仮想環境のシームレスな融合を目指す拡張現実感 (augmented reality) は、新たな情報提供手段として注目され、次世代情報処理の中核技術の1つとして期待されている。また、情報機器の小型化と通信環境の整備に伴い、高度な情報機器を装着しあらゆる場所で各種の情報サービスを受けることのできるウェアラブルコンピューティングが単なるアイデアの段階を脱し、現実のものになる日も近づいている。この2つ流れが合流する形で、新しい技術分野として「ウェアラブル拡張現実感 (wearable augmented reality)」が生まれつつある。ウェアラブル拡張現実感技術は、通信回線を介した情報受信と情報発信の両機能により我々の日常生活空間を拡張するものと期待されている。

ウェアラブル拡張現実感技術を現実のものにするためには、拡張現実環境の構築に不可欠な現実世界と仮想世界のシームレスな実時間融合技術を確立するとともに、プロトタイプシステムの構築を通じた具体的なイメージの明確化と実用性の実証が必須である。

本研究は、計算機で生成・管理されるユーザの居る場所に依存した情報を現実環境の映像にシームレスに融合し、シースルーディスプレイを装着したユーザに合成立体映像 (音声を含む) を実時間で提示する着用型拡張現実感システムのプロトタイプ開発を目的とした。ここでは、従来から考えられている情報受信型の応用だけでなく、ユーザ自身が現実環境内の特定の物に対して注釈情報を付加し、複数人が注釈情報を共有することのできる情報発信型システムの開発を目指した。この目的を達成するために、3年間の研究期間内に具体的に以下の研究を実施した。

1. 現実世界と仮想世界の幾何的位置合せ:

ユーザの眼前の現実環境の映像のしかるべき位置に注釈情報を正しく重畳表示するために、ユーザの視点位置に取り付けられた小型カメラで取得した画像から、環境内のマーカと自然特徴点の自動追跡により、世界座標系に対するユーザの視点位置・姿勢を実時間で推定する手法を開発する。また、環境インフラを利用した位置合せ手法についても検討する。

2. 現実世界への注釈情報の付加:

現実環境内のユーザの居る場所に関連した注釈情報をユーザ自身が文字、音声、画像で与えるためのユーザインタフェースと位置情報と関連づけた注釈情報の管理方法を開発する。

3. プロトタイプシステムの開発:

ユーザの視点位置で取得した映像に対して幾何的整合性のとれた注釈情報の重畳合成を行い、合成映像をユーザに実時間提示するビデオシースルー拡張現実感システムのプロトタイプを構築する。本システムは、小型 CCD カメラつきヘッドマウンテッドディスプレイ (HMD)、ジャイロセンサ、小型マイクとヘッドホーン、及び小型計算機 (ウェアラブル PC) 等から成り、システム全体を着用可能な形態とする。

研究期間内に、研究項目1、2について要素技術を確立するとともに、研究項目3で開発したプロトタイプシステムを用いて無線 LAN が利用可能な屋内外環境において情報付加・共有実験を行い、情報発信・受信機能を有する着用型情報機器としての拡張現実感システムの有効性と有用性を検証した。

研究内容

以下では、平成13年度～平成15年度の研究内容について簡単に述べる。

平成 13 年度の研究内容

平成 13 年度は、全体計画における研究課題 1 について重点的に取り組み、研究項目 2、3 については、基礎的な検討を行うとともにプロトタイプシステムの機能確認を行った。具体的な研究内容は以下の通りである。

研究項目 1 においては、現実世界と仮想世界の座標系の位置合せを行うために、ユーザ視点の位置と姿勢を正確に推定する必要がある。このため、頭部搭載型画像表示装置 (HMD) のユーザ視点位置に取り付けた小型ステレオカメラで得られる映像から現実世界に設定されたマーカと自然特徴点を自動切替え追跡することによって、現実世界でのユーザ視点の位置と姿勢を推定する手法を開発した。さらに、ジャイロセンサから得られる回転情報を利用することによって、視点の速い動きに対しても安定に動作するロバストな手法を確立した。以上の処理を全て実時間で行うことによって、現実世界と仮想世界の座標系の実時間位置合せが可能となった。

研究項目 2 に関しては、研究項目 1 で得られた位置合せ結果に基づいて、現実環境内の特定の場所に注釈情報を付加するためのユーザインタフェースについて検討し、本年度は、文字情報と画像情報を付加するための簡易手法を開発した。

研究項目 3 に関しては、着用型拡張現実感システムの構築を目指して、実験プラットフォームを設計し、試作に着手した。本年度は、2つの小型 CCD カメラ内蔵型 HMD、携帯用計算機、無線 LAN 等、システムの一部を実装し、上記項目で開発したアルゴリズムの実証実験を通してシステムの機能確認を行った。

平成 14 年度の研究内容

平成 14 年度は、前年度における研究項目 1、2 を継続発展させるとともに、研究項目 3 におけるプロトタイプシステム開発を本格化した。具体的な研究実施内容は以下の通りである。

研究項目 1 においては、前年度に開発した現実世界と仮想世界の幾何的位置合せ手法の評価を行うとともに、高精度ジャイロセンサの併用による位置合せのロバスト化・高速化を図った。また、屋内環境での位置合せを補助するための環境インフラの実現可能性について検討を行った。具体的には、赤外線ビーコン等の環境埋め込み型機器を用いた位置特定と歩数計測に基づく位置合せ手法を開発し、学内の居室、廊下等での実験を通して屋内での幾何的位置合せに関して明るい見通しを得た。

研究項目 2 に関しては、前年度に引き続き、ユーザが居る現実世界の特定の場所・物に対して注釈情報を付加するためのユーザインタフェースの開発を行った。具体的には、視野内のシーンに関連づけられている注釈情報からユーザの視線情報に基づいて注視している物体に関する詳細な注釈情報を選択的に提示する手法を開発した。

研究項目 3 に関しては、着用型拡張現実感システムの構築を目指して、実験プラットフォームの開発を継続した。前年度に設計・試作を開始したプロトタイプシステムは、2つの小型 CCD カメラ内蔵型ヘッドマウンテッドディスプレイ (HMD)、小型マイクとヘッドホーン、ジャイロセンサ、及びビデオ入力・無線 LAN 機能付き小型計算機から成り、全体を身体及び胴衣に装着可能な形態である。本年度は、主として、上記研究項目 1 の成果を利用し、ジャイロセンサの一体化を図るとともに、屋内無線 LAN 環境での注釈データベース共有に関する実験を行った。また、GPS による位置計測に基づく屋外用の着用型拡張現実感システムも試作した。なお、本研究項目に関しては、年度末に、21 世紀 COE プログラム「ユビキタス統合メディアコンピューティング」の支援により、次年度に大規模な実証実験を行うためのキャンパス内の屋内外無線ネットワーク環境 (IEEE802.11a 及び b) の整備も行った。

平成 15 年度の研究内容

最終年度においては、研究項目 3 におけるプロトタイプシステムの開発と評価に重点をおき、技術デモ展示等を通して着用型拡張現実感システムの可能性を示した。具体的な研究実施内容は以下の通りである。

研究項目 1 に関しては、前年度に開発した赤外線ビーコンと RFID タグからなる環境埋め込み型センサ群を用いた位置同定と歩数計測に基づく実環境と仮想環境の幾何的位置合せ法の実環境での有効性の評価を行い、ユーザの移動に伴い連続的に位置合せを行うためのセンサ設置間隔等を明らかにした。また、赤外線センサに対する電源供給方法に関して、天井蛍光灯から電源を得るためのアタッチメントを設計・試作した。

研究項目 2 に関しては、無線 LAN を介して着用型システムから実時間で注釈情報を追加・更新・閲覧できるネットワーク共有型注釈データベースを構築した。これによって、着用型拡張現実感システムによる場所に依存した情報の実時間での発信と受信を可能にし、複数ユーザ間での情報共有を実現した。また、実環境への情報付加を行うための Web ブラウザを用いたユーザインタフェースを開発した。

研究項目 3 に関しては、着用型拡張現実感システムのプロトタイプシステム開発を完了し、屋内外無線 LAN 環境 (IEEE802.11a 及び b) での注釈データベース共有に関する実験を行った。本実験により、環境埋め込み型センサ群を用いた着用型拡張現実感システムの有効性を確認した。また、CREST ワークショップ、第 2 回複合現実感国際会議 (東京)、21 世紀 COE フェスティバル「祭/ユビキタス」等において、本システムの技術デモ展示を行い、着用型拡張現実感システムの可能性を世に示した。

本年度は、上記の具体的な研究以外に、本研究課題と密接な関係にある第 2 回複合現実感国際会議 (2nd IEEE/ACM Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality) を本研究代表者らが主催し、当該分野における我が国の研究レベルの高さを内外に示すとともに、学術交流面での国際貢献を果たしたことは特筆できる。

研究成果の概要

平成 13 年度～平成 15 年度の 3 年間における本研究での主な成果は以下の 4 点に要約される。

1. 特徴点追跡に基づくビジョンベースの幾何的位置合せ

拡張現実環境の構築においては、ユーザ視点の移動に追従して現実世界の然るべき位置に仮想物体を正しく重畳表示するために、現実世界と仮想世界の座標系の実時間での位置合せが最も重要な課題となる。この問題は、ユーザ視点の位置と姿勢を実時間で推定する問題に帰着する。本研究では、頭部搭載型画像表示装置 (HMD) のユーザ視点位置に小型ステレオカメラが取り付けられていることを前提に、ステレオビデオ映像からシーン内の特徴点を追跡することによって幾何的位置合せを行う手法のロバスト化を追求した。

予めキャリブレーションを行ったステレオカメラを用いたビジョンベースの位置合せでは、基本的にシーン内の 3 つ以上の特徴点 (マーカ) を追跡しつづければよいが、一般には、視点の移動に伴ってマーカがカメラから見えなくなる、視点の速い動きには追従できない、実時間での実行が可能な画素単位のステレオマッチングではカメラとマーカの間の距離が大きくなるに従って位置合せ精度が低下する、といった問題があった。このため、本研究では、これらの基本的な問題の克服を目指した。

まず、マーカのオクルージョンの問題に関しては、ステレオビデオ映像から現実世界に設定されたマーカと自然特徴点を自動切替追跡することによって、カメラから見えるマーカの数が増減した場合にはステレオ視によって 3 次元位置が分かった自然特徴点をマーカの代用

とすることにより現実世界でのユーザ視点の位置と姿勢を安定に推定する手法を開発した。次に、ユーザ視点の速い動きに対しては、ジャイロセンサから得られる視点の回転情報を利用して画像内でのマーカの見かけの動きを予測することによって、視点の速い動きに対しても安定に動作するロバスト化手法を確立した。さらに、カメラとマーカ間の距離によって位置合せ精度が低下する問題に対しては、画素単位以下での特徴点追跡が可能な単眼3点アルゴリズムとステレオ視を組み合わせることによって精度向上を図った。

以上の各手法はいずれも単独ではほぼビデオレートでの実行が可能であることが実験的に示され、拡張現実感のためのビジョンベースの幾何的位置合せ手法としての有効性が確認された。ただし、すべての手法を統合する形での実装には至っていない。統合手法の実装には、全体のアルゴリズムの再検討によるさらなる高速化が必要である。

視覚的なマーカを用いるビジョンベースの着用型拡張現実感システムにおいては、ユーザが自由に環境内を動き回るため、ユーザの移動に伴って連続的に幾何的位置合せを実現するためには環境内の広い範囲にマーカを配置する必要が生じ、景観を損なうという問題が発生する。この問題に対しては、視覚的に知覚されにくい透明の再帰性反射マーカを用いることを試みた。屋内の蛍光灯や屋外の太陽光の影響を除去し、ユーザから照射された赤外線の影響のみを安定に検出し幾何的位置合せに利用することは今後の課題である。

[研究発表] A1, A2, A3, A5, A7, B1, B2, B3, B4, B6, B7, B11, C3, C4, C9, C13, D2, D3, D4, D10, D16, E2, E5, E6

2. 環境埋め込み型センサ等の環境インフラを用いた幾何的位置合せ

近年、ユビキタスコンピューティングの一環として電子タグの様々な分野での利用が考えられており、着用型拡張現実感システムの幾何的位置合せにおいても、利用場所を限定すれば、電子タグ等の環境埋め込み型センサを利用してユーザの位置を特定するアプローチが現実的であると考えられる。

本研究では、このような観点から、環境埋め込み型センサが環境内の離散的な場所に設置されている場合の幾何的位置合せ手法について検討した。具体的には、環境内に設置されている赤外線ビーコンやRFIDタグから位置IDを読み取ることによってユーザの居る場所を特定し、設置されているセンサ間をユーザが移動している間は、歩数計測と方位センサの情報からユーザ視点の位置と姿勢を推定する。実際に実験システムを構築し、場所特定が可能な範囲、連続的な位置合せを可能にするセンサ設置間隔、位置合せ精度等を実験的に明らかにし、プロトタイプシステム開発に向けた環境埋め込み型センサ群を含む全体システムの設計指針を得た。

このような環境埋め込み型センサのうちIrDAデバイス等では、センサに対する電源供給をどのように行うかという問題がある。そこで、本研究では、通常の屋内環境に多数設置されている電球や蛍光灯から電源供給を行うためのアタッチメントを考案した。これによって屋内環境においては環境埋め込み型センサへの定常的な電源供給が可能になった。本方式は、屋内使用を想定した着用型拡張現実感システムのための環境インフラとして有望である。

屋外環境においては着用型拡張現実感システムのための環境インフラとしてGPS衛星が利用可能である。本研究では、GPSを用いた幾何的位置合せについても検討を行い、通常のハンドヘルド式GPSでも、GPS衛星が7個以上捕捉できGPSが固定されている場合には高々1m程度の誤差で位置を計測でき、ジャイロセンサを組み合わせた位置・姿勢推定により、屋外環境での建物等への注釈提示を行う上では十分な位置合せ精度が得られることを確認した。しかし、小さな物体に対して注釈情報を正しく重畳表示するためには精度が十分ではないことも明らかになった。

[研究発表] B5, B8, B9, C5, D7, D8, D14, E2

3. ネットワーク共有型注釈データベース

予め登録されている注釈情報を現実環境で閲覧するだけでなく、ユーザ自身が注釈を現実環境に付加し複数のユーザが注釈情報を効果的に共有する双方向サービスを実現するためには、ネットワークを介した注釈の追加・更新・閲覧機構が必要になる。また、ユーザは情報提供者が登録した注釈情報を閲覧するのみの一方向サービスにおいても、複数ユーザに対する提示情報の実時間更新を行うために同様の機構が必要である。

本研究では、ネットワーク上のサーバに注釈データベースを用意し、情報提供者と着用型システムのユーザの両者がネットワークを介して場所に依存した注釈情報を実時間で追加・更新・閲覧できるネットワーク共有型注釈データベースの枠組みを提案し、学内無線ネットワーク環境 (IEEE802.11a 及び b) で具体的なシステム構築を行うとともに、実環境でのユーザの移動を想定した機能実証を行った。

提案システムにより、情報提供者と着用型システムのユーザの両者が無線 LAN を介して実時間で注釈情報を追加・更新・閲覧できる。これによって、着用型拡張現実感システムによる場所に依存した情報の実時間での発信と受信を可能にし、複数ユーザ間での情報共有を実現した。現実世界に対する注釈情報の追加・更新に関しては、情報付加を行うための Web ブラウザを用いたユーザインタフェースを開発した。着用型拡張現実感システムのユーザは実際の現場において実物体に注釈を付加することができ、ユーザが居る位置の情報を利用して注釈付加位置がデータベースに登録される。

[研究発表] B10, C10, D9, D11

4. プロトタイプシステムの開発を通じた着用型拡張現実感システムの実証

本研究では、要素技術の確立に加えて、具体的な応用を想定したいくつかの着用型拡張現実感システムのプロトタイプ開発を通して当該技術の実用可能性を示すことに重点をおいた。実際に開発したシステムは以下の通りである。

- A. 現場での打ち上げシミュレーションが可能な拡張現実型花火演出支援システム
- B. 同乗者支援を目的とした車載型拡張現実感システム
- C. 屋外ナビゲーションを目的とした GPS を利用した着用型拡張現実感システム
- D. 観光案内を目的とした環境インフラを利用した着用型拡張現実感システム

システム A では、花火師による花火の選択、打ち上げスケジューリング、音響効果との同期等、実際の花火演出における作業を支援するとともに、実際の打ち上げ現場での試行錯誤を伴う花火打ち上げシミュレーションが可能なシステムの構築を目指した。本システム開発では、実際の打ち上げ花火の映像から花火部分を抽出し、打ち上げ現場の映像に重畳合成するビデオスルー型システムを構築した。本研究では可搬移動可能な着用型システムの開発には至らず、実際の花火打ち上げ予定地で事前に取得した全方位ビデオ映像を背景映像として用いて、拡張現実型花火打ち上げシミュレーションを実現した。本システムについては、実際の花火師による使用実験を行い、新たな花火演出手段として有効であるとの高い評価を得た。特に、拡張現実型花火打ち上げシミュレーションは、従来はコストと安全性のために実行が難しかった現場での試し打ちを仮想的に実現できる点とその臨場感の高さから極めて高い評価を得た。

システム B はカーナビゲーションシステムの進化形であり、車両で走行中の眼前のシーンに対して注釈情報を重畳表示することによって周辺情報の直感的な理解を可能にすることを目

指したものである。本システムでは、GPSと車速パルスによって車両の位置を推定し、車両位置の時間微分によって進行方向を推定している。また、注釈情報はビデオスルー型映像合成によってユーザに提示される。なお、本システムでは、ビデオスルー型映像提示に伴う走行時の安全性の問題から、ユーザは運転者ではなく同乗者を想定している。実際に関西学研都市地域での走行実験を行い、本システムの利用目的にとってはほぼ十分な精度で幾何的位置合せが行えていることを確認した。また同時に、提示すべき注釈情報の選択方法、重畳表示における画面レイアウト等、ユーザインタフェースに関わる解決すべき課題も明らかになった。

システムCは、先に項目2で述べた環境インフラとしてGPS衛星を利用し、通常のハンドヘルド式GPSとジャイロセンサとの組み合わせによってユーザの位置・姿勢推定を行う方式によって屋外ナビゲーション用の着用型拡張現実感システムを実現したものである。先にも述べたように、GPS衛星が7個以上捕捉できている場合には、屋外環境での建物等への注釈提示を行う上では十分な位置合せ精度が得られることを確認した。しかし、小さな物体に対して注釈情報を正しく重畳表示するためには精度が十分ではない。この問題の解決には、測位精度の高いRTK-GPSの採用や、GPS情報とジャイロセンサ情報の実時間統合による連続的な位置・姿勢計測が有効であると考えられる。

システムDは、先に項目2で述べた環境埋め込み型センサと歩数計測を用いた幾何的位置合せ方式を採用しており、注釈は実物体に対するラベルの重畳提示と注視物体に対する詳細情報提示の2段階提示を行っている。基本的には、IrDAデバイスやRFIDタグ等が設置可能であれば、屋内、屋外を問わず利用可能である。屋内での簡単なナビゲーション実験の後、観光案内に特化したシステムを作成し、奈良市内・平城宮跡における着用型観光案内システムを実現した。本システムでは、観光スポットに環境埋め込み型センサが設置されている環境で、ユーザインタフェースに音声認識機能を用い、ユーザに対して、観光コースの案内・誘導、観光スポットに関する文字・音声による説明、喪失建物(大極殿等)のCGによる仮想復元を行うことができる。一般ユーザによる利用実験を通じたシステムの使い勝手等に関する評価は今後の課題である。なお、本システムの基本部分については、生駒市防災訓練に協力する形で、火災現場での消防士支援システムとしての実装も行っており、実用的なシステム開発に向けた課題を抽出している。また、本システムでは、先に項目3で述べたネットワーク共有型注釈データベースを用いた実装も行い、21世紀COEフェスティバル「祭/ユビキタス」等においてキャンパス内無線ネットワーク環境での技術デモ展示を行い、ネットワーク環境での着用型拡張現実感システムの可能性を示した。

以上のプロトタイプシステム開発と実環境での実験を通して、技術面で以下の課題が明らかになった。

1. 着用型システムと呼ぶには機器が大きすぎ、システム全体の小型化が不可欠である。
2. 幾何的位置合せ問題に関しては、応用を限定すればほぼ十分な位置合せ精度を実現できたが、複合型センサ・アルゴリズムの開発によるロバスト化とさらなる精度向上が望まれる。
3. 実利用を考えると、拡張現実環境において「何を提示するか」、「どのように提示するか」が極めて重要であり、今後は、ユーザプロファイル作成、ユーザの行動・状況認識、情報フィルタリング等を含むユーザインタフェースに関する研究に重点的に取り組む必要がある。ユーザインタフェースは応用分野によって異なる様相を示す可能性が高い。

[研究発表] A4, A6, C1, C2, C6, C7, C8, C11, D1, D5, D6, D12, D13, D15, E1, E3, E7, E8, E9, E10, E11, E12, E13, E14, E15, E16, E17, E18

研究成果

目次

1. 特徴点追跡に基づくビジョンベースの幾何的位置合せ

神原 誠之, 横矢 直和, 竹村 治雄: マーカと自然特徴点を併用した広範囲見回し可能なステレオビデオシースルー拡張現実感.....	17
神原 誠之, 横矢 直和: 実世界の光源環境を考慮した拡張現実感 — ビジョンベース拡張現実感における幾何学的・光学的整合性の解決 —	24
神原 誠之, 横矢 直和: 光源環境マップの実時間推定による光学的整合性を考慮したビジョンベース拡張現実感.....	29
M. Kanbara, N. Yokoya, and H. Takemura: A Stereo Vision-based Augmented Reality System with Marker and Natural Feature Tracking	31
M. Kanbara, N. Yokoya, and H. Takemura: Stereo Vision-based Augmented Reality Registration with Extendible Tracking of Markers and Natural Features	39
M. Kanbara, N. Yokoya, and H. Takemura: Registration for Stereo Vision-based Augmented Reality Based on Extendible Tracking of Markers and Natural Features	43
M. Kanbara and N. Yokoya: Geometric and Photometric Registration for Real-time Augmented Reality	47
神原 誠之, 横矢 直和, 竹村 治雄: マーカと自然特徴点を併用した広範囲見回し可能なステレオビデオシースルー拡張現実感.....	49
神原 誠之, 横矢 直和: 光源環境の実時間推定による光学的整合性を考慮したビジョンベース拡張現実感.....	56
神原 誠之, 横矢 直和, 竹村 治雄: マーカと自然特徴点を併用した広範囲見回し可能なビジョンベース拡張現実感.....	62
神原 誠之, 横矢 直和, 竹村 治雄: マーカと自然特徴点を併用した広範囲見回し可能なビジョンベース拡張現実感システム.....	64
神原 誠之, 横矢 直和: 仮想物体のキャストシャドウが表現可能なビジョンベース拡張現実感.....	65
S. Vallerand, M. Kanbara, and N. Yokoya: Three Point Based Registration for Binocular Augmented Reality	67
S. Vallerand, M. Kanbara, and N. Yokoya: Vision-based Registration for Augmented Reality System Using Monocular and Binocular Vision	79
S. Vallerand, M. Kanbara, and N. Yokoya: Binocular Vision-based Augmented Reality System with an Increased Registration Depth Using Dynamic Correction of Feature Positions	91
Steve Vallerand, 神原 誠之, 横矢 直和: 領域追跡を用いたステレオビデオシースルー型拡張現実感.....	93

S. Vallerand, M. Kanbara, and N. Yokoya: Video See-through Augmented Reality System with Tracking Regions	99
前田 真希, 小川 剛史, 清川 清, 竹村 治雄: ウェアラブル AR による屋内ナビゲーションのための赤外線を用いたビジョンベーストラッキング	103
T. Okuma, T. Kurata, and K. Sakaue: Real-time Camera Parameter Estimation for 3-D Annotation on a Wearable Vision System	109
T. Okuma, T. Kurata, and K. Sakaue: A Natural Feature-based 3D Object Tracking Method for Wearable Augmented Reality	117
中里 祐介, 神原 誠之, 横矢 直和: 再帰性反射マーカと赤外線カメラを利用した位置同定手法	123
2. 環境埋め込み型センサ等の環境インフラを用いた幾何的位置合せ	
R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya: A Wearable Augmented Reality System Using an IrDA Device and a Passometer	125
R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya: A Wearable Augmented Reality System for Navigation Using Positioning Infrastructures and a Pedometer	134
R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya: A Wearable Augmented Reality System Using Positioning Infrastructures and a Pedometer	136
天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: 赤外線ビーコンと歩数計測を用いたウェアラブル型注釈提示システム	144
天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: 赤外線ビーコンと歩数計測を利用したウェアラブル型拡張現実感のための幾何学的位置合わせ	150
天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: 赤外線ビーコンと歩数計測を利用したウェアラブル拡張現実感システム	152
神原 誠之, 横矢 直和: 複数の赤外線受光体を利用した位置姿勢センサの試作	153
3. ネットワーク共有型注釈データベース	
K. Makita, M. Kanbara, and N. Yokoya: Shared Database of Annotation Information for Wearable Augmented Reality System	155
牧田 孝嗣, 神原 誠之, 横矢 直和: ウェアラブル注釈提示システムのためのネットワーク共有型注釈データベース	163
牧田 孝嗣, 神原 誠之, 横矢 直和: 注釈データベースをネットワーク共有したウェアラブル型注釈提示システム	169
牧田 孝嗣, 神原 誠之, 横矢 直和: ウェアラブル注釈提示システムのためのネットワーク共有型注釈データベース	170
4. プロトタイプシステムの開発を通じた着用型拡張現実感システムの実証	

山本 光重, 佐藤 智和, 横矢 直和: 実写映像を利用した花火演出支援システム FirePainter ..	173
山本 光重, 佐藤 智和, 横矢 直和: 実写画像を利用した花火演出支援システム	181
山本 光重, 佐藤 智和, 横矢 直和: 実写映像を利用した花火演出支援システム FirePainter ..	187
山本 光重, 佐藤 智和, 横矢 直和: IBR による描画を利用した花火演出支援システム	195
寺田 智裕, 神原 誠之, 横矢 直和: 拡張現実感を用いた車載型アノテーションシステムの構築	197
寺田 智裕, 神原 誠之, 横矢 直和: 拡張現実感を用いた車載型注釈提示システムの構築	203
小田島 太郎, 神原 誠之, 横矢 直和: 拡張現実感技術を用いた屋外型ウェアラブル注釈提示シス テム	209
小田島 太郎, 神原 誠之, 横矢 直和: 拡張現実感技術を用いた屋外型ウェアラブル注釈情報提示シ ステム	218
小田島 太郎, 神原 誠之, 横矢 直和: GPS を用いた屋外で利用可能なウェアラブル型拡張現実感 システム	224
天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: 拡張現実感を用いたウェアラブル観光案内システム「平城宮跡 ナビ」	226
天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: 拡張現実感技術を用いたウェアラブル型注釈提示システム	232
天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: ウェアラブル拡張現実感を利用した屋外型観光案内システム	233
天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: ウェアラブル拡張現実感システムのための直観的な注釈情報の フィルタリング	235
神原 誠之, 天目 隆平, 牧田 孝嗣, 横矢 直和: ウェアラブル型拡張現実感とその応用	236
5. その他	
清川 清, 神原 誠之, 佐藤 清秀, 伴 好弘: ISMAR03 報告～複合現実感研究の最新動向～	239