

多様な携帯・可搬型機器に対応可能なモバイル複合現実感システム(5) —応用事例によるフレームワークの機能検証—

中本 浩之 柴田 史久 木村 朝子 田村 秀行

立命館大学大学院 理工学研究科 〒525-8577 滋賀県草津市野地東 1-1-1

E-mail: nakamoto@mclab.ics.ritsumei.ac.jp

あらまし 本稿では、我々がこれまでに構築した、多様なモバイル端末に対応可能な複合現実感システムの汎用フレームワークにおける機能検証結果について述べる。提案フレームワークは、サーバと複数種類のクライアント端末から構成されており、1) サーバ内のコンテンツデータをもとに各クライアント端末でMR空間を共有、2) 各クライアント端末からサーバで管理するコンテンツデータを実時間で変更および追加が可能、3) 性能の異なる様々な端末で利用可能、という3つの機能を有するように設計されている。本稿では、このような提案フレームワークの枠組みで、作業支援・ナビゲーション・ガイドの3種類のアプリケーションを試作し、フレームワークの機能検証を行った結果について報告する。

キーワード 複合現実感, モバイル端末, 汎用フレームワーク, MRアプリケーション, モバイルシステム

A Variety of Mobile Mixed Reality Systems with Common Architectural Framework (5)

—Functional Validation of the Framework Based on Application Prototyping—

Hiroyuki NAKAMOTO Fumihisa SHIBATA Asako KIMURA and Hideyuki TAMURA

Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, 525-8577 Shiga, Japan

E-mail: nakamoto@mclab.ics.ritsumei.ac.jp

Abstract This paper describes functional validation of our proposed architectural framework for a variety of mobile mixed reality (MR) systems. Our framework consists of the server and client mobile devices such as notebook PCs, PDAs and mobile phones. The newest version of our framework contains the following three functions: 1) Each client is able to add or modify MR contents managed by the server in real time. 2) Each client shares the MR space based on MR contents in the server. 3) It is able to use various mobile devices as client terminals. In this paper, we have constructed three kinds of applications as prototype based on the framework, in order to describe result of functional validation of the framework.

Keyword Mixed Reality, Mobile Device, Common Framework, MR Application, Mobile System

1. はじめに

近年、現実世界の光景に計算機上で生成した仮想情報を継ぎ目なく融合する複合現実感 (Mixed Reality; MR) に関する研究が盛んに行われている[1-3]。屋内利用を想定した据え置き型のMRシステムは既に実用化の段階に入ってきており、最近では屋外向けのMRシステム開発の研究が活発化してきている。本分野では、ユーザの位置姿勢計測等の基礎研究[4]や、アプリケーションの開発[5-7]など、研究テーマは多岐に渡る。いくつかの研究グループでは、モバイルMRシステムのフレームワークの

開発も行っており、将来普及が予想されるモバイル機器を利用したMRシステムの実現に向けて、今後ますますフレームワークの重要性が増してくると予想される。

既存のモバイルMRシステムのフレームワークの研究例として、米コロンビア大学のCOTERIE (Columbia Object-Oriented Testbed for Exploratory Research in Interactive Environments) [8]がある。COTERIEとは、VR環境において素早くプロトタイプモデルを製作するためのテストベッドシステムである。FeinerらはこのCOTERIEを基に、キャンパス内の案内システム、The Touring Machineを開発した[9]。Bauerらが提案する

DWARF (Distributed Wearable Augmented Reality Framework) [10]は、分散環境における MR システムを実現させるためのコンポーネントベースのフレームワークである。これら MR システムのフレームワークでは、素早くアプリケーションを構築可能な枠組みではあるものの、使用するモバイル端末をある程度限定しており、処理能力の低い端末、特に携帯電話には対応できないという問題がある。

そこで、我々は様々な可搬型機器に対応可能なモバイル複合現実感システムの汎用的なフレームワークの開発を行っている[11]。我々の提案するフレームワークは、サーバ・クライアント型のシステムで、様々な可搬型機器に対応するため、クライアント端末の性能や機種の違いに応じて、軽量・中量・重量の3種類のクライアント形態に分類している。現在の我々のフレームワークは、(1)サーバ内のコンテンツデータをもとに各クライアント端末間での MR 空間を共有、(2)仕様の異なる様々なモバイル端末への対応、(3)各クライアント端末からサーバが管理するコンテンツデータを実時間更新、という3つの機能を持つよう設計されている。

本稿では、我々が提案するフレームワークをもとに、作業支援・ナビゲーション・ガイドの3種類のアプリケーションを試作し、上で述べたフレームワークの機能(1)~(3)を検証した結果について報告する。

2. 汎用フレームワーク

我々は多様なモバイル端末に対応可能なモバイル複合現実感システムの汎用フレームワークの構築を目指しており、これまでもそのフレームワークに基づきアプリケーションを構築し、機能検証を行ってきた。そこで本章ではそのフレームワークの概要と、クライアント処理の流れについて述べる。

2.1. システム・アーキテクチャ

我々の提案するモバイル MR システムのためのフレームワークは、様々な携帯・可搬型機器に対応することを目指して設計されている。提案フレームワークのシステム・アーキテクチャを図1に示す。本フレームワークは、ユーザに対して MR 合成画像の提示を行うモバイル端末をクライアント、MR コンテンツ DB の格納や端末に応じた補足的処理を行う据え置き型の計算機をサーバとしたサーバ・クライアント型システムである。クライアント端末は、その機能差に応じて軽量・中量・重量クライアントの三段階の実装形態に分類される。モバイル MR システムの実現に必要なとされる、位置姿勢検出や実環境の画像取得などの処理は全てモジュール化され、図1に示すように、クライアントの実装形態に応じてサーバ・クライアントのどちらで行うかが、予め決められている。

以降では軽量、中量、重量の各クライアントの実装形

態の概要について述べる。

- **軽量クライアント**

軽量クライアントは、最小限の MR 機能のみを備えた実装形態のことで、MR 機能としては、現実の光景をカメラデバイスで取得する画像取得機能と生成された MR 画像を提示するための MR 情報提示機能を有し、残りの機能はサーバに委ねる。

- **中量クライアント**

中量クライアントは、自身で位置姿勢を検出し、周辺の MR コンテンツをサーバから取得しそれをキャッシュとして自身に保持しておくことで、リアルタイムに MR コンテンツを提示する。

- **重量クライアント**

重量クライアントは、MR 機能の全てを有する自己完結型の実装形態である。重量クライアントは、起動時に全ての MR コンテンツをサーバから取得し、クライアント内にデータベース (DB) の複製を保持する。MR コンテンツの複製を保持しているためコンテンツの取得による遅延が生じず、リアルタイムの MR 情報提示が可能である。また、インタラクション等によってコンテンツを動的に変更することが可能である。

モジュール化されたサーバ及びクライアントの各処理は、*Application Layer* と *System Layer* に分けられている。*System Layer* は、MR を実現する上で必要となる基本的なモジュールから構成され、*Application Layer* は、個々のアプリケーションを開発する際に必要となるモジュールから成る。*Application Layer* 上のモジュール群は必要に応じてアプリケーション構築の際に変更が可能である。

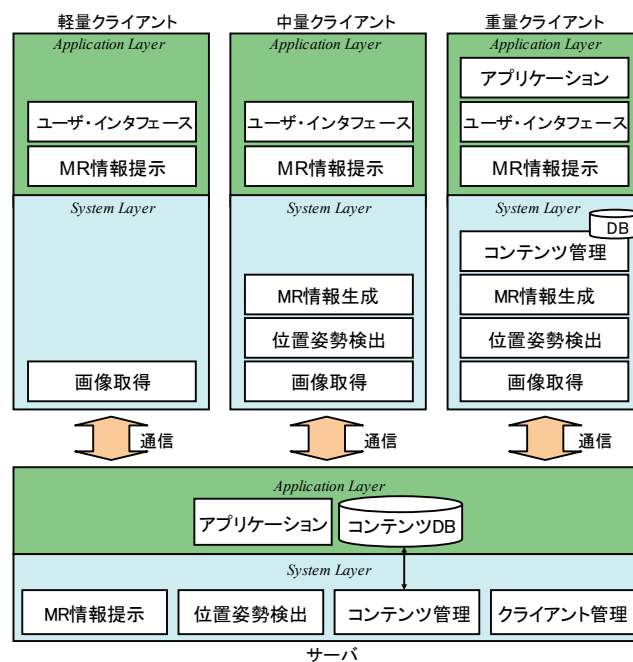


図1 システム・アーキテクチャ

これにより、*System Layer* ではアプリケーションに非依存な MR を実現する上で基本となるモジュールが提供され、アプリケーション開発者はシステム面を意識することなく *Application Layer* 上のモジュールを変更するだけで、容易に MR アプリケーションの開発を行うことができる。

2.2. クライアント端末における処理の流れ

本節では、クライアントの処理の流れについて述べる。例として重量クライアント端末が MR 情報を提示するまでの処理の流れを図 2 および以下に示す。以下の①～⑧の各モジュールの処理はそれぞれ図 2 中の①～⑧と対応している。

- ① 画像取得モジュールは、ユーザの眼前の現実の光景をカメラデバイスを介して取得する。
- ② 位置姿勢検出モジュールは、①で得た画像やセンサ情報の出力を基にクライアント自身の位置姿勢を検出する。
- ③ ユーザ・インタフェース (UI) 管理モジュールは、ユーザからのインタラクションを取得する。
- ④ アプリケーションモジュールはデータフロー制御モジュールから位置姿勢情報とユーザ・インタラクション情報を受け取り、それらに応じて提示すべき MR コンテンツの ID リストを返す。アプリケーション固有の処理の流れについては後述する。
- ⑤ MR 情報生成モジュールは、④で得られた MR コンテンツの ID リストを基に提示すべき MR 画像を生成する。
- ⑥ MR コンテンツ管理モジュールは、提示すべき MR コンテンツの ID リストを MR 情報生成モジュールから受け取り、アニメーションを含むコンテンツの場合、その仮想オブジェクトのある時間に対する位置姿勢を決定する。
- ⑦ MR コンテンツ DB 管理モジュールは、コンテンツ DB に格納されている MR コンテンツの情報更新を行うモジュールである。機能として⑥で要求された

- ID に対応する MR コンテンツを DB から取得する。
- ⑧ MR 情報生成モジュールは、⑤で生成された MR 画像を端末のディスプレイに表示し、ユーザに提示する。

重量クライアントでは、以上の手順を繰り返すことにより連続的に MR 画像の提示を行う。

またアプリケーションによっては、3.2 節で述べる『モバイルナビゲーションシステム』のように、サーバ内の MR コンテンツ DB を逐次更新する必要があるものも想定される。このようなアプリケーションを実現するために、提案フレームワークでは、アプリケーションによる MR コンテンツ DB の変更が可能となるような設計を行っている。

3. アプリケーションによるフレームワークの機能検証

本稿では、提案フレームワークの各機能をそれぞれ以下の方針に基づいて検証する。

- (1) 端末間での MR 空間の共有
- (2) 様々な携帯・可搬型機器への対応

上記の(1)、(2)の機能は、軽量クライアント・中量クライアント・重量クライアントの 3 種類の実装形態の端末に対して同一のアプリケーション『床下配線支援システム』を実装し、各端末で MR 空間を共有していることを確認することで検証を行う。

- (3) 各端末からの MR コンテンツ DB の実時間更新

この機能は、3.2 節で示す『モバイルナビゲーションシステム』において、クライアント端末の状況に応じてサーバ内の MR コンテンツ DB を更新し、動作の実時間性を確認することで検証を行う。

また、作業支援・ナビゲーション・ガイドといった 3 種類のモバイル MR システムを構築することにより、提案フレームワークが、多様なアプリケーションに対応していることを示す。これについては、3.3 節『キャンパスガイドシステム』の動作例とともに述べる。

前章で述べたフレームワークに基づき実験用アプリケーションとして、『床下配線支援システム』、『モバイルナビゲーションシステム』、『キャンパスガイドシステム』の 3 種類を試作した。本章では、実装したアプリケーションを上記の順に説明する。

3.1. 床下配線支援システム

近年のオフィス環境では、フリーアクセスフロアと呼ばれる床の構造が多く採用されている。フリーアクセスフロアでは二重構造の床下をケーブルが通るため、部屋のレイアウトを自由に改装可能といった利点があるが、配線箇所を変更したい場合は床のタイルを開かなければ確認できず不便である。『床下配線支援システム』は、MR 機能を利用して床下の配線を重畳表示し、タイルを

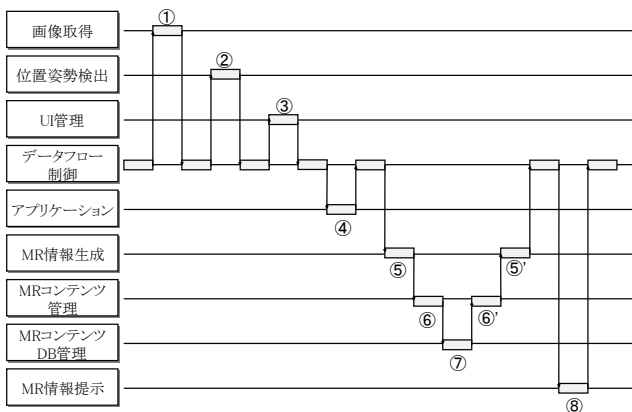


図 2 重量クライアントにおける MR 提示処理の流れ

表 1 使用端末のハードウェア構成

アプリケーション	使用端末	CPU	RAM	GPU	カメラデバイス
Cabling/MNS/CGS	Precision M60	Intel Pentium M 2.1[GHz]	2[GB]	nVIDIA Quadro FX Go 1000	SANWA SUPPLY CMS-V13
Cabling	VGN-UX90PS①	Intel Core Solo 1.2[GHz]	512[MB]	Intel 945GMS	内蔵CMOSカメラ
MNS / CGS	VGN-UX90PS①	Intel Core Solo 1.2[GHz]	512[MB]	Intel 945GMS	SANWA SUPPLY CMS-V13
MNS	VGN-U71P②	Intel Pentium M 1.1[GHz]	512[MB]	Intel 855GM	SANWA SUPPLY CMS-V13
Cabling	SH902i	—	—	—	内蔵CCDカメラ

※ Cabling … 床下配線支援システム, MNS … モバイルナビゲーションシステム
CGS … キャンパスガイドシステム

取り外すことなく配線を確認することで作業の煩雑さを軽減するためのシステムである。本システムでは、カメラに写る範囲の床下の配線状態をMR提示すると同時に、対象となる範囲全体の床下配線を表示することで作業者を支援する。

- a) 床下の配線状態のMR提示
- b) 対象となる範囲全体の床下配線の全体図表示

本稿では、上記の機能を実現させるため様々なモバイル端末上に本システムを実装した。本システムでは、軽量クライアントに携帯電話 NTT DoCoMo FOMA SH902i を、中量クライアントに Dell Precision M60 を、重量クライアントにはウェアラブル PC として SONY VGN-UX90PS(TypeU①)を使用した(SONY の TypeU を実験用機器として新旧 2 機種用意したため、以降番号により区別する)。各端末の位置姿勢検出には ARToolKit[12,13]を用いた。用いた端末のハードウェア構成

成および各機器の仕様を表 1 に示す。実験対象は、図 3 に示すようなフリーアクセスフロアのタイル 4×6 枚の範囲である。それぞれのタイルの中央に 12cm 四方の ARToolKit マーカを貼付した。

SH902i と TypeU①において、プリミティブな 3D モデルで構成された仮想オブジェクト(配線)を同じタイミングで提示させた結果を図 4 に示す。TypeU①では同時に配線全体図も提示させた。また M60, TypeU①において配線の提示を 10 回試行した際の各 MR 機能の平均実行時間を表 2 に示す。

本実験により携帯電話のような性能の低い端末からウェアラブル PC といった高性能な端末まで、性能の異なる 3 種類のモバイル端末を用い、各端末の性能に応じた MR コンテンツの提示を確認した。これにより提案フレームワークは、様々なモバイル端末に対応可能であるといえる。また、各クライアント端末で同時に MR コンテンツを確認したことにより、端末間で MR コンテンツの共有ができたといえる。

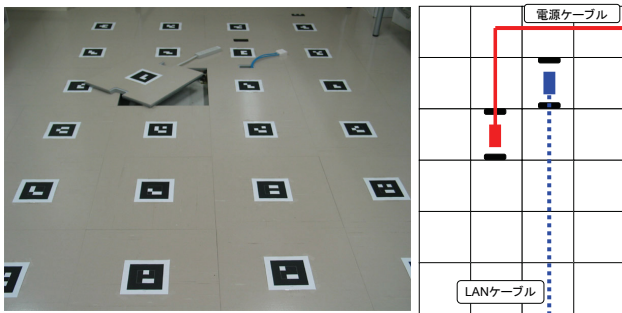


図 3 実験環境と配線見取り図

3.2. モバイルナビゲーションシステム

本システムは、設定した誘導対象の範囲内でユーザの現在地からいくつかの選択可能な目的地までの経路を自動的に決定し、仮想オブジェクト(鳥)が誘導を行うナビゲーションシステムである。ユーザはあらかじめ用意された 4 つの目的地からひとつの目的地を選択する。ユーザが仮想オブジェクトにより目的地まで誘導される間、誘導対象となるエリア全体をマップとして任意に提示可能である。さらに、そのマップ上にある現在地アイコンを確認することにより、ユーザが現在どの辺りを誘導されているかを把握することが可能である。

本稿では上で述べた概要に基づき、『モバイルナビゲーションシステム』を実装し動作確認を行った。本システムでは、重量クライアント及び中量クライアントをそれぞれ Dell Precision M60 及び SONY VGN-UX90PS



図 4 配線の MR 表示と全体配線図の提示例

表 2 床下配線支援システムにおける MR 合
成に要する時間(単位: ms)

端末	カメラ	画像取得	位置姿勢検出	MR情報生成
M60	CMS-V13	12.7	15.2	7.9
TypeU①	内蔵カメラ	16.0	24.1	52.6

(TypeU①)を用いて実装した。本システムはナビゲーションシステムであるため、連続的に実時間でMRコンテンツを提示させることが望ましいと考えられる。よって、連続的なMR提示が不得意な軽量クライアントの実装は行わず、重量・中量クライアントのみの実装とした。実験環境の概略図を図6に、使用した端末のハードウェア構成を表1に示す。

本実験では、ユーザが図5に示す網掛けのエリア内にいる状態で、選択した目的地(図5のA~D)までの誘導が可能か、動作確認を行う。具体的には、ユーザが目的地B前のエレベータホールに立ち、目的地としてAを選択した場合の実行の確認を重量クライアントにおけるM60にて行う。本システムでは、目的地の選択をメニュー画面、またはキーインタラクションによって行い、そのインタラクション後、目的地までの経路をXMLシーケンス[14]としてアプリケーションが自動生成しMRコンテンツDBの一部に更新を加える。

MRコンテンツDBを変更するような本システムを実行した場合の初期位置と目的地での提示結果を図7に示す。重量クライアントにおけるM60とTypeU①で仮想オブジェクト(鳥)の提示を10回試行した際の平均実行時間を表3に示す。

図6に示すように、誘導する鳥の3Dモデルとユーザの現在地アイコンを重ねて経路マップを提示しており、その場合の全体の平均フレームレートは19.8fpsであった。また、画像を含まない3Dモデルのみの提示では、24.3fpsとなった。本実験より、ユーザの現在位置から選択した目的地までの、誘導する仮想オブジェクト(鳥)の最適経路を自動的に生成可能であることを確認した。またMRコンテンツDBを介すことによってユーザの現在地を経路マップ上に更新間隔5秒で反映させることが可能なことを確認した。これにより、本フレームワークをベースとしたMRコンテンツDBの変更を含むアプリケーションの構築が可能なが分かった。

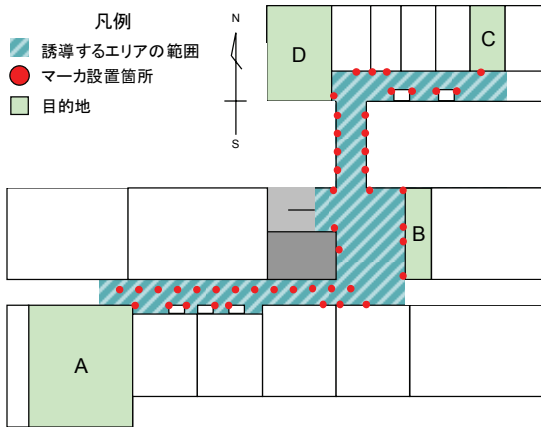


図5 実験環境の概略図

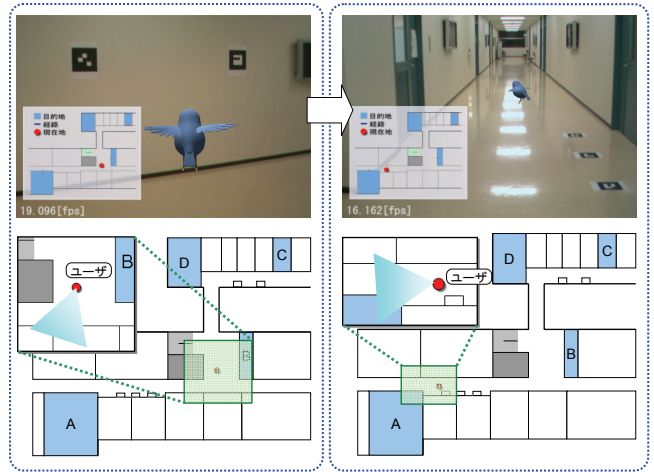


図6 モバイルナビゲーションシステムの様子

3.3. キャンパスガイドシステム

本システムは、本学のキャンパス内にある建物の注釈情報を画像や3Dモデルで提示することにより案内を行うガイドシステムである。本システムでは、キャンパス内の建物の名前とそれに付随する注釈情報の提示、ガイド用看板の3Dモデルの表示を実現する。環境の概略図を図7に示す。

本システムは、屋外環境で利用するため、ユーザの位置検出に Honeywell Pointman DRM-III を、姿勢検出に InterSense InertiaCube3 を用いた。使用した端末の構成は、『モバイルナビゲーションシステム』と同様である。重量クライアントにおけるM60におけるMR合成画像例を図8に示す。

前節までで示したアプリケーションと本システムの実装により、提案フレームワークの枠組みで作業支援・ナビゲーション・ガイドと目的を異にする3種類のアプリ

表3 モバイルナビゲーションシステムにおけるMR合成に要する時間(単位: ms)

端末	カメラ	画像取得	位置姿勢検出	MR情報提示
M60	cms-V13	10.4	8.3	23.4
TypeU①	cms-V13	14.8	12.4	64.7
TypeU①	内蔵カメラ	15.6	13.9	63.7

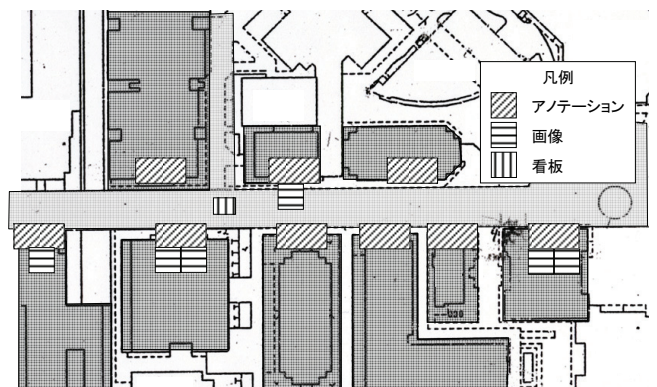


図7 実験環境の概略図



図8 キャンパスガイドシステムの生成画像例

リケーションを実装したことになる。これにより、提案フレームワークは様々なモバイルMRシステムを構築することが可能な、汎用性を持ったフレームワークであるといえる。

4. 考察

提案フレームワークの検証実験において見受けられた問題点として、軽量クライアントにおけるMR画像提示までのタイムラグが挙げられる。床下配線支援システムでは、現実環境の撮影を行ってからユーザに生成画像が提示されるまで、約20秒の時間を要した。これは、端末のネットワーク回線の帯域の細さが主な要因であり、HSDPAなどの高速パケット伝送技術やハードウェアの発展に伴い、解消できる問題であると考えられる。

またフレームワークの今後の展望として、アドホック通信を用いてクライアント間で高速にデータのやり取りを行なえるようフレームワークを拡張することが挙げられる。これによりMRを利用して他のクライアントに対して注釈付けを行う。

5. むすび

本稿では、我々の提案する汎用フレームワークに基づき3種類のアプリケーションを構築し、フレームワークに含む機能を検証し結果について述べた。それぞれの検証結果から、本フレームワークは様々なモバイル端末に対応可能であり複数の端末でMRコンテンツが共有できることを確認した。また、フレームワークのシステム面を気にすることなくアプリケーションの開発を行うことができたため、本フレームワークはアプリケーションに非依存な設計だといえる。

今後は、実用的で本格的に作り込み可能なアプリケーションの構築を視野に入れ、汎用フレームワークの更なる発展を目指す。屋内外におけるロバストな位置姿勢検出手法を提案し、またアプリケーションにおける最適なMRコンテンツ提示手法も検討することでシステム全体の使い勝手を向上させたいと考える。

謝 辞

本論文に関しての有益なる御助言・御指摘を頂いた天目隆平氏に深く感謝申し上げます。また、本研究の開発・

実装作業の一部に携わった、古野光紀氏、橋本崇氏、佐々木亮一氏、田宮聡氏に感謝いたします。また、本研究は科学研究費補助金（基盤研究(B) No.17300039）及びハイテク・リサーチ・センター整備事業の一部の補助を受けて行われました。

文 献

- [1] 『複合現実感2』特集号, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 (TVRSJ), Vol.7, No.2, 2002.
- [2] 『複合現実感3』特集号, 同上, Vol.10, No.3, 2005.
- [3] 山本 裕之: “複合現実感—仮想と現実の境界から見える世界,” IPSJ Magazine, Vol.43, No.3, pp.213-216, 2003.
- [4] 佐藤他: “屋外装着型複合現実感のためのハイブリッド位置合わせ手法,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.129-137, 2002.
- [5] 天目他: “「平城宮跡ナビ」マルチメディアコンテンツを利用したモバイル型観光案内システム,” 第1回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, No. S3-6, 2005.
- [6] S. Güven *et al.*: “Authoring 3D Hypermedia for Wearable Augmented and Virtual Reality,” Proc. of the 7th IEEE Int. Symp. on Wearable Computers (ISWC 2003), pp.118-226, 2003.
- [7] “Signpost,” http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld_ar/signpost.php
- [8] B.MacIntyre *et al.*: “Language-level Support for Exploratory Programming of Distributed Virtual Environments,” Proc. of 9th ACM Symp. on User Interface Software and Technology, pp.83-94, 1996.
- [9] T. Höllerer *et al.*: Exploring Mars: “Developing Indoor and Outdoor User Interfaces to a Mobile Augmented Reality System,” Computers and Graphics, Vol. 23, No. 6, pp.779-785, 1999.
- [10] M. Bauer *et al.*: “Design of a Component-based Augmented Reality Framework,” Proc. of 2nd IEEE and ACM Int. Symp. on Augmented Reality (ISAR '01), pp.45-54, 2001.
- [11] 柴田他: “多様な可搬型機器に対応可能な複合現実感システムの共通フレームワークの設計と実装,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.10, No.3, pp.323-332, 2005.
- [12] 加藤博一: “拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発,” 信学技報, PRMU 01-232, pp.79-86, 2002.
- [13] “ARToolKit,” <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- [14] 橋本他: “モバイル複合現実感システムにおけるコンテンツ記述言語の設計と実装,” 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会&ヒューマン情報処理研究会, 信学技報 Vol.105, No.533, PRMU2005-140, pp.19-24, 2006.