

モバイル複合現実感システム

多様なモバイル機器に対応した汎用フレームワーク

立命館大学

柴田 史久・田村 秀行

現在、モバイル複合現実感システムの実現のためにいくつかのアーキテクチャが提案されているが、それらの多くはモバイル機器の種類を限定したものである。そこで我々は、携帯電話からノートPCまで多様な種類のモバイル機器に対応したモバイル複合現実感システムのための汎用フレームワークを提案している。本フレームワークでは、各々の端末が同じ複合現実環境を観察することが可能であり、今後のモバイル機器の発展に対応可能な柔軟性のあるアーキテクチャを実現している。本稿では、提案するフレームワークの概要とそこにおいてコンテンツの送受信に用いるコンテンツ記述言語について述べる。

はじめに

目の前の光景に画像や文字などの様々な情報が浮かび上がっているような様子をイメージできるだろうか。映画館の前には上映中の映画の予告ムービーが見えており、その傍にあるファーストフード店には、お勤めのハンバーガーセットの画像と価格が浮かんでいる。SF映画での出来事に聞こえるかもしれないが、このような世界を実現できる技術として、近年、複合現実感 (Mixed Reality; MR) に注目が集まりつつある^{1)~3)}。

複合現実感とは、現実空間の光景に計算機で生成した様々な電子情報を重ね表示する技術で、人工現実感 (VR) の限界を打破するものとして期待されている。既に屋内利用の据置型システムでは実用レベルに達し、製造業の設計部門や博展業界で活躍している。昨年開催の愛知万博の日立グループ館では、ジオラマで作ったジャングルや海底の景観の前に、双眼鏡型のスコープを覗き込むとワニや海亀などの希少動

物のCG映像が合成されて見えるMRアトラクションが出演され、連日長蛇の列の人気を博した。

その一方で、屋外で利用するモバイル型MRシステムはまだ研究・実験レベルに留まっている^{4)~6)}。これまでモバイル型システムの研究例では、頭部装着型ディスプレイ (HMD) を装着し、ノート型PCをバックパックに搭載して背負う形態が中心であったが、カメラ付き携帯情報端末 (PDA) によるMRシステムが登場し、さらにはカメラ付き携帯電話での実現をめざす研究も始まっている。MR情報提示機能の本質を考えれば、限られた屋内空間で使うのではなく、いつでもどこでも手軽に目の前にある現実世界で活用できる可搬移動型へと移行するのは必然な流れである。

我々は、携帯電話、PDA、ウェアラブル・コンピュータ等、様々な種類のモバイル型機器にMR情報提示機能を搭載できる汎用フレームワークの構築を進めている。目指すところは、アプリケーションに依存しないプラットフ

ォーム層の開発であり、モバイル型機器の性能や種類の違いをも吸収できる汎用フレームワークの確立である。現在入手可能なモバイル型機器の処理能力、記憶容量には大きな制約があるが、近年の携帯電話の急速な発展からは、その制約が早晚緩和されると予想される。現時点で入手できる機器やソフトウェア環境を選択して開発を進めるのは、すぐに陳腐化してしまい無駄が大きい。すなわち、日進月歩の技術進歩が見込める分野には、そのバリエーションを吸収できる柔軟性のあるフレームワークの導入が望ましい。

本稿では、こうした構想の下に設計・実装したモバイルMRシステムの汎用フレームワークについて紹介する。我々のフレームワークでは、モバイル機器の性能によってクライアントを3種類に分類し、MR情報提示機能を実現する上で必要な機能をサーバ・クライアントに分散配置する。このシステム・アーキテクチャに基づくMRシステムを、複数のモバイル機器上に実装した。さらに、サーバ・クライアント

間でMR情報提示機能に必要なコンテンツ（MRコンテンツ）を送受信するためのコンテンツ記述言語SKiT-XMLの設計・実装し、いくつかのアプリケーションでその有用性を実証した。

汎用フレームワークの概要

我々が提案する汎用フレームワークは、多種類のモバイル機器で同一の複合現実環境を同時に体験可能なシステムを実現する。この条件を満たすために、本フレームワークは以下の方式を採用するものとした。そのコンセプトを第1図に示す。

(a) サーバ・クライアント型

本システムを、MRコンテンツを一元管理するためのサーバと、MR情報を提示するクライアントから成るサーバ・クライアント型とする。両者間はネットワークを介して接続される。

(b) 処理の分散化

端末間の能力の差異を吸収するために、特に処理能力の低い携帯電話やPDA等に対しては、サーバ側で位置姿勢検出などの処理を実行し、処理の分

散化を図る。同時にシステム・レイヤとアプリケーション・レイヤを設定し、アプリケーション部分を入れ替え可能な枠組とする。

(c) 共通の情報記述言語

端末の種類に依存しない形で情報を記述するために、本目的専用のコンテンツ記述言語SKiT-XMLを設ける。これにより、新たな端末の出現にも柔軟に対応することが可能となる。

一般に複合現実感システムを実現するためには、以下の5種類の機能が必要となる。

(1) 画像取得機能

複合現実情報の重畳対象となる元画像（現実の光景）を取得するための機能

(2) MR情報提示機能

元画像にMR情報を重畳して提示する機能

(3) 位置姿勢検出機能

端末の位置姿勢を検出する機能

(4) MR情報生成機能

MRコンテンツから位置姿勢に応じたMR情報を生成する機能

(5) MRコンテンツ管理機能

MRコンテンツを管理・更新する機能

これらに加えて、システム全体をサーバとクライアントから構成する上で次の機能が必要となる。

(6) クライアント管理機能

クライアントの各種情報を管理する機能

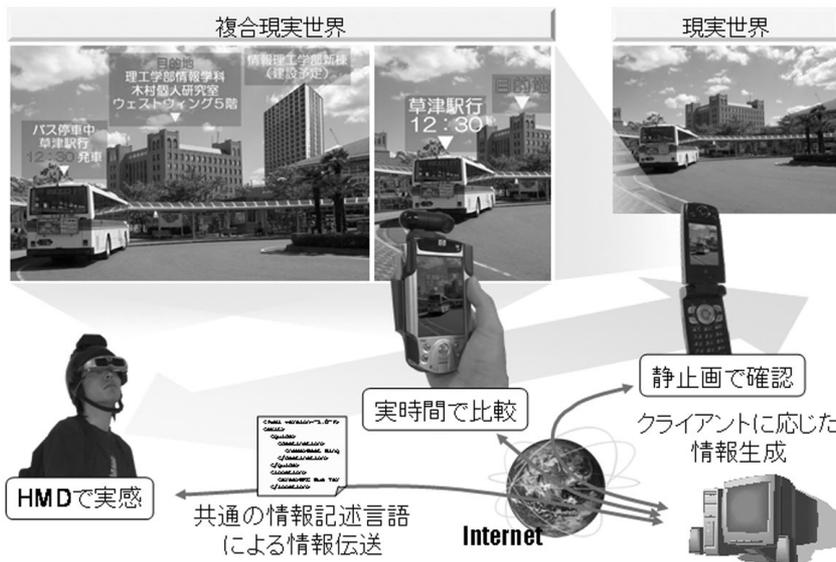
端末ごとの能力差を吸収するため、以上の6つの機能を分散配置することにし、第2図に示すシステム・アーキテクチャを設計した。

本フレームワークでは、モバイル端末をその処理能力に応じて、それぞれ「軽量クライアント」「中量クライアント」「重量クライアント」と呼ぶ3種類に分類する。

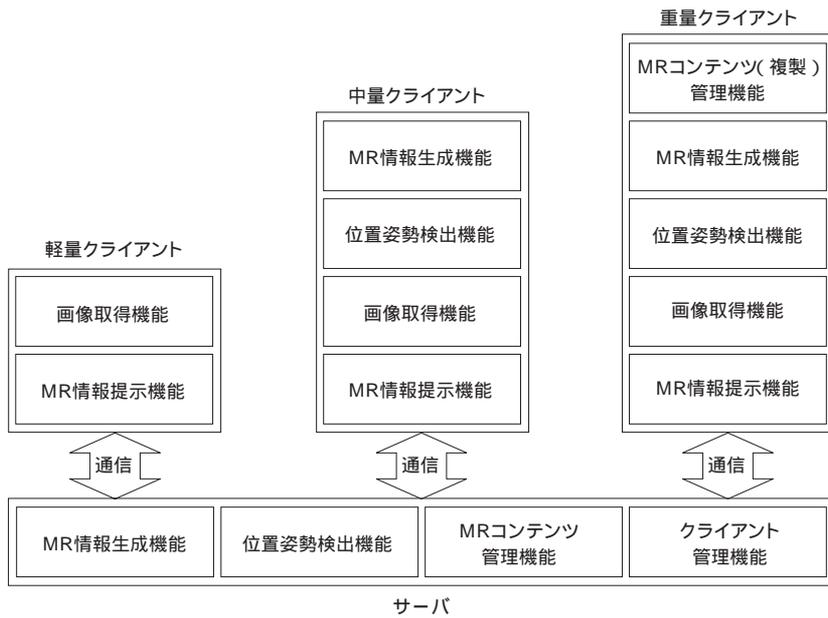
「軽量クライアント」では、複合現実感を実現するために必要最低限の機能である画像取得機能とMR情報提示機能のみをクライアント側に配置し、残りの機能はサーバに処理を依頼する。このため、1枚のMR画像を表示するたびにサーバと画像のやりとりを行う必要があり、連続的なMR表示は不得手である。しかし、搭載される機能が少ないため実装は比較的容易であり、モバイル端末の中でも特に計算資源の制約が厳しい携帯電話での実現も可能である。

「中量クライアント」は、軽量クライアントに自身の位置姿勢を検出するための機能及びMR情報を生成する機能を追加したクライアントである。中量クライアントは、自身で検出した位置姿勢をサーバに送信し、現在提示すべき自身の周辺の局所的なMRコンテンツを受け取る。このコンテンツをもとにMR情報を生成することで、連続的なMR表示が可能となるが、提示すべきコンテンツの取捨選択はサーバ側で行い、クライアントはそのコンテンツを位置姿勢に合わせてレンダリングするのみとなる。

「重量クライアント」は、比較的高性能なモバイル機器を対象としており、



第1図 汎用フレームワークのコンセプト



第2図 システム・アーキテクチャ

複合現実感を実現するための機能を全てクライアント側に配置した自己完結型のクライアントである。例えば、ユーザがHMDを装着し、高品質の複合現実感をリアルタイムに体験する、という利用形態を想定している。重量クライアントは、サーバが保持するMRコンテンツDB (Database) の完全な複製を取得し、自身で管理する。すべてのMRコンテンツをサーバとの間で同期をとることによって、クライアントのコンテンツを常に最新の状態に保ち、クライアントが自ら提示するコンテンツを決定し提示することが可能となる。

一方、サーバとしては、各クライアントに不足した機能を補えるように、クライアント側に必ず配置される必要がある画像取得機能とMR情報提示機能を除いた4つの機能を備えている。その上で、クライアント側からの要求に応じて、必要な機能を提供し、その結果を返すこととなる。

上記のサーバ及び各クライアントの

具体的な設計方針として、システム・レイヤとアプリケーション・レイヤを明確に分離する構成で、本アーキテクチャのアプリケーション非依存性を確保する。すべてのMRアプリケーションで共通に利用される画像取得機能や位置姿勢検出機能などはシステム・レイヤに配置し、アプリケーションごとに異なるアプリケーション・ロジックやユーザ・インタフェースにあたる

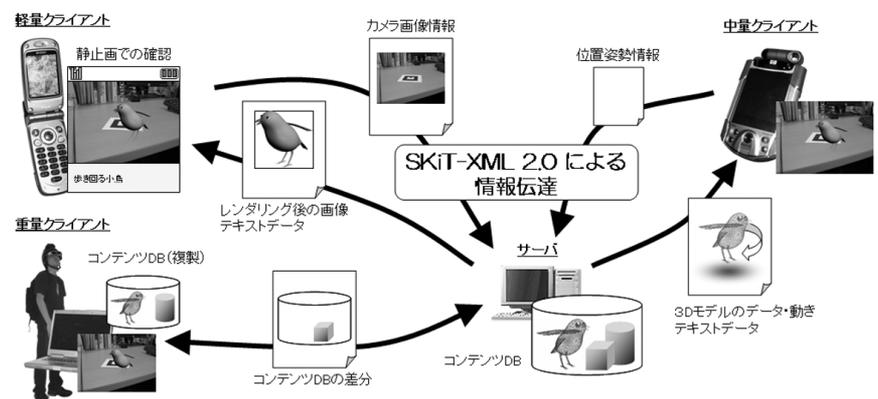
MR情報提示機能は、アプリケーション・レイヤに配置する。なお、詳細なモジュール構成については文献^{7),8)}を参照されたい。

コンテンツ記述言語 SKiT-XML

前述のアーキテクチャにおいて各クライアントは、MR情報を提示するためにサーバとの間で各種の情報を送受信する必要がある。これらは大きくクライアントからサーバに送られるリクエストとサーバからクライアントに送られるレスポンスに分けられる。クライアントの種類によってサーバに依頼する処理が異なるため送受信される情報も異なる。各クライアントとの間で送受信する情報のイメージを第3図に示す。我々は、そうした送受信を可能にするコンテンツ記述言語として、独自のSKiT-XMLを提唱し導入している。

我々のフレームワークでは、MR情報として提示可能なコンテンツとしては、3次元空間中に存在するものと端末の画面上に平面的に提示されるものの2つに分けて考える。

3次元空間中に存在するコンテンツとしては、(1)VRMLや立方体などのプ



第3図 SKiT-XML 2.0 による情報伝達のイメージ

リミティブ形状で表現した3Dモデル、(2)文字による注釈情報にあたるアノテーション、(3)3次元空間中に配置される画像、の3種類を扱う。

一方、画面上に提示されるコンテンツとしては、(1)画面上に提示される画像、(2)画面上での注釈情報にあたるアノテーション、(3)決められた領域に文字として提示されるメッセージ、の3種類を扱う。

ここでポイントとなるのは、いかにして複数の端末が同一のMR世界を共有するかである。特に提示するコンテンツが時間によって変化する場合、各端末で同期をとり、同一の動きを提示可能なものとする必要がある。ここでは、コンテンツに含まれる3Dモデルやアノテーションなどの個々の要素を仮想オブジェクトと定義し、仮想オブジェクトの記述方法としてシーケンスという概念を導入することでMR世界の共有を実現している。

仮想オブジェクトの動きは、オブジェクト自身の形状が変化する場合とオブジェクトが環境中を移動する場合の2つに分けて考える。それぞれの変化について、各フレームでのオブジェクトの状態を全て記述することは現実的ではない。ここでは、各クライアントのシステム時刻の同期がとれているものとして、任意の時刻におけるオブジェクトの状態をシーケンスとして記述し、その間の状態については補間を行うこととした。これは、SVG⁹⁾におけるアニメーションの記述と同様であ

第1表 使用端末と実装形態

端末分類	使用端末	実装形態
PC	Dell Precision 450	サーバ
携帯電話	NTTDoCoMo SH901iC	軽量クライアント
PDA	SHARP Zaurus SL-6000W	軽量クライアント、中量クライアント
PDA	HP iPAQ h5550	中量クライアント
ウェアラブルPC	Xybernaut MA-V	中量クライアント、重量クライアント
ノートPC	Sony VAIO TypeU	中量クライアント、重量クライアント
ノートPC	Dell Precision M60	中量クライアント、重量クライアント

る。詳細なコンテンツの記述方法については文献¹⁰⁾を参照されたい。

有効性の実証と考察

本フレームワークの設計・実装は、一直線に達成したのではなく、クライアントの種類を増やし、具体的な応用課題に取り組みながら、基本設計を見直し、複数回のバージョンアップを果たしてきた。以下では、その過程で実施して有効性を実証した結果について述べる。

各クライアント及びサーバとして実装に用いた端末とその実装形態について第1表に示す。また、各端末の主要な仕様を第2表に示す。

床下配線サポートシステム

我々のフレームワークの有効性を確認するために、具体的なアプリケーションとして「床下配線サポートシステム」を考え、これを複数のモバイル機器上で実現した。

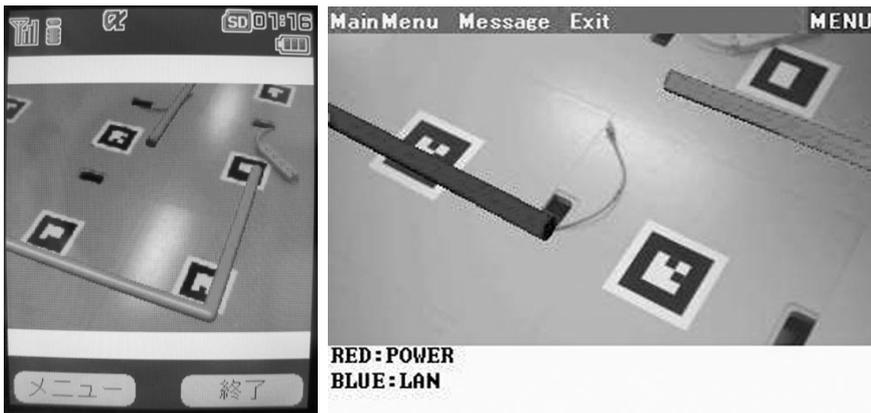
近年、オフィス環境で利用されてい

るフリーアクセスフロアでは、ケーブルが床下を通るため快適な空間を構築できるが、レイアウトを変更する際には床のタイルを開けなければ配線が確認できないという不便さがある。本システムは、予め位置が分かっているフリーアクセスフロア下の配線を、MR機能を利用して重畳表示し、配線変更作業の煩雑さを軽減することを目標としている。試作システムでは、「任意の床下の配線状況のMR表示」機能及び「配線全体図の表示」機能を実現した。

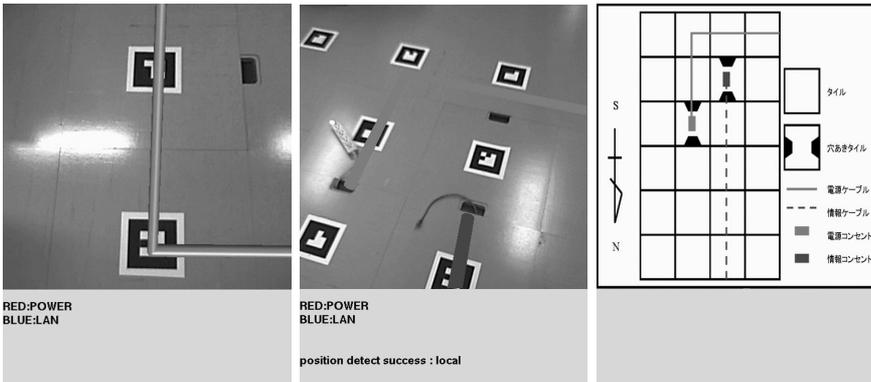
対象エリアは、フリーアクセスフロアのタイル4×6枚の範囲である。タイル1枚の大きさは50cm四方であり、タイルの下10cmには、電源ケーブルとLANケーブルが通っている。サーバと中量クライアントの位置姿勢検出機構としてARToolKit¹¹⁾を利用した。このため、各タイルの中央に12cm四方の正方形マーカを貼付した。ARToolKitを利用したのは、本アーキテクチャの機能実証のためには、安定した位置決め機構を採用したかったためである。この種のマーカの利用が好ましいと考

第2表 各端末の主要な仕様

使用端末	CPU	メモリ	表示解像度	グラフィックスカード	カメラデバイス	通信
SH901iC			240×240		内蔵カメラ	携帯電話網
SL-6000W	XScale PXA255 400MHz	64MB	480×640		SHARP CE-AG06	IEEE 802.11b
h5550	XScale PXA255 400MHz	128MB	240×320		LifeView FlyCAM-CF1.3	IEEE 802.11b
MA-V	Celeron 500MHz	256MB	800×600	ATI RAGE Mobility-M	OrangeMicro iBot (IEEE1394)	IEEE 802.11g
Type U	Pentium M 1.1GHz	512MB	800×600	Intel 855GM	CMS-V13 (USB)	IEEE 802.11g
M60	Pentium M 2.1GHz	2GB	800×600	nVIDIA Quadro FX Go 1000	CMS-V13 (USB)	IEEE 802.11g

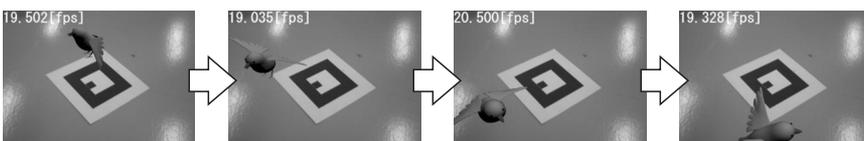


a: SH901iC (軽量クライアント) b: iPAQ h5550 (中量クライアント)



c: SL-6000W (軽量クライアント) d: SL-6000W (中量クライアント) e: SL-6000Wによる全体図表示 (中量クライアント)

第4図 床下配線サポートシステムの実行例



第5図 仮想オブジェクトのアニメーション表示結果



第6図 ガイドキャラクタ(鳥)によるナビゲーションの例

えているわけではない。

第4図に実行例を示す。複数種類のモバイル機器において、軽量クライアント及び中量クライアントが設計通りに動作することを確認した。軽量クライアントが提供するの、シャッタを押して得た静止画に対するサービスである。すなわち、軽量クライアントは、カメラでキャプチャした画像をサーバに送り、サーバ側で位置姿勢を計算する。その上で、その画像に対応したMR情報をサーバ側で生成し、それをクライアントに送り返し、MR情報を表示する。その実行時間は、SH901iCで1回のカメラ撮影からMR画像提示まで約15秒、SL-6000Wでは約3秒程度であるが、実行時間の大半は情報の送受信に費やされている。一方、中量クライアントでは、位置姿勢検出はこのクライアント内で実行できる。よって、クライアントから現実の光景の画像をサーバに送る必要はなく、検出した位置姿勢情報のみを送り、配線情報を返してもらえばよい。これにより通信の負荷が減少し、擬似動画処理ができる。すなわち、PDAを利用したクライアントであれば、手にしたPDAを様々な方向に向ければ、そのアングルに対応したMR画像が刻々と得られる。

ナビゲーションのためのアニメーション表示

ナビゲーションは、モバイル機器の利用で要望が多い重要なアプリケーションである。ここではそのガイドキャラクタに動画表示を導入することで、SKiT-XMLにおける時間的な変化を伴う仮想オブジェクトの記述能力を実証した。

まず基本的な動作実験の表示結果を第5図に示す。ここでは重量クライアントを用いての結果を示している。仮想オブジェクトの位置姿勢は時間によって区切られたキーフレームの補間に

第3表 アニメーション時の各処理に必要な時間

仕様端末	画像取得	位置姿勢検出	アニメーション処理	MR情報生成
M60	10.1 ms	12.6 ms	0.7 ms	11.7 ms
Type U	22.0 ms	26.4 ms	0.8 ms	17.1 ms
MA-V	47.8 ms	69.8 ms	0.9 ms	81.6 ms

よって決定する。仮想オブジェクトとしては、8秒周期でマーカを中心として半径200mmの回転運動を行う鳥を表示した。表示した鳥は回転運動を行うと共に翼を羽ばたかせている。

第6図にナビゲーションの実行例を示す。実際のナビゲーションでは、図に示すように鳥のガイドキャラクタが誘導経路を飛んでいくことでユーザを案内している。

第3表に処理時間を示す。表から分かるように、アニメーションを導入しても処理時間にはほとんど影響せず、滑らかに仮想オブジェクトを表示させることが出来た。仮想オブジェクトは、想定した通りの動作を行い、キーフレームの補間処理が適切に行われたことが確認できた。また、時刻をもとに補間を行っているため、端末の時計を合わせておけば仮想オブジェクトの動きの同期も可能であった。

むすび

注目を集めつつある複合現実感技術をモバイル端末で手軽に利用できることを目指して、筆者らが進めているモバイル複合現実感システムの汎用フレームワークの実現に関して述べた。このようなアプリケーション非依存、端末の種類に非依存のフレームワークの意義は、日進月歩のモバイル機器の発展の中で次第に重要視されてくるものと

と思われる。

ここでは、可搬移動型であるが、まだ屋内環境での実施例のみを述べた。本フレームワークの目指すところからすれば、屋外の様々な環境における利用に向かうのが本筋であり、実際そのための展開を図っている。しかしながら、そのためには屋外でロバストに利用可能な位置姿勢検出機構が必須となる。現状、万能な解決策は存在しないが、屋外利用を想定したセンシング・デバイスの研究が活発化しているため、やがては実用的な方式が見つかるのは想像に難くない。

そうした時代に向けての先行研究として始めた構想のテーマであるが、モバイル機器の急成長の前に、活躍の場が与えられるのは、予想よりもかなり早いかなと感じるこの頃である。

参考文献

- 1) S. K. Feiner (田村秀行訳)：複合現実感がひらく第3の視界、日経サイエンス、2002年7月号、pp.40-49.
- 2) 「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、Vol.7, No.2, 2002.
- 3) 「複合現実感3」特集号、同上、Vol.10, No.3, 2005.
- 4) S. Feiner, B. MacIntyre, T. H. Illerer, and T. Webster, A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment, Proc. 1st IEEE Int. Symp. on Wearable Computers, pp.74-81, 1997.
- 5) 佐藤、穴吹、山本、田村：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、in 2), pp.129-137, 2002.

- 6) 興梠、蔵田、坂上：ウェアラブル拡張現実システムのための利用者のビューベースと位置・方位取得手法、同上、pp.139-149, 2002.
- 7) 柴田、木村、橋本、古野、平岡、田村：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、in 3), pp.323-332, 2005.
- 8) 古野、柴田、木村、田村：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(4) 重量クライアントの実現と機能検証、信学技報、Vol.105 No.533 PRMU2005-141/HIP2005-111, pp.25-30, 2006.
- 9) Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Specification, <http://www.w3.org/TR/SVG11/>
- 10) 橋本、吉田、柴田、木村、田村：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、信学技報、Vol.105, No.533, PRMU2005-140/HIP2005-110, pp.19-24, 2006.
- 11) H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, K. Imamoto, and K. Tachibana, Virtual object manipulation on a table-top AR environment, Proc. of Int. Symp. on Augmented Reality (ISAR2000), pp.111-119, 2000.

【筆者紹介】

柴田史久

立命館大学 情報理工学部 助教授
〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1
TEL : 077-561-5066
E-mail : fshibata@is.ritsumeai.ac.jp
主なる業務歴及び資格

1999年阪大・基工・博士後期課程修了。博士(工学)。大阪大学を経て、2003年4月立命館大学理工学部助教授。現在、同情報理工学部助教授。モバイルコンピューティング、複合現実感等の研究に従事。IEEE、日本VR学会等の会員。2004年日本VR学会学術奨励賞受賞。

田村秀行

立命館大学 情報理工学部 教授
主なる業務歴及び資格

1970年京大・工・電気卒。電子技術総合研究所、キヤノン(株)等を経て、2003年4月立命館大学理工学部教授。現在、同情報理工学部教授。工学博士。専門分野は、画像情報処理、映像情報メディア論、人工現実感/複合現実感など。

Keyword

複合現実感

現実世界の光景に計算機で生成した様々な情報を重畳描画する技術。