

## プロジェクタ投影型ウェアラブル複合現実感システム

狩塚俊和 佐藤宏介

大阪大学 大学院基礎工学研究科

現実環境に仮想物体をシームレスに融合する複合現実感(Mixed Reality)が新たな情報提示方法として注目され、今までに様々な形態のシステムが開発されてきた。その一例として、プロジェクタを利用し、実物体をスクリーンとするプロジェクション方式が複合現実感ディスプレイとして提案されている。

また、一方でコンピュータを身につけられるほど小型化して、常時利用を可能にするウェアラブルコンピュータの研究が行われている。複合現実感による便益をユーザの状態にかかわらず享受できるようにするため、両者を融合する「ウェアラブル複合現実感」が新たなメディア環境として注目されてきた。本発表では、小型プロジェクタを用いたウェアラブル複合現実感システムを提案する。

### A Wearable Mixed Reality with an On-board Projector

Toshikazu Karitsuka and Kosuke Sato

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

One of methods achieving Mixed Reality (MR) displays is the texture projection method using digital projectors. Another kind of emerging information environments is a wearable information device, which realizes ubiquitous computing. It is very promising to integrate these technologies. Using this kind of fusion system, two or more users can get the same MR environments without using HMD at the same moment. In this paper, we propose a wearable MR system with an on-board projector and image-based sensor, and also introduce some applications with this system.

#### 1. はじめに

近年、ハードウェアの進歩により、コンピュータは非常に小型化し、携帯型さらには着用型のコンピュータの実現を可能とした。このような新しいコンピュータを真に有効に活用するために、GUI(Graphical User Interface)などといった従来のユーザインターフェースの概念を超えた新しいHCI(Human-Computer Interaction)技術の開発が注目を集めている。こうした技術背景を踏まえ、現実世界と仮想世界とをシームレスに融合する複合現実感 (Mixed Reality : MR) をウェアラブルコンピュータで実現す

ることで、真のコピキタスコンピュータの実

現期待されている[3][4][5]。複合現実感技術の中でも、特に現実世界をベースに仮想世界の物体を重畳することで現実の世界の情報を増強する技術は、拡張現実感 (Augmented Reality : AR) と呼ばれ、仮想空間だけを扱う仮想現実感 (Virtual Reality : VR) に比べ、より広範な応用が期待されている。このようなコンピュータシステムがユーザのウェアラブルな環境において実現されるならば、ユーザは実世界での生活の中で、いつでもどこでもコンピュータに

よって自然に支援されるようになると考えられる。

## 2. ウェアラブル複合現実感と プロジェクション方式

ウェアラブル複合現実感システムを実現する方式には、すでにいくつかの方式が提案されている[6]。

### (1) 光学シースルー方式

現実世界の光景を透過させ、これに仮想世界からの合成映像をハーフミラーや透過型頭部搭載型ディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) 等を用いて現実世界像の適切な位置に重畳させる方式である(Fig.1)。この方式は、現実物体の質感、光量のダイナミックレンジなどの点で、現実空間の認識に優れているという利点を有している。また、実世界の把握に優れるため、ユーザが自由に動きまわる場合に有利である。しかし、実物体、仮想物体間で正しい隠蔽関係を表現することが困難であるなどの欠点がある。

### (2) ビデオシースルー方式

カメラを通じて現実世界の光景をビデオ映像化し、ここに仮想世界の映像を合成し、遮蔽型HMD等で表示する方式である(Fig.2)。前者の方式と比べ、この方式はビデオ映像上で仮想世界と現実世界とを融合させる方式である。この方式は、現実世界と仮想世界とを違和感なく融合するのに優れている。しかし、解像度が低い点、明るさに対するダイナミックレンジの低さなどが欠点として挙げられる。

### (3) プロジェクション方式

著者らが採用するプロジェクション方式は、現実世界に存在する物体にコンピュータ上で合成した表面属性情報(テクスチャ画像)を光学的に重畳させるシステムである(Fig.3)。この方式をウェアラブルコンピュータで実現することで、手近な投影対象に、CG(Computer Graphics)画像を光学的に重畳させユーザに情報を提示することができる[7]。この方式は、ユーザの装着快適性を損なう可能性のある HMD 等のヘッドギアを装着する必要が無いため、ユーザの負担を

軽減することができる。またヘッドギアを装着する方式はハーフミラーやディスプレイなどを介して観察するため、実世界と仮想世界との遮蔽感や実世界との明度、環境光の相違などから高い質感感覚が得られないという問題点があるのに対し、この方式は、実際に目視している物体に対して直に CG 画像情報を投影表示するため高い質感感覚を得ることができる。さらに、システムを装着しているユーザだけでなく、ユーザの近くにいる複数人が、ユーザと同じ複合現実感感覚を同時に得ることが可能である点も利点として挙げられる。また、実装技術として前述した光学シースルー方式やビデオシースルー方式とは異なり、観察者の位置や移動速度などの複雑なパラメータが不要である。よって、これらの方式と比べてリアルタイム処理が容易に行えるという利点を持つ。しかし、ディスプレイにプロジェクタを用いている性質上、情報提示範囲が限定されるという欠点もある。

この方式を実現するためには、大きく分けて二つの要素技術が必要である。

#### (i) 投影対象の追跡と認識

投影対象の移動に対して、コンピュータ上で作成するテクスチャ CG が位置ずれなく投影されるために、投影対象を追跡しその位置、姿勢を計測することが必要不可欠である。この方法としては、3次元位置センサを用いる方法や、カメラで得られた画像から画像処理を行うことで求める方法などが考えられる。また投影対象の ID を認識する必要がある。

#### (ii) テクスチャ CG 画像の生成

(i) で得られた投影実物体の位置、姿勢、IDから、投影するテクスチャ CG 画像を生成する。

以上の処理を、リアルタイムに処理することにより、実物体と投影テクスチャ画像との位置整合を実現する。

## 3. 試作システム

著者らが試作したウェアラブル複合現実

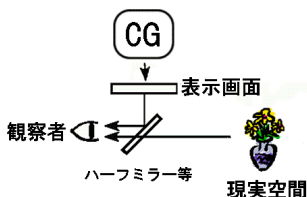


Fig.1: 光学シースルー型

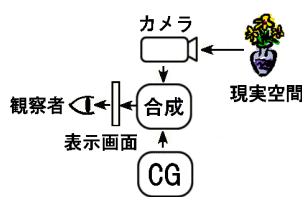


Fig.2: ビデオシースルー型

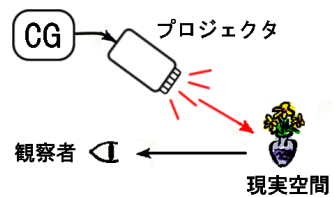


Fig.3: プロジェクション型

感システムの構成について述べる。本試作システムは、投影対象とウェアラブルシステム本体からなる。本体は、赤外線投光モジュール、画像センサ、コンピュータ、プロジェクタが一体化した構造をする(Fig.4)。

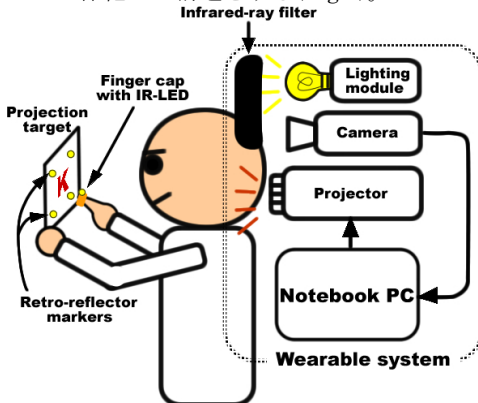


Fig. 4: システム構成図

ウェアラブルシステム本体は、ユーザに対する負担が少なくかつ手元の作業に支障がない点を考慮し、ユーザの背後からプロジェクタで投影を行う方式とした。

前述したように投影対象を追跡する必要があるが、その手法として、システムの実装の容易さ、コンパクトさ、非接触でセンシング可能な点を重視しカメラを用いる画像処理によって、投影対象の追跡を行うこととした。また、同様に画像処理から投影対象のIDの認識、ユーザとのインタラクションをも認識する。投影対象には再帰性反射材(Retro-reflector)によるマーキングが施されている(Fig.9(a))。再帰性反射材とは、光を入射した方向に反射する性質を持ち、身近な物では道路標識や自転車の安全シールなど、夜間の標識用に活用されている素材である。投影対象に対して赤外線投光モジュールから赤外光を投光しながら、次の処理を行う。  
**Step1**: 再帰性反射材からの反射光を赤外線フィルタ付きのカメラで撮像する。赤外線を用いることで背景画像や外乱光に強く、画像処理を簡略化することができる。  
**Step2**: 得られた画像からマーカを抽出し、ラベリング処理から投影対象のIDと位置・姿勢を認識する。  
**Step3**: 算出された投影対象の座標に合致させて、テキスト画像をCG合成し、プロジ

ェクタより投影する。CG合成にはOpenGL(SGI)ライブラリを利用している。

下図は実際に試作したシステムである(Fig.5)。



Fig. 5: システム概観

以下に構成モジュールの仕様を示す。

投光モジュールには、電球(15W)を一つ用いている。ユーザに光が見えないように電球前に赤外光透過フィルタを取り付けている。赤外線LEDを多数取り付ける手法もあるが、LEDは指向性が強いので、手軽に広範囲に強い赤外光を投光することができる電球を用いている。カメラには、

CCD-Z1 (SONY)

映像信号: NTSC カラー(EIA 標準方式)

撮像素子: 1/4 型総画素数 27 万画素 CCD

質量: 140g

を用いている。赤外線のみを撮像できるように、レンズの前に赤外線フィルタを取り付けている。キャプチャには、

USB-CAP2 (I-ODATA)

解像度: CIF(352×288)

を用いてキャプチャを行う。USB 1.1 インタフェースでPCに接続しDirectShow(Microsoft)のライブラリを利用しキャプチャしている。ノートPCには、

Vaio U3 (SONY)

CPU: Crusoe TM5800 933MHz (Transmeta)

GPU: MOBILITYRADEON 8MB (ATI)

質量: 約 820g

プロジェクタには、

V-1080 (Plus Vision)

投映方式: DLP(DMD 単板方式)

明るさ: 800ANSI ルーメン

コントラスト比: 800:1

質量: 約 0.9kg

を搭載している。プロジェクタの性質上、投

影光は上方に広がるように設計されている。そのため、うまく手元に映像を投影することができない。そこで、プロジェクタを上下逆さまに配置することで、投影光が下方に投影されるよう工夫している。プロジェクタのレンズの前にはプロジェクタの焦点距離を短くし、投影可能範囲を広げるためにワイドコンバージョンレンズ VCL-0752H (SONY 0.7倍) を設置している。

### 3. 1 試作アプリケーションの例

試作アプリケーションとして、本試作システムを用いて、平面実物体上の文字や図形に対して注釈や動画を重畳させることを目指した。投影対象の平面の位置、姿勢をシステムが認識する必要がある。取り扱う座標系を下図に示す(Fig.6)。投影対象には、大きさが既知な正方形にマークが添付されている。カメラとプロジェクタは予めキャリブレーション処理されている。このマークをカメラで撮像し、正方形の4頂点の座標と、平面の拘束条件から、投影対象の3次元位置を算出することができる。つまり、マーク座標系からカメラ座標系への変換行列をリアルタイムに算出する。求められた変換行列とキャリブレーションによって、予め同定していた、カメラパラメータ、プロジェクタパラメータを利用し、プロジェクタスクリーン座標系への変換を実現する。さらに同時に認識した投影対象のIDから対応するCG画像を生成する。以下に具体的なアプリケーションの例

を示す。

**MR-manual** はユーザが手に持った紙のマニュアルに対して、テキスト情報、画像情報、動画情報を補完的に提示するアプリケーションである(Fig.7)。ユーザがページをめくると、そのページのIDを認識し、そのページに対応した付加情報がCG合成され、適切な位置に重畳表示される。例えば、車の名前や、グラフの部分だけを電子的に変えて表示することによって、一冊のマニュアルで何台もの車のマニュアルを兼ねることが可能となる。つまり、紙のマニュアルの簡便な操作性を維持したまま、電子的なマニュアルの利点を兼ね備えたマニュアルを実現できる。

**Personalized MR-BBS** は、投影対象を冊子のようなものではなく、掲示板のような壁などに固定された物に応用したものである(Fig.8)。つまり、マークを白色の掲示板に予め添付しておく。マークの配置などに掲示板固有の意味付け(場所など)を予め定義しておく。ユーザが掲示板の前に立つと、この掲示板に添付された掲示板固有のマークの意味をシステムが自動的に認識し、提示すべき情報をユーザにパーソナライズされた状態で投影する。この方式により、日常のいたる所にマーキングを施すことにより実環境中に様々な情報をインプラントし、ユーザに最適化された情報を提示することを実現できる。

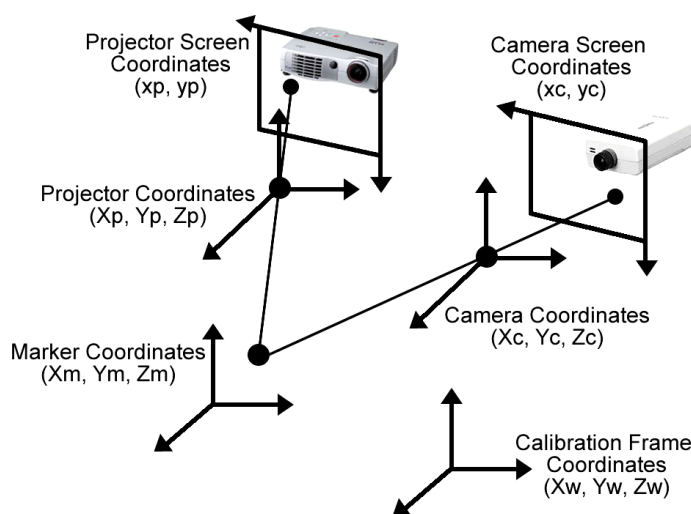


Fig. 6 : 座標系

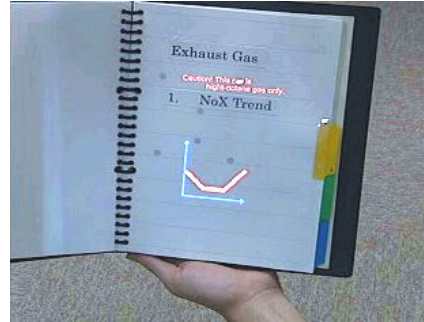
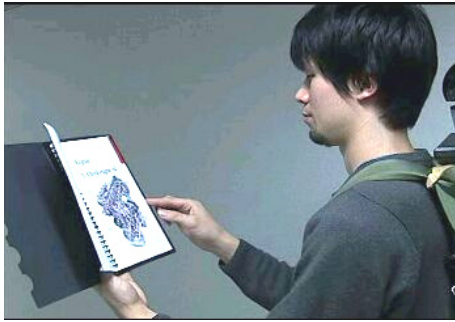


Fig. 7 : MR-manual



Fig. 8 : Personalized MR-BBS

### 3. 2 ユーザ入力

ユーザのインタラクションをシステムとの間で可能にすることはより応用範囲を広げる上でも必要不可欠な機能である。そのためには、システムは入力デバイスを用いるか、ユーザの動作から情報を得る必要がある。前述のシステムは後者をとり、投影対象のID判定と位置、姿勢を計算するのに利用されるマーカに加え、ユーザとのインタラクションを認識するのに利用されるマーカを新たに添付する。そのマーカをユーザが手で押すことや、なぞることによってインタラクションを実現する。今回実現したマーカのタイプは2種類あり、

- ・ボタン型マーカ
- ・スライドバー型マーカ

である。この2種類のタイプの実現により、ユーザの意思によって提示情報を切り替えることや、連続的に変化させることが可能となる(Fig.9(a)(b))。

次に、赤外線LEDとタクトスイッチのついた入力用指キャップを製作した(Fig.6)。

これは、ユーザが投影対象に触れた時スイッチが入りLEDが光る仕組みである。そして、その点灯しているLEDをカメラで撮像することにより指先の軌跡をシステムが追跡する。このデバイスを用いることでユーザがフリーハンドの入力することを可能にし、指の軌跡を装着プロジェクタから表示することでフリーハンドによる注釈を行うことが可能となる。必要となる座標変換は指先の位置のカメラスクリーン座標系からマーカ座標系へ変換である。一見すると、2次元座標系から3次元座標系への変換のように思われるが、実際には投影対象は平面であると仮定しているため変換が可能である。

さらに、その入力軌跡の形状をシステムが認識することで、実空間上にボタン等のインタラクションオブジェクトを、ユーザが自由に作成、配置することができる。具体的には、ユーザがボタンを描く(円として実装)とシステムがそれをボタンと認識する。続いて、ユーザがそのオブジェクト内で変化命令行動(ユーザのダブルクリックとして実装)を行うと、そのオブジェクトはボタンの持つス

タッチのインタラクション機能を持つことができる (Fig.9(c)).

#### 4. まとめ

本発表では、小型プロジェクタを装着したテクスチャ投影型のウェアラブル複合現実感システムを提案し、著者らが構築してきた試作システムを紹介した。本方式においては、作業性を損なう可能性がある HMD などのヘッドギアを装着することなく、複合現実感感覚を得られること、装着ユーザだけでなく装着していないユーザも同時に同じ複合現実感感覚を享受できることなど、多くの有用性を既に確認している。また、試作アプリケーションとして再帰性反射材マーカを添付した平面実物体を投影対象として、テキスト情報、動画情報の提示を行った。インタラクション用のマーカを添付することや、赤外線 LED の付いた指キャップを装着することでユーザからの入力を可能とした。今後は、各種の入力方法をさらに検討し、本システムの応用分野を拡大したいと考えている。

#### 参考文献

- [1] 楠本拓矢、内田貴之、佐藤宏介、井口征士: "テクスチャプロジェクション方式複合現実感ディスプレイ"; VR 学会第 5 回大会、pp.419-420 (2001).
- [2] 伴好弘、佐藤宏介、千原國宏: "ウェアラブルな複合現実感システムに関する検討"; VR 学会第 5 回大会、pp.393-394 (2001).
- [3] 加藤博一、Mark Billinghurst、浅野浩一、橘啓八郎: "マーカ追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション"; 日本 VR 学会論文誌 vol.4 No.4 (1999).
- [4] Jun Rekimoto, Yuji Ayatsuka and Kazuteru Hayashi: "Augment-able Reality: Situated Communication through Physical and Digital Spaces"; ISWC'98 (1998).
- [5] 原健太郎、穴吹まほろ、佐藤清秀、山本裕之、田村秀行: "屋外装着型複合現実感システムの検討と試作"; 日本 VR 学会第 5 回大会論文集、pp.407-410 (2000).
- [6] R. Azuma: "A Survey of Augmented Reality", Presence: Teleoperations and Environments, 6, 4, pp.355-385 (1997).
- [7] 狩塚俊和、佐藤宏介、井口征士: "プロジェクタを搭載するウェアラブル複合現実感システム"; 日本 VR 学会第 7 回大会、pp.329-330 (2002).

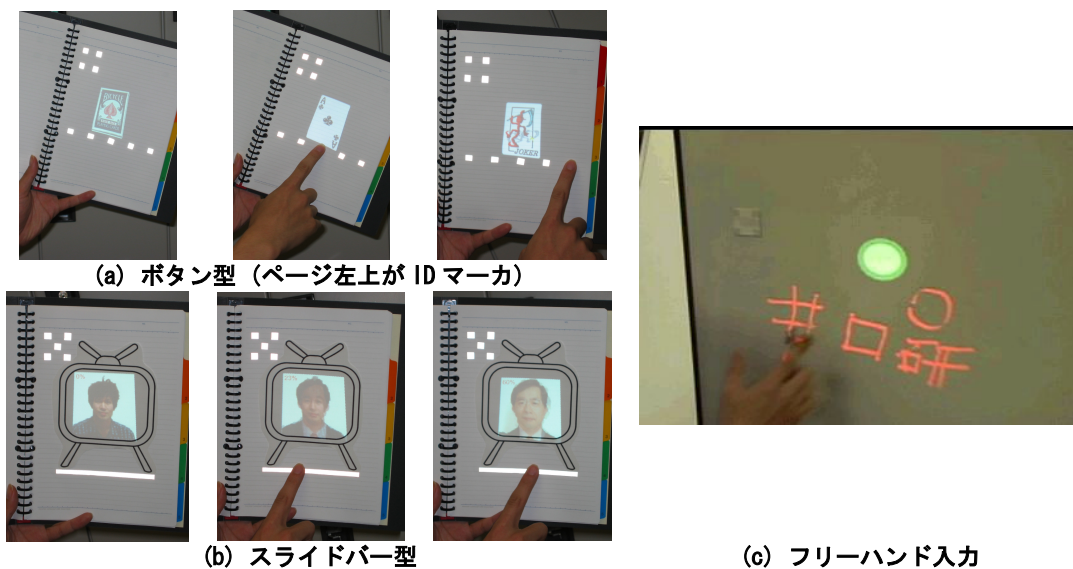


Fig. 9 : システムとのインタラクション