

展望 3: ARのインタフェース

蔵田武志^{*1} 酒田信親^{*2} 牧田孝嗣^{*3}

^{*1} 産業技術総合研究所 ^{*2} 大阪大学 ^{*3} 奈良先端科学技術大学院大学

実環境や仮想環境とどう接するか

「基礎 1：拡張現実感 (Augmented Reality : AR) 概論」では、AR を語る上で欠かせない幾何学的整合性、光学的整合性、時間的整合性について触れられている。幾何学的整合性だけを考えた場合においても、たとえば、歩行者ナビゲーションのような一般的な AR アプリケーションでは、注釈等の AR コンテンツを実環境に登録する際に混入する位置や方位等の誤差と、そのコンテンツ閲覧時のセンシングの誤差の両方を考慮する必要がある。

前者の登録時の誤差は、AR アプリケーションの利用時にコンテンツ登録が位置や方位等のセンシング結果に基づいて行われる場合に特に顕著に出てくる問題である。「基礎 1：拡張現実感 (Augmented Reality : AR) 概論」では、現実環境、拡張現実環境、仮想化現実環境、仮想環境の RV (Reality-Virtuality) 連続体についても触れられているが、その仮想化現実環境に注釈を重畳した事例¹⁾を図-1に示す。このようなインタフェースでは、仮想化現実環境にコンテンツを配置すればよいので、前者の登録時の誤差は最小限に抑えやすい。さらに、後者のコンテンツ閲覧時のセンシングの誤差についても、誤差自体はセンシングの性能を向上させない限り改善しないが、仮想化現実環境とコンテンツとの幾何学的対応関係は固定されているので、多少センシングの誤差があっても誤解を与えにくい情報提供を行うことができる。

上記は技術的な問題を、その技術の向上のみではなくインタフェースやインタラクション技法の設計も含めて検討すべきであるという分かりやすい例の1つであるが、これは、AR やその周辺技術を実用化する上で、インタフェースやインタラクション技法が今後ますます重要になってくることを意味している。

AR とインタフェースやインタラクション技法とは切り離して考えづらい点が多いこともあり、他の記事でもすでにさまざまなインタフェースやインタラクション技法の研究事例が述べられているが、本稿では特に、まずビューマネジメントについて、続いて Procams

(Projector-Camera System) を用いたプロジェクション型 AR におけるインタラクション技法について概説する。

ビューマネジメント

AR を利用したアプリケーションには、作業支援やナビゲーション、ゲームなどさまざまな種類のもが存在する。ビューマネジメントとは、このような各々のアプリケーションに対して、現実環境と仮想環境の合成結果の視認性を維持・管理する技術の総称である。ビューマネジメントは、幾何学的整合性や光学的整合性を保つという AR の根本的な課題とは異なる概念の課題である。

ユビキタスやウェアラブルコンピューティング等の分野においては、以前から状況把握 (Context Awareness) についての議論がなされている。上述の整合性という考え方で状況把握を言い換えると、「意味的整合性」や「文脈的整合性」ということになるであろう。AR においても、実環境や仮想環境とどう接するかを実シナリオに立脚して考えていくためには、文脈的整合性が当然求められていくこととなる。ビューマネジメントとは最終的にはそのような文脈的整合性と密接に関係する技術である。

--- ビューマネジメントと注釈配置 ---

現在のところ、ビューマネジメントの研究対象は主に、注釈 (あるいは、アノテーション、タグ、ラベルなどと呼ばれるもの) を表示するアプリケーションが主である。注釈を用いて表示する内容は、物体の名称や説明文などが多く、注釈の視認性や注釈の説明対象である物体の視認性が重要である。アプリケーションの具体例としては、建造物の名称を表示するナビゲーションシステム、多数のボタンが付いたパネルの各ボタンの機能説明、電子機器の部品説明、医療現場における体の部位の説明、などがある。それらのように同時に多数の注釈を表示するようなアプリケーションでは、注釈同士が重ならないような配置が好ましい。この「注釈同士が重ならないように配置するテクニック」はビューマネジメントの技術

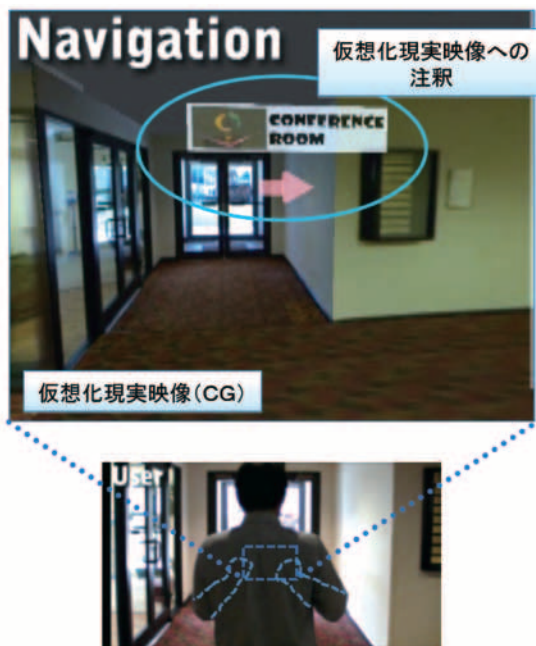


図-1 仮想化現実環境への注釈提示に基づく歩行者ナビゲーション

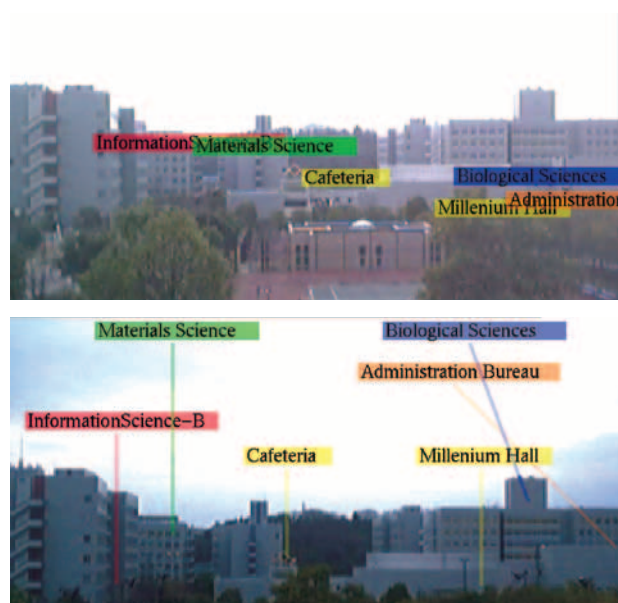


図-2 ビューマネジメントを利用した注釈表示例 (上: ビューマネジメントなし, 下: ビューマネジメントあり)

の1つである。図-2に、奈良先端科学技術大学院大学の屋外で行った実験によって、建造物の名称を注釈で表示した画像の例を示す。本実験では、各建造物のおおまかな形状データを用いて画像中の空きスペースを探索して注釈を配置することで、視認性を向上している。

--- ビューマネジメントの要素技術 ---

ビューマネジメントに関する取り組みには代表的なものとして、フィルタリング、インタフェース、および描画方法の工夫という3つの要素技術が挙げられる。これら3つの要素は、互いに独立ではなく、相互に影響を与えるものであり、ビューマネジメント手法の構築に取り組むには、これらの要素を同時に考慮する必要がある。以下に、それぞれの要素技術について述べる。

フィルタリング

ユーザの視界に存在するすべての物体の注釈を描画すれば、ユーザの視界は注釈でいっぱいになってしまう可能性がある。そこで、描画される注釈の個数や種類を適切に選択する、あるいは制限する技術、いわゆる「フィルタリング」が必要であり、フィルタリングには、受動的なアプローチのものと、能動的なアプローチのものがある。

受動的なアプローチとは、ユーザの能動的な情報の入力が必要としないフィルタリングであり、いわば「自然に快適な結果が得られる」ための手法である。受動的なアプローチには、どのようにしてユーザの状況を理解するかという課題がある。たとえば、買い物のためのナビゲーションシステムを実現する場合、ユーザが遠くからビルを見た際には、ビルの名前が表示されており、ま

たビルまでの道案内情報が表示されている。ビルに近づくくと、各フロアの情報が表示されている。あるフロアに到着すると、各お店の情報が表示される。さらにお店に入ると、各商品の説明が注釈表示されている、といったユーザの位置情報や姿勢情報から状況を推定したフィルタリングが期待される。

一方で、能動的なアプローチでは、ユーザが能動的に何らかの行動をとることでコンピュータに情報を入力して、情報を選択する。この場合、ユーザがコンピュータに情報を入力するためのインタフェースが必要である。

フィルタリング技術の向上のために、以下のような課題について取り組む必要がある。

①ユーザが注目している物は何かを把握する手法

受動的なアプローチによるフィルタリングを向上させるために、ARシステムがユーザの状況を自動的に理解するしくみが望まれる。たとえば、ユーザの位置姿勢や視線方向と、周辺の現実環境の情報を照らし合わせることで、ユーザが注目している物体や領域を推定できる可能性がある。このような推定ができると、多数の物体の中からユーザが注目している物体を同定し、注目している物体に関連する注釈を選択して表示する、といったフィルタリングが実現できる。

②フィルタリングのための注釈データ管理手法

注釈のデータを管理するためのデータ(メタデータ)を用いて、フィルタリングを意図したデータ構造で注釈を管理する必要がある。たとえば、各々の注釈に対して、ユーザの位置・姿勢に応じた描画の有無の切り替えが行えるようなデータ管理をすることで、ユーザに負担のか



図-3 ウェアラブルコンピュータのユーザプロフィールを表示している例

からないフィルタリングが実現できる可能性がある。また、能動的なアプローチによるフィルタリングを行う場合には、ユーザから入力される情報によってフィルタリングを行うことを前提とした注釈情報の管理手法が望まれる。

ビューマネジメントとインタフェース

ユーザの意図を AR システムに伝達するようなインタフェースの研究は、能動的なフィルタリングを行うための重要な課題である。たとえば、モバイルコンピュータやウェアラブルコンピュータを用いたナビゲーションシステムでは、下方向を向いた際には現在位置付近の俯瞰地図が表示され、前方向を向いた際には建造物の名称が注釈表示される、といったように、表示するコンテンツのカテゴリにユーザの姿勢情報を入力とした手法が提案されており、シンプルながら有用な方法である。

また、HMD などの、手で触れることができないディスプレイを用いたウェアラブル AR システムでは、ディスプレイを指でタッチする方法に代わるインタフェースが求められている。たとえば、これまでに指や手のひらを用いて情報を選択するインタフェースなどが提案されている。今後は、指先で目の前にあるビルを指し示すと、ビル内の情報が一覧表示されるようなインタフェースや、指を利用したジェスチャによって、提示する注釈の種類を切り替えるインタフェースなど、直感的で現実環境とのインタラクティブ性が高く、単純な動作で情報の選択が行えるシステムが望まれる。

また、作業支援などのアプリケーションにおいては、作業の進捗段階を簡単にシステムに伝えられるインタフェースが望まれる。車のメンテナンス支援システムを例とすると、最初はボンネットを開けるためのレバーの位置が表示されている。ボンネットを開け終わると、次はエンジンオイルのチェックをするためのオイルレベルゲージの位置が表示されている、というように、ユーザが自身の作業状況をコンピュータに入力することで、作業状況にあわせたコンテンツが表示されるようなシステム

が構築できる。

描画方法の工夫

フィルタリングによって選ばれた注釈は、基本的にすべて描画される。その際に、描画の工夫によって、注釈を分かりやすく表示する技術が重要である。AR システムは基本的にリアルタイムアプリケーションであるため、1 フレームの分かりやすさを考慮することはもちろんのこと、連続フレームでユーザが見ることをも考慮した手法が必要となる。Azuma らの文献²⁾では、AR を用いた注釈の表示において、注釈の表示位置を決める際に考慮すべき主な項目として、以下の 3 つの要素を挙げている。

1. 注釈同士や、注釈と説明対象の物体との重なり(少ないほどよい)
2. 注釈とオブジェクトの距離(短いほどよい)
3. フレーム間における注釈の移動量(小さいほどよい)

ほかにも、注釈の描画手法に関する研究が行われているが、前述の 3 つの要素を基礎とした上で、さらに各々のアプリケーションに依存した制約や特徴を考慮した例が多い。たとえば牧田らは、注釈を付加する対象が移動および変形するような動的な環境において、対象の現在位置と簡易形状の集合から対象の存在領域を推定して、注釈を付加する手法³⁾を提案している。提案手法を用いて、移動するウェアラブルコンピュータのユーザのプロフィールを注釈で表示した結果の例を図-3 に示す。

一方で、使用機器の特徴を考慮する必要もある。たとえば、半透明なディスプレイを利用する場合や、仮想物体を半透明に描画する場合、後述のプロジェクション型 AR を利用する場合には、背景のテクスチャや輝度などが仮想物体の視認性に影響するため、背景物体を考慮したコンテンツの描画手法が検討されている。

プロジェクション型 AR でのインタラクション技法

AR を実現する表示インタフェースとして、HMD やハ

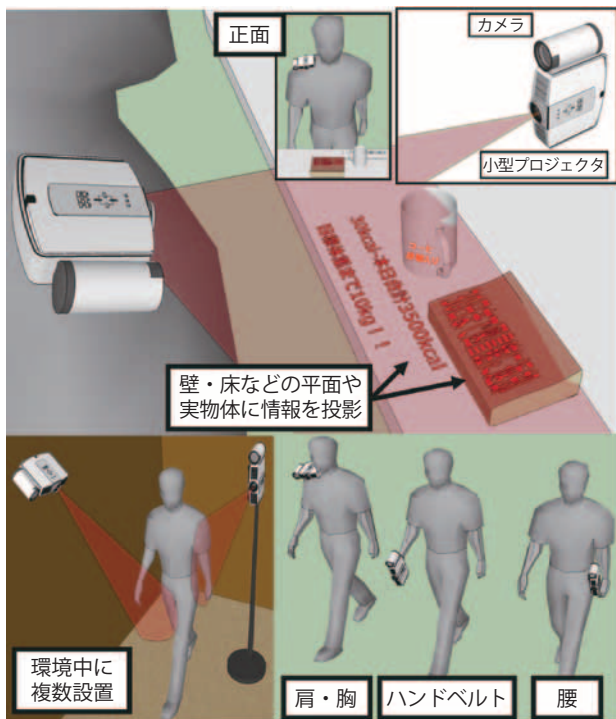


図-4 Projector-Camera System (Procams)の概観図

ンドヘルド型ディスプレイだけではなく、プロジェクタが使われる事例が多く見られるようになってきている(「応用5: プロジェクション型AR」参照)。時々刻々と変化するユーザの姿勢や投影面の3次元情報などの周辺環境を計測し、各整合性を可能な限り保ったAR情報を提供するために、図-4に示すようにカメラとプロジェクタを組み合わせたProcams (Projector-Camera System)が提唱されている。現時点では投影光の明るさに問題はあるが、LEDやレーザを光源にすることでプロジェクタの小型軽量化・低消費電力・低発熱が実現し、これまでは設置が困難であった場所への固定や身体への装着が可能になった。

没入型であるHMDや小さな液晶画面を表示デバイスとするハンドヘルド型デバイスでAR環境を構築する場合とは異なり、Procamsで構築されたAR環境では、図-4下のように環境中や胴体などに機器を取り付ける等の多様な構成が可能であることによって、ハンズ・フリー、ヘッド・フリー、アイ・フリーな状態で、実環境中に重畳表示されたAR情報を閲覧することができる。さらに、Procamsから投影されたAR情報は、特別なデバイスをユーザが個々に準備することなく多人数が同時に閲覧可能である。これも、HMDやハンドヘルド型ARと比較した際の大きな特徴であり、その有効性はInteractive Dirtの研究で示唆されている⁴⁾。本稿では、主にこのProcamsベースで構築されたAR環境下でのインタラクション技法について述べる。

HMDを用いたAR環境でのインタラクション技術では、ウィンドウ、アイコン、メニューそしてポインティングデバイスで操作をする現在一般的なWIMPインタフェースを採用する場合もあるが、実世界と仮想情報の融合性が高いARの特性を発揮するため、把持棒やユーザの手足自体をポインタとし、ユーザのジェスチャなどの動作をコマンドと見なすことで、仮想情報の操作と実環境の作業をシームレスに行う効率的な操作インタフェースの提案が多くなされている。しかし、Procamsのようなプロジェクション型ARでは、主に情報を空中に表示できないという理由によりHMDを用いたAR環境とまったく同一のインタフェースを提供することは難しく、手軽さとスケーラビリティの高いAR環境を維持しながら快適なインタラクションを行うために以下のような別のアプローチが提案されている。

--- モバイル Procams におけるインタラクション ---

阪大山本らは、手のひらをAR情報の投影面に利用し、もう一方の手をポインティングデバイスとして手のひらに投影された仮想オブジェクトを操作することで、プロジェクション型ARにおいて投影面が周辺にない場所であっても、ユーザの手のひらと指で直接インタラクション可能なモバイルARインタフェースであるPALMbit (図-5左下)^{☆1}を提案している。さらに、山本らは、物理空間でユーザの腕や足が届かず直接触れることができない投影面に提示された情報に対してインタラクションする場合に、ユーザの手のシルエットを投影面上に射影することで、手の届かない場所にある仮想オブジェクトをポインティングしたり操作したりできるPALMbit-Silhouetteを提案している。

産総研蔵田らは、Procamsの構成部品にレーザプロジェクタを採用すると、ユーザの手などの手前の投影面と机や壁などの奥の投影面の双方に同時に結像可能な特性を利用したBOWL (BOdy-Worn Laser) ProCam⁵⁾ (図-5右上)を提案している。たとえば、奥の投影面に提示された映像の中のある対象を、手を差し出して仮想的にすくい、その手に投影された映像(対象)を見ながら手前・奥行き方向に手を動かし、その対象に対してスライダバーや音量調節の“つまみ”に代表される連続的な段階入力によって変更操作を行うインタラクション技法を実現することができる。

SixthSense⁶⁾ (図-6上)では、胸にProcamsを取り付け、壁や腕に加えユーザが手に把持した物体などを投影面として扱い、さらにカラーマーカをつけた指先をポイ

☆1 PALMbit: <http://www-sens.sys.es.osaka-u.ac.jp/research/mr.html>



図-5 Procamsで構築したAR環境に関する研究例1

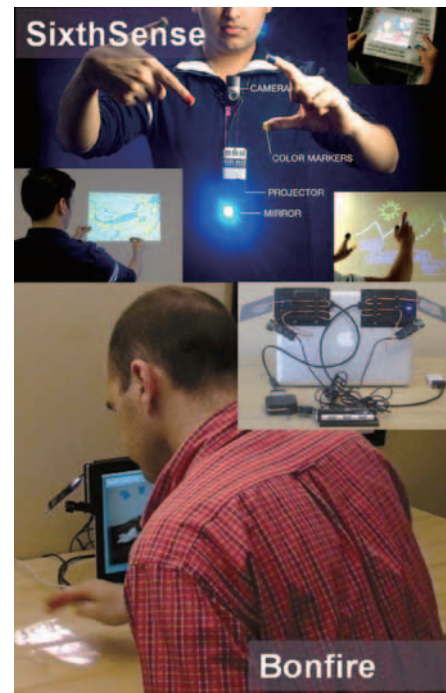


図-6 Procamsで構築したAR環境に関する研究例2

ンティングデバイスとし、カメラで認識した両手ジェスチャをショートカットとして積極的に取り入れることで、快適な GUI 操作の実現を提案している。これらの研究では、手のひらや壁を仮想オブジェクトの投影面とし、ジェスチャや手で仮想オブジェクトを操作し、さらにシステムがユーザのオペレーションを認識したことをユーザに伝えるビジュアルフィードバックを投影面に表示するインタラクション空間を構築している。これにより、Procams でのモバイル AR 環境においてしばしば課題となる投影面確保と入力デバイスに関して、ある程度同時に解決することができると考えられる。

--- 遠隔協調作業支援と Procams---

離れた 2 地点にいる作業者と指示者が、通信を介して音声や映像を伝え合い協調して作業を進める遠隔協調作業支援に Procams を導入した研究例として、WACL⁷⁾ (図-5 左上) や Telepointer^{☆2} が存在する。WACL や Telepointer は、プロジェクタの代わりにレーザーポインタを使用した胸部周辺に装着するウェアラブル Procams で、カメラによって遠隔の作業場の状況を指示者が把握し、遠隔操作可能なレーザーポインタで実物体を指し示すことで遠隔地間での協調作業を可能としている。これらの研究では、立体的な実物体の組み立てやピックアップを含む作業を指示するシナリオでの評価実験を実施しているが、ある程度の幾何学的位置合わせを行いながら物

体や場所をレーザーポットで指し示すという最もシンプルな重畳表示であっても、対象物や場所の選択や同定等に関しては非常に有効であることが報告されている。

--- 簡易なテーブルトップ Procams---

テーブルトップ Procams の研究例も多く存在するが、Bonfire (図-6 下)⁸⁾ や Procams for Laptop⁹⁾ では、小型になった Procams を図-5 右下のようにノートパソコンのベゼル部分に取り付け、そこからノートパソコンの両横側にプロジェクタで映像を投影し、カメラによって指先の動きやジェスチャなどを認識することで、普通の卓上をインタラクション可能な拡張 AR デスクトップにしている。この拡張 AR デスクトップに、雑誌や本などをかざし、活字や写真を OCR やパターン認識などでコンテンツデータとしてノートパソコンに取り込み、それをシードとした検索結果等を AR 投影によって実物体である本や雑誌に重畳表示するというような利用シーンを提案している。さらに、Bonfire では卓上に携帯電話を置くと、ノートパソコンから携帯電話等へのデジタルデータの移動を AR 投影によって直感的・視覚的に取り扱えるインタラクションを実現している。これらの研究では、さまざまな機材やデバイスに Procams を付加するだけで、パターン認識や物体の 3 次元形状復元などの CV 技術と AR 投影が適用可能な空間を提供し、デジタルデータ・現実世界・実物体・仮想オブジェクトの間を相互にリンクしシームレスに操作可能な AR インタラクション空間を提供している。

☆2 Telepointer : <http://wearcam.org/telepointer.htm>

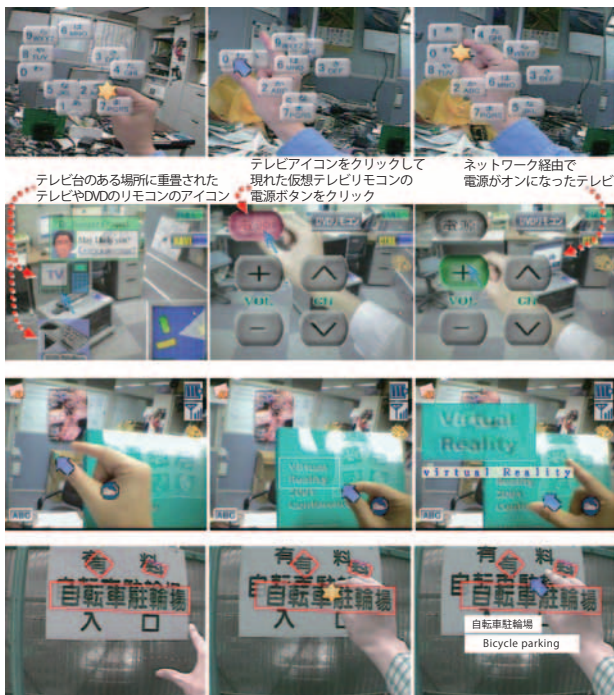


図-7 HMDとハンドジェスチャとの組合せの応用例(1段目:セキュアなパスワード入力, 2段目:ユニバーサルリモコン, 3段目:ドラッグと実世界OCR, 4段目:実世界OCRと翻訳サービス)

AR インタフェースの今後の展望

HMDやハンドヘルド型インタフェースにおけるビューマネジメントについて、主に3つの要素技術の現状と課題について述べた。今後も、実シナリオに則したARシステムの開発に伴って、複数の要素を統合的にとらえながらシステムの特性に合わせたビューマネジメント手法の研究が望まれる。

続いて、Procamsのインタフェースやインタラクション技法について概説したが、ProcamsベースとHMDベースのAR環境は決して排他的なものではなく、たとえばHMDベースのシステムにProcamsを導入するとHMD装着者以外にもAR情報を伝達できる面で補完的な役割を果たせるため、そのような融合システムも現れるかもしれない。

また、本稿では、ジェスチャについてはProcamsとの組合せのみについて述べたが、もちろん、HMDとハンドジェスチャとの組合せについても、主にハンドヘルド型デバイスとタッチパネルとの組合せのアナログ的な研究事例等が数多くある(たとえば、図-7¹⁰)。HMDと視線検出とを組み合わせたインタフェースも万人向けのキャリブレーションが可能な視線計測技術が登場すれば有望なものになっていくであろう。ただし、これらは、人前で手や視線を必要以上に動かすことをユーザに要求することにもなる。現在、ハンドヘルド型デバイスでの

ARアプリケーションが流行しているが、そのために人前でデバイスを構えること自体に抵抗を感じる人も多いと聞く。このように実用的なARインタフェースを開発する上では、幾何学的整合性、光学的整合性、時間的整合性に、文脈的整合性を加えるだけでは足りず、社会的整合性(社会的な受容性)も考慮する必要があるであろう。

参考文献

- 1) Ishikawa, T., Kourogi, M., Okuma, T. and Kurata, T.: Economic and Synergistic Pedestrian Tracking System for Indoor Environments, In Proc. International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition 2009 (SoCPAR2009), pp.522-527 (2009).
- 2) Azuma, R. and Furmanski, C.: Evaluating Label Placement for Augmented Reality View Management, Proc. 2nd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp.66-75 (2003).
- 3) Makita, K., Kanbara, M. and Yokoya, N.: View Management of Annotations for Wearable Augmented Reality, CD-ROM Proc. IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo (ICME2009), pp.982-985 (2009).
- 4) McFarlane, D. C. and Wilder, S. M.: Interactive Dirt: Increasing Mobile Work Performance with a Wearable Projector-Camera System, Proceedings of the 11th International Conference on Ubiquitous Computing, pp.205-214 (2009).
- 5) 蔵田武志, 酒田信親, 興梠正克, 大隈隆史, 大田友一: BOWL プロカムによる手前と奥の投影面を用いたインタラクションの実現にむけて, 情報処理学会 CVIM, 2006-CVIM0156-1, pp.1-8 (2006).
- 6) Mistry, P., Maes, P. and Chang, L.: WUW - Wear Ur World - A Wearable Gestural Interface, In the CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. pp.4111-4116 (2009).
- 7) 酒田信親, 蔵田武志, 興梠正克, 葛岡英明, マーク・ビリングハースト, 肩載せアクティブカメラ・レーザによる遠隔協調作業, 日本VR学会論文誌, Vol.10, No.3, pp.333-341 (2005).
- 8) Kane, S. K., Avrahami, D., Wobbrock, J. O., Harrison, B., Rea, A. D., Philipose, M. and LaMarca, A.: Bonfire: A Nomadic System for Hybrid Laptop-Tabletop Interaction, Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '09), pp.129-138 (2009).
- 9) Suzuki, T.: ProCams for Laptop, In Proc. ASIAGRAPH2009, pp.96-99 (2009).
- 10) Kurata, T., Okuma, T., Kourogi, M., Kato, T. and Sakae, K.: VizWear: Toward Human-Centered Interaction through Wearable Vision and Visualization, In Proc. the Second IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM2001), pp.40-47 (2001).

(平成22年2月24日受付)

蔵田武志 (正会員)

t.kurata@aist.go.jp

1996年筑波大学大学院工学研究科修士課程修了。現在、産業技術総合研究所サービス工学研究センターサービス工学企画室長(主任研究員兼務)。筑波大学大学院准教授(連携大学院)を兼務。博士(工学)。

酒田信親 (正会員)

sakata@sys.es.osaka-u.ac.jp

2007年筑波大学大学院システム情報工学研究科博士課程修了。現在、大阪大学大学院基礎工学研究科助教。博士(工学)。実世界指向インタフェースとウェアラブルプロジェクションに関する研究に従事。日本バーチャルリアリティ学会会員。

牧田孝嗣 (正会員)

koji-ma@is.naist.jp

2009年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修了。現在、同大同研究科博士研究員。博士(工学)。ウェアラブル拡張現実感に関する研究に従事。日本バーチャルリアリティ学会会員。