

複合現実オーサリング環境における 例示型インタフェースに関する一手法

大隈 隆史[†] 蔵田 武志^{†‡}

[†]産業技術総合研究所 情報技術研究部門 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1

[‡]筑波大学 情報システム工学研究科 〒305-8577 つくば市天王台 1-1-1

E-mail: takashi-okuma@aist.go.jp, kurata@ieee.org

あらまし 本稿では複合現実環境のコンテンツを作成するためのコンテンツオーサリングにおける例示型のインタフェースを提案する。自然特徴ベースの認識・追跡アルゴリズムを用いる複合現実環境においてはコンテンツの構成要素に認識・追跡に用いる実物体情報を含む必要がある。画像処理の専門知識を持たないコンテンツデザイナーが適切に実物体情報を収集することを支援するためのインタフェースとして、例示型インタフェースのコンテンツオーサリングへの適用を試み、有効性の検証のためのプロトタイプシステムを試作した。

キーワード 複合現実感, オーサリング, 例示型インタフェース

A Demonstration-based Interface for a Mixed Reality Authoring Environment

Takashi Okuma[†] and Takeshi Kurata^{†‡}

[†] Information Technology Research Institute, AIST

Tsukuba Central2, 1-1-1 Umezono, Tsukuba 305-8568 Japan

[‡] Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, 305-8577 Japan.

E-mail: takashi-okuma@aist.go.jp, kurata@ieee.org

Abstract This paper describes a demonstration-based interface that helps a mixed reality content author gather the real environment information and integrate it with computer graphics objects into content. The information is required for content that is used in natural feature-based mixed reality systems. However, it is difficult to gather such information for a content author who is not familiar with the computer vision-based tracking techniques. We prototyped a mixed reality content authoring system that has demonstration-based interfaces to help content author gather the information appropriately.

Keyword Mixed Reality, Authoring, Demonstration-based Interface

1. はじめに

工場・プラントなどにおける作業現場において、作業対象の操作手順などを状況に応じて提示することにより作業者を支援する情報支援技術は、今後深刻化する熟練者不足に対応するための重要な技術となりうる。このような情報支援技術の実現に向け、著者らの研究グループは、作業支援のためのプラットフォームとしての着用型計算環境と支援情報提示手法としての複合現実感に着目して研究を進めている[1]。

着用型複合現実感システムによる作業支援の実用化を目指す上では、幾何学的整合性問題を解決する位置合わせ手法などの基本技術に加えて、提示されるコンテンツの作成支援技術が重要となる。複合現実環境のコンテンツは、提示される情報としての仮想物体だけではなく、その情報に関連付けられる実物体の情報を必要とする。特に、位置合わせに画像処理に基づく手法を用いる場合、対象となる実物体の外観や形状の

情報をモデルとして取得しておく必要がある。また、実物体と仮想物体の関連付けに人工マーカやタグなどを利用する場合は、マーカ・タグと実物体の正確な相対位置情報が必要となる。いずれの場合も複合現実環境のコンテンツ作成には仮想物体の編集作業とともに、作業現場の実物体と提示される仮想物体の関連付けに必要な情報の取得作業が必要となる。

しかし、このような情報取得は、複合現実感技術の知識を持たないコンテンツデザイナーにとって困難な作業となることが予想される。例えば、事前に手動で対象を計測する場合、どのような手順で何を計測すべきかを常に把握しておく必要がある。また、自動で情報を収集する機能を用意したとしても、ある時点までに取得した情報とそのときのシステムの振る舞いの関係が明確でなくては、デザイナーは混乱してしまう。

そこで本稿では例示型インタフェースの概念を定義し、複合現実感オーサリングに適用することでデザ

イナの支援を試みる。詳細は3節で述べるが、例示型インタフェースは現在できる作業を例として示すことで作業の流れをデザイナーにスムーズに伝えるとともに、内部状態の可視化によって動作原理を理解しやすくする効果を狙って設計されている。また、コンテンツデザイナーからの入力をコンテンツユーザの入力例として利用することによる効率化・高信頼化も目指している。また、その有効性を検証するために試作中の例示型インタフェースを適用した複合現実環境オーサリングプロトタイプシステムについても紹介する。

2. 関連研究

これまでにいくつかの研究グループによって複合現実環境のコンテンツオーサリングに関する研究が行われている。以下ではこれらの研究を実物体と付加される提示情報の関連付けの方法に基づいて分類して説明する。

まず、実物体と提示情報の関連付けのもっとも単純な方法として、磁気式などの位置センサを利用できる環境を用い、実物体に直接センサを取り付けることで実物体と提示情報を関連付けて配置する手法が提案されている[3]。この方法ではセンサによるトラッキングエリアに作業領域が限定される、提示情報に関連付けることができる実物体の数がセンサの数に限定されるという問題があり、実应用到適用するのは現実的ではない。

情報に関連付けられる実物体が環境に固定されている場合には、事前に準備した環境の地図上に提示情報を配置することで、実環境中の位置に対して提示情報に関連付けることができる[4][5]。この方法は十分現実的な手法となりうる。しかしながら、環境全体に対して一つの世界座標系を設定することになり、正確なユーザ位置追跡手法を用いての提示が必要となる。また、十分追跡精度が得られる場合でも、縮小率の大きい2次元の地図上で3次元のコンテンツを配置するためのインタフェースを検討する必要があると考えられる。著者らの研究グループが開発した実世界リンクビジュアルインタフェース開発キット[6]では歩行動作検出に基づくパーソナルポジショニングによりユーザ位置を計測し、拡張現実環境内で提示情報の再配置を直接行うことを可能にしている(図1)。

複数の種類を判別しやすいように設計された人工マーカを実物体に取り付け、コンピュータビジョンベースのマーカ認識手法を用いて提示情報と実物体の関連付けを行うシステムが提案されている[7][8][9]。これらのマーカを用いれば環境全体に対する座標系ではなく、マーカごとに座標系を設定して提示情報に関連付けることが可能になるため、実物体が環境に固定されていなくても関連付けの対象として利用できる。ま

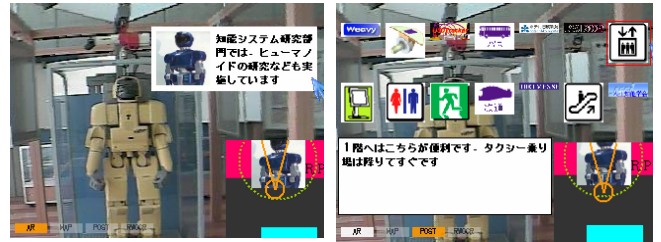


図1 実世界リンクビジュアルインタフェース開発キットでの注釈編集の様子

た、Tiles[10]のようにマーカ自身が操作の対象となる実物体として扱われるオーサリング手法も提案されている。Augment-able Reality[11]の環境ではマーカによる関連付けとビーコンを用いた位置による関連付けの両方が併用されている。これらの手法ではマーカを個体識別だけでなく、位置姿勢の計算にも用いることができるため、対象との相対位置姿勢を提示に必要とするような3次元仮想物体を含むコンテンツの提示にも適用可能であり、応用範囲が広いと考えられる。ただし、情報を提示している間、常に視野内に入るようにマーカを設置しなければならない。このため、例えば広い面積と複雑な操作パネルを有するような装置の操作支援を行う場合には、広視野をカバーしつつ作業の邪魔にならないように複数のマーカを配置しなければならない。環境側の設定に工夫を要するうえ、多数のマーカ間の正確なキャリブレーションが必要になる。

そこで、マーカを実物体に配置せずに自然特徴に基づく画像認識技術を用いて実物体を直接認識して提示情報との関連付けを行う手法が考えられる。DyPERS[12]はユーザが指定した特徴領域(例えば絵画)を記録し、そのときの視点カメラからの動画像(例えば美術館学芸員の説明)を記録して特徴領域に関連付ける機能を提供している。このように、実物体を直接認識する手法では認識に必要な実物体の外観情報をコンテンツ作成時に取得する必要がある。また、3次元仮想物体を提示情報として利用する場合には、実物体上の自然特徴を用いて実物体のモデルと入力映像をマッチングすることでカメラの位置姿勢を推定する手法を用いる。自然特徴に基づく位置姿勢推定手法ではモデルとして対象の形状情報を必要とするものが多く、これもコンテンツ作成時に取得しておく必要がある。

外観や形状といった実物体情報を適切に収集するには認識や追跡に用いられるアルゴリズムを十分理解しておく必要があるが、コンテンツオーサリングを担当するデザイナーが画像処理の専門家であるとは限らない。そこで、画像処理の専門知識を持たないデザイナーが実物体情報を適切に収集する助けとなるインタフェースを提供する必要がある。

次節では、対象と実物体の関連付け・位置姿勢推定に自然特徴を用いる複合現実感システムのコンテンツ向けに実物体情報収集を含むオーサリングを支援する「例示型インタフェース」を提案し、その実装例について述べる。

3. 例示型インタフェース

作業現場に直接出向いて情報取得を行う場合、着用型の情報機器の利用が有効であるが、低解像度のディスプレイや不安定な姿勢でのポインティングデバイスの使用が想定される。また、これまでに述べてきたように、画像ベースの認識・追跡機能を有する複合現実感システムのコンテンツを、画像処理の専門知識を持たないデザイナーが適切に情報収集を行えるように考慮しなければならない。本研究では着用型複合現実環境を用いたコンテンツオーサリングに関わるこれらの問題をインタフェースデザインによって軽減することを試みる。

まず、着用型情報機器を用いた操作に関する問題に対しては、正確なポインティングを要しない選択作業中心のインタフェースを設計することが望ましいと考えられる。複数の選択肢からの選択を促す際、作業履歴などの文脈からユーザの次の選択を予測して、次にユーザが選択する確率が高いと推定されるものから順に提示することでユーザの入力を省力化することができる。このように、履歴からの予測に基づく入力候補の提示によって入力の省力化を図るインタフェースは予測インタフェースと呼ばれる。

また、予測インタフェースのようにシステムが暗黙のうちにユーザ入力からユーザの意図を推論するのではなく、ユーザが明示的に入力例を示すことによってシステムに意図を伝えることを目的としたインタフェースは例示インタフェースと呼ばれる。どちらもユーザの入力に基づいた推論結果から意図を抽出して入力の省力化を図るという特徴があることから、総じて予測/例示インタフェースと称されている[2]。

一方、デザイナーの知識不足による問題は、システムの動作原理をデザイナーが理解していないために、システムが想定するモデル構築に必要な情報収集の手順が分からないことに起因すると考えられる。この問題を解決する方法として、文献[13]に見られるように、これまでのデザイナーの作業履歴から新しく取得すべき情報を推論し、その情報の収集手順を例示することで自然に適切な動きをとるようにデザイナーを導く方法が考えられる。

このように、ユーザからシステムへの意図伝達のための「例示」、及びシステム（もしくはシステム設計者）からユーザへの意図伝達のための「例示」を介したインタラクションループを作って円滑な作業を支援する

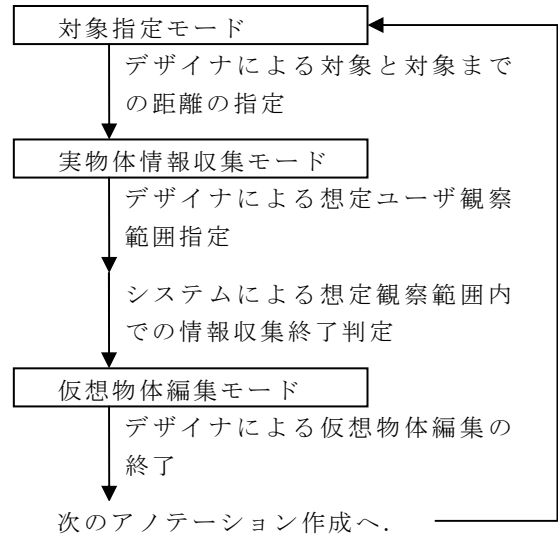


図 2 試作システムのモード遷移の概略

インタフェースを、我々は「例示型インタフェース」と定義する。

後述のプロトタイプシステムは、予測/例示による入力の省力化で円滑な作業の進行を支援することに加え、デザイナーがコンテンツ作成作業の流れを把握していない場合や次の操作に迷った場合にはシステムからも操作の具体例の例示による提案を用いて自然に次に行うべき作業を促す「例示型インタフェース」として設計されてものである。

3.1. プロトタイプシステム構成

複合現実感コンテンツオーサリングでの例示型インタフェース検討のために必要最小限の機能を実装したプロトタイプを作成した。プロトタイプはオーサリングに関連する3つのモード、1) 対象指定モード、2) 実物体情報収集モード、3) 仮想物体編集モード、から構成されている(図2参照)。

プロトタイプシステムはステレオビデオシーヌルーHMD(Canon VH2002)を接続したデスクトップPC上に実装された。実物体の認識・追跡には著者らが開発中の自然特徴点ベースの手法を用いた。この手法ではスケール普遍性を特徴とする Harris-Laplacian オペレータ[14]を特徴点検出に、高速で安定な手法としてよく知られる Lucas-Kanade トラック[15]を特徴点追跡に用いている。検出された特徴点の奥行きはステレオマッチングにより推定され、検出時のカメラ座標系での3次元座標が得られる。一旦複数点の3次元座標が計算されて以降はそのときの座標系でのカメラの相対移動を P3P 問題の解法と LMedS 推定を組み合わせた手法[16]で追跡する。追跡に失敗した場合の再認識には既知参照点と画面内特徴点周辺局所領域の Log-Polar 変換画像を用いて回転・スケール不変のマッ

チングを行う。

3.2. 例1:対象の指定

起動直後、システムは「対象指定モード」に入る。このモードは以降の情報取得の対象となる実物体とデザイナーの視点位置の位置関係の基準を定義することを目的とする。以下に示す処理手順の概略を図3に示す。

最初にシステムは想定されるユーザの観察位置から対象を観察して静止するよう例示によりデザイナーに指示を行う。このとき、奥行き方向の1次元のみ平行移動ができる「キャプチャ枠」をトラックボール入力により操作して対象までの距離を示すように促す。操作説明は画面右上の操作説明ウィンドウに表示される(図4参照)。

システムはデザイナーが対象を指定する間の各フレーム画像に対して、キャプチャ枠によって指定される3次元の領域内に対応する画像領域中で、新規特徴点の検出・前フレーム以前で検出された特徴点追跡・ステレオマッチングによる距離計算を行い、カメラ座標系での3次元座標を取得できる特徴点を獲得する。獲得された特徴点は図4のように十字マークで可視化して提示され、システムが現在実環境のどこに着目しているかを伝える。

また、これまでのフレームで検出された特徴点の追跡を行っているので毎フレーム間の相対視点移動を計算することができる。この視点移動量の履歴をもとに、システムはデザイナーが静止して注視しているかを推定して判断する。このときの視点と対象の相対移動量と、デザイナーが注視状態かどうかをシステムが推定するために用いる確信度もグラフ化してユーザに提示する。ユーザの動きがダイレクトにグラフに反映されるので、システムの推定メカニズムがどのように働いているかをデザイナーに伝えることができる。

視点移動の履歴などからキャプチャ枠内の実物体が情報収集対象であると判断したとき、システムは物体認識手法を用いて、データベース内にある作成中のコンテンツとのマッチングを試みる。マッチした度合いに応じた順位付けにより、過去に編集した実物体の再編集のためのモードへ移行するか新規物体の登録を行うためのモードへ移行するかを選択する。また、上位にランクされた実物体データが既に十分に収集されていれば、モード選択メニューの上位に仮想物体編集モードへの移行が表示される。

以上の処理をデザイナーの立場からみると、システムからの例示に従って、想定されるユーザの観察位置をシステムに例示してキャプチャ枠を対象に重ねてしばらく観察するだけで、次に必要な作業モードへと移行するように促されるといったインタフェースが実現されている。

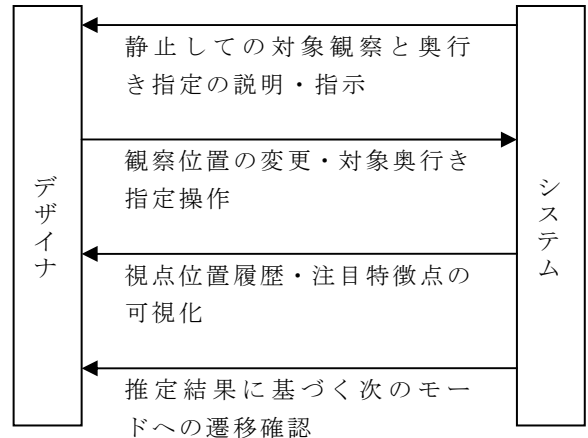


図3 対象指定モードでのインタラクション

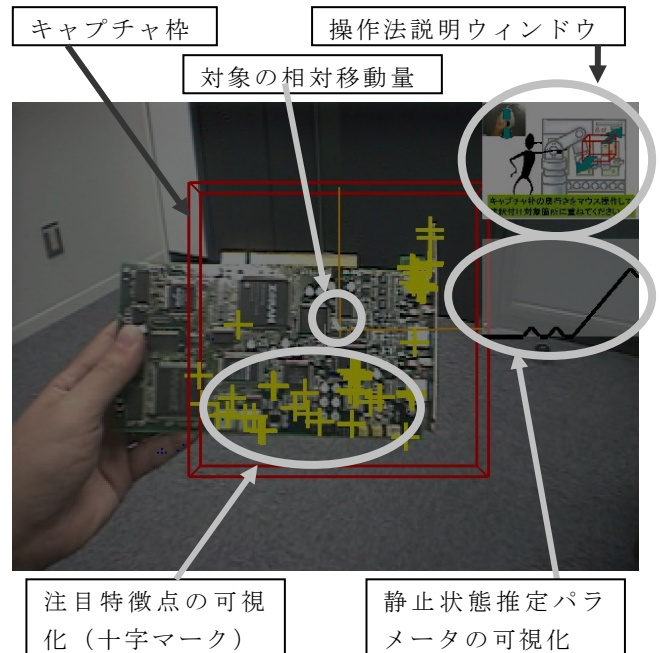


図4 対象指定モードの画面例

3.3. 例2:観察範囲の例示

収集した実物体情報が不十分であると、ユーザがコンテンツを観察する時に安定して対象を認識・追跡できない。どのような距離、方向からも作業対象を認識して相対位置姿勢を追跡できるのは理想的であるが、環境、追跡対象の形状、認識・追跡アルゴリズムの性能によっては全ての場所からコンテンツを観察できるようにサポートするためにはかなり高いコストを払う必要がある場合が考えられる。このため、想定されるユーザの観察範囲に適した量の情報取得が望ましい。しかし、ユーザの移動範囲と適切な実環境情報取得量の関係は対象形状の複雑さなどにも依存するため、観察範囲に適した量を判断するのが難しく、これもデザ

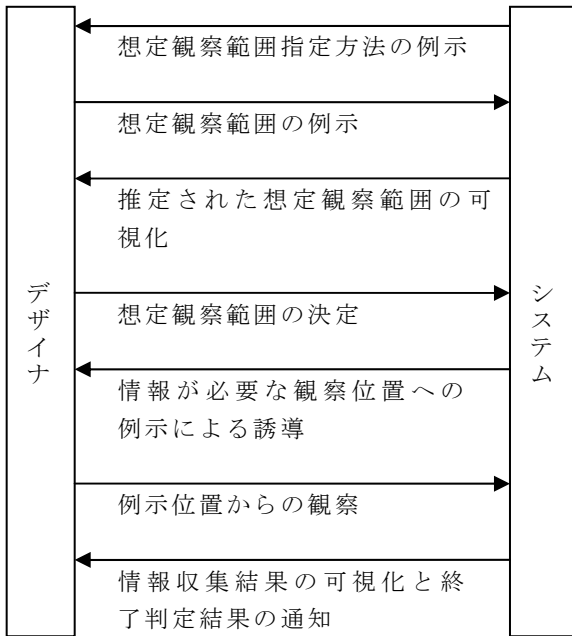


図 5 実物体情報収集モードでのインタラクション

イナにとって情報取得を困難にさせる原因となる。

そこで対象指定モードに続く実物体情報収集モードでは、「想定されるユーザの観察範囲」をデザイナーの視点移動による「動きの例示」でシステムに指定し、その範囲内での観察に必要な十分な情報を収集する。図 5 に処理の概略を示す。

システムはまず、想定されるユーザの観察範囲を実際にその範囲内で視点移動することにより例示するようにデザイナーに求める。この際にシステムは「比較的小さな物体を周りから観察する(outside-in)」と「比較的大きな環境を一箇所から見回すように観察する(inside-out)」という状況を見立てた例示をすることで、この二つの移動モデルを内部に持っていることを自然にユーザに提示する。

システムはユーザの視点を追跡し、視点軌跡の形状を基にした単純なマッチングで inside-out 型のコンテンツか outside-in 型のコンテンツかを判断する。また、同時に軌跡が移動した上下左右および奥行き方向の最大範囲を記録しておく。ユーザの動きが静止したと判断されたところで、例示が終了したと判断する。視点移動が検出されている間は、その時点までに「観察範囲」と判定されている領域を図 6 に示すように可視化することでユーザにシステムの内部状態を示す。観察範囲の例示が終了した時点で、範囲を決定する要素(対象に対する相対角範囲や距離範囲)の予測結果を CG で例示してデザイナーに推定範囲が妥当であるかの判断を選択させる。

範囲の例示が行われている間、システムはコンテンツ表示時と同じアルゴリズムで対象の追跡を試みると

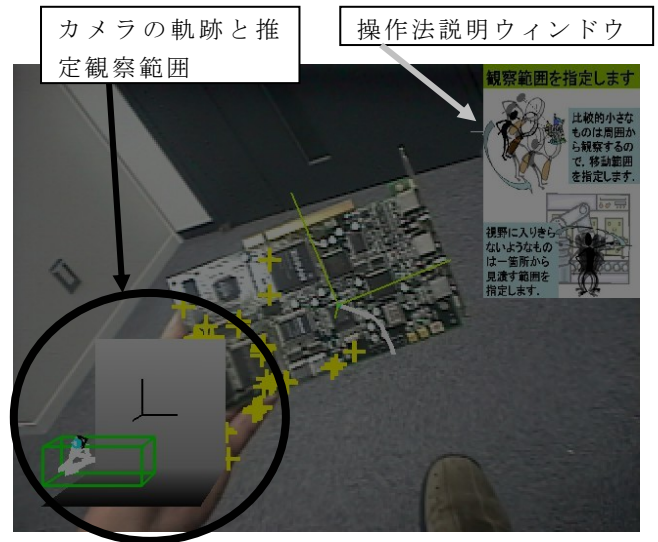


図 6 観察範囲指定中の画面例

同時に、必要に応じて実物体情報を収集する。追跡が成功している間はデザイナーの視点の軌跡を可視化して見せることでデザイナーが既にチェックした視点位置を自ら確認しやすくする。また、追跡に用いられる自然特徴の様子や信頼度などを随時可視化することで、自然に追跡が失敗しないようにデザイナーが視点移動するよう導く。それでも失敗した場合には、追跡に成功していた直前の視野画像を例示しながら、その位置にまで視点を戻すように指示することでシステムの再認識・追跡再開を助ける。また、範囲指定の終了後は実物体情報が記録された位置の履歴を元に、実物体情報が不足していると思われる位置へ視点を移動するように例示により誘導する。

以上の処理により、デザイナーの立場からみると、1) システムの推定結果を確認しながら想定観察範囲を例示入力により指定できる、2) 範囲指定を終了すると記録情報が不測している視点位置へ自然に誘導される、というインタフェースが実現される。

4. 考察

本研究で提案した複合現実感コンテンツオーサリングのための例示型インタフェースの特徴の一つに、ユーザからの入力として視点の移動、すなわち対象との相対位置姿勢の履歴が用いられる点が挙げられる。従来の予測/例示インタフェースで主に扱われた文字列編集や 2 次元のポインティングデバイスを用いた図形操作に比べて自由度が高い視点移動を予測/例示へ利用する点は複合現実感特有のもので、今後さらに積極的な利用方法の検討が必要であると考えられる。

また、本提案で主に対象としたのは提示情報と実物体の関連付けに関する部分のみであった。しかし、複合現実環境のコンテンツオーサリングでは、提示され

る仮想物体の編集は3次元空間内でのCG編集作業により実現される。基本的には、追跡機構が動作してからの編集となるため従来のCAD in VRシステムをそのまま適用することができるが、ここでもCGの配置・編集作業にユーザの作業履歴を用いる例示型インタフェースを利用することで入力省力化が可能になると考えられる。

本プロトタイプでは仮想物体の編集操作に2次元のポインティングデバイスを用いるため、仮想物体操作は物体表面の形状などに合わせた基準平面を作成して、その基準面上に拘束した操作を行う。この際、例えば、デザイナーが意図する基準面を構成する実物体表面上の画像特徴点を選択することによりシステムに例示をすることで、基準面を決定するようなインタフェースも実現可能である。また、ムービーなどの複数種類のメディアを扱うためのインタフェースや、状況に応じて進む時系列コンテンツのシナリオオーサリングなどの重要な課題が残されている。さらに、本提案では主に自然特徴点を用いた認識・追跡機構を持つ複合現実感システムで用いられるコンテンツのオーサリングを対象としているが、同様のインタフェースデザインは人工マーカベースの複合現実感システムにも適用が可能であると考えられる。

5. まとめ

本稿では着用型の複合現実環境による作業支援コンテンツの構築支援を目的とした複合現実オーサリング環境のための例示型インタフェースについて論じた。

(1) ユーザの視点移動を例示入力の一部とみなす、
(2) 観察対象との相対位置の移動軌跡など追跡機構の内部状態を可視化しユーザの理解を促進する、(3) 選択を中心としたインタフェースを提供することを特徴とするプロトタイプを試作した。

今後の課題としては、提案手法の有効性を被験者実験により検証すると共に、シナリオ作成まで含んだコンテンツオーサリングのための例示型インタフェース検討・システム実装などが挙げられる。

文 献

- [1] Weavy, <http://www.is.aist.go.jp/weavy/>
- [2] 増井俊之, “予測/例示インタフェースの研究動向”, コンピュータソフトウェア, Vol.14, No.3, pp.4-19, 1997.
- [3] S. Feiner, B. MacIntyre, M. Haupt, and E. Solomon, “Windows on the World: 2D Windows for 3D Augmented Reality,” In Proc. UIST’93, pp.74-81, Nov. 1993.
- [4] S. Fisher, “An Authoring Tool Kit for Mixed Reality Experiences”, *International Workshop on Entertainment Computing (IWEC2002): Special Session on Mixed Reality Entertainment* May 2002.
- [5] S. Güven, and S. Feiner, “Authoring 3D Hypermedia for Wearable Augmented and Virtual Reality,” In Proc. ISWC’03, pp.118-126, 2003.
- [6] 実世界リンクビジュアルインタフェース開発キット基本ソフト GUI サンプルプログラム操作説明書, メディアドライブ (株)
- [7] H. Kato, and M. Billinghurst, “Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System,” In Proc. of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, pp.85-94, 1999.
- [8] J. Rekimoto, “Matrix: A Realtime Object Identification and Registration Method for Augmented Reality,” In Proc. of APCHI’98, 1998
- [9] M. Fiala, “ARTag, a fiducial marker system using digital techniques,” In Proc. of CVPR2005, Vol. 2, pp. 590-596, June 2005.
- [10] I. Poupyrev, D. Tann, M. Billinghurst, H. Kato, H. Regenbrecht, and N. Tetsutani, “Tiles: A Mixed Reality Authoring Interface,” INTERACT2001.
- [11] J. Rekimoto, Y. Ayatsuka, K. Hayashi, “Augment-able Reality: Situated Communication through Physical and Digital Spaces,” Proc. the Second International Symposium on Wearable Computers, pp.68-75, 1998.
- [12] T. Jebara, B. Schiele, N. Oliver, and A. Pentland, “DyPERS: Dynamic Personal Enhanced Reality System,” In Proc. 1998 Image Understanding Workshop, pp.1043-1048, Nov. 1998.
- [13] 不殿健治, 佐藤智和, 横矢直和, “ハンドヘルドカメラを用いた撮影位置指示機能を有するインタラクティブ3次元モデリングシステム”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2005)講演論文集, pp. 243-250, July 2005.
- [14] K. Mikolajczyk and C. Schmid, “Indexing based on scale invariant interest points,” In Proc. of ICCV, pp.525-531, 2001.
- [15] Lucas, B.D. and Kanade, T., “An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision,” Proc. DARPA Image Understanding Workshop, pp.121-130, 1981.
- [16] Takashi Okuma, Takeshi Kurata, and Katsuhiko Sakae: “A Natural Feature-Based 3D Object Tracking Method for Wearable Augmented Reality,” In Proc. The 8th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control (AMC’04), pp.451-456, 2004.