

Ubiquitous 3D Drawingのための単一カメラ・ センサを用いた協調的3D位置検出アーキテク チャ UbiC3Dの提案

田野俊一[†] 裴秉哲[†] 岩田満^{††}
市野順子[†] 橋山智訓[†]

3次元空間の位置検出方法には磁気センサ、超音波センサ、カメラを用いる手法など多くの手法が提案されている。いずれも、環境内に多くのセンサ、カメラ類を設置することが求められている。そこで、単一のカメラとセンサを用いて、環境を撮影することにより、視覚特徴点の3Dマップを生成し、さらに、多くの参加者が作成したマップを協調的に統合し、共用するアーキテクチャ UbiC3Dを提案する。UbiC3Dによりどのような場所においても3D描画が可能となる。本論文では、基本方式を提案し、原理実験を行う。

Collaborative 3D Position Sensing Architecture by Single Camera and Sensors for Ubiquitous 3D Drawing - Ubiquitous and Collaborative 3D Position Sensing Architecture -

Shun'ichi Tano[†] Byongchol Pei[†] Mitsuru Iwata^{††}
Junko Ichino[†] and Tomonori Hashiyama[†]

Many 3D position detection methods using a magnetic sensor, an ultrasonic sensor, and a special camera have been proposed. Most of them require the specific equipments that must be installed in the environment. In this paper, we propose the new 3D position detection method called UbiC3D (Ubiquitous and Collaborative 3D position sensing) architecture that uses only the single camera with sensors. The preliminary experiment shows that UbiC3D architecture is feasible.

1. はじめに

情報技術の進展により様々なメディア形態の情報を入力、認識し、問題解決を行い、その結果を、様々なメディア形態の情報へ変換し出力することが可能となった。

我々は人間の知的・創造的・感性的活動を、高度なメディアの利用によって支援するシステムの研究を進めてきた。対象者は、デザイナー、ナレッジワーカー、医者、一般人、幼児、障害者など様々である。

本論文では、特に、人間の知的・創造的・感性的活動を支援するシステムにおいて、3D空間という新たなメディアを用いた場合に共通に現れる「3次元空間にメモ書きをする(3D Drawing)」の機能に焦点をしばり、新たな3D位置検出方式の提案を試みる。

まず、現状および背景から問題点をまとめ、我々の開発事例をもとに3D位置検出方式に対する要件をまとめる。

次に、その解決法として、「単一のカメラとセンサを用いて、環境を撮影することにより、視覚特徴点の3Dマップを生成し、さらに、多くの参加者が作成したマップを協調的に統合し、共用するUbiC3D (Ubiquitous and Collaborative 3D position sensing) アーキテクチャ」を提案する。

最後に実現可能性を示すために原理実験を行う。

2. 3D位置検出に関する従来研究

2.1 概要

3次元位置検出を利用する支援システムとして、3次元空間を利用するデザイン支援システムがある[3-8]。これらのシステムは概ね人間の手の動く範囲の3D位置の計測が可能であればよく、磁気センサ、超音波センサ、カメラなどが利用されている。

また、医療支援においても、医療情報を患部自体に表示するために、3D位置検出が必要となる[20, 21]。ここでも同様に磁気センサ、超音波センサ、カメラなどが用いられている。

これ以外にも、最も広領域の場合では、宇宙における3D位置検出である恒星の位置関係から算出するスターセンサや、地球規模の3D位置検出としてGPSがある。ミクロなレベルでは、レーザ測距を用いたシステム、光の特性を用いた高精度な検出方式など多くの方式が提案されている。

[†] 電気通信大学
The University of Electro-Communications
^{††} 東京都立産業技術高等専門学校
Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology

2.2 アプローチ

上記のように、3次元空間の位置検出方法には様々な手法が提案され実用化されている。

しかしながら、人間の知的・創造的・感性的活動を支援するシステムへ適用した場合、これら従来手法では不十分なことが多く、実用化の阻害要因になっている。

従来手法では、いずれも環境内に多くの磁気、超音波センサ、カメラ類を設置することが求められており、利用場所が限定されている。さらに、各方式固有の弱点があり、補完するためにさらに大規模な設備となってしまう。

結局、不完全な方式での試作となり、試作システムレベルでは成功し、実用化が期待されるものの、実用化のフェーズでは大きな課題として残ってしまう。

そこで、本論文では、特に、人間の知的・創造的・感性的活動を支援するシステムにおいて、「3次元空間にメモ書きをする(3D Drawing)」の機能に焦点を絞り、要件をまとめ、それを解決する新たな方式を設計する。

つまり、支援システムとしてある一定の範囲(3D Drawing)を定め、それらが要求する3D位置検出の要件をまとめ、実現するというアプローチである。逆に言えば、この一定の範囲に類する支援システムであれば、ここで提案する方式が実用レベルにおいても利用可能となる。

3. 問題意識の背景と3D位置検出に求められる要件

3.1 問題意識の背景にある我々の開発事例

本章では我々の3つのシステムを事例として示し、共通する要件を導く。事例として挙げた3つのシステムは、利用者の観点では、一般ユーザ、デザイナー、医師、活動範囲としては、広領域、限定された領域、など多様なシステムであるが、共通するのは、「3次元空間にメモ書きをする(3D Drawing)」である。

3.2 システム1：ユビキタスインフォーマル情報共有[9, 10]

インフォーマルコミュニケーション(本音の情報交換)を支援するため、実世界のいかなる時間・場所であっても(ユビキタスに)、ユーザが思いついたふとしたアイデアを、生起を誘発したコンテキストに対応づけて保存でき、それを他のユーザと共有できるシステムを構築した。

ユーザは図1に示すように、片眼シースルーHMD、カメラ、地磁気・温度センサ、ペンの3次元位置センサ(mimio)、GPSレシーバ、RFIDリーダなどを装着し、ふと思いついたアイデアを、周囲の状況である場所、もの、音、時間、方角などに対応させ残すことができる。この残されたメモはサーバに記憶され、同様な状況にいる他の

ユーザのHMDに表示される。

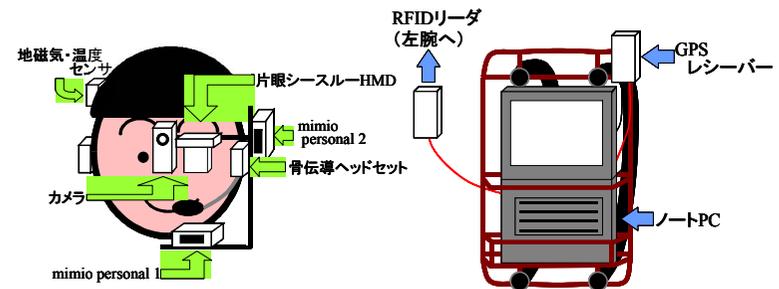


図1 システム構成

図2の左図が利用者のイメージであり、右図は典型的な利用シーンである。図2右図の場合「ここ長いから、うかいしよ→」は、あるユーザが、「この踏切のこの場所のこの方角でこの音(踏切音)が聞こえたコンテキスト」に対応させて残したメモである。他のユーザがこの場所を通り、踏切音が聞こえた場合、正しい3D位置関係で「ここ長いから、うかいしよ→」が表示され、「→」に従い、迂回路(線路横の脇道)に導かれることになる。



図2 実験風景

3.3 システム2：3Dスケッチシステム[11, 12]

システム2は3D形状のデザイン支援システムである。「実物大」+「実操作可能」スケッチが特徴である。デザイナーは目の前の空間に3Dスケッチを描画し、それがどのように動くかを指定し、そのスケッチを操作しながら使い勝手を評価し、再度スケッチを修正することができる。

図3に示すように、シースルーHMDと3次元位置検出装置から構成される単純なシステムで実現されている。図4にデザイナーがシースルーHMDを介して3Dスケッチ

をどのように観察できるかを示す。実世界の中にあたかも実物大スケッチが浮かんでいる様子が分かる。

本システムを用いて、コピー機などの新たな機器の設計や、既存の発電所のコントロールルーム更新設計などの既存の物体と連動した設計を目標としている。

想定される利用場所は、デザインルーム以外に、既存の設備が設置されている屋外、屋内も含まれる。多様な場面の空間に、その空間に対応させ描画し、描画結果を記録できる必要がある。

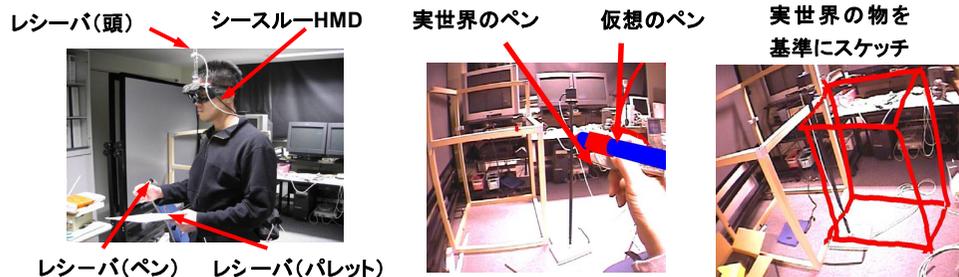


図 3 ハードウェア構成

図 4 デザイナーの見え方

3.4 システム 3 : 3D 医療診断システム[12, 13]

システム 3 は 3D 位置検出を用いた医療支援システムである。図 5 に示すように医師の頭部にシースルーHMD とカメラを装着し、医師の手元にある超音波プローブには視覚的なマーカーが貼付されている。図 6 に示すように、超音波プローブの先にある患部に、超音波エコー画像を 3D 画像として、重畳して提示することが可能である。

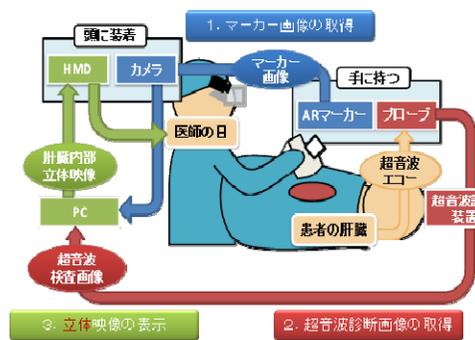


図 5 システム構成

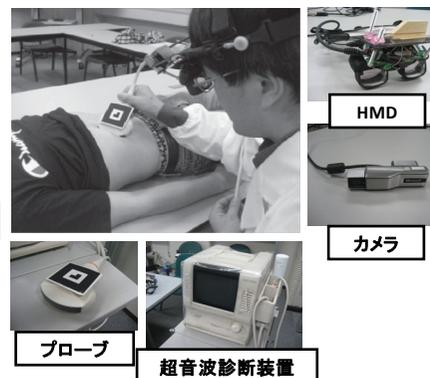


図 6 実験環境

次のフェーズとして、3D 表示された患部に治療箇所、方法に関するメモを直接描画し残すことが求められている。

3.5 要件のまとめ

システム 1, 2, 3 とも 3D 位置検出が問題となり実用化されていない。以下に個々の問題点をまとめる。

システム 1 の 3D 位置検出には、GPS を越えた位置精度 (メモを残せる場所指定の精度: 数十 cm, 方角, 高さ) およびメモ書きに対応するための mm オーダーの分解能が要求される。この精度での 3D 位置検出を様々な場面で提供できることが求められる。

システム 2 は現在実験室内で実現しており、コピー機程度の機器を設計できるが、より広領域 (数十メートル) や、既設の工場の屋内外などを対象に、メモ書きに対応するための mm オーダーの分解能が必要となる。

システム 3 は一対のカメラと視覚マーカーのみの組み合わせで実現されており単純であるが、医師の視点とプローブの相対の 3D 位置だけしか検出できない。治療に関するメモを患部に直接描画し保存するために、3D 位置検出の高度化が要望されている。

以上をまとめると、

- (1) 基本的には、地球規模の広領域への対応が必要であり (システム 1),
 - (2) 一般的な場所では、事前準備なく 3D 位置検出が可能であり (システム 1),
 - (3) 特殊な場所 (特定施設内外, 施術室内) では、利用者により 3D 位置計測のためのデータ追加が容易であり (システム 2, 3),
 - (4) 精度は、数ミリから数十センチ, 数十メートルなど、機能、場面に依り大きく変わり、それに対応できる (システム 1, 2, 3)
- の条件を有する 3D 位置検出法が望まれている。

4. 協調的 3D 位置検出アーキテクチャ UbiC3D の概要

4.1 基本方式: 単一カメラによる視覚特徴量の 3D マップ作成

基本的な方式としては、磁気や超音波やレーザなどの特別な信号ではなく、視覚的な信号を用いることとした。我々の目的はあくまでも人間の知的・創造的・感性的活動の支援であるので、本研究が目標とする 3D 位置検出方法が利用する環境では、人間の 3D 位置知覚が前提とする視覚的特徴に依存してもよいのではと考えた。視覚情報に依存する方式では、受動的なセンサのみで実現できるので、全世界に機器を設置する必要もなく、要件 (1), (2), (3) を満たす可能性がある。

さらに、近年、視覚情報だけを用いて、視覚特徴点の 3D の位置関係を計算する手法が提案され実用レベルに到達している。例えば、SLAM[1], PTAM[2]と呼ばれる方式では、リアルタイムにカメラ情報から視覚特徴点の 3D マップを生成できる。また、リアルタイムではないが、一般ユーザから提供されたローマの多くの写真からローマの写真的な再現、つまりどの視点からもローマを観察できる研究がある[15, 16]。実質的に写真から都市レベルでの特徴点マップを生成していることになる。

そこで、図 7 に示すように、単一カメラを移動しながら対象物を撮影することにより、そこに含まれる視覚特徴量の 3D マップを生成する方式を基本とすることにした[18, 19]。図 7 に示すように、一つのカメラを動かしながら家屋を撮影すると、色やコントラストが大きく変わる視覚的特徴量の 3D マップが生成される。

画像処理でよく知られた方式を用いれば、図 7 の変換は可能であり、複数枚の画像を用意すれば、対象の 3D マップとともに、カメラの移動軌跡も再計算できる[22]。前記の PTAM[2]はアルゴリズムの実装を工夫し、ノート PC に接続されたカメラ画像から、数百から千点程度の視覚的特徴量の 3D マップをノート PC でリアルタイムに生成するとともに、カメラ移動軌跡も同時に計算できる。

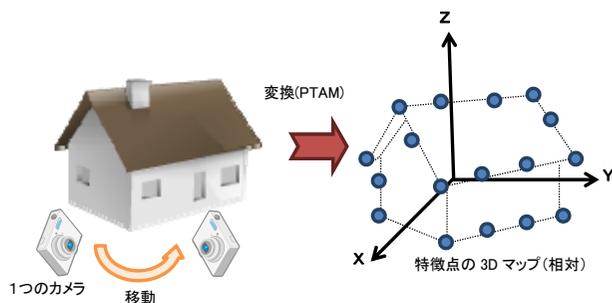


図 7 基本法方式：1 カメラからの 3D マップ作成

4.2 拡張 1：カメラ搭載の加速度センサ、ジャイロセンサなどによる絶対距離化

図 7 のように、1 つのカメラの情報から 3D マップが構成できるもののその値は相対値である。つまり、図 7 の右図には、長さの単位がなく、無次元の値である。

そこで、図 8 に示すように、カメラに加速度センサ、ジャイロセンサなどのセンサを装備して、実際のカメラの軌跡を長さの単位を有する形式で再構成する。

しかし、一般には、加速度センサ、ジャイロセンサ等のセンサーデータからの軌跡の再構成は非常に低い精度しか得られない。

この補完のために、画像情報で得られたカメラの相対的な軌跡と、センサ情報で得られたカメラの絶対軌跡を重ね合わせることにより、高精度な絶対値としての移動距離を算出する。つまり、カメラ画像からのカメラ移動軌跡には長さの単位はないもの

の軌跡の形状は正確に算出できるという性質があり、一方のセンサ情報は軌跡が不正確であるが、長さの情報を有する。相互に補完することで精度を上げる。

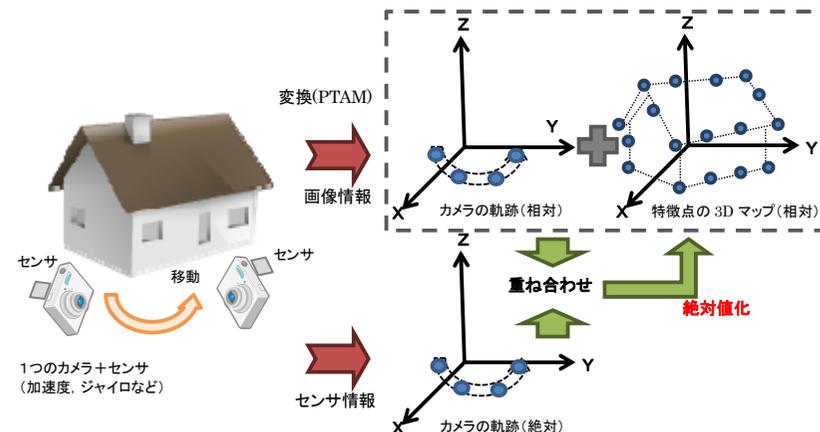


図 8 カメラ搭載のセンサによる絶対値化

4.3 拡張 2：協調的な視覚特徴 3D マップ構築（全世界対応）

全世界の 3D マップを一台のカメラのデータだけで作成するのは時間を要する。そこで、図 9 に示すように、多くのユーザが、それぞれの地点で部分ごとに撮影し、それぞれから 3D マップを生成し、統合し、地球規模の 3D マップを生成する。

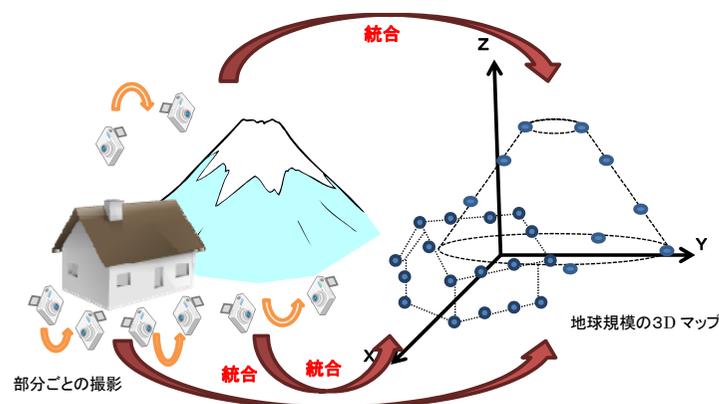


図 9 3D マップの統合

つまり、ユーザが協調して地球の様々な場所の 3D マップを作成しようという試みである。写真データをユーザから集めて都市や建築物の写真マップを作成するワシントン大の試み[15, 16]とは「協調」という観点では同じであるが、本システムでは、写真ではなく 3D マップを持ち寄る点、および、3D マップを統合し、それを用いて地球規模での 3D 位置検出に利用するという観点において大きく異なる。

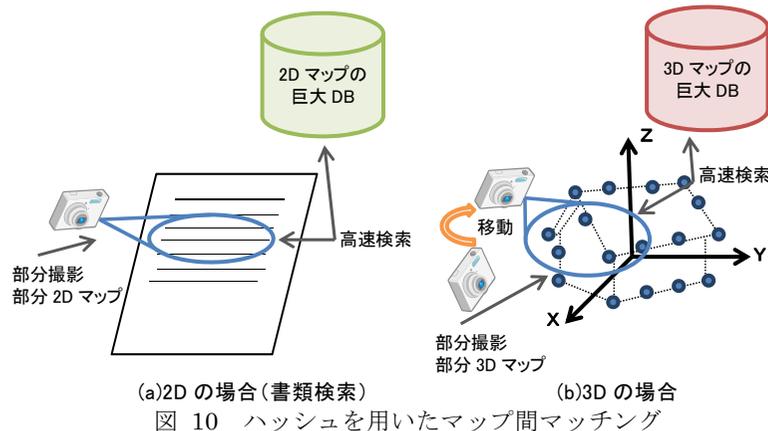
4.4 拡張 3 : ハッシュを用いた高速な 3D マップ間マッチング

図 9 に示す 3D マップの統合を実現するには、大きなハードルがある。つまり、部分データとして提供された 3D マップが、全世界の 3D マップのどこに接続するかが計算できなければならない。つまり、部分 3D マップと、全体 3D マップのマッチング問題である。

図 10(a)に示すように、現在、書籍の各頁の 2D の特徴マップの大規模な DB が構築されており、特定の書籍のある部分をカメラで撮影し、部分 2D マップが巨大 DB のどこにあるかは、ほぼリアルタイムで算出できるレベルにある[17]。

この方式と同様な手法により、3D マップ間マッチングの高速化が図れるのではないかと考えている。

本マッチング処理は、3D マップの統合にも用いられるが、3D 位置検出にも用いられる。つまり、後述する UbiC3D のマップ初期化において「この 3D マップが見える位置と方角」の計算の最初のステップでも用いられる（連続 3D 位置計算時には用いない）。



4.5 拡張 4 : 位置検出精度保証ゾーンと必要撮影方向の提示 UI

3D 位置の計測は、上記の処理で得られた特徴量の 3D マップ DB と、現在のカメラ

撮影で得られた特徴量マップをマッチングさせ、カメラ位置や撮影方向を計算することに対応する。例えば、図 11 に示すように、3D スケッチシステムに用いる場合、3D 位置計測を行う対象領域は 3D 描画想定領域であり、領域内部からカメラで周囲を撮影し、その時の部分 3D マップと、3D マップ DB とのマッチングを行い、それにより現在のカメラの 3D 位置を逆計算することになる。

そこで、カメラが撮影する方向に多くの特徴量が 3D マップ DB に登録されていない場合、十分な精度でカメラ位置を推定することができなくなる。

つまり、図 11 の「3D 描画想定領域」内部から全ての方角に一定の特徴点がないと安定した 3D 位置計測ができない。例えば A のように密な特徴点の方角は十分であるが、B や C は不十分であり、追加撮影し、3D マップ DB を補強する必要がある。

このように想定される 3D 位置計測エリア (3D 描画想定領域) と、必要精度から、DB 内に十分な特徴量があるかを判定し、不十分でない場合撮影指示を行う必要がある。

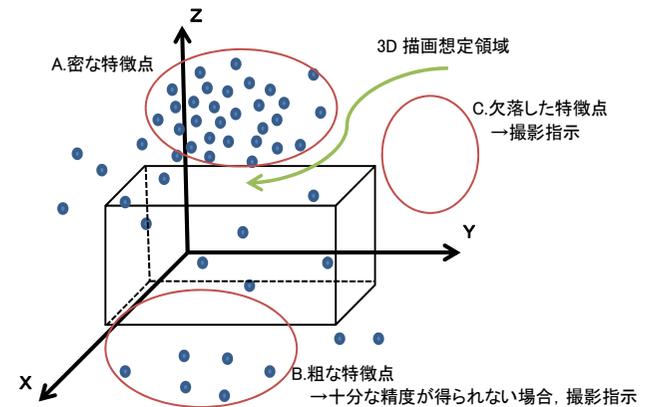


図 11 位置検出精度保証ゾーンと必要撮影方向の提示

4.6 拡張 5 : 不動特徴点・動特徴点・剛体特徴点・変形特徴点への対応

カメラで撮影した画像には、図 12 に示すように、位置不変な特徴量 (不動特徴点と呼ぶ) に加え、位置が変わる特徴量 (動特徴点) がある。動特徴点には、自由に変える物体に加え、動的特徴量の集合には、剛体のように相互位置を変えずに移動する場合 (剛体特徴点群) や、相互の位置のトポロジを保存し移動する場合 (変形特徴点群) がある。例えば、家屋や景色は不動特徴点を構成するが、付近を歩いている人間は動的特徴量になる。移動している人間が何か固定物体を持っていれば剛体特徴点群を構成し、手足の特徴点はある程度トポロジが保存されるので、変形特徴点群を構成する。

位置不変な不動特徴点は 3D 位置検出にとって重要であり、通常、動特徴点は 3D マップ DB より削除する必要がある。

しかし、剛体特徴点群の追跡は、例えば、システム 3 における超音波プローブ機器の追跡に対応し、また、変形特徴点群の追跡は、例えば、食道の病変へのメモ書きなどへの対応も可能となり、考慮する必要がある。

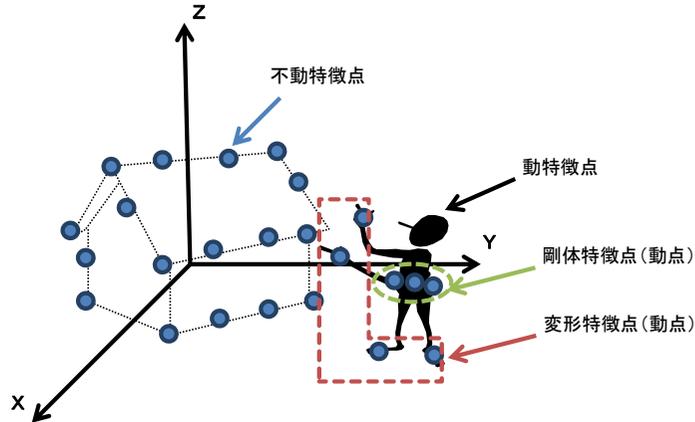


図 12 不動特徴点・動特徴点・剛体特徴点・変形特徴点

4.7 まとめ：協調的 3D 位置検出アーキテクチャ UbiC3D

以上を UbiC3D (Ubiquitous and Collaborative 3D position sensing)アーキテクチャとして図 13 に示す。3D 位置を計測する各地に存在するクライアント群 (ユビキタスクライアントと呼ぶ) の処理と、全地球 3D マップ DB を管理するサーバから構成される。

サーバ(Data Center)では、クライアントから送られてきた 3D マップを統合し全世界 3D マップを維持する処理と (処理 A)、クライアントからの 3D マップの提供依頼に応え、適切な部分 3D マップを提供する処理 (処理 B) を行う。

一方クライアントでは、通常は、マップの初期化を行い (処理 1)、サーバより得られた部分 3D マップ (オンサイト DB) を現在のカメラ画像から得られる特徴量とマッチングさせ 3D 位置の計算を行う (処理 2)。その場合、3D マップの十分性を検証し追加撮影位置を指示し (処理 3)、もとの全地球 3D マップ DB のアップデート処理依頼を行う (処理 4)。

通常であれば、サーバから得られる情報により現在の位置を再計算できるが、特殊な建物内の場合、クライアントだけで 3D マップを構成し、3D 位置計測が可能な構成となっており、その時得られた 3D マップをサーバにアップすれば、次回は撮影が

不要になる。

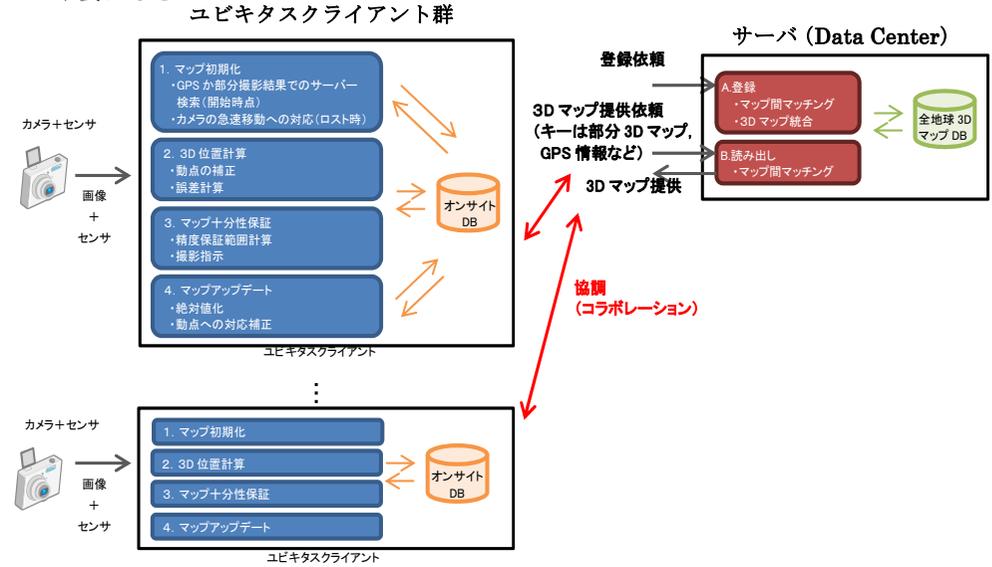


図 13 協調的 3D 位置検出アーキテクチャ UbiC3D

5. 原理実証実験

5.1 原理実験処理フロー [20]

前章で示した協調的 3D 位置検出アーキテクチャ UbiC3D の実現可能性を検証するために図 14 に示すフローの実験システムを構築した。

まず、リアルタイムで 3D 特徴マップが生成できるかを PTAM を用いて検証を行う。次に特徴点が多分であるかの判定について初歩的な検証実験を行い、その後、不足領域を指示し再撮影し特徴量マップに追加し、得られた 3D 特

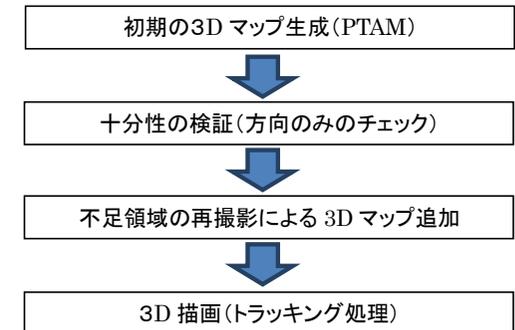
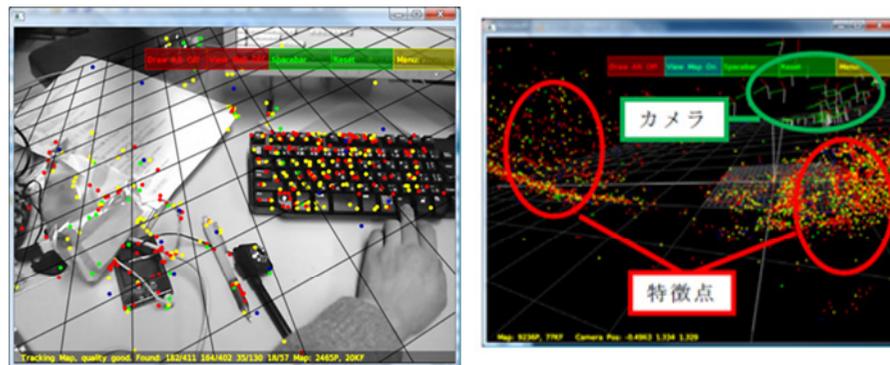


図 14 原理実験プロトの処理フロー

微量マップを用いて3次元空間に描画実験を行う。

5.2 PTAM[2]

図15(a)にPTAMを用いた場合の特徴点の例を示す。色や境界部分のエッジが特徴点となる。カメラを移動させることにより、図15(b)の特徴点の3Dマップがリアルタイムに生成されるとともに、撮影したカメラの位置も同じ3Dマップの座標系で得られる(図15(b)の右上部分)。PTAMは図14の最初と3番目の処理ブロックで用いられる。



(a)PTAMによる特徴点 (b)PTAMの3Dマップとカメラ位置
図15 PTAMの計算例

5.3 プロトタイプ

実証実験のプロトタイプは表1の構成である。実機を図16に示す。ペンに小型カメラを装着してある。つまり、図14の第1の処理では、ペンを描画範囲(机の上)の周囲の様々な方向に向け撮影する。この撮影データにより、この実験室の壁、天井、床や実験室に設置してある機器などの特徴点の3Dマップが生成される。第2の処理では、描画対象としている机の上部空間で常に3D位置検出をするために特徴量が十分かどうかチェックされ、不足がある場合は、追加撮影が必要となる方向が指示され、再度ペンを回して撮影する。最後には、ペンを用いて描画を行う。この場合、ペンに装着してあるカメラの映像により、ペンの3D位置が計算され、3D空間に描画できることになる。

表1 実験環境

OS	Windows vista
CPU	Intel® Core™2 6700 2.67GHz
Video	NVIDIA Quadro FX 540
Camera	Ponit Grey FL2-03S2C
HMD	島津製作所 シースルーHMD



図16 実験環境

5.4 実験結果：十分性の検証

図14の第4の処理は、図17のフローで行われる。まず、特徴点の分布を検定する。例えば、図18(a)のような特徴量の分布の場合、左と下部の部分の特徴量が不十分であり、この方向にカメラが向いた場合、3D位置がロス状態になる。そのため、ユーザにこの方向にカメラを向け、追加撮影することが指示される。

図18(b)は、特定の描画点を中心として、どの方向に特徴点が分布しているかを、半径1の球として表現したものである。この図を見ると、特定の2方向に特徴が集中しており、この方向にカメラが向いた場合、高精度で3D位置が計算でき、それ以外の部分では精度が落ちることが推定される。

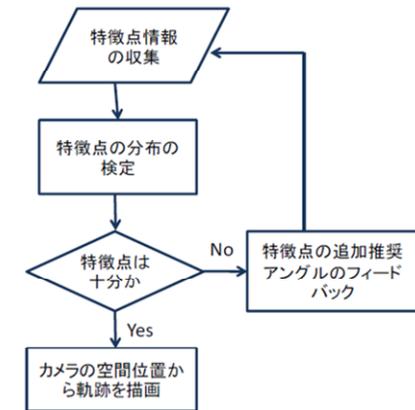
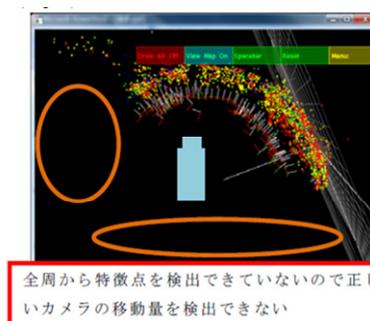
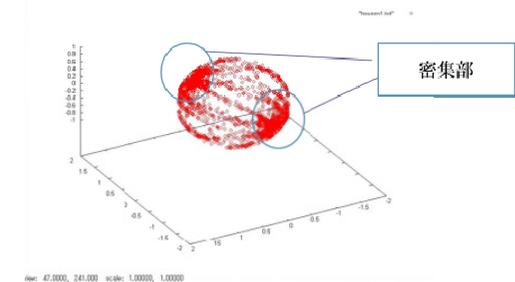


図17 特徴点マップの十分性検証と指示UIフロー



(a) 左・下部の特徴点が不足



(b)特定の座標から見た特徴点の方向分布

図18 特徴点マップの十分性の計算例

5.5 実験結果：描画結果

図 19 に図 14 の第 4 の処理である描画結果を示す。描画の状況を図 19(a) に示し、サイコロ状の立方体の描画結果を図 19(b)に示す。

原理実験であるので、3D 位置精度は悪いが、本方式が実現可能であることを示唆している。

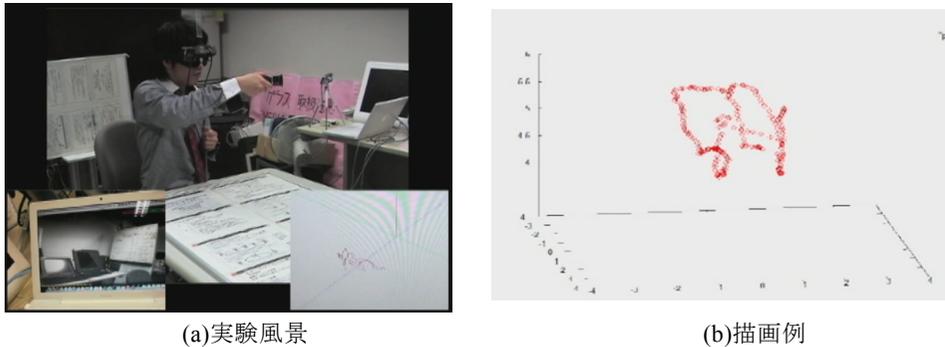


図 19 立方体の描画実験

6. まとめ

本論文では、特に、人間の知的・創造的・感性的活動を支援するシステムにおいて、3D 空間という新たなメディアを用いた場合に共通に現れる「3次元空間にメモ書きをする(3D Drawing)」の機能に焦点をしばり、新たな 3D 位置検出方式の提案を試みた。解決法として、「単一のカメラとセンサを用いて、環境を撮影することにより、視覚特徴点の 3D マップを生成し、さらに、多くの参加者が作成したマップを協調的に統合し、共用する UbiC3D (Ubiquitous and Collaborative 3D position sensing)アーキテクチャ」を提案した。

実証実験により実現可能性は示されたものの、3D マップの高速マッチング、精度保証、全地球 3D マップ DB の構造 (特徴点の見える範囲・精度記述法など) など、様々な課題があり、研究を進めていく。

参考文献

- 1) Andrew J. Davison: Real-Time Simultaneous Localisation and Mapping with a Single Camera, ICCV'03, pp.1-8 (2003)
- 2) Klein, G. and Murray, D.: Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces, In Proc. International Symposium on Mixed and Augmented Reality ISMAR (2007).
- 3) Wesche, G. and Seidel, H.-P.: Free Drawer: A Free-Form Sketching System on the Responsive

- Workbench, VRST'01, pp.167-174 (2001).
- 4) Schkolne, S., Pruett, M. and Schroder, C. P.: Surface Drawing: Creating Organic 3D Shapes with the Hand and Tangible Tools, CHI 2001, pp.261-268 (2001).
- 5) Wayne et al.: Interactive Augmented Reality Techniques for Construction at a Distance of 3D Geometry, Eurographics 2003, pp. 19-28 (2003).
- 6) Daniel et al.: A Fully Immersive 3D Artistic Medium and Interactive Experience, Proceedings 2001 ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, pp. 85-93 (2001).
- 7) Tovi et al.: Creating Principal 3D Curves with Digital Tape Drawing, CHI2002, pp.121-128 (2002).
- Perkunder, H., Israel, J. H. and Alexa, M.: Shape modeling with sketched feature lines in immersive 3D environments, In Proc. of SBIM 2010, pp. 127-134 (2010).
- 8) Tano, S., Takayama, T., Iwata, M. and Hashiyama, T.: Wearable Computer for Ubiquitous Informal Communication, Sixth International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing -IWSAWC 2006- (at 26th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems ICDCS), pp.1-8 (2006).
- 9) 高山達宏, 瑞慶山良哉, 田野俊一, 岩田満, 橋山智訓: 実世界コンテキスト・情報を用いたユビキタスインフォーマルコミュニケーションの実装と評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005, pp.955-958 (2005).
- 10) 山本伸也, 田野俊一, 岩田満, 橋山智訓: 3D スケッチによる実物大かつ操作可能なデザイン支援システムのインタフェース設計, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005, pp.287-290 (2005).
- 11) 田野俊一, 山本伸也, 岩田満, Muhd Dzulkhiflee, 市野順子, 橋山智訓: 一連の 3D スケッチシステム開発より得られた 3 つのデザイン原則「記憶容量、認知モード、実物大・実操作可能」、情報処理学会 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会 (2012).
- 12) Tano, S., Suzuki, K., Miki, K., Watanabe, N., Iwata, M., Hashiyama, T., Ichino, J. and Nakayama, K.: Simple Augmented Reality System for 3D Ultrasonic Image by See-through HMD and Single Camera and Marker Combination, Proceedings of the IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI 2012), pp.464-467 (2012).
- 13) 鈴木啓祐, 田野俊一, 市野順子, 橋山智訓, 三木健司, 岩田満: 一対のカメラとマーカーを用いた 3次元位置検出による術中超音波診断 AR システム, 映像情報メディア学会, Vol.65, No.9, pp.1321-1325 (2011).
- 14) Yasutaka Furukawa, Brian Curless, Steven M. Seitz, Richard Szeliski: Reconstructing Building Interiors from Images, ICCV 2009, pp. 80-87 (2009).
- 15) Sameer Agarwal, Noah Snavely, Ian Simon, Steven M. Seitz and Richard Szeliski: Building Rome in a Day, ICCV 2009, pp. 72-79 (2009).
- 16) 黄瀬 浩一, 岩村 雅一: 特徴点の高速照合とその文書画像検索への応用, 電子情報通信学会誌 94(8), pp. 735-740 (2011).
- 17) Pei, B., Tano, S., Hashiyama, T., Ichino, J. and Iwata, M.: Proposal of architecture for ubiquitous direct drawing in 3D real space using monocular camera, 12th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS 2011) (2011).
- 18) ペイビョン Chol, 田野俊一, 市野順子, 江崎朋人, 橋山智訓: PTAM を用いた空中描画システムのためのアルゴリズムの提案, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No.414(ITS),415(IE), pp. 239-244 (2010).
- 19) Das, M., Sauer, F., Schoepf, U.J., Khamene, A., Vogt, S.K., Schaller, S., Kikinis, R., vanSonnenberg, E. and Silverman, S.G.: Augmented Reality Visualization for CT-guided Interventions: System Description, Feasibility, and Initial Evaluation in an Abdominal Phantom, Radiology, pp.230-235 (2006)
- 20) Trevisan, D.G., Nedel, L.P., Macq, B. and Vanerdonck, J.: Detecting Interaction Variables in a Mixed Reality System for Maxillofacial-guided Surgery, SVR2006, pp.39-50 (2006)
- 21) デジタル画像処理, CG-ARTS 協会 (2006).