

鉗子先端の姿勢協調性が特に重要であることが明らかとなった。また、力覚帰還もしくは、組織に応じた鉗子の把持力制限を行わないと、組織損傷や、縫合糸の損傷を起こす危険度が増すことがわかった。

マイクロサージェリにおける有用性の検討では、ロボット手術では、通常の手技に比べて Learning Curve が短縮し、操作時間のばらつきが小さく、手技の安定性に優れていた。直視視野における顕微鏡下手術との比較のため、視野はほぼ同一、鉗子先端の自由度も同じであるため、両群の差は、振戦除去機能と Motion Scaling 機能というソフトウェア的に付加された機能によって生じたものと考えられた。鉗子の操作性に制限を受ける鏡視下手術と比較するとこの差はより大きくなると考えられた。

D. 考察

手術支援ロボットには、術中に機構のことを考えずにすむ、直感的な操作系が求められる。また、振戦除去や、ソフトウェアの付加により、微細操作などの特殊手技では、通常の手技を超える操作性を獲得することができる。このような機能はあらゆるマスタースレーブ機構を持つ医療ロボットシステムにとって必要な機能であると考えられた。

E. 結論

今年度、マスタースレーブ型手術ロボットの操作性に関する情報伝達系およびインターフェイスについて検討を行った結果、内視鏡ロボットのソフトウェアの要求仕様が明らかとなった。

G. 研究発表

【論文発表】

- 1) Hashizume M, Tsugawa K: Robotic Surgery and Cancer: the Present State, Problems and Future Vision. Jpn J Clin Oncol 34(5):227-337, 2004
- 2) 橋爪 誠: 手術支援ロボットの現状と未来. 日本ロボット学会誌 22(4):423-425,

2004

- 3) 橋爪 誠: 日本発手術ロボット開発の現状と未来:「臨床応用」. 第13回日本コンピュータ外科学会大会/第14回日本コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集 28 1-282, 200
- 4) 小西晃造、掛地吉弘、安永武史、家入里志、田上和夫、橋爪 誠: マイクロサージェリーにおけるロボット手術システムの有用性の検討. 第13回日本コンピュータ外科学会大会/第14回日本コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集 147-148, 2004

【学会発表】

1. Yasunaga T, Hashizume M, Kakeji Y, Kobayashi E, Tanoue K, Konishi K, Ieiri S, Kuga Y, Kawanaka H, Tomikawa M, Shimada M, Mehara Y, Dohi T, Sakuma I, Miyamoto S: Sixty endoscopic procedures assisted by remote-controlled laparoscope manipulator system, NaviotR, for endoscopic surgery. Computer Assisted Radiology and Surgery 18th International Congress and Exhibition. June 23-26, 2004, Chicago, USA
2. 橋爪 誠: 日本発“低侵襲手術”支援ロボット. 第 104 回日本外科学会定期学術集会. 2004 年 4 月 8 日、大阪
3. 橋爪 誠: 日本発手術ロボット開発の現状と未来:「臨床応用」. 第 13 回日本コンピュータ外科学会大会. 2004 年 12 月 11 日、東京 (シンポジウム)
4. 小西晃造、掛地吉弘、安永武史、家入里志、田上和夫、橋爪 誠: マイクロサージェリーにおけるロボット手術システムの有用性の検討. 第 13 回日本コンピュータ外科学会大会. 2004 年 12 月 12 日、東京

厚生労働科学研究費補助金（身体機能解析・補助・代替機器開発研究事業）
分担研究報告書

「患者・医療情報統合システムの構築」

分担研究者 館 暲 東京大学大学院情報理工学系研究科教授

研究要旨：

医療情報を患者に対し効果的に提示する手法として AR(Augmented Reality: 拡張現実感)技術を利用した「患者・医療情報統合システムの構築」を目指す。本年度は本システムの試験的実装として、再帰性投影技術を用いたデスクトップ型作業環境を実装し、机上作業を実現するための手法について研究開発を行った。

A. 研究目的

本研究ではバーチャルリアリティやオーグメンティド・リアリティ(Augmented Reality:拡張現実感)の技術を医療へ応用することで、より高度で直感的な視覚情報の提示環境を構築し、患者に対する医療情報画像提示技術の開発を目指す。本研究はオーグメンティド・リアリティやバーチャルリアリティの技術を利用した医用データの可視化をより高度かつ自然に行い、術部の情報（空間的・医療的）把握を精確かつ容易にならしめ、診断時やいわゆるインフォームド・コンセントにおける病状の説明・解説や医療の教育、医療情報の普及や啓蒙、医療過誤の防止など広い分野での応用を目指す。

医療情報を患者に提示するにあたって、体内の器官の部位など、特に3次元情報を直感的に提示するために、身体などの実世界情報にMRIなどで得られた情報を重畳表示し、より直感的でわかりやすい医療情報を提示することが本研究の最終目標である。この目標を実現するため、バーチャルリアリティの技術の中で、特に現実空間にバーチャルな情報を重畳表示する技術であ

る「オーグメンティド・リアリティ」を応用する。AR技術は、バーチャルな存在を提示することで現実世界での行動を補助することを目的としており、その特性上特に視覚に関する研究が多い。例えば手術の際に患者の皮膚をバーチャルに透明化する手法や、機械の利用に際して説明表示を実世界と重畳して提示する、などの応用が検討されている。本年度は特に、AR研究の中で前述の目標を達成するための視覚情報提示機構として再帰性投影技術(RPT:Retroreflective Projection Technology)を対象とし、RPTを前述の目的に応用するための要素技術の研究開発を目的とした。

本年度はRPTを「患者・医療情報統合システム」に応用するテストベッドとして、デスクトップ型のAR作業環境の構築について要素技術の研究開発を行った。

B. 研究方法

B-1 再帰性投影技術(RPT)の概略

本研究はそのキーとなる技術としてRPTを用いている。ARを実現する視覚ディスプレイとしてさまざまな手法が提案されてい

るが、その中に単純かつ確実性の高い手法として RPT (Retro-reflective Projection Technology:再帰性投影技術)がある。これは再帰性反射材とよばれる素材をスクリーンとして用いて物体を提示しようという技術である。本節では、まず RPT の概要を説明する。(なお、B-1 節は平成 16 年度報告書と同内容であるが、本報告書の理解のため再掲する。)

B-1-1 再帰性反射材の概略

再帰性反射材とは入射してきた光を、入射方向とほぼ同一の方向へ反射する素材である。(図 1)



図 1 再帰性反射

表面を微細なガラスビーズで覆い、ガラスビーズと外気の相対屈折率をほぼ 2:1 に保つことでこのような反射性能を実現している。(図 2)

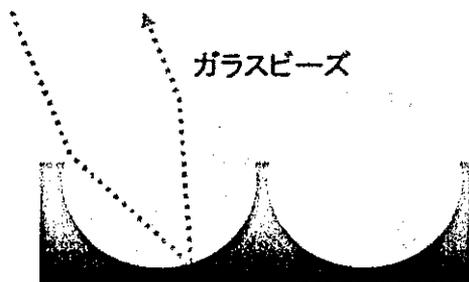


図 2 ビーズ式再帰性反射材

ビーズを使うものの他に微小なプリズムを用いる物もあり、反射輝度は高いが広角の反射において再帰性反射の能力がビーズのものに比較すると低い。また、ビーズの

ものは反射に際して偏光を保存するが、プリズムのものは内部で何回か反射が行われるために偏光を壊してしまう性質がある。再帰性反射材は本来工事や、交通関連の安全用品として販売、開発されていた物である。ビーズで覆う素材としても様々なものが研究されており、一番輝度が高いものは、アルミを蒸着したものである。しかし、それより反射性能は落ちるが様々な色の再帰性反射材が開発されており手軽に用途に応じて利用することができる。例えば、スクリーンに投影するという特性上にも投影していないスクリーンの反射輝度が RPT で表現できる最低の輝度であり、そのため輝度のダイナミックレンジ確保のためには特に黒色の再帰性反射材は有効である。なお、再帰性反射材は水など表面のビーズの構造を壊してしまうような物質が付着すると著しく反射性能が落ちてしまう。これを解決した製品としてはクローズドタイプやカプセルレンズタイプといった表面に保護膜をつけたものもある。これに対し従来のビーズが剥き出しの反射材をオープンタイプと呼ぶ。オープンタイプに比較すると、クローズドタイプやカプセルレンズタイプの反射輝度は落ちる。

B-1-2 RPT の原理

特性上、再帰性反射材は反射に関して非常に高い指向性を持つ素材となっている。RPT はこの特性を利用し、再帰性反射材を塗布あるいは貼り付けることにより任意形状の物体をスクリーンとして用い、プロジェクタにより提示物体を投影するというものである。再帰性反射材は光源と同方向に大部分の光が返ってくるので、ユーザはハ

ーフミラーによって作られたプロジェクタと光学的共役点にある地点から映像を観測することになる。非常に高輝度な映像が得られる為、たとえ日中であってもスクリーン上への投影・提示が可能である。(図3)

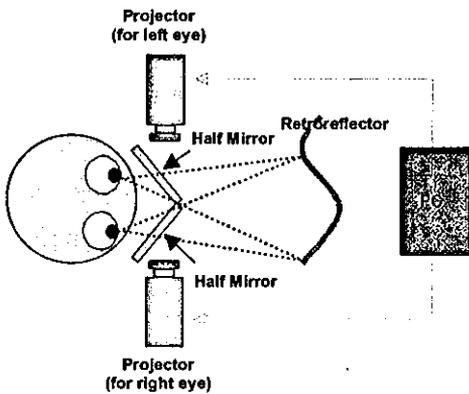


図3 RPTの構成図

このシステムの特長としては以下のような点が挙げられる。

- (1) 再帰性反射の特性上高輝度・高指向性であり、小型プロジェクタで日中でも映像を提示可能
- (2) スクリーン形状に起因する像の歪みが生じない
- (3) 大きな焦点深度を持ち、任意形状、任意位置のスクリーンに対し、広い範囲で結像可能
- (4) 再帰性反射材を塗布可能な任意の物体をスクリーンとして利用可能
- (5) 水晶体調節・相互遮蔽問題を解決可能

これらの特長に加え、さらに、それぞれの要素を融合することで、スクリーン輝度の距離依存性の減少(1)+(2)、手などの物体とスクリーン面との大きな輝度差による適切な遮蔽関係(1)+(3)、両眼像の空間的分離

による裸眼立体視(1)+(2)+(3)といったような単独では生まれ得ない効果も各要素を同時に満たすことにより、発生する。

B-2 デスクトップ型 AR 作業環境

本研究の「患者・医療情報統合システム」は患者への医療情報の提示において、ARの技術を用いて、トルソや人体などの実体に各種医療データを重ね合わせて提示することを目指す。また、医療訓練やインフォームド・コンセントにおける有効性を高めるため、提示された情報の「部位」を指し示すなどの「作業」が可能となることを目指す。そのため、本システム時は提示系のみではなく提示系と共存しつつ「作業」情報を取得する実体指向型の入力デバイスとしての機能を併せ持つ必要がある。

本研究では机上での「作業」を志向する際の必要な情報として指先位置の取得とAR映像の提示を同時に行う環境を「デスクトップ型 AR 作業環境」と定義し、その実装について論じる。

B-2-1 技術的課題

前節で概要を説明したデスクトップ型 AR 作業環境を実現するための技術課題としては、(1)3次元空間内への3Dバーチャル物体の矛盾なき提示技術(2)3Dバーチャル物体の提示すべき位置の検出(3)2次元ディスプレイにおけるマウスに相当するさまざまな机上作業を行いうるユーザインタフェースの実装、の3点が挙げられる。

第一の3Dバーチャル物体の提示手法については、ユーザと3Dバーチャル物体の相互作用を重視するデスクトップ型 AR 作業環境においては、必然的にユーザの手とバーチャル物体がお互いに遮蔽しあう状況

が頻繁に生じる。この問題の解決が必要であるが、遮蔽矛盾が起こりにくいという特性を持つ再帰性投影技術はデスクトップ型 AR 作業環境と非常に相性がよく、本研究では再帰性投影技術を採用する。

第二の 3D バーチャル物体の提示位置検出は表示したい物体に磁気センサのレーザーを置く手法や、物体に貼付したマーカーを画像認識してその位置に重畳する手法がある。磁気センサを用いる手法は計測範囲内に存在する金属に対して非常に弱く、またスクリーンやユーザの手指など、すべてのインタフェースにセンサを取り付ける必要があり、汎用的なデスクトップ型 AR 作業環境には適さないと考えられる。マーカーを利用する手法に関しては平成 16 年度に研究済みである。木島らは、ユーザの視点近くの赤外光源と赤外線ビデオカメラを用いて、物体を提示するスクリーンである再帰性反射材上での高輝度反射を撮影することで物体の提示位置を検出している。本研究では、原理としてこの手法を利用し、計測精度の向上を目指す。

第三のユーザインタフェースについては、PHANTOM やデータグローブなど、バーチャルな触覚の提示を行えるハードウェアを使用したり、指先やスタイラスなどの比較的単純な機構を画像認識したりしてポインティングデバイスとすることが多い。また、マーカー等を用いた手法は提示する実物体の位置取得には有効であるが、机上の作業を考えた際、検出の必要性が高い指先の位置取得には不向きである。本年度の研究においては、マーカー等を非装着で指先の位置を取得する手法について研究を行う。再帰性投影技術を用いた研究に関連した指先

位置検出の例としては、木島らの研究で、指が再帰性反射材スクリーン上にある場合、同軸光下では明瞭な指の影が生じることを用いて、指先位置の検出を確実にを行う事に成功している。本研究では、原理としてこの手法を利用し、計測精度の向上と、再帰性反射材外での位置取得を可能とする方法について研究を行う。

B-2-2 再帰性反射材の位置・姿勢計測

再帰性反射材の位置および姿勢は、赤外同軸照明の点灯下で得られた赤外線ビデオカメラ映像から推定する。今回用いた手法は、木島らによる研究で用いられたものをベースとしている。以下にその内容を詳説する。

ビデオカメラの視点位置を原点 O として、下方が z 軸正である座標系を考える(図 4)。

3D バーチャル物体を表示するスクリーンとして、形状が既知の長方形 $ABCD$ ($BC=DA=r_x$, $AB=CD=r_y$) である再帰性反射材を用いる。赤外同軸照明下で、ある位置・姿勢に置かれた再帰性反射材 $ABCD$ を撮影すると、再帰性反射材の実形状をビデオカメラの視点 O からビデオカメラの光軸に垂直な面(ここでは簡単のため机面とする)へ、点 O を中心として射影した映像が得られる。

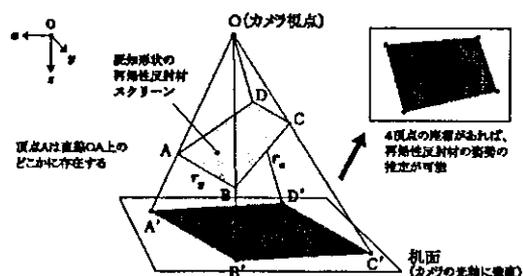


図 4 ビデオカメラで得られる

再帰性反射材の位置姿勢情報

この映像とビデオカメラの画角情報およびカメラと机面の距離情報を用いることで、机面上における再帰性反射材の正射影の各頂点座標 (A' , B' , C' , D') を求めることができる。ここで、実際の再帰性反射材の頂点 $ABCD$ は、それぞれ直線 OA' , OB' , OC' , OD' 上のどこかに存在することは明らかである。

ここからは、以上の条件を用いて、反復法で再帰性反射材の各頂点の位置を推測する。直線 OA' , OB' , OC' , OD' 上に仮の頂点 A_p , B_p , C_p , D_p を定め、各頂点の関係が再帰性反射材の形状と一致したときに反復を終了する。以下、反復計算の手法を示す。

- (1) まず、再帰性反射材の頂点 A の推定位置 A_p を机面上の点 A' にとる。
- (2) 隣の頂点 B の推定位置 B_p は、再帰性反射材の実形状パラメタより、直線 OB' 上に存在し、かつ A_p からの距離が r_y の点である。 B_p はある点 A_p を中心に半径 r_y の円を描いた時に、円と直線 OB' と交わる点と考えることもでき、条件によって 0, 1, もしくは 2 個求まる。
- (3) B_p が 1 つも求まらなかったときは、 A_p の推定が誤っていたと考え、 A_p の z 座標を一定値 Δz だけ減少させ、(2) に戻る。
- (4) B_p が 1 つ以上求まったら、2. と同様に頂点 D の推定位置 D_p も求める。 D_p が 1 つも求まらなかったときは、やはり A_p の推定が誤っていたと考え、 A_p の z 座標を一定値 Δz だけ減少させ、(2) に戻る。

- (5) B_p , D_p がどちらも 1 つ以上求まったときは、すべての B_p , D_p の組み合わせについて内積を求める。2.~5. の計算を反復し、内積の値が最も 0 に近い推定位置 A_p , B_p , D_p をそれぞれ A , B , D として反復計算を終了する。
- (6) 頂点 C については、すでに求まった頂点 A , B , D から計算する。

B-2-3 ユーザの指先位置・姿勢計測

机面上方の赤外線ビデオカメラで撮影された映像にはユーザの手指も映り込んでいる。したがって、適切な照明条件や画像処理方法を設定すればビデオカメラの画像からユーザの指先位置を検出することができる。

画像処理による指先位置検出は、EnhancedDesk に見られるような人体の発する赤外光を検出するものや、可視光で撮影された映像の肌色部分を切り出すものなど、様々な手法が既存の研究でも使われている。

再帰性投影技術を用いた研究に関連した指先位置検出の例としては、木島らの研究で、指が再帰性反射材スクリーン上にある場合、同軸光下では明瞭な指の影が生じることを用いて、指先位置の検出を確実に行う事に成功している。我々は、木島らの手法を改良して、指先が再帰性反射材スクリーン上にない場合においても確実な指先位置の認識を可能にすることを目指し、次に示す手法を考案した。

- (1) 指先が再帰性反射材スクリーン上にある場合
ビデオカメラ視点での映像で、指先が再

帰性反射材スクリーン上にある場合の指先検出は、木島らの研究に先例があり、我々もその手法を踏襲した。指先が再帰性反射材スクリーン上にあると、同軸照明下のビデオカメラ映像では再帰性反射材の高輝度反射内に明瞭な指先の影が落ちる（図5）。

実際にカメラで再帰性反射材上の指の影を撮影すると、図6右のような映像が得られ、PCによる画像処理および指先形状のパターンマッチングを経て指先位置の検出が行われる。

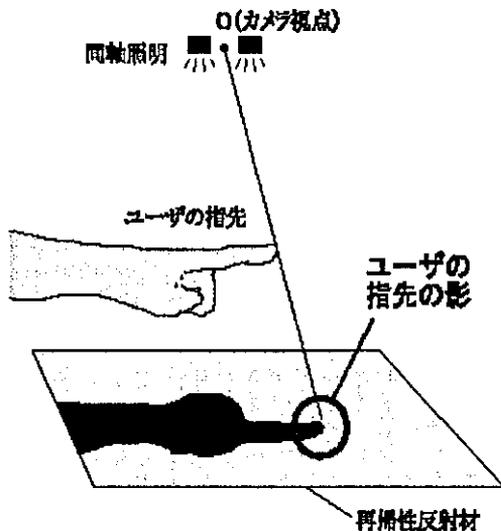


図5 再帰性反射材スクリーン上の指先の影の模式図

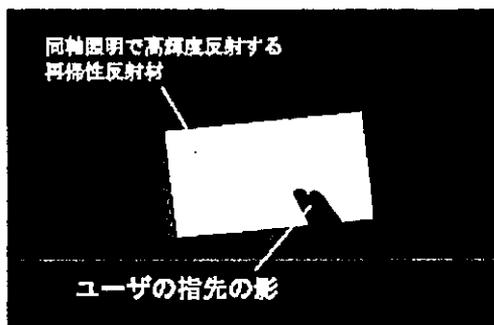


図6 同軸照明下で実際に撮影された指の影

(2) 指先が再帰性反射材スクリーン上にない場合

指先が再帰性反射材スクリーン上にない場合は、前項の手法を利用することができない。我々は、そのような場合でも指先検出を可能にするために、机面の下部にも赤外照明光源を設置することにした（以下、赤外下部照明または下部照明と称する）。

赤外下部照明は、机面を可能な限り一様に照明する、机面は2D映像をプロジェクションするために半透明なスクリーンが張られ、机面には可視光による2D映像と赤外光による一様照明が重畳した状態となる。下部照明が点灯しているときに机面の上部にユーザの指が存在すると、赤外線ビデオカメラで非常に明瞭な指の影を撮影することができる（図7）。

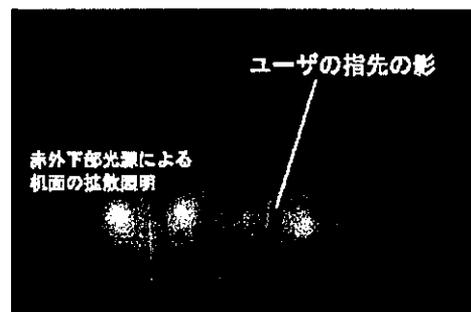


図7 下部照明下で実際に撮影された指の影

この手法を用いるためには、一つのカメラで2種類の照明条件（同軸照明、下部照明）の映像を得る必要がある。そのために照明の時分割制御を行う。照明の切り替えは、安定性の高さを重要視し、赤外線ビデオカメラのフィールド切り替え同期方式を選択した。

B-2-4 試作システムの構築

デスクトップ型 AR 作業環境の構成のう

同軸照明および下部照明には、三洋電機社製の赤外 LED「SLR-938CV-7K」を使用した。赤外 LED10 個および明るさ調節のための半可変抵抗を直列接続したものをユニットとし、同軸光源にはユニットを 1 個、下部光源にはユニットを 5 個並列に使用した。

(倫理面への配慮)

本年度における本研究は機械的・光学的な要素および理論的要素のみを扱い、研究対象者に対する人権擁護上の配慮、研究方法による研究対象者に対する不利益、危険性の排除や説明と理解（インフォームド・コンセント）に関わる状況、実験動物に対する動物愛護上の配慮などは行う必要がある実験等は一切扱っていない。

C. 研究結果

C-1 同軸照明-下部照明画像の分離

B-2-3 節で提唱した指先が再帰性反射材スクリーン上の内部にあっても外部にあっても指先の映像を取得できる機構として、本システムでは、半透明な机面の上方に赤外線ビデオカメラを固定し、ビデオカメラレンズの近傍に赤外同軸照明光源を、机面の下方に赤外下部照明光源を設置している。この 2 種類の照明に時分割制御を行うことで、両者の画像が分離できることを確認する。

ビデオカメラの NTSC コンポジットビデオ信号出力を照明制御回路に入力し、出力信号で赤外照明を制御させた。一方でビデオカメラの DV 出力を PC に入力し、C++ と DirectX で作成したビデオキャプチャソフトウェアで観測した。ビデオキャプチャ

ソフトウェアは、ビデオカメラで撮影されたソース映像をディスプレイに表示するとともに、ソース画像の ODD フィールドと EVEN フィールドを分離し(図 1 1)、各フィールドの映像も同時に表示する。

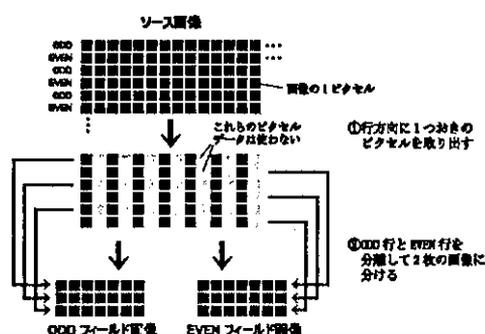


図 1 1 ソフトウェアによる ODD 画像・EVEN 画像の分離アルゴリズム

試作機を用いて、ディスプレイの各フィールドの分離映像を確認しながら PC 照明制御回路を調節した結果、2 フィールドの映像を高コントラストで分離することができた(図 1 2-1 4)。



図 1 2 取得されたビデオ映像の 1 フレームおよび一部を拡大した画像

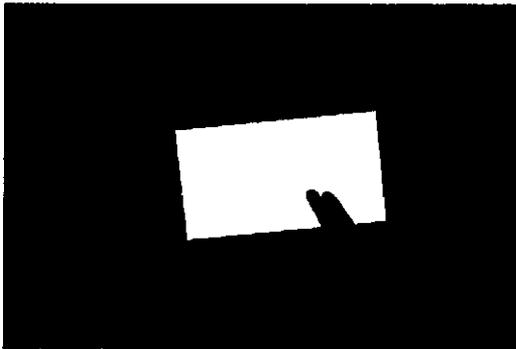


図 1 3 分離された同軸照明画像



図 1 4 分離された下方照明画像

C-2 再帰性反射材の位置・姿勢計測

B-2-2 節で示したアルゴリズムで再帰性反射材の位置・姿勢を推定するためには、再帰性反射材の角の座標を、机面に対してカメラのレンズ位置を中心に射影した 2 次元座標が必要となる。ここでは、得られた同軸照明画像から再帰性反射材の角の 2 次元座標を求めるために、次に示すような処理を行った。なお実装には OpenCV を用いた。

- (1) cvCvtColor 関数で 8 ビットフルカラーから 8 ビットグレースケールに変換する。
- (2) cvCanny 関数でエッジ抽出を行う。
- (3) cvHoughLines2 関数でハフ変換を行い、再帰性反射材の各辺の直線のパラメタを求める。
- (4) 求まった直線をパラメタによってグ

ループ化し、属する直線の多かった上位 4 グループを再帰性反射材スクリーンの辺とする。

- (5) 4 辺の交点を求め、再帰性反射材の角の座標を求める。
- (6) 新しく求まった座標を一つ前のフレームで求めた座標と比較し、頂点の対応付けを行う。
- (7) カメラの画角パラメタを用いて、画像内の座標系からワールド座標系へ座標変換する。

本試作システムを用いて、再帰性反射材の位置および姿勢を実際に検出した。前述のアルゴリズムに基づいて求めた、再帰性反射材の 4 頂点のうち 3 頂点の z 座標の推定結果を図 1 5 に示す。

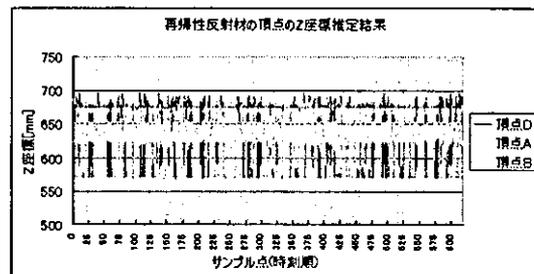


図 1 5 再帰性反射材の位置姿勢推定精度 (改善前)

どの頂点も真の値は 690[mm]である。ほぼ正確に z 座標が取れている頂点もあるが、100[mm]以上の振れ幅で 2 値間を動いている頂点もあり、推定精度に問題がある。そこで z 座標の推定計算を多重に行うようアルゴリズムを改良した結果、推定結果は図 1 6 に示すように大きく改善された。さらに時間方向のフィルタを掛けることで安定性が増すことも確認された。

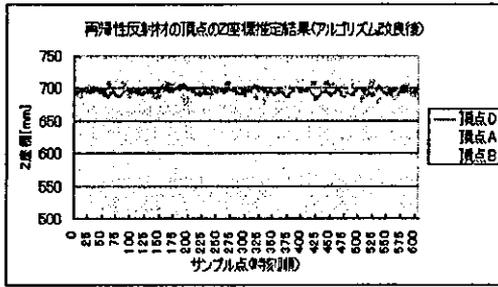


図 16 再帰性反射材の
位置姿勢推定精度 (改善後)

G-3 ユーザの指先位置・姿勢計測

B-2-3 節で説明したように、指先位置は同軸照明画像 (図 17) と下部照明画像 (図 20) のどちらかから検出される。指先位置を検出するために、両画像に対して次に示すような処理を行った。

- (1) cvCvtColor 関数で 8 ビットフルカラーから 8 ビットグレースケールに変換する。
- (2) cvCanny 関数でエッジ抽出を行う (同軸照明画像：図 18), 下部照明画像：図 21)。
- (3) (2)で得られた画像に対して、画像上方から指先の形状のビットパターンでスキャンし、指先の候補点を得る。
- (4) 同軸照明画像内に指先候補点が見つかった場合はそれを指先位置とする (図 19)。
- (5) 同軸照明画像内に指先候補点が見つからなかった場合は下部照明画像内の候補点を指先位置とする (図 22)。
- (6) 同軸照明画像、下部照明画像のどちらにも指先候補点が見つからなかった場合は、画面内に指先は存在しないと判断する。

実際に指先位置の検出を行ったところ、

指先が再帰性反射材上にある場合とない場合どちらにおいても指先位置を検出することが検証された。

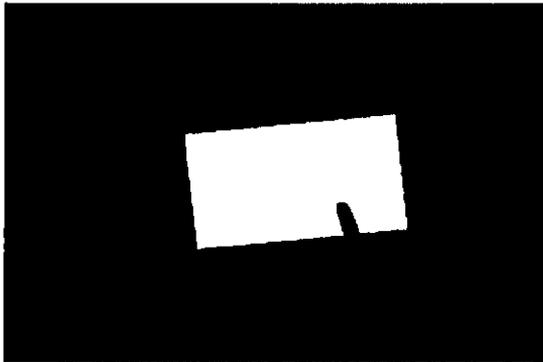


図17 同軸照明で再帰性反射材を撮影した画像（同軸照明画像）



図20 下部照明で再帰性反射材を撮影した画像（下部照明画像）

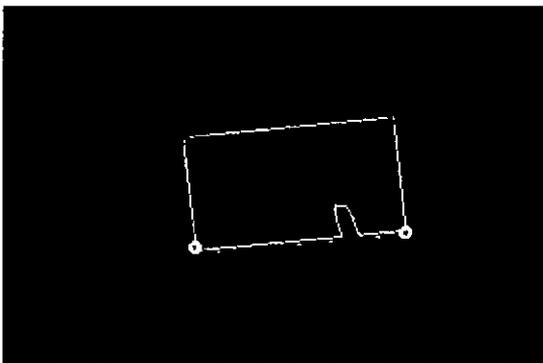


図18 同軸照明画像に対してエッジ抽出を行った画像

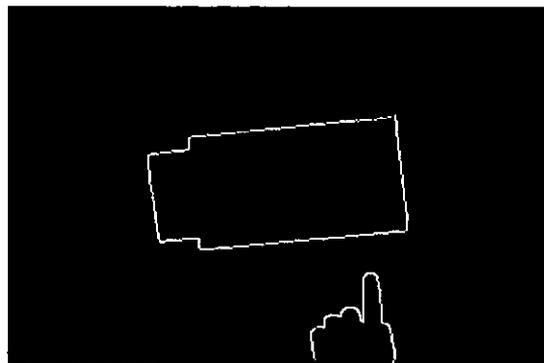


図21 下部照明画像に対してエッジ抽出を行った画像

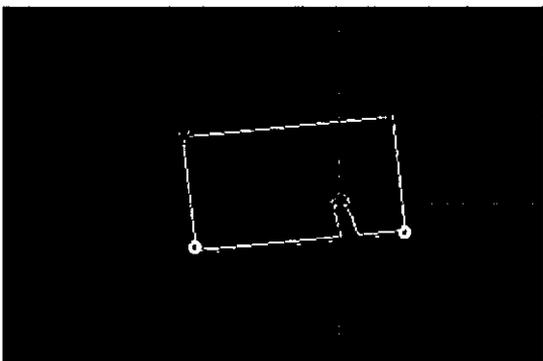


図19 図18に対して指先パターン検出を行った画像

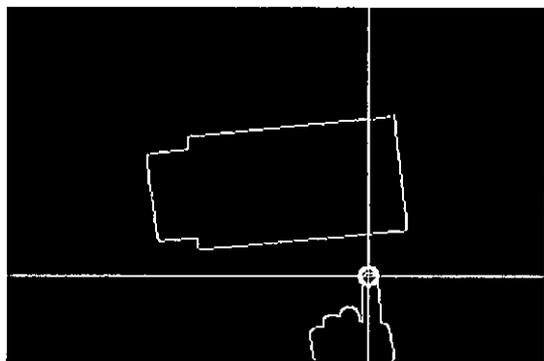


図22 図21に対して指先パターン検出を行った画像

D. 考察

D-1 同軸照明-下部照明画像の分離

本システムで用いる指先位置検出手法を用いるためには、一つのカメラで2種類の照明条件（同軸照明、下部照明）の映像を得る必要がある。そのために照明の時分割制御を行う。照明の切り替えは、赤外線ビデオカメラのフレーム切り替えもしくはフィールド切り替えと同期しなければならない（図23）。

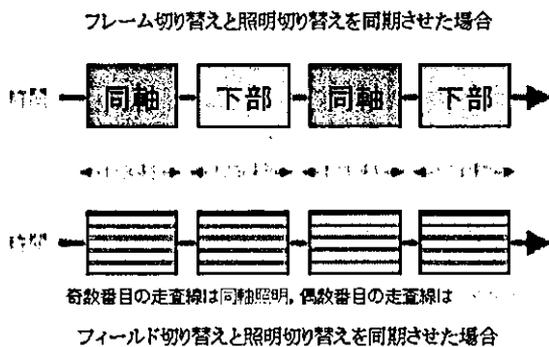


図23 フレーム切り替え同期とフィールド切り替え同期の違い

NTSC映像信号では、1/30秒ごとに1フレームの画像データが送られる。しかし実際には、最初の1/60秒にフレームの半分、奇数番目の走査線の画像が転送され、次の1/60秒に偶数番目の走査線の画像が転送される。この1/60秒ごとの半フレームの画像データをフィールドと呼び、1フレームは2フィールドで構成される。フレーム切り替え同期とフィールド切り替え同期の長所・短所は次の通りである。

- フレーム切り替え同期では、フレーム切り替えごとに同軸照明・下部照明が切り替わった画像が得られるので、NTSC出力されたビデオ映像をフレームに分解してそのまま使用することが

できる。しかし、フレームレートが通常の半分の15FPSに落ちる上、PCの画像処理段階でフレーム落ちが起こった場合、どちらかの照明条件の画像だけが連続して得られてしまう可能性がある。

- フィールド切り替え同期では、1フレーム内の奇数番目走査線・偶数番目走査線にそれぞれ同軸照明・下部照明の画像が分割され、組み合わせられた形で出力される。そのため、PCで画像処理を行う際にそれらを別々の画像に分解する必要がある。しかし、画像は30FPSで得られ、フレーム落ちが起きても安定して2種類の照明条件の映像を得る事ができる。

本システムでは以上の点を踏まえた上で安定性の高さを重要視し、フィールド切り替え同期方式を選択した。

D-2 再帰性反射材の位置・姿勢計測

再帰性反射材の位置姿勢を推定する場合に、誤差の要因となりうる主な点を次に列挙する。

- (1) 赤外線ビデオカメラでの撮影時、もしくはエッジ抽出に伴う2値化時に生じるピクセル量子化誤差
- (2) 再帰性反射材のエッジ画像のノイズに起因する、各辺のパラメータ推定誤差
- (3) 反復計算時の増分 Δz が十分に小さいことによる誤差

(1)のピクセル量子化誤差は、最大で画像処理に使用する画像1ピクセル分の大きさとなる。試作機では、画像処理に360ピクセル×240ピクセルの画像を使用している。

再帰性反射材が画面中央付近にあるとき、ピクセル量子化誤差は再帰性反射材が遠いほど強く効く。このため、再帰性反射材が机面に置かれているときに推測結果が受ける影響が、ピクセル量子化誤差の最大値だと言える。試作機に使用した赤外線ビデオカメラのに映る範囲は、机面（レンズからの距離 850mm）において横方向 630mm である。これが 360 ピクセルに相当するから、単純に計算すると画像の 1 ピクセルは机面での 1.75mm にあたる。再帰性反射材の一边の長さに 1 ピクセル分の誤差が乗ると、Z 軸方向の推定座標値に図 2 4 に示すような大きな誤差が生ずる。

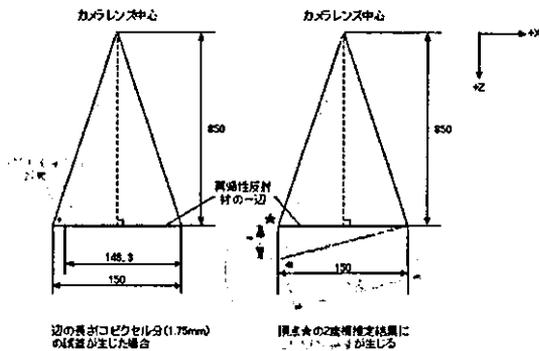


図 2 4 ピクセル量子化誤差の影響

仮に再帰性反射材の辺の長さを 150mm としたとき、1.75mm の誤差が乗ると、推定結果の頂点は x 軸の正方向（右向き）に 1.15mm、z 軸の正方向（下向き）に 13.4mm ずれる。

(2)のパラメタ推定誤差も、画像処理をする前の段階でピクセル単位のずれとして現れるため、誤差のオーダーは(1)と同様である。

(3)の反復計算時の差分 Δz に関して、示した頂点座標推定のアルゴリズムでは、一つの頂点の z 座標を Δz 刻みで変化させる。

このため、z 座標の精度は Δz のオーダーに依存する。

頂点座標推定実験の結果、真の値に近い値を安定して取得できる場合と、非常にばらつきの大きい値が得られてしまう場合があることが明らかになった。とくに頂点 A についてはばらつきの幅も 120mm 前後と大きく、値はほぼ 2 極化していた。このことから、頂点 A の z 座標値については、何らかの誤った解（ただし、机面に射影をすると真の解と非常に似ている）が存在し、誤差要因(1)や(2)の影響でどちらかの解がランダムに現れていると考えられる。

以下、誤った解を排除するための対策を挙げる。(1)現在は、頂点 C の座標を頂点 D、A、B の座標値から機械的に計算しているが、頂点 B、C、D についても頂点 D、A、B と同様のアルゴリズムで頂点推定を行い、解の自由度を減らす。(2)現在は OpenCV の Hough 関数を使用している再帰性反射材の辺の検出に、より適した手法を探す。(3)赤外線ビデオカメラの解像度を上げる、もしくは赤外線ビデオカメラを机面に近づけるかレンズをズームして、解像度を相対的に上げる。

これらの対策を総合的に行うことで、誤差のオーダーをピクセル量子化誤差のオーダー程度まで下げる、すなわち z 軸方向の誤差が 10mm~20mm 程度に抑えることが可能である。この値は、本システムの利用方法を考えると妥当な値ではある。究極的には誤差は 0 であるのが理想だが、それを実現するためには別の角度のビデオカメラを追加するなどの対策が必要になると考えられる。

E. 結論

RPTを「患者・医療情報統合システム」に応用するテストベッドとして、デスクトップ型のAR作業環境の構築における要素技術として(1)3次元空間内への3Dバーチャル物体の矛盾なき提示技術(2)3Dバーチャル物体の提示すべき位置の検出(3)2次元ディスプレイにおけるマウスに相当するさまざまな机上作業を行いうるユーザインタフェースの実装、の研究開発を行った。これらの機能を満たすシステムを構築し、要素技術の有効性の検証を行い、有効であることを確認した。

最終的に目標とするシステム実装の最大の技術的難関となる姿勢・位置の計測とレジストレーションに関して実装上の目処が立ったという意味で当初の目的は達成したことを確認できた。

G. 研究発表

- 論文発表
現在準備中
- 学会発表
再帰性投影技術を用いたデスクトップ型バーチャル作業環境の研究、第9回日本バーチャルリアリティ学会大会、pp.129-132,2004.9

H. 知的財産権の出願・登録状況

- 特許取得
着座式画像表示装置（予定）
- 実用新案登録
なし
- その他
なし

臨床医療用 3 次元画像描出法の開発

分担研究者 北村 喜文 大阪大学大学院情報科学研究科 助教授

研究要旨 臨床医療の現場での 3 次元画像を用いた診断や分析の精度の向上と手術計画立案などの効率化を目指し、3 次元画像の高精度な提示方法とそれを要領よくハンドリングするためのインタフェースに関する研究を進める。

A. 研究目的

平成 16 年度は、医療用の多人数共有型立体ディスプレイを試作するのが研究の目的である。つまり、医療の現場での 3 次元画像を用いた診断や分析の精度の向上と手術計画立案などの効率化を図るためのディスプレイ装置を、これまでに研究分担者が研究を進めてきた一般的な多人数共有型立体ディスプレイを元にして試作する。

B. 研究方法

本年度は、複数人が同時に高精細の 3 次元画像を観察できる多人数共有型立体ディスプレイ IllusionHole と、3 次元画像を効率よく表示のためのソフトウェアの設計と試作を進める。

（倫理面への配慮）

本研究はディスプレイ装置の試作であるため、倫理面の問題は特に生じない。また、図 3 などで表示している画像データは、当研究グループのメンバから承諾を得て計測したものである。

C. 研究結果

外科を中心とする手術や治療・診断の現場でボリュームデータは頻繁に利用されているが、複数の医師または支援者に対して立体画像を適切に表示することができる、意思決定の効果的な支援に繋げることができる。また、手術計画やシミュレーションも、現場状況に即した臨場感の高いものになる。実際、最近では、手術室に MRI などのイメージング機材を設置する例も増えてきており、術中に CT やオープン MRI でボリュームスキャンを行い、術中の患

部の状況をリアルタイムにモニタリングできるようになってきているが、手術台の傍らで術者と手術支援者が実際に執刀する際と同じ立ち位置関係でこれらの立体画像を観察することができれば、医師にとっても患者にとっても有意義であろう。そこで、このような状況での利用も想定して、多人数共有型立体表示装置を設計し、試作した。

表示装置本体

試作した多人数共有型立体ディスプレイ本体の概観を図 1 に示す。Barco 社製の DLP プロジェクタ GALAXY（光出力 5,000ANSI ルーメン、解像度 1,280×1,024pixel）を水平横向きに配置し、45 度の角度で設置された平面ミラーで垂直上方へ反射させ、



図 1：試作した多人数共有型立体画像表示装置の概観。

水平に設置したディスプレイ面に投影する。ディスプレイ面の大きさは70inch (1,388mm×1,110mm)、ディスプレイ面の床面からの高さは1,140mmとする。設計にあたり、3~4名がディスプレイ周囲からマスクホールを中心位置に表示された立体像を覗き込むという環境を想定する。マスクホールは、半径200mmの円とするが、部品を交換することで、半径約230mm程度以下の任意の大きさと形状のマスクホールを利用できる。ディスプレイとマスクの間の距離は、200mmとする。

ハードウェアシステム構成

3次元モーショントラッカ (Intersense 社製 IS-600 Mk2) で計測した各利用者の視点位置に応じて左右それぞれの眼の位置を計算し、それに基づいて各利用者の各眼の描画領域の中心と半径を導出する。そして、各描画領域に対応した画像をPC (CPU: Xeon2.8GHz, メモリ: 1GB, グラフィックスカード: NVIDIA Quadro FX 4000) で生成する。これにより、PC内部には各利用者の右眼と左眼に対応した全ての画像が生成される。そして、左右両眼用の画像を各バッファにそれぞれ描画し、グラフィックスボードのクワッドバッファリング機能を利用してそれぞれのバッファを交互に出力する。これにより、PCの描画更新速度に関わらず、ディスプレイ面では表示周波数の1/2で左右の画像を時分割表示することができる。各利用者は液晶シャッタ眼鏡 (Stereographics 社製 CrystalEyes3) をかけ、マスクホールを通してそれぞれに対応した立体視画像を観察する。すべてのシャッタ眼鏡は赤外線エミッタから発信される同期信号によって同一のタイミングで開閉する。この同期信号を出力バッファの切り替えタイミングと一致させることにより、利用者は左右それぞれの視点に適切に対応した画像のみを得ることができ、3次元画像として知覚することができる。

今回試作したシステムでは、多人数共有型立体ディスプレイは複数の医師等がボリュームデータの立体像を共有する協調作業環境として利用し、PCモニタはその協調作業を補助する作業環境として利用できるような状況を想定して構成している。PCモニタ

では、あらかじめ固定した視点位置に対応するボリュームレンダリング画像を表示し、ボリュームレンダリング画像と、画像解析操作の選択や詳細設定などに対応する複数のボタンを配置したビューアを表示する。PCモニタ上での操作はマウスとキーボードの利用を想定し、これらの入力はいずれの表示装置のボリュームレンダリング画像に等しく反映される。一方、今回は、多人数共有型立体ディスプレイ上でのインタラクションデバイスとしてコントローラを使用する。

描画ソフトウェア

多人数共有型立体表示装置にボリュームレンダリングの結果をリアルタイムに表示するためには、効率的な描画ソフトウェアを構成する必要がある。そのため、ボリュームデータを可視化するボリュームレンダリングソフトウェアと、人数分の立体画像を適切に表示する IllusionHole ソフトウェアが並列に処理を進めるようにする。メモリに書き込むデータには更新の有無を示すフラグを付加し、データが更新された場合のみそれぞれに対応する処理を行うことで、不要な処理を排除している。

リアルタイムに透視投影画像を生成可能なボリュームレンダリングソフトウェアとして、AZE 社製 VirtualPlace を利用する。全ての利用者の左右視点位置とインタラクションデバイスによる入力操作に関する情報が入力されると、各入力データを反映させたボリュームレンダリング画像をそれぞれ生成し、これらをメモリへ書き込む。同時に、PCモニタ用のボリュームレンダリング画像をPCモニタに出力する。一方の IllusionHole ソフトウェアでは、全ての利用者の左右視点位置とインタラクションデバイスによる入力操作に関する情報が入力されると、これらの入力データを反映して生成したボリュームレンダリング画像をメモリを参照して取得し、それらの画像を各利用者の左右の視点位置に応じて適切に立体視を行えるように配置し、IllusionHole へ出力する。

インタフェース

多人数共有型立体ディスプレイを囲む複数の利用者は表示されている立体画像に対してある程度限

定された処理を行い、その他の込み入った処理については別途の協力者が行うような、機能分離型の協調作業環境を構築するためのインタフェースを試作する。具体的には、本試作システムでは、表示装置として IllusionHole と PC モニタの 2 つを利用するが、IllusionHole 上で複数の医師等が立体像を共有して協調作業を行い、PC モニタ上でオペレータが協調作業の補助的な作業を行うことを想定し、各表示装置に適したインタフェースを試作する。

IllusionHole では、立体像表示領域の周りに遮るものがないため、立体像を直接手で指示することが可能である。また、どの利用者から見ても立体像の絶対位置は一致するという特徴がある。そこで、3次元の入力が可能で、利用者の指示動作を認識しやすいインタラクションデバイスを用いる。ただし、3次元入力は直感的であるものの、詳細な操作が困難な場合もあるため、利用者の手元のボタンなどを併用して詳細に操作する必要もある。そこで試作システムでは、6 自由度位置トラッカを取り付けたスティックタイプのコントローラを利用し、3 次元入力と詳細な操作を可能にする。本年度は、図 2 に示すクリッピング、カッティング、不透明度調整と傾き

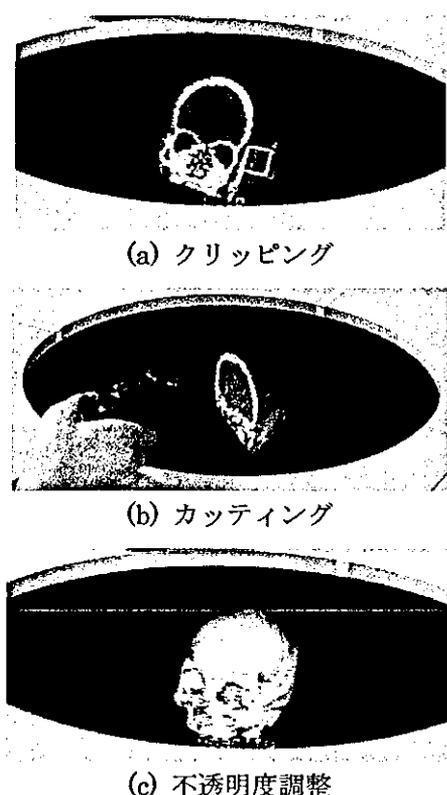


図 2: 表示したボリュームに対する多人数共有型立体ディスプレイ IllusionHole 上のインタフェース。

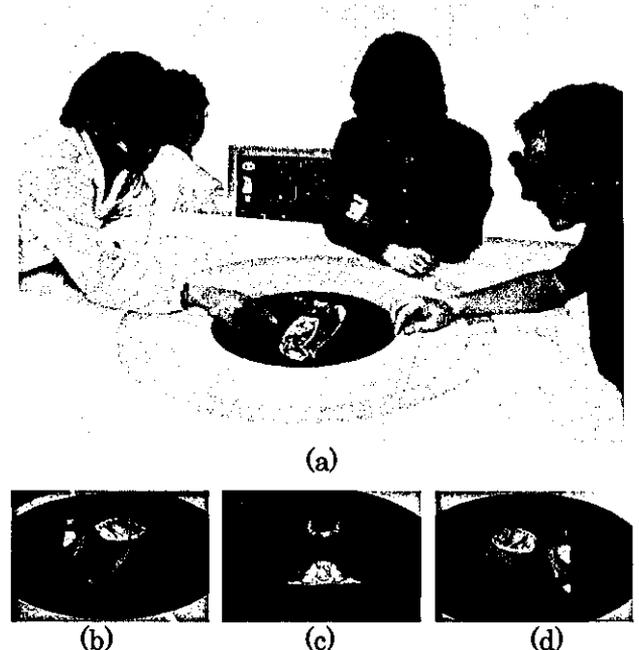


図 3: 多人数共有型立体ディスプレイ IllusionHole にボリュームデータを表示し利用している様子。

調整の機能を試作した。図 3 に、多人数共有型立体ディスプレイ IllusionHole にボリュームデータを表示し、利用している様子を示す。同図(b)(c)(d)は、図(a)における 3 人の利用者の各視点から見た像である。

D. 考察

IllusionHole では、理論上全ての利用者に対して立体像が同一の場所に結像するが、実際の立体像の結像位置には種々の要因により誤差が生じる場合がある。利用者の瞳孔間距離には個人差があるが、仮に、65.7mm という一定値を用いて視差画像を生成した場合、日本人 20 歳代男性の眼間距離のばらつきを考慮すると、結像位置付近での奥行き方向の誤差は最大 13mm 程度になる。これ以下の位置精度が要求される場合には、各利用者の瞳孔間距離をあらかじめ測定し、その値を用いて視差画像を生成する。各利用者の瞳孔間距離を正しく反映できている場合には、システムの空間誤差は、ディスプレイの解像度とトラッカの計測位置精度に起因する。前者は、 $1,280 \times 1,024$ の解像度の表示の場合、奥行き方向の量子化誤差として最大 10.5mm となる。後者については、本試作システムで利用した 3 次元モーショントラッカ (Intersense 社製 IS-600 Mk2) の公表値から算出すると、奥行き方向で 2mm である。

E. 結論

本試作システムは、医師同士のコンファレンスなど、複数人による共通理解が必要とされる場で有効に利用できそうである。術中に形状があまり変化しない臓器を扱う場合は、術前に撮影したボリュームデータの立体像を IllusionHole 上に表示し、術中に参照しながら手術を進めることもある程度は可能であろう。手術室に MRI などのイメージング機材が設置され、術中に CT やオープン MRI でボリュームスキャンを行い、術中の患部の状況をリアルタイムにモニタリングできれば、さらに幅広い応用が期待できる。

今後は、個々の臓器や治療・診断の内容などに応じて、適切な画像表示手法やインタフェースを改善し、医療現場での実利用可能なシステムを目指したいと考えている。

また本年度は、多人数共有型立体ディスプレイ IllusionHole で隣り合う利用者の画像観察領域がオーバーラップしまう場合の問題の回避に関する検討を行った（研究発表 1）。さらに、IllusionHole のための効率的な操作インタフェースとして、小型カメラを搭載した PDA を用いた両手操作インタフェースの検討を開始した（研究発表 3）。本格的な検討は平成 17 年度に行う予定であるが、図 4 にその例を示す。

G. 研究発表

- (1) 中山智量, 北村喜文, 岸野文郎 :
“IllusionHole における画像表示領域の重なり回避に関する検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 104, No. 489, MVE2004-49, pp. 57-63, 2004 年 11 月.
- (2) 岡島弘, 北村喜文, 上甲剛, 岸野文郎 : “医療用を想定した多人数共有型立体表示装置の試作”, 電子情報通信学会技術研究報告, MVE 研究会, 2005 年 3 月.
- (3) Martin Hachet and Yoshifumi Kitamura: “3D interaction with and from handheld computers,” Proceedings of Workshop on New Directions in 3D User Interfaces, pp. 11-14,



図 4 : 小型カメラを搭載した PDA を用いた両手操作インタフェースの例.

IEEE, Mar. 2005.

H. 知的財産権の出願・登録状況

本年はなし.

厚生労働科学研究費補助金 (身体機能解析・補助・代替機器開発研究事業)
分担研究報告書

「新たな手術用ロボット装置の開発に関する研究」

分担研究者 土田 敬明 国立がんセンター中央病院内視鏡部医長

研究要旨 手術用ロボット装置における画像ガイド下での手術操作方法を確立するために、内視鏡下を実施可能な画像ガイド下での手術操作方法の検討を行う。手術用ロボット装置では、CT、MRI、超音波断層装置などの画像ガイド下で操作することでより精度の高い手術を行うことが期待される。画像ガイド下では、病変の進展範囲や周囲組織との関係をより正確に把握することが可能である。その一方で、内視鏡などの機器の存在下では、機器によるアーチファクト等の影響があり、特に手術用ロボット装置でのリアルタイム画像ガイド下の操作においてその影響は無視できないものと考えられる。また、特にリアルタイムの画像を用いない場合、画像と現実の相違も問題となる。これらの諸問題を解決可能な手術操作方法の開発を行う。

A. 研究目的

手術用ロボット装置における画像ガイド下での手術操作方法を確立するために、内視鏡下を実施可能な画像ガイド下での手術操作方法の検討を行う。手術用ロボット装置では、CT、MRI、超音波断層装置などの画像ガイド下で操作することでより精度の高い手術を行うことが期待される。画像ガイド下では、病変の進展範囲や周囲組織との関係をより正確に把握することが可能である。その一方で、内視鏡などの機器の存在下では、機器によるアーチファクト等の影響

があり、特に手術用ロボット装置でのリアルタイム画像ガイド下の操作においてその影響は無視できないものと考えられる。さらに、CT透視中に発生する電磁波により内視鏡モニター画像に影響を受けることも考えられる。内視鏡画像を用いたナビゲーションの際にはこのノイズの影響が無視できるかどうかを検討する必要がある。また、特にリアルタイムの画像を用いない場合、画像と現実の相違も問題となる。これらの諸問題を解決可能な手術操作方法の開発を行う。