

SN 比低下を一定以下に抑制できることが示されたが、画像の歪みも含めた検討が今後必要である。

<平成 18 年度>

D.1 多節スライダ・リンク機構を搭載した手術ロボットデバイス群の開発

本研究ではリンク機構とワイヤ機構を融合することで屈曲機構の細径化を実現し、外径 5mm のバイポーラ型電気メス屈曲鉗子マニピュレータを開発した。性能評価実験では広い屈曲範囲・高い再現性・大きな発生力を有することを確認し、内視鏡下手術用鉗子マニピュレータの性能向上に大きな役割を果たすことを示した。また、In vivo 実験では腸間膜上の血管を複数閉塞できることを確認した。今後は特に先端側自由度における屈曲機構と把持機構の改善に努め、マニピュレータの使用感向上のため、軽量化やインタフェースの操作性、メンテナンス性などについても検討を進める。

D.2 手術デバイス誘導用多関節外套管の開発

本研究では体内深部へ進入し形状固定を行うための外套管に対して三次元に湾曲を可能にするための機構と、先端屈曲機構を開発し、外套管への追加を行った。そして模擬通路を利用した挿入性の評価実験を行った結果屈曲半径が 50mm 以上のへの進入することが可能であった。そして動物実験を行った結果従来の内視鏡機器が届かない領域への進入、および機器の誘導が可能であることを確認した。

D.3 デバイス誘導ロボットおよび前立腺がん治療用デバイスロボットの開発

D.3.1 デバイス誘導のための 5 節リンク式ロボットの開発

本年度の結果より、プローブ保持マニピュレータの 5 節リンク機構の精度誤差は十分小さいことが示されたが、最終的な評価として、プローブを先端に取り付け、ファントム実験により臨床使用における問題点の洗い出しおよび改良を行う。

D.3.2 前立腺がん凝固後切除マニピュレータの基礎的開発

経尿道的にがん組織を壊死させながら機械的に少量ずつ切除する治療デバイスのプロトタイプ開発を行ったが、今後は、細径化およびファントム実験等による評価を行い、有用性を明らかにする。

D.4 手術用デバイス・マニピュレータの MRI 対応化

MR Compatibility については、5 節リンク式マニピュレータの開発によりその実現性の評価を行ったが、今後はロボットの駆動による SN 比低下・画像の歪みの補償も含めた検討が今後必要である。

<平成 19 年度>

D.1 MR 対応型柔剛可変外套管デバイスの開発

剛体モードにおいては、軟性モードに比して数倍の剛性を有し、先端に 100gf 程度の外力が加わった場合 ±

5deg 程度の変形が起きた。開発したデバイスは臓器同士に存在する隙間に挿入した際の姿勢を保持することをねらいとしており、外套管デバイスへの軟性手術デバイス挿入時に加わるであろう外力が比較的小さいことから、開発したプロトタイプが一定の姿勢保持力を有することが示されたと言える。

MR 対応性については、デバイス挿入による画質の低下は目視では確認されず、また、SN 比の低下も 5% 以下であった。これらにより、開発したデバイスが現段階では十分な MR 対応性を有していると言える。

D.2 前立腺がん切除用デバイスの開発

結果からはトンネル表面の組織が十分変性していることがわかる。一方、アブレータからその外側にかけて変性が広がっていったと考えられる。したがって、切削によって除去された組織は、病理検査によって確認されたわけではないとはいえ、切削されたときにはすでに焼灼によって十分変性していたものと推定される。結果からはまた、2-3mm より遠い位置にある組織は変性していないことがわかる。結果が示す以上のことから、本研究で考案したアブレータを適切な条件で動作させることで、周辺組織の過焼灼による熱損傷を回避しつつ、経路上にある組織を確実に変性させながら除去することができるものと考えられる。

結果からアブレータ操作時の位置決め誤差はほぼ 0.5mm 以下であり、キャリブレーションにより解決できる程度小さいことがわかる。また、結果から誤差のバラつきはほぼ 0.4mm 以下であったが、アブレータの外径が 4mm であること、および考案手順において 2 つの隣り合う切除トンネルが最大約 1mm 程度重なり合うことを併せて考慮すると、アブレータ操作時のバックラッシュは周辺組織の損傷を回避しつつ目標領域にある組織を全て除去する際の障害とならない程度小さいこともわかる。結果が示す以上のことから、ファントムを用いた追試の必要があるとはいえ、本研究で考案したマニピュレータはそれ自体十分な位置決め精度を有しており、正確に組織を切除できるものと考えられる。

本研究で考案したデバイスはアブレータと操作マニピュレータからなる。上述の通り、考案したアブレータは、未変性の前立腺がん組織を飛散させることなく、また、周辺組織を損傷することなく、経路上にある組織を切除することができる。さらに、考案したマニピュレータはアブレータを正確に位置決めすることができる。以上のことから、考案したデバイスがそれ自体安全で高精度であり、術前あるいは術中に撮影された医用画像をもとに設定された目標領域、およびマニピュレータの前立腺へのレジストレーションが正確であれば、考案したデバイスを用いてがん転移リスクの小さい前立腺がん切除を正確に行えることが可能であるものと考えられる。

F. 研究発表

F.1 論文発表

(1) 山下紘正, 金 大永, 波多伸彦, 土肥健純: 多

節スライダ・リンク機構を用いた腹部外科手術用鉗子マニピュレータの開発, 日本コンピュータ外科学会誌, Vol. 5, No. 4, pp421-427. 2004.

- (2) 八木昭彦, 松宮潔, 正宗賢, 廖洪恩, 土肥健純: スライダリンクと空気圧を用いた手術器具挿入支援用柔剛可変外套管の開発, 日本コンピュータ外科学会誌, 9(1):15-22. 2007
- (3) 山下紘正, 松宮潔, 正宗賢, 小林英津子, 佐久間一郎, 廖洪恩, 橋爪誠, 土肥健純. バイポーラ型電気メスを搭載した細径多自由度屈曲鉗子マニピュレータの開発. 日本コンピュータ外科学会誌, 9(2): 91-101. 2007.

F.2 学会発表

- (1) Hiromasa Yamashita, Daeyoung Kim, Nobuhiko Hata, Takeyoshi Dohi.: Multi-Slider Linkage Mechanism for Endoscopic Forceps Manipulator, In Proc. of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2003), Vol.3, pp.2577-2582, Las Vegas, Nevada, October, 2003.
- (2) 山下紘正, 波多伸彦, 飯村彰浩, 中澤東治, 橋爪誠, 土肥健純: 多節スライダ・リンク機構を用いた腹腔鏡下外科手術用屈曲鉗子マニピュレータの開発(第2報), 第12回日本コンピュータ外科学会大会・第13回コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集, pp. 81-82, 愛知, Dec. 2003.
- (3) 橋本隆二, 金大永, 波多伸彦, 土肥健純: 経尿道的前立腺切除術のための管状組織低侵襲切除マニピュレータ. 第2回生活支援工学系連合大会(第20回ライフサポート学会大会・第4回日本生活支援工学会大会)講演予稿集, pp.123-124, 2004年9月13-15日, 東京.
- (4) Ryuji Hashimoto, Daeyoung Kim, Nobuhiko Hata, Takeyoshi Dohi: A Tubular Organ Resection Manipulator for Transurethral Resection of the Prostate. Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2004), October, 2004, Sendai, Japan, pp.3954-3959, 2004.
- (5) 橋本隆二, 金大永, 松宮潔, 波多伸彦, 土肥健純: 経尿道的前立腺切除マニピュレータによる低侵襲切除システム. 第13回日本コンピュータ外科(JSCAS)大会抄録集, pp.73-74, 2004年12月10-12日, 東京.
- (6) 金季利, 金大永, 福与恒雄, 松宮潔, 小林英津子, 波多伸彦, 土肥健純: ウェッジプリズムを用いた視野可変内視鏡の細径化<第1報>~視野欠損の低減に関する検討~. 第13回日本コンピュータ外科学会大会・第14回コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集, pp.127-128, 東京, Dec, 2004.
- (7) 八木昭彦, 松宮潔, 正宗賢, 廖洪恩, 土肥健純: スライダリンク機構及び空気圧を用いた可撓性外套管のための柔剛可変機構の基礎的検討, 第14回日本コンピュータ外科学会大会・第15回コンピュータ支援画像診断学会大会 合同論文集, pp129-130, 2005.
- (8) 山下紘正, 松宮潔, 正宗賢, 小林英津子, 佐久間一郎, 廖洪恩, 橋爪誠, 土肥健純: 多自由度屈曲型バイポーラ電気メスマニピュレータの開発, 第14回日本コンピュータ外科学会大会・第15回コンピュータ支援画像診断学会大会 合同論文集, pp141-142, 2005.
- (9) 小原太, 松宮潔, 正宗賢, 橋爪誠, 土肥健純: MR対応型穿刺ロボットシステムにおけるナビゲーションの基礎的評価, 第14回日本コンピュータ外科学会大会・第15回コンピュータ支援画像診断学会大会 合同論文集, pp213-214 2005.
- (10) H. Yamashita, K. Matsumiya, K. Masamune, E. Kobayashi, I. Sakuma, H. Liao, M. Hashizume, T. Dohi: Feasibility Analysis of Bipolar Electric Scalpel Forceps Manipulator with 2-DOFs Bending Mechanisms, Proceedings of World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006 (WC2006, Aug. 27 - Sep. 1, 2006 COEX Seoul, Korea), IFMBE Proceedings, Springer, Volume 14, pp2980-2983, 2006.
- (11) 山下紘正, 松宮潔, 正宗賢, 小林英津子, 佐久間一郎, 廖洪恩, 橋爪誠, 土肥健純: バイポーラ型電気メス屈曲鉗子マニピュレータの細径化, 第15回日本コンピュータ外科学会大会・第16回コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集, pp. 99-100, 東京, October 2006.
- (12) Yagi A, Matsumiya K, Masamune K, Liao H, Dohi T: Rigid-flexible outer sheath device using slider linkage and air pressure locking mechanism for laparoscopic surgery, Proceedings of 20th International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2006), Osaka, Japan, June 28- July 1, 2006. p.508.
- (13) 神垣剛, 松宮潔, 正宗賢, 廖洪恩, 橋爪誠: 前立腺がん熱凝固治療用集束超音波プローブ位置決め操作のための5節リンク式マニピュレータの基礎的開発, 第45回日本生体医工学会大会(福岡国際会議場, 福岡. 2006年5月15-17日) 論文集, p.397.
- (14) 西澤暁, 松宮潔, 正宗賢, 廖洪恩, 土肥健純: 前立腺がん凝固後切除マニピュレータの基礎的開発, 第45回日本生体医工学会大会(福岡国際会議場, 福岡. 2006年5月15-17日) 論文集, p.398.
- (15) 松宮潔, 西澤暁, 正宗賢, 廖洪恩, 土肥健純. 焼灼と切削の組み合わせによる経尿道的前立腺がん切除のためのロボットデバイス: 切除性能と位置決め精度に関する基礎的検討. 第16回日本コンピュータ外科学会大会・第17回コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集. pp139-140. 2007.
- (16) Kiyoshi Matsumiya, Satoshi Nishizawa, Ken Masamune, Hongen Liao, Takeyoshi Dohi. Design of a Surgical Robot Device for Non-Metastasis Mechanical Transurethral Resection of the Prostate by Repetitive Minute Cauterization and Milling. Proceedings of The 3rd Asian Conference of Computer Aided Surgery(CD-ROM). 2007.
- (17) Siyang Zuo, Ken Masamune, Hongen Liao, Kiyoshi Matsumiya, Takeyoshi Dohi. MRI Compatible Rigid-flexible Outer Sheath Device Using Pneumatic Locking Mechanism for Endoscopic Treatment. 4th Asian Conference of Computer Aided Surgery. 2007(in print).

H. 知的財産権の出願・登録状況

1) 特許出願名： 柔剛可変装置

整理番号： 37426

出願番号： 特願2008-049701

出願日： 平成20年2月29日

発明者： 土肥 健純, 正宗 賢, 松宮 潔, 左 思洋,
山中 紀明

厚生労働科学研究費補助金（医療機器開発推進研究事業）
身体機能解析・補助・代替機器開発研究
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 舘 暉 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。インフォームド・コンセントなどの際に患者に対して可視化する実世界指向型ディスプレイシステムの提案・実装を行った。

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

イド・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。

本研究では、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:Retro-reflective 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。

5年間を通じて以下の2大課題を設定し、以下の各課題を解決した。

第1の課題「画像提示技術の確立」

(1-1) 光学系の設計

- 焦点深度と輝度の確保・補正の両立
- RPTを用いた視覚提示系の心理物理学的検証

(1-2) レジストレーション設計

- スクリーン機能と3次元位置計測用のマーカー機能の両立
- 実世界とシームレスなポイントイングリッドデバイスの開発
- 視野外情報提示技術の開発

第2の課題「画像提示デバイスの試作」

(2-1) デスクトップ型

- 指先位置の取得とAR映像の提示を同時に行う環境の構築

(2-2) 着座型

- X'tal Scope システムの構築

(2-3) 眼鏡型

- X'tal Visor システムの改良

以下に各項目について詳細を記す。

B. 研究方法

B-1 医療情報提示のための実体型ディスプレイシステムの概略

医療の分野において、患者と医者との間で治療法についての意思疎通を図ることは非常に重要である。そのためには、言葉や文字による説明だけでなく視覚的な説明も重要である。現在用いられている視覚的な説明方法としては、二次元メディアを用いたもの（紙、コンピュータのディスプレイ画面等）や、三次元メディアを用いたもの（模型等）がある。近年の医療の高度化、医療情報説明に対する患者側の意識の向上などに伴い、より複雑な内容を正確にわかりやすくそしてインタラクティブに提示することが求められている。印刷された図などでは事前に用意した図しか用いることができないため、イン

タラクティブな説明を行うことは困難である。また二次元メディアは本来三次元である情報を二次元に変換しているため例えば断面図から立体構造を推定するには慣れが必要である。これらの問題点を解決するために、二次元画面上にCGを描画するシステムも開発、使用されている。しかし、体内の臓器など複雑な形状を持った立体構造を提示するには限界がある。

また、立体模型を用いた説明の場合は立体構造の推定が容易で、さまざまな視点から観察することが容易である。しかし、模型を分割するなどの限定されたインタラクティブな説明が限界であり、例えばMRIによる計測結果を重畳させることなどは困難である。またより高度な提示のために時間変化を提示する、すなわちアニメーション機能を付与する場合には困難を伴う。

これらの問題点を克服するために、バーチャルリアリティの視覚技術を用いた方法が研究されている。バーチャルリアリティで用いられている技術には、HMD(Head Mounted Display)、IPT(Immersive Projection Technology)、RPT(Retro-reflective Projection Technology)などがある。インタラクティブ性などの前記の問題を解決するためには、模型等に映像を重畳させることなどを実現させる複合現実感を用いるのが最適だと考えられるが、これに適した視覚技術としてはHMDを用いたものやRPTを用いたものが挙げられる。

HMDを用いた際の問題点として、HMDは眼を覆ってしまうという点がある。特に、患者と医者との間で治療法についての意思疎通を図る際には、医者側が患者を観察し、理解の程度を把握しながら説明を臨機応変

に変更し、患者側も医者の方などから安心感を得たりなどの非常に高度な対面コミュニケーションが行われている。HMD が目隠しであるということは、この対面コミュニケーションにおいて最も重要な相手の眼を見たり視線を感じたりというノンバーバルコミュニケーションの主要部分を著しく阻害してしまう。

また、旧来説明に用いられてきた紙（図）と模型の大きな違いとして「実体性」がある。人間は複雑な3次元情報を知覚するには2次元の「図」よりも実体としての構造をもつ「物体」がはるかに効率的である。

これらの点から本研究では、RPT を用いた「医療情報提示のための実体型ディスプレイシステム」の実装を目指した。

B-2 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、RPT の概要を説明する。

B-2-1 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）

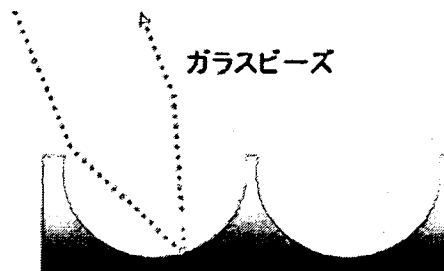


図2 ビーズ式再帰性反射材

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-2-2 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)

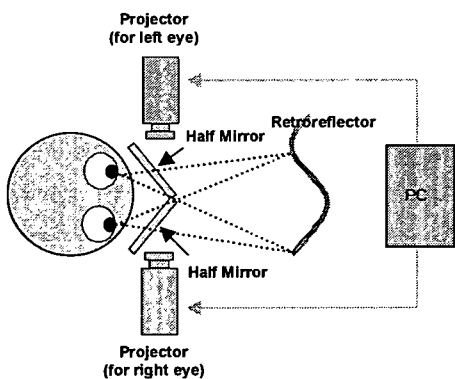


図3 RPT の構成図

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-3 焦点深度と輝度の確保・補正の両立

B-3-1 RPTにおける焦点深度と網膜照度の関係

AR ディスプレイにおいて、実世界とバーチャル世界とのシームレスな融合が重要となる。自然な融合を実現するには、現実世界と同様な輝度とコントラストを持つ、ボケの無い映像の提示が重要である。RPT においては、観察点と共役な位置にプロジェクタを配置し、再帰性反射材を塗布、貼付した部分をスクリーンとして画像を投影する事で、スクリーンによる実世界との前後、遮蔽関係を維持したまま高コントラストの映像提示を行う事が出来る。また、プロジェクタ光学系の先に絞りを設けることで、焦点深度が深くなる特徴も備えており、AR 分野でのディスプレイとして期待される。

しかし、深い焦点深度を得るためにはプロジェクタの光学系にピンホールを付加する必要がある。この時、ピンホールとレンズの位置が一致していると仮定した場合、焦点深度をレンズの屈折力変化量 ΔD [D: Diopter]、錯乱円許容量を角解像度 Θ [rad]、ピンホール径を Φ [m]とおくと

$$\Delta D = \frac{2 \tan \Theta}{\Phi} \approx \frac{\Theta}{\Phi}$$

一方で、輝度 L [cd/m²]を持つ物体を観察した時の相対的な網膜照度 I [Td: Troland]は

$$I = R \times \left(\frac{\Phi \times 10^{-3}}{2} \right)^2 \pi \times L$$

R は Stiles-Crowford 効果による補正項で $R = 1 - 1.06 \times 10^4 \Phi^2 + 4.16 \times 10^7 \Phi^4$ となる。以上から、焦点深度 ΔD と網膜照度 I はトレードオフの関係にあり、小型の光源を用いる RPT では特に重要な問題である。また、実世界と投影画像に輝度の差が存在すると違和感の原因にもなる。投影する画像そのものの輝度を動的に変化させることで輝度補正を行うことも可能であるが、この方法のみでは、プロジェクタの持つダイナミックレンジの一部を補正のために割り当てる事になるため、投影画像のコントラストが低下する。

そこで本研究では、プロジェクタ光学系に対して、口径が可変の絞りを追加し、開口径を動的に制御することで焦点深度と輝度の確保・補正を両立させることを目的とする。

B-3-2 基本原理

再帰性反射材に用いられるマイクロビーズは、光を再帰反射する際ある程度の拡散を生じる。このため、スクリーンが離れるにつれて輝度は減少する。しかし、投影面が離れ

て無限遠に近くなるにつれて、ピンホールを通さなくても焦点深度は深くなるため、ピンホール部分の開口部を大きく開けて光量を稼ぐことが可能になる。

このピンホールを可変のアイリス絞りに置き換え、カメラで撮影した画像の輝度から絞り口径を調節する。絞り口径の決定には、投影画像の最大/平均輝度、ダイナミックレンジ、焦点深度等複数の要素が関係してくるが、本報告では試験的実装として光量に余裕の無い小型 HMP の状況を考慮し、提示する画像が目標とする最大の輝度を発揮出来るような口径に絞る方針を採る。

B-4 RPT を用いた視覚提示系の心理物理学的検証

RPT を用いて両眼視を行う場合、スクリーン位置の任意性と両眼立体視可能性の両立において、ある再帰性反射スクリーンと十分画角の大きい RPT による両眼立体視光学系が与えられたとき、図4の緑色の線で囲まれた領域にある物体については両眼視差画像が提示可能である。

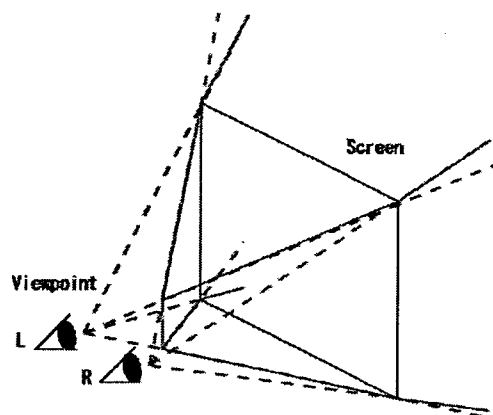


図4 スクリーンに対する物体提示可能範囲

しかし、この領域内に提示されたバーチャ

ル物体全てにおいて立体視が可能であると簡単に結論付けることはできない。それは、人間のヒューマンファクタによるものであり、まず融像可能範囲の問題が考えられる。

RPT を用いた両眼立体視システムは立体視要因のうち、両眼視差、輻輳、運動視差を満たすものである。しかし、調節位置は投影されるスクリーン面の奥行位置に依存する。輻輳と調節は運動して働くことが知られており、輻輳位置と調節位置の隔たりが大きくなりすぎると、自然な立体視が不可能となり、視野闘争や眼精疲労の原因になると考えられる。

また、融像した場合でもスクリーンの位置によって、知覚される提示物体の奥行位置や大きさが影響を受けるため観察者が正確な立体知覚を行うことが困難になる。

以上の点を勘案し、RPT を用いた視覚提示系の心理物理学的検証として(1) 立体視ディスプレイにより提示された物体を一つに知覚できるかどうかを調べるために融像可能範囲の検証、(2) 立体知覚に関して奥行知覚と大きさ知覚の二つについて心理物理学的実験による検証を行った。

B-4-1 実験環境

本実験は全て 400[lx]程度の蛍光灯による照明下で行われた。また、実空間とバーチャル空間の両方を視認できる AR ディスプレイとして用いることを前提としているため、スクリーンが設置されている周囲には数[m]離れた所に部屋の壁や机の表面等が見える状況で実験が行われた。

画像の投影を行う両眼立体視光学系は以下のように構成した。

プロジェクタ

V-1100Z (PLUS Vision 社)

投影方式: DLP (Digital Light Processing) 方式

画面サイズ: 最小 26 型 (投影距離 1.2[m])

テレ時-最大 200 型 (投影距離 7.9[m])
ワイド時}

画素数: 1024×768[dot]

明るさ: 1000[lm]

コントラスト比: 2200:1 (フルオン・オフ)

投影距離 : 1.2~9.44[m]

このプロジェクタを2台並べ、ハーフミラーを介した2投影光の光軸が、眼間距離である 65[mm]だけ離れた平行線になるように配置した。

また、両眼視差量を広い範囲で変化させ、バーチャル物体の奥行位置をできるだけ大きく変化させて実験・考察を行うため、上記プロジェクタに凸レンズと凹レンズからなるレンズ部を装着し、投影画角を拡大した。投影画角は装着前の横 24.9[deg]×縦 18.9[deg]から横 54.0[deg]×縦 35.6[deg]に拡大された。このとき、十分大きいスクリーンを用いて光点の両眼視差画像を提示したとき、提示可能な奥行位置は 6.4[cm]から無限遠までである。

上述のプロジェクタにレンズ部を組み合わせたものを2組用い、図5のような両眼立体視光学系を作成した。

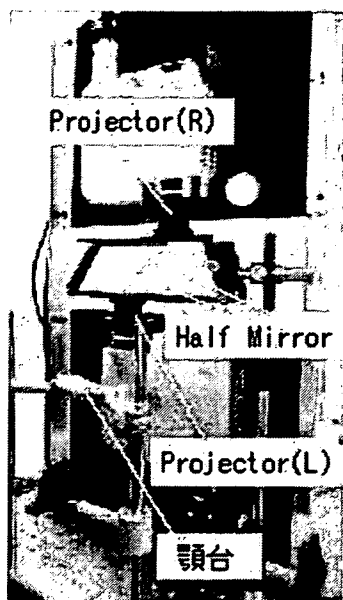


図5 実験用 RPT 装置概観

今回スクリーンとして用いた再帰性反射材はマイクロビーズタイプのレフライト社製#9000である。

B-4-2 融像可能範囲に関する検証実験

被験者は、図6のような配置の実験装置の視点位置に頭部を顎台によって固定された。そして、左右眼に対して視差のついた画像を提示され、まず、提示画像が一つの円に見えるかどうかを確かめた。一つの円に見えたならば、そこから自分で提示画像の両眼視差の量を変化させ、一つの円に見えなくなる点を融像可能限界とした。これを遠方限界と近方限界について測定し、同様の操作を後述の各条件に対して繰り返した。

最初の段階で一つの円に見えない場合は、自由に両眼視差量を増減させ、一つに見える範囲を求めた。

実験条件として以下の通り、スクリーンの大きさ、スクリーンまでの距離、提示円板の直径の各パラメータを3段階に変化させて行った、

- スクリーンの大きさ（視覚換算）：
10, 20, 40[deg]
- スクリーンまでの距離：25, 50, 100[cm]
- 提示円板の直径（視覚換算）：
1, 5, 10[deg]

各条件に対して6回ずつ測定を行い、被験者は6名とした。

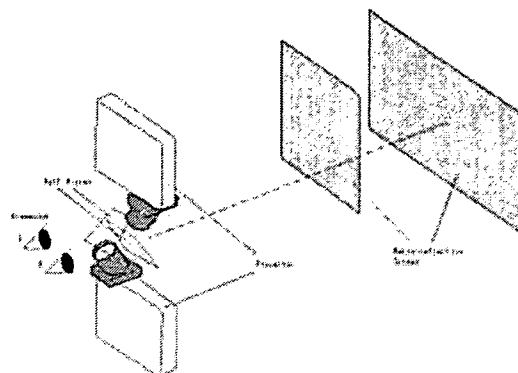


図6 融像可能範囲検証実験装置

B-4-3 奥行き知覚に関する検証実験

人間が物体の奥行きを知覚する際、輻輳による絶対距離の知覚と、両眼視差による相対距離関係による知覚が行われていると考えられる。本実験では実物体とバーチャル物体を提示しその奥行き距離が等しく見えるように操作するという手順により、バーチャル物体の位置する奥行き知覚について評価を行った。

B-4-2で用いた実験装置において、光学系とスクリーンの間に光軸と45[deg]をなすようにハーフミラーを設置し、実物体とスクリーン上の提示物体両方を視認できるようにした。(図7)

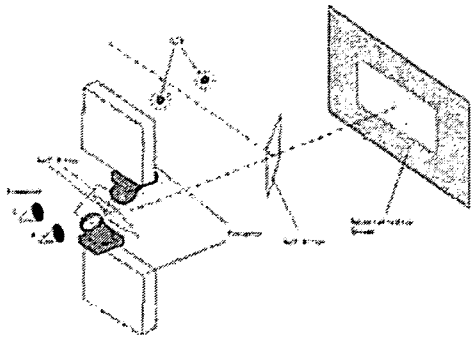


図7 奥行き知覚検証実験装置

実物体としてLEDを用い、中心から左右に7.5[cm]離れたレール上に固定した。この際、見える光点の明るさと大きさが距離によって変化しないよう調整した。また、LEDの背景には暗幕を設置した。

被験者は、B-4-2の実験と同様に頭部を顎台によって固定された。まず中央に画像が提示され、次に被験者から等距離にある一組のLEDを点灯する。被験者は提示画像の両眼視差量を調整し、中央の提示物体が両端のLEDと等距離に見えるように視差量を調整した。

事前に行った予備実験より、奥行き知覚がスクリーンの大きさと提示物体の大きさに影響されないことが示されたため、スクリーンの大きさ（視角）を40[deg]、提示物体は直径1[deg]の円板とした。

実験条件として以下の通り、スクリーンの大きさ、スクリーンまでの距離を2段階に、LEDまでの距離を2段階に変化させて行った。

- スクリーンまでの距離：25, 50, 100[cm]
- LEDまでの距離：50, 100[cm]

各条件に対して6回ずつ測定を行い、被験者は6名とした。

B-4-4 大きさ知覚に関する検証実験

ある物体の奥行き距離が2倍になったとす

ると網膜像の大きさは1/2になるが、人間は物体の大きさが1/2になったとは感じない。これを大きさの恒常性と呼び、人間が物体の奥行き距離から知覚される物体の大きさを補正していると考えられる。

また、逆に網膜像の大きさが等しい場合でも、奥行き距離が大きくなると知覚される大きさが大きくなる。これは大きさ-距離不変仮説 (size-distance invariance hypothesis) として提唱されている。人間は前述のように複雑な認識過程を経て物体の大きさを知覚している。RPTが人間の知覚機構を考慮した際にも大きさ知覚において有効であるかを検証する。

B-4-2で用いた実験装置において、実物体として白色プラスチック製の球体（直径40[mm]）を用い、観察者からの奥行き距離が50[cm]の位置に固定した。（図8）

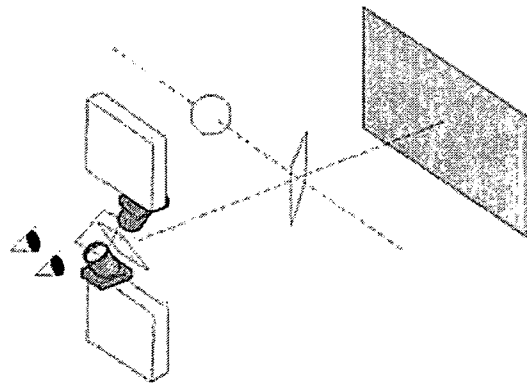


図8 大きさ知覚検証実験装置

被験者は、前の2実験と同様に頭部を顎台によって固定された。まず、被験者に比較用の実物体と提示物体が同時に見えるようにし、被験者は実物体の棒の長さと同提示物体の円板の直径が同じに見えるように提示物体の大きさを調整した。この際、提示物体の大きさは縦横とも同じ割合で増減し、

大きさの変化によって両眼視差量が変化しないようにし、実物体と提示物体がともにそれぞれの距離に固定された状態で大きさのみを比較するようにした。事前に行った予備実験より、大きさ知覚がスクリーンの大きさに影響されないことが示されたため、スクリーンの大きさ（視角）を 40[deg]とした。

実験条件として以下の通り、スクリーンまでの距離を 2 階に、提示物体までの距離を 3 段階に変化させて行った。

- スクリーンまでの距離： 50, 100[cm]
- LED までの距離： 50, 75, 100[cm]

各条件に対して 6 回ずつ測定を行い、被験者は 4 名とした。

B-5 スクリーン機能と 3 次元位置計測用のマーカー機能の両立

B-5-1 スクリーン位置の計測手法の必要性和問題点

AR のシステムでは、実世界に対して、適切な位置関係を保持しつつ情報空間の 3 次元物体提示を維持する為には、提示システムとスクリーンの相対座標に応じて適切に投影映像を再構成必要がある。そのためには、スクリーンの 3 次元座標を実時間で検出するシステムが必要である。従来の方法では、磁場を用いたポヒマスセンサや超音波センサ、画像認識を用いる方法が挙げられる。しかしポヒマスセンサや超音波センサは、スクリーン内部に電子デバイスを組み込む必要がある。また、これらのセンサは測定環境下の異物、すなわちポヒマスセンサにおいては磁場を乱す磁性体、超音波センサにおいては超音波を反射あるいは吸収してしまう物体などに対し極めて脆弱であり安定した運用

に適さない。また、画像認識を用いた手法ではマーカーをスクリーン表面に設置する必要があるため、マーカーそのものの存在が再帰性反射を損ない、投影された映像とマーカーが重畳してしまい、提示すべき情報が遮蔽されてしまう。また、投影された映像によっては画像認識に悪影響を与える可能性がある。スクリーンの形状を平面に限定し、赤外照明でその輪郭を画像認識させる手法も提案されているが、この方式では任意形状のスクリーンにそのまま応用できるとは言い難い。

B-5-2 提案する手法

先に述べた問題点を解決するため、我々は画像提示部分にスクリーンとマーカーの機能を同時に持たせ（1）人間の眼に対してはスクリーンとして、（2）画像認識機器に対してはマーカーとして、機能するようシステムを構成する手法を提案する。また、AR システムとの融和性を高めるため以下にまとめた条件のシステムを構築する。

- (1) スクリーン本体は電源不要、軽量、任意の立体形状にできる
- (2) 信号伝達用あるいは電源供給用のケーブルが不要である
- (3) 同時に複数のマーカーの座標取得が可能
- (4) スクリーンとマーカーの 2 重の機能をもたせたデバイスを用いる
- (5) システムに用いる機材が安価・入手容易
- (6) 機材が光学系のものでまとめることができ、輝度補正のシステムとの親和性が高い

(1),(2)は、今回のマーカーは赤外線、あるいは

は偏光による物理現象を利用した物でスクリーン表面に何らかの材質で作られたマーカーを配置するだけでスクリーンはマーカーとしての機能を有するようになる。(3)は複数のマーカーをスクリーンにおくことで、一方のマーカーがシステムから見えなくなっても他方のマーカーが認識を担うという使い方も可能である。(6)の輝度補正システムとは、スクリーンに歪みがある場合やスクリーンとの距離に応じて投射光の輝度を調節することでむらなく、自然な投影像を得るシステムのことである。

B-6 実世界とシームレスなポインティングデバイスの開発

B-6-1 システム構成の概要

システム全体は、図9のようにRPTシステムと一軸力覚提示可能なポインティングデバイスのシステム(指し棒システム)から構成される。これらのシステムは、EIA232C規格による相互通信が可能となっており、お互いに情報及び命令をやり取りすることができる。以下では、これらのシステムの詳細について説明する。

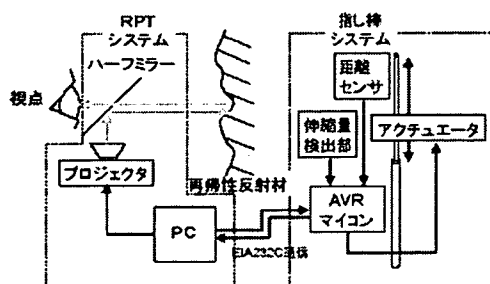


図9 システム概略

B-6-2 RPTシステム構成

RPTシステムは、再帰性反射材へと映像を投影するためのシステムであり、その概略は図10の通りである。

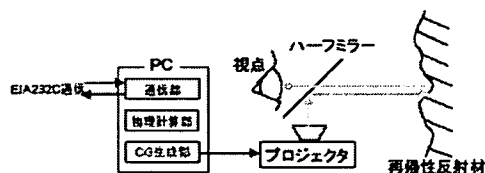


図10 RPTシステムの概略

PCにより生成されたCGは、図11に示すように2台のプロジェクタ(PLUS V-1080)から出力される。それぞれのプロジェクタは右目及び左目と光学的に共役な位置に配置されており、それぞれに対し右目の視点からのCGと左目の視点からのCGを送ることにより視差による立体視を可能にしている。

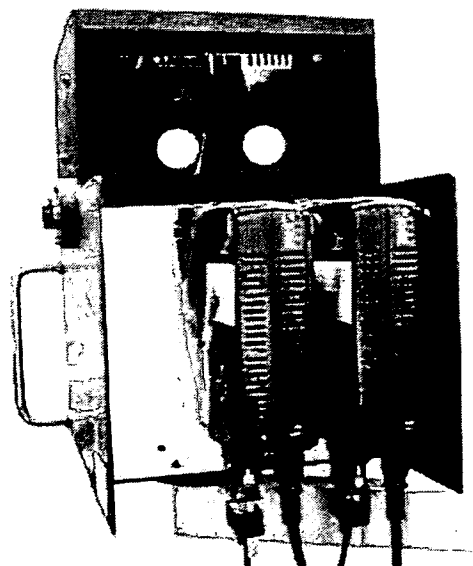


図11 立体視可能なRPTシステム

プロジェクタからの映像は、ハーフミラー

によって再帰性反射材表面へと送られ、反射材表面にて再帰性反射しハーフミラーの位置へと戻る。このとき、プロジェクタが視点位置と共役な位置にあるため反射光の半分は視点位置へと戻る。通常のスクリーンでは、返ってくる光は乱反射した光の一部であるため、投影に用いる光源は強力でなくてはならない。しかし、再帰性反射材では返ってくる光は反射光であるので投影した光の大部分が返ってくる。そのため、室内や屋外でも現在市販されているプロジェクタで十分強い反射光が返ってくる。

本研究では人間の胸部を想定した実体型ディスプレイとして図12のようにトルソ表面に再帰性反射材を貼付したものをを用いた。トルソとしては、発泡スチロール製のものを用いた。これは人体胸部とほぼ同じ大きさとなっている。



図12 再帰性反射材で覆ったトルソ型ディスプレイ部

また、描画や差し棒システム制御のためのPCの緒元を表1に示す。

表1 RPTシステムPC緒元

CPU	Intel PentiumIII
動作周波数	1GHz
メインメモリ	512MB
OS	Microsoft Windows XP SP2
グラフィックボード	Radeon9800

描画プログラムは、Microsoft Visual C++ .NET 2003 を用いた。また、グラフィック描画ライブラリとしては DirectX 9.0c を用いた。描画の際の解像度としては、片目あたり 1024x768、両方あわせて 2048x 768 の領域に描画を行った。システムに用いるモデルとしては、Curious Labs 社 Poser5 に付属の骨格モデルを用いた。このモデルのポリゴン数は、16042 ポリゴンである。

B-6-3 差し棒システム構成

実体型ディスプレイシステムを用いて、患者への医療情報を提示する際、ある特定の部位をポインティングすることを考える。従来の2次元ディスプレイ上である特定部位をポインティングするデバイスとして有効で基も普及している手法は「マウス」を用いるものである。しかし、本システムなどの3次元情報を扱うディスプレイシステムで3次元の位置をポインティングする場合には「マウス」は直感的でない。今回想定する対面コミュニケーションを伴う場合、特に医者側には操作の習熟は期待できるが患者側に操作への習熟を要求しないことを前提とした場合、極めて直感的なポインティングデバイスが要求される。また、実体型のディスプレイを利用する際には実世界とディスプレ

イ内の VR 空間でのポインティングがシームレスに行える機構が要求される。本システムでは実空間において極めて直感的なポインティングデバイスである差し棒を用い、実空間とディスプレイ内の VR 空間でシームレスに利用可能とする手法を実装した。

また、多くの 3 次元用ポインティングデバイスにおいて、触覚や力覚によるフィードバックが採用されている。これは、現実世界でのフィードバックが触覚や力覚によるからである。特に、バーチャル物体をポインティングデバイスが突き抜けてしまう現象を防ぐことができる力覚フィードバックは、有力であるために採用されることが多い。本システムでもこの目的で力覚提示機能を併せ持つ実装とした。

具体的には、実体型ディスプレイ内部に提示したバーチャル物体を指そうとした場合、ポインティングデバイスは現実の物体内部に入り込まなければならない。しかし、ポインティングデバイスそのものを現実の物体内部に入り込ませるわけにはいかないため、図 1 3 (上) のようにバーチャルなポインタを描画してポインティングを行う。

デバイスは伸縮可能で、実空間上で使用されているときは完全に伸長した状態であり、通常の指し棒と同様に用いることができる。実体型ディスプレイ内部に提示されているバーチャル物体をポインティングしようとしたとき、図 1 3 (下) に示すようにデバイスは収縮を開始し、ディスプレイとデバイス先端とが接触しないように長さを制御する。また同時に、デバイス先端があるべきであった位置にバーチャルなポインタを現実の物体内部に表示させる。この機構により、現実空間とバーチャル空間との間のシームレス

な移行を実装する。さらに本デバイスを動かし、バーチャル物体とバーチャルなポインタが接触するとき、デバイスは収縮を停止しディスプレイ面とデバイス先端とを接触させ、力覚の提示を行う。

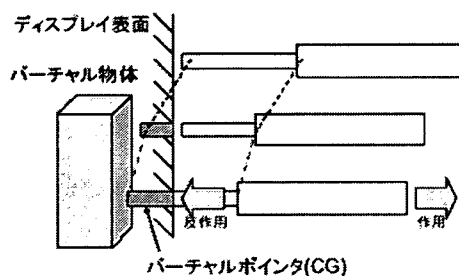
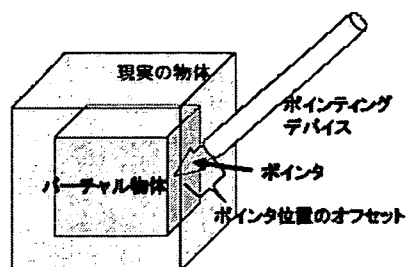


図 1 3 差し棒システムの基本コンセプト

図 1 4 に試作した一軸力覚提示可能なポインティングデバイスの外観を、表 2 に緒元を示す。

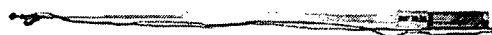


図 1 4 試作したポインティングデバイス

表 2 ポインティングデバイスの緒元

部位名	長さ (mm)	幅 (mm)	奥行き (mm)
伸縮部	120-460	10	10
鞘部	460	17	17
握り部	190	35	35
全体	760-1100	35	35
重量 (回路、電源除く)	280(g)		

長軸に対する断面の形状は、伸縮部は円形、鞘部と握り部は正方形である。また、長さの測定方向はデバイスの長軸方向である。

本ポインティングデバイスには、以下の機能がある。(1)非力覚提示時にディスプレイ表面と接近した際、不要な力を返さないようにするために収縮し衝突を回避する機能(2)力覚提示時にディスプレイ表面に接触し、使用者に対し力を提示する機能。これらを実現するために、図15に示すようにディスプレイ面との距離を測る距離センサや伸縮量を計測するエンコーダ、伸縮させるためのアクチュエータが内蔵されている。アクチュエータは棒に搭載されているマイコンによって制御されており、また電源も内蔵されている。(各部は図16～図19)

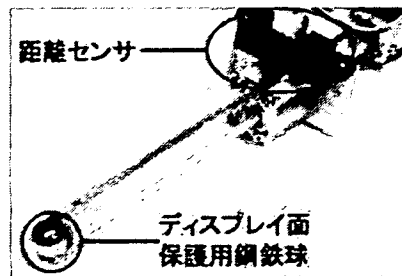


図18 距離センサ部

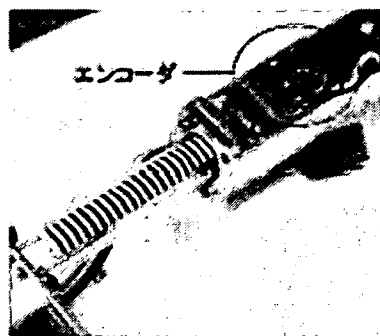


図19 伸縮量検出部

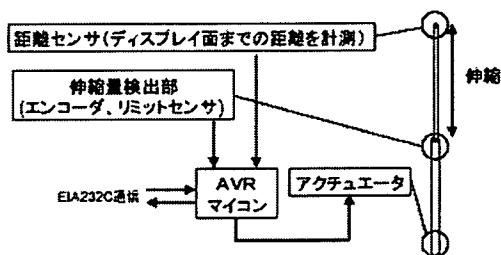


図15 差し棒部の構成

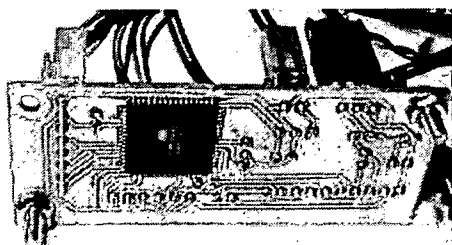


図16 AVRマイコンと制御部

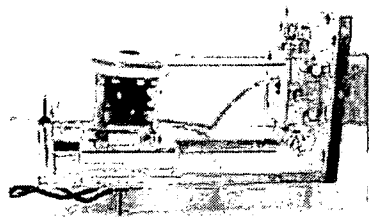


図17 アクチュエータ部

B-7 視野外情報提示技術の開発

人間は物体を観察するとき、少なからず頭部や体を動かし、美術館で彫刻を見るときのように覗き込んだり対象の周囲に回り込んだりして観察する。これは、特に複雑な立体構造や前後関係を正しく把握するための動作である。本研究では、この観察者の視点の動作を『回り込み動作』と定義する。そして回り込み動作における頭部運動に対応した適切な視野外情報を提示することで医療データとして視覚的に何も無い(=透明な)部分が透明として知覚できることを可能とする。このことによって、運動視差による自然な立体提示を可能とし、特に医療情報などの3次元的な位置関係、大小関係、奥行き関係の提示がきわめて重要なシステムにおいてより実体性を持たせることが可能となる。上

記の機能を実現する手段として RPT を用いた視野外視覚提示手法の提案と実装を行う。

観察者の視野に対して遮蔽物が十分に小さい場合、向こう側の背景は遮蔽されている場所を除いて観察可能である。このため、視点から見た画像と、背景の画像を比較することにより提示すべき画像を生成することができる。そこで本手法では、以下のように視野外情報を提示することを提案する。

まず、背景を撮影するための遮蔽物の背後に設置するカメラに加え、観察者の視点と等価な位置にもカメラを設置する。それぞれのカメラが撮影した画像から画像認識によって対応点を検出し、両画像間の対応を得る。そして背景画像を観察者視点の画像に変換し、遮蔽物体に投影することによって視野外情報を提示する。

本手法の特徴は、カメラや HMP、及び背景物体の位置情報を取得しなくてもよい点である。このため、観察者は自由に現実空間内を移動することができるようになる。

さらに、HMP を複数台用いれば、複数の観察者にも対応することが可能である。

B-7-1 視点カメラの追加

本システムでは、観察者の視点と等価な位置にカメラを設置する必要がある。そのため、ハーフミラーを 2 枚用いて観察者の視点と光学的に共役な位置にカメラを配置した図 20 に示す光学系の HMP を用いる。本光学系を用いることにより、観察者の視点からの映像投影と映像取得を両立することができる。以降、観察者の視点位置に配置したカメラを視点カメラと呼ぶ。

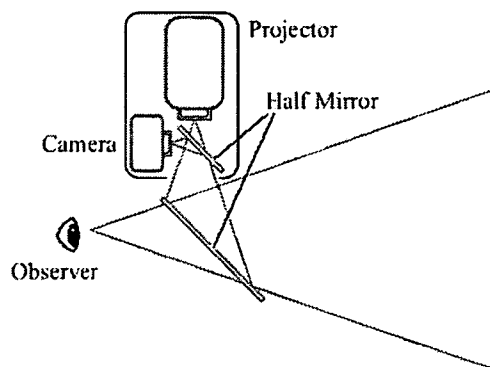


図 20 視点カメラを追加した HMP 光学系

B-7-2 システム構成

提案手法のシステム構成を図 21 に示す。本システムは、背景の映像を撮影するためのカメラ（以下これを背景カメラと呼ぶ）、観察者の視点位置から映像を投影・取得をする HMP、それらを統合するコンピュータから成る。

以下に本システムの処理の流れを示す。

1. 背景カメラと視点カメラの画像を取得する。
2. 各カメラ画像に対して歪み補正を行う。
3. 両画像間の対応点を探索する。
4. 射影変換行列を算出する。
5. 背景カメラの画像を射影変換し、観察者視点の画像を生成する。
6. HMP を用いて遮蔽物体に画像を投影する。

こうして、観察者は遮蔽物体に投影された視野外情報を観察することができる。背景カメラ画像と視点カメラ画像間の対応点の探索、及び背景画像の射影変換に関しては次節以降で詳しく述べる。

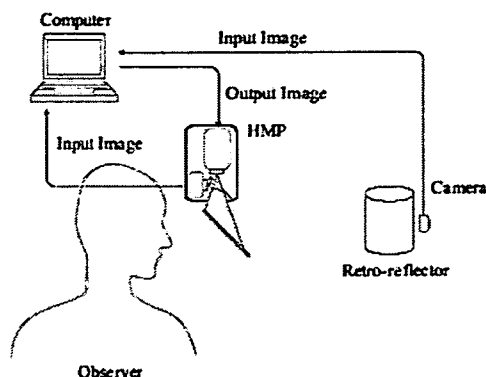


図 2 1 視野外情報提示システムの構成

B-7-3 SIFT 特徴量に基づく対応点探索

異なる位置にあるカメラによって撮影された画像間の対応を得るのは、一般に難しい問題である。本システムでは背景物体が平面である、あるいは十分に離れていると仮定し、背景カメラ画像と視点カメラ画像の対応を求めるために、Lowe らによって提案された Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) と呼ばれる手法を用いる。

SIFT とは、特徴点の検出と特徴量の記述を行うアルゴリズムである。SIFT は画像の回転・スケール変化・照明変化等に頑健な特徴量を記述するため、本システムのような異なる視点からの画像間の対応を求めるのに適している。また、SIFT は画像の線形変換が行われても対応を検出できるため、背景物体が平面であるか、もしくは十分に離れていれば非常に精度よく対応を得ることができる。また、背景物体が平面で無い場合でも、画像間で特徴的な点を対応付けるため、人間が見た場合に最適に近い画像を生成できると考えられている。以下に、SIFT のアルゴリズムを概説する。

SIFT の処理は、特徴点の検出と特徴量の記述の 2 段階から成る。

特徴点の検出：特徴点の検出ではまず、スケールの異なる平滑化画像の差分である Difference of Gaussian (DOG) 画像から極値を探索することで候補点の位置とスケールを決定する。次に、検出された候補点に対して主曲率とコントラストによる絞り込みを行う。さらに、サブピクセル推定により特徴点の位置とスケールを算出する。

特徴量の記述：次に、特徴量の記述を行う。まず、検出した特徴点近傍の輝度勾配から、オリエンテーションを求める。オリエンテーションの方向に回転して特徴量を記述することで、回転に不変となる。そして、特徴点を中心とした特徴点のスケールを半径とした円領域内の輝度勾配情報を特徴ベクトルとして記述する。

B-7-4 RANSAC による射影変換行列の算出

2 台のカメラで 1 つの平面を撮影した場合、得られる 2 枚の画像間の対応は、平面射影変換によって関係づけられる。2 次元平面上の点 $x = [x, y]^T$ から同じく 2 次元平面上の点 $x' = [x', y']^T$ への射影変換は、

$$[x_1, x_2, x_3]^T \approx [x, y, 1]^T \text{ なる同値関係が成り}$$

立つような斉次座標 $\tilde{x} = [x_1, x_2, x_3]^T$ を用いれば、 $s\tilde{x}' = H\tilde{x}$ と書ける。ここで、 s は任意の実数であり、 H は次のような 3×3 行列である。

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}$$

H を射影変換行列と呼ぶ。各フレームごとに H を求め、背景カメラで撮影した画像

を射影変換することによって、観察者視点の画像が得られる。射影変換行列 H の要素数は 9 であるが、全ての要素を定数倍しても同じ変換を表すため、自由度は 8 である。よって $h_{33} = 1$ としてもよい。対応点を 1 組与えれば、

$$x' = \frac{h_{11}x + h_{12}y + h_{13}}{h_{31}x + h_{32}y + 1}$$

$$y' = \frac{h_{21}x + h_{22}y + h_{23}}{h_{31}x + h_{32}y + 1}$$

が得られ、整理すると

$$h_{31}xx' + h_{32}yx' + x' - h_{11}x - h_{12}y - h_{13} = 0$$

$$h_{31}xy' + h_{32}yy' + y' - h_{21}x - h_{22}y - h_{23} = 0$$

の 2 式が得られるため、4 組以上の対応があれば最小二乗法により射影変換行列 H を求められる。しかし、SIFT 特徴量を用いて検出した対応点には、誤対応が含まれている可能性がある。誤対応があると、外れ値の影響で射影変換後の画像が大きく歪んでしまう場合がある。そこで、Fischler らの提案した RANSAC (RANDOM SAMPLE Consensus) を用いて射影変換行列を求める。RANSAC は、外れ値を含むデータの中から外れ値を排除してフィッティングを行う手法である。RANSAC のアルゴリズムを以下に示す。

1. 幾つかの対応点をランダムに選択する。
2. 最小二乗法によりパラメータを計算する。
3. 求めたパラメータを適用したとき、設定した誤差範囲にある点の個数を評価値とする。
4. 評価値が十分に大きければ求めたパラメータを採用し、終了する。
5. 1~4 を有限回繰り返す。
6. 十分大きな評価値が得られなければ失

敗とみなし、終了する。

こうして、正しいパラメータを推定できる。

SIFT 特徴量に基づく対応点探索と、RANSAC による射影変換行列の算出を併用することによって、非常に頑健な画像間の対応が得られる。

B-7-5 HMP の仕様

試作システムでは、重量 565g の LED プロジェクタ TDP-FF1A (東芝) を元に作製した HMP を使用した。(本 HMP は戦略的創造研究推進事業の研究成果として作成されたものを一部改造している。) HMP の外形及び写真を図 2 2, 図 2 3 にそれぞれ示す。本実装において作製した HMP は総重量が約 900g である。また、使用したプロジェクタの投影画角は水平画角が約 30deg 程度しかなく、そのままではごく狭い領域にしか投影できないため新たにレンズユニットを追加し、投影画角を水平画角約 60deg、垂直画角約 50deg を実現している。

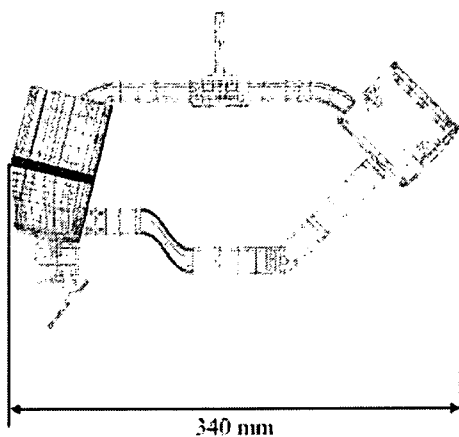
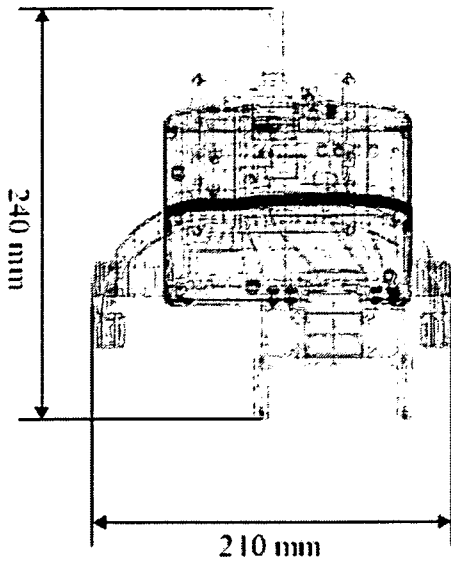


図 2 2 HMP の外形

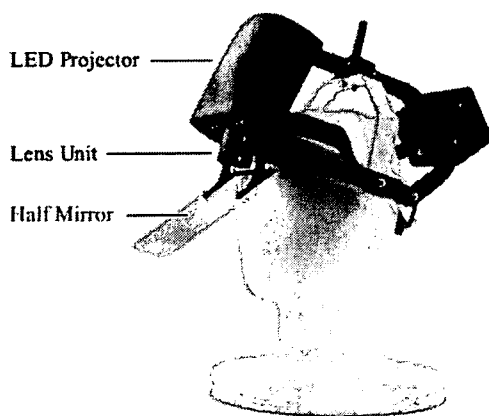


図 2 3 HMP の概観

B-8 指先位置の取得と AR 映像の提示を同時に行う環境の構築

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-8-1 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