

再帰性投影技術に関する位置検出を目的とした 迷彩マーカの研究

内田貴之^{*1} 圓道知博^{*2} 川上直樹^{*1} 館暲^{*1}

Research of the camouflage marker for positional measurement
in Retro-reflective Projection Technology

Takayuki Uchida^{*1}, Tomohiro Yendo^{*2}, Naoki Kawakami^{*1} and Susumu Tachi^{*1}

Abstract - The Retro-reflective Projection Technology, which projects a virtual object on the screen of retro-reflective material, is suggested as the method to fuse the real world and the virtual world visually. This method enables the screen to be considered as the metaphor of the virtual object and the virtual object to be operated intuitively by detecting the 3-dimensional coordinates of a screen. However the number and shape of screens are restrained in the conventional position detection techniques. We solved this problem by position measurement using the image recognition with the marker. Its marker is made of the material that is transparent for the visible light but absorbs the infrared light so that it doesn't spoil the function for screen.

Keywords : Retro-reflective Projection Technology, Image recognition, Camouflage marker

1 はじめに

3次元CADなどへの応用を目的とし、バーチャル物体をユーザが手で把持し直感的操作を可能にするインタフェースが注目されている。手などの実物体でバーチャル物体を操作する際問題になるのが、実物体より奥にあるはずのバーチャル物体が実物体より手前に描画される事などにより立体感が損なわれる遮蔽問題である。遮蔽問題を解決する提示系技術の1つとして、バーチャル物体を再帰性反射材のスクリーンに投影する再帰性投影技術(以後、RPT(Retro-reflective Projection Technology)と略す)が提案されている[1]。再帰性反射材とは、微小なガラスビーズやマイクロプリズムを表面に並べることで入射方向とほぼ同じ方向に光を反射する反射材であり、ユーザの目と共役な位置に置いたプロジェクタから投影することで高輝度な映像が得られる。RPTを用いたシステムとしては、任意形状の再帰性反射スクリーンにバーチャル物体を投影し、ユーザはスクリーンを手で動かすとバーチャル物体も同じ動きを行い、バーチャル物体を直接操作可能なシステムが試作されている[2]。しかし、ユーザによるバーチャル物体の操作を提示に反映させるにはスクリーンの座標を3次元計測する必要がある。従来

では、これに磁気センサを用いていたが、金属が近傍にある場所では使用できなかつたり、同時計測可能な数が限られていて多数のバーチャル物体を扱うには不向きであるという問題があった。この問題を解決する手法として、本稿ではマーカを用いた画像認識で3次元計測を行うことを提案する。

2 RPT に画像認識を適用する際の問題点と解決法

画像認識を用いた再帰性反射スクリーンの位置計測手法としては、木島らによる赤外照明を用いた手法[3]があるが、同一形状のスクリーン同士は区別できずスクリーンの形状も平面に限定されていた。我々は、任意形状の多数のスクリーンを用いてバーチャル物体を操作することを目的とし、スクリーン表面に画像認識用マーカのパターンを設置することを提案する。今回のシステムの場合、手などでマーカが遮蔽され画像の認識率が低下するのを抑えるため複数のマーカを同一のスクリーン上に設置可能であることが望ましい。しかし、スクリーン上にマーカパターンを配置するとバーチャル物体の映像を遮ってしまうという問題が生じる。特に複数のマーカを配置する場合、このマーカパターンによる映像の遮蔽は深刻な問題になる。この問題を解決するため、目視はできないが画像認識用のカメラでのみ撮影可能な「迷彩マーカ」のシステムを我々は提案する(図1)。このようなマーカとしては中里らによる半透明の再帰性反射材を用

¹東京大学 大学院 情報理工系研究科

²名古屋大学 大学院 工学研究科

¹the School of IST, the Univ. of Tokyo

²School of Engineering, Nagoya University

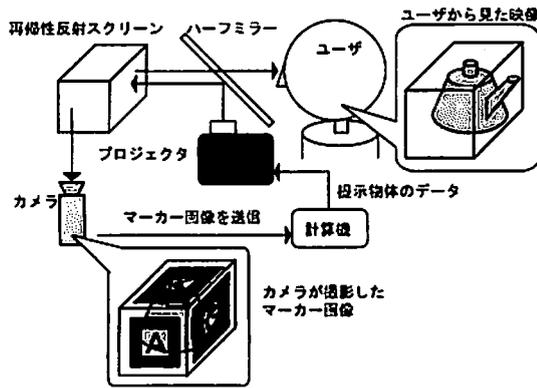


図1 迷彩マーカーの概念図

いる手法 [4] があるが、実環境上にマーカーを配置している点で我々の手法とは異なる。

3 迷彩マーカーの原理 (2方式)

3.1 手法1：赤外線方式

赤外線を吸収し、可視光を透過させる材料で作成したマーカーパターンをスクリーン上に設置する手法である。赤外照明でスクリーンを照射し、赤外線カメラで撮影することでマーカー認識が可能になる (図2)。このような赤外照明下で機能するマーカーとしては、

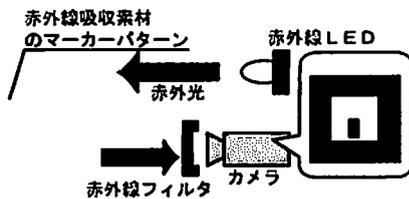


図2 赤外線による迷彩マーカーの原理

赤外線のみ透過させる材料を用いた非可視型バーコード [5] がある。ただし、我々の提案手法は可視光を透過し赤外線を吸収する材料を用いる点で大きく異なる。

3.2 手法2：偏光方式

スクリーン表面に1/4波長板で作成したマーカーパターンを設置する方法である。波長板は偏光状態のみを変化させ、光量にはほとんど影響を与えないので、スクリーン上に設置しても提示映像を遮蔽しない。マーカーを撮影する為には、右回りの円偏光をカメラと共役な位置からスクリーンに照射する。波長板を設置していない部分で反射した光は左回り円偏光になるが、波長板を設置した部分の反射光は再度位相が反転し右回り円偏光になる。これら2種類の反射光を左回り円偏光板を通してカメラで撮影すると、波長板を設置した部分のみ光が遮蔽されて黒くなり、マーカー認識が可能となる (図3)。以降、本稿ではこのマーカーつきスクリーンがマーカーとして機能している状態を

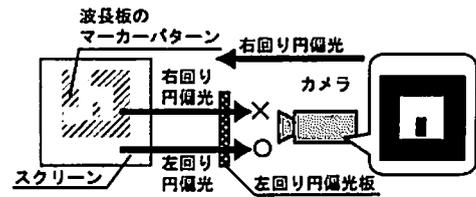


図3 1/4波長板による迷彩マーカーの原理

マーカーモード、スクリーンとして機能している状態をスクリーンモードと呼ぶ。

4 迷彩マーカー2方式の比較 (実験・評価)

本章では迷彩マーカーの2種類の方式の評価・比較実験について述べる。我々はスクリーン/マーカーモードそれぞれにおいて、マーカーパターン部のコントラストを以下のように求め評価した。

4.1 実験条件について

今回の実験では、反射の際に入射光の偏光状態を保つマイクロガラスビーズを用いた再帰性反射材を使用した。また、撮影に使用したカメラはソニー (株) 製 DCR-TRV900 である赤外方式の実験では、今回は入手容易な近赤外 LED (三洋製:SLR-931-A, ピーク波長:945nm) を用いた。赤外方式の実験で使用した市販の車窓用の断熱フィルムは、SC2000 (アルフォリア・ジャパン (株)) および FGR-2500 (アイケーシー (株)) の2種類である。この2種類のフィルムは特に 945nm 付近の赤外光の吸収率が高く、かつ可視光の透過率が高い性質のフィルムであるため、今回の実験に使用した。各フィルムの特性表によれば、可視光の範囲 (400nm~780nm) における SC2000 の透過率は 70~80%、945nm 付近では約 60% である。また、FGR2500 の可視光帯での特性は、透過率 60~80% となり、945nm 付近で約 50% となっている。

4.2 実験1 (マーカーモード)

断熱フィルム・波長板を設置したスクリーンのコントラストを、マーカーモードの条件下で求める実験である。断熱フィルムあるいは1/4波長板を、正方形の再帰性反射スクリーンの上半分に設置したものを今回の実験用のスクリーンとした。カメラとほぼ共役位置に赤外照明あるいは白色光源 (プロジェクタ) を光源として設置した。カメラのレンズとスクリーン中央間の距離を x [cm]、カメラの光軸とスクリーン法線の成す角を θ [deg] とする。 $x = 60, 90, 120$ [cm] の距離に固定して $\theta = 0 \sim 60$ [deg] を 10 [deg] 刻みに回転させながらスクリーンをカメラで撮影した。以上の測定を赤外線方式 (図4)・偏光方式 (図5) の両方について行った。キャプチャした画像からスクリーン中央の直線上における輝度信号分布を求めた。その後、断熱フィ

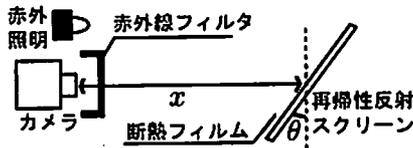


図4 赤外線方式 輝度信号の測定 (上から見た図)

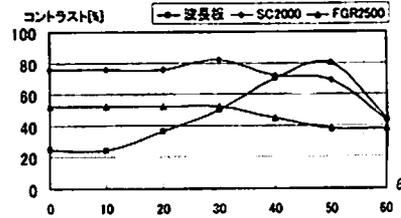


図7 マーカ－モードにおけるコントラスト

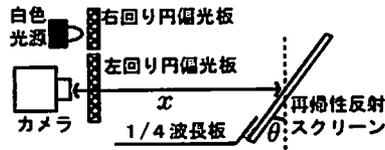


図5 偏光方式 輝度信号の測定 (上から見た図)

ルム・波長板を設置した部分とそれ以外のスクリーン部の輝度信号の平均値の比をコントラストを示す値 R として算出した。輝度信号 (Y) は画像の RGB 信号 r, g, b から以下のように算出される。

$$Y = 0.298912r + 0.586611g + 0.114478b \quad (1)$$

4.3 実験2 (スクリーンモード)

断熱フィルム・波長板を設置したスクリーンのコントラストを、スクリーンモードの条件下で測定する。図6と同様の構成で、3原色 (RGB) および白色光をプロジェクタで投射、4.2と同様に色ごとのコントラスト R を求めた。なお、3原色に関しては RGB の信

号においては、コントラストが低い方が望ましい。よって、赤外線方式では FGR2500 の方がマーカ－パターンの材料として望ましい。また、波長板は入射角度 $\theta = 30[\text{deg}]$ までは最もコントラストが低いがそれ以上の角度では急激に上昇している。これは波長板の入射角に関する特性が原因であると考えられる。

5.2 実験2 (スクリーンモード) 結果

スクリーンモードにおけるコントラストを方式・材料ごとに図8に示す。マーカ－モードとは反対に、コントラストが高い方が望ましいことに注意する。なお G 信号は R 信号、B 信号は白色光と特性がほぼ同じであったので図8では省略した。SC2000 は赤・緑色光では FGR2500 よりコントラストが上だが、青、白色光ではほぼ変わらない。また、波長板は断熱フィルム2種類と比較して、最も高いコントラストを全ての角度で示している。波長板の方が断熱フィルムと比較して優れた性質を持つことがわかる。

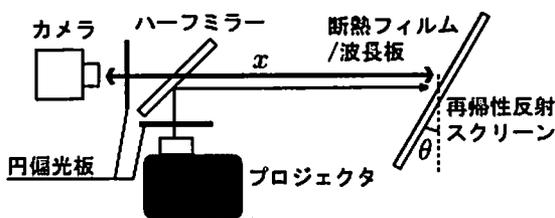


図6 3原色の輝度信号測定実験

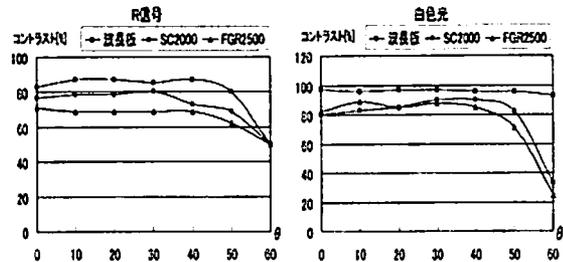


図8 スクリーンモードにおけるコントラスト

号値を輝度信号とし、白色光の反射光のみ式1で示される輝度信号 Y を用いた。

5 実験結果

4の実験結果を5.1.に示す。縦軸がコントラスト [%]、横軸がスクリーンの角度 θ [deg] である。カメラ・スクリーン間距離 x が変化しても、方式ごとの違いが見られなかったので $x = 90[\text{cm}]$ のデータを例として示す。

5.1 実験1 (マーカ－モード) 結果

マーカ－モードにおけるコントラストを方式・マーカ－パターンの材料ごとに図7に示す。マーカ－モー

5.3 実験結果まとめ

偏光方式はスクリーンモードでは優れているが、マーカ－モードでは入射角依存の問題から実用的ではない。赤外線方式はスクリーンモードでは波長板より性能が低いが、マーカ－モードにおいては波長板より安定した性能が得られる。

6 マーカ－を用いた投影実験と結果

実験の結果から、我々はスクリーンの機能よりマーカ－としての機能を優先し、赤外線方式 (FGR2500 を用いた) でバーチャル物体を操作するシステムの試作・実験を以下のように行った。ユーザの目と共役な位置

にプロジェクタを、さらにユーザの目と極力近い位置にカメラと赤外照明を設置した。そしてPCでスクリーン座標算出、投影画像のレンダリングを行い、再帰性反射材を表面に貼った立方体にバーチャル物体を投影した(図9)。なおマーカー画像の認識アルゴリズムには、ARToolKit[6]のライブラリを使用した。投影されたバーチャル物体は、ユーザの動かすスクリーンとほぼ一致した動きをとることが確認された(図10)。

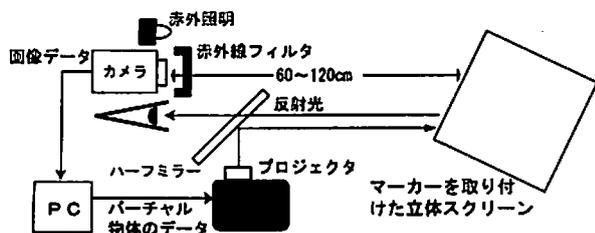


図9 マーカーつきスクリーンへの投影実験



図10 投影された物体(青いポット)

7 まとめ

バーチャル物体の把持・操作に適している提示系技術 RPT に、画像認識を用いた計測技術を適用することを提案した。その為に必要な迷彩マーカーを2方式提案し、評価・比較した。今回は赤外線方式で試作したが、偏光方式もスクリーンモードでの性能が高いなど優れた点がある。入射角依存の低い波長板を用いるか、より適した波長の光を用いればマーカーのコントラストの低下を解決できる可能性がある。

参考文献

- [1] 稲見, 川上, 柳田, 前田, 館: 現実感融合の研究(第1報) - シームレスな現実感融合手法の提案と試験的実装 -, 日本バーチャルリアリティ学会第3回大会論文集, pp.281-284, 1998
- [2] 稲見昌彦, 川上直樹, 柳田康幸, 前田太郎, 館 : オブジェクト指向型ディスプレイの研究(第2報) - 投影型オーグメンテッドリアリティへの応用 -, 計測自動制御学会 Human Interface N&R, Vol.13, No2, pp.219-222, 1999
- [3] 木島竜吾, 羽座健二, 多田嘉宏, 小鹿丈夫: 赤外像と頭部搭載型プロジェクタを用いたスクリーンとのインタラクション, ヒューマンインタフェース学会第7回研究会資料, 2000

- [4] 中里 祐介, 神原 誠之, 横矢 直和: 不可視マーカーを用いたウェアラブル AR システムの実環境における実証実験, 電子情報通信学会 技術研究報告, PRMU2004-135, pp. 7-12, 2004
- [5] 牧野秀夫他: 非可視型バーコードを用いた視覚障害者用物体案内装置の研究, 電子情報通信学会論文誌 D2, Vol.j80-D-2, No.11, pp.3094-3100, 1997
- [6] Billinghamurst M, Kato H, Weghorst S, and Furness T.A: A Mixed Reality 3D Conferencing Application (Technical Report R-99-1), Seattle: Human Interface Technology Laboratory, University of Washington, 1999

(2005年4月28日受付)

[著者紹介]

内田貴之 (学生会員)



平 16 東大・工・計数卒。現在同大学院・情報理工・システム情報学修士課程。日本バーチャルリアリティ学会学生会員。

圓道知博 (正会員)



1996年東京工業大学工学部卒業。1998年同大学院修士課程修了。2001年同博士課程修了。1998年通信・放送機構高度三次元動画像遠隔表示プロジェクト研究員。2002年科学技術振興事業団研究員。2004年名古屋大学助手。三次元映像情報の取得・表示方式の研究に従事。博士(工学)。

川上直樹 (正会員)



平 8 東工大・理工・電気電子修士課程了。平 11 東大・工・先端学際工学博士課程了。工博。現在同大学院・情報理工・システム情報学専攻講師。バーチャルリアリティの研究に従事。日本バーチャルリアリティ学会会員。

館 障 (正会員)



昭 43 東大・工・計数卒。昭 48 同大学院博士課程了。工博。同年同大助手。昭 50 通産省工技院機械技研研究員, 主任研究員, 遠隔制御課長, バイオロボティクス課長。マサチューセッツ工科大学(MIT)客員研究員を経て, 平 1 東大・先端科学技術研究センター助教授。平 4 同センター教授。平 6 同大学院・工・計数工教授。平 13 同大学院・情報理工・システム情報学専攻教授。盲導犬ロボット, テレグジスタンス, 人工現実感などの研究に従事。IEEE/EMBS 学会賞, 通産大臣賞, 国際計測連合(IMEKO)特別勲功賞などを授賞。IMEKO ロボティクス会議議長, SICE フェロー, 日本バーチャルリアリティ学会初代会長。