

LI-3 室内空間への情報投影を目的とした実環境モデルの自動獲得

Automatic Scene Modelling of Indoor Environments for Ubiquitous Display

徳田 泰久†
Yasuhisa Tokuda

岩崎 慎介†
Shinsuke Iwasaki

佐藤 洋一‡
Yoichi Sato

1 はじめに

現在、ヒューマンインタフェースの表示デバイスとしては固定モニタが一般的である。しかしながら、固定モニタを利用するには、当然、端末のある場所へ行かなければならないという制限がある。例えば、物の在処や出口などの案内、棚の収納検索などのように、その場その場で表示を行える方が分かり易い場面がある。そこで、壁や机、床などの現実空間へ電子情報を重畳表現する、拡張現実感に基づいた情報提示の手法が提案されている。このような従来の枠組を越えた様々なインタラクション手法が研究されているが、その中でも専用デバイス非装着型の手法について考える。

非装着型のシステムとしては、大きく分けて1) 多数のプロジェクタによって室内空間に表示する手法、2) 小数のパンチルト機構のプロジェクタによって室内空間全体に表示する手法、の2種類がある。前者の例としては Office of the Future[5], Smart Projectors[6] などが、後者の例としては Everywhere-Display Projectors[4] などが発表されている。

これらの従来手法には実際の空間で使用するには困難となる課題がある。例えば、環境の変化に対応することができない点、投影面の光学的特性を考慮していない点などである。

そこで、提案手法ではこれらの課題の解決を目指す。前者の課題である動的な形状の変化に対応するために、環境モデルの自動更新を行う。これには形状を2段階に分けて計測することに対応する。はじめに、時間分解能が高く、空間分解能の低い計測を行う。つまり、空間的な解像度の粗いデータを高速に計測しておく。これにより環境の変化を検出して、プロジェクタによる投影場所の候補を決定する。しかしながら投影面としての適合度を判断するのに十分な解像度は得られない。したがって、次に時間分解能は低いが空間分解能の高い計測を行う。すなわち、より高密度で形状データを取得する。この計測法は処理時間のかかる作業であり、室内空間全体の変化の計測に用いるのは現実的でない。したがって、低解像度の形状データから決定した投影候補に対して高解像度の形状データを取得することで環境の変化に対応しつつ、十分な密度の計測をすることが可能となる。

後者の、投影面の光学的特性を考慮していないという課題に対しては、幾何学的側面、光学的側面の両面から判断を行うことで対処する。幾何学的には、投影に適している場所として平面を抽出する。次に、光学的側面として、抽出された平面に対して反射特性が投影に適しているかどうかを判断することで投影面としての適合度を考慮する。

以下、提案手法について述べる。

2 動的な変化への対応

投影に適した面を見つけるためには、室内の形状や反射特

†東京大学大学院 情報理工学系研究科

‡東京大学 生産技術研究所

性などといった環境の情報を取得する必要がある。この節では、まず、レンジファインダを用いた室内形状の大まかな測定について述べる。その中から投影を行う場所の候補を見つけ、カメラとプロジェクタを用いてその投影場所付近の形状をより密に計測する方法について説明する。

2.1 大まかな3次元形状の取得：

レーザレンジファインダの利用

はじめに、環境の変化を検出するために、室内の概略形状を高速に計測する。この計測では図1に示す一軸のレンジファインダを用い、これを回転させることで室内全体の形状を測定する。1回のスキャンによりデータが一軸で得られ、それぞれのスキャンの結果を座標変換して統合する。室内全体の形状を取得するのにおよそ毎分1回～数回程度測定することができるので、室内の形状変化に比較的高速に対応することができる。

このようにして測定された室内形状データ(図2)から、平面領域を抽出しておき、投影を行う場所の候補を決める。ただし、レンジファインダから得られる測定結果のみで投影面としての判断を行えるわけではない。つまり、解像度においてプロジェクタでの投影に十分な精度を得ることができないからである。また、レンジファインダとプロジェクタの置く場所が異なる限り、レンジファインダから見える部分でもプロジェクタから死角になっている部分も存在する。

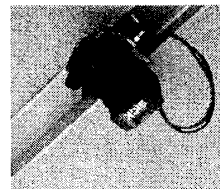


図1. レーザレンジファインダ：SICK LMS200



図2. レンジデータから得られた室内形状

したがって、別の計測系によって投影部分付近についてより高密度の形状計測を行うことが必要となってくる。

2.2 詳細な3次元形状の取得：

カメラ-プロジェクタ計測系の利用

レンジファインダにより室内環境の大体の形状を把握することができたら、実際に投影する場所付近の詳細な三次元形状を取得することが必要となる。

ここでは、キャリブレーションを行ったカメラとプロジェクタを用いて距離画像計算を行う[3]。具体的には、時系列空間コード化法を用いたグレイコードパターン投影による距離画像計測システムを使用した。

図3のような場面に対して、図4のようなレンジデータを得ることができた。レンジファインダでの計測結果と比較すると十分な分解能であることが分かる。

このようにレンジファインダとカメラ-プロジェクタ測定系の両方を行うことで、速度と密度の両面に優れた室内形状の測定が可能となる。

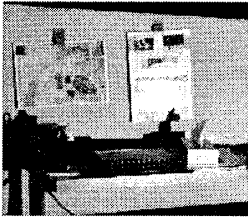


図 3. 計測背景



図 4. レンジデータ

3 投影面としての適合度の判定

情報を正しく投影するためには、形状測定結果中のどの部分が投影面として適しているかを判断しなければならない。まず、幾何学的に適している場所、すなわち平面領域を抽出する手法について触れる。さらに光学的側面として、抽出された平面の反射特性を測定し、投影に適している領域を抽出する作業について述べる。

3.1 平面領域抽出

取得したレンジデータから投影に適する場所を見つけるために、まず、幾何学的に投影に向いている領域を抽出する。幾何学的な側面から判断すると、平面に近い領域で、かつ面積が大きい場所が投影に適していると言える。そこで、レンジデータから平面領域を抽出する。具体的には A.Hoover らによる手法 [2] を利用した。

分割された平面の例を図 5, 6 に示す。壁とポスターなどに分割されていることが分かる。

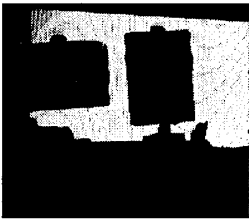


図 5. 平面領域 1

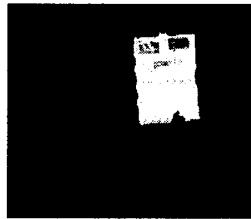


図 6. 平面領域 2

最後に分割された平面に対して、それぞれ反射特性が投影面として適しているかどうかを調べる。

3.2 反射特性測定

投影面としての適合度は光学的特性にも依存する。具体的には、できるだけ彩度が低く明度の高い領域が被投影面に適している。すなわち、色が白に近く明るい領域である。また、領域内で色が均質である必要がある。

光学的特性を考える際には、反射特性として拡散成分と鏡面成分の 2 種類を考慮する必要がある。拡散反射は物体に入射した光が物体内部で散乱して放出される反射成分で、物体の色を示すものであり、視線方向には依存しない。鏡面反射は物体の表面で反射する光で、光源と物体表面と観測者が正反射方向に近い関係にある場合に観測される。

プロジェクタとカメラの位置が固定である場合には、光源方向および観測者の視点が一定となり、鏡面反射パラメータを推定することが困難となることから、ここでは拡散反射のみを考慮し、Lambertian model を仮定して反射率を計算する。

拡散反射率が測定できたら、その分布から同一反射特性を持つと推定される領域を抽出する。ここでは、D.Comanicu らによる Color Image Segmentation [1] を利用している。

反射特性分布測定の結果、図 3 の場面は図 7 のように分割することができた。これにより、ほぼ同色とみなせる領域が抽出されている。また、ポスターなどは反射特性が激しく変化していることが分かる。

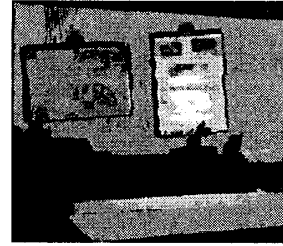


図 7. 拡散反射係数による領域分割

以上の計算では、鏡面反射を考慮していないため、実際に投影すると鏡面反射が発生する可能性がある。ここでは、以下のようにして鏡面反射を防ぐことを考えている。現在のシステムで投影対象平面、およびプロジェクタの位置は既知である。そこで、別の手法によりユーザの位置や向きが把握できれば、プロジェクタと平面、ユーザとの関係が正反射関係に近い場合には投影を行わないという判断を行うことによって鏡面反射の発生する状況が減ると考えられる。

4 まとめと今後の課題

固定モニタに代わって、室内空間を被情報提示面として利用するために、従来手法の課題を解決する手法を提案した。環境の変化に対応しつつ、測定精度および密度を保つために、レンジファインダによる計測により大まかな室内全体の形状を、カメラ-プロジェクタ測定系により投影面付近の詳細な形状の測定を行うという 2 段階処理の枠組を提案した。

また、形状データを取得した後、投影面としての適正を判定するために、まず、レンジデータから平面領域を抽出した。さらにその平面での反射特性を拡散反射を仮定することで計測し、同一と判定される領域を選択した。

今後はパンチルト機構をプロジェクタに導入することにより室内の様々な方向へ表示をすることや、幾何学的かつ光学的補正を行った画像を実際に投影することなどを考えている。また、空間内でのユーザの位置検出を行うことによって、ユーザのいる場所への情報提示を可能にし、同時に鏡面反射を防ぐ必要がある。

参考文献

- [1] Dorin Comanicu and et al. Robust analysis of feature spaces: Color image segmentation. *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition '97*, pp. 750-755, 1997.
- [2] Adam Hoover and et al. An experimental comparison of range image segmentation algorithms. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 673-689, 1996.
- [3] 井口征士, 佐藤宏介. 三次元画像計測. 昭晃堂, 1990.
- [4] Claudio Pinhanez. The everywhere displays projector: A device to create ubiquitous graphical interfaces. *Proc. Ubiquitous Computing 2001*, 2001.
- [5] Ramesh Raskar and et al. The office of the future: A unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays. *Proc. ACM SIGGRAPH 98*, pp. 33-33, 1998.
- [6] Rahul Sukthankar and et al. Smarter presentations: Exploiting homography in camera-projector systems. *Proc. International Conference on Computer Vision '01*, 2001.