

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870905

研究課題名(和文) 実世界の経時的変化に対応する動的屋内環境モデリング技術

研究課題名(英文) Dynamic modeling for keeping up-to-date environment models

研究代表者

一刈 良介 (Ichikari, Ryosuke)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・人間情報研究部門・産総研特別研究員

研究者番号：70582667

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：サービス工学において、サービス現場の屋内環境のモデル化は従業員等の行動観測結果の可視化・分析において重要であるが、既存モデリング技術は、経時的な実環境の変化に対応することが難しかった。本研究では、写真から3次元モデルを作成する技術をベースとして、既存モデルの更新・編集に関する機能拡張、モデルの削除時や編集時に必要となるテクスチャ補修技術Inpainting、RGB-Dカメラを用いて自動的に複雑形状をモデリングする機能の導入により拡張した動的モデリング技術へと発展させた。研究成果は、屋内環境モデリングの実事例に利用した他、遠隔地の仮想観光体験アプリのための現場モデルの動的更新に活用した。

研究成果の概要(英文)：In the field of service engineering, 3D computer graphics models of the concerned environment are used for visualizing and analyzing the related worker's performance. The existing modeling methods are not designed well for maintaining the contents to meet the changes of the target environment. Here, we have developed the dynamic modeling techniques which accurately maintain the up-to-date changes of the real environment. Our dynamic modeling method is the upgraded version of our Interactive 3D modeling technique which designs the 3D model from the simple 2D photographs. The dynamic modeling includes the features for updating, editing and deleting the CG models and texture correction with the Inpainting techniques. We have also adopted RGB-D cameras for automatically reconstructing the 3D models of the complex environment. Based on our dynamic modeling, we have released an application to experience the up-to-date virtual CG model of the Kesenuma Yokochi food stall village.

研究分野：サービス工学

キーワード：動的モデリング RGB-Dカメラ Inpainting サービス工学 コンピュータグラフィクス バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

科学的・工学的なアプローチにより、サービス業の生産性の向上をめざすサービス工学において、サービス現場の屋内環境モデルは、センサ等による従業員の行動計測結果の再現・可視化などに用いる重要な要素の1つである。これまで申請者の所属する研究グループでは、写真から対話的に3次元空間マップを作成できるツール(図1)が開発されており[1]、数多くの現場のモデル化に利用されてきた。日々刻々と変化するサービス現場において中長期的な計測に利用する場合、一度作成したモデルと実状との乖離がないようにモデルデータを更新する必要がある。しかしながら、既存手法は同時刻に撮影された写真群を基に静的なモデルを作成することを想定しており、モデルの更新・編集のための十分な機能を用意されているわけではなかった。そこで、当グループの屋内環境モデリング技術に関して、既存モデルの更新・編集を可能にすることや、写実性・整合性を向上させる改良を行い、新たな動的モデリングツールへの拡張を行う必要があった。

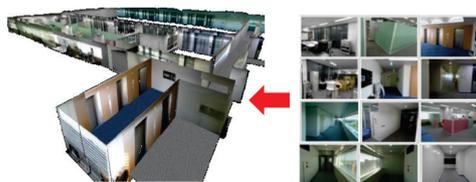


図1：写真からの屋内環境モデルの制作技術

2. 研究の目的

サービス現場・プロセスの効率化のための分析・可視化に用いられる屋内環境のコンピュータグラフィクス(CG)モデル作成技術において、実環境の経時的な変化に対応する動的モデリング技術を提案する。同グループで開発してきた既存の屋内環境モデラをベースにしながら、再利用性・編集可能性、テクスチャ・幾何形状の整合性に関する機能を追加する。また、RGB-Dカメラなどの撮影・計測機器を導入して、大規模な環境モデル計測の実時間化・自動化・高精度化、計測と行動認識の両立を行うことで、既存モデラの形態にとらわれない新たな動的モデリング手法についても提案する。

3. 研究の方法

本研究では、既存のモデラを拡張し、再利用・編集を行う際に問題になる点への対処、生成可能なCGモデルの品質やモデリング作業の制約の解消につなげるため、(1)(2)の研究開発項目に分けて実施し、それらの開発成果の実証、成果の公開のために(3)実証実験を実施した。

- (1) 予めモデリングされたモデルの更新、修正のための機能拡張と更新時の整合性の追求
- (2) RGB-Dカメラ等の計測技術を用いた発展

動的モデリング

- (3) 実現場での利用による環境モデルのモデリングと更新の実証実験
- 以降では、それらの研究開発項目で実施した研究方法に関して述べる。

- (1) 予めモデリングされたモデルの更新、修正のための機能拡張と更新時の整合性の追求

屋内環境モデラにより作成したモデルを再利用可能とし、現状の実環境と同じ状態に更新するためのモデラの機能拡張を行う。

既存モデルの機能拡張としては、これまで平面の組み合わせだけであった基本幾何形状を充実させ、それらに対しても従来のプロジェクトテクスチャマッピング(PTM)を実施する。更新時にコンテンツを修正するためには、すでに存在している物体を消去したのちに、新たな物体で置き換える必要がある。オブジェクト単位で消去することは既存のモデラでも可能であるが、テクスチャ内に不要なものが存在する場合は、テクスチャ内の不要なものを視覚的に消去した後に適切にそのエリアを埋める必要がある。その部分は図2に示すようなInpainting技術により適切なテクスチャで埋める。

既存モデラではPTMを利用し、少ない平面の組み合わせることで、3次元CGモデルを作成していたため、現実の幾何形状とモデル化した幾何形状とに差異が大きい場合や、かなりテクスチャを投影する角度が平面の法線方向から大きく離れる場合には、テクスチャにひずみが生じる問題があった。このようなテクスチャの歪の問題をShape-From-Texture[2]で推定される平面のパラメータにより推定する。



図2：Inpaintingを用いたテクスチャ修正

- (2) RGB-Dカメラ等の計測技術を用いた発展的動的モデリング

RGB-Dカメラは、近年Microsoft社のKinectをはじめ、コンシューマ向けにも多数の製品が作られるなど注目を集める技術である。また、ごく最近ではIntel社のRGB-DカメラReal SenseがタブレットPCに搭載され、モバイル型のものまで供給され始めている。このRGB-Dカメ



図3：RGB-Dカメラを用いたモデリング

ラを用いれば、実環境の実時間更新や自動的な幾何形状の取得等が可能となることから、発展的モデリング法に活用する。また図3のように、高機能計測技術で詳細に計測したい実環境の一部のみを計測し、既存モデラと統合することで、部位に応じて精度や手法を選択できるようにする。

既存モデラは、PTMを活用していることから、RGB-Dカメラを用いたモデリングにおいても、このようなマッピング方法を活用して、できるだけ同一の枠組みでモデルデータを扱い、レンダリングできるように配慮する。現状、RGB-Dカメラを用いた物体モデリング法はいくつかすでに存在しているが、色情報が得られなかったり、色情報やテクスチャ情報があっても、不鮮明な場合が多かった。本研究では、鮮明なテクスチャマッピングが期待できる上記のPTM形式を採用し、テクスチャ間の光学的整合性に関しても考慮する。

(3) 実現場での利用による環境モデルのモデリングと更新の実証実験

開発中のモデラを活用した実際の現場でのモデリング作業で活用することで、モデラの評価を行う。本研究においては、東日本大震災の被災地復興のために建設された復興屋台村気仙沼横丁をテストベッドとして、気仙沼横丁のPRや経済活動の支援を行う取り組みにおいて活用すること開発技術の実証評価を行う。具体的には、気仙沼横丁を3次元CG空間内に再現して仮想的観光体験を提供するアプリを開発し、現地モデリング作業・コンテンツメンテナンス作業において研究成果の活用を行う。アプリ開発においては、見た目だけはわからない現地の近況をモデリング・モニタリングする手段として、ソーシャルメディアに行き交う情報の自動的な収集を行う。このような取り組みも広義の動的モデリングと位置付け、店舗の外観モデルに重畳して提示することで、アプリの体験者が対象の近況を把握できる手段を構築する。

このように気仙沼横丁のアプリを現地の近況の取得、更新のために役立つ取組を実際にアプリに導入して、動的モデリング技術の評価や、遠隔地の疑似体験手法の技術開発を行う。具体的には、多くの方も体験できる携帯端末版や、没入感高く体験できるHMDを用いた没入型VR版のアプリも開発するなど、用途や携帯にわけてマルチプラットフォームでアプリを展開する。携帯版においては、現地の来場者向けのアプリとしても利用可能であり、来場者に情報収集をしてもらう方法についても検討する。

4. 研究成果

3. 研究方法で紹介した項目にわけて、その成果を紹介する。

(1) 予めモデリングされたモデルの更新、修正のための機能拡張と更新時の整合性の

追求

【基本幾何形状を充実】

既存モデラに対する基本幾何形状の追加の取り組みとしては、代表的な幾何形状として考えられる、箱(四角形)、球、多角柱、多角錐などを基本幾何形状として追加できるように実装した。これまでのPTMと平面の組み合わせによるモデリング作業で生成したモデルデータとのフォーマットの整合性や、描画部分の整合性を取るため、各プリミティブは要素平面を組み合わせることで出力する方法を取った。それぞれのプリミティブのパラメータ(例えば、球の大きさ、円柱の高さなど)は、モデリング作業時にGUIにより実時間で切り替え、モデリング結果を可視化しながら自由に設定・変更できるようにした。基本幾何形状を利用したモデリング結果として、気仙沼横丁のステージを箱と球を用いてモデリングした結果を図4に示す。



図4：基本幾何形状を用いたモデル

今後の展望としては、現状では手動で変更している各幾何形状のパラメータを入力画像から自動的に推定する自動的なフィッティングを行いたいと考えている。現在、そのような目的として、Shape-From-Textureの概念を用いた画像中の面の方向の推定結果を用いたパラメータ推定について検討を進めている。

【モデラでのInpainting技術の活用】

モデラにおいて、Inpainting技術は、ユーザがテクスチャ画像中で指定した領域の物体の視覚的な削除や、カメラ撮影位置の平面との関係で他の平面で隠蔽された平面を適切なテクスチャを推定して埋めるといった使い方がされる。本研究においては、Inpainting手法の改良として、上記の対象領域以外でテクスチャマッピングに関して修正が必要となる“隠蔽はされていないがテクスチャの歪みが大きい部分”を見つけて処理を施すことを行った。テクスチャマッピングの修正においては、通常の幾何形状の変更は行わない純粋なInpaintingに加えて、法線方向を変えた新たな平面を定義する幾何的な変更も加える処理で対処することとした。本研究では、テクスチャの歪みが大きいエリアの推定と適切な平面方向の推定の両方のため、Shape-From-Textureの概念を導入し、1枚の画像からの画像パッチの法線の方向の

推定結果を利用している。この手法では、近接画像パッチ間の周波数関係の解析によりアフィン行列を推定し、そこから画像の法線情報を取得している(図 5)。前述の隠蔽領域とまとめテクスチャの修正が必要な個所とその修正結果を図 6 に示す。



図 5 : Shape-From-Texture による法線推定

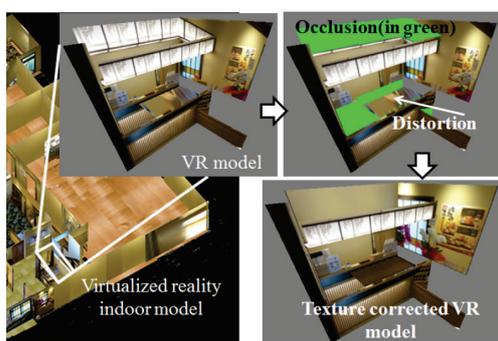


図 6 : 隠蔽と歪みに関するテクスチャ修正

(2) RGB-D カメラ等の計測技術を用いた発展的動的モデリング

【RGB-D カメラデータと既存モデラデータの共存】

RGB-D カメラの屋内環境モデリングへの活用に関しては、まず既存のモデリング結果と RGB-D センサにより得られる幾何情報とを統合して、同一空間に共存させることから取り組んだ。RGB-D カメラの活用による自由な幾何形状を扱うことができた。通常の RGB-D カメラからの出力がポイントクラウドとよばれる点群データであるが、本研究では点群データをメッシュと呼ばれる面を持つ形態に変換し、既存モデラのモデルデータとの整合性を確保した。また、メッシュの生成時には、KinectFusion のような複数フレームの RGB-D カメラ画像を統合して 1 つのメッシュを作成するプログラムを活用し、様々な角度から見ても抜けのないメッシュ形式を採用した。既存モデラと RGB-D カメラ由来のメッシュデータとを共存させるには共通の座標系に変換する必要があるが、座標系間の変換には、対応する点を手で指定するだけの簡単な手順で変換行列を行えるようにした。このようなインフェースを用いた既存モデラと RGB-D カメラ由来のデータを共存させた例を図 7 に示す。



図 7 : 既存モデラのデータと RGB-D カメラ由来のデータの統合結果

【RGB-D カメラ由来のメッシュデータを用いた PTM】

近年 RGB-D カメラを用いた 3 次元メッシュの生成技術として多くの手法が公開されているが、色情報が鮮明に記録される満足のいくテクスチャマッピングがされているものはあまりなかった。KinectFusion のような RGB-D カメラを用いた手法では、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) と呼ばれる技術を用いて撮影時のカメラ位置の推定が可能である。本研究では、この SLAM を利用して、カメラ位置とその際のカメラ画像、計測されたメッシュデータを利用することで、RGB-D 由来のメッシュデータに対してカメラ画像を投影する PTM を行う。その際に投影するテクスチャは、できる限り継ぎ目が目立たないように、ユーザが継ぎ目になる切り替わりを手動で指定したり、より法線方向に近いカメラ角度の画像を採用したりするなど、光学的整合性をできる限り保つ工夫を行った。本手法により取得できたテクスチャ付き CG モデルを図 8 に示す。

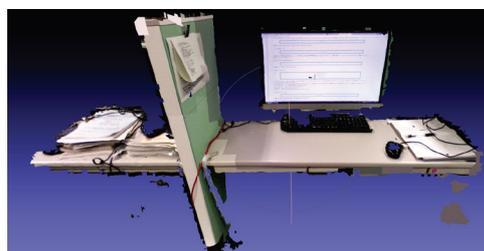


図 8 : RGB-D カメラデータによる PTM

(3) 実現場での利用による環境モデルのモデリングと更新の実証実験

【可視化研究における実証】

本研究で開発したモデリング技術の研究成果は、グループ内でのサービス工学的分析時に用いる屋内 CG モデルのモデリング作業や可視化に関する研究プロジェクトに用いることで有効性の実証を行った。具体的に CG モデルの作成に利用した事例としては、がんこフードサービスの新規店舗、トラスコ中山の物流倉庫、復興屋台村気仙沼横丁、G 空間 EXPO などの展示会場モデリングなどで活用した。実事例の活用を通じて、複製機能等の改善や大規模データの効率的な取扱いの改良につながるフィードバックが得られた。

【テストベッドとしての気仙沼横丁アプリ開発】

気仙沼横丁では、3. で示した通り、3次元CG空間で横丁を再現し、仮想観光体験を可能とするアプリの開発に研究成果を活用した。アプリ内で体験する横丁の各屋台の外観のCGモデルのモデリング・更新作業に用いるだけでなく、体験者が横丁の“今”を体験できる状態は情報更新の仕組みを導入した。

情報の収集方法としては、SNSに投稿される気仙沼横丁や各店舗に関する投稿内容をWebクロール技術を用いて自動的に収集した。集められた情報は、内容を各店舗に選別し、図9に示すように、店舗の前に重畳表示する機能を実装した。記事の鮮度にも注目し、記事の投稿日時、記事の内容から推測される記事が有効な期間を推定する手法を開発し、“旬”の“の記事と過去の記事とを分けられるような工夫も行った。記事有効期間の推定方法としては、時間に関するキーワードや表記方法を登録しておき、それらが発見された場合には対応した記事有効期間を設定する方法を取った。同様に、各店舗のメニュー情報・イベント情報に纏わる情報についても収集できるよう発展させた。

このような、最新の情報コンテンツを提示することで、アプリで体験できる内容が日々変わること、飽きずに何度もアプリを体験してもらえることに役立ち、PRの観点からも重要である。場に行き交う情報を集めることは、広義の場の動的なモデリング作業と位置付けている。横丁の事務局関係者のヒアリングや、デモ展示の際の体験者のフィードバックにおいても好評であり、その有効性が伺えた。

【アプリのマルチプラットフォーム化】

気仙沼横丁アプリは、3. に示した通り、用途に応じて機能や表示方法を変えてマルチプラットフォーム展開を行った。Webアプリ版では、開発成果を広く公開する目的として、Webブラウザだけで動作する機能やインタフェースを導入し、気仙沼横丁の公式Webサイトにおいて、すでに公開を行っている。スマートフォン・タブレット版に関しては、いつでも・どこでもアプリを体験できるよう



図9：気仙沼横丁アプリにおけるCGモデルと近況情報の表示



図10：テキスト更新用写真撮影機能

な可搬性を考慮しての展開である。このような形態のアプリは現地でも利用可能になることから、現地での利用を想定した機能拡張を行った。

機能拡張としては、図10に示すような、CGモデルの更新用の写真の収集のための支援機能を実装した。本機能では、店舗の変更の外観等に変更があった際、現地にいる来場者が携帯端末の搭載されたカメラで撮影することでCGモデルの更新用の写真を取得し、カメラ位置・角度と共にシステムに登録できる。他にも、各店舗にBLEビーコンを取り付けていただき、スマートフォンがビーコンを認識することで、実際に店舗に来場したことをアプリから把握可能とした。将来的には、このようなユーザの来場履歴等に合わせた各店舗のサービス展開が期待できる。

近年、HMD(Head-Mount Display)の低価格化に伴う普及が進み、VR技術がブームになっている。このようなHMDを利用して、気仙沼横丁内を没入しながら体験可能にすることで高いPR効果が期待される。HMDを利用したVR版気仙沼横丁アプリを実装し、図11に示すように、OculusRiftを利用した高視野角・両眼立体視による没入VR体験を可能とした。HMDとPC以外のデバイスが必要なく全操作を可能にすることで、機材の必要要件を緩和している。VR空間内の移

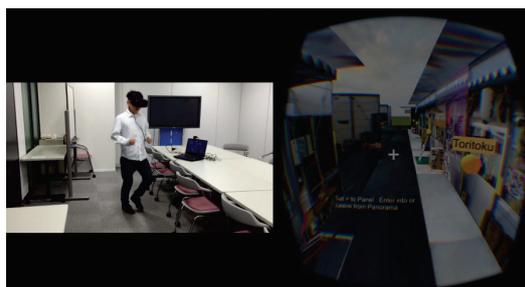


図11：VR没入版気仙沼横丁アプリ

動用のインタフェースとしてはHMDのヘッドトラッキング用センサ出力を利用した視線方向把握と足踏み動作の認識による姿勢方向への移動方法を導入した。店舗内への移動や記事の確認に必要なGUIの操作も、画面に配置した中央のカーソルを利用して行えるようにした。

Oculus版アプリは、各種デモ展示において大変好評であり、今後も遠隔地の仮想体験用のプラットフォームとして一般化し、活用できる可能性が示唆される。このOculusRift版のアプリも気仙沼横丁のWebサイトにおいて公開を行っている。

<引用文献>

- [1] T. Ishikawa, T. Kalaivani, M. Kourogi, A. P. Gee, W. Mayol, K. Jung, and T. Kurata, In-Situ 3D Indoor Modeler with a Camera and Self-Contained Sensors, Virtual and Mixed Reality (HCII2009), Vol. LNCS 5622, pp.454 - 464, 2009.
- [2] J. Malik, and R. Rosenholtz, Computing local surface orientation and shape from texture for curved surfaces. International Journal of Computer Vision, 23(2), pp. 149-168. 1997.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 6件)

- ①山下諒, 上間大生, 一刈良介, 蔵田 武志: 気仙沼横丁の「今」を疑似体験できる3Dアプリの提案 ~ソーシャルメディアの投稿記事との連携~, HCG シンポジウム 2014 (2014.12)
- ② Kalaivani Thangamani, Ryosuke Ichikari, Takashi Okuma, Tomoya Ishikawa, Takeshi Kurata: Geometry and Texture Measures for Interactive Virtualized Reality Indoor Modeler, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences(2015.5), 査読あり
- ③ Ryosuke Ichikari, Ryo Yamashita, Kalaivani Thangamani, Takeshi Kurata, Up-to-date Virtual UX of the Kesenuma-Yokocho Food Stall Village: Integration with Social Media, Proc. of SIGGRAPH Asia 2015 Symposium on Mobile Graphics and Interactive Applications, Article No. 6 (2015.11), 査読あり
- ④下仲悠希, 一刈良介, 蔵田武志: 継続的な気仙沼横丁3Dモデル更新のための現地参加型アプリの実現に向けて, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム, 富山市(2015.12)
- ⑤内藤峻, 山下諒, 一刈良介, 蔵田武志: 気仙沼横丁の「今」を伝える3Dアプリ ~

ソーシャルメディアからの飲食・イベントに関する投稿記事の抽出~, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム, 富山市(2015.12)

- ⑥ Kalaivani Thangamani, Ryosuke Ichikari, Takashi Okuma, Takeshi Kurata: Indoor 3D Modelling with RGB and Depth Images for Service Field Simulation", Proc. International Conference on Big Data Applications and Services (BIGDAS2016)(2016.1)査読あり

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

〔その他〕

【受賞】

・HCG シンポジウムオーガナイズドセッション賞(共著者, 2014.12)

【技術展示, 公開】

- ①気仙沼横丁の公式ホームページにおけるバーチャル気仙沼横丁アプリの公開
<http://www.fukko-yatai.com/appli/>
WebGL版:
<http://www.fukko-yatai.com/webgl/>
OculusRift版
<http://www.fukko-yatai.com/oculus/>
- ②HCG シンポジウム2014の口頭発表に付随して, ポスター発表および気仙沼横丁アプリと科研費研究の紹介
- ③AWE2015 (Augmented World Expo, 2015年6月8-10日@Santa Clara, CA)にて, 気仙沼横丁アプリのデモと科研費研究を紹介するポスターを展示
- ④2015年産総研一般公開(産総研つくばセンター, 2015年7月18日)にて, 気仙沼横丁アプリのデモと科研費研究に関する研究紹介パネルの展示(展示名: 気仙沼の復興屋台村をバーチャルに体験)
- ⑤SIGGRAPH Asia 2015 Symposium on Mobile Graphics and Interactive Applicationsの口頭発表に付随して, 気仙沼横丁アプリのデモと科研費研究に関する研究紹介パネルの展示
- ⑥HCG シンポジウム2015の口頭発表に付随して, ポスター発表および気仙沼横丁アプリと科研費研究の紹介

6. 研究組織

(1) 研究代表者

一刈良介 (ICHIKARI, Ryosuke)

産業技術総合研究所・人間情報研究部門・産総研特別研究員

研究者番号: 70582667

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし