

ビルボードレンダリングによる 広域環境の写實的レンダリングシステムの提案

若元 友輔[†] 福元 和真[†] 山口 祐之[†] 川崎 洋[†] 子安 大士^{††}
前川 仁^{††}

[†] 鹿児島大学大学院理工学研究科 〒 890-0065 鹿児島市郡元 1-21-24

^{††} 埼玉大学大学院 理工学研究科 〒 338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

E-mail: †sc108062@ibe.kagoshima-u.ac.jp

あらまし 都市などの広域空間をコンピュータ上で再現する研究は古くから行われている。これまでこれを実現するために良く用いられてきた手法としては、建物など 3 次元的データを予め用意し、これを Model Based Rendering(MBR) で描画する手法である。しかし、実世界の形状データの取得は容易ではなく、データ作成の多くを人手に頼る必要があることから、広域化は難しかった。この問題を解決する方法として Image Based Rendering(IBR) が知られている。IBR 手法では、十分な画像データがあれば、それらを合成することで人手を介さずに現実感豊かな描画を行うことができる。しかし、そのような膨大なデータの取得と保存、および実時間での合成には課題が残されている。近年、MBR と IBR を組み合わせて上記を解決する手法が提案されている。本論文ではさらに従来の IBR + MBR 手法に、ビルボードレンダリングを加えることで、より少ないデータで写實的に描画可能なシステムを提案する。本システムを用いれば、欠損や誤りを含んで復元された広域空間でも、より現実に近い形で再現できる可能性がある。

キーワード 3次元計測, 都市, 車載ステレオカメラ, 3次元復元, イメージベースレンダリング

1. はじめに

近年、コンピュータビジョンおよびグラフィックス分野の研究・技術開発の著しい発展にともない、3次元モデルにより仮想空間を生成する研究がカーナビゲーションやドライビングシミュレータ、都市計画などの基礎技術としての関心を集めている。実際のシステムとして Google Earth や Google Street View, Microsoft の VirtualEarth, 広域空間のデジタルアーカイブなどのアプリケーションも提案・実用化されている。

一般にこれらのシステムに利用される 3次元モデルは、幾何形状のモデルをベースにした Model Based Rendering(MBR) で作られている。しかし、そういったシステムは樹木のような複雑な形状の物体をモデル化するのが困難といった問題点がある。一方、実画像をベースとした Image Based Rendering(IBR) という表現手法では、予め蓄積した複数の画像をもとにして、これを組み合わせることで任意の視点に対する描画を行うことができるため、十分なデータさえあれば複雑な形状や反射特性をもつ物体も簡単に、豊かな現実感を持ってレンダリングすることができる。しかし、都市のような広域空間で IBR を行うと、データ数が膨大になりすぎるという問題点がある。

先行研究において、佐藤らは MBR と IBR を組み合わせたドライビングシミュレータの開発をおこなった [17]。先行研究の手法は全方位画像を組み合わせて生成した自

由視点画像を、正面と側面に生成した板のモデルそれぞれに圧縮をしたテクスチャをマッピングすることで、膨大になってしまうデータを縮小して実現できるというものだった。しかし、先行研究で描画されるモデルは、テクスチャをマッピングしただけのラフな平面であり、実環境の形状と違うため、平面ではないものなどを描画しようとする、本来は大量のテクスチャが必要となってしまうため、圧縮した状態では歪みなどが発生してしまう。また、交差点や曲がり角など、本来空間的に奥行きが必要な箇所に関しては描画ができないといった問題点があった。

そこで、本論文では、上記の問題点を解決するために、平面による実際の形状に近い概形を MBR で用意し、これに IBR を用いてレンダリングする方法を提案する。つまり、佐藤らのレンダリングシステムが MBR よりも IBR に比重をおいていたのに対し、提案するシステムは IBR よりも MBR に比重をおいているといえる。この手法実現するために、常に視線方向を向くビルボードと呼ばれる平面を概形として利用する。また、MBR に必要な 3次元形状の復元手法についても説明する。加えて、提案したシステムを実装し、実験を行ったところ、復元形状を違和感なくレンダリングすることができた。

2. 関連研究

街のような広域空間のレンダリングする研究は広く行われている。その際に必要な手法として大きく、シーン

の「取得」と「描画」の2つに分けられる。効率的な取得方法としては、古くは航空写真[2]の利用に始まり、最近では車載カメラの使用や[4],[16]飛行船の利用などが行なわれている[9]。我々は車載カメラに全方位カメラを設置して取得するアプローチを取る。

一方、描画に関しては大きく MBR と IBR の2つのアプローチが知られている。これまではハードウェアで効率良く描画できることから、主に MBR がよく利用されてきた[3],[7]。しかし、MBR で描画するには正確な地形データが必要なことや、データサイズが巨大になるという問題がある。この問題の解決手法として IBR によるアプローチが提案されている。例えば、左右両目用の画像を合成することで自由に広域を歩き回ることを実現した研究や[5]、短冊状のスリットを用いた手法[15]などがある。しかし、IBR は膨大なデータが必要なことから一般に利用することは難しい。

また、実画像をベースにレンダリングを行う技術として、作成したモデルに画像をテクスチャとしてはりつける Image Based Modeling and Rendering (IBMR) という手法がある。IBMR は特定のモデル(建物など)を対象とする手法[1]と、一般的な投影幾何的の性質を利用する手法[8]がある。加えて、IBR と MBR を組み合わせた研究としては、永塚らによる広域空間の効率的モデリング方法[16]があるが、平面形状のみを用いるため、問題が発生する。本論文では、山崎らによる微小平面を用いた複雑形状の表示手法[10]を適用することで、永塚らの手法の問題点の解消を目指す。

3. 概要

提案するレンダリングシステムは、次の3つの処理から構成される。

- (1) 全方位ステレオ画像の撮影
- (2) シーンの3次元形状復元
- (3) MBR+IBR レンダリング

(1) は全方位カメラを車載して計測を行い、全方位ステレオ画像対を得る。(2) は撮影した全方位ステレオ画像対を用いて深澤らの全方位ステレオ視による復元方法[14][12]により3次元形状を復元する。(3) は(2)で復元した形状の存在する空間に対してビルボードを描画し、視点から投影されたテクスチャをマッピングすることでレンダリングを実現する。

4. 撮影および復元

4.1 撮影方法

全方位ステレオ画像対を得るため、図1のような鉛直方向に並べた2台の全方位カメラを計測車両に搭載し、走行しながら撮影を行う。撮影された全方位画像は図2のような画像になり、この画像を上下それぞれでパノラマ変換したものをパノラマ画像対として利用する。図3に全方位ステレオ画像対の例を示す。



図1 全方位カメラと計測車両

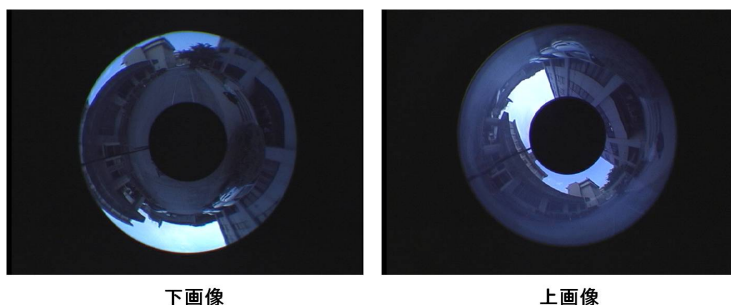


図2 全方位画像の例



図3 全方位パノラマ画像対の例

4.2 3次元復元

得られた全方位パノラマ画像対の対応点探索を行うことで、3次元復元を行う。画像間の対応点の探索には、Sum of Absolute difference (SAD) を一致度評価関数としたブロックマッチングを用いる。また、対応点の信頼度をあげるために、双方向マッチングを用いた誤対応の削除を行った[13]。図3を入力画像としたときの SAD による距離画像を図4に示す。

この処理によって3次元距離情報を得ることは可能であるが、ステレオ視によって得られる距離情報の信頼性は、環境の視覚的特徴量に依存するため、一般に高密度な距離情報を得ることはできない。そこで、グラフィック

トを用いたエネルギー最小化によって、より高密度な3次元情報を獲得する[6]。また、低解像度の場合、画像の対応付けである視差情報をもとに距離情報を計算しているため、奥行き分解能が小さくなってしまう。そこで、画素の単位より細かい精度で視差を得るごとにサブピクセル推定を行う。本手法では、高精度化の手法として新井らのサブピクセル推定手法[11]を用いた。図4にグラフカットとサブピクセル推定を施したものを図5に示す。

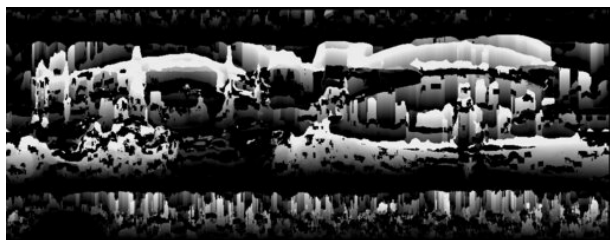


図4 距離画像の例



図5 グラフカットとサブピクセル推定の例

5. MBR + IBRによるレンダリング手法

本論文のレンダリングシステムは、図6に示すフローチャートに沿って処理される。まず、レンダリングの前段階として、4.章で取得した3次元復元結果を用いて、空間のどこに形状が存在するかを判定する。手法として、ボクセルによる空間分割を利用する。また、ビルボード用のテクスチャマップの作成も行う(5.1節)。次に作成したボクセルとテクスチャマップ情報を用いてビルボードのレンダリングを行う(5.2節)。

5.1 ボクセル分割およびテクスチャマップ作成

レンダリングを行う前に、ボクセルによる空間の分割を行う。4.章で復元された3次元形状は点群データであるため、点群に対して一対一対応のビルボードを描画してしまうと、データ量が膨大になりすぎてしまい現実的ではない。また、復元に失敗し形状が欠損している箇所も考えられる。そこで、本手法では、空間全体をボクセルという正規グリッドで分割し、復元点が十分な数含まれるボクセルに対しその位置に3次元形状が含まれるとして、フラグを立てレンダリングの対象とする。この判定処理を行うことで膨大な点群データをボクセルのサイズまで減らすことができ、また、ボクセルのサイズをある程度大きくすることで、逆に復元を失敗した部分を埋

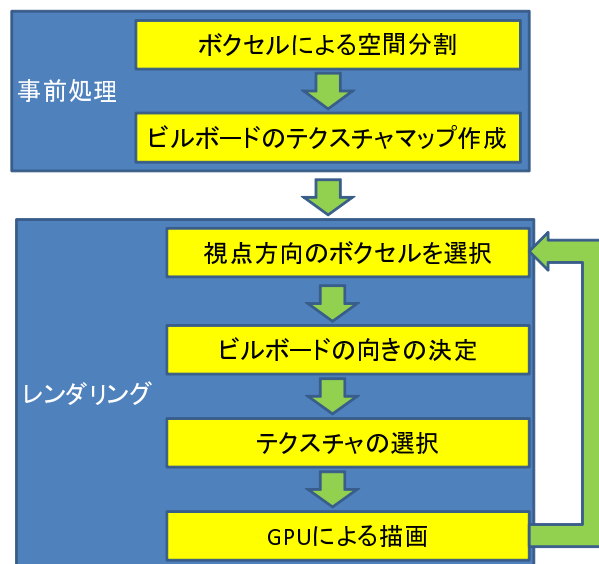


図6 描画のフローチャート

めることができる。図7にボクセル分割の例を示す。

この処理に加えて、ビルボードにどのテクスチャを投影するかをテクスチャマップを作成する。テクスチャとして利用する画像は、3次元復元に利用した全方位ステレオ画像対の一方の画像である。これを視線方向に応じて透視投影変換したテクスチャ群を一つのデータセットとすると、このデータセットは復元に利用した全方位ステレオ画像対のと同じ下図だけある形になる。一方、ビルボードは視点と視線方向に応じて投影点が決定されるので、データセットごとにどのテクスチャのどのUV座標を利用すれば良いのかも決定される。各ビルボードはこれをテクスチャマップとして保持している。提案手法では、GPUの投影マッピング機能を用いることでこれを自動的に計算するアルゴリズムとなっている。得られた各ビルボード用のテクスチャデータベースの例を図8、図9に示す。

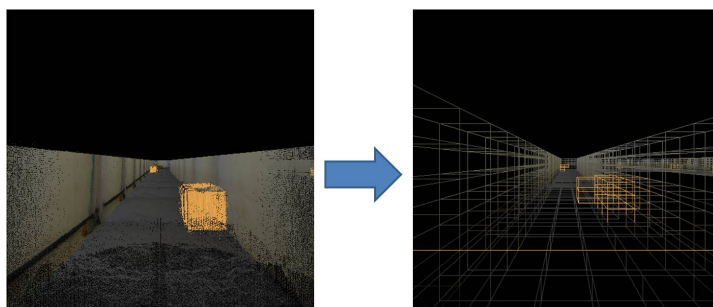


図7 ボクセルによる空間分割の例

5.2 ビルボードレンダリング

シーンの描画は5.1節で取得したボクセルとテクスチャマップの情報をもとに、ビルボードのレンダリングにより実行する。

まず、視点と視線方向が決定し、その方向のボクセル

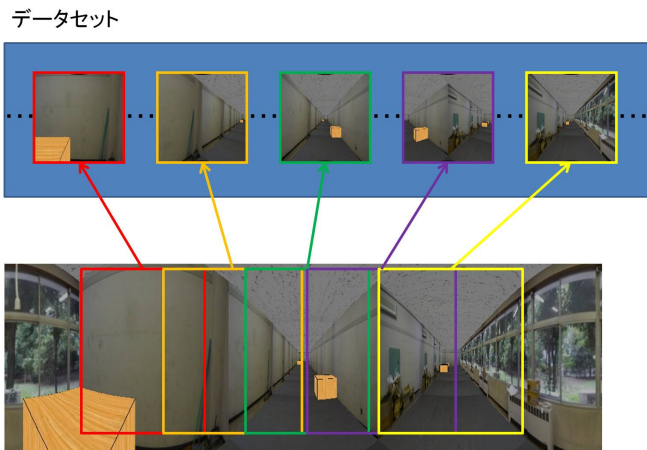


図 8 データセットの作成

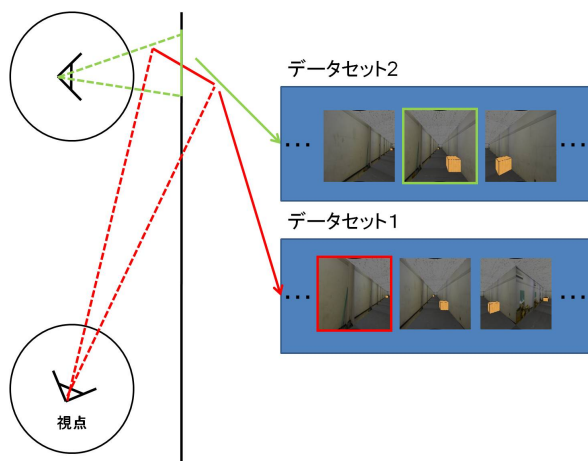


図 9 テクスチャマップの作成

が描画の対象として選択される。次に、視線方向に対して面が表を向くようにビルボードの向きが決定される。ビルボードの向きが決まると、そのビルボードと視点の位置、視線方向に応じて、マッピングされるテクスチャがテクスチャマップデータベースから選択される。従来の平面で構成された空間にテクスチャマッピングを施すと、障害物なども同じ平面に投影されてしまい違和感を生じてしまっていたが、本手法におけるビルボードは実際の形状をもとに描画された平面であるため、誤った投影が行われることが少なく、違和感が少なくなることが期待される。以上の処理が行われた後、GPUによって描画が実行される。

再描画は視点の位置や視線方向が変更されるたびに行われる。特に、テクスチャの投影点は固定されているため、視点移動してしまうと少しずつずれてしまう。そこで、本手法では視点の移動に応じてテクスチャを切替える処理を行なっている。切替のタイミングはできるだけ違和感を少なくするため、視点投影点間の半分の距離に到達した際に行なっている。図 10 にその様子を示す。

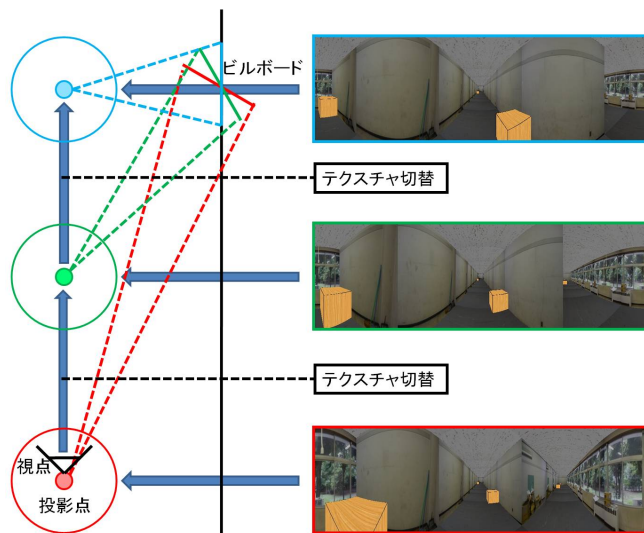


図 10 テクスチャ切替の模式図

6. 実験

前節の 3 次元復元手法、およびレンダリング手法を用いて広域空間の構築実験をおこなった。実験ではシミュレーション環境と、屋外の実データを用いた。

また、図 11 に示すように、ビルボードのような視点に応じて回転するような平面と、固定された平面とでは、マッピングされるテクスチャがずれてしまう。このずれがレンダリングにどの程度違和感をもたらすか評価するため、固定平面とビルボードのそれぞれにおけるテクスチャ座標を計算によって求め、マッピングされるテクスチャの切り出しを行った。

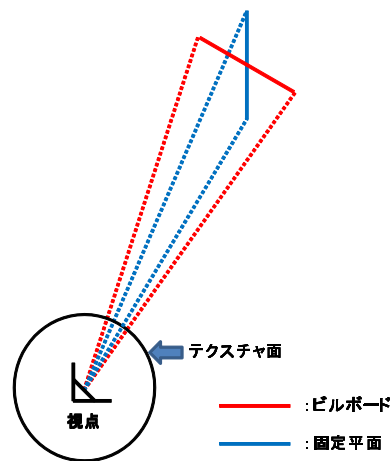


図 11 テクスチャのずれ

6.1 シミュレーション環境

まず、シミュレーション環境での構築を行った。円周方向の解像度は 960[pixel]、縦方向の解像度は 300[pixel] となっている。また、SAD によるブロックマッチングで使ったパラメータは、ブロックサイズの 1 辺が 19[pixel] の正方形、探索範囲を 60[pixel] としている。加えて復元

はグラフィックカットを用いず、SAD とサブピクセル推定のみ行った。

図 12 は入力画像であり、図 13 は復元結果の距離画像、図 14 は復元結果をそのまま描画したもの、図 15～図 18 はレンダリング結果と同じ視点でビルボードのみを描画したものである。それぞれの図の右側はシミュレーション環境のマップになり、緑色の点が視点の位置、赤い枠の広がっている方向が視点の向きになる。レンダリング結果は、実際の画像を撮影した位置 (図 15) とそこから前方向に 30 (図 17) 移動したものである。ビルボード処理 (図 16, 18) を行ったことにより、形状の存在する箇所正しくテクスチャマッピングが行われ、視点も移動しても違和感のないレンダリングが行えている。



図 12 入力画像



図 13 距離画像

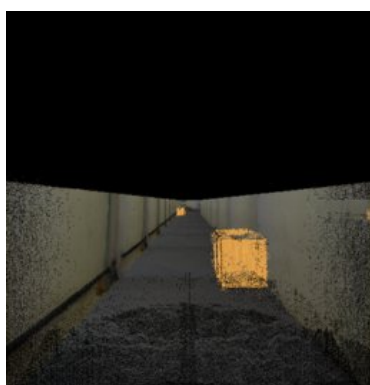


図 14 復元結果 (点群で表示)

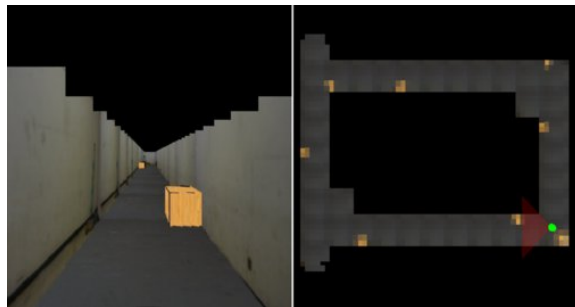


図 15 レンダリング結果 (初期位置)

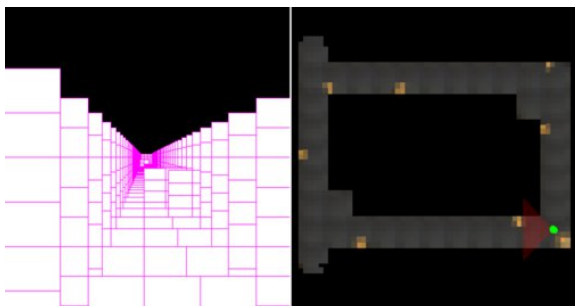


図 16 ビルボードのみの描画 (初期位置)



図 17 レンダリング結果 (前 30 移動)

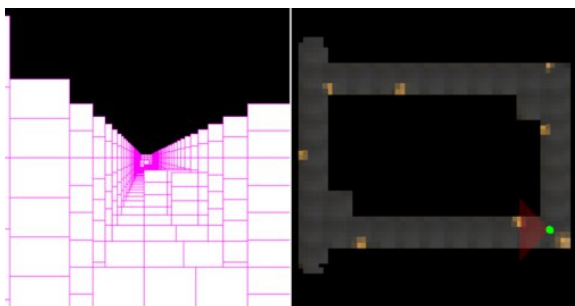


図 18 ビルボードのみの描画 (前 30 移動)

6.2 屋外実データ

次に、屋外環境で実際に撮影したデータを用いて同様の実験を、4. で示した全方位カメラを専用のレールに乗せて移動させて行った。入力画像の解像度は円周方向が 1024[pixel]、高さ方向が 300[pixel] である。結果として図 19 から図 23 に 6.1 節と同じ構成で示す。ただし、入力画像の全方位ステレオ画像対と距離画像は図 3、図 5 と同じであるため、省略する。シミュレーション環境の実験結果と同様、ビルボード処理を行ったことで誤った

箇所にはテクスチャマッピングが行われることなく、写実的なレンダリングが行えている。

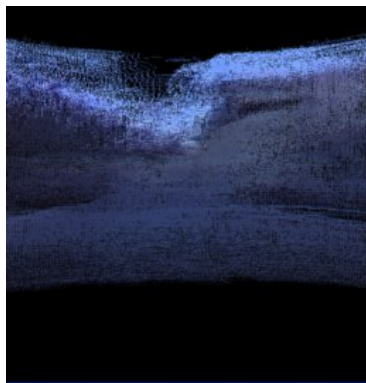


図 19 復元結果 (点群で表示)

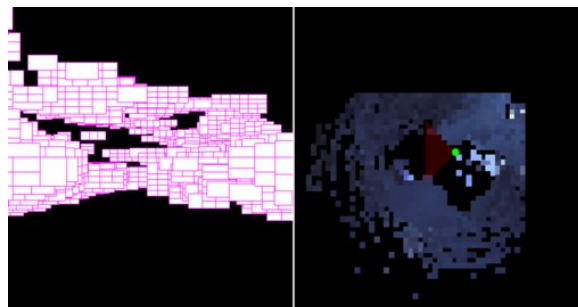


図 23 ビルボードのみの描画 (前 30 移動)

6.3 テクスチャのずれの計測

6.1 のシミュレーションデータを用いて、ビルボードと固定平面にマッピングされるテクスチャのずれを計測した。

図 24, 25 に、別々の視点から見たビルボードと固定平面のそれぞれについてマッピングされたテクスチャの切り出しをおこなったものとレンダリング結果を示す。切り出されたテクスチャは、赤い枠のものがビルボード、青い枠のものが固定平面になる。また、表 1 には、それぞれのテクスチャ座標とその差を示す。図 24, 25, 表 1 から分かるように、視線の方向が固定平面に対してほぼ並行になり、ビルボードと固定平面にマッピングされるテクスチャのずれが大きくなるような状況でも、違和感なくレンダリングできることがわかった。

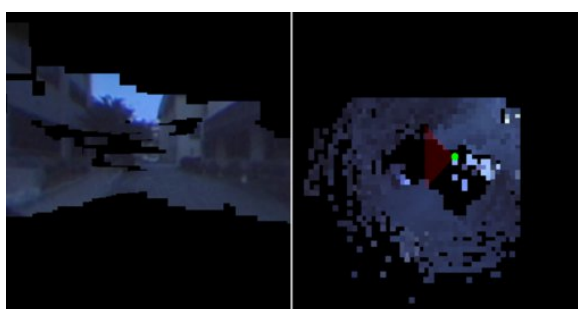


図 20 レンダリング結果 (初期位置)

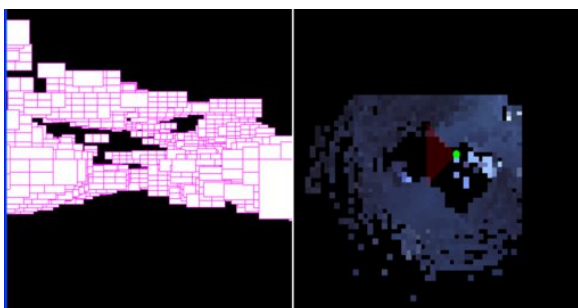


図 21 ビルボードのみの描画 (初期位置)

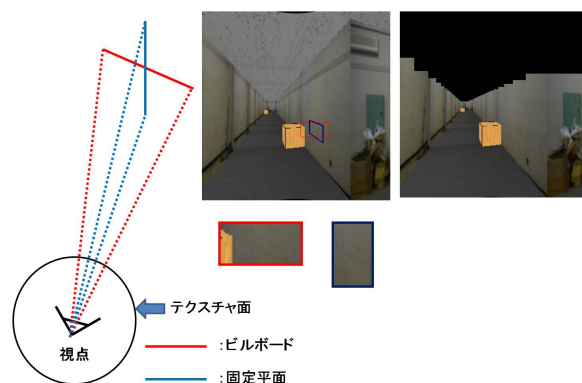


図 24 テクスチャのずれ (視点 1)

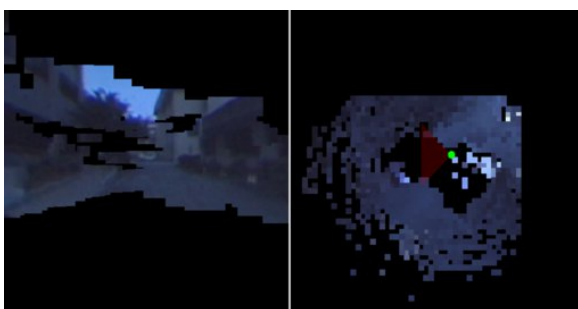


図 22 レンダリング結果 (前 30 移動)

7. まとめ

本論文では、車載ステレオ画像から復元された 3 次元情報をもとに空間をグリッド状の幾何情報でモデル化し、ビルボード手法を利用することで写実的なレンダリングを行う手法について提案した。

実験では、ステレオ画像からの 3 次元復元とその結果を用いたレンダリングを行い、撮影した環境に近い仮想空間の構築を実現することができた。実験中では視点を変えながらの描画を行い、見え方の変化を観察し、違和感の少ない結果を得られることを確認した。このシステムを用いれば、広域空間の写実的なレンダリングを行う

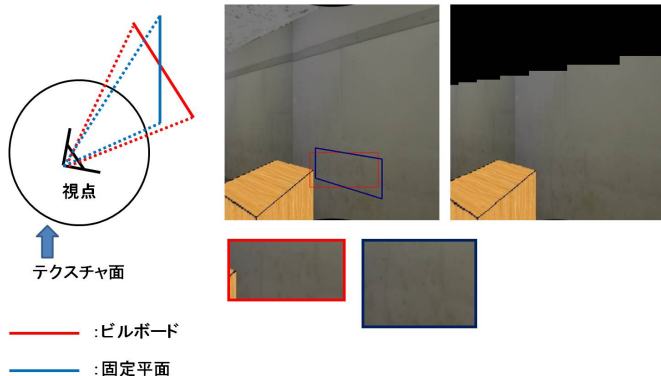


図 25 テクスチャのずれ (視点 2)

	u1	v1	u2	v2
視点 1	262.618622	294.672607	285.519257	288.884125
	262.618622	332.712708	285.519257	322.049683
	338.698822	332.712708	321.015228	347.050232
	338.698822	294.672607	321.015228	302.455841
視点 2	198.692703	343.999786	211.288986	332.794525
	198.692703	423.578522	211.288986	402.937286
	357.85022	423.578522	366.076904	450.636597
	357.85022	343.999786	366.076904	358.688446

	u1-u2	v1-v2
視点 1	-22.900635	5.788482
	-22.900635	10.663025
	17.683594	-14.337524
	17.683594	-7.783234
視点 2	-12.596283	11.205261
	-12.596283	20.641236
	-8.226684	-27.058075
	-8.226684	-14.68866

表 1 テクスチャ座標及びずれ

ために必要なデータを、自動的に構築することが可能であると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、総務省 SCOPE(101710002) および内閣府 NEXT プログラム (LR030) の助成を受けて実施されたものである。

文 献

- [1] Paul E. Debevec, Camillo J. Taylor, and Jitendra Malik. Modeling and rendering architecture from photographs: a hybrid geometry- and image-based approach. In *Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, SIGGRAPH '96, pp. 11–20, New York, NY, USA, 1996. ACM.
- [2] Christian Fruh and Avidesh Zakhor. An automated method for large-scale, ground-based city model acquisition. *International Journal of Computer Vision*, Vol. 60, pp. 5–24, 2004.
- [3] Google earth. <http://earth.google.co.jp/>.
- [4] Google street view. <http://www.google.co.jp/help/maps/streetview/>.

- [5] Maiya Hori, Masayuki Kanbara, and Naokazu Yokoya. Arbitrary stereoscopic view generation using multiple omnidirectional image sequences. In *Proceedings of the 2010 20th International Conference on Pattern Recognition*, ICPR '10, pp. 286–289, Washington, DC, USA, 2010. IEEE Computer Society.
- [6] Vladimir Kolmogorov and Ramin Zabih. What energy functions can be minimized via graph cuts? In *Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision-Part III*, ECCV '02, pp. 65–81, London, UK, UK, 2002. Springer-Verlag.
- [7] Microsoft virtual earth. <http://www.microsoft.com/maps/>.
- [8] P. J. Narayanan, Peter W. Rander, and Takeo Kanade. Constructing virtual worlds using dense stereo. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Computer Vision*, ICCV '98, pp. 3–, Washington, DC, USA, 1998. IEEE Computer Society.
- [9] 大倉史生, 神原誠之, 横矢直和. 無人飛行船からの空撮全方位動画像を用いた蓄積再生型拡張テレプレゼンス (特集: 複合現実感 5). *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 16, No. 2, pp. 127–138, 2011-06-30.
- [10] 山崎俊太郎, 池内克史, 坂内正夫, 佐川立昌, 川崎洋. 視点依存の微小面を用いた複雑形状の表示法. 第 66 回 計測自動制御学会, パターン計測部会研究会, 産業技術総合研究所臨海副都心センター 4F (お台場), 2004.
- [11] 新井元基, 鷺見和彦, 松山隆司. 画像のブロックマッチングにおける相関関数とサブピクセル推定方式の最適化. Technical Report 40(2004-CVIM-144), 京都大学電気電子工学科, 京都大学大学院情報学研究所, 京都大学大学院情報学研究所, may 2004.
- [12] 深澤龍一郎, 子安大士, 前川仁, 川崎洋, 小野晋太郎, 池内克史. グラフカットとサブピクセル推定による高密度・高精度な全方位ステレオ視. 第 27 回 日本ロボット学会学術講演会講演論文集, pp. 3R2–05, 2009.
- [13] 加賀美聡, 岡田慧, 稲葉雅幸, 井上博允. ロボット搭載用実時間視差画像生成システムの構成法. 第 4 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 177–182, 1999.
- [14] 子安大士, 古屋大和, 深澤龍一郎, 川崎洋, 前川仁, 小野晋太郎, 池内克史. サブピクセル推定を用いた全方位ステレオ視による高精度な 6 自由度 slam. 電子情報通信学会技術研究報告 PRMU, パターン認識・メディア理解, 第 2009 巻, pp. 19–24, 2009.
- [15] 高橋拓二, 川崎洋, 池内克史, 坂内正夫. 全方位画像を用いた広域環境の自由視点レンダリング. *情報処理学会論文誌*, Vol. 42, No. SIG13(CVIM 3), pp. 99–109, 2001.
- [16] 川崎洋, 永塚遼, 小野晋太郎, 栗林宏輔, 子安大士, 前川仁, 池内克史. 都市など広域空間の効率的モデリングおよびレンダリング手法について. *情報処理学会 CVIM 研究会*, 第 176 巻, pp. 1–7, 2011.
- [17] 佐藤亮, 小野晋太郎, 永塚遼, 川崎洋, 池内克史. 車載全方位ビデオ映像を用いたイメージベースレンダリングによるドライビングシミュレータの提案. 電子情報通信学会技術研究報告 PRMU, パターン認識・メディア理解, 第 2009 巻, pp. 1–6, 2009.