

複数の全方位画像を用いた広範囲な任意視点画像の生成

富手 要 山澤 一誠 横矢 直和

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

〒 630-0101 奈良県生駒市高山町 8916-5

Tel: 0743-72-5296

Fax: 0743-72-5299

E-mail: {kaname-t,yamazawa,yokoya}@is.aist-nara.ac.jp

あらまし 近年, パーチャルリアリティの世界に実環境を取り込み, 写実性の高い見回し可能なウォークスルー環境を実現する研究が行われている. これらの研究はリアリティが要求されるシミュレータの構築やウォークスルー可能なテレプレゼンスの実現などに応用することが可能である. そこで本研究では実環境を仮想環境に取り込み 360° の見回しが可能でかつ, 広範囲なウォークスルー環境を容易に構築することを目的とする. 提案手法では全方位画像センサを用い, 実環境中の複数の地点で全方位画像を取得し, 画像間の対応を与えることにより任意視点における全方位画像を生成し, さらに変換した透視投影画像をユーザに提示する. 実験では 30 枚の全方位画像を用いてウォークスルー環境を構築し, 屋内のウォークスルーを行うことにより, 手法の有効性を確認した.

キーワード 全方位画像, 任意視点画像生成, イメージベースレンダリング, ウォークスルー

Arbitrary Viewpoint Rendering from Multiple Omnidirectional Images for Interactive Walkthroughs

Kaname TOMITE, Kazumasa YAMAZAWA, and Naokazu YOKOYA

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

8916-5 Takayama, Ikoma, Nara 630-0101, Japan

Tel: [+81]0743-72-5296

Fax: [+81]0743-72-5299

E-mail: {kaname-t,yamazawa,yokoya}@is.aist-nara.ac.jp

Abstract Recently, the walkthrough which enables us to look around a virtualized real world has been widely investigated. The walkthrough system can be applied to simulation, telepresence, and so on. This paper describes a method of interactive walkthrough which takes a real scene and enables us to look around in the virtualized scene. Our method is based on acquiring omnidirectional images at multiple points in the real world by using an omnidirectional camera. The method generates an omnidirectional image at an arbitrary location from captured omnidirectional images, and presents a user a converted perspective image. In the experiment, we made the walkthrough using indoor omnidirectional images and confirmed the feasibility of the method.

Key words Omnidirectional Image, Arbitrary Viewpoint Rendering, Image-Based Rendering, Walkthrough

1. はじめに

近年、実写画像を仮想環境内に取り込むことにより都市の景観や建築物の内部、また、自然環境といった写実性の求められる環境を仮想環境内に構築し、任意の視点における自由な見回しを実現するための研究が盛んに行われている [1] ~ [8] .

これらの研究はライブシミュレータや防災シミュレータなどのリアリティが要求されるシミュレータの構築や仮想観光などに応用することが可能であり、都市計画、交通工学、教育やアミュ - ズメントなどの幅広い分野での活用が期待されている .

そこで本研究では、複数枚の入力画像を用い、ユーザにとって自由な視点位置で見回すことが可能で、かつ広範囲にわたってウォークスルー可能なシステムを構築することを目的とする .

提案手法では、全方位画像センサ HyperOmni Vision [9] を用いて、全方位画像センサの世界座標系における位置、姿勢が既知の画像を複数箇所取得する . そして、全方位画像間の対応点の位置関係に基づき、入力として与えられる全方位画像 (以下、入力画像) をブレンドし、任意の視点位置における全方位画像を生成する (本来ならば、対応点を自動的に与えるべきではあるが、今回は対応点を手動で与えた .) 最後に、生成された任意の視点位置における全方位画像を平面透視投影画像に変換し、ユーザに提示することによって任意視点における自由な見回しを実現する .

以下、2章では、全方位画像センサで取得した画像から三次元復元を行い、任意視点の全方位画像上における対応点を決定する方法について述べ、任意視点における全方位画像の生成方法について述べる . 3章では、実際に 30 枚の全方位画像を入力として使用し、部屋全体のウォークスルーを行い、提案手法の有用性について考察する . 最後に 4章で、本稿のまとめと今後の課題を述べる .

2. 複数の全方位画像による任意視点画像の生成

2.1 概要

提案手法はデジタルスチルカメラに搭載した全方位画像センサを用い、図 1 のように複数箇所全方位画像を取得する . このとき、各取得位置における全方位画像センサはセンサ軸が平行で、かつ投影中心が同一平面上になるように配置する . 入力画像の

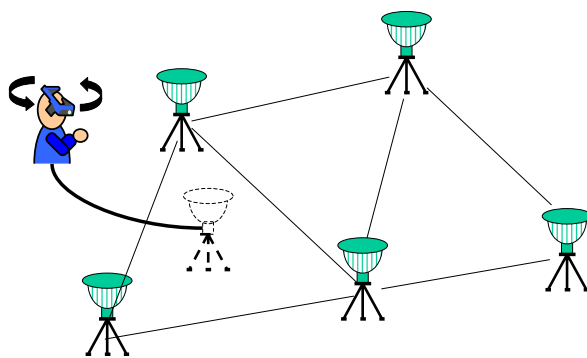


図 1 提案手法の概念図

取得位置と生成したいユーザの視点位置、および対応点の情報から任意視点画像を生成することにより、ユーザは入力画像の取得位置によって形成される多角形の内部をウォークスルーすることが可能である .

提案手法のフローチャートを図 2 に示す . 全方位画像センサの位置、姿勢、および入力画像と、入力画像間の対応点を入力とする . まず、任意の視点位置における全方位画像上の対応点の位置を算出する . 次に得られた任意視点の対応点に対し三角形パッチを生成する . 生成された三角形に対する三角形の画像を各入力画像から切り出す . そして任意視点の位置に基づいて重み付けを行いブレンドし、任意の視点位置における全方位画像を生成する . 最後に、生成された任意の視点位置における全方位画像をユーザの姿勢に基づき平面透視投影画像に変換し提示する .

本章ではまず全方位画像センサについて述べた後、入力データから重みを計算し、対応点の三次元位置を推定する手法について述べ、さらに任意視点における全方位画像上の対応点の位置の算出方法について述べる . 最後に、複数枚の入力画像を用い、任意視点における全方位画像の生成手法について述べる .

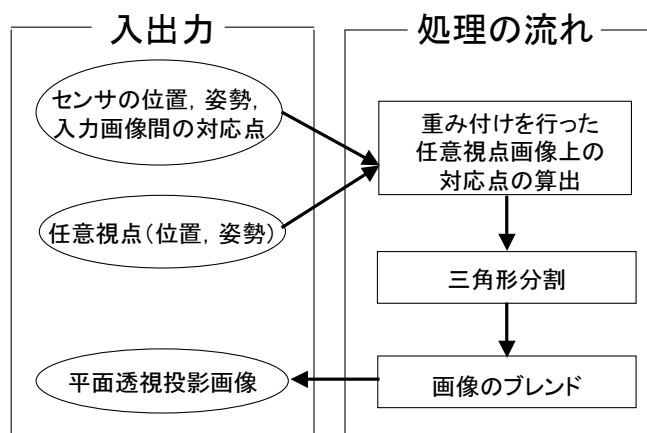


図 2 提案手法のフローチャート

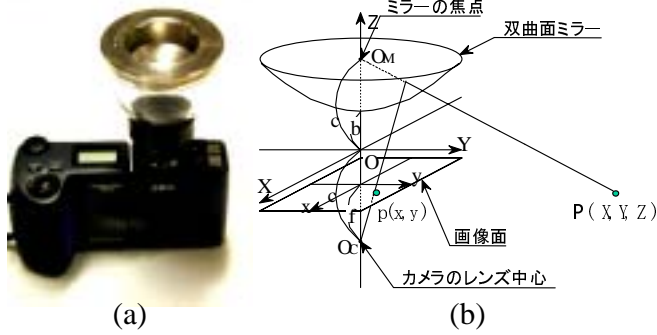


図3 全方位画像センサ搭載デジタルカメラ

2.2 全方位画像センサ

提案手法では、デジタルスチルカメラに搭載した全方位画像センサを用いる。図3(a)は Nikon CoolPix990 に全方位画像センサを搭載した図である。

全方位画像センサは図3(b)に示すように、鉛直下向きに取り付けられた双曲面ミラーに写り込む像をその下部に取り付けたデジタルカメラで撮像するものである。ミラー部の双曲面には回転二葉双曲面を用い、図2(b)に示すように二焦点 O_M, O_C が存在し、カメラのレンズ中心が O_C に位置するように設置される。さらに、 Z 軸を鉛直軸とする三次元世界座標系 (X, Y, Z) を考えると、双曲面ミラーの面、ミラー焦点 O_M 、およびカメラのレンズ中心 O_C は式(1)で表せる (a, b は双曲面の形状を定義する定数)。

$$\text{ミラー曲面} : \frac{X^2 + Y^2}{a^2} - \frac{Z^2}{b^2} = -1$$

$$\text{ミラー焦点 } O_M : (0, 0, +c) \quad (1)$$

$$\text{レンズ中心 } O_C : (0, 0, -c) \\ (c = \sqrt{a^2 + b^2})$$

内側の焦点 O_M に集まる像は双曲面ミラーに反射して、外側の焦点 O_C に集まる。ここで、 O_C にレンズ中心を置いたカメラで全方位の画像を撮影すると、双曲面の特性により、三次元空間中の点 $P(X, Y, Z)$ と全方位画像上の写像点 $p(x, y)$ の間には式(2)の関係が成立する。

$$x = \frac{Xf(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2)(Z - c) - 2bc\sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}}$$

$$y = \frac{Yf(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2)(Z - c) - 2bc\sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}} \quad (2)$$

(ただし、 a, b, c は双曲面のパラメータ、 f は CCD カメラの焦点距離)

したがって、式(2)により入力全方位画像をミラー

焦点 O_M から見た平面透視投影画像に変換することも可能である [9]。提案手法ではこの平面透視投影画像をユーザへの提示画像として利用するため自由な見回しが可能となる。

2.3 任意視点画像生成のための重みの導入

本研究の目的は任意視点における画像を生成してユーザに提示することであるが、任意視点における画像を生成する上でユーザに違和感なく提示するためにはユーザの視点位置が入力画像の取得位置と一致した場合、生成した画像が可能な限り入力画像に近い画像となる必要がある。そこで、提案手法では三次元中の点の位置推定と入力画像のブレンディングの際に任意視点位置に応じた重みを導入する。重みは任意視点が入力画像の取得位置と一致した際には、生成される全方位画像と入力画像が一致するように決定する。

図4は入力画像の取得位置と任意視点の位置関係を図示したものである。ここで、任意視点の位置 $P_v(X_v, Y_v)$ は w_1, w_2, w_3 と入力画像の位置 $P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2), P_3(x_3, y_3)$ によって以下のように表わすことが可能である。

$$X_v = w_1 X_1 + w_2 X_2 + w_3 X_3 \\ Y_v = w_1 Y_1 + w_2 Y_2 + w_3 Y_3 \quad (3)$$

ただし、 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$

上の連立方程式を解くことにより得られる w_1, w_2, w_3 を重みとし、対応点の三次元位置の推定と入力画像のブレンド処理の際に使用する。

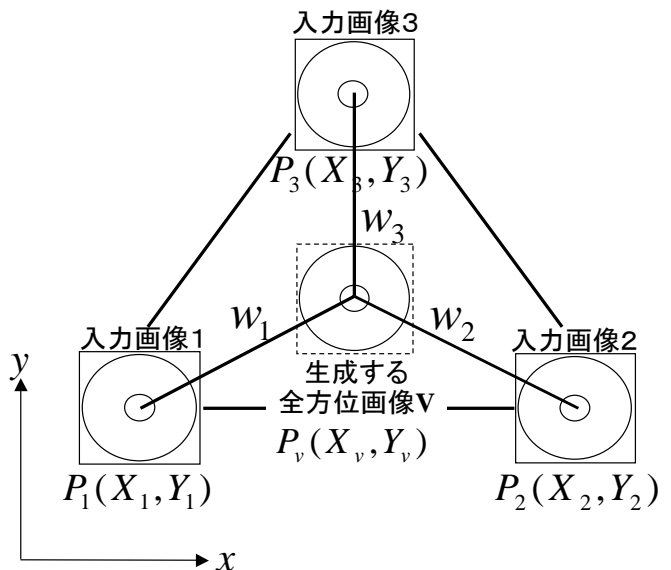


図4 重みとセンサの位置関係

2.4 対応点の三次元位置の推定

三地点で取得された全方位画像上の対応点の座標 $p_1(x_1, y_1), p_2(x_2, y_2), p_3(x_3, y_3)$ から, その三次元位置 $T(X, Y, Z)$ を推定する. 図 5(a) は全方位画像上の対応点の位置とセンサの投影中心とを結ぶ直線を上から見下ろした図であり, 図 5(b) は推定される対応点の三次元位置の周辺を拡大表示したものである. 全方位画像上の対応点とセンサの投影中心とを結ぶ直線は量子化誤差などの影響により一点で交わらない. そこで, これらの直線との距離の二乗和が最小となる点を推定位置 T' とする.

対応点の推定位置 T' を任意視点における全方位画像上へ再投影した場合, 任意視点で撮影地点と一致していても再投影された対応点が撮影地点の全方位画像上の対応点と一致するとは限らない. そこで, 各直線 l_1, l_2, l_3 上で T' に最も近い点を T_1, T_2, T_3 とし, 以下の式により対応点の三次元位置 T を算出する.

$$T = w_1 T_1 + w_2 T_2 + w_3 T_3 \quad (4)$$

図 5(c) は点 T_1, T_2, T_3 によってできる三角形に対し, 重み w_1, w_2, w_3 を用いて三次元の位置 T を算出した過程を図示したものである.

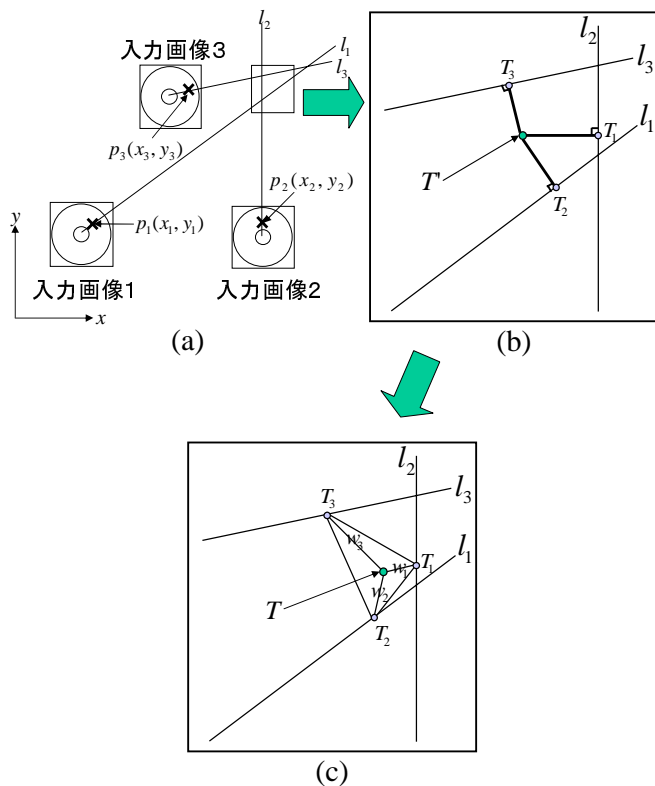


図 5 センサと推定される対応点の位置関係 (a) と拡大図 (b), 重みを用いて算出した三次元位置 T (c)

2.5 全方位画像上の対応点の位置の算出

任意視点における全方位画像上の対応点の位置 $p_v(x_v, y_v)$ は, 前節で得られた対応点の三次元座標 $T(X, Y, Z)$ を式 (2) により生成したい全方位画像上へ再投影することにより算出する. このようにして対応点の全組合せに対し任意視点における対応点の位置を算出する.

2.6 任意視点における画像の生成

前節で得られた任意の視点位置における全方位画像上の対応点集合に対し, Delaunay の三角分割法 [11] を適用し, 三角形パッチを生成する. 生成された三角形パッチに対応する各入力画像の三角形画像を切り出し, 任意の視点位置における全方位画像上の三角形と同じ形状に変形する. その後, 各入力画像より得られた三角形の画像に対し, 重み w_1, w_2, w_3 を用いてブレンドを行い, 任意の視点位置における全方位画像を生成する. このとき, ユーザの視点位置の移動に伴い毎回三角形パッチを生成し直すと三角形パッチの構成が変更されることとなり違和感が生じる原因になる. そこで, 三角形パッチは入力画像の視点位置によって形成される三角形の重心位置を任意視点として一度だけ三角形パッチを生成する. 図 6 は Delaunay で三角分割を行い入力画像をブレンドした例である.

最後に, 生成された全方位画像からユーザの姿勢に基づき平面透視投影画像を生成し提示する [10].

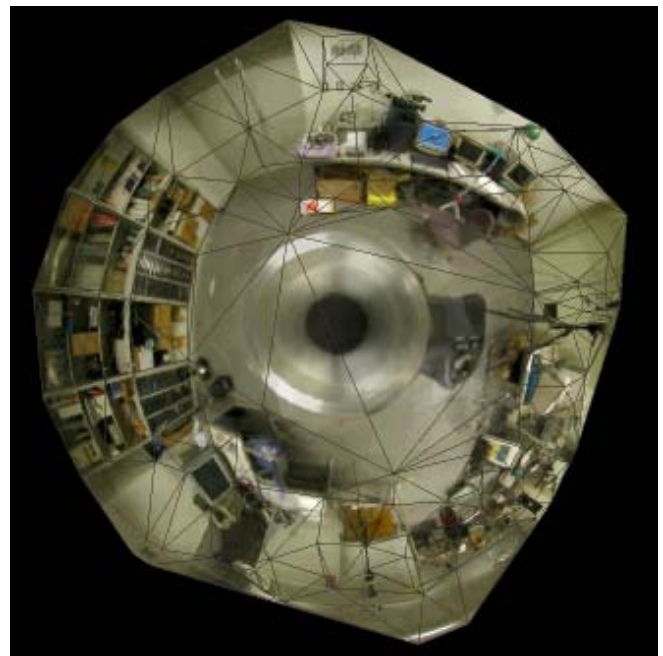


図 6 三角形パッチの生成

3. 実 験

提案手法の有効性を確認するために人工物の多い複雑な環境のもとで実験を行った。最初に全方位画像センサ搭載のデジタルカメラ (Nikon CoolPix990) を使用し、図 7 で示す 4 地点で撮影を行い入力画像 (1024 × 768 画素) とした。このとき撮影した 4 枚の入力画像を図 8 に示す。

図 7(a) は実験に使用した屋内環境を上から図示したものである。図 7(b) は図 7(a) の撮影地点周辺を拡大表示したものである。実験では任意視点の移動経路を図 7(b) の A 地点 (撮影地点) から G 地点 (撮影地点) までとし、使用する全方位画像および対応点の組合せは人手で与えた。

実験により生成された A 地点から G 地点までにおける画像を図 9 に示す。A 地点から G 地点における全方位画像は PC (CPU: Pentium4 1.8GHz, Memory: 512MB) を用い、任意視点の全方位画像 1 枚を生成するのに平均で 0.17 秒かかった。今後プログラムの改良により実時間でウォークスルーも可能であると考えられる。実験結果から、A 地点と G 地点 (撮影地点 と) では出力結果が入力画像と一致した。また、B 地点から F 地点においては運動視差に加え立体視可能な画像も得られることを確認した。しかし、A 地点から G 地点までの連続的に生成された画像を見たとき、使用する入力画像が切り替わる D 地点においては三角形パッチの構成が大きく変化してしまい不連続感を感じた。また、B 地点から F 地点に共通して、オクルージョンにより対応点を与えられない箇所や撮影対象がセンサに近すぎる場合は歪みが大きくなり正しい画像が生成されなかった。

4. おわりに

本稿では、複数地点で撮影した全方位画像とその

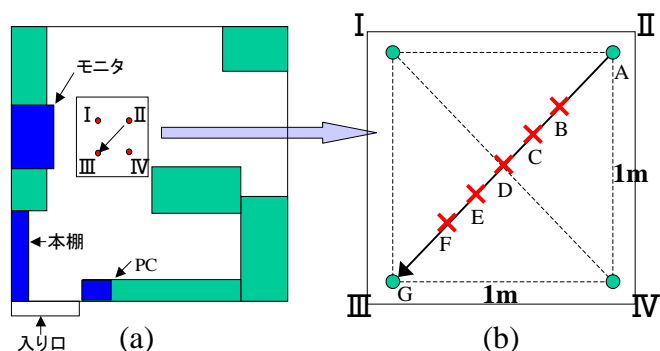


図 7 実験環境を上から見下ろした図 (a) と撮影地点周辺の拡大図 (b)

センサ位置から任意視点の全方位画像を生成し、平面透視投影画像に変換してユーザに提示することにより、ウォークスルー環境を構築する手法を提案した。また、単一の移動経路でありながらそれと平行な複数の移動経路を同時に計算することにより、立体視可能な画像を生成することも可能であった。しかし、撮影対象がセンサに近過ぎる場合や、オクルージョンによって対応点を与えられない場合は生成した画像の歪みが大きすぎて違和感が生じた。また、視点の移動中に Delaunay の三角分割法で形成される三角形パッチの構成が変更されてしまう場合にも違和感が生じることが確認された。

今後の課題としては、三角形パッチの大きな構成変更による違和感の減少、対応点の自動探索などがあげられる。

文 献

- [1] D.G. Aliga and I. Carlborm, " Plenoptic Stitching: A Scalable Method for Reconstructing 3D Interactive Walkthroughs ", Proc. SIGGRAPH 2001, pp.443-450, 2001.
- [2] T. Takahashi, H. Kawasaki, K. Ikeuchi, and M. Sakauchi, " Arbitrary View Position and Direction Rendering for Large-Scale Scenes ", Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.2, pp.296-303, 2000.
- [3] 山口晃一郎, 山澤一誠, 竹村治雄, 横矢直和, " 全方位動画を用いた両眼ステレオ画像の実時間生成によるテレプレゼンス ", 電子情報通信学会論文誌 (D-), Vol.84, No.9, pp.2048-2057, 2001.
- [4] S.E. Chen, " QuickTime VR - An Image-based Approach to Visual Environment Navigation ", Proc. SIGGRAPH 1995, pp.29-38, 1995.
- [5] S.E. Chen and L. Williams, " View Interpolation for Image Synthesis ", Proc. SIGGRAPH 1993, pp.279-288, 1993.
- [6] 広瀬通孝, 渡辺真二郎, 谷川智洋, 遠藤隆明, " 実写画像を用いた広域仮想空間構築における画像生成手法の研究 ", Human Interface News and Report, vol.13, pp.173-178, 1998.
- [7] J. Shimamura, H. Takemura, N. Yokoya, K. Yamazawa, " Construction and Presentation of a Virtual Environment Using Panoramic Stereo Images of a Real Scene and Computer Graphics Models ", Proc. 15th Int. Conf. on Pattern Recognition, Vol.4, pp.463-467, 2000.
- [8] 青木利道, 畑幸一, 栄藤稔, " 多地点全方位画像による環境記述 ", 信学技報 PRMU98-249, pp.57-64, 1999.
- [9] 山澤一誠, 八木康史, 谷内田正彦, " 移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚系 HyperOmni Vision の提案 ", 電子情報通信学会論文誌 (D-), Vol. J79-D- , No.5, pp.698-707, 1996.
- [10] 山澤一誠, 尾上良雄, 横矢直和, 竹村治雄, " 全方位画像からの視線追従型実時間画像生成によるテレプレゼンス ", 電子情報通信学会論文誌 (D-), J81-D- , 5, pp.880-887, 1998.
- [11] P. Heckbert Ed., " Graphics Gems ", pp.47-59, Academic Press, 1994.



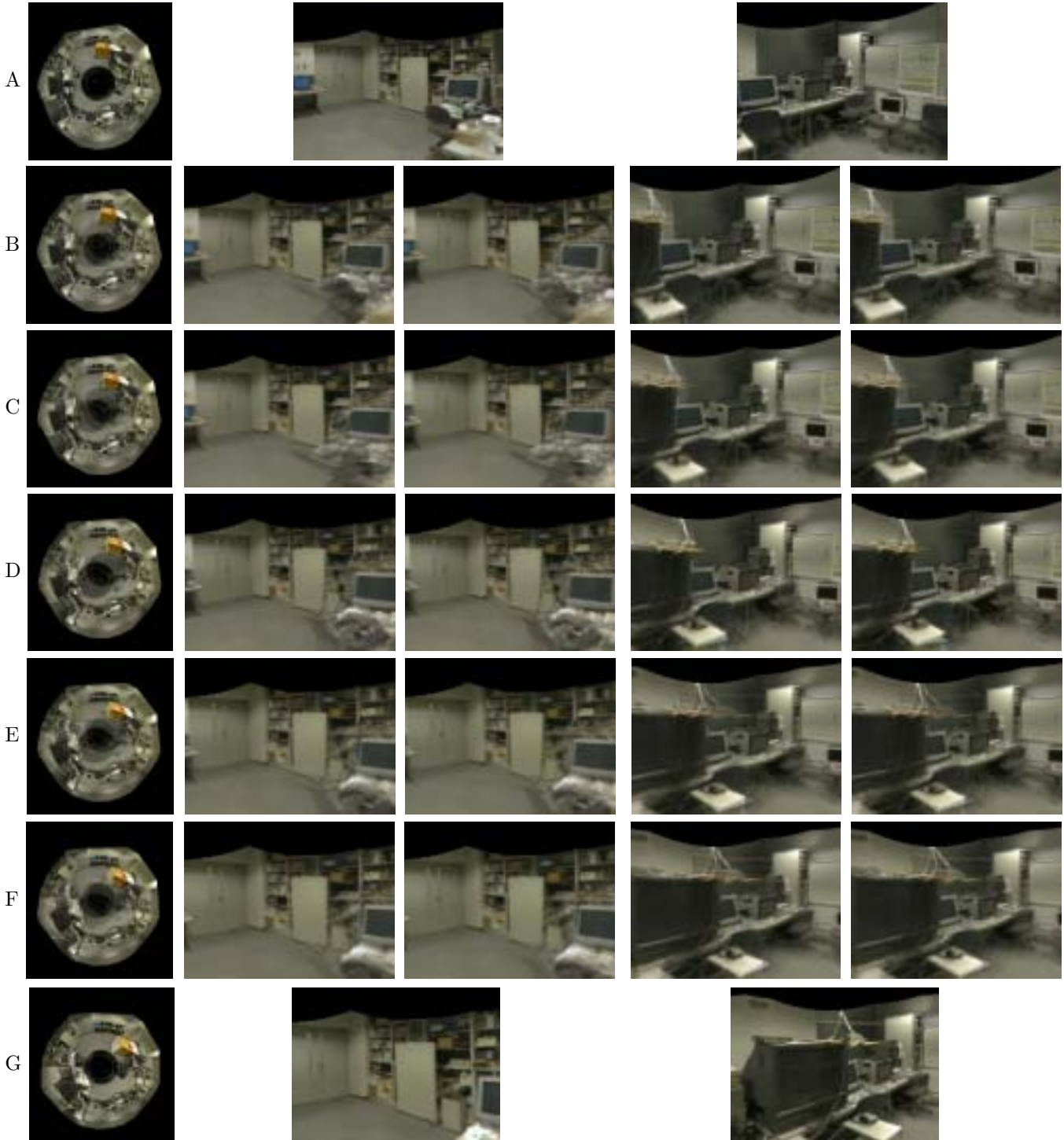
撮影地点

撮影地点

撮影地点

撮影地点

図 8 実験に使用した入力画像



(a) 生成した全方位画像

(b) 進行方向

(c) 進行方向の右側

図 9 屋内環境での実験結果