

ラインスキャンカメラと全方位カメラによる 高精細パノラマ画像生成

福井章仁† 八木康史‡ 谷内田正彦†
† 大阪大学大学院基礎工学研究科
‡ 大阪大学産業科学研究所

概略：双曲面ミラーなどを用いた全方位視覚センサは、周囲360度の視野映像が実時間で撮影できることから、実写映像に基づく空間モデリングのためのセンシング手段として有望視されている。しかし、360度の視野を単一の撮像素子で撮影しているため、入力画像の解像度が低いという問題があった。一方、カメラを回転する方法は、高解像度の画像が得られる反面、1枚のパノラマ画像の取得に時間がかかってしまうという問題がある。本研究では、両タイプのセンサを同軸上に上下配置することで、全方位画像が実時間観測できるとともに高精細のテクスチャが獲得でき、また本センサシステムを電動カートへ搭載することで高解像度のテクスチャを持つ広域な都市空間の3次元モデリングが可能なパノラマ画像入力システムを提案する。

High-resolution Panoramic Imaging by Using a Line-scan Camera and a Omnidirectional Camera

Akihito Fukui† Yasusi Yagi‡ Masahiko Yachida†
† Graduate School of Engineering Science, Osaka University
‡ The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

Abstract : An catadioptric omnidirectional image sensors using convex mirrors have a useful advantage for modeling. These sensors can capture omnidirectional information simultaneously and can continuously observe the object. The image resolution of the observed surface texture is low. On the other hand, an advantage of rotating camera around with constant angular velocity is that we can acquire a high-resolution omnidirectional image. However, it has a disadvantage that it requires a rather long time. In this paper, we propose the high-resolution panoramic imaging system by combining the real-time omnidirectional image sensor HyperOmni Vision and line-scan camera system.

1 はじめに

近年、VirtualReality・デジタルアーカイブ・都市景観の評価等において、「よりリアルで広域な空間をより手軽に作りたい」という要望から、写実性に優れた実写映像に基づく仮想空間の構築手法が数多く提案されている。そして、全方位視覚センサは、周囲360度の視野映像が獲得でき、容易に広域のモデリングが可能なことから、実写映像に基づく空間モデリングのためのセンシング手段として有望視されている[1]。

従来、全方位視覚センサとしては、光学系を工夫する方式と複数の画像を統合する方式が

主に用いられてきた。光学系を工夫する方式[2][3][4]は、カメラの鉛直上方に凸上の回転体ミラーを設置した構造のセンサを用いることが多く、実時間で全方位が観測できるという特徴を持つ。この特徴により、全方位ビデオを用いた仮想体験などが容易にできる。その一方で、上記センサは360度の視野を単一の撮像素子で撮影しているため、入力画像の持つ角度分解能には限界があり、さらに画像面上での解像度も画像の中心付近に向かうほど低くなるという短所を持ち合わせていた。それに対し後者の複数の画像を統合する方法は、カメラを回転させたり[5]、複数台のカメラを用いたりする方

法[6]などで、一般に高精細の映像が撮影できる反面、1枚のパノラマ画像の取得に時間がかかってしまうという問題があった。このように、光学系を工夫する方法と複数の画像を統合する方法にはそれぞれ長所・短所が存在する。

本研究では、両タイプのセンサを同軸上に上下配置することで全方位画像が実時間観測できると共に高精細のテクスチャーが獲得でき、また電動カートに本センサシステムを搭載することにより、高解像度のテクスチャーを持つ広域な都市空間の3次元モデリングが可能なパノラマ画像入力システムを提案する。

2 システム概要

図1は提案システムの全景並びにシステム構成である。本センサシステムは、実時間全方位視覚センサ HyperOmniVision 1台、ラインスキャンカメラ 4台、回転ステージ 1台からなるセンサ部と、それらを制御し全てのデータを実時間かつ非圧縮で記憶するワークステーション 2台からなる画像記憶部から構成される。広域都市空間のモデリングを行うため、全システムを電動カートに搭載することで走行しながら周囲の町並みを撮影できる。また、走行時に生じる揺れを補正するためにジャイロセンサを1台搭載し、さらに全ての機器がバッテリーのみで稼動するよう配慮した。



図1 センサシステム全景

ソフトウェアの面では、センサシステム運用時の使いやすさを高めるために各カメラおよびセンサからのデータを HDD に記録する部分をマルチスレッド化することにより、より効率を高めると同時にユーザーは任意のときにセンサシステムをオン・オフできるよう配慮し

た。また、2台のワークステーションをイーサネット結び TCP/IP 通信を使うことで1台のワークステーションから全てのカメラとセンサの操作を行えるようにした。つまり、ユーザーは本システムを使うと、事前に若干の設定や調整等が必要になるもののデータ取得時にはマウスでボタンをクリックするだけで操作ができる。

センサ部は図2にあるように実時間全方位視覚センサと回転型パノラマ視覚から成り立っている。

実時間全方位視覚センサ HyperOmniVision は、鉛直下向きに設置した双曲面ミラーと、その下に鉛直上向きに設置したカメラから構成され、周囲 360 度の画像を実時間で撮影ができる反面、解像度が低いという特徴を持っている。



図2 センサ部

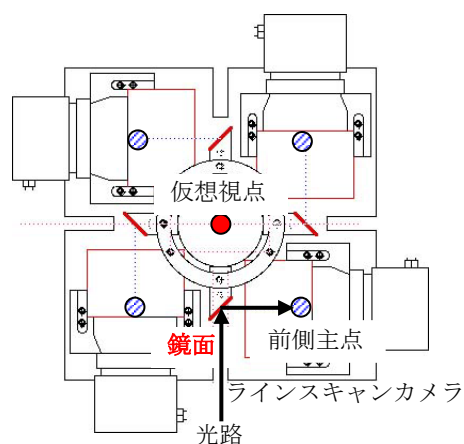


図3 回転型パノラマ視覚 (上面図)

回転型パノラマ視覚 (図3) は、実時間での撮影はできないもののセンサ全体が静止した状態で、設置されたラインスキャンセンサを回転ステージにより回転 (パノラマイメージングモード) させ、高精細なパノラマ画像を取得で

きる。具体的には、互いに直交する4台のラインスキャンカメラに対し各々一つのミラーを用意し光路を90度曲げ、すべてのカメラの仮想視点を一致させる。このような構造をとることで単一視点のパノラマ画像を獲得することができる。さらに実時間全方位視覚HyperOmniVisionの視点が同一鉛直軸上に位置することで全方位ステレオ視が可能であり、動物体が存在する環境でもモデリングが行える。二つの視覚の特徴を表1に示す。

また、電動カートで走行しながら回転ステージを静止させセンサシステムを稼働させることで、広域都市空間のデータを取得でき、さらにラインスキャンカメラ同士でステレオを行うことで3次元モデリングも可能となる。本論文では、この使用方法を「シティースキャンニングモード」と呼ぶこととし、次章で詳細を説明する。

表1 各視覚の特徴

		実時間全方位視覚センサ	回転型パノラマ視覚 (回転速度)	
			10° /s	80° /s
分解能	方位方向	0.12° (外周) ~0.82° (内周)	0.0082°	0.045°
	垂直方向	0.22° (平均)	0.017°	
画像サイズ		1300×1030	64168 ×2700	8020 ×2700
全方位画像取得時間		実時間(12Hz)	約 10.6 秒	約 2.3 秒

3 シティースキャンニングモード

前述のとおり、本センサシステムはすべてバッテリーのみで稼働させることができるため、電動カートを走らせながらセンサを使用することで広域な都市空間のテクスチャーデータが得られる。またラインスキャンカメラを進行方向に向かって左右2台ずつ異なる方向へ向けているので、左右それぞれ2枚ずつ視差の異なる画像が得られ、ジャイロセンサのデータからカートの移動量も推定できる。そのためステレオが可能となり3次元モデリングに必要なデータが得られる。(図4)

しかし、走行時にはセンサシステム全体に揺れが加わるため、人が見て不自然なテクスチャー(図5)となりまたステレオを行うときにも妨げとなるため、それを補正しなければならない。そこで、まずジャイロセンサのデータを用いて大まかな揺れの補正を行い、その後さらに

細かな補正を行う。

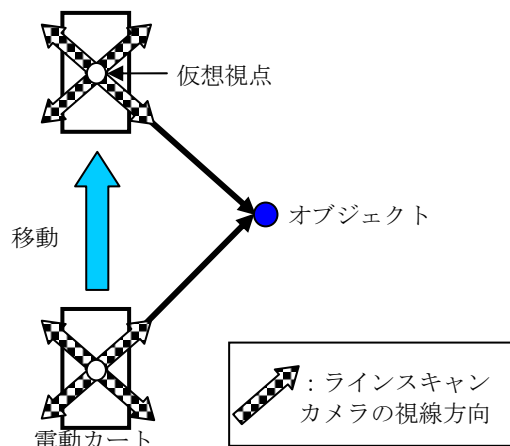


図4 シティースキャンニングモード (上面図)

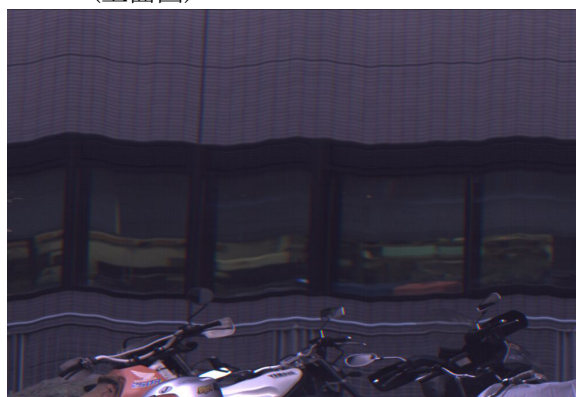


図5 補正前の入力画像例

3.1 ジャイロセンサによる大まかな揺れ補正

ラインスキャンカメラの画像中に含まれる揺れを補正するため、ジャイロセンサのデータを用いた。ジャイロセンサにより3軸の傾きであるロール角 θ_r ・ピッチ角 θ_p ・ヨー角 θ_y (図6)が得られるのでそこから揺れに関するロール角 θ_r とピッチ角 θ_p のデータを用いて各カメラの傾きを(1)式を用いて緯度 $\theta_{latitude}$ で求めることにより鉛直方向の揺れを表し(図7)、その値から画像の各垂直ラインを上下方向にずらして補正する。(1)式において (x_a, y_a, z_a) は振動を含むカメラの視線ベクトルとし、 (x_b, y_b, z_b) は振動を含まないカメラの視線ベクトルとする。なお、各ラインスキャンカメラとジャイロセンサのデータ間の同期は、各データにタイムスタンプを付加することで行った。図8にジャイロセンサのデータによる大まかな揺れの補正の結果を示す。

$$\begin{pmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_r & -\sin\theta_r \\ 0 & \sin\theta_r & \cos\theta_r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta_p & 0 & \sin\theta_p \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta_p & 0 & \cos\theta_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} x_b \cos\theta_p + z_b \sin\theta_p \\ y_b \cos\theta_r - \sin\theta_r(-x_b \sin\theta_p + z_b \cos\theta_p) \\ y_b \sin\theta_r + \cos\theta_r(-x_b \sin\theta_p + z_b \cos\theta_p) \end{pmatrix}$$

$$\theta_{\text{latitude}} = \tan^{-1}\left(z_a / \sqrt{x_a^2 + y_a^2}\right) \quad (1)$$

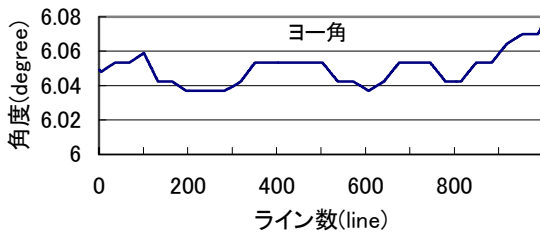
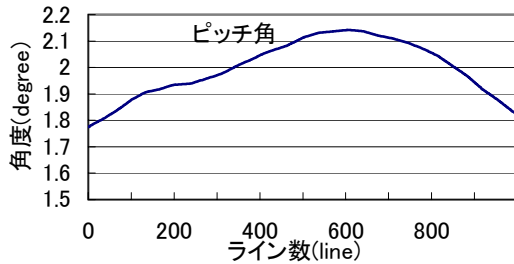
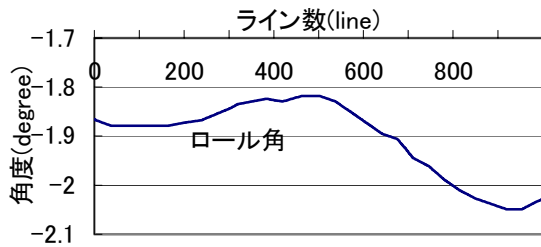


図6 ジャイロセンサデータ

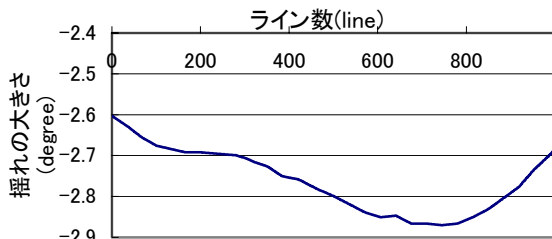


図7 カメラに生じる揺れ

3. 2 細かな揺れの補正方法

ジャイロセンサによる揺れ補正を行っても、ジャイロセンサの精度ならびにサンプル間隔の違いなどから完全な補正は不可能である。そこで、本システムでは環境中の直線成分を手がかりにこれらの線が、補正後、直線に射影され

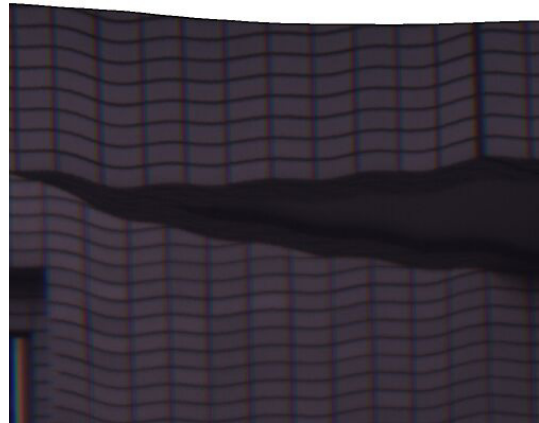
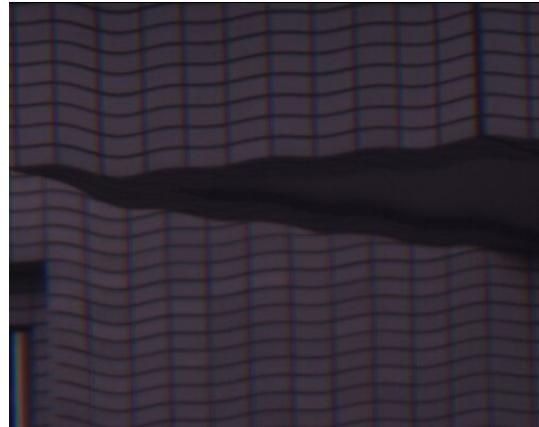


図8 大まかな揺れの補正例

るように画像を調整することを考える。現状では、人工環境では垂直線や水平線が数多く見られる上、揺れの原因が主にカートによる走行時の震動等による上下動と考え、水平線を手がかりとして上下方向に画像を調整する。

画像中の揺れはセンサシステムの揺れにより生じているので、奥行きが異なる場合は揺れの振幅は異なるが、その揺れ方はどの水平線においても同じ周期で現れる。そこで各縦ラインにおいてエッジの方向についての頻度表をつくる。通常、縦揺れの原因は局所的にはタイヤの扁平等が原因となるため周期的に現れる。そこで、水平線は正弦関数に近い曲線で現れると仮定し、パノラマ画像中から水平線の検出を行う。なお、基準となる直線は手動で選択することとした。

まず、ノイズを低減するため画像全体を平滑化した後、sobel オペレータを用いてエッジ画像を生成する。次に画像中の各縦ラインについてエッジの方向のヒストグラムを作り、その最頻値をその縦ラインの方向とする。そして、もとまった画像中の主なエッジの方向から基準

となる環境中の直線のエッジをトラッキングする。

以上の方法により図8を処理した結果を図9に示す。図中の太線がトラッキングした結果である。図8を見ると、画像の壁のタイルの水平方向の境界線が環境中での直線と思われる。前述の手法により、画像の大半を占める一番奥行きのある壁のテクスチャーについての情報が得られていることが確認できる。

さらに、図9でトラッキングした曲線が画像中で直線となるように各ラインを上下方向に補正した画像を図10に示す。基準としている環境中の直線が画像中においても直線となっている上、補正された部分のテクスチャーは揺れがかなり低減され人が見てより自然な画像となっていることが確認できる。

4 実験結果

実際に本システムを屋外で約2分間走行させ、全部で約13GBのデータを実時間かつ非圧縮でHDDに記録した。さらに本手法をそのデータの一部分に用い補正した画像を図11に示す。補正画像例より、環境中において直線と思われる画像中の曲線(エッジ部分)を若干誤差があるもののトラッキングし、人が見て自然な画像となるよう補正されていることが確認できる。

5 おわりに

実時間全方位視覚センサと回転型パノラマ視覚を組み合わせた高精細パノラマ画像入力システム的设计および製作を行い、さらに広域都市空間の3次元モデリングを行えるようセンサシステムを電動カートに搭載したシステムを製作した。さらに、ラインスキャンカメラにより取得したデータに含まれる揺れの補正を行った。

今後、エッジトラッキングの精度向上および細かな揺れの補正の自動化を行った上で、都市空間の3次元モデリングを行っていく予定である。

参考文献

- [1]八木康史, 横矢直和: 全方位ビジョン: センサ開発と応用の最新動向 CVIM Vol.42No.SIG13 (CVIM3),pp.1-18 (2001)
- [2]Yagi, Y., Kawato, S. and Tsuji, S.: Realtime Omnidirectional Image Sensor (COPIS) for Vision-guided Navigation, IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol.10, No.1, pp.11-22 (1994)

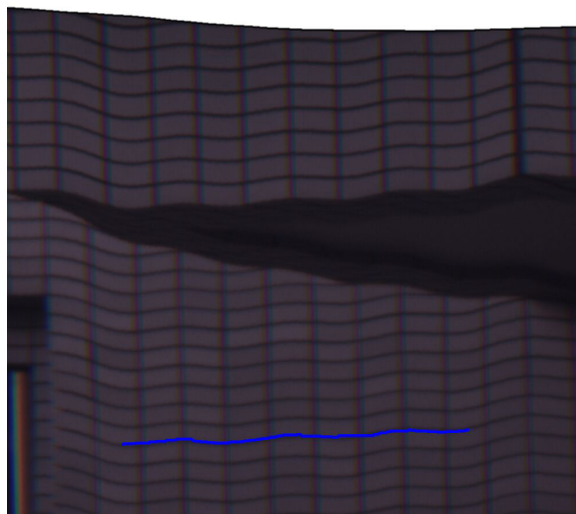


図9 指標となる環境中の直線の例

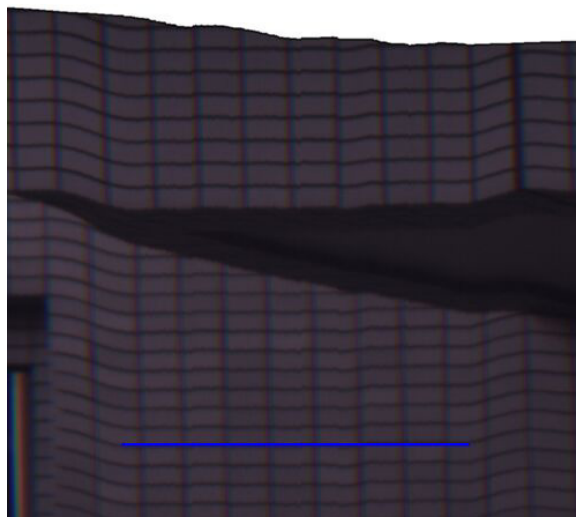


図10 細かな揺れの補正例

- [3]Hong, J., Tan, X., Pinette, B., Weiss, R. and Riseman, E.M.: Image-based Navigation Using 360 View, Proc. Image Understanding Workshop, pp.782-791 (1990)
- [4]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 HyperOmniVision の提案, 電子情報通信学会論文誌(D-II), Vol.J79-D-II, No.5, pp.698-707(1996)
- [5]Barth, M. and Barrows, C.: A Fast Panoramic Imaging System and Intelligent Imaging Technique for Mobile Robots, Proc. IEEE/RSJ Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.626-633 (1996)
- [6]Kawanishi, T., Yamazawa, K., Iwasa, H., Takemura, H. and Yokoya, N.: Generation of High-resolution Stereo Panoramic Images by Omnidirectional Imaging Sensor Using Hexagonal Pyramidal Mirrors, Proc. IAPR Int. Conf. on Pattern Recognition, Vol. I, pp.485-489(1998).



補正前



大まかな揺れの補正後



細かな揺れの補正後

図 1 1 補正画像例