

高精細パノラマ画像入力システム

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

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共に、高精細のテキスチャが獲得でき、また両センサを上下ステレオとして用いることで、高解像度のテキスチャを持つ 3 次元空間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。

Development of High-resolution Panoramic Imaging System

Akihito Fukui Yasusi Yagi Masahiko Yachida
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

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 while the camera moves around in an environment. The image resolution of the observed surface texture is too low to provide enough details. It is caused by the low angular resolution of the sensor. On the other hand, the camera rotates around with constant angular velocity. Vertical scan lines are taken from different images and stitched together to form an omnidirectional image. An advantage of this method is that we can acquire a high-resolution omnidirectional image if the camera is controlled precisely. However, it has a disadvantage that it requires a rather long time to obtain an omnidirectional image, which restricts its use to static scenes but not to dynamic or real-time applications. In this paper, we propose the high-resolution panoramic imaging system by combining the real-time omnidirectional image sensor HyperOmni Vision and rotating line-scan camera system.

1 緒論

近年、VirtualReality・デジタルアーカイブ・都市景観の評価等において、「よりリアルな空間を作りたい」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。

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[1][2][3]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°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[4][5]、複数台のカメラを用いたりする方法[6][7]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。例えば、UCSBのBarthらのシステムでは256画素のラインスキャンカメラを回転させ37500×256画素のパノラマ画像を撮影できるが、撮影時間は約3分かかる[4]。すなわち、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。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、高精細のテキスチャが獲得でき、また両センサを上下ステレオとして用いることで、高解像度のテキスチャを持つ3次元空間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。

以下、本報告では、システムの概要ならびにシステムのキャリブレーション・アライメント方法、さらに回転型パノラマ視覚の解像度の評価結果について述べる。

2 システム概要

図1、図2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、それらを制御し画像データを実時間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。

4台のラインスキャンカメラは互いに直交し、各々のミラーにより光路が90°曲げられ、全てのラインスキャンカメラの仮想的な視点が一致することで単一視点のパノラマ画像を撮像することができる。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る。

画像記憶部の2台のワークステーションのうちの1台には、3台のラインスキャンカメラがRS-422規格のケーブルで、さらに回転ステージがRS-232C規格のケーブルで接続され、もう1台にはラインスキャンカメラ1台とHyperOmniVisionがRS-422規格のケーブルで接続され、各々接続されたカメラや回転ステージの制御や画像取り込みを行う。

以降の章では、本システムをセンサ部と画像記憶部とに分けて説明する。



図1 センサシステム全景

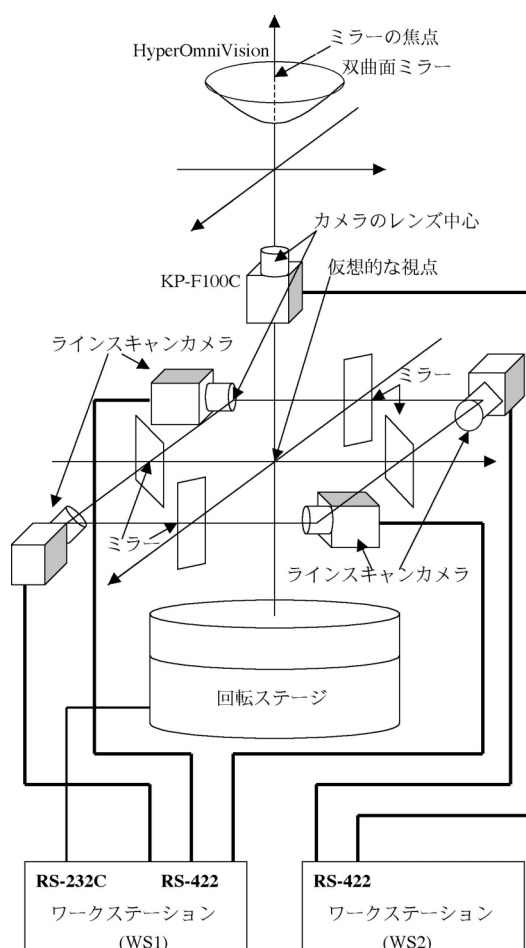


図2 センサシステム全体の構成

3 センサ部

図3に示すようにセンサ部は実時間全方位視覚センサ HyperOmniVision と回転型パノラマ視覚からなる．全方位視覚センサは、低解像度ではあるが実時間でのパノラマ撮影ができる．一方、回転型パノラマ視覚はパノラマ撮影に数秒かかるが高精細なパノラマ画像を取得することができる(表1)。



図3 センサ部

表1 実時間全方位視覚センサと回転型パノラマ視覚の比較

	実時間全方位視覚センサ	回転型パノラマ視覚
解像度	低い	高い
パノラマ取得時間	実時間	数秒 (回転速度に依存)
環境の時間的変化	撮影、可	撮影、不可

3.1 実時間全方位視覚センサ

実時間全方位視覚センサ HyperOmniVision は、図4に示すように 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° の画像を一度に、かつ実時間で撮影ができる．なお今回用いた HyperOmniVision では、日立製プログレッシブスキャンカメラ KP-100C を用いた．KP-100C は、1300×1030 画素×10bit のカラー画像を 12Hz のサンプリング周期で撮影することができる．図5は、入力画像の一例である．

3.2 回転型パノラマ視覚

回転型パノラマ視覚は、実時間での撮影はできないものの設置されたラインスキャンセンサを回転ステージより回転させ、高精細なパノラマ画像を取得できる．設計するにあた

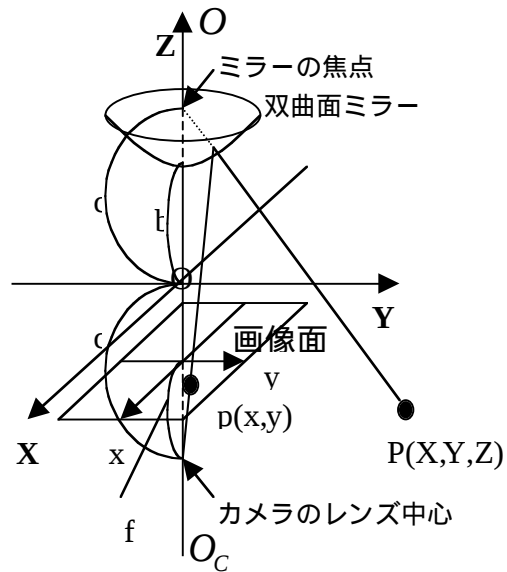


図4 HyperOmniVision の光学系

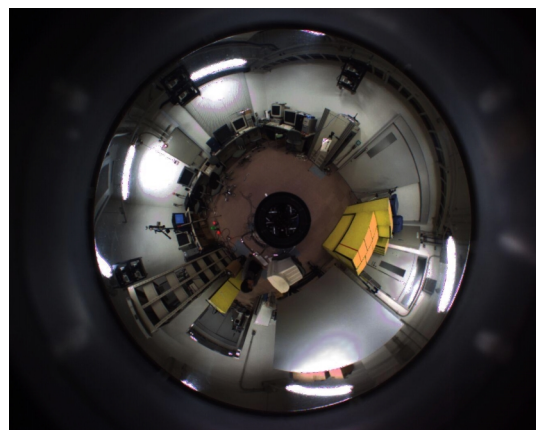


図5 実時間全方位視覚センサにより得られた画像

り回転型パノラマ視覚の上部に設置した HyperOmniVision の視界を妨げないようにコンパクトにすることを考慮した．具体的には図6に示すように、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° 曲げ、すべてのカメラの仮想視点を一致させる(図7)。このようにすることで、単一視点のパノラマ画像を獲得することができる．なお、用いたラインスキャンカメラは、RGB が並行に並んだ素子で、2700 画素、RGB 各々 8bit のラインデータが、5KHz の速さでサンプリングすることができる．ラインスキャンに取り付けるレンズは、35mm と 50mm の2種類の F マウントのカメラ用レンズに対応できるよう

に設計している．図 8 が，実際に製作した回転型パノラマ視覚である．

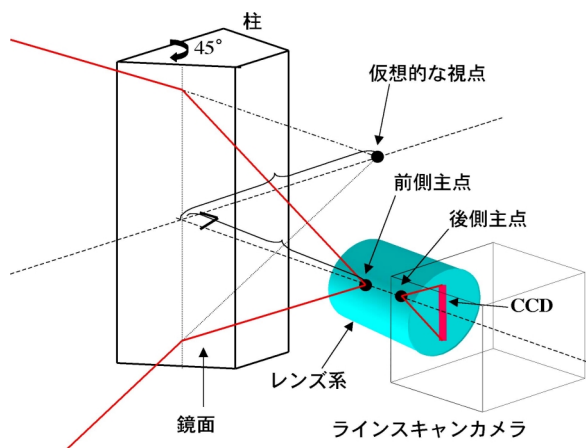


図 6 HyperOmniVision の光学系

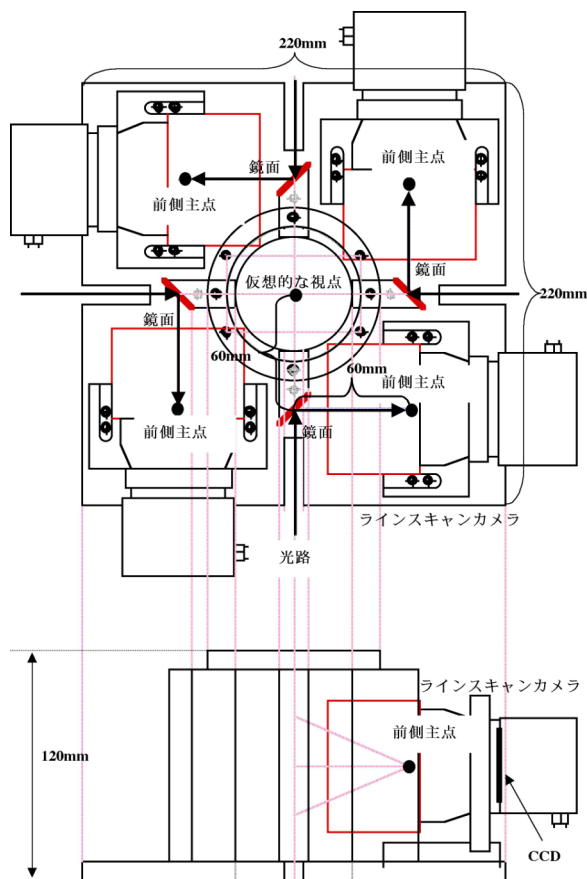


図 7 ラインスキャンカメラの配置

4 画像記憶部

画像記憶部は 2 台のワークステーションで構成される。本章では第 3 章で説明したセンサ部を制御し画像データを取得・保持する画

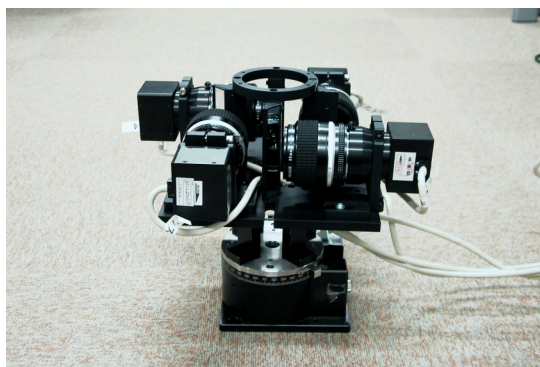


図 8 回転型パノラマ視覚

像記憶部について、ハードウェアと実時間で画像データを HDD に書き込むソフトウェアにわけて説明する。

4.1 ハードウェア構成

各ワークステーションのハードウェア構成を以下に述べる。2 台のワークステーションを区別するため WS1、WS2 という名称を用いる。

WS1

- ・ hp workstation x4000
 - Pentium Xeon 1.7GHz
 - RDRAM 512MB
 - Ultra160SCSI HDD × 3
- ・ 工業用デジタルカメラ対応 高速デジタル
 - 32bit 取り込みボード
 - IPM-8540D × 3

WS2

- ・ hp workstation x4000
 - Pentium Xeon 1.7GHz
 - RDRAM 512MB
 - Ultra160SCSI HDD × 3
- ・ 工業用デジタルカメラ対応 高速デジタル
 - 32bit 取り込みボード
 - IPM-8540D × 1
 - IPM-8560D × 1

IPM-8540D 及び IPM-8560D はワークステーションの 32bitPCI バスに取り付けられ、RS-422 規格でそれぞれ 4 台のラインスキャンと 1 台の全方位視覚センサ(KP-F100C)が接続されている。

4.2 実時間記憶方式

ここでは本システムが長時間安定してリア

リアルタイムに画像データを HDD に書き込むための実時間記憶方式について説明する。

取り込みを開始する前にまず各カメラがメモリ上に画像データを転送するための専用の領域を確保する。その後、一度書き込み命令を出すと中止命令を出すまでそのメモリ領域を何度も上書きする。そのため、長時間リアルタイムで画像データを得るためには、上書きされる前に HDD に書き込む必要がある。全体のデータの流れを図 9 に示す。基本的には、一度に書き込むデータ量を一定にし、書き込み時の HDD に対する負荷が一定になるよう配慮した。

各カメラ 1 台に対し Ultra160SCSI のハードディスク 1 台を対応させている。ラインスキャンカメラから取り込みボードに入力されるデータは RGB 各 1byte 計 3byte であるが、メモリに DMA 転送される時にダミーデータを 1byte 加えて計 4byte のデータを転送しているため HDD に書き込むデータ量は画像データより多くなる。また、全方位視覚センサ(KP-F100C)からのデータは 1 画素当たり 10bit のデータとして 6bit のダミーデータを加えて 16bit のデータとしてハードディスクに書き込まれる。

5 カメラキャリブレーション

理想的には設計図と全く同じようにセンサシステムを組み立てることができれば問題はないが、実際は取り付けの時に誤差が発生する。また、各々の CCD 素子の感度も異なる。その結果、回転型パノラマ視覚でパノラマ画像を撮影しても各ラインスキャンカメラにより得られた画像がとらえている方向や色、明るさが異なるため、90°ごとに境界線ができてしまう。この問題を低減させるため、以下に述べるアライメント及びキャリブレーションを行った。

5.1 ラインスキャンカメラにおけるフォーカスの変動による像の大きさの変動

ラインスキャンカメラから 2m に物体を置き、フォーカスを変化させその像の大きさを比較した。その結果、フォーカスの変動による像の大きさの変動がほとんどないことを確認した。このことにより、以下のアライメント及びキャリブレーションにおいて各カメラのフォーカスが少々異なっても同じ物体は同じ大きさの像が得られることが保証された。

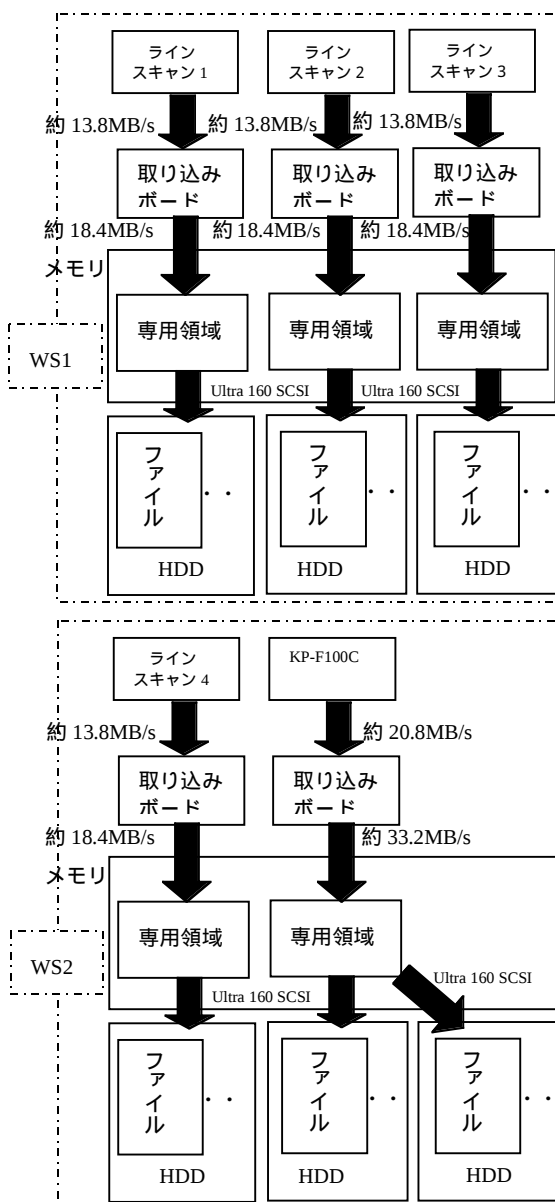


図 9 データの流れ

5.2 RGB ラインのずれによる色ずれの補正

理想的にはラインスキャンカメラの R、G、B の各ラインが物理的に同じ位置に存在していればよいが、今回用いた NED 製ラインスキャンカメラ NXCL2700D では、図 10 に示すように 3.2 μm ずつ水平に離れた位置に並行に並んでいる。そのため、全く同じタイミングで撮影したとしても R、G、B 各ラインはそれぞれ異なる方位をとらえている。このようなデータを単純に同じラインとして扱い画像を生成すると色ずれを起こしてしまい、ラインスキャンカメラの特徴である高分解能

が損なわれてしまう。そこで線形補間の手法を用い、各ラインの方位ずれを補正する（図 1 1）。すなわち、回転ステージが既知である一定速度で回転しているため隣接するフレーム間での R ラインどうし、G ラインどうし、B ラインどうしの観測方位差 a は同じになる。そこで R-G 間、G-B 間のなす角度を b とすると、 a, b には次式で示す関係が成り立つ。試作したシステムの場合、 b は、画素換算で約 3 画素であった。

$$a = (\text{回転ステージの速度}) \times (\text{最短スキャン周期}) \quad (5.1)$$

$$b = \arctan((R-G, G-B \text{ ライン間隔}) / (\text{レンズの焦点距離})) \quad (5.2)$$

この関係を利用し RGB の各ラインの相対的な位置関係を求める。そして改めて得たいラインの画素データ（図 1 1 中の破線）を隣接するラインの画素データから線形補間して求める。

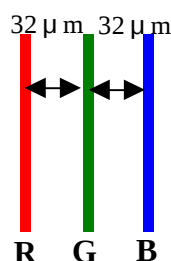


図 1 0 ラインスキャンカメラのライン間隔

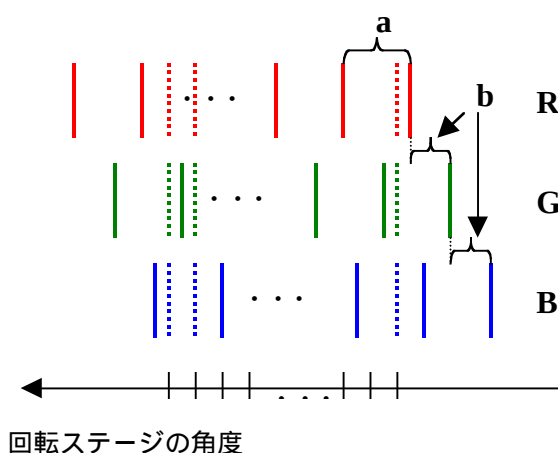


図 1 1 画素補間

5.3 ラインスキャンカメラの CCD 素子と回転軸との平行性

図 1 2 のような白と黒のパターンをラインスキャンカメラから 2m の位置に配置し、その像から平行性のずれを調整する。また、パターンの境界線は直交していると仮定する。まず、パターンの水平方向の境界が画像上で真横になるようにパターンの置く位置を調整する。これにより、パターンの垂直方向の境界線と回転軸の平行性が保証される。次に、垂直方向の境界が画像上で上下まっすぐになるようにラインスキャンカメラの CCD 素子の方向を調整する。その結果、ラインスキャンカメラの CCD 素子を回転軸と平行になるように調整できた。

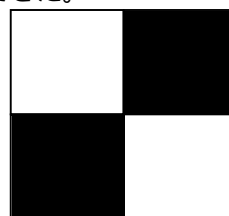


図 1 2 パターン

5.4 ラインスキャンカメラのダイナミックレンジのキャリブレーション

4 台のラインスキャンカメラの CCD 素子の感度、RGB 間の感度はそれぞれ異なる。そのため、同じ色の物体をスキャンした時に同じ色に見えるように画像を生成する時に各カメラの R、G、B の値それぞれにある係数をかけて補正を行う。まず、全ラインスキャンカメラの絞りを全開にしフォーカスを 2m にあわせる。「壁が白い」と仮定し、同じ領域を撮影して全てのカメラが同じ白色になるように係数を決定した。

5.5 4 台のラインスキャンカメラ間の位置のアライメント

回転型パノラマ視覚を 360° 回転させ、各ラインスキャンカメラのデータからパノラマ画像を生成する。同じ物体が同じ位置に見えるように方位方向と鉛直方向の向きをできるだけ調整する。しかし、実際には、完全な調整は困難なため、同じ物体の像の方位方向のずれから各ラインスキャンカメラがどれだけ理想の直交状態からずれているかを計算し、画像生成時にそのずれを補正した。

5.6 実時間全方位視覚センサのアライメント

カメラのレンズ中心が双曲面ミラーの片方の焦点に存在することを仮定し、カメラの方向と双曲面ミラーの軸が一致するように調整をおこなう。もし、軸がずれていると得られた画像に映っているカメラ自身の像が円ではなく歪んで映る。カメラ自身の像が円になるようにカメラの方向を調整した。

6 性能評価

作成したソフトウェアが実時間で画像データを HDD に書き込めるかを検証した。ここでは、ある量のデータがカメラからメモリへ転送される時に理論的にかかる時間を「理論値」とし、次式で定義した。

$$\text{理論値} = \frac{1 \text{ ライン取り込む時間}(561 \mu\text{s})}{\times \text{ライン数}} \quad (6.1)$$

まず一度にメモリから HDD に書き込むデータ量を決定するために次の予備実験を行った。具体的には、1 万ラインのデータを書き込むときメモリから HDD に書き込むデータ量を変化させその時間を計測した。この予備実験の結果を表 2 に示す。この結果より 5 ラインずつ書き込む時が最も理論値（1 万ラインの理論値は 5610ms）に近く効率的であることがわかった。よって、ラインスキャンカメラのデータをメモリから HDD に書き込む時は 5 ライン分ずつ書き込むよう設定した。



(a) CS5130(40 万画素 CCD)使用時



(b) KP-F100C(130 万画素 CCD)使用



(c) 回転型パノラマ視覚
図 13 パノラマ画像

また、KP-F100C も同程度の転送容量になるように 1 台の HDD につき 40 ライン、計 80 ラインに設定した。

以上の予備実験後、すべてのカメラデータを HDD に書き込む実験を行った。その結果、WS1,WS2 とともにリアルタイムで画像データを HDD に非圧縮に書き込むことが可能であることが確認できた。

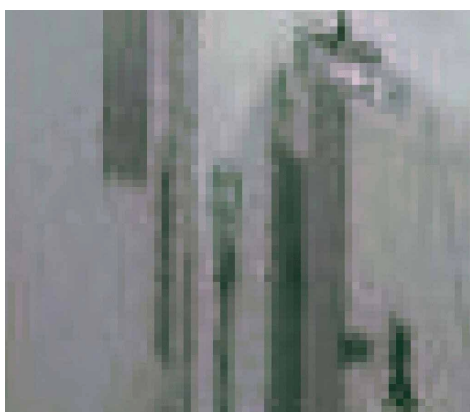
図 13 は、40 万画素、サンプリング周期 30Hz の全方位視覚センサ HyperOmni Vision で入力された画像をパノラマ変換した画像、本システムで用いた 130 万画素の HyperOmni Vision の映像をパノラマ変換した画像、さらに回転型パノラマ視覚により得られたパノラマ画像である。さらに、図 13 中の四角で囲まれた部分を拡大したものを図 14 に示す。これらの画像より回転型パノラマ視覚が実時間全方位センサよりもはるかに高精細な画像を取得できることが確認できた。

7 結論

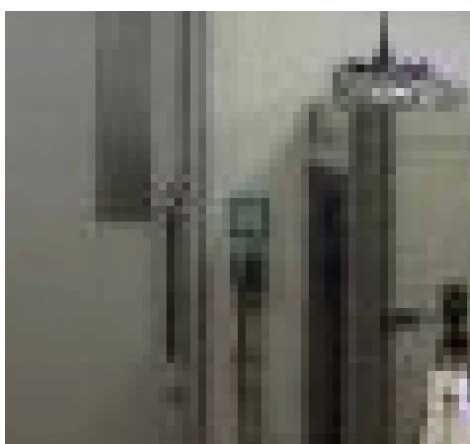
本報告では、実時間全方位視覚センサと回転型パノラマ視覚を組み合わせた高精細パノラマ画像入力システムを設計・製作し、各々のアライメント及びキャリブレーションを行った。また、各カメラからの画像データを実時間で HDD に書き込むことのできるソフトウェアを製作した。さらに、回転型パノラマ

表 2 1 万ライン書き込み時に
おけるライン数と時間

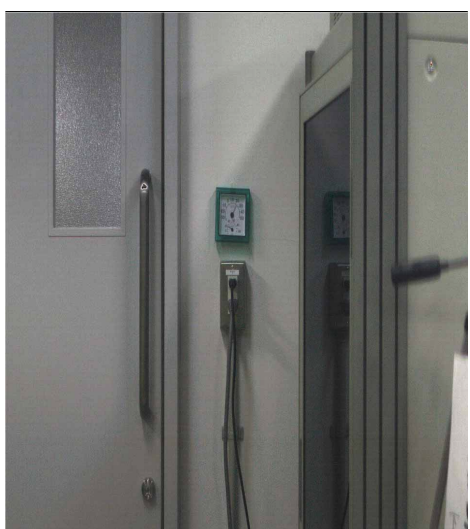
一度に書き込むライン数	平均 (m s)
1	5612.6
5	5609.2
10	5639.1
50	5901.6
100	572.8
300	6673.6
500	7972.6
700	8506.1
1000	8229.6
3000	9915.6



(a) CS5130(40 万画素 CCD)使用時



(b) KP-F100C(130 万画素 CCD)使用時



(c) 回転型パノラマ視覚

図 14 パノラマ画像(拡大図)

視覚を用いて高精細なデータを取得でき、画素補間を行って画像を生成するソフトウェアを製作した。

今後は、4 台のラインスキャンカメラで撮影された画像間のダイナミックレンジや位置

の補正を行うカメラキャリブレーションを行うことで、完全につなぎ目のない自然なパノラマ画像の生成を行い、その上で実時間全方位視覚センサと回転型パノラマ視覚により高精細のテクスチャを持つ 3 次元空間のモデリングを実現する予定である。さらに、本センサを車に搭載し走行することで、都市空間の高精細モデリングへの利用も行いたいと考える。

参考文献

- [1]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)
- [2]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)
- [3]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-),Vol.J79-D- ,No.5,pp.698-707(1996)
- [4]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)
- [5]Jiang Yu Zheng and Saburo Tsuji; Panoramic Representation of scenes for route understanding, Proc. Int. Conf. Pattern Recognition, pp.161-167 (1990)
- [6]辻, 加藤:環境構造変化の認知, 平成 7 年度科研重点知能ロボット成果報告書, pp.98-101, (1996)
- [7]Nalwa: Bell Labs solid-state video invention, CCD, comes full circle, URL <http://www.lucent.com/press/0196/960103.bla.html> (1996)
- [8]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.42 No.SIG13 (CVIM3),pp.1-18 (2001)