

多眼スマートセンサシステムとその応用に関する検討

小林 友岳[†], 大井 隆太郎[†], 味八木 崇[†], 相澤 清晴[†]

[†] 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 工学部 14 号館 530 号室

E-mail: [†] {tomotake,ooi,miyaki,aizawa}@hal.t.u-tokyo.ac.jp

あらまし 画素選択可能な 1x8 眼スマートセンサアレイを用いて、データ入力を効率化し、リアルタイム動作の任意視点画像取得・IBR システムの構築を目指す。また、それを 2 組用いて扇形に配置することにより、取り扱う空間範囲を広げ、多機能化を図る。それに加え、IBR 以外の用途、例えばトラッキング処理などに応用できる汎用性のあるシステム構築を目指し、検討していく。

キーワード リアルタイム IBR, 多眼スマートセンサ, ランダムアクセス, トラッキングシステム

The Study on the multi smart sensors system and the application

Tomotake KOBAYASHI[†] Ryutaro OOI[†] Takashi MIYAKI[†] and Kiyoharu AIZAWA[†]

[†] Department of Frontier Infomatics, The University of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033 Japan

E-mail: [†] {tomotake,ooi,miyaki,aizawa}@hal.t.u-tokyo.ac.jp

Abstract IBR (Image Based Rendering) is available to get virtual interactive images. But, most of traditional IBR deals with only static objects because of a large amount of image data. We study Real-time IBR system with CMOS smart image sensor. We are making 2 arrays of 8 smart sensors for plane IBR system and sector IBR system. We also study IBR system which many people can use at the same time, and multi-purpose system added tracking function. Here, we show the idea.

Keyword Realtime IBR, smart sensor array, random access, tracking system

1. はじめに

近年、超広角光学系を利用したり、カメラを並列に並べ、連携をとらせたりすることにより、3次元空間において視点や視線方向を再生時にインタラクティブに操作できることを特徴としたシステムが生まれ、実用化が進んでいる。実際、プレイステーション2用のソフトとして、モーニング娘。や浜崎あゆみのような有名ミュージシャンのコンサートの様子を任意視点で見ることができるようソフトも登場し、広がりを見せている。今後、BSデジタル放送のように双方向を唱えるコンテンツが増えるに従い、その流れはますます顕著になっていくであろう。

そのような3次元ビデオを生成する手法として、Image-Based Rendering (IBR) と呼ばれる手法がある。これは被写体の構造モデルを取得せずに任意視点画像を合成させる手法であり、以下のような特徴を持ち、注目されている。

- 計算量が比較的少なく済む。
- シーン複雑さに依らず、一定の計算量で任意視点画像を生成できる。
- ソースとなる画像は実物、仮想を問わない。

その IBR の実現方法の中で、多視点画像を入力画像として用いる Light-field rendering [1] は、3次元の自由度を持った任意視点画像の合成が可能であり応用範囲が広い。しかし今までの IBR システムは入力画像獲得のために多大な時間を必要としたため、静止被写体のみしか使うことはできなかった。インタラクティブに動被写体を撮るためにはリアルタイムで動作するシステムが必要であるが、それには入力画像の膨大なデータ量がネックになっていた。

本研究ではその対処のためにスマートセンサを用いることで不要なデータを削減したリアルタイム動作 IBR システムの構築を行った。2組の8眼スマートセンサアレイを製作し、これらを同一な平面上、あるいは扇状に配置する新しいシステムを検討する。さらに、多人数同時利用システムに発展させることにより、用途の多様化が期待できる。

また、これまで多数のカメラを用いて IBR システムを構築する場合、仮想視点生成だけにとどまっている。本研究では、リアルタイム IBR をベースに、同時にトラッキング処理も行えるシステムを構築する。

2. 実時間処理に向けた入力データ削減

2.1. IBR(Image-Based Rendering)について

任意視点画像を得るための方法としては、light field rendering の方式を用いる。図 1 のように s-t 面、u-v 面を定めると Light Field において 3 次元空間を通る光線情報は強度 $L(s,t,u,v)$ として表すことができ、強度 L は各光線における輝度値および色情報を持っているという考え方である。これは IBR において、基本となる考え方である。

被写体平面 u-v 面とカメラ平面 s-t 面とを通る光線と仮想カメラ平面との交点を求め、その光線の強度 L から、各画素での輝度・色情報を得ることができる。これを仮想カメラによって得られる平面全体に行うことにより、任意視点画像を生成することができる。

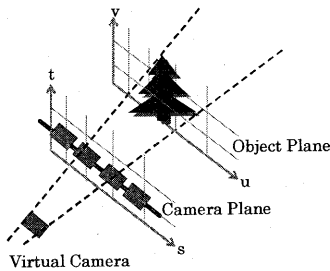


図 1 任意視点からの画素取得法

2.2. 処理データ量の削減

IBR では任意視点画像を得るために多くの入力画像を必要とする。だが、データをそのまま利用しようとすると、多数の連続データの同時取り込みができないため、従来は撮影に時間がかかり、被写体は静止物に限定されてしまっていた。だが、そのようなシステムでは使い道に乏しいため、動被写体に対応した実時間で動作する必要がある。そのため、データサイズの最適化を図る必要がある。

たとえば、1 個の CCD カメラに 1 台の Client-PC の組み合わせを複数用意し、サーバからの要求部分だけを切り取り 1 台のサーバに送り込むことで実質的なデータレートを減らしリアルタイムを実現しているシステムがある[2]。その場合、全体のシステム規模が大きくなってしまいコストがかさむ。

また、4x4 個の CCD カメラアレイから得られた画像を 2 つの 4 面分割器を用いて 1 枚の画像にまとめ、入力データ量を減らすことでリアルタイム動作を実現しているシステムもある[3]。しかしその場合、データ量を減らすためとは言え、獲得した画像解像度を水平、垂直方向ともに元の 1/4 にしてしまっている。また、4 面分割器による歪みも生じてしまう。

2.3. イメージセンサの種類について

以上で考慮されているとおり、各カメラから撮られた画像のすべてが必要であるとは限らない。

通常画質の高さからよく用いられている CCD イメージセンサを使う場合、センサが全画素読み出しであるため、以上のように、データ圧縮を行うにはいったんデータを取り込み、カメラの後ろに PC などをつかして処理しなければならない。

このため、イメージセンサ自体に画素選択機能があることは望ましく、筆者らはそのような空間可変サンプリングを行うスマートセンサを作成してきた[4]。CMOS イメージセンサは、画質に関しては CCD に比べやや劣るものの、画素選択のような望ましい機能を同一チップ上加えることができる。さらにコスト面でも有利である。そこで画素選択機能付き CMOS イメージセンサを利用したシステムを構築する。

ここでは以下に示す用途で用いることを考え、2 組の 1x8 眼スマートセンサアレイを作成した。

3. リアルタイム IBR システムの構築

3.1. 平面リアルタイム IBR システム

まずセンサアレイを水平に並べ、1x8 眼の平面リアルタイム IBR システムを構築する。大井の達成していた 4x4 眼センサアレイシステム[5]と比べ水平方向のみしか視点変更できないものの、広い範囲をカバーすることができる。水平に 2 枚並べることで、容易に 1x16 眼にできる。

画素の取得法としては、上記の手法を用いる。仮想カメラから被写体への光線方向と実カメラからの光線方向は必ずしも一致しないため、実際には図 2 のように実カメラの画角が許す範囲内で、角度が一番近くなるような光線を用いることができるように、実カメラを選んでいく。このため、各カメラから撮った画像で重複している領域が多いことが望ましい。

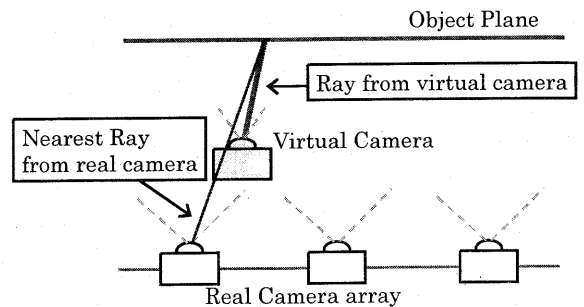


図 2 平面上での画素特定

3.2. 2枚の8眼アレイ扇形 IBR システム

IBR では被写体が同一平面上にあると仮定して話を進めていることから、そのシステムも通常は、同一平面上にカメラを配置する。しかし、2組の8眼アレイとすることにより、図3のような扇形の構成をとることができる。アレイを外側に向ける(①の向き)ことにより、取り扱う空間範囲を広げることができる。また、内側に向ける(②の向き)ことにより被写体を1つの視線方向のみならず、別角度からも詳細に眺めることができ、それにより平面から見ていたものとは異なる見方ができると考えている。本節では後者の並べ方を採用した視線方向変更可能 IBR について検討していく。

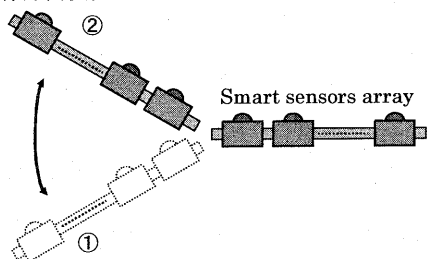


図3 多眼スマートセンサの扇形構成

今までは仮想カメラの視点のみの変更について述べてきたが、視線方向も変更したいという要求が起ってくる。視線方向の変更を考える場合の配置法としては、まず、円状に配置していくという方法が考えられる。しかしその場合、センサを被写体方向すべて配置せねばならないが、連結部での歪みが生じやすいため撮影時にはカメラ位置の調整を綿密に行う必要がある。だが、2組の多眼スマートセンサを用いることを前提として考えると、扇形に配置し、被写体を覗き込むことにより、その調整を簡便化できると考えられる。

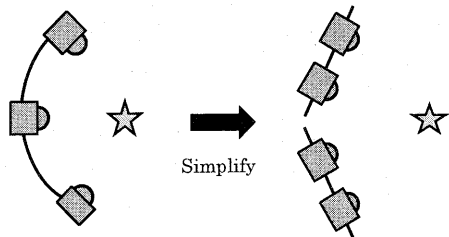


図4 円状配置からの簡便化

このように配置し、被写体を中心に見据えながら円周上で仮想カメラを動かしていくときの画素を特定する場合も平面のときと同様、図5のように光線の角度が一番近くなるように選んでいく。しかし、平面の場合と異なり実カメラから焦点の合う平面と仮想カメラから焦点の合う平面間にギャップができてしまう。こ

のギャップが十分小さければ画像は正常に復元されるが、大きくなりすぎると切り出した画像の間にひずみが発生し、画像が乱れてしまう。このためどれくらいの大きさまでギャップが許されるかを示す値、つまり、等価被写界深度を大きくするように考えていき、その条件の元で動作させる必要がある。

等価被写界深度を大きくする方法としては、

- 実カメラの焦点距離を伸ばす
- 実カメラのカメラ間隔を狭くする
- 実カメラの視角を小さくする

以上のことを考慮し、等価被写界深度を十分にとることができる環境を整える必要がある。

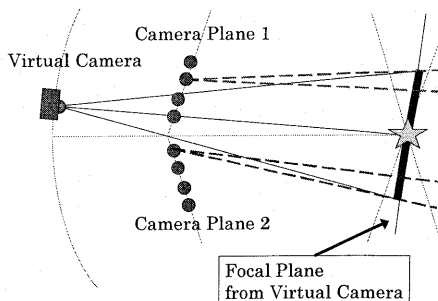


図5 視線方向変更時の画素特定

3.3. 複数人同時利用への拡張

通常、IBR システムでは同時に1仮想視点からの画像しか求めない。IBR では多数の入力画像の必要から、運用には多数のカメラが必要となる。このため IBR 処理に限って言うと、これほど多数のカメラを用いるのであれば、1台のカメラをロボットアームなどで動かしていく方がいいのではないかと、いう説もあがってくる。

そのため、ここでは複数人数での IBR 利用を提案する。複数人数で同時利用する状況考えると、各個人の求める視点が異なっても、実際にカメラを動かす場合と比べ、駆動部がなく、シンプルなシステムにすることができる。最小限のデータ量で任意視点画像を達成できることになり、インターネット等を利用した双方向コンテンツ等にも有効であろう。

4. トラッキング処理の導入

以上では多数のスマートセンサをリアルタイム動作 IBR のためのみに用いることについて述べてきた。しかしその用意した多数のカメラを利用することで、IBR 以外のリアルタイム画像処理も行うことができるようになる。その1つとしてトラッキング処理を行うことができる。

4.1. 一般的なトラッキング処理

トラッキングを行う方法の中でも一般的なものとしては、ミラーなどを用いた全方位カメラを用いて空間を撮影しておき、画素差分を撮ることにより方法が挙げられる。また、首振りカメラを使い、被写体をカメラの中心におくように首を振らせることで追跡する方法も挙げられる。

しかし、ミラーなどを用いた全方位カメラを用いる場合、内周部と外周部で画素の大きさに違いが生じてしまい、ひずみが発生してしまう。このため、それに対応した専用のカメラを用いることや、画像処理を行い補整するなどして対処する必要がある。

また、首振りカメラを用いる場合は、被写体の動く向きが急に変わったり、早過ぎたりすると対処できないこと、構造上、複数の被写体すべてを追跡することができないなどの問題点が挙げられる。

多眼スマートセンサを用いることにより、それらの問題点に対処することができる。

4.2. 多眼スマートセンサを用いたトラッキング処理

上記の多チャンネルリアルタイム IBR システムを用いて、撮影範囲全体の画像を撮影する。データ送信量を考慮し、全体の出力を低解像度で用い、その画素差分をとり移動物体を検出する。さらに、検出した物体部分だけを高解像度で追跡するという仕組みを作ることができる。4x4 の 16 眼アレイを用いる場合の動作例を図 6 に示す[6]。アレイを用いることでカメラを移動することなく、広い空間をカバーするトラッキングシステムが構築できる。この場合、移動物体が複数存在していてもそれぞれについて対処することができる。またカメラに機械的な動作が不要であるため、移動物体が高速な場合にも対応でき、簡潔なシステムでトラッキング処理を達成することができる。

IBR の場合と同じく 2 組のアレイを用いることにより、さらに広い範囲を扱うことができよう。また、上記のシステムは平面上の移動物体に対してのみ動作するが、お互いのアレイを図 7 のように直交させ、お互いに管理している情報の連携をとることにより、3 次元的に物体追跡を行うことも可能となるであろう。

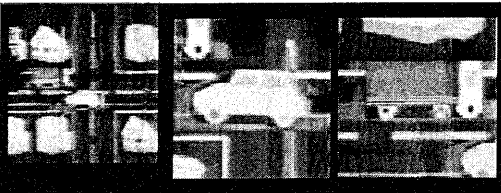


図 6 多眼スマートセンサによるトラッキング処理

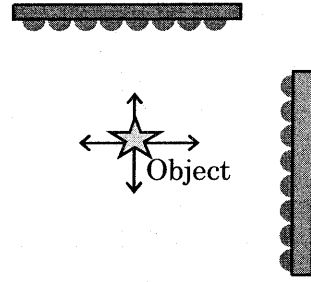


図 7 2 組のアレイを用いたトラッキング時の配置図

5. システム構成

我々の提唱するシステムの構成図は図 8 である。IBR 処理を行う場合を中心として、各箇所について示していく。

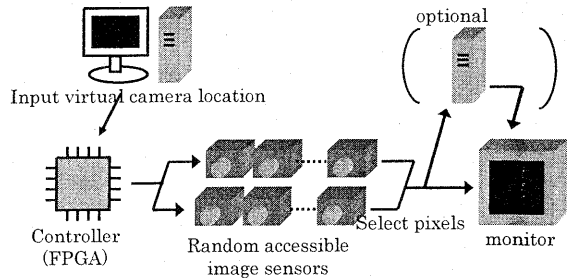


図 8 リアルタイム動作任意視点画像取得システム

PC(CPU:Celeron-1.8GHz,memory:128MB,OS:Linux)に仮想視点の位置情報を入力する。その情報を元にして、仮想視点と実カメラとの位置関係、画角を考慮し、図 2、図 5 のように、仮想視点からの光線方向が実カメラのもの一番近くなるような実カメラからの光線を選び出し、それぞれの実カメラの中で用いる画角を求め、どのアドレスの画素が必要とされるのかを求める。コントロール部に送信するのは、そのアドレスデータのみである。

コントロール部では、PC から得たアドレスデータを用いて、リアルタイムに各カメラの出力制御を行う。その高速動作のために、FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いた。使用した FPGA は XILINX 社製の XC4013XLA である。

イメージセンサとしては専用設計の任意画素切り取り機能付きスマートセンサを用いた。その仕様は表 1 の通りであり、アレイとして配置していく際、カメラ間隔は 5.08cm とした。

FPGA との組み合わせにより指定されたアドレス区間のみを切り出し、モニタに出力する。出力すべきデータの大きさは仮想カメラを再現するために必要な画素数によって決まるため、センサアレイに添えつけて

あるカメラの数が増えても無関係である。少量のアドレスデータによって、膨大な不必要である画素データを出力せずに済み、高速動作を見込むことができる。

また、FPGA を用いたコントロール部では、任意の画素を出力させるだけではなく、解像度を下げることでもできるようにしてあるため、トラッキング処理用に低解像度な全体画像を出力することができる。

出力はアナログで行い、そのままモニタに出力している。しかし、その出力をオプションとして用意したPCにキャプチャして取り込み、そこで画像処理を行うこともできるため、トラッキング処理も実装していくことができよう。また、IBR を行う上でまずは単純に切り張りを行うことを想定しているが、それぞれの画像の端を少し余計に切り出しておいてキャプチャし、補完し歪みを減らすといった使い方も可能である。

以上のシステムのプロトタイプが図 9 である。

表 1 スマートセンサの仕様

画素数	128 x 128
ピクセルサイズ	30 μ m x 30 μ m
閉口率	21%
読み出しレート	13.8Mpixel/sec
電源電圧	3.3V
消費電力	6.8mW
パッケージ	PGA68

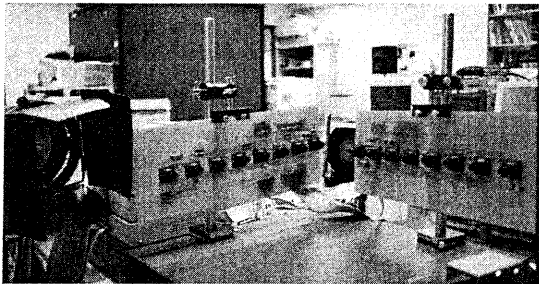
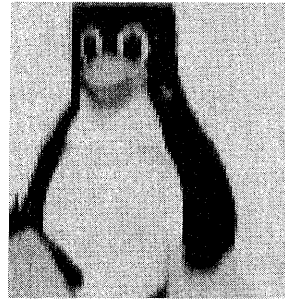


図 9 プロトタイプシステム

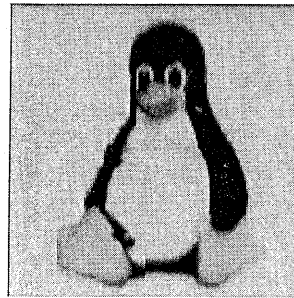
6. 平面 IBR 動作実験

平面 8 眼スマートセンサを 1 組用いて、平面上での 8 眼任意視点移動システムを構築し、画像を獲得した。被写体としてはデフォルメされたペンギンの画像とブロックの入った箱を、どちらの場合もカメラから 15cm の位置に配置し、実験を行った。

奥行き方向 z (z の大きい方が被写体から遠ざかる向き) の値を (a) \rightarrow (b), (c) \rightarrow (d) と大きくしていくと、確かに見える範囲が広がっている。また、 x 座標、 y 座標の変化により視点に変化している。



(a) 仮想視点(100mm, 0mm, 100mm)の場合



(b) 仮想視点(110mm, 0mm, 200mm)の場合



(c) 仮想視点(90mm, 5mm, 120mm)の場合



(d) 仮想視点(110mm, 0mm, 200mm)の場合

図 10 任意視点画像の出力結果

高速動作を求め、画像の切り出し・貼り付けを行っているのみで、画像間での補完は行っていない。そのようにして、毎秒 30 フレームでの表示を実現している。

この場合でも多少の歪みが発生しているが、今後扇形配置にすることで被写体が立体になると、さらに歪みが大きくなるのが容易に想定される。このため、キャプチャし、補完処理を行っていくことについて、検討していく必要がある。

また、遠くから見た画像を作り出す場合は高解像度で、逆に近くから見た画像の場合は低解像度で出力されることになり、全体の画素サイズを固定していないため、直感的には分かりづらい。その点も改善していく必要がある。

7. まとめと今後の課題

8眼スマートセンサアレイを2組用いることにより、リアルタイムに動作する平面、扇形IBRシステムを提案した。そして、多人数同時利用可能IBRシステムを提案した。また、IBRと同時にオブジェクトのトラッキングも行う、複合システムを提案した。そしてプロトタイプを作り、平面上でのIBRを行い、毎秒30フレームのリアルタイム処理を達成した。

今後はまず、まだ実装できていないトラッキングシステムの導入や扇形配置でのIBRを目指す。また、補完処理についても検討していく予定である。

文 献

- [1] M. Levoy and P. Hanrahan, "Light field rendering," *SIGGRAPH'96*, pp.31-42, 1996.
- [2] 沓名輝幸, 藤井俊彰, 谷本正幸「光線空間データのリアルタイム取得システム」, *IMPS2002, I-4.07*, pp.93-94, Oct. 2002.
- [3] T. Naemura and H. Harashima, "Real-Time Video-Based Rendering for Augmented Spatial Communication," *SPIE'99*, pp.620-631, 1999.
- [4] 大塚 康弘, 浜本 隆之, 相澤 清晴, 羽鳥 光俊: "空間可変サンプリングを撮像面上で行う新しいイメージセンサの設計・試作", *映情学誌, Vol.53, No.2*, pp.261-268, (1999)
- [5] R. Ooi, T. Hamamoto, K. Aizawa, "Image Acquisition by Pixel Based Random Access Image Sensor for a Real Time IBR System," *IEICE, Vol.E85-C, No.3*, pp505-510, March 2002.
- [6] 大井隆太郎, Marcus Magnor, 相澤清晴「ランダムアクセスカメラアレイを用いた広域かつ詳細な監視システム」, *IST-2003-16, ITE Technical Report Vol.27, No.38*, pp13-16, July 2003