

CMOS + FPGA vision を用いた高速 3 次元位置計測

相野 莉恵, 清水 一弘, 平井 慎一 立命館大学

High-speed 3D position measurement using CMOS + FPGA vision

Rie AINO, Kazuhiro SHIMIZU, Shinichi HIRAI, Ritsumeikan Univ.

Abstract: In this paper, we describe a stereo vision system with the CMOS+FPGA vision. A vision sensor must obtain visual features of a target object, synchronizing its sampling rate to the sampling rate of the control. Thus, we need image capturing over 1,000 Hz with high resolution, visual feature transmission to a control system with little delay. First, we introduce the CMOS+FPGA vision system. Next, we show a stereo vision system using the CMOS+FPGA vision system.

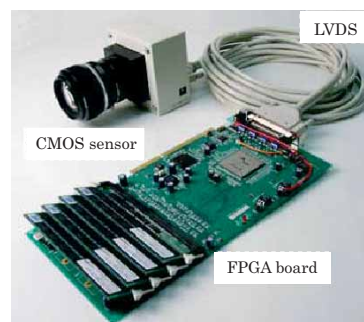
1 はじめに

ロボットの作業の中には、3次元を対象としたものが多く、安定に制御するためには、3次元の位置情報の取得が重要となる。また、リアルタイムにフィードバックすることが要求される。このとき、従来のビデオフレームレート(30 Hz)では不十分であり、1,000 Hz 相当のフレームレートが必要となる。高速ビジョンの研究として、石川らによるビジョンチップ [1] と石井らによる Mm Vision[2] が挙げられる。石川らは、センサと処理要素を画素ごとに直結したアーキテクチャを1チップに集積化することにより、1,000 Hz 高速ビジョンシステムを実現している。このシステムでは、並列に処理要素を配置しているため、フィルタ処理などの局所的な演算は高速に行うことができるが、フーリエ変換などの大域的な演算の実装は困難である。一方、石井らは、メガピクセルの画像領域から必要な画像領域を限定することにより、PCI バスのボトルネックを解消し、高速ビジョンシステムを実現している。このシステムでは、画像領域を限定しているので、検出対象に対してオクルージョンが生じたときリアルタイム性を確保して検出対象を発見することができなくなるという問題がある。そこで我々は、1,000 Hz で撮影し、画像全域を処理する CMOS + FPGA vision を提案している。画像重心アルゴリズムを FPGA 上に実装し、1,280 × 504 pixel の画像に対して 1 ms での位置検出を実現した。また、オクルージョンに対しても有効であることを示した [3]。さらに、大域的な演算を含むアルゴリズムである matched filter 法を実装した [4]。これにより、2次元画像において、位置を高速かつロバストに検出することが可能になった。本報告では、2台の CMOS+FPGA vision を用い、対象物体の3次元の特徴量を求めるステレオビジョンシステムを提案する。さらに、画像重心アルゴリズムを用いた物体の3次元位置計測について述べる。

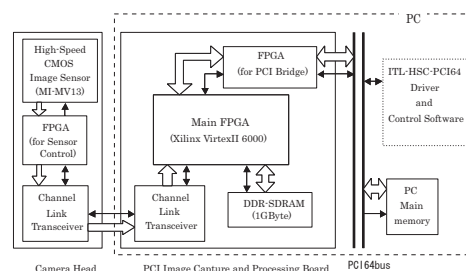
2 CMOS+FPGA vision

2.1 コンセプト

CMOS+FPGA vision は、取得した画像から必要な情報のみを PC に通信することにより、高リアルタイム性を確保する。高解像度であると画像処理量も膨大になるが、FPGA で画像処理を行うことで、演算結果のみを通信することができ、PCI バスの通信速度の制限の問題も解消できる。



(a) appearance



(b) architecture

Fig.1 CMOS+FPGA vision

2.2 システム構成

高速ビジョンシステムは画像技研製の ITL-HSC-AD-SDK を使用している。Fig.1-(a) に高速ビジョンシステムの概観と Fig.1-(b) に信号の流れを示す。ITL-HSC-AD-SDK は Fig.1-(a) に示すように、CMOS センサ、PCI64 ボードと LVDS ケーブルから構成されている。カメラヘッドに搭載された CMOS センサにより、1,280 × 504 pixel の画像サイズを最大 1,000 fps で撮影でき、PCI64 ボード上の FPGA で画像の特徴量を計算する。PCI64 ボード上に搭載されている FPGA は、Xilinx 製 Vertex- で、600 万システム相当の論理回路を構築できる。Fig.1-(b) に示すように、CMOS センサで撮影された画像は、FPGA を介し、その演算結果のみを PCI バス経由で PC に転送する。

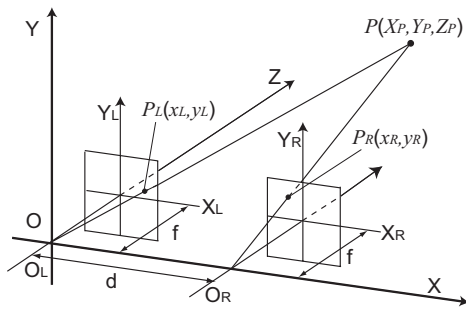


Fig.2 Camera placement and coordinate system

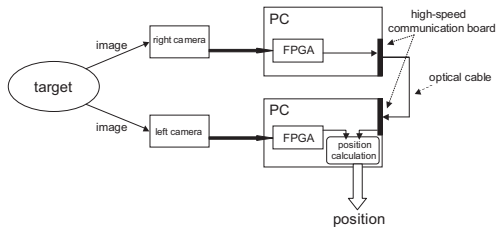


Fig.3 Stereo vision system using CMOS+FPGA vision

3 ステレオビジョン

3.1 ステレオビジョン

ステレオビジョンとは、三角測量の原理により、物体の3次元空間における位置を検出する方法である。ステレオビジョンのカメラ配置と座標を Fig.2 に示す。図に示すように、3次元空間中に絶対座標系 (X, Y, Z) を考え、カメラの光軸が互いに平行で、かつ各々の画像面が同一平面上にあるように、距離 d だけ離して平行に並べる。カメラの焦点距離を f とする。Fig.2 のように座標をとると、 $P(X_P, Y_P, Z_P)$ は画像座標 $P_L(x_L, y_L)$, $P_R(x_R, y_R)$ から以下の式により求める [5]。

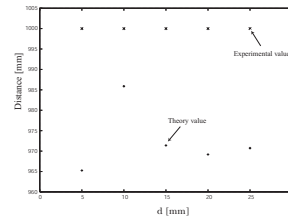
$$X_P = \frac{d \cdot f}{x_L - x_R}, \quad (1)$$

$$Y_P = \frac{d \cdot y_L}{x_L - x_R} = \frac{d \cdot y_R}{x_L - x_R}, \quad (2)$$

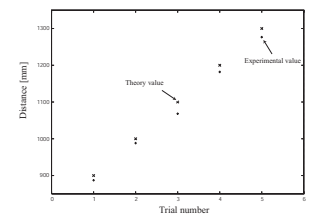
$$Z_P = \frac{d \cdot f}{x_L - x_R}. \quad (3)$$

3.2 システム構成

CMOS+FPGA vision を用いたステレオビジョンシステムの構成を Fig.3 に示す。左右2つの CMOS センサで画像を撮影し、それぞれ FPGA 上に構築された画像処理回路により、撮影された画像の画像重心 P_L および P_R を計算する。これらの画像重心および式 (1) ~ (3) により計測点 P を求める。また撮影する対象として LED を用いた。2台それぞれで算出した画像重心位置は、1台の画像重心位置をアバールデータ製の高速通信ボード ACP - 732 を用いてもう1台の PC に転送し、1台の PC 上で計算する。



(a) Constant distance d



(b) Constant distance

between camera and target

Fig.4 Experimental and theoretical results of distance Z_P

3.3 事前実験

事前実験としてカメラ1台を用いて、CMOS+FPGA vision において正しく位置検出ができるかどうか検証した。カメラで物体を撮影し、その後カメラを右にずらし撮影するという方式で行った。 d を 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm と移動させたときの距離 Z_P の算出結果を Fig.4 に示す。カメラから物体までの距離を固定し、 d を 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm と移動させたときの距離 Z_P の算出結果を Fig.4-(a) に、 d を 100 mm に固定し、カメラから物体までの距離を 90 mm, 100 mm, 110 mm, 120 mm, 130 mm と変化させたときの距離 Z_P の算出結果を Fig.4-(b) に表している。実験結果より、カメラ1台を移動するという方式をとったことを考慮すれば、ほぼ近い値が算出されたことがわかった。

4 おわりに

本報告では、CMOS+FPGA vision を用いたステレオビジョンシステムを提案した。今後は実際にステレオビジョンシステムを構築し、高速な3次元位置検出を行う。また matched filter など様々な画像処理アルゴリズムによる高速な3次元位置検出を構築する。

参考文献

- [1] 石川正俊：“超高速ビジョンの展望”，日本ロボット学会誌，vol.23，No.3，pp.2-5，2005.
- [2] 石井，杉山，加藤，黒住，沼田，田島：“知的画素選択機能を有する高速・高空間解像度ビジョンシステム”，第5回計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会予稿集，pp.821-822，2004.
- [3] 清水一弘，高橋考作，平井慎一：“CMOS センサと FPGA を用いた高速・高解像度ビジョンシステムの構築”，ロボティクス・メカトロニクス'05 講演会予稿集 CD-ROM，2005.
- [4] Kazuhiro Shimizu and Shinichi Hirai, "CMOS+FPGA Vision System for Visual Feedback of Mechanical Systems", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2060-2065, Orlando, May, 2006.
- [5] 奥富正敏：“ステレオがなぜ難しいか”，日本ロボット学会誌，Vol.16，No.6，pp.39-43，1998.