

# 光切断法による高精細・実時間3次元撮像システム

## A High-Resolution and Real-Time 3-D Imaging System Based on Light-Section Method

学生会員 大池 祐輔<sup>†</sup>, 新宅 宏彰<sup>†</sup>, 池田 誠<sup>†,††</sup>, 浅田 邦博<sup>†,††</sup>

Yusuke Oike<sup>†</sup>, Hiroaki Shintaku<sup>†</sup>, Makoto Ikeda<sup>†,††</sup> and Kunihiro Asada<sup>†,††</sup>

あらまし 光切断法は高精度距離計測を実現する一方、高解像度・実時間3次元計測の実現は従来困難であった。本稿では、我々の開発したVGAの解像度を有するスマートイメージセンサと制御・信号処理・伝送系を集積した高精細・実時間3次元計測システムを報告する。

キーワード：光切断法，3次元撮像，高精細，実時間，スマートイメージセンサ

### 1. ま え が き

近年、普及のめざましい3次元映像情報メディアは、今後もあらゆる場面での広がりが期待され、要素技術の一つである3次元情報の入力技術にも高速化や高解像度化、柔軟な視覚機能などが要求されている。本稿では、光切断法に基づく3次元形状計測を高解像度・実時間で実現する計測システムを報告する。一般に、光切断法は複数カメラによる両眼立体視法や光の伝搬時間を利用したレーダ法と比べて、簡易な演算処理で高い距離精度を得ることができる。一方で、対象物体の距離画像を得るには、投射光の走査と解像度に応じた複数回の撮像が必要となり、CCDなど通常のイメージセンサによる3次元動画撮像は困難であった。例えば、1M画素解像度の3次元動画撮像には30 ns/rowのアクセス速度が要求される。3次元画像を高速に得るために、投射したライン光を高速に検出するスマートポジションセンサがいくつか提案されている<sup>1)~3)</sup>。これらのスマートセンサは、解像度は低いものの30 range\_map/s程度の撮像速度を実現している。しかし、高速なポジション検出のために画素内に特別な回路を有し、高解像度化が困難であったり、高解像度化したときに動画に十分な撮像速度を実現できないという問題を抱えている。

我々の開発したVGA(640×480)の画素解像度を有する

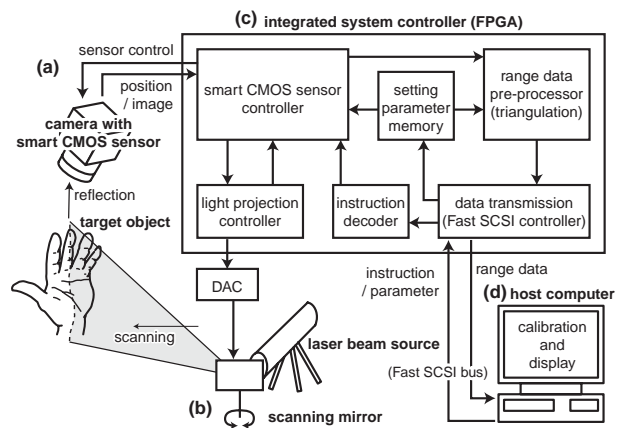


図1 実時間3次元計測システムの構成  
System structure of a real-time 3-D measurement system.

距離センサ<sup>4)</sup>は、従来の距離センサと比べて、小型な画素回路による高解像度化と高解像度での3次元動画が要求する撮像速度を実現した。本スマートセンサおよび高速なセンサ制御・信号処理・伝送系を集積した高精細・実時間3次元計測システムとその計測結果について報告する。

### 2. 計測システムの構成

図1に、我々の構築した実時間3次元計測システムの構成を示す。本システムでは、レーザ光をロッドレンズによってライン状に伸長した投射光を、ガルバノミラーを用いて対象物体上で走査する。対象上の走査投射光の位置を、我々の開発した640×480画素スマートイメージセンサを用いたカメラで異なる視点から撮像する。FPGAを用いたシステムコントローラには投射光源およびカメラの制御、信号処理、ホストコンピュータへの伝送が実装されている。

2003年4月18日受付，2003年5月9日採録

<sup>†</sup> 東京大学大学院工学系研究科  
(〒113-8656 文京区本郷 7-3-1, TEL 03-5841-6719)

<sup>††</sup> 東京大学大規模集積システム設計教育研究センター  
(〒113-8656 文京区弥生 2-11-16, TEL 03-5841-8901)

<sup>†</sup> Department of Electronic Engineering, University of Tokyo  
(7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656)

<sup>††</sup> VLSI Design and Education Center (VDEC), University of Tokyo  
(2-11-16 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656)

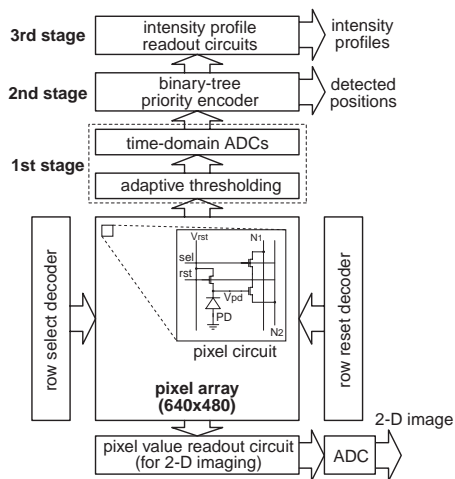


図2 スマートイメージセンサのアーキテクチャ  
Architecture of the smart image sensor.

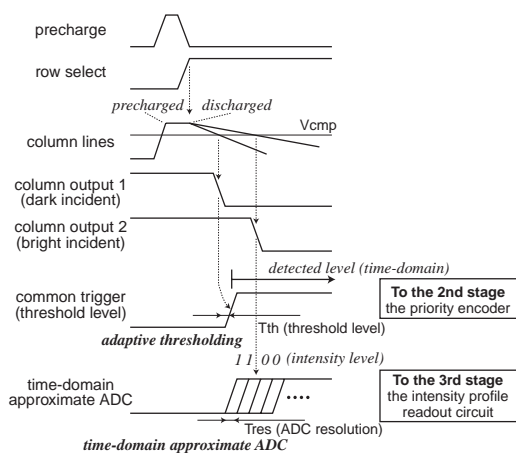


図3 高速投射光位置検出の動作  
Operation diagram of the high-speed position detection.

## 2.1 スマートイメージセンサ

光切断法実時間 3 次元計測システムを実現するために、距離計測に必要な情報である投射光の位置のみを高速に取得できるセンサアーキテクチャ、および回路構成を提案し、640×480 画素のスマートイメージセンサを開発した<sup>4)</sup>。本センサは、VGA クラスのイメージセンサとしては最初の光切断法実時間 3 次元計測を実現するものである。

図 2 に、本スマートセンサのブロック図を示す。一般的な CMOS APS と同じ規模の画素回路を用いることで、高解像度化を容易とし、通常の 2-D 画像の取得も可能である。一方で、図 2 の 1st stage では、高速なダイナミック回路を利用して輝度の強い画素の位置を適応閾値論理で取得する。さらに、時間領域での信号変化を利用して、有意画素の輝度分布が取得可能である。図 3 に示した動作過程のように、輝度に応じた出力信号の変化をセンスし、アクセスした行内で最も入射光の弱い画素が全列にトリガを与える。これによって、全体の照度変化や行ごとの特性ばらつきで生じる誤差がキャンセルされる。入

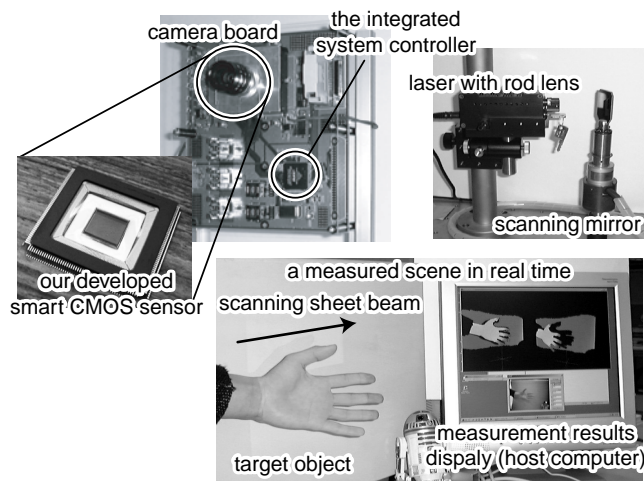


図4 構築した 3 次元計測システム外観  
Photograph of the measurement system.

射光の強度に応じて出力信号の到達時間が遅くなる特徴を利用して近似的な多階調化を行い、重心演算による距離精度向上を図る。得られた有意画素は 2nd stage の多入力プライオリティエンコーダによって、アドレス情報に変換され、出力される。さらに 3rd stage では、このアドレス情報から有意画素のみの輝度分布を出力する。これらの処理は、パイプラインで実行される。高いフレームレートを得るために有意な情報のみを高速に取得し、選択的に出力することが実時間距離計測を実現するための必要条件である。

## 2.2 投射光源

本システムでは、波長 665 nm、300 mW のレーザ光源をロッドレンズで伸長したものを用いた。使用したガルバノミラーは、最大 100 Hz での走査が可能である。光源に必要な輝度は、背景光強度に依存するが、現状では人の形状を直接測る用途には向いておらず、輝度の弱いレーザ光投射で高速な計測系を実現することは本システムの次の課題である。

## 2.3 システムコントローラ

高速なスマートイメージセンサを用いた実時間距離計測システムを実現するためには、センサおよび投射光走査の高速な制御、信号処理、データ転送が必要である。我々は図 1 に示したように、FPGA にこれらの機能を集積した。伝送系として実装された SCSI 制御回路によって、Fast SCSI バスを介してホストコンピュータと接続されており、複数の計測機器を接続可能である。ホストコンピュータから送信された設定パラメータと命令コマンドに従って、2 次元撮像や 3 次元撮像が実行される。また、外部 DAC を介してセンサ制御に同期した投射光走査を行う。センサの出力からライン光の中心線を演算し、三角測量の原理から距離情報を得る。本システムコントローラは 40 MHz で動作し、9.3 MB/s のデータ転送速度を実現する。

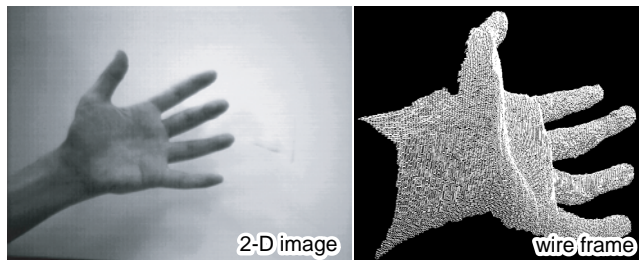


図5 2-D 画像および 3-D 画像撮像結果  
Measured 2-D image and 3-D image.

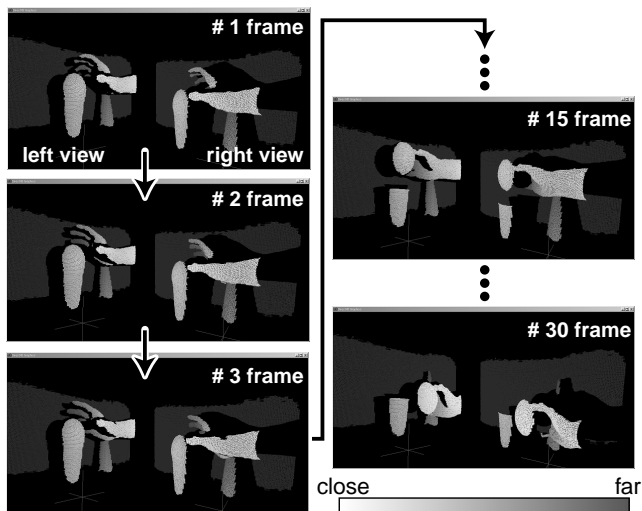


図6 実時間 3 次元計測結果  
Measurement results of real-time 3-D imaging.

## 2.4 制御および描画 GUI

本 3 次元計測システムは、Windows98/2000 を OS としたホストコンピュータ上で、スキャナデバイスとして認識される。開発した制御・描画 GUI 上でカメラや光源の位置情報を入力し、撮像モードを指定することで計測が実行される。得られた 2-D あるいは 3-D 画像は、ワイヤフレームや濃淡/色相によるレンジマップとして任意の視点から描画される。図 4 に構築したシステムの外観を示す。

## 3. 計測結果

図 5 に、本計測システムによって得られた 2-D 画像、および 3-D 画像を示す。1200 mm 先の物体に対して最大誤差 0.87 mm、誤差偏差 0.26 mm の距離精度を実現した。我々のスマートセンサは、有意画素の輝度分布を出力可能なため、重心演算による高いサブピクセル精度を得ることができる。画像撮像速度は、2-D 撮像が 13.0 fps、3-D 撮像が最大 23.3 range\_map/sec であった。2-D 撮像では、8ch のアナログ出力に対する外部 AD 変換が律速要因となっているため、並列化あるいは高速 ADC の適用による高速化が可能である。一方、3-D 撮像は伝送および描画が律速要因となっている。さらに高速な距離計測を実現するには、高速な FPGA デバイス、もしくは

ASIC による高速バスインタフェースの適用が必要である。これらの律速要因を解決すれば、本スマートセンサは最大 65.1 range\_map/s の距離計測が可能である。図 6 に実時間計測によって得られた 3 次元動画を示す。

## 4. むすび

我々は、光切断法に基づく高精細・実時間 3 次元形状計測システムの開発を行った。独自のアーキテクチャを用いた高速スマートイメージセンサと制御・信号処理・伝送系を実装したシステムコントローラによって、640×480 の画素解像度で 23.3 range\_map/sec の高速 3 次元計測を実現した。本システムは、1200 mm 先の対象に対して、0.87 mm 以下の距離精度を実現する。律速要因である伝送系の高速化と弱い投射光強度での高速撮像の実現が今後の課題である。

## 〔文 献〕

- 1) V. Brajovic, K. Mori, and N. Jankovic, "100frames/s CMOS Range Image Sensor," *IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. Dig. of Tech. Papers*, pp.256-257, Feb. 2001.
- 2) S. Yoshimura, T. Sugiyama, K. Yonemoto, and K. Ueda, "A 48kframe/s CMOS Image Sensor for Real-time 3-D Sensing and Motin Detection," *IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. Dig. of Tech. Papers*, pp.94-95, Feb. 2001.
- 3) T. Sugiyama, S. Yoshimura, R. Suzuki and H. Sumi, "A 1/4-inch QVGA Color Imaging and 3-D Sensing CMOS Sensor with Analog Frame Memory," *IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. Dig. of Tech. Papers*, pp. 434 - 435, 2002.
- 4) Y. Oike, M. Ikeda and K. Asada, "640x480 Real-Time Range Finder Using High-Speed Readout Scheme and Column-Parallel Position Detector," *IEEE Symp. VLSI Circuits Dig. of Tech. Papers*, Jun. 2003. (to be published)

	<p>おおいけ ゆうすけ <b>大池 祐輔</b> 2000 年、東京大学工学部電子工学科卒業。2002 年、同大学院工学系研究科電子工学専攻修了。現在、同大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程在学中。CMOS イメージセンサ、アナログ・デジタル混載回路、機能メモリの研究に従事。学生会員。</p>
	<p>しんたく ひろあき <b>新宅 宏彰</b> 2003 年、東京大学工学部電子工学科卒業。現在、同大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程在学中。</p>
	<p>いけだ まこと <b>池田 誠</b> 1991 年、東京大学工学部電子工学科卒業。1993 年、同修士課程修了。1996 年、同博士課程修了。博士(工学)。1996 年 4 月より東京大学に任官。現在、東京大学大規模集積システム設計教育研究センター (VDEC) 助教授。</p>
	<p>あさだ くにひろ <b>浅田 邦博</b> 1952 年福井市生まれ。1980 年 3 月東京大学工学部博士課程修了(工学博士)。1980 年 4 月より東京大学に任官。現在東京大学大規模集積システム設計教育研究センター (VDEC) 教授。センター長。</p>