

リアルタイム立体カメラ — Axi-Vision カメラ —

河北 真宏*・飯塚 啓吾**

Real-Time Three-Dimension Camera: Axi-Vision Camera

Masahiro KAWAKITA* and Keigo IIZUKA**

A novel three-dimension camera named the “Axi-vision camera” was developed for the purpose of simultaneously acquiring both color image and depth information in real time. The camera capturing depth information combines an intensity-modulated illuminator and an ultra-fast shutter attached to a CCD camera. The depth image is obtained from two images taken under different illumination conditions. It is possible to acquire depth information for every pixel at one-half the camera’s video frame rate because neither scanning nor complex signal processing is needed. We describe the operational features and technical specifications of the camera as well as its feasibility for use in TV program production.

Key words: three-dimension camera, Axi-vision camera, depth information, depth image, ultra-fast shutter

近年、立体映像や、コンピュータグラフィクス(CG)と実写を合成した仮想映像など、3次元情報を活用した臨場感あふれる映像が注目を集めている。それに伴い、被写体の3次元情報を高速検出する技術の要求も増している。現在、3次元画像の取得方式は数多く開発され¹⁾、各産業分野においてそれぞれの方法の特徴を生かした使い分けがなされている。放送分野においては、画像演算処理方法の開発やプロセッサ処理速度の飛躍的向上に伴い、多視点から複数台のカメラにより被写体を撮影し、3次元情報を取得するステレオ方法が進展している²⁾。この技術を活用した、任意視点映像のリアルタイム生成や画像合成の開発が活発に行われている。

一方、光計測による距離検出機能をカメラにもたせることでも3次元カメラは構成できる。なかでも、照射光の往復時間より距離を求める光飛行時間計測法は、距離算出の演算が容易であり検出速度が速く、シンプルでコンパクトなシステム構成が可能である³⁾。しかし、光飛行時間計測法に基づいた実用化レベルにある検出器は、レーザービームによる点計測が主であり、被写体全体の距離情報を取得するには、光ビームの2次元走査機構が必要となり、距離検出速度や測定点数が制限される。このため、従来の手法で

は、TV画像の画素単位で動く被写体の距離情報を高速検出することは容易ではない。

筆者らは、被写体のカラー映像と奥行き距離情報をリアルタイムに取得する新しい3次元カメラ(Axi-visionカメラ)を開発し、距離情報をもとにした画像合成手法の確立や立体撮像・表示システムへの応用を目指している^{4,5)}。このカメラは、強度変調された近赤外光を被写体に照射し、高速シャッター付きカメラでその反射光を短時間撮像することにより、被写体各点の奥行き距離を検出する方式となる。この方式では、光の走査機構が不要で、1台のカメラで撮像された2枚の画像間の簡単な演算より奥行き距離を高速に算出できる特徴をもつ。本稿では、Axi-visionカメラの構成、距離検出方法および性能について概説するとともに、その応用の可能性について述べる。

1. Axi-vision カメラの構成

Axi-vision カメラは、上段に距離検出カメラを、下段にカラーカメラを配置し、ミラーとダイクロイックミラー(コールドフィルター)によりそれぞれ同じ画角の映像を撮影する構成からなる(図1および図2)。距離検出カメラのレンズ両脇には、LEDアレイによる強度変調照明光源が配置され、近赤外光が被写体に照射される。被写体からの

*NHK放送技術研究所(〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11) E-mail: kawakita.m-ga@nhk.or.jp

**Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto (35 St. George St., Toronto, Canada, M5S 1A4)

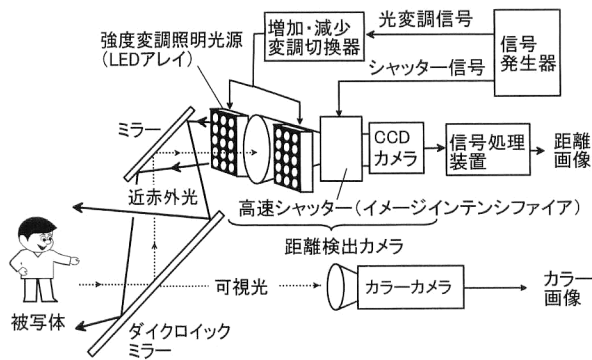


図1 Axi-vision カメラの構成.

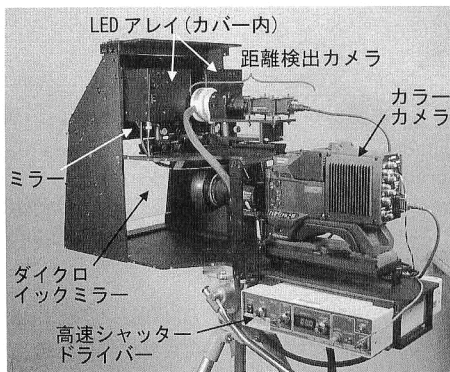


図2 Axi-vision カメラの外観写真.

近赤外反射光はダイクロイックミラーおよびミラーで反射され、距離検出カメラに入射する。一方、可視光成分はダイクロイックミラーを透過し、カラーカメラで撮像される。距離検出カメラは、数ナノ秒以下の高速シャッター機能をもつイメージンテンシファイアを有し、照明光の強度変調に同期してシャッター動作する機構となっている。距離検出には、増加および減少変調光を交互に被写体に照射し、おのおの場合に短時間撮像した画像間で演算処理を行う。この演算により被写体の反射率などの影響を補正し、画像の濃淡で奥行き距離を表示した距離画像が得られる。試作した Axi-vision カメラの仕様と性能を表 1

表 1 Axi-vision カメラの仕様と距離検出性能.

距離画像検出部	強度変調照明光 (LED アレイ)	波長	850 nm
		総光出力	500 mW
		変調周波数	10~50 MHz
	高速シャッター (イメージンテンシファイア)	シャッター時間	1~10 ns
		繰り返し周波数	10~50 MHz
	出力距離画像	画素数	768(H)×493(V)
	画像更新時間	1/15 秒	
	距離検出分解能 (強度変調周波数 45 MHz, シャッター時間 1 ns の場合)		1.8 cm
カラー画像検出部	CCD カメラ	有効画素数	768(H)×493(V)
		出力信号	NTSC

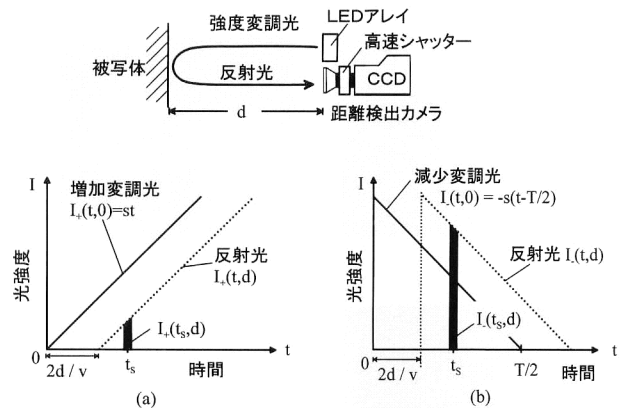


図3 距離検出原理. (a) 増加変調光と、(b) 減少変調光照射時の反射光と撮像タイミング.

に示す.

2. 距離検出方法と検出範囲⁶⁾

距離検出法を、直線的な増加および減少強度変調光を用いた場合について説明する。カメラから距離 d に位置する被写体に対し、時間とともに係数 s で増加する変調光を照射し、時間 t_s に短時間撮像する場合 (図 3(a)), カメラで受光する信号量 $I_+(t_s, d)$ は、

$$I_+(t_s, d) = \frac{\sigma s}{(4\pi d^2)^2} \left(t_s - \frac{2d}{v} \right) \quad (1)$$

で表される。ここで、 σ は被写体表面の反射率などを含む反射特性係数、 v は光の伝搬速度である。次に、減少変調光 $I_-(t, 0)$ を照射した場合 (図 3(b)) の検出信号量 $I_-(t_s, d)$ は、

$$I_-(t_s, d) = \frac{\sigma s}{(4\pi d^2)^2} \left\{ \frac{T}{2} - \left(t_s - \frac{2d}{v} \right) \right\} \quad (2)$$

となる。ただし、 T は強度変調周期である。このとき、式 (1) と式 (2) の比 R により、距離 d を求めると次式となる。

$$d = \frac{v}{2} \left\{ t_s - \frac{T}{2} \left(\frac{R}{1+R} \right) \right\} \quad (3)$$

一方、本方式による距離の検出範囲 d_r は光の強度変調周波数 f で決まり、

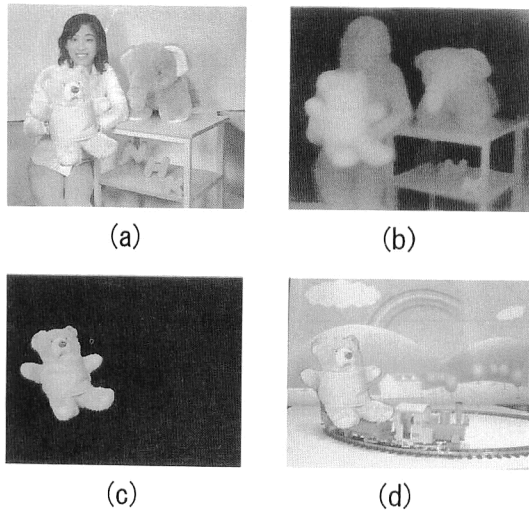


図4 Axi-visionカメラの出力画像。(a) カラー画像, (b) 距離画像, (c) 近距離被写体の抽出画像, (d) 背景合成画像 (カラー図絵参照)。

$$d_r = \frac{v}{4f} \quad (4)$$

となる。 d_r を 7.5 m とすれば変調周波数 f は 10 MHz, 1.5 m とすれば 50 MHz の変調光を使用する。

3. 距離検出例とその応用

Axi-visionカメラにより撮像した被写体の出力カラー画像と距離画像の一例を、それぞれ図4(a) および図4(b) に示す。距離画像では、近い被写体は明るく、遠くの被写体ほど暗い画像として表示されている。被写体の距離情報がリアルタイムで得られるため、特定距離範囲の被写体だけの画像を任意に抽出することが可能となる。距離画像の信号レベルをもとにキー信号を作成し、カメラに近い被写体だけの画像を抽出した例が図4(c) であり、さらに他の背景画像と合成した画像が図4(d) である。この距離情報による画像合成では、従来のクロマキー手法で必要となるブルーバック背景が不要で、服装などの色の制限も受けない特徴がある。また、CG と実写映像をお互いの距離値を比較し合成することで、CG が人物の前面に出たり、背後に隠れたり、あたかも同じ空間にいるかのような映像表現もリアルタイムで可能となる⁷⁾。

他の応用として、被写体の距離情報をもとに3次元画像を再構成できれば、将来の立体TVへの応用が期待できる。Axi-visionカメラで得られた距離情報より、被写体の各奥行ききの断層画像をリアルタイムに作成し、奥行き標準化立体表示することで、実時間の立体撮像・表示系が構成できる⁸⁾。

今後、距離画像の高精細化とフレームレートの向上によりAxi-visionカメラの実用化を図りたい。さらに、CGと実写映像との実時間画像合成を行う新しいタイプのバーチャルスタジオや、立体TVへの応用の可能性を追求していく。

文 献

- 1) 井口征士, 佐藤宏介: 三次元画像計測 (昭晃堂, 1990).
- 2) T. Kanade, A. Yoshida, K. Oda, H. Kano and M. Tanaka: "A stereo machine for video-rate dense depth mapping and its new applications," *Proceedings of 15th Computer Vision and Pattern Recognition Conference* (IEEE Computer Society Conference, San Francisco, California, 1996) pp. 196-202.
- 3) D. Nitzan, A. E. Brain and R. O. Duda: "The measurement and use of registered reflectance and range data in scene analysis," *Proc. IEEE*, **65** (1977) 206-220.
- 4) 河北真宏, 飯塚啓吾, 菊池 宏, 藤掛英夫, 米内 淳, 會田田人: "高速シャッターと変調照明の組合せによる3次元撮像の一方式", 電子情報通信学会技術研究報告, EID98-51 (1998) pp. 19-24.
- 5) M. Kawakita, K. Iizuka, T. Aida, H. Kikuchi, H. Fujikake, J. Yonai and K. Takizawa: "Axi-vision camera: A three-dimension camera," *Proc. SPIE*, **3958** (2000) 61-70.
- 6) M. Kawakita, K. Iizuka, T. Aida, H. Kikuchi, H. Fujikake, J. Yonai and K. Takizawa: "Axi-vision camera (Real-time distance-mapping camera)," *Appl. Opt.*, **39** (2000) 3931-3939.
- 7) 河北真宏, 飯塚啓吾, 飯野芳己, 土屋 譲, 菊池 宏, 藤掛英夫, 佐藤弘人: "奥行き距離撮像装置 Axi-vision camera の開発と画像合成への応用", 映像情報メディア学会冬季大会 (2000) p. 73.
- 8) 河北真宏, 飯塚啓吾, 土屋 譲, 飯野芳己, 菊池 宏, 藤掛英夫, 佐藤弘人: "距離検出カメラと奥行き標準化ディスプレイによる3次元撮像・表示実験", 3次元画像コンファレンス 2001 (2001) pp. 141-144.

(2001年10月25日受理)