

ハイビジョン3次元カメラの距離検出特性

Distance detection characteristics of high-definition three-dimension camera

°浅見 典充、河北 真宏*、飯塚 啓吾**、栗田 泰市郎*、菊池 宏*

°N. Asami, M. Kawakita*, K. Iizuka**, T. Kurita*, and H. Kikuchi*

成蹊大学、NHK 放送技術研究所*、トロント大学**

University of Seikei, NHK Sci & Tech Res Labs*, University of Toronto**

E-mail: asami@strlstaff.strl.nhk.or.jp

The high-definition three-dimension camera is a new TV camera that can acquire both color images and depth images of objects in real time. We have analytically and experimentally examined the distance detection characteristics of the camera and clarified the relationship between the signal to noise ratio (SNR) of depth detection and imaging conditions such as reflectivity of objects and distance from the camera to the object.

1. はじめに 被写体のカラー画像と同時に、距離画像（カメラから被写体までの距離情報を画像の明暗であらわしたものを）を実時間で撮像できる3次元カメラ（Axi-vision カメラ）¹⁾²⁾は、新たな画像合成技術を放送分野にもたらすとともに³⁾、ゲーム産業や医療など幅広い分野への応用展開も期待される。光飛行時間計測法を基本原理とする本方式では、距離検出の信号対雑音比（SN比）は、被写体表面の反射特性やカメラからの距離などに大きく依存する。今回、本カメラによる距離検出のSN比の解析と実験を行い、これら被写体の諸条件と距離検出特性の関係を明らかにし、距離検出分解能の向上にむけた改善策の可能性を検討した。

2. 距離検出 SN比 本カメラ（図1）では、近赤外の強度変調光（増加及び減少変調光）を被写体に照射し、高速ゲートイメージンシファイア（I.I.）と CCD で撮像された画像より、被写体の反射率を補正して距離を算出する¹⁾。このカメラにおいて、距離検出分解能は最終的に得られる出力距離信号のノイズ量に依存し、そのノイズの主な要因として I.I. と CCD のノイズがあげられる。まず、I.I. のショットノイズが暗電流などの定常的ノイズより十分に大きい場合、カメラから距離 d の被写体（表面は完全拡散面とする）を短時間撮影したときの I.I. 出力画像の SN 比は以下の式で表される。

$$SN_{II} = \sqrt{\frac{\eta TR \Delta t A F}{4 f_n^2 \varepsilon N_f \pi d^2 \tan^2 \theta}} \dots (1)$$

- η : I.I. 光電変換面の量子効率
- T : レンズ光学系の透過率
- R : 被写体の反射率
- Δt : 1 画像当たりの取込み時間
- A : 1 画素当たりの受光面積
- F : 光源の出力光強度
- f_n : レンズの F ナンバー

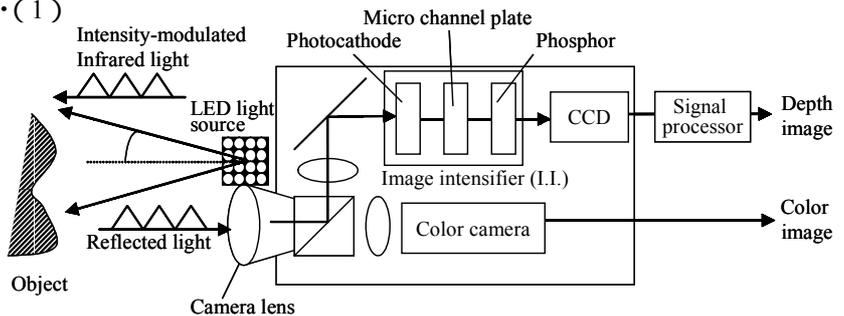


Fig.1 Configuration of three-dimension camera

ε : 光子エネルギー、 N_f : I.I. のノイズファクター⁴⁾、 θ : 照射光の広がり半値角度

本方式では増減を繰り返す強度変調光を使用するため、その変調周期に応じた測定レンジをもつが²⁾、ここでは、測定レンジ中心位置での距離検出特性を調べる。I.I. 出力画像を CCD で撮影し、距離算出の画像演算を行った後、出力される距離映像信号成分 D(mV) とノイズ成分 δ (mVrms) の比は、

$$\frac{\delta}{D} \propto \sqrt{\frac{\delta_{II}^2 + \delta_{CCD}^2}{V^2}} = \sqrt{\frac{1}{SN_{II}^2} + \frac{1}{SN_{CCD}^2}} = \sqrt{\frac{4 f_n^2 \varepsilon N_f \pi \tan^2 \theta}{\eta TR \Delta t A F} d^2 + \frac{1}{SN_{CCD}^2}} \dots (2)$$

となる。ここで、 V は CCD 出力の映像信号、 δ_{II} および δ_{CCD} はそれぞれ I.I. と CCD のノイズ成分、 SN_{CCD} は CCD の SN 比である。

3. 距離検出特性

3-1 反射特性と距離検出ノイズ 反射光量の異なる被写体(カメラからの距離 2m) を撮像し、ハイビジョン映像出力信号のノイズ成分の実効値 δ (mVrms) を測定した(図 2)。反射光量比率は BaSO₄ 標準白色板の値を 1 に規格化し、また、 δ_{CCD} が一定となるよう I.I. ゲインを設定して測定を行った。被写体からの反射光量が低下するとともに距離検出ノイズ成分が増加し、その原因は I.I. のショットノイズの増加による SN_{II} の低下(図 2 破線)である。

また、I.I. と CCD のノイズ成分比 δ_{II}/δ_{CCD} は、反射光量比率 0.9 の場合に 1.1 であり、低反射光量比率 0.1 の場合では 2.2 であった。人物の黒髪(反射光量比率約 0.1 以下)などの反射光量の少ない場合は、I.I. ノイズが支配的となっている。

この反射率の低い被写体のノイズ低減策として、(2)式の反射率 R を補うように量子効率 η や照射光量 F 、光学系透過率 T の向上、またゲート時間幅による画像取り込み時間 Δt の増加などが考えられる。

3-2 被写体距離と検出分解能 被写体のカメラからの距離と、距離検出分解能の測定結果を図 3 の実線に示す。ここでは、出力映像信号のノイズ成分 δ を測定し、 3δ に相当する距離値を検出分解能とした。被写体がカメラより 2m の位置のとき距離検出分解能は 17mm、10m の距離で分解能は 49mm であった。この分解能の低下の原因は、距離の 2 乗に反比例して被写体の照射光強度が減衰し、I.I. のノイズ成分が増加するためである。(2)式を用いて光の照射角度 θ (実験は半値角 19°) を変更した場合の検出分解能を数値計算した(図 3 破線)。これより、撮影画角や被写体の距離に応じて光の照射角度 θ を適切に制御できれば、被写体の距離に対する分解能の低下率を抑えられることがわかる。

4. おわりに ハイビジョン 3 次元カメラにおいて、被写体の反射率や距離と距離検出特性の関係を解析および実験により調べた。距離検出ノイズの増加の原因である距離検出 SN 比を定式化することにより、被写体の諸条件やカメラパラメータと検出分解能の関係が明らかになった。これにより、検出分解能の低下に対する改善策や、今後の性能向上に向けたカメラ設計指針に大変有益な情報が得られた。

文献

- 1) M. Kawakita, et al., "Axi-vision camera (real-time distance-mapping camera)", Appl Opt, Vol.39, pp.3931-3939 (2000)
- 2) M. Kawakita, et al., "HDTV Axi-vision Camera," Proc.IBC (International Broadcasting Convention)2002, pp.397-404 (2002)
- 3) 菊地秀之 他, "BS ハイビジョン「美しき日本 百の風景」スペシャル 制作報告 ~新世代バーチャルスタジオによる新しい演出方法~, "放送技術, Vol.4, pp.167-174, (2003)
- 4) R. J. Hertel, "Signal and noise properties of proximity focused image tubes", Proc. SPIE, Vol.1155, pp.332-343 (1990)

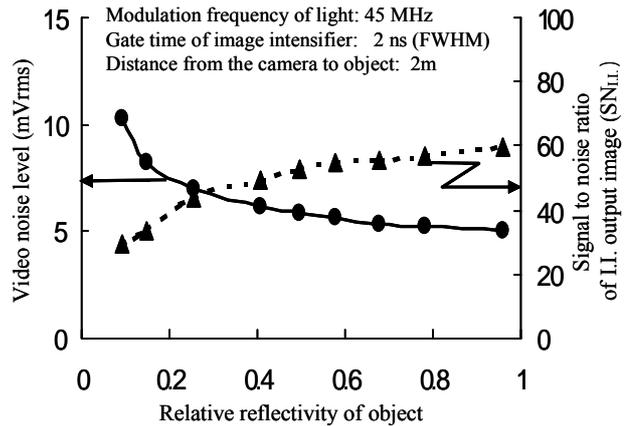


Fig.2 Noise level of depth video signal and signal to noise ratio of I.I. vs relative reflectivity of object

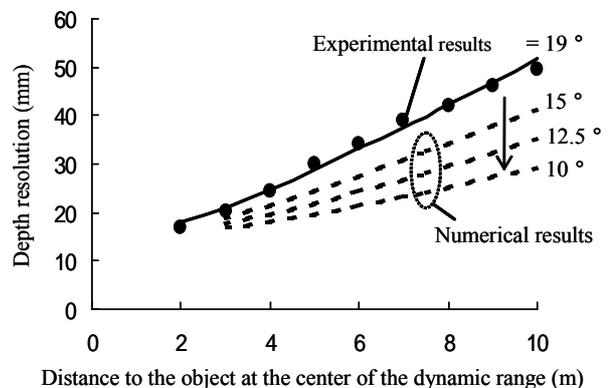


Fig.3 Relationships between the depth resolution and the distance to the object at the center of dynamic range