

平成21年 5月 29日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500150
 研究課題名（和文） 高解像度実時間レンジファインダーに関する研究

研究課題名（英文） A High Resolution Real-time Range Finder

研究代表者

陳 謙 (CHEN QIAN)
 和歌山大学・システム工学研究科・准教授
 研究者番号：70263233

研究成果の概要：本研究では、高速光スイッチを利用して画素ごとに異なる光のパルスが発生する投射光を生成して、計測対象に照射する。計測対象から反射された光に対して、別の光スイッチにより復調処理を行った後、各光線の強度をビデオカメラで計測を行う。この一連の処理によって、投射光の画素と観測された画像にある対応している画素との間の視差が直接観察できることを実現して、試作システムを構築して実験を行った結果、物体までの奥行きを反映する視差情報がビデオカメラで直接撮影できることが確認され、本提案の原理を用いて、物体の3次元形状がビデオレートで計測することが実現可能であることを実証された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2008年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：センシングデバイス・システム、三次元形状計測

1. 研究開始当初の背景

近年、顔表情・発話の認識、ジェスチャー認識などの人、物体の動きに関する認識の研究はコンピュータビジョン、パターン認識などの分野において注目され、盛んに行われているようになってきている。それらの研究では、2次元の動画像を入力データとして用いられたが、顔のような模様がなく、ほぼ単色の物体の場合、特徴点の抽出や対応付け、あるいは

はオプティカルフローの推定などの精度や信頼性の高い推定結果を得ることは困難であるために、実験室以外の一般的な環境でも実用可能な手法を開発することはかなり難しい。その結果、これらの研究の入力情報として、対象の動きや形状の3次元情報が注目されるようになって来ている。対象の動きや変形が実時間で反映する3次元情報があれば、3次元の表面の形の情報が手に入るため

に、2次元の動画像から得られない対象に関する豊富で信頼性の高い情報が利用でき、表情認識などの研究にとって貴重な情報源となる。物体の表面の3次元情報を計測する手法は既にいくつか開発され、実用されている。代表的な手法として、パッシブステレオ法、アクティブステレオ法と光リーダー法があげられるが、高速性と信頼性・精度に問題がある。また、自然界や一般的な生活環境にあり得ない光で照射するために、人や動物の表情、行動に影響を与えてしまう欠点もある。

本研究では、高速に動作する光スイッチを用いて、独自の変調・復調処理より、アクティブステレオ法と同様のアイデアで対応付けの問題を解決するが、特徴となるのは、①使用した照射光は人の目で見れば普通の白色照明灯にしか見えないこと；②対応付け（視差の推定）にコンピュータに依存しないことがあげられる。この二つの特徴より、人の表情や行動に大きな影響を与えずにその3次元方法が高速に計測することを実現する。

2. 研究目的

本研究では高速光スイッチにより独自の光変調・復調を行うことで、一回の3次元計測当たり画像の撮影は一回のみであることを実現できる高速の3次元形状計測を行う原理を解明し、ビデオレートの3次元形状計測を実現する装置の開発を行う。

具体的に、以下の項目の実現を研究の目標とする。

- (1) 高速光スイッチを用いて時間変調パルスの光線群より構成される照射光の生成
- (2) 照射光のパルスと同期して動作する光スイッチを用いて復調を行い、照射系と撮像系との間の視差を光学的な輝度映像への変換
- (3) 視差画像から物体の3次元形状の復元

3. 研究の方法

近年、DMD(digital micro-mirror device) という高速で回転できる小さな鏡の集合から構成される光学処理素子が開発され、それを用いたDLP プロジェクターは普及してきた。本研究では、この素子を高速の光スイッチとして用いて、光線に対する時間変調・復調を行う。

2.1 光変調・復調による視差の獲得

図1に本提案の計測原理を示す。照射系では、光スイッチ DMD1 により時間変調をかけた光線群を生成して、計測対象に照射する。計測対象から反射される光は撮像系で、まずレンズで光スイッチDMD2に結像させる。DMD2はDMD1と同じタイミングで動作し、計測物体からの反射光をONとOFFの二つの方向にスイッチングさせ、それぞれを2台のカメラで撮影する。

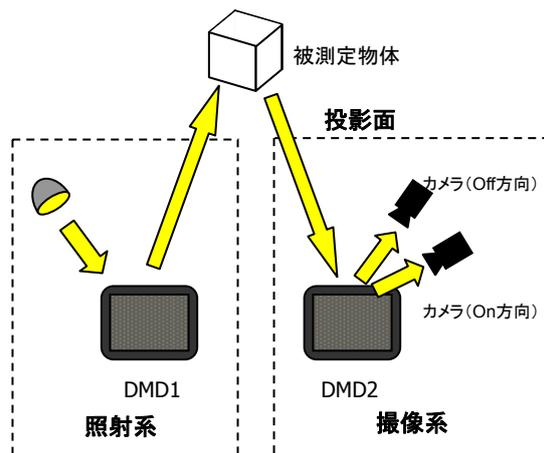


図1 計測原理の概念図

まず、図2に示すように、3次元空間内に基準となる平面物体と照射系を設置し、照射系で生成した光が照らす範囲を計測する。続いて、撮像系の設置位置、向きとレンズのパラメータなどを調整して、照射系が平面物体を照らした範囲がちょうど撮像系の画像面にぴったり合うようにする。

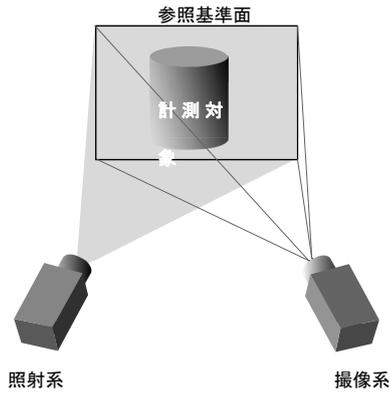


図2 照射系と撮像系の初期設定

このときの照射系の光スイッチの各画素から出た光は図3に示すように、ちょうど撮像系の光スイッチの対応する画素に反射される。

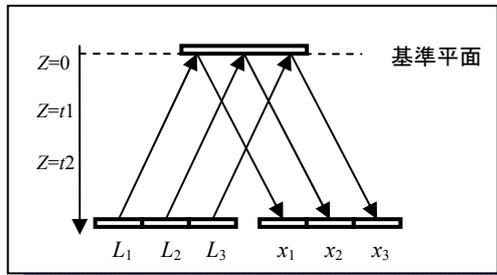


図3 基準平面を照射した光と受光する画素との対応関係

照射系の光スイッチと撮像系の光スイッチを同期して、固定の周期で動作させ、各周期始めからONの状態にして、そして各画素でそれぞれの規定したONの時間が過ぎてからOFFにする。

図4に示すように、照射系と撮像系の対応する画素のONの時間を同じにし、それぞれは式1に示すように、画素のX座標に比例するように変化させる。

$$t_{ON}(x) = \frac{x}{w} T \quad (1)$$

このように、照射系と撮像系の光スイッチを動作させることにより、基準面に照射される

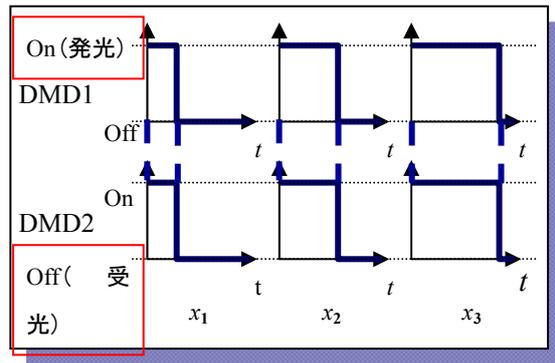


図4 各画素の動作タイミング

光が、DMD2のOFFの方向に反射される時間は0となり、光が観測できなくなる。一方、図5に示すように、ある物体が基準面から離れた位置 ($Z = t1$) にあるとき、発光する画素と受光する画素との対応関係が初期状態と異なり、発光画素とその光線を受光する画素の動作タイミングのズレが生じ、OFF方向に反射される時間は0でなくなり、光が観測されるようになる。

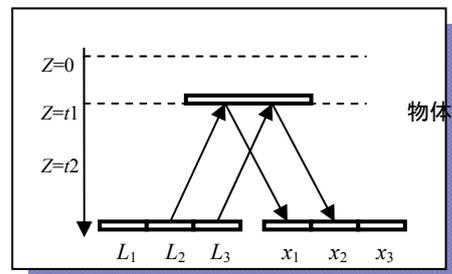


図5. 1 物体の奥行きと画素の対応関係

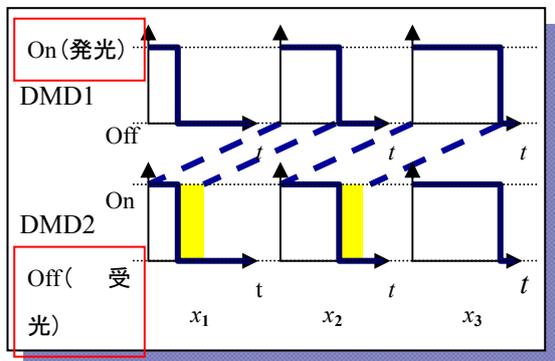


図5.2 DMD2のOFF側の受光時間

このとき、照射系の画素Aから出た光は撮像系の画素Bに反射されるとすると、画素Bの1周期あたりに観測されるOFF側の光の光る時間は次のように表れる。

$$\Delta t = t_{ON}(B) - t_{ON}(A) \quad (2)$$

画素AとBのX座標との差は

$$\Delta x = x_B - x_A \quad (3)$$

式(1)を式(2)に代入することにより、

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{w} T \quad (4)$$

次に、カメラが観測した光の明るさを I_r 、光源からの入射光の明るさを I 、反射率を λ とするとこれらの関係は下の式で表すことができる。

$$I_r = \frac{\lambda I \Delta t}{T} \quad (5)$$

式(4)と式(5)より

$$\Delta x = \frac{w}{\lambda I} I_r \quad (6)$$

入射光 I は定数である。反射率 λ が定数であれば視差 Δx が求めることができ、発光する画素とその光線を受光した画素との対応関係が分かる。

4. 研究成果

まず、照射系、撮影系共に市販の単板 DLP プロジェクターを改造して計測原理を確認するためのシステムの試作を行なった。

このプロジェクターの光学系は光源、集光レンズ、回転色フィルター、DMD 投影レンズによって構成される。照射系では、白色のパルス変調光を生成するために、回転原色フィルターを外した状態で動作するようにした。撮影系では、回転色フィルターのほかに、光源、集光レンズも外した状態で動作するようにし、改造した2台のプロジェクターに同じ RGB 画像信号を送ることによって、対応する画素の光学スイッチの On-Off パターンが

同じになるようにする。

次に、両プロジェクターの動作を完全に同期させるために、DMD の動作タイミングについて調べた。その結果に基づいて PIC-micon で合成した同期信号と同じ波形の信号を生成し、それを両プロジェクターに送ることによって完全に DMD の動作を同期させることに成功した。試作システムの基本的な構成図を図6、外観を図7に示す。

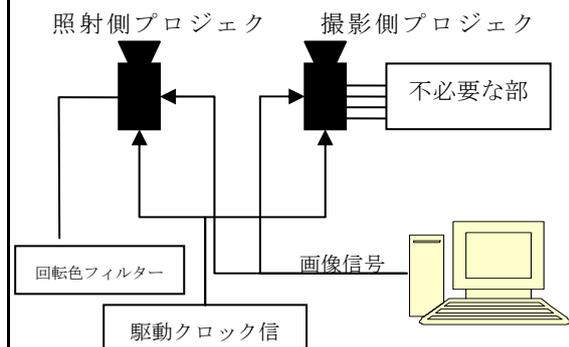


図6 試作システムのブロック図



図6 試作したシステムの外観

図7のように $Z=0$ の位置から被測定面を Z 軸方向に向かって徐々に動かしながらカメラで常に撮影している状態にし、計測結果の変化を常に確認できる状態で実験を行なった。図8に撮影された画像を示す。被測定面の位置が $Z=0$ のときの明るさはほぼ0に近い値である。この位置から Z の値を大きくしていく。 $Z=t_1, Z=t_2$ となるにしたがって被測定面の部分だけ明るさが生じている。被測定面の Z 成分の変化に比例して画像中の明るさが変化しているため、本提案手法の被測定物体の反射率が一定の場合の有効性が確認できた。

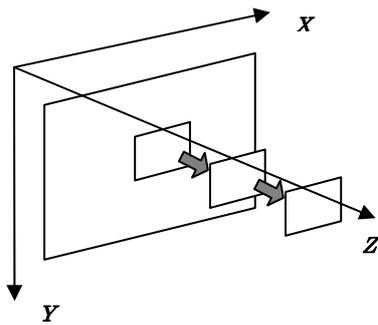


図7 パターン2の測定方法



(a) $Z=0$



(b) $Z=t_1$



(c) $Z=t_2$

図8 パターン2で撮影された画像 ($0 < t_1 < t_2$)

今回、提案手法の有効性を試作システムによる実験により確認し本稿に示した。反射率が一定でない被測定物体の計測を行う場合、現時点で Off 方向から撮影した画像中の視差による明るさの変化が小さいため、ノイズによる影響は大きいために、精度の良い3次元

形状情報が得られるために、さらなる改善が必要である。

更に精度の高い3次元計測が行えるために、撮像系の部分を反射型 DMD カメラの製作を行い、その設計、実装、調整を行い、画素ごとにスイッチングを行えることを確認した。その成果は日本実験力学学会、日本機械学会において報告した。

照射系の製作を行うために、部品の選定を行い、心臓部分にあたる DMD の開発キットと高速御キットを購入し、それを利用してパルス変調光の生成法について検討した。光源の製作方法、制御用ソフトウェアの開発方法を解明して、それらの実相は現在も計測して行っている。

本研究に関連する課題として、計測対象を計測し続けるために、そのために、ビデオカメラを使って計測対象を追跡して、電動回転台に本装置にのせ、計測対象が本装置の計測範囲から出ないように追跡制御を行う必要がある。そのために、物体追跡のアルゴリズムである K-means tracker の安定化と高速化を向上するために、確信度を導入した RK-means Tracker と名づけたアルゴリズムを提案し、背景に応じた非ターゲットクラスター中心の配置法も提案している。

これらの研究成果は論文誌（電子情報通信学会'07, 電子情報通信学会'08（2編）, CVIM'08）, 国際会議（ACCV'07）に、国内会議（CVIM'07, SSII '07, MIRU'07）などに発表・報告されている。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計3件）

1. C. Hua, H. Wu, Q. Chen, T. Wada, Object Tracking with Target and Background Samples, Journal of the Transactions of the Institute of Electronics,

- Information and Communication Engineers, Vol.E90-D, No.4, pp.766-774, 2007
2. C.Hua, H. Wu, Q. Chen, T.Wada, RK-means Clustering: K-means with Reliability, Journal of the Transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Vol.E91-D, No.1, pp. 96-104, 2008
 3. C. Hua, H. Wu, Q. Chen, T. Wada, K-means Clustering Based Pixel-wise Object Tracking, IPSJ Transactions on Computer Vision and Image Media Vol. 1 No. 1, pp.20-33, 2008

[国際会議] (計 6 件)

1. H. Wu, Y.Kitagawa, T.Wada, T.Kato, Q. Chen, Tracking Iris Contour with a 3D Eye Model for Gaze Estimation, Asian Conf. Computer Vision, Part I, LNCS 4843, pp. 688-687, 2007
2. C. Hua, Q. Chen, H. Wu, T. Wada, A Noise-insensitive Object Tracking Algorithm, Asian Conf. Computer Vision, Part I, LNCS 4843, pp. 565-575, 2007
3. T. Wada, H. Wu, Q. Chen, T. Kato, Visual Object Tracking using Positive and Negative Examples, 13th International Symposium of Robotics Research(invited), 2007
4. Q. Chen, K. Masada, H. Wu, T. Wada, Training High Dimension Ternary Feature with GA in Boosting Cascade Object Detection, 8th IEEE Int' l Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.688-687, 2008
5. K. Masada, Q. Chen, H. Wu, T. Wada, GA Based Feature Generation for Training Cascade Object Detector, ICPR 2008, pp.1-4, 2008
6. H. Wu, K. Suzuki, T. Wada, Q. Chen, Accelerating Face Detection by Using Depth Information, Proc. 3rd Pacific Rim Symposium on Advances in Image and Video Technology, pp.657-677, 2009

[学会発表] (計 6 件)

1. 佐野友祐, 呉海元, 和田俊和, 陳謙, 対称 SIFT 特徴量を用いた対称平面物体検出, 情報処理学会研究報告, 情処研報, CVIM, 2008 年 1 月, 滋賀
2. 華春生, 呉海元, 陳謙, 和田俊和, K-means Tracker の高速化, 第 13 回画像センシングシンポジウム予稿集, 2007 年 6 月, 横浜
3. 華春生, 陳謙, 呉海元, 和田俊和,

- Reliability-based K-means Clustering と追跡への応用, 第 13 回画像センシングシンポジウム予稿集, 2007 年 6 月, 横浜
4. 李志遠, 藤垣元治, 松井徹, 森本吉春, 竹迫涼一, 高精度三次元形状計測装置の実用化に向けての取り組み, 日本機械学会 第 3 回 NCP フォーラム, 機械の強度と形態研究懇話会シンポジウム, 2007 年 8 月, 東京
 5. 李志遠, 藤垣元治, 松井徹, 森本吉春, 位相信頼性評価値を用いた広輝度レンジの位相解析手法, 日本実験力学会 2007 年度年次講演会, 日本実験力学会講演論文集, 2007 年 8 月, 東京
 6. 藤垣元治, 李志遠, 松井剛一, 森本吉春, 格子投影法による非接触形状計測の飛翔生物への適用, 日本実験力学会 2007 年度年次講演会, 日本実験力学会講演論文集, 2007 年 8 月, 東京

9. 研究組織

(1) 研究代表者

陳 謙 (CHEN QIAN)

和歌山大学・システム工学研究科・准教授

研究者番号: 70263233

(2) 研究分担者

呉 海元 (WU HAIYUAN)

和歌山大学・システム工学研究科・教授

研究者番号: 70283695

藤垣 元治 (FUJIGAKI MOTOHARU)

和歌山大学・システム工学研究科・准教授

研究者番号: 40273875

(3) 連携研究者