

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19300057  
 研究課題名（和文） リアルタイム・リフレクションステレオ

研究課題名（英文） Real-time Reflection Stereo

## 研究代表者

清水 雅夫 (SHIMIZU MASAO)  
 東京工業大学・大学院理工学研究科・助教  
 研究者番号： 70361798

## 研究成果の概要：

- ・バックマッチングと自己相関関数に関する複数の指標を用いて、対応位置（2重像のずれ量）を効果的に検出する手法を開発した。この手法によって、従来は検出できなかった対応位置を検出できるようになった。
- ・リフレクションステレオの2重像における拘束を、画像の垂直軸に平行化する手法を開発した。2台以上の複数のカメラを用いるステレオビジョンでは、取得した画像間の対応位置探索を効率的に行うためにレクティフィケーション（平行化）した画像間で対応位置探索を行う。リフレクションステレオでは、2重像を構成する2枚の画像間に独自の拘束が存在する。この拘束を利用して、2重像を平行化する手法を開発した。開発した手法によって、リフレクションステレオにおける計算時間を短縮することが可能になった。
- ・2重像における注目領域の周波数領域における特徴には、注目領域内に含まれる複数の視差（2重像間変位）に対応する特徴が含まれる性質を利用する。この性質を用いて、周波数領域での2重像間変位の検出が可能になった。この手法によって、領域ベースの対応位置検出を用いるステレオ距離計測における問題点であった「距離が不連続な部分における計測の不正確さ」を克服できた。
- ・リフレクションステレオでは通常のスレオ画像処理と異なり、1台のカメラで撮影する2重像を扱う。このため、計測対象のテクスチャなどが画像（2重像）から直接得られない点が問題となっていた。そこで、リフレクションステレオで撮影した2重像を通常の画像に復元する手法を開発した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
2008年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
年度			
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

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：ステレオビジョン、距離計測、透明板、2重像、対応位置探索、自己相関関数、レクティフィケーション、リアルタイム

## 1. 研究開始当初の背景

ステレオ距離計測は、受動的検出だけを利用した距離計測手法として古くから利用されてきた。コンピュータビジョン分野では3次元幾何学が解析され、この結果を基にマルチカメラやマルチベースラインなどの多くのバリエーションが提案されてきた。最近では、ITS（高度道路交通システム）分野での交通計測や歩行者検出、セキュリティ分野でのセンサとしても利用されるようになり、計測精度、信頼性、ロバスト性だけでなく、コスト面での考慮が必要になってきた。

このため、画像分割法、複数画像法、複数露出法のような1台のカメラによるステレオ距離計測手法も提案されている。しかしそれぞれ、利用できる画像サイズの減少による計測精度の低下、複数画像を撮影して利用するため動物体に適用できない、光量の利用率が低くかつベースライン長に制限がある、などの問題があった。

## 2. 研究の目的

これまでの研究成果によって、透明板の反射像や両面ハーフミラー板の透過像を使って距離計測が原理的に可能なことを示した。提案手法は、既存のステレオ手法などと比較して、究極的にシンプルで低コストな距離計測システムが実現できる可能性がある。

提案手法を実用的なアプリケーションに利用するためには、計測結果を得るまでの時間が事実上無視できるほど高速である必要がある。実用上、少なくとも毎秒10枚（10FPS）程度の処理速度を達成する必要がある。しかし現状は、 $32 \times 32$ 点で構成する距離マップを得るために、数分間の計算時間を要している。

そこで、「ソフトウェアだけの処理による3FPS処理時間の実現」と「完全ハードウェア処理による60FPS処理時間の実現」、すなわちリアルタイム・リフレクションステレオの実用化を目標とする。

すなわち、カメラ2台を用いたステレオシステムの処理時間（ソフトウェア処理で2FPS程度、ハードウェア処理で15FPS程度）と同等かそれ以上の処理速度を目標にする。処理の高速化のために、具体的には、次のような手法を検討する。

(1) バックマッチングを用いた誤対応検出の排除方法

(2) 2重像の幾何学的正規化による対応位置検出の高速化

(3) フーリエ変換を利用した高精度な対応位置検出手法

(4) 2重像から通常画像への復元

## 3. 研究の方法

(1) バックマッチングを用いた誤対応検出の排除方法

対象までの距離は、対応位置検出結果を使って推定する。しかし画像のテクスチャ構造などの影響によって、検出した対応位置には誤りが含まれる。この誤りを排除することで、高品質な距離マップを得ることができる。ステレオ画像処理では、この誤りを低減する有効な方法として、バックマッチング（右画像に対応する左画像中の探索結果に対してもう一度右画像中で探索を行い、元の位置と一致していたら正解とする）による誤対応検出が利用されてきた。

リフレクションステレオにおける誤対応排除には、連携研究者が得意とする高品質距離画像生成に関する研究業績を利用する。

(2) 2重像の幾何学的正規化による対応位置検出の高速化

ステレオ画像処理においては、複数カメラ間の幾何学的拘束（エピポーラ拘束）を用いて画像間での対応位置を探索するとき、画素の並びに沿って探索を行えばよいように、あらかじめ画像を変形（幾何学的正規化）する処理をする場合がある。この処理によって、密な距離マップを計算するときには全体としての計算量を低減できる。

リフレクションステレオにおける幾何学的正規化には、連携研究者が得意とするステレオ画像間におけるエピポーラ拘束に関する研究業績を利用する。

(3) フーリエ変換を利用した高精度な対応位置検出手法

多重像における対応位置探索は、多重像の自己相関関数を利用して行う。自己相関関数の形状は対象のテクスチャに影響を受けるので、この影響が排除（キャンセル）できれば高精度な対応位置探索が可能になる。

そこで、2重像をモデル化した上で、そのモデルをフーリエ変換したときの性質を利用して高精度な対応位置検出手法を開発する。リフレクションステレオにおけるロバストな対応位置探索手法には、研究代表者及び連携研究者が得意とする高精度な画像間対応位置検出手法を利用する。

(4) 2重像から通常画像への復元

2重像は、音響信号におけるエコーとも考えることができる。そこで、音響信号におけるエコー成分の遅延時間計測に利用されているケプストラムの考え方を利用する。さらに、2重像を復元したときの画像に含まれる変動成分の変化を注目する。これらの考え方を利用することで、2重像から原画像を復元し、さらに同時に高精度な対応位置を検出できる。

#### 4. 研究成果

(1) バックマッチングと自己相関関数に関する複数の指標を用いて、対応位置(2重像のずれ量)を効果的に検出する手法を開発した。この手法によって、従来は検出できなかった対応位置を検出できるようになった。

(2) リフレクションステレオの2重像における拘束を、画像の垂直軸に平行化する手法を開発した。2台以上の複数のカメラを用いるステレオビジョンでは、取得した画像間の対応位置探索を効率的に行うためにレクティフィケーション(平行化)した画像間で対応位置探索を行う。リフレクションステレオでは、2重像を構成する2枚の画像間に独自の拘束が存在する。この拘束を利用して、2重像を平行化する手法を開発した。開発した手法によって、リフレクションステレオにおける計算時間を短縮することが可能になった。

(3) 2重像における注目領域の周波数領域における特徴には、注目領域内に含まれる複数の視差(2重像間変位)に対応する特徴が含まれる性質を利用する。この性質を用いて、周波数領域での2重像間変位の検出が可能になった。この手法によって、領域ベースの対応位置検出を用いるステレオ距離計測における問題点であった「距離が不連続な部分における計測の不正確さ」を克服できた。

(4) リフレクションステレオでは通常のステレオ画像処理と異なり、1台のカメラで撮影する2重像を扱う。このため、計測対象のテクスチャなどが画像(2重像)から直接得られない点が問題となっていた。そこで、リフレクションステレオで撮影した2重像を通常の画像に復元する手法を開発した。

#### 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 2件)

[1] 清水 雅夫, 奥富 正敏, “リフレクションステレオのキャリブレーション”, 情報処理学会 CVIM 論文誌, vol. 1, no. 2 (CVIM22), pp. 124--135, July 2008. (査読あり)

[2] 清水 雅夫, 奥富 正敏, “両面ハーフミラー板の透過像を用いた単眼距離計測”, 情報処理学会 CVIM 論文誌, vol. 1, no. 1 (CVIM21), pp. 83--87, June 2008. (査読あり)

[学会発表] (計 7件)

[1] Masao Shimizu and Masatoshi Okutomi, “Calibration and Rectification for Reflection Stereo”, Proc. on IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2008), DVD-ROM, Anchorage, Alaska, June 26, 2008. (査読あり)

[2] 奥富 正敏, 清水 雅夫, 姜 偉, “リフレクションステレオの2重像に対する対応位置探索法”, 第14回画像センシングシンポジウム (SSII2008) 講演論文集, pp. IN1-15-1--8, 横浜, June 12, 2008. (査読あり)

[3] 清水 雅夫, 奥富 正敏, “2重反射像を用いた透明板の顕微鏡的表面形状推定”, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2007) 講演論文集, pp. 183--188, 横浜, December 6, 2007. (査読あり)

[4] Masao Shimizu and Masatoshi Okutomi, “Microscopic Surface Shape Estimation of a Glass Plate using a Complex Image”, Proc. on the eighth Asian Conference on Computer Vision (ACCV 2007), part 2, pp. 176--185, LNCS 4844, Tokyo, Japan, November 21, 2007. (査読あり)

[5] 清水 雅夫, 奥富 正敏, “両面ハーフミラー板の形状推定によるリフレクションステレオのキャリブレーション”, 第10回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2007) 講演論文集, pp. 249--254, 広島, July 31, 2007. (査読あり)

[6] 清水 雅夫, 奥富 正敏, “透過型リフレクションステレオ -- 両面ハーフミラー板透過像を使った単眼距離計測 --”, 第13回画像センシングシンポジウム (SSII2007) 講演論文集, pp. IN1-10-1--8, 横浜, June 7, 2007. (査読あり)

[7] Masao Shimizu and Masatoshi Okutomi, “Monocular Range Estimation through a Double-Sided Half-Mirror Plate”, Proc. on the fourth Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV 2007), pp. 347--354, Montreal, Canada, May 29, 2007. (査読あり)

6. 研究組織

(1)研究代表者

清水 雅夫 (SHIMIZU MASAO)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号： 70361798

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

奥富 正敏 (OKUTOMI MASATOSI)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号： 00262303