

隠蔽を抑制する単眼視ステレオ計測法の提案

Proposal of A Smart Single Camera Stereo Method for Reducing Occlusion

渡辺 隆†

草野 洸‡

藤原 孝幸†

奥水 大和†

Takashi Watanabe

Akira Kusano

Takayuki Fujiwara

Hiroyasu Koshimizu

1. まえがき

ステレオ計測は、画像内の濃淡の変化が緩やかな面から、抽出した計測点を各画像において対応させることが困難であることから、明確なエッジ情報を持つ輪郭、テクスチャを持つ面より抽出した特徴点計測に限定される。また、並列に設置した2台のカメラにて撮像した画像には、形状情報が取得できない隠蔽面が発生し、認識可能な物体面の計測に限定されてしまう。これらの問題を解決するためには、3眼視ステレオ計測法が有効であることが知られており[1]、三次元形状復元、モーションキャプチャ等の研究に広く利用されている[2]。しかし、物体の輪郭に沿った、明確な特徴点情報の三次元距離計測に限定すれば、必ずしも面情報を全て認識する必要はない。よって、3眼視ステレオ計測の代替となる、隠蔽面を抑制するステレオ計測システムの開発は、低コスト化、省スペース化、さらには処理の単純化において優位性を持つことになる。本論文では、1台の固定カメラと計測対象物を水平に移動させる簡素な構成の単眼視ステレオ計測法を基に隠蔽面抑制の手法を実現し、その有効性を実験にて検証したので報告する。

2. 提案手法

2.1 単眼視ステレオ計測法

単眼視ステレオ計測法は、カメラもしくは計測対象物を移動させ、移動前後の2枚の画像から抽出する各々の特徴点間距離を視差として、カメラから特徴点間距離を算出するものであり、1台のカメラシステムと移動機構にて構成されるシンプルなシステムであるといえる。しかし、前章に述べたステレオ計測の問題に合わせて、移動させるカメラもしくは計測対象物の移動方向に規制が無い場合には、複雑な処理が必要とすることが知られており[3]、2台以上のカメラを使用した多眼視と比較した場合、カメラ間の位置キャリブレーションが不要になること、さらには、コストパフォーマンスの優位性を持つにもかかわらず研究の対象は多くない。しかし、ベルトコンベアにて搬送される物体、自動組立て装置内の製造物等のカメラから計測対象物の距離が固定でき、カメラもしくは計測対象物の安定した移動が確保できる環境下での計測に限定すれば、十分に利用価値のある手法であると考え[4]、図1に示す計測システムの開発を行った。

図1のように固定した1台のカメラに対し、計測対象物を水平に移動させ、その移動距離を基線長 D とする。また、画像内の移動前後の2つの特徴点 $p_n (n=1, 2; 1: \text{計測対象物移動前に抽出した特徴点}, 2: \text{計測対象物移動後に抽出した特徴点})$ の座標間距離を視差 d 、既知の情報であるカメラから計測対象物移動のためのベースブロック(機械部品)間の距離を K とし、式(1)を用いて、図1に示すカメラから特徴点間距離 H を算出する。視差 d 計測のためには、撮像した画像内に特徴点 p_1 および p_2 が認識できるよう、任意に決定する基線長 D 以上のカメラ視野を確保する必要がある。

$$H = \frac{KD}{d} \quad (1)$$

†中京大学情報理工学部, SIST, Chukyo University

‡中京大学人工知能高等研究所, IASAI, Chukyo University

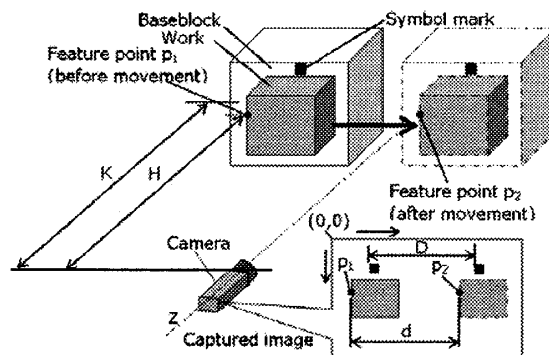


図1 単眼視ステレオモデル

2.2 隠蔽面抑制の手法

図1のモデルを基に、図2に示すような計測対象物をカメラ視野の対角線方向($\gamma = \pm 45^\circ$)に移動させる方法を提案する。この移動方法により、図2のA~E面を認識することが可能となるため、従来の x 軸($\gamma = 0^\circ$ or 180°)方向の移動では、D,E面、 y 軸($\gamma = \pm 90^\circ$)方向の移動時にはB,C面が隠蔽されていたことの解決策となる。また、計測対象物の移動距離である基線長は、図3に示す特徴点 OP_1 、特徴点 OP_2 間の距離(1: 計測対象物移動前, 2: 計測対象物移動後)として x 軸方向 Dx 、 y 軸方向 Dy 、実移動方向 D の3方向から、式(2)~(3)によりそれぞれ算出が可能であり、1度の移動動作から3つの距離情報を取得できることになる。さらに、図3に示す画像上の特徴点 p_{1n} 、特徴点 p_{2n} 間距離(1: 計測対象物移動前, 2: 計測対象物移動後、 $n=1, 2, \dots$: 任意に設定した番号)である視差についても同様に、式(2)~(3)にて3つの距離 dx 、 dy 、 d が算出可能になる。しかし、移動方向と同角度($\gamma = -45^\circ$ もしくは $\gamma = 45^\circ$)で存在する面に関しては、視差情報が取得できないため、移動角度を $\gamma = 0^\circ$ もしくは 180° とする必要がある。

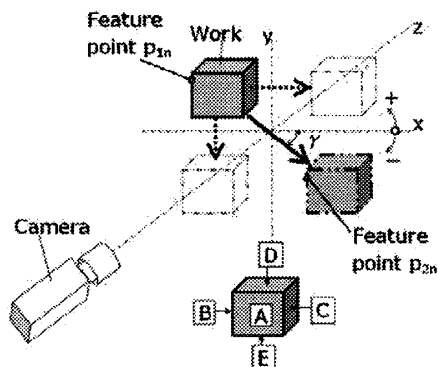


図2 隠蔽面抑制モデル

$$\begin{pmatrix} Dx \\ Dy \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{1n} \\ y_{1n} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_{2n} \\ y_{2n} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$D = \sqrt{D_x^2 + D_y^2} \quad d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} \quad (3)$$

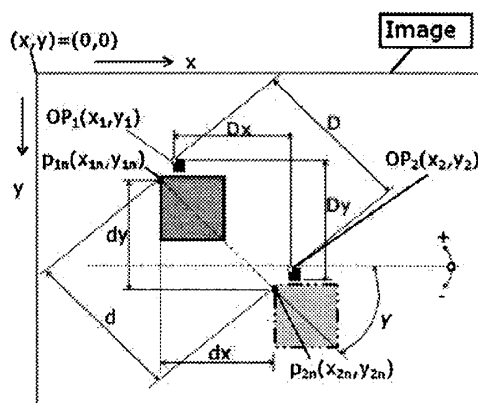


図3 計測対象物の基線長と視差

2.3 基線長および視差の選定

前節にて算出した基線長及び視差は、3種の値となるが、特徴点が存在する面方向によって選定する。カメラ視野のx軸に対し、ほぼ平行な面の特徴点を計測する場合には、 D_y 、 d_y を、カメラ視野のy軸に対し、ほぼ平行な面の特徴点を計測する場合には、 D_x 、 d_x を、それ以外は、 D 、 d を使用することにする。これは、対象となる面の傾きに、ほぼ平行となる基線長および視差を採用するものである。尚、画像視野における面の傾き情報は、エッジ処理等により面の直線成分を抽出することで検出できる。

2.4 基線長の実時間キャリブレーション

計測対象物の移動距離を基線長とするが、移動距離を計測できる機能を持つステージ等の利用は、コストUPに繋がり、低コスト化の意図に反する。したがって、図1に示す計測対象物を設置したベースブロック上にシンボルマークを付け、移動前後の各々の画像より抽出したマーク形状の特徴点間の距離を画像処理にて計測し、基線長としている[4]。

3. 実験結果

3.1 計測対象と計測部

計測対象として、図4の機械部品を選定した。部品の外形形状は、ノギス等にて十分に計測できる単純なものであるが、図4斜線部のc面が、他の部品に密着した条件にて、c面に歪みがあれば密着面に対する $a, b(\text{mm})$ の距離は大きく変化してしまう。c面を他の機械部品に設置した条件にて、 a, b の距離計測を行い、システムの有効性を検証する。

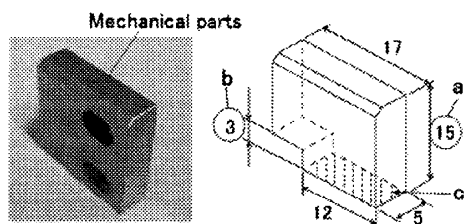


図4 計測対象

3.2 隠蔽抑制効果

前記2.2節の手法を採用した場合の、撮像画像を図5に示す。この画像は、一般的な市販のSXGAサイズのCCDカメラと×0.1マクロレンズの組み合わせにて、角度 $\gamma=45^\circ$ の方向に移動させた図1の機械部品を複数回撮像したものである。図5の線画モデルに示すA~Dはそれぞれ、計測対象物が有する平面であるが、No.1~3までの移動の過程において、A~Dの4面が画像上認識できることがわかる。図4に示す距離 a, b は、No.1、No.3の画像を選択することにて計測が可能になる。

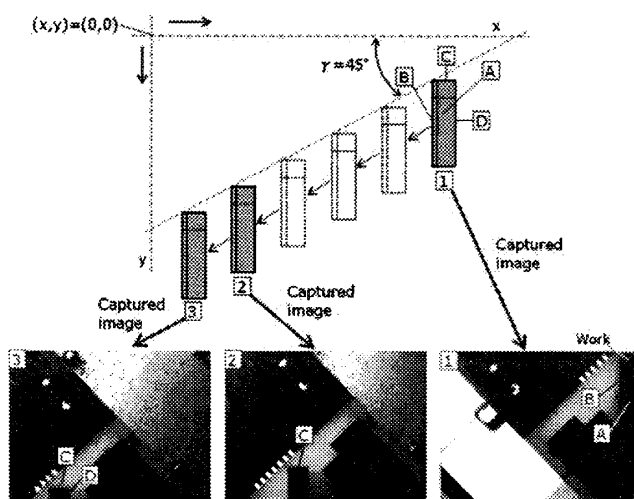


図5 機械部品の撮像画像

3.3 計測処理時間と計測値の妥当性

図4に示すサンプルの距離 a, b を計測し、 $0.36\text{sec} \sim 0.43\text{sec}$ (同一サンプルを10回処理したときの時間の最大値と最小値)の時間にて処理が可能であった。但し、本処理時間は、計測対象物の移動時間を含まない。

また、本システムの計測値の妥当性を評価するため、本システムおよび工場顕微鏡(×30)による計測を各10回行い、その平均値の比較による妥当性評価、および偏差、標準偏差値の比較による繰り返し計測精度評価を行う。その結果、表1、表2に示すとおり、工場顕微鏡計測値ほぼ同等の精度を持つことが確認できた。

表1 妥当性評価結果

	Validity (mm)	
	a	b
Industrial microscope	15.056	2.953
Proposed method	15.076	2.955
Difference(a-b)	-0.02	-0.002

表2 繰り返し精度評価結果

	Repetition accuracy (mm)	
	Deviation	Standard deviation
Industrial microscope	-0.007~0.010	0.006
Proposed method	-0.014~0.013	0.009

4. まとめと今後の課題

(1) カメラ視野の対角線方向に移動する物体の、移動前後の2枚の画像を用いることで、隠蔽面を低減したステレオ計測が可能であることが確認できた。

(2) 3方向の基線長を計測面の向きに応じて使い分け、工場顕微鏡計測値同等の精度を持つことが確認できた。

(3) 1台のカメラシステムで構成できるため、省スペース化が可能となる。また、カメラ3台にてステレオ計測を行う場合と比較して、約50%のコスト削減が実現できた。

今後は、計測対象物の移動方向及び、基線長・視差選択方法の妥当性を、計測対象を拡張しながら評価し、本システムにおける最適値を決定していく。

参考文献

- [1]井口征士, 佐藤宏介: 三次元画像計測, 昭晃堂(1990)
- [2]青木公也, 金子豊久: “移動するステレオビジョンからの距離画像による3次元物体の位置・姿勢検出”, 信学論(D-II)Vol.J86-D-II No.1, pp.72-83(2003)
- [3]出口光一郎, 秋場育子: “動きからの単眼立体視による形状認識の線形解法について”, 計測自動制御学会論文集 Vol.26, No.6, pp.714-720(1990)
- [4]渡辺隆, 草野洸, 藤原孝幸, 奥水大和: “変形・バリ欠陥を含む端子リードの平坦度検査法”, 電学論 D Vol.127-D, No.1, pp. 77-86(2007)