

7M-7

固視微動を利用した立体視手法

川合 拓郎 宮下 則俊 小林 剛 佐藤 誠 張 曉林

東京工業大学 精密工学研究所

1. はじめに

本研究では、固視微動の中でも、特に水平方向の運動が主となる両眼マイクロサッケードの視覚に与える影響について推測することで、両眼カメラの協調水平振動(輻輳運動)から得られるエッジ画像を用いた「3次元エッジ画像」の構築法を提案した。提案手法は、対応領域検出の容易さによる立体視の成功率の向上や計算量の削減が期待できる。

2. 固視微動の視覚での役割についての仮説

固視微動とは不随意的な眼球運動で、トレマ、ドリフト、マイクロサッケードの3種類からなる^[1]。これを停止させ静止網膜像としたとき、ヒトは像消失により視覚を失う^[2]。このため、視覚の初期段階における固視微動の重要性が提唱されてきた。

また、近年の研究で、左右の単眼マイクロサッケードが水平成分の運動のみでオーバーラップする現象が報告されており、これは両眼マイクロサッケードとよばれている^[3]。両眼マイクロサッケードの精密計測に関する研究は共同研究者と共に行っている^[7]。その結果のひとつである図1は、垂直な線を視覚刺激としたときの固視微動を水平、垂直成分に分離した図である。眼球は水平成分において短時間で変位の大きなマイクロサッケードを行っている。

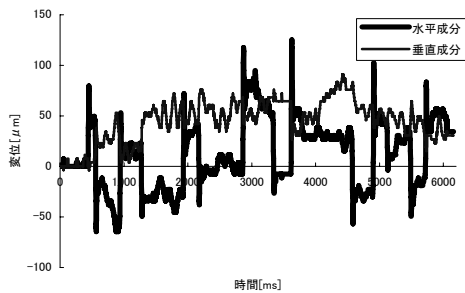


図1. 水平成分にみられるマイクロサッケード^[7]

さらに、ヒトは立体視を行う前段階として、物体の輪郭抽出を行っている^[4]。これより、視覚の初期段階で重要であろう固視微動の機能のひとつに物体の輪郭抽出があるものと推測した。

The Stereovision-Method by Fixational Eye Movement
Takuro KAWAI, Noritoshi MIYASHITA, Tsuyoshi KOBAYASHI, Makoto SATO, Xiaolin ZHANG
Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

本研究では、水平成分の運動からなる両眼マイクロサッケードによる輪郭抽出により、特に物体の縦方向の輪郭(エッジ)を抽出するものと考えた。縦方向の輪郭にこだわったのは、立体視の際に行われる輻輳運動において、縦線は他のパターンよりも照合し易いと考えられるからである。

3. システムの構成

使用した単眼2自由度カメラシステムを図2に示す。

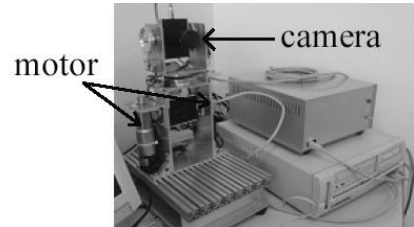
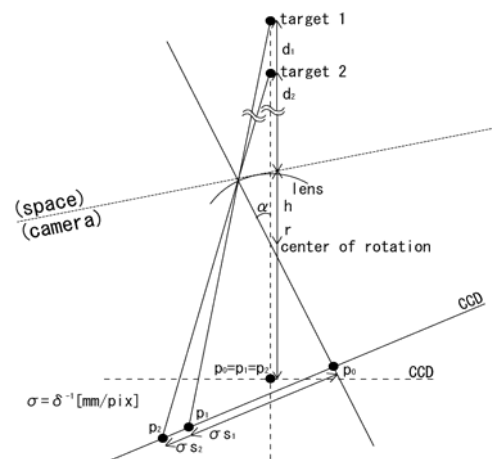


図2. 固視微動型眼球運動制御システム

カメラを微小振動させ、撮り込んだ複数枚画像の対応画素間の差分により距離情報を含むエッジ画像を作成する。この装置を平行移動し、2地点でエッジ画像を作成することによって、立体視のための3次元エッジ画像構築の実験を行った。

4. 距離情報を含むエッジ画像の作成

初め視軸上の異なる2点に存在する視標は、カメラを回転させたとき受光素子上の異なる2点に投影される^[5]。ここで、図3に示すように、近くの視標



による像は遠くのそれよりも変位が大きくなる。

図3. カメラの回転と受光素子上の視標の移動

また、図3より、単眼カメラの回転から、視標までの距離 $d[\text{mm}]$ 及び測定誤差 $\Delta d[\text{mm}]$ を見積もることができる。視標が無遠点にあるとき、受光素子の密度を $\delta[\text{pix/mm}]$ 、受光素子上の変位を $s[\text{mm}]$ 、

レンズと受光素子間の距離を h [mm], 回転中心とレンズ間の距離を r [mm], 回転角度を α [rad]とおくと,

$$d = \frac{\delta r h \alpha}{s - \delta h \alpha}, \quad \Delta d = \pm \frac{d^2}{2 \delta r h \alpha} \quad (1)$$

と表すことができる^[6].

5. 3次元エッジ画像の構築と立体視

図4に示すように, 左右のカメラが水平微小振動を行うことによって得られたエッジ画像を融合して3次元エッジ画像を構築する. まず, 各エッジ領域をラベリングしてエッジの幅(距離情報)や長さなどを特徴パラメータとして保存する. 得られたラベルのパラメータを照合していくことで, 左右画像中のエッジ領域の対応付けを行う. 従来のステレオマッチング法の対応点検索は, 例えばブロックマッチングを用いた手法などが挙げられるが, この手法は計算時間を要することが難点である. 一方, 提案する手法では, エッジ領域の特徴パラメータという単純化された情報を用いて対応点検索を行うので, 計算時間も従来法と比べて短く, また誤認識率も低くなることが期待できる.

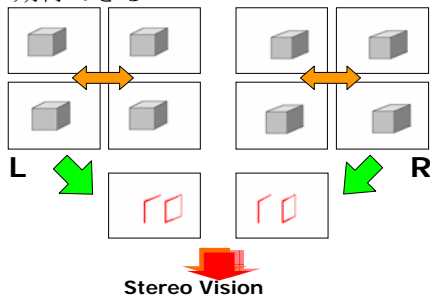


図4. 3次元エッジ画像構築法

また, エッジの対応付けの過程で, (1)式より測定誤差を算出することで, 対応エッジの探索範囲を絞り込み, 対応エッジ探索の効率を高めることができる. これは, 片方のカメラでエッジ画像を作成する際に(1)式から得られる距離 d と測定誤差 Δd を用いて, もう片方のカメラに投影され得る視標の位置を推定する. 位置の推定は, 前章の数値に加えて, もう片方のカメラでの画素の変位を s [pix], 左右のカメラ間距離を b [mm]としたとき, 次式で表される.

$$s = \frac{\delta h b}{d}, \quad \Delta s = \pm \frac{\Delta d \cdot \delta h b}{(d + \Delta d) \cdot d} \quad (2)$$

さらに, 対応付けを行うエッジの候補を引張効果^[4]の概念を用いて絞り込むこともできる. 引張効果とは誤認識を回避する手法のひとつである. 注目している片方の画像中の照合対象と, もう一方の画像中の照合対象候補群とを両眼融合させるとき, 照合対象の正解がある視差範囲内に高確率で存在することを利用して, 信頼性の高い照合対象同士を優先して照合することで, そのペアに隣接する他の照合対象の候補群を順次照合させる方法である.

6. 実験結果

試作したシステムを振幅 0.008[rad]で振動させ, 遠近4地点(600[mm],800[mm],1100[mm],1700[mm])に設置した物体で実験したときの結果を図5に示す.

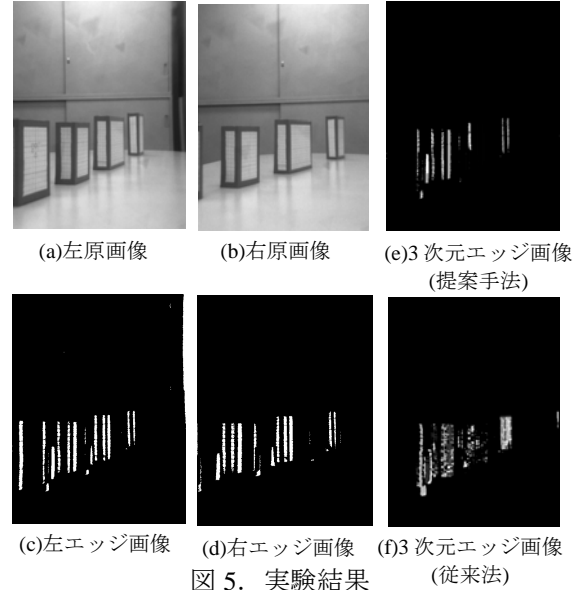


図5. 実験結果

図(c)と(d)のエッジ画像では, 最近と最遠の物体のエッジ幅に約4[pix]の差が得られた. また, (f)は従来法としてブロックマッチングによるベースラインステレオマッチングを行い, (e)の提案手法と比較した. エッジの遠近を階調値の濃淡で表した. 従来法では3次元エッジが潰れているのに対し, 提案手法はより精細な結果を得ることができた. また, 提案手法の結果の方が約1/35の処理時間であった.

7. まとめ

3次元エッジ画像の構築を, 従来手法に比べて効率良く立体視を実現するためのひとつの手法として提案した. この手法を発展させトレマやドリフトといった他の固視微動と組み合わせることで, 物体の形状や表面の認識などの, より高次の計算処理に拡張させることが期待できる.

文献

- [1] Susana Martinez-Conde, Stephen L. Macknik and David H. Hubel. THE ROLE OF FIXATIONAL EYE MOVEMENTS IN VISUAL PERCEPTION. Nature Neuroscience, vol5, March 2004.
- [2] Yarbus, A. L. Eye Movements and Vision (Plenum, New York, 1967).
- [3] Ralf Engbert and Reinhold Kliegl. Using microsaccades to study binocular coordination. (2003).
- [4] デビッド・マー (乾敏郎, 安藤広志 訳). ビジョン—視覚の計算理論と脳内表現—. 産業図書 (1987).
- [5] 山本高裕, 工藤博章, 大西昇. 固視微動に示唆を得たビジョンシステムによる奥行方向の位置合せ. 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D-II No.5, 2002.
- [6] 張曉林, 川合拓郎, 熊澤逸夫, 佐藤誠. "両眼固視微動を用いた立体エッジ画像生成法". 画像センシングシンポジウム講演論文集, 303-306. (June.2005).
- [7] 宮下則俊, 川合拓郎, 相澤啓助, 佐藤誠, 張曉林. "ヒトの固視微動の計測と解析". 情報処理学会全国大会. (Mar.2006).