

人の眼球運動特性を持つ両眼監視システム

谷 宇章 佐藤 誠 張 曉林

東京工業大学

Abstract

本研究では、複数台のカメラを用いての人間の眼球運動神経経路に基づいた眼球運動特性を持つ監視システムを提案する。ここでの眼球運動特性とは、衝動性眼球運動・滑動追跡運動・両眼の協調運動（共役・よせ）のことである。この運動特性を実装することで2つのカメラが同一視標を注視しやすいという特徴がある[1]。そのときの画像は注視点を中心とする2つの対称画像となっているので、より効率的に立体視照合を行う事ができるという利点がある。本システムは天井に固定した超広角カメラから得られた画像内の監視対象に対して、2台のパン・チルト・ズーム機能を有するカメラ（以下、PTZカメラと呼ぶ）を制御し、監視対象の方向を向けることで、高精度の追跡を行うというシステムである。2台のPTZカメラより得られた監視対象の画像から表面の3次元情報が計測可能であるため、立体認識能力を持つ高度な監視システムとしての実用化が期待できる。

1. はじめに

近年、社会において防犯意識が高まっている。それに伴い、その一端を担う監視カメラも急速に普及してきた。室内や敷地など比較的広い範囲を監視する場合の監視システムは主に2種類あるといえる。1つ目は広角カメラを用いて監視範囲を撮影し続けて侵入者を録画・検知するというシステムである。このシステムには侵入者の映像を鮮明かつ詳細に得ることはできないという問題がある。もう一方の方法は、PTZカメラを用いて広範囲での撮影を行い、侵入者を検知した場合はPTZカメラを侵入者に向けてズームインすることでより鮮明かつ詳細に撮影することができるというものである。しかし、後者は人間（警備員など）による手動制御がほとんどであり、高コストなことや見落としなどの人為的ミスが起こるといった問題がある。また、この方法の自動化に不可欠な画像からのフィードバック制御によるPTZカメラの視標追跡システ

ムの技術は未完成で実用化には至っていない。

本研究では、眼球運動特性である衝動性眼球運動（視点の高速切替え）・滑動追跡運動（滑らかな動点に対する追従）・両眼の協調運動（2つのカメラでの協調制御）の実装とPTZカメラ固有の焦点距離の自動高速調整機能・ズーム機能を組み合わせることで、侵入者の位置の測定および3次元形状認識を行うことを目的としている。このシステムには3次元情報の精密な測定が可能であるという利点があり、対象の顔認識の成功確率・識別速度の向上が期待できる。

2. システムの構成

提案するシステムは、2台のPTZカメラ、1台の超広角カメラ、1台のパソコンから構成される。パソコンは画像処理及びカメラ制御を行う。図1に実験装置の外観を示す。PTZカメラは1/4型のCCDを搭載し、焦点距離は3.5~91[mm]である。パン回転範囲は左右100[deg]、回転速度は1~90[deg/sec]である。チルト回転範囲は上90[deg]下30[deg]、回転速度は1~70[deg/sec]である。パソコンは30[fps]で両PTZカメラからの画像を取込み、解像度は320[pixel]×240[pixel]である。超広角カメラの画角は160[deg]である。

まず超広角カメラを用いて監視範囲内の動く物体を検出し、2つのPTZカメラを画像中心に動く物体が来るように視点の高速切替えを行う。次に画像からのフィードバック制御により動く物体を滑らかに追従する。このとき2つのカメラは同じ視標を画像中心とする画像を取得するという協調制御を行うので、このシステムには常に2つのカメラから同じ動く物体を中心とする対称な画像を取込む性質がある。

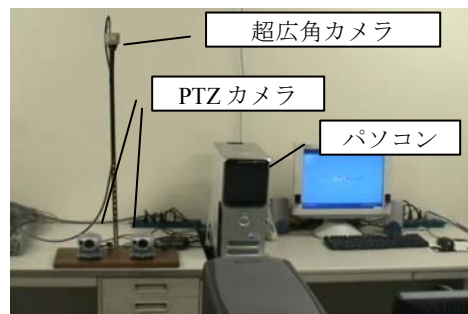


図1 実験装置の外観

3. 提案システムの追従可能速度

提案システムは2つのPTZカメラを侵入者の頭部に向け、頭部を十分に拡大した画像を取得する。頭部を直径 D [m]の球体、画像中での頭部を直径 d [pixel]の円、頭部からカメラまでの距離を L [m] ($L \gg D$)、フレーム間の対象の移動を検出するための最大探索距離は上下左右それぞれ m [pixel]、画像処理サンプリング周期を T [sec]、画像サイズを I_w [pixel] \times I_h [pixel] ($I_h < I_w$)、 I_h 中の d の占める割合を p と定義すると、 m [pixel]に相当する角度 α [rad]と追従可能な接線速度 v_{\max} [m/sec]は以下の式で得られる。

$$\alpha = \frac{mD}{dL} = \frac{mD}{I_h p L} \quad (1)$$

$$v_{\max} = \frac{\alpha L}{T} = \frac{mD}{I_h p T} \quad (2)$$

本システムでは $m=50$ [pixel]、 $p=0.8$ に設定し、 $I_h=240$ [pixel]、 $T=0.1$ [sec]である。 $D=0.25$ [m]とすると、(2)より v_{\max} は 0.651 [m/sec]である。

4. 視標の3次元座標測定

図2は提案システムの運動学モデルである。空間上の対象点 T の座標を (x_T, y_T, z_T) 、カメラ間距離を l 、 T の xoz 平面への射影を T' とする。システムの奥行き方向を z 軸、システムの鉛直上方向を y 軸、2つのカメラのなす直線方向を x 軸と定める。 θ は各カメラ中心と点 T とのなす直線と視平行線（カメラの中心を通過し、 z 軸に平行な直線）のなす角の水平成分であり、 φ は鉛直成分である。 θ はカメラのパン方向の角度と画像上での点 T と画像中心の水平方向の距離から計算でき、 φ はそれぞれのカメラのチルト方向の角度と画像上での点 T と画像中心の鉛直方向の距離から計算できる。

$$x_T = \frac{l \tan \theta_r - \tan \theta_l}{2 \tan \theta_r + \tan \theta_l} \quad (3)$$

$$z_T = \frac{l}{\tan \theta_r + \tan \theta_l} \quad (4)$$

$$y_T = \tan \phi_l \sqrt{\left(x_T + \frac{l}{2}\right)^2 + z_T^2} \quad (5)$$

この式より、PTZカメラの回転角度の誤差と画像からの角度計算における誤差が被測点 T の座標の計測誤差に比例するので、その誤差を十分に抑えることで点 T の座標を高い精度で測定することができる。画像からの角度計算における誤差はカメラの画像の空間分解能に比例するので、ズーム機能を利用することで画像の空間分解能を上げ、誤差を減らすことができる。

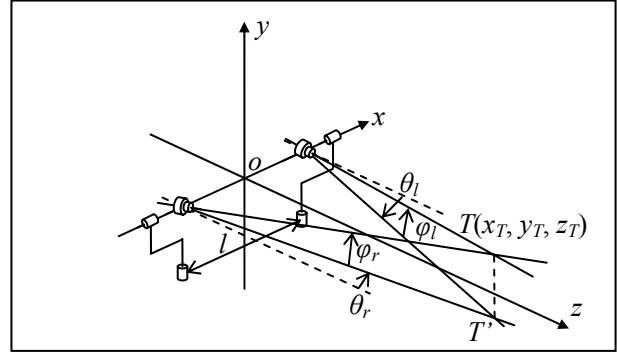


図2 システムの運動学モデル

5. 実験及び実験結果

本システムの評価実験として、被験者の眼間（左右眼の涙腺間）の距離を測定する実験を行った。下の表1は原点から約 2.5 [m]離れた5つの異なる位置にいる同一被験者に対する測定結果である。結果の平均値は 40.596 [mm]であり、標準偏差 0.306 [mm]である。被験者の実測値は 40.250 [mm]であった。これより、 0.346 [mm]の誤差が存在したという結果になった。

表1 実験データ

位置	視標点	θ_l [rad]	φ_l [rad]	θ_r [rad]	φ_r [rad]	眼間距離 [mm]
1	左眼涙腺	0.321	0.017	-0.241	0.013	40.693
	右眼涙腺	0.304	0.017	-0.224	0.012	
2	左眼涙腺	0.279	0.015	-0.199	0.009	41.009
	右眼涙腺	0.263	0.015	-0.181	0.009	
3	左眼涙腺	0.207	0.030	-0.125	0.025	40.238
	右眼涙腺	0.190	0.030	-0.108	0.026	
4	左眼涙腺	-0.019	0.021	0.104	0.010	40.685
	右眼涙腺	-0.036	0.021	0.121	0.010	
5	左眼涙腺	-0.134	0.028	0.215	0.018	40.355
	右眼涙腺	-0.150	0.028	0.232	0.018	

6. おわりに

検証実験により提案法が高精度な3次元情報を測定可能であることが示せた。今後は顔認識なども行い、提案システムを発展させていきたい。

【参考文献】

- [1] 張曉林, 若松秀俊: “両眼眼球運動制御メカニズムの数学モデルと視軸制御システムの構築”, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.1, pp89-97, 2002