学術論文

眼球の Saccade 運動と Pursuit 運動に示唆を得た 移動物体の実時間追跡

竹内 義則^{*1} 汪 増福^{*2} 大西 昇^{*1*2} 杉江 昇^{*3}

Real-Time Visual Tracking System Suggested by Saccade and Pursuit Eye movements

Yoshinori Takeuchi^{*1}, Zeng-Fu Wang^{*2}, Noboru Ohnishi^{*1*2} and Noboru Sugie^{*3}

This paper presents a real-time visual tracking system that can follow a moving object by controlling the pan and tilt of a camera based on the object position and speed obtained by video-rate image processing. The system consists of a camera, an image processing system, a pan/tilt platform and a motor driver. The developed platform can control the pan and tilt angle of a camera with accuracy of 0.002[deg] and speed up to 50[deg/s]. We have developed a tracking algorithm using both position and velocity of a moving object. The system integrates them to capture a moving object in the center of camera view. The algorithm, implemented on a general purpose image processor, can detect a moving object within 33[ms]. As an experimental result, the system can track a moving object (walking person) in real-time.

Key Words: Real-time System, Visual Tracking, Saccade, Smooth Pursuit, Optical Flow

1. はじめに

人間は容易に移動物体を発見し、移動する物体に視線を合わせて追跡することができる。このような人間の視覚系と同じふるまいを持つ追跡システムを実現することは、コンピュータビジョンの重要なテーマの一つである。さらに、このような追跡システムは、防犯装置やテレビジョン放送の分野で幅広い応用が考えられる。

人間の視覚系の研究から、移動物体を追跡する場合の眼球運動の成分は、位置に依存したものと速度に依存したものの2種類があることが知られている[2]。人間の視覚系と従来の受動的なビジョンシステムとの違いは、人間の視覚センサが回転することである。人間の視覚系は、能動的に行動し、環境と相互作用し、必要な情報を捨選択することによって、環境を認識することができる。このような視覚センサを工学の方法で実現することを目的とする能動的な視覚の研究が、近年のコンピュータビジョンで注目されている[4]。

移動する物体を追跡するビジョンシステムは、動きという情報を画像全体から抽出し、その物体を視野からはずれないようにするという点で能動的な視覚システムであるといえる。この

ような追跡システムを実環境に適応する場合、次のような問題点が考えられる。

- (1) 移動する物体の速度にシステムが追いつかなければならない。
- (2) 実環境のノイズに対してロバストな動きの抽出を行わなければならない。

今までに、能動的なカメラを用いた追跡システムがいくつか提案されている。Hwang らはズームの機能を持ったオンライン追跡システムを開発した[5][6]。このシステムは移動物体を追跡すると同時に、移動物体を視野内で最適な大きさにするようにズームを行うことができる。しかし、システムのサンプリング間隔は 1.6[s] で、非常にゆっくりした移動物体しか追跡することができない。Uhlir らは両眼視のビジョンシステムを提案した[7]。特に、静止している、または運動している他の物体による遮蔽に注目し、三つの手がかり（カメラと移動物体の相互運動、移動物体の動き、視差）を統合して、ロバストなふるまいを達成した。Clark らは Robinson が考案した人間の眼球運動制御に基づき、カメラ制御のスキーマを提案し、それを実現した[3]。しかしながら、実現したシステムは実環境で移動物体と背景を分離することができず、黒い背景中を移動する白い物体（あるいは、その逆）の場合にしか、追跡することができない。システムのサンプリング間隔は 100[ms] である。D. Murray らはパン、チルトステージにとりつけたアクティブカメラを用い、実時間での動きの検出法を提案した[8]。D.W. Murray らは実時間で単眼の追跡を行うアクティブビジョンシステムを開発した[9]。このシステムは、角速度が

原稿受付 1996 年 5 月 14 日

^{*1}名古屋大学大学院工学研究科

^{*2}理化学研究所バイオメトリックコントロール研究センター

^{*3}名城大学理工学部

^{*1}Graduate School of Engineering, Nagoya University

^{*2}BMC Research Center, RIKEN

^{*3}Faculty of Science and Technology, Meijo University

18 [deg/s] までの移動物体まで追跡することができる。

このような背景のもとで、筆者らは現状の問題点を踏まえて、高速かつロバストに動作する追跡システムの開発を進めてきた [1]。追跡速度を上げるために、高速なパン、チルトステージを試作した。また、処理時間を短縮するために、汎用画像処理装置を活かしたアルゴリズムを開発した。さらに、ノイズの多い環境でも追跡を可能とするため、ノイズに対してロバストな追跡アルゴリズムを汎用画像処理装置上に実現した。

本研究の構成は以下のである。まず、2 章で、運動する視標を注視した場合の人間の眼球運動について簡単に説明する。3 章では、移動物体の検出、追跡方法を、4 章では、試作した高速なパン、チルトステージについて述べる。5 章では、移動物体の追跡法を実現したシステムと、それを用いて行った実験結果について述べ、6 章に本論文をまとめるとともに今後の課題について考察する。

2. 眼 球 運 動

視標の動きを追跡する眼球運動は二つの成分からなっている。一つは非常に速い階段上の成分で、saccade 運動と呼ばれる。もう一つは、比較的遅く滑らかに変化する成分で、pursuit 運動と呼ばれる。Fig. 1 に二つの成分の混在した眼球運動を示す [10]。Fig. 1 では、視標の動きを検出してから 130 [ms] ほど後に、視標と同じ速度で眼球が動き出す。これは pursuit 運動である。次に、視標と眼球の位置を補正する動き (saccade) が生じる。その後、視標の変化に従って眼球の位置も変化していく。機能の上から見ると、saccade 運動は視標と眼球の位置ずれを補正するのに役立ち、pursuit 運動は視標と眼球の相対速度を 0 にするのに役立っている。

pursuit 運動は眼球が視標を追跡したときのみ観測される。すなわち、動く指標がないときには、眼球を意志の力によってなめらかに移動させることはできない。pursuit 運動による眼球の回転速度は、最高 25–30 [deg/s] で、比較的遅い動きである。一方、静止している物体を観察するときや本を読むときに、saccade 運動が観測される。saccade 運動はとても速い運動で、最高速度 600–900 [deg/s] である。

生理学の知見から、saccade 運動はサンプル値制御系で pursuit 運動は連続値制御系であることが知られている。saccade 運動の遅れ時間は約 200 [ms] である。この遅れ時間は、注目する対象が網膜上で変化してから saccade の指令を出すまでに要する時間である。この時間は網膜上の画像を処理し、対象の位置を計算するのに必要である。この時間中、さらなる網膜上での対象の位置の変化に対して、視覚系は反応しない。もし、この間、対象が移動すれば、saccade 運動によって位置の誤差が観測されるはずである。この観測によって、saccade 運動がサンプル値制御系であると考えられている。

pursuit 運動は連続値制御系か、saccade 運動よりもずっと短いサンプリング間隔をもったサンプル値制御系である。pursuit 運動の遅れ時間は約 130 [ms] である。注目する対象の動きが速い場合、pursuit 運動が連続的でなく saccade 運動を含んで観測される。もし、注目する対象の動きが pursuit 運動の最高速度よりも速い場合、pursuit 運動だけでは対象を追跡すること

Fig. 1 Saccade component and smooth pursuit component of the eye movements: T shows the target movement, E dose the eye movement

ができない。位置の誤差がある閾値まで達したとき、位置の誤差を小さくするため、saccade を起こすと考えられている。

3. 移動物体の追跡アルゴリズム

前章で述べたように、人間が移動する指標を追跡する場合の眼球運動は、移動物体の位置によるものと速度によるものの 2 種類がある。機能的に見ると、これらを組み合わせることによって、追跡の遅れを小さくすることができると考えられる。この章で、眼球の saccade 運動と pursuit 運動のふるまいを模倣する移動物体の追跡アルゴリズムを提案する。以下、移動物体の位置、速度の推定法と、カメラの回転角の制御、ならびに、これらを利用した追跡アルゴリズムについて述べる。

3.1 移動物体の検出

環境中を移動する物体の検出について考える。今、環境に固定されたカメラから移動物体を含む領域について観測を行うとする。その場合、移動物体は観測された輝度値の時間的变化に対応する。したがって、入力画像の時間微分を利用することで、入力画像から移動物体を分離することが容易に行える。しかし、時間微分の結果は、移動物体と背景のコントラストに依存するので、このままでは照明の変化などの、実環境でのノイズに影響されやすいという欠点がある。本論文では、この問題を避けるために、空間微分であるエッジ画像を用いる。その理由は、移動物体によって引き起こされる時空間微分が、その物体のエッジ付近で同時に大きな値を取るためである。

以下、入力画像より移動物体のエッジを求める方法を述べる。システムへの入力画像を $I(x, y; t)$ とする。まず、フレーム間差分画像 $I_s(x, y; t)$ とエッジ画像 $I_e(x, y; t)$ を次のように計算

する.

$$I_s(x, y; t) = I(x, y; t) - I(x, y; t - \Delta t) \quad (1)$$

$$I_e(x, y; t) = \sqrt{\left(\frac{\partial I(x, y; t)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I(x, y; t)}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$

ここで, Δt はフレーム間隔である (NTSC 規格では約 33 [ms]). 次に, 得られたフレーム間差分画像とエッジ画像を以下のように統合して, 移動物体のエッジ画像 $I_m(x, y)$ を求める.

$$I_m(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } I_e(x, y) > Th \text{ and} \\ & I_s(x, y) > KI_e(x, y) \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (3)$$

ここで, Th と K は実験によって求められた定数である. 式 (3) から分かるように, 移動物体のエッジ画像は, 高いコントラストと大きい時間微分値を持つときのみ, 1 を取る. このようにして得られた移動物体のエッジ画像 $I_m(x, y)$ から, 移動物体の位置が, 式 (4) に示すように, 対応するエッジの重心として求める.

$$\begin{aligned} d_x &= \frac{\sum x I_m(x, y)}{\sum I_m(x, y)} \\ d_y &= \frac{\sum y I_m(x, y)}{\sum I_m(x, y)} \end{aligned} \quad (4)$$

入力画像の時空間の微分とその統合処理は, 汎用の画像処理装置でも実時間で計算することができる. さらに, 時空間微分を用いたこの手法によって, 照明などの環境の変化に対してロバストな移動物体の抽出が可能になる.

3.2 移動物体の速度情報の獲得

移動物体の速度はオプティカルフローによって計算される [11]. 処理を簡単にし, 計算速度を上げるために, 画素ごとにオプティカルフローを計算するのではなく, 連続した 2 枚の画像から移動物体領域ごとのオプティカルフローを計算する. すなわち, 式 (5) の評価関数を最小にするような (u, v) を求める.

$$\iint_D (u I_x + v I_y + I_t)^2 dx dy \quad (5)$$

ただし, (u, v) は移動物体領域 D の速度を, I_x, I_y, I_t は, それぞれ, 入力画像 I の x 方向微分, y 方向微分, 時間微分である. また, 移動物体の領域 D は, 3.1 節で得られた I_m , すなわち, 移動物体のエッジを用いる. この処理の高速化によって, 計算時間がかかるとされていたオプティカルフローの計算を, 実時間で行うことができる. 反面, 画像を 2 枚しか使わないため誤差が大きくなる.

3.3 カメラ回転角の推定

Fig. 2 の射影系を想定すると, 画素 (x, y) を射影中心 O から見たときの球座標系での角度 $(\theta(t), \varphi(t))$ は,

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \tan^{-1} \frac{\varepsilon_x}{f} (x - x_c) \\ \varphi(t) &= \tan^{-1} \frac{\varepsilon_y}{f} (y - y_c) \end{aligned} \quad (6)$$

Fig. 2 Transform camera coordination to visual angle

となる. ここで, (x_c, y_c) は光軸と画像面との交点の座標, ε_x と ε_y は定数, f はカメラレンズの焦点距離である. $f, \varepsilon_x, \varepsilon_y$ は, あらかじめカメラキャリブレーションにより求めておく. これを t で微分すると,

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \theta(t) &= \frac{\varepsilon_x}{f} \frac{dx}{dt} \cos^2 \theta \\ \frac{d}{dt} \varphi(t) &= \frac{\varepsilon_y}{f} \frac{dy}{dt} \cos^2 \varphi \end{aligned} \quad (7)$$

となる. これは, 移動物体の角速度を表している.

得られた角度, 角速度をもとに, モータの回転角度を求める. ここで, モータの回転中, 移動物体の角速度 $(\frac{d}{dt} \theta(t), \frac{d}{dt} \varphi(t))$ は不変であると仮定する. 説明を簡単にするため, θ 成分のみで考える. すると, 角度で表す移動物体の位置 x は時間 t の一次関数,

$$x = \theta + \dot{\theta} t \quad (8)$$

と近似することができる. これに対し, モータの回転を以下のように t の一次式で近似する.

$$x = \begin{cases} M(t - a) & (t \geq a, \theta + \dot{\theta} a \geq 0) \\ -M(t - a) & (t \geq a, \theta + \dot{\theta} a < 0) \end{cases} \quad (9)$$

ここで, M はモータの最高速度, a は画像処理やモータの加減速に伴う遅れを吸収する時間で, ともに定数とする. 直線 (8), (9) の位置関係を Fig. 3 に示す. 図中, 斜線部分は追跡可能領域である. 移動物体をカメラの視野の中央にできるだけ速くとらえるため, 式 (8), (9) の交点である P の位置にカメラを移動する. したがって, モータの回転角度はこれを解いて,

$$x = \begin{cases} \frac{M(\theta + a\dot{\theta})}{M - \dot{\theta}} & (\theta + a\dot{\theta} \geq 0) \\ \frac{M(\theta + a\dot{\theta})}{M + \dot{\theta}} & (\theta + a\dot{\theta} < 0) \end{cases} \quad (10)$$

となる. φ 成分についても同様である.

Fig. 3 Relation between the position of a moving object and the rotation angle of the camera: the 'trackable' region is shaded

Fig. 4 Tracking algorithm

3.4 移動物体の追跡アルゴリズム

Fig. 4 に移動物体の追跡アルゴリズムを示す。まず、カメラからの入力画像に対し、フレーム間の時間差分、 x, y 方向の空間微分を計算する。次に、フレーム間の差分とエッジの勾配から、3.1 節の方法を用いて、移動物体の位置を求める。さらに、3.2 節の方法を用いて、オブティカルフローを計算する。得られた移動物体の位置、速度からカメラの回転角度を求める。なお、このアルゴリズムは汎用画像処理装置での実現に適している。

4. パンチルトステージ

移動物体の速度に追従するため、高速に回転することのできるパンチルトステージを試作した。カメラを回転させる駆動装置として、水平、垂直型の自動回転ステージ（駿河精機製、K44/K45-110）を使用した。そのままでは回転速度が遅いため、

Fig. 5 System overview

高速のステッピングモータ（UPD534M-B）を使用することにより、回転速度を改善した。このモータによって、パンチルトステージの最高回転速度は $50 [\text{deg/s}]$ 、1 パルスあたりの移動量は $0.002 [\text{deg}]$ となった。ステッピングモータを用いることにより、制御系を簡単にすることができ、回転速度、回転精度ともに、実用上十分な性能を得ることができる。

5. 実験

5.1 実験システム

システムはカメラ、画像処理装置、モータ駆動装置、パンチルトステージからなる。Fig. 5 にその概観を示す。カメラは小型一体型 $\frac{1}{3}$ カラー CCD カメラ（SONY EVI-310）を用いた。カメラは汎用画像処理装置に接続されている。汎用画像処理装置はホストコンピュータ（MVME167, Lynx OS）と VME スロットに接続された動画画像処理 VME ボード（Datacube, MAXVIDEO 200）とフルカラー画像入出力ボード（同, DIGI COLOR）からなる。汎用画像処理装置とモータ駆動装置は Ether Network 経由で通信を行う。モータ駆動装置はパンチルトステージの各モータを駆動し、パンチルトステージに取り付けられたカメラの回転角を制御する。

5.2 追跡実験

追跡実験は屋内（蛍光灯照明下）で行った。移動物体として、人間を用い、追跡実験を行った。その際、追跡中のカメラから見たシーンをビデオテープレコーダに録画し、それを評価した。また、環境の変化に対する頑健性を調べるため、先の追跡の途中で照明を切った場合の応答性を調べた。さらに、比較のため、位置情報のみを使った場合と、速度情報のみを使った場合について、人間の往復運動を追跡し、そのときのカメラの回転角を記録した。

5.3 実験結果

Fig. 6 に人間を追跡した結果を示す。表示したフレームの時間間隔は、 $1 [\text{s}]$ である。また、Fig. 7 に画像処理の結果を示

Fig. 6 Tracking result: Frame interval is 1[s]

Fig. 7 Snap shot image of image processing result

す。Fig. 7 では、左上が入力画像 I 、右上が差分画像 I_s 、左下がエッジ画像 I_e 、右下が統合画像 I_m である。

Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10 はそれぞれ、位置情報のみを使った追跡結果、速度情報のみを使った追跡結果、位置と速度情報の両方を使った追跡結果である。図中、縦軸は角度で横軸はサンプル時刻である。サンプル時間間隔は約 300[ms] である。

5.4 考察

Fig. 6 から、移動物体の追跡に成功していることが分かる。しかし、Fig. 6 の 5, 6, 7 については、人物が画像の中央になく、追跡に遅れが生じている。これは、速度の推定誤差が大きいためであると考えられる。経験的に、移動物体の速度が速い場合、推定値は実際の速度よりも小さい値になることが多い。速度の推定の誤差が大きい点に関しては、Fig. 9 から分かる。Fig. 9 は移動物体の速度情報のみを使って追跡したものである。速度の推定の誤差が小さければ、移動物体の位置とカメラの位置は最初の移動物体とカメラの位置のずれを保ったまま移動する。したがって、誤差は一定になることが期待される。しかし、結果は誤差の平均値からのずれの大きさが平均 2.9[deg] となり、

Fig. 8 Tracking result using position information only

Fig. 9 Tracking result using velocity information only

かなりの変化が見られた。このように、オプティカルフローによる速度推定は、誤差が大きいと考えられる。

Fig. 10 と Fig. 8 を比較すると、位置と速度情報を用いた方

Fig. 10 Tracking result using both position and velocity information

が、位置情報のみの場合よりも遅れの少ない追跡が可能であることが分かる。これは、位置と速度情報を用いた場合の誤差の大きさが平均 1.1[deg]、位置情報のみの場合の誤差の大きさが 4.5[deg] であることから明らかである。さらに、誤差を小さくするには、本論文では移動物体とカメラの運動モデルをともに一次の式で近似したが、二次以降の項も使用することによって改善されたと考える。

Fig.7 は画像処理結果を示したものである。右下の統合画像を見ると移動物体のエッジ部分のみが抽出されている様子が分かる。さらに、追跡中に照明条件を変化させる実験を行い、追跡が失敗しないことを確認した。移動物体のエッジは環境の変化が大きい状況でも容易に抽出されるため、環境の変化に対してロバストな追跡を行うことが可能である。

システムを追跡速度の面から評価する。モータの回転角を表す式 (9) から、モータの潜時を含めた最高回転速度 v は、

$$v = M \frac{T_s - a}{T_s} \quad (11)$$

となる。ここで、 T_s は画像を入力してからモータが回転し、停止するまでの時間（システムのサンプリング時間）である。本システムの場合、モータの最高速度 M は 50[deg/s]、モータの潜時に相当する a は 100[ms] であり、実験結果からシステムのサンプリング間隔は 300[ms] となった。したがって、この場合のモータの潜時を含めた最高回転速度は 33[deg/s] となる。すなわち、システムは 33[deg/s] までの移動物体を追跡することが可能である。本論文では、移動物体としておもに人間を扱っており、人間の歩行速度 (4[km/h]) を基準とした場合、カメラからの距離が 1.9[m] 以上離れていれば、その角速度は 33[deg/s] 以内になり、本システムで追跡可能である。さらに、最高速度 M が大きく、加速度の大きいモータを使用することによって、システムの追跡可能速度を改善することができる。

人間の眼球運動の遅れ時間がシステムに導入された場合を考える。saccade 運動の場合 200[ms]、pursuit 運動の場合 130[ms] の時間遅れが生じている。この遅れ時間は、人間の場合、2 章で述べた通り、注目する対象が網膜上で変化してから saccade の指令を出すまでに要する時間である。一方、本システムの場合、この遅れ時間は画像を入力してから、モータに回転コマンドを送るまでに要する時間であり、式 (9) の a に相当する。したがって、人間の眼球運動の遅れ時間がシステムに導入された場合、 a の値を変更することによって、その遅れ時間を補償することが可能となる。

6. ま と め

移動物体を追跡するシステムについて述べた。人間の眼球運動における知見から、移動する指標を追跡する場合、位置情報を入力とした駆動系 (saccade) と速度情報を入力とした駆動系 (pursuit) の 2 種類がある。これを利用してシステムを位置情報を扱う部分と、速度情報を扱う部分の二つに分け、それを統合してカメラの回転角を制御し、移動物体を追跡する手法を提案した。

開発したシステムは、ステッピングモータを用い高速に回転することのできる自動雲台の実現と、汎用画像処理装置による画像処理の高速化によって、移動物体を見失うことなく実時間での追跡が可能となった。システムの追跡速度は最大 33[deg/s] となり、人間を追跡対象とするアプリケーションにおいて、システムの有用性を示した。

実験から、移動物体の追跡に関してはほぼ良好な結果が得られた。位置と速度を統合することによって遅れの少ない追跡が可能であることを示した。また、ノイズの多い環境でも比較的抽出されやすい移動物体のエッジを用いることによって、環境の変化に対してロバストであることを示した。

開発したシステムを従来の追跡システムと比較すると、追跡可能速度が 33[deg/s] であり、7[deg/s] [5], 18[deg/s] [9] よりも向上することができた。これは、実時間の処理が可能な追跡アルゴリズムと、高速なパンチルトステージの開発によるものが大きい。また、眼球の saccade 運動と pursuit 運動のふるまいを模倣する新しい追跡手法を提案した。この手法によって遅れの少ない追跡を実現した。

システムは、実環境を移動する一つの不特定の物体を追跡することができる。しかし、視野内を移動する複数の物体から主要な物体を選択し、それを追跡することはできない。このように複数の物体から一つを選択することを、人間は容易に行っている。この機能を実現するためには、本研究で開発したシステムが用いた時空間の微分値の特徴だけでなく、色、視差などの特徴を有機的に統合し、視野に含まれる物体を認識する必要がある。しかしながら、この認識のプロセスには莫大な計算コストがかかる。したがって、さらなる画像処理装置、認識アルゴリズムの改善が必要となるであろう。

参 考 文 献

- [1] Yoshinori Takeuchi, Zeng-Fu Wang, Noboru Ohnishi and Noboru Sugie: "Real Time Visual Tracking System Mimicking Saccadic Movements," Proc. of 2nd Asian Conference on Computer Vision, vol.1, pp.131-135, 1995.
- [2] 杉江昇著, 南雲仁一編: 生体システム, pp.295-323, 日刊工業新聞社, 1971.
- [3] James J. Clark and Nicola J. Ferrier: Active Vision, pp.137-154, The MIT Press, 1992.
- [4] 石黒浩: "CVCV-WG 特別報告: コンピュータビジョンにおける技

- 術評論と将来展望”, 情処研報 CV, vol.94, no.6, pp.45-52, 1995.
- [5] Junghyun Hwang, Yoshiteru Ooi and Shinji Ozawa: “An Adaptive Sensing System with Tracking and Zooming a Moving Object,” IEICE Trans. Information and Systems, vol.E76-D, no.8, pp.926-934, 1993.
- [6] Junghyun Hwang, Yoshiteru Ooi and Shinji Ozawa: “An Advanced On-Line Visual Tracking System,” Trans. of the Society of Instrument and Control Engineers, vol.30, no.12, pp.1427-1435, 1994.
- [7] T. Uhlin, P. Nordlund, A. Maki and J.-O. Eklundh: “Towards an Active Visual Observer,” Proc. of 5th Int. Conf. on Computer Vision, pp.679-686, 1995.
- [8] Don Murray and Anup Basu: “Motion Tracking with an Active Camera,” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.16, no.5, pp.449-459, 1994.
- [9] David W Murray, Philip F McLauchlan, Ian D Reid and Paul M Sharkey: “Reactions to Peripheral Image Motion using a Head/Eye Platform,” Proc. of 4th int. conf. on Computer Vision, pp.403-411, 1993.
- [10] D.A. Robinson: “The Mechanics of Human Smooth Pursuit Eye Movement,” Journal of Physiology 180, pp.569-591, 1965.
- [11] B.K.P. Horn: Robot Vision. pp.279-298, The MIT Press, 1986.

竹内義則 (Yoshinori Takeuchi)

1972年3月13日生。1994年、名古屋大学工学部情報工学科卒業。1996年、同大学院工学研究科情報工学専攻博士課程前期課程修了。現在、同大学院工学研究科情報工学専攻博士課程後期課程に在学中。コンピュータビジョンに興味を持つ。

(日本ロボット学会学生会員)

大西 昇 (Noboru Ohnishi)

1951年2月3日生。1975年、名古屋大学大学院電気系専攻修士課程修了。同年、労働福祉事業団研究員。1986年、名古屋大学工学部講師。1989年、同助教授。1993年、理化学研究所バイオ・ミメティックコントロール研究センターチームリーダー併任。1994年、名古屋大学工学部教授。現在、同大学院

工学研究科情報工学専攻教授。工学博士。コンピュータビジョン・オーディション、ロボティクス、生体工学、福祉工学などの研究・教育に従事。

(日本ロボット学会正会員)

汪 増福 (Zeng-Fu Wang)

1960年7月13日生。1982年、中国科学技術大学情報工学科卒業。1984年、中国南京電子技術研究所通信工学専攻修士課程修了。同年、同研究所入所。1992年、大阪大学基礎工学研究科制御工学専攻博士課程修了。工学博士。同年、(財)イメージ情報科学研究所研究員。1994年、理化学研究所フロン

ティア研究員。現在に至る。コンピュータビジョン、知能ロボットの研究に従事。

杉江 昇 (Noboru Sugie)

1932年1月5日生。1957年、名古屋大学工学部電気学科卒業。同年、通産省電子技術総合研究所に入所。1962-1964年、カナダ・マギル大学客員研究員。1970年、バイオニクス研究室長。1978年、視覚情報研究室長。1979年、名古屋大学大学院教授。1994年、名城大学理工学部電気電子工学科教授。現

在に至る。名古屋大学名誉教授。工学博士。バイオニクス、医療福祉工学、生体情報工学、コンピュータビジョン、自然言語処理などの研究・教育に従事。

(日本ロボット学会正会員)