

逐次撃墜法を利用した車椅子操作時の 非接触視点位置検出

千葉職業能力開発促進センター 鉄谷 聖和
 近畿職業能力開発大学校 尾田 雅文
 北海道職業能力開発促進センター 首藤 由里子

Matching Pursuit Technique for Non Contact Eye-Gazing Point Estimation

Kiyokazu TETSUTANI, Masafumi ODA, Yuriko SHUTOH

要約 下肢障害者が車椅子などの移動支援機器を利用し、一般社会へ参加・適応する機会が増加しているものの、医学および職業リハビリテーション期間において、移動時のハンディキャップの効率的な克服手法が確立されていない等、未だ解決すべき問題が存在する。そこで、これらの問題を解決するための研究の一環として、逐次撃墜法に基づく画像処理を適用した視点位置検出システムを提案した。さらに、本システムを車椅子移動シミュレータ操作時の視点位置検出に適用し、被験者の車椅子操縦経験に応じて、異なる視点位置移動特性が得られることを明らかにした。なお、本研究を遂行するために構築したシステムは、福祉機器評価に関連する分野への適用等の直接的効果のみならず、画像処理の他、パーソナルコンピュータ等を利用した計測・制御分野の職業能力開発に、システム構築の際に得られた要素技術の知見を応用するなどの間接的効果も期待される。

緒言

近年、車椅子利用者の交通事故による死傷者数が増加傾向にある。健常者の歩行時と比較して、車椅子利用者は交通規則を違反していないにも関わらず、背面・対面通行中における事故の構成率が、顕著に高いことが指摘されている。よって、車椅子利用者特有の事故原因を考慮した、適切な事故防止策が望まれている。

人は、一般に移動時における情報の多くを視覚に依存していることから、車椅子移動時における眼球運動の評価結果は、事故防止策を確立する上で極めて重要な指標を提供するものと考えられる。一方、眼球運動や視線の計測・評価に関する研究は、これまでに多数の報告例があり、例えば、西等¹⁾は角膜反射法を利用したアイマークレコーダをフライトシミュレータ操作時の被験者に適用し、離陸、水平直線飛行およびルー

プ飛行等の各飛行過程における視線移動特性を明らかにしている。しかしながら、計測デバイスを身体に装着する必要があることから、計測を意識することによる違和感等の心理的影響や移動行動への拘束等による物理的な影響を反映し、通常の眼球運動と異なる計測結果を得る可能性が指摘されている²⁾。一方、EOG (Electro-oculogram)³⁾は、広帯域な周波数検出が可能である特長を有することから、臨床における眼球運動特性分析に利用されているものの、皮膚と電極間の分極電位や筋電図への雑音の混入等に対して、十分注意を払う必要がある。

近年、画像処理および画像解析を行うための環境を容易かつ安価に構築可能になりつつあることから、これらを眼球運動計測に適用した例²⁾⁴⁾⁵⁾が多数報告されている。例えば、大門等²⁾は自動車運転時のドライバーの覚醒度合いや居眠り運転を検出するために、テンプレートマッチングを適用した視線検出システムを

構築するとともに、サイドミラー、ルームミラーおよび車載情報機器への視線を、水平方向および垂直方向について、それぞれ独立に検出可能であることを示した。画像処理を利用する視線検出手法は、被験者に測定デバイスを装着する必要がない等の特長を有するものの、検出精度の点で解決すべき問題が存在する。

そこで、本研究では車椅子移動に関わる問題を解決するための研究⁽⁶⁾⁽⁷⁾の一環として、2台のビデオカメラで得た顔画像に対して、Matching Pursuit⁽⁸⁾に基づく2次元多重解像度解析⁽⁹⁾を施して的確な左右虹彩位置を検出し、さらにステレオ画像解析手法等を適用して視点位置を評価可能とするシステムを構築した。さらに、車椅子移動シミュレータ操作時の視点位置検出に本システムを適用し、障害物回避移動時における視点位置の移動軌跡を評価した結果、被験者の車椅子移動に関わる経験時間に応じて、異なる視点位置移動特性が得られることを明らかにした。

視点位置検出アルゴリズム

図1に、視線検出の手順を示す。本視点位置検出システムは、ビデオカメラを用いて得られた顔画像に2次元 Matching Pursuit を適用し、虹彩輪郭を検出する。一般に、室内照明のもとで得られる眼球画像は、睫毛の影等が原因で照度の分布が不均一になりやすいことから、2値化処理はもちろんのこと、Sobel 等のハイパスフィルタ処理等を適用した場合であっても、虹彩輪郭を適確に抽出することは困難な場合が生ず

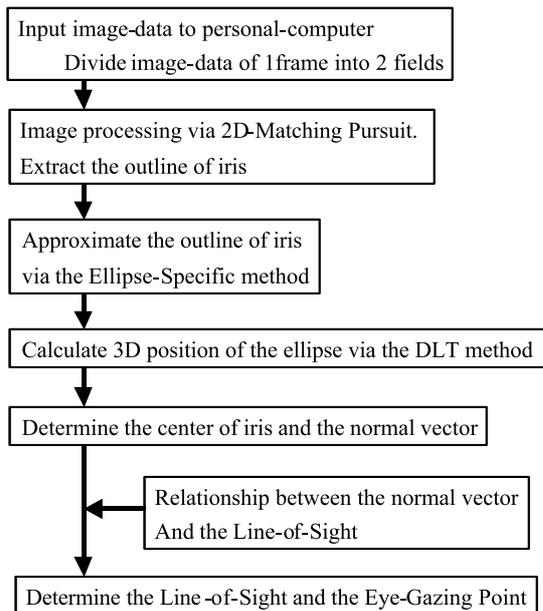


図1 Flow Chart for Detecting The Line-of-Sight

る。これに対し、2次元 Matching Pursuit を施した場合、比較的鮮明に虹彩輪郭を検出することが可能である。以下に、その詳細を記す。

1 2次元 Matching Pursuit

顔画像はNTSC規格の動画で得られることから、1フレームの画像中に互いに1/60secの時間差を有する2フィールドの画像情報が存在する。よって、ビデオキャプチャボードを介してパーソナルコンピュータに動画像を入力し、これらを分離した後に、マザーウェーブレットにCoiflet関数を適用した2次元 Matching Pursuit を施す。

画像の縦あるいは横一列における輝度値の変化を入力信号として考慮した関数 $f(t)$ は、スケーリング係数 $c_{0,k}$ とスケーリング関数 $\psi(t)$ より、式(1)のように表せる。

$$f(t) = \sum_k c_{0,k} \psi(t-k) \quad \dots(1)$$

分解過程の繰返し回数に関わる値すなわちレベル j とおいて、式(2)が成立するフィルタ係数 $F(j, m)$ を考慮し、スケーリング係数 $c_{0,k}$ を式(3)および式(4)のようにフィルタ処理すると、レベル j 以下の低周波成分 $cl_{0,k}$ と、これ以上の高周波成分 cho_k に分離できる。

$$(2^j t) = \sum_m F(j, m) \psi(2^j(t-m)) \quad \dots(2)$$

$$cl_{0,k} = \sum_m F(j, m) c_{0,k} \psi_0(k) \quad \dots(3)$$

$$cho_k = c_{0,k} - cl_{0,k} \quad \dots(4)$$

一方、時刻 t からのシフト量を τ で表せば、レベル j のウェーブレットは式(5)のように表示できる。

$$j\psi(t) = \sqrt{2^j} \psi(2^j(t-\tau)) \quad \dots(5)$$

また、スケーリング係数 $B(j, m)$ を考慮すれば、レベル j のウェーブレットを、式(6)のようにスケーリング関数の一次式で表すことができる。

$$j\psi(t) = \sum_m B(j, m) \psi(2^j(t-\tau-m)) \quad \dots(6)$$

よって、関数 $f(t)$ とレベル j のウェーブレットの内積 $d_{j,\tau}$ は、高周波成分 cho_k およびスケーリング係数より、式(7)のように与えられる。

$$d_{j,\tau} = \sum_k cho_k B(j,k-\tau) \quad \dots(7)$$

関数 $f(t)$ と分解過程で得られる内積 $d_{j,\tau}$ の関係は、式(8)のように与えられる。

$$f(t) = \sum_{j,\tau} d_{j,\tau} j\psi(t) + remain(t) \quad \dots(8)$$

なお、式(8)中の $remain(t)$ は分解過程における残留成分であり、本研究ではこの値が関数 $f(t)$ の0.1%以下になるよう内積 d_{jx} を求めた。一方、それぞれのレベルで得られた内積 d_{jx} を 2^{-j} 倍に増幅するとともに、残留成分 $remain(t)$ を無視し、式(8)を考慮して再構築することで輪郭画像が得られる。図2中(b)は画像処理結果の一例であり、同図中(a)の輪郭情報が的確に抽出されていることがわかる。

2次元 Matching Pursuit で得られた虹彩輪郭のノイズ成分を除去し、できるだけ鮮明な輪郭線を得るために、距離変換および骨格化処理を行う。なお、2次元 Matching Pursuit を施すことで、輪郭検出誤差に対する照明条件等の影響は、無視し得ると考えられることから、図2中(b)のように得られた画像に対して、2値化処理を施した後に、8近傍を考慮して距離変換を行う。同図中(c)に得られた結果の一例を示す。続いて、距離値が極大となる点を検出することで、図2中(d)に示すような骨格化画像が得られる。なお、画像の輝度値は距離値の極大値に応じて重み付けしている。よって、輪郭線が不連続に見える虹彩右端部においても極大値は0ではなく、輪郭の抽出点は存在する。

2 虹彩輪郭の3次元位置の決定

本システムでは画像データに基づく虹彩輪郭の3次元再構築に際し、Direct Linear Transformation (DLT) 法⁽¹⁰⁾を適用する。実空間での物体の3次元座標値 (X, Y, Z) と、これを撮影することによって得られる像のカメラ座標系上の2次元座標値 (L, M) の関係は、式(9)のように与えられる。

$$\begin{bmatrix} L \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 - C_1L & A_2 - C_2L & A_3 - C_3L & A_4 \\ B_1 - C_1M & B_2 - C_2M & B_3 - C_3M & B_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \dots(9)$$

よって、任意の位置に設置した2台以上のカメラから得られる測定対象点のカメラ座標値 (L, M) を、式(9)に適用して連立方程式を解くことで、実空間座標値 (X, Y, Z) を求めることが可能である。なお、 A_1 から C_3 の11個の未知定数は、互いに同一平面上にない最少6個の標識点の実空間座標値 (X, Y, Z) と、これらを撮影して得られる像のカメラ座標値 (L, M) を式(9)に適用し、それぞれのカメラについて決定する。本研究ではレンズ収差による測定誤差の影響をできるだけ小さくするために、システム較正時における指標点数を9点とするとともに、これらを画像中にできる限り均一に分布するように配置した。なお、すべ

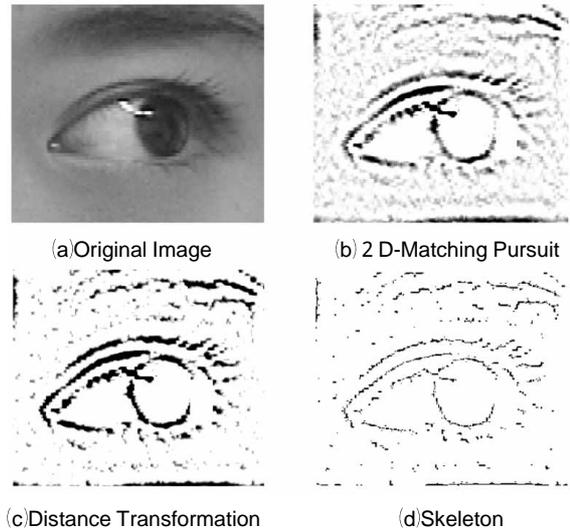


図2 Results for Example of Image Processes

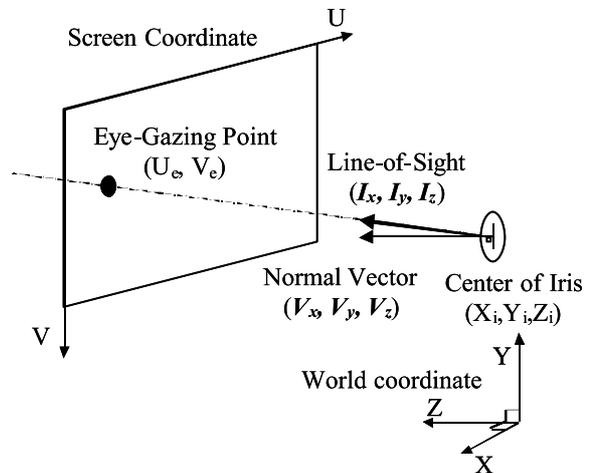


図3 Relationship between Eye-Gazing Point and Line-of-Sight

での標識点を考慮して前述の11個の定数を求めることは、飽和条件連立方程式を解く問題に帰着する。よって、最小2乗法を適用して定数を決定した。DLT法を適用して左右虹彩輪郭線の3次元位置を決定するためには、当然のことながら複数のカメラで得られる画像上のそれぞれの抽出点が、実空間における同一点である必要がある。よって、図2中(d)に示す骨格化処理等を施し得られた虹彩輪郭抽出点群に、Piltu等⁽¹¹⁾による手法を適用して近似楕円を決定するとともに、得られた楕円と上瞼の交点を基準とすることで前述の問題を解決し、虹彩輪郭近似楕円の3次元位置を求めた。

3 視点位置の検出

DLT解析結果に基づき、左右の虹彩輪郭近似楕円の法線ベクトル(以下、「法線ベクトル」と記す。)な

らびに虹彩の中心座標がそれぞれ決定される。図3に示すように、虹彩中心位置 (X_i, Y_i, Z_i) から注視点方向のベクトル、すなわち視線 (I_x, I_y, I_z) と法線ベクトル (V_x, V_y, V_z) は、必ずしも一致するわけではなく、また両者の関係は個人差を有する。よって、予め各被験者における両者の関係を明らかにする必要がある。一方、実空間座標で得られる虹彩位置よりスクリーン上の視点位置の2次元座標 (U_e, V_e) を求める上で、両座標系の関係が未知である場合を考慮し、虹彩中心座標ならびに法線ベクトルと注視点位置の相関関係を、重回帰解析を適用して求める。すなわち、式(10)に示すように水平方向については、実空間座標系に基づく虹彩中心座標 (X_i, Y_i, Z_i) および法線ベクトルの水平方向傾き角 $\theta_h (= V_x/V_z)$ に対し、視点位置の水平方向スクリーン座標値 U_e を予測対象として、 A_u から E_u までの5個の係数を重回帰解析し導出する。同様に、上下方向については式(11)に示すように、虹彩中心座標 (X_i, Y_i, Z_i) および法線ベクトルの上下方向傾き角 $\theta_v (= V_y/V_z)$ に対し、視点位置の上下方向スクリーン座標値 V_e を予測対象として、 A_v から E_v までの5個の係数を導出する。

$$U_e = A_u + B_u X_i + C_u Y_i + D_u Z_i + E_u \theta_h \quad \dots(10)$$

$$V_e = A_v + B_v X_i + C_v Y_i + D_v Z_i + E_v \theta_v \quad \dots(11)$$

得られた式を左右の虹彩について適用すれば、それぞれの瞳について視点位置のスクリーン座標が決定できる。一般に、左右の瞳で異なる点を注視するとは考えにくいことから、式(10)ならびに式(11)を適用して得られるそれぞれの視点位置の midpoint を注視点とした。

較正実験

法線ベクトルと視点位置の関係を明らかにするために、図4に示すような装置を用い較正実験を行った。同図中に示す座標軸は、システム較正時における標識点の設置位置に基づく実空間座標系 (X, Y, Z) を示している。なお、座標原点は被験者の左右瞳の中間位置にほぼ等しい。ここで、照明は天井に設置した一般的な屋内照明を用いており、顔付近の照度は500Lxである。実験は裸眼視力0.8以上の2名の被験者に対して行い、270cm前方に設置したスクリーン上に投影する2次元座標値 (U, V) が既知の25個のマーカをそれぞれ注視する際の顔画像を2台のビデオカメラで記録した。

一般に、ビデオカメラで得られた画像は、レンズ収

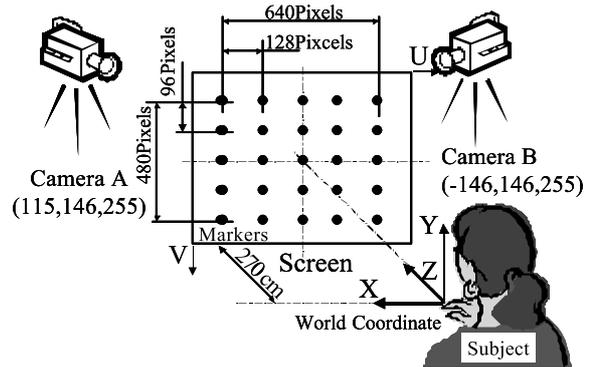


図4 Experimental Setup for Calibration

差の影響により画像周辺領域において歪みを生ずる。そこで、歪み量をできるだけ小さくするために、カメラの望遠機能を利用し、0.23%以内とした。なお、虹彩付近の3次元位置測定誤差は、実空間座標系のX, Y およびZ方向でそれぞれ0.03mmの範囲内である。得られた画像を720 x 480Pixelsの解像度、30frames/secのフレームレートでパーソナルコンピュータに入力し、マーカ注視のための視線移動の完了を被験者が申告したフレームを始点とする20フレーム間の画像に対し、マーカのスクリーン座標値 (U, V) とそれを注視する際の左右虹彩中心の実空間座標値 (X, Y, Z) および法線ベクトルの関係を明らかにし、重回帰解析に基づき較正式を求めた。その結果、左右の瞳、水平・上下方向いずれの場合においても重回帰解析における有意確率Fは 10^{-8} 以下、相関係数Rは0.93以上であることから、本解析で得られた重回帰式は、較正式として適切であると判断した。

図5は、重回帰解析で得られた較正式を適用し、図4と同様の実験装置を用いて視点位置検出精度の検討を行った結果の一例である。図の横軸は、マーカのスクリーン座標値を、縦軸は本視点位置検出システムで得られた注視点座標の検出誤差を、水平、上下方向についてそれぞれ示している。ここで、検出結果は誤差の範囲と平均値を併せて表示しており、1Pixelはスクリーン上で0.58cmに相当する。マーカの水平描画位置が80および560Pixelにある場合、瞳の回転移動量が大きく、固定したカメラの映像では虹彩輪郭の一部が検出困難であったことから、図に示すように視点位置の検出誤差は大きい値を示すものの、このような領域であっても、スクリーン上で6cm程度の大きさで描画される物体に対して、視点位置の評価が可能であると考えられる。一方、得られた結果を視線方向の検出誤差角に換算すると、水平方向で1.12度、上下方向では1.14度であり、これまでに提案されている画像解

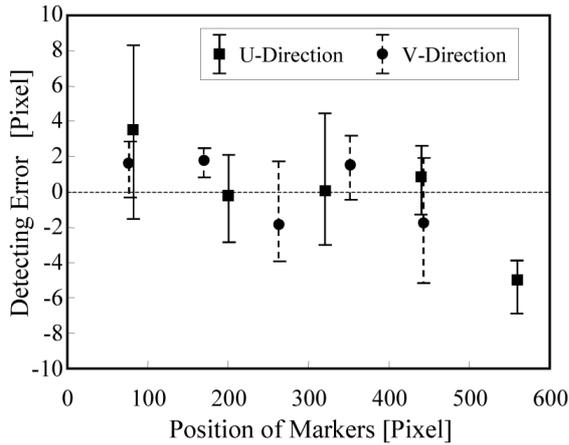


図5 Results of Experimental for Calibration

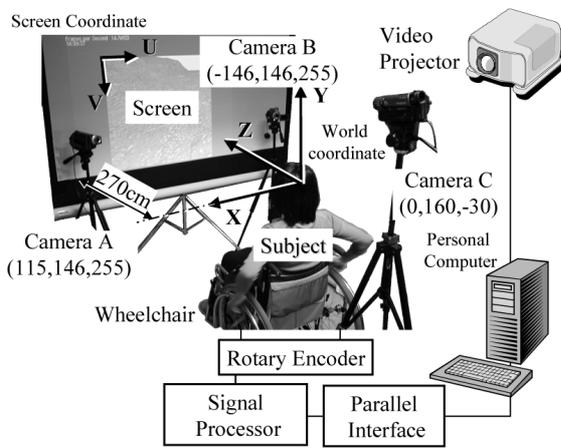


図6 Experimental Setup for Simulator

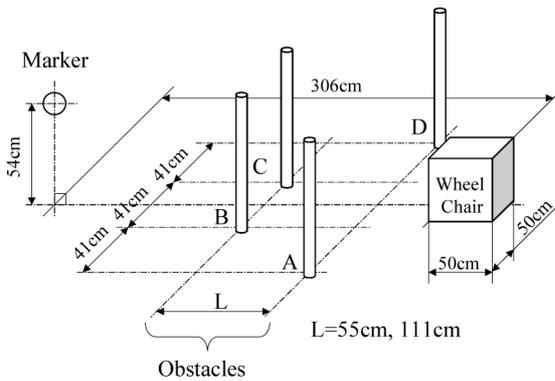


図7 The Disposition of Marker and Obstacles

析手法に基づく視線検出システムに比べ、良好な検出精度が得られている。

車椅子操作時の視点位置検出

1 実験方法

図6は、車椅子移動シミュレータシステムの概略を示している。図中の3次元座標軸はDLT解析のシ

テム較正時に基づく実空間座標系を示しており、その原点は被験者の左右瞳の中心付近に存在する。床面に固定した車椅子の左右駆動輪に取り付けたロータリエンコーダで車輪の回転角度情報を検出し、これを信号処理回路およびパラレルインターフェースを介して、パーソナルコンピュータに入力する。ビデオプロジェクタを用いて、原点よりZ軸上270cmの位置に設置したスクリーン上に、入力信号に基づき作成された動画を描画する。

車椅子操作時の視点位置を検出するために、2台のビデオカメラAおよびBは被験者の顔画像を、カメラCはスクリーン上のシミュレータ画面をそれぞれ録画した。ここで、カメラ下方に記した値はビデオカメラを設置した実空間座標値であり、センチメートル単位で示している。得られた動画を、解像度720×640 Pixels、フレームレート30frames/secでパーソナルコンピュータに入力するとともに、これを画像解析して視点位置および障害物の描画位置のスクリーン座標値(U, V)をそれぞれ求めた。

図7は、シミュレータの実行画面に現れる障害物等の配置条件を示している。障害物群は、千鳥状に配置された4個の障害物から構成されており、A B間およびC D間は通過可能である。ここで、図中のLは障害物間距離を示しており、55cm および111cmの2条件を設定した。車椅子の前進に伴い接近する障害物群は、接触することで転倒の危険性を有する障害物であり、例えば路上の段差ならびに勾配等を想定している。一方、車椅子から常に306cmの距離に配置されるマーカは、適時注意を必要とする障害物であり、例えば路上の車等を想定している。被験者個々の視点位置移動特性を評価するために、表1に示す車椅子移動に関する経験時間の異なる2名の被験者を対象として、実験を行った。実験に先立ち、2分間の車椅子シミュレータ操作の練習時間を設け、5分間の休憩の後にシミュレータ操作時における視点位置測定を5分間行った。なお、被験者に対し、障害物に接触することなく通過すること、およびできる限りマーカを注視することを指示した。一方、車椅子の移動経路および速度については、被験者の判断に従った。視点移動特性の評価区間は、障害物間への接近から通過までの20秒間とし、固視微動等の影響および人が視覚からの情報を判断するために必要な時間を考慮して、サンプリング間隔0.03秒で視点位置を検出し、0.15秒間の移動平均を求めた上で視点位置移動特性を評価した。本シミュレータは、障害物の配置位置、車椅子の移動経路

表 1 Compare of Object

	Subject	
	A	B
Sex	Female	Female
Age	22	21
Visual Acuity	0.8	1.0
Utilization Time of Wheel Chair	8 hour	2.5hour

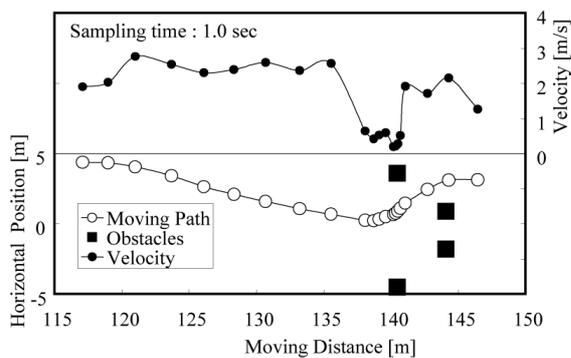


図 8 Moving Path and Velocity of Wheel Chair (Subject A, L = 55cm)

および速度等の情報を記録することが可能であり、これらを視点位置移動特性と併せて解析した。

2 実験結果

図 8 および図 9 は、被験者 A が障害物間距離 $L = 55$ cm の障害物群に対し、接近・通過する際の車椅子移動軌跡と移動速度および視点位置の移動軌跡をそれぞれ示している。図 8 より、被験者 A は障害物間 A B を通過することを決定し、障害物群の約 5 m 手前より車椅子を減速していることがわかる。また、障害物との接触を避けるために、障害物間のほぼ中央を通過するとともに、両障害物間に対する進入角度を比較的大きく確保している。一方、障害物に接触することなく障害物間を通過可能と判断したことから、完全に障害物間を通過する前に車椅子を加速させている。

図 9 の縦軸および横軸は、スクリーン上の 2 次元座標に対応しており、視点位置ならびに障害物の描画位置を 0.67 秒間隔で経時的に表示している。車椅子の前進に伴い障害物の描画位置は、図中の矢印のように下方すなわち手前に移動する。これに対し被験者の視点位置は、マーカと画面左側に位置する 3 個の障害物のほぼ中間領域に多く分布しており、両者の距離が大きくなるに従い、移動振幅は大きくなるものの、移動速度は比較的一定に保たれている。

図 10 および図 11 は、被験者 B が障害物間距離 $L = 55$

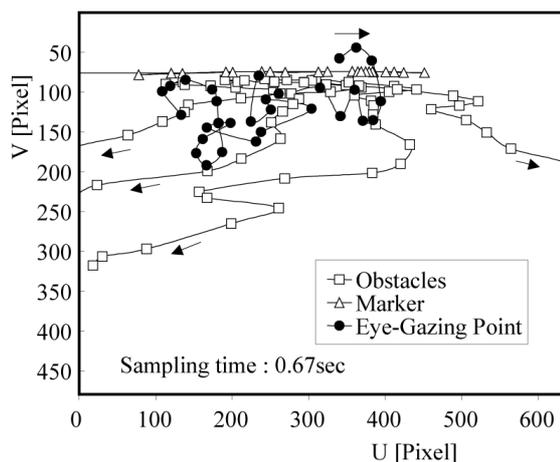


図 9 The Moving Characteristic of Eye-Gazing Point (Subject A, L = 55cm)

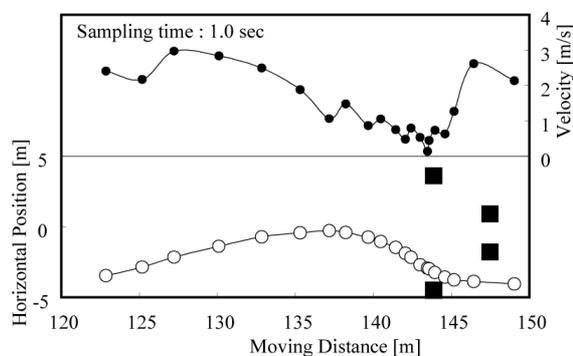


図 10 Moving Path and Velocity of Wheel Chair (Subject B, L = 55cm)

cm の障害物群に対し、接近・通過する際の車椅子の移動軌跡と速度および視点位置移動軌跡をそれぞれ示している。図 10 に示すように、被験者 B は障害物群の 15m 手前より車椅子を緩やかに減速させ、障害物間 C D を通過している。しかしながら、被験者 A の場合に比べ障害物間に対する進入角度は浅く、障害物 D に車椅子を接触させたことから、一時的に車椅子を停止している。この間の視点位置の多くは、図 11 に示すようにマーカの下方面すなわち手前に存在する障害物付近に停留している。なお、一時的にマーカを注視しているものの、この直後に障害物に接触したことから、視点位置を障害物の存在領域へ急速に移動させており、その後この領域で停留している。すなわち被験者 B の視点移動特性は、視点の急速な移動と停留を交互に繰り返していることがわかる。

図 12 は、両被験者の注視対象の割合を明らかにするために、視点位置 - マーカ間の距離ならびに視点位置に最も近い障害物と視点位置間の距離の 2 乗平方平均値を、障害物間距離 L が 55cm および 110cm の場合について、それぞれ示している。障害物間距離 L が 110

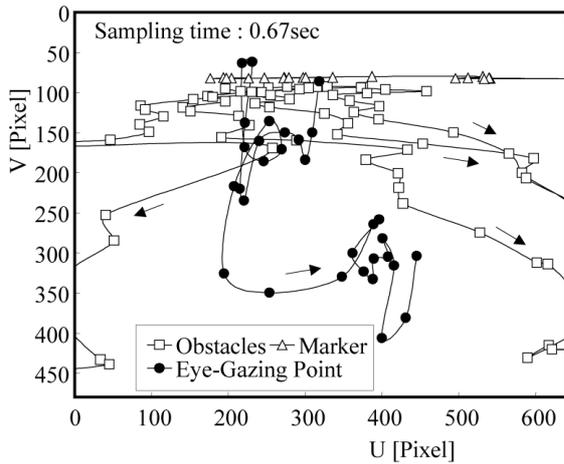


図11 The Moving Characteristic of Eye-Gazing Point (Subject B, L = 55cm)

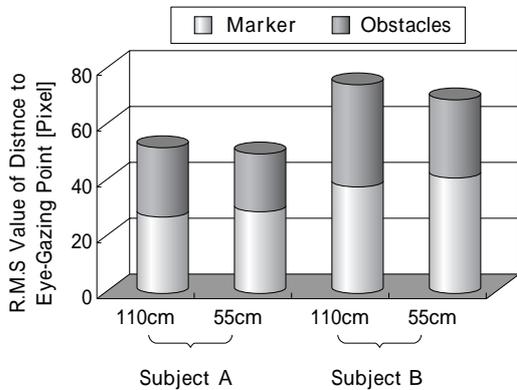


図12 Variation of Distance from Eye-Gazing Point

cm の場合は、両被験者ともにマーカおよび障害物の値がほぼ等しいことから、両者を均等に注視していると考えられるのに対し、障害物間距離 L が 55cm の場合は、障害物に対する距離の 2 乗平方平均値がより小さく、障害物に対する注視割合が大きいことがわかる。一方、いずれの障害物間距離においても被験者 B の 2 乗平方平均値は、被験者 A に比べ大きな値を示している。これは、被験者 A の視点位置が障害物とマーカ間を同時に留意可能な点に位置しているのに対し、被験者 B は排他的にいずれか一方を注視していることに起因するものと考えられる。

図13は、両被験者の視点移動時と停留時の時間比をそれぞれ示している。山田等¹²⁾は、人の物体認識過程において、視線の移動角速度が 5 deg./sec 以下である必要があることを報告している。そこで、両被験者の視点位置移動角速度を前述の値をしきい値として考慮し、それぞれが占める割合を求めた。図より、視線移動角速度が 5 deg./sec 以上である割合は、両被験者ともに障害物間距離 L が 55cm の場合に大きいことが

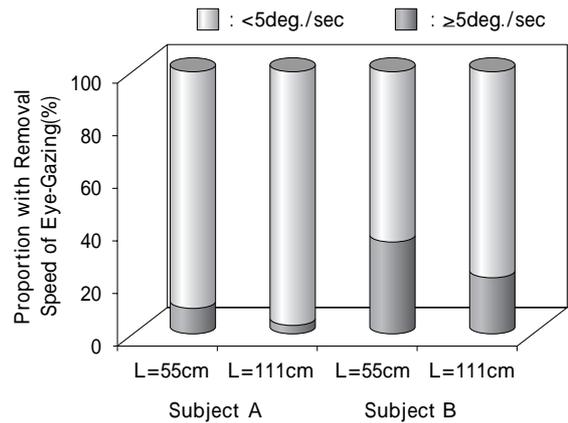


図13 Proportion with removal Speed of Eye-Gazing

わかる。すなわち、両被験者ともに障害物間距離が狭い場合は、各障害物と車椅子の距離を把握するため視点移動の頻度が高いことが推測される。一方、被験者 B はいずれの障害物間距離の条件においても、被験者 A に比べ角速度がしきい値以上を示す割合が大きい。特に、障害物間距離が 55cm の場合では、計測対象時間の 37% を占めていることから、相対的に注視時間の割合が減り、障害物への接触の要因になっているものと考えられる。

結 言

車椅子移動に関わる問題を解決するための研究の一環として、Matching Pursuit を適用した非接触視点位置検出システムを構築し、車椅子移動に関する経験時間の異なる被験者が、障害物間距離の異なる障害物群に接近・通過する際の視点位置移動特性を評価した結果、以下の(1)、(2)に示す知見を得た。なお、今回の実験では、被験者は眼鏡を使用しない者と限定し、また、車椅子シミュレータにおける障害物は段差や勾配等を考慮した比較的高さの低い障害物とした。眼鏡使用者の視点位置検出については、眼鏡による顔画像の歪が十分補正可能であることから、較正実験を考慮すれば検出可能であると考えられ、現在、その検証のため実験を行い、データを解析中である。また、シミュレータにおいては、低い障害物の他、ビルディング等の高い障害物や、坂等を考慮した新しいシステムを製作中である。

(1) 2次元 Matching Pursuit による画像処理手法は、的確な虹彩輪郭の抽出が比較的容易である。また、実空間座標で得られる虹彩位置よりスクリーン上の視点位置の 2次元座標を求める上で、両座標系の関係が未知である場合、重回帰解析を適用して視点位

置を決定することが可能である。ここで、本視点位置検出システムで得られる検出精度は、水平方向で1.12度、上下方向で1.14度である。本システムをマン-マシンインタフェースとして用いるには、現状では処理時間の点で未解決な問題を有するものの、測定デバイスを装着する等の制約条件がないことを生かして、視点位置検出装置のほか、人間の生理的な特性評価など、様々な方面への応用が考えられる。

(2)本視点位置検出システムを車椅子移動シミュレータ操作時の被験者に適用することで、被験者個々の視点位置移動特性を明らかにすることが可能である。すなわち、本研究で計測対象とした被験者のうち、車椅子移動経験時間の長い被験者は、障害物とマーカを同時に注視可能な位置に視点位置を配しているのに対し、経験時間の短い被験者は障害物とマーカを排他的に注視し、かつ5 deg./sec以上の視点移動角速度である時間割合が大きい。

[参考文献]

- (1) 西修二, 大久保堯夫, フライトシミュレータを用いた操縦者の視線移動に関する研究, 人間工学, (1995), Vol. 31, No. 3, 225-233.
- (2) 大門 樹, 茂木一秀, 川嶋広尚, 動画像処理によるドライバーの視線自動検出, 人間工学, (1995), Vol. 31, No. 1, 39-50.
- (3) 黒木康之, 麻生勤, 運転中のドライバー注視線測定の一方法, 自動車技術, (1977), Vol. 31, No. 7, 625-629.
- (4) 山口昌広, 伊藤丈裕, 杉山和彦, 山本新, 近赤外線画像によるドライバ状態監視システム, 第6回画像センシングシンポジウム講演論文集, (2000), No. 6, 63-68.
- (5) Y. Matsumoto, A. Zelinsky, An Algorithm for Real-time Stereo Vision Implementation of Head Pose and Gaze Direction Measurement, IEEE International Conference on Face and Gesture Recognition, (2000), No. 4, 499-505.
- (6) 尾田雅文, 真田 希, 関口行雄, 原 利昭, Direct Linear Transformation法を利用した車椅子移動時の非接触視点位置検出法の検討, LS学会誌, (1999), Vol. 11, No. 3, 80-85.
- (7) 尾田雅文, 真田 希, 関口行雄, 磯村 恒, 原利昭 2次元多重解像度解析法を利用した非接触視点位置検出法の検討, 機論, C (2000), Vol. 66, No. 650, 3406-3412.
- (8) R. Neff, A. Zakhor, Very low Bit-Rate Video Coding based on Matching Pursuits, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, (1997), Vol. 7, No. 1, 158-171.
- (9) 中野宏毅, 山本鎮男, 吉田靖夫, ウェーブレットによる信号処理と画像処理, 共立出版, (1999).
- (10) 植木一範, 高野剛, 長崎浩爾, 山本仁, 原利昭, 階段昇降時における恐怖感覚の研究, 機講論 No. 95-26, (1995), 253-254.
- (11) M. Pilu, A. Fitzgibbon, R. Fisher, Ellipse-specific Direct least-square Fitting, IEEE International Conference on Image Processing, (1996), No. 3, 599-602.
- (12) 山田光穂, 福田忠彦, 画像における注視点の定義と画像分析への応用, 電子情報通信学会論文誌, (1986), Vol. J 69-D, No. 9, 1335-1341.