

研究テーマ 視線分析に関する研究

| | | | |
|-----|------|------------|-------|
| 研究者 | 田中靖哲 | 株式会社電算システム | 共同研究員 |
| | 中村正士 | 株式会社電算システム | 共同研究員 |

フェーズ I

1 研究の概要

フェーズ I では、視線分析によるインタラクティブな情報提供システムの開発研究を実施した。この研究は要素技術である「視線検出技術」を応用し、人が受動的に情報を眺めているだけで、無意識のうちにインタラクティブに情報をアクセスできる可能性を検証する。これにより、注視していた情報に関係する情報に次々と切り替えることができる。たとえば、駅などにある市内案内地図などの情報表示において、注視している箇所の情報を次々と拡大表示したり、注視している軌跡を捉えることにより、自動的に行き先を判別し、目的地までのルート表示などを紹介するなどの商品開発などにも応用できる。すなわち、新しいインターフェースとしての基礎技術であり、幅広く応用ができると考えられる。

2 研究の目標

本視線検出開発における製品化・商品化の目標には、「情報端末を面倒な操作を必要とせず、ただ受動的に情報を眺めているだけで、無意識のうちに（操作しなくても）より有用な情報に接することができる」ことを掲げている。この実現のために、ディスプレイに表示される情報を、人の操作や言語応答に頼る従来からのユーザインターフェースでなく、情報を見る人の視線の動きといった無意識で客観的な反応を測定することにより、より有用と判定される情報に自動的に切り替えて表示していく製品の開発を目指した。

3 実施内容

3.1 設備構成

本開発で用いる設備の構成図を下記の図 1 に示す。D-1、および、D-2 は、人への情報表示のための情報表示用ディスプレイであり、2 台の液晶ディスプレイ装置で構成する。PP-1 は、情報表示用ディスプレイに人に有用な情報を次々と表示するための情報表示用コンピュータであり、上記の 2 台の情報表示用ディスプレイをコントロールする。C-1、および、C-2 は、人が注目している箇所を調査するための視線検出用ビデオカメラであり、それぞれ、上記の情報表示用ディスプレイの上部に固定し、人の上半身の画像を取り込めるようにする。CP-1、および、CP-2 は、先のそれぞれの視線検出用ビデオカメラ C-1、および、C-2 から画像データをキャプチャーし、人が注目している箇所を検出する視線検出用コンピュータである。SP-1 は、上記の 2 台の視線検出用コンピュータ、および、情報表示用コンピュータとの通信を行い、人が注目している箇所を視線検出用コンピュータから取得し、情報表示用コンピュータにその情報を提供するための視線検出データ配信用コンピュータである。SW は、上記コンピュータ全 4 台をローカルネットワークにて接続するためのスイッチングハブである。D-3 は、上記視線検出用コンピュータ、および、視線検出データ配信用コンピュータの動作の調整に用いるモニタ用ディスプレイである。

情報表示用コンピュータでは、人への情報表示を行いながら、視線検出データ配信用コンピュータを通じてその情報のどの位置に人が注目しているのかを調査して、注目していた時間の長かった位置にある情報に関係する情報を人へ提供することにより、より関心の高い情報へと切り替えることができる。

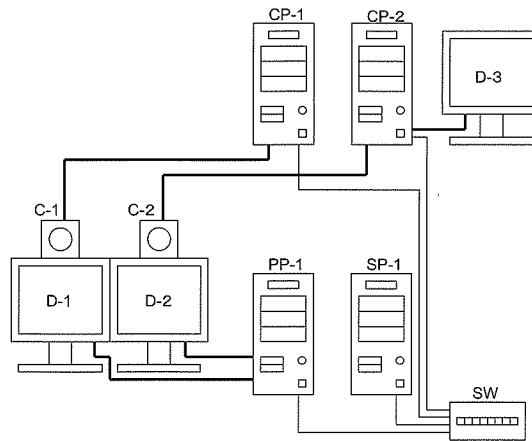


図1 本開発で用いる設備の構成図

3.1 情報提示方法

注視情報主導型の情報提示の方法について順に説明する。

情報の表現方法として、情報作成を容易にするため、FLASH5 ツールを用いて、FLASH 形式の情報を作成する。これを、Windows2000 標準のブラウザと、FLASH のプラグインソフトウェアを用いて、情報表示用ディスプレイに表示する。この FLASH 形式の情報表示とその間に人が注視している箇所の検出といった一連の動作を定義し、注視情報の結果に応じて表示を適切に切り替える。この定義をシナリオと呼ぶ。シナリオには、情報表示と人の注視情報の検出を行う設問シナリオと、情報表示のみ行う最終シナリオの2つがある。あらかじめ、FLASH 形式の情報の種類ごとにグループ分けを行い、その中から2つのグループを選び出し定義する。この組み合わせの定義をカテゴリと呼ぶ。設問シナリオでは、どのカテゴリの情報を用いるか定義する。このとき、このカテゴリからそれぞれの情報グループに属する FLASH 形式の情報を任意に何回抽出し、抽出した情報を表示用ディスプレイのどの位置に何秒間表示するのか、表示開始から何秒後に何ミリ秒間隔で何回注視情報を検出するのかなどを順に定義する。なお、本開発では、情報表示用ディスプレイを2台使用するため、このディスプレイを横に2台並べたものを1つの横長なディスプレイと見立て、これを横方向に4分割、縦方向に2分割した8分割の画面部分をつなぎ合わせた領域を指定する。また、1つの設問シナリオで2つ以上のカテゴリを指定することもできるが、1つのカテゴリからの情報表示・注視情報の検出がすべて行われた後、次のカテゴリを実行する。すべてのカテゴリの実行が完了した後、検出した注視情報からどの情報に最も注視していたかを判定するため、判定式を定義する。判定式には、カテゴリに属する2つの情報グループのどちらの表示部分に注視していたかを注視情報から決定し、1回ごとの情報表示において、その注視が検出された回数に重み係数を乗じて点数化し、全情報表示についてグループごとに加算し、点数の高いほうのグループに属する情報を判定し、その結果に応じて次に表示する設問シナリオや関連する有用な情報表示としての最終シナリオを定義する。こうして準備したシナリオに沿って、情報表示プログラムでは、上記ブラウザと連携し表示方法をコントロールしながら、次々と情報の表示を切り替える。このとき、注視情報の結果をログに記録し、後で、どの情報に注視しており、どの情報を提示したのかを検討することができる。

4 結果

4.1 実験環境

本開発の有用性を検証するため、実験で用いた設備配置を図2に示す。図2(a)の図面は、被験者と情報表示用ディスプレイとの位置関係を上部から示したものである。この図面にある通り、情報表示用ディスプレイ2台を横に並べて机の上に設置し、そのディスプレイの上部に特別に加工した設置台を用意し、視線検出用ビデオカメラを設置する。このとき、それぞれのビデオカメラは、それぞれ設置しているディスプレイ装置の中央あたりにし、カメラレンズがディスプレイ装置の画面表面にはほぼ一致するようにする。情報表示用ディスプレイの正面から1m

あたりに被験者が座る椅子を設置し、ここに座って実験を行う。図2(b)の図面は、情報表示用ディスプレイを正面から見たときの様子を示したものである。この図面にある通り、情報用ディスプレイ同士をできるだけぴったりと接近した状態で横に並ぶようにする。この図面通りに設置したときの情報用ディスプレイの設置例写真を図3に示す。

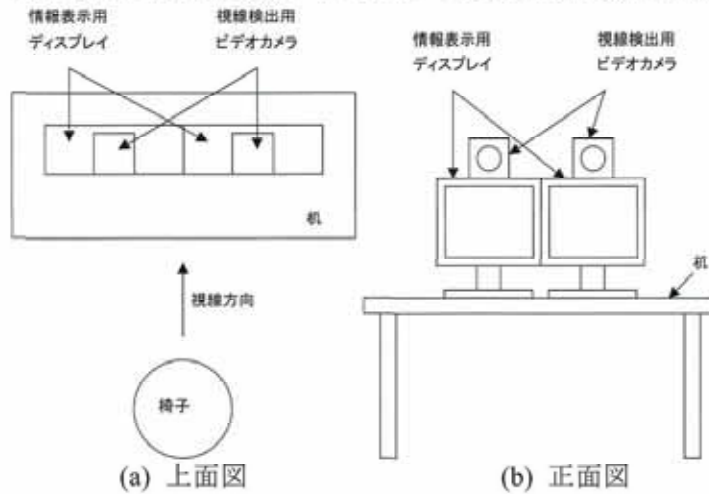


図2 設備設置の概要



図3 情報用ディスプレイ設置写真

実験に用いたシナリオは、株式会社日本旅行殿のご協力により、旅行パンフレットに使用されている写真を利用した旅行のオプションツアーをテーマにしたものを準備した。このシナリオの詳細を表1に示す。

表1 実験で用いるシナリオの詳細

| 表示番号 | 内容 | 表示時間 | 視線検出方法 |
|------|---|------|--|
| 1 | ハワイでのオプションツアーとして、下記のカテゴリからそれぞれ無作為に抽出した情報を表示する。 情報グループA (シーライフパーク) 情報グループB (スキューバダイビング) | 30秒 | 表示後直ちに検出を開始。 検出間隔 200msec. 検出回数 150回 |
| 2 | 同上。 | 同上。 | 同上。 |
| 3 | ハワイでのオプションツアーとして、下記のカテゴリからそれぞれ無作為に抽出した情報を表示する。 情報グループA (オーシャンスポーツ) 情報グループB (フィットネス・エステ) | 30秒 | 表示後直ちに検出を開始。 検出間隔 200msec. 検出回数 150回 |
| 4 | 同上。 | 同上。 | 同上。 |
| 5 | 上記1から2までの注視情報の集計結果から注視時間の長い情報グループに対応した情報を表示する。 | 30秒 | なし |
| 6 | 上記3から4までの注視情報の集計結果から注視時間の長い情報グループに対応した情報を表示する。 | 30秒 | なし |

4.2 実験結果

上記に示した実験方法にて、5人の被験者を対象として実験を行った。実験の様子を図4に示す。また、実験結果を下記の表2に示す。



図4 実験の様子

表 2 実験結果

| 被験者番号 (条件) | 表示 番号 | 視線検出 | | | 注視判定 |
|---------------|----------|--------------|--------------|----------|------|
| | | 情報グループ A の得点 | 情報グループ B の得点 | 瞳検出率 (%) | |
| 1 (眼鏡無) | 1 | 5850 | 1100 | 78.7 | A |
| | 2 | 6950 | 200 | 74.0 | |
| | 3 | 7150 | 350 | 78.0 | A |
| | 4 | 7100 | 250 | 70.0 | |
| 2 (眼鏡有) | 1 | 300 | 6450 | 40.7 | B |
| | 2 | 550 | 5000 | 52.0 | |
| | 3 | 450 | 6500 | 50.0 | B |
| | 4 | 1250 | 2900 | 68.0 | |
| 3 (眼鏡有) | 1 | 1900 | 5000 | 26.7 | B |
| | 2 | 3150 | 750 | 47.3 | |
| | 3 | 250 | 3550 | 34.7 | A |
| | 4 | 4100 | 600 | 50.0 | |
| 4 (眼鏡有) | 1 | 900 | 5000 | 59.3 | A |
| | 2 | 6050 | 850 | 52.0 | |
| | 3 | 350 | 5350 | 71.3 | A |
| | 4 | 6700 | 50 | 70.0 | |
| 5 (眼鏡有) | 1 | 1950 | 5550 | 42.7 | A |
| | 2 | 6100 | 1400 | 48.0 | |
| | 3 | 1250 | 6250 | 48.7 | B |
| | 4 | 5200 | 4300 | 32.7 | |

ここで、瞳検出率は、瞳を検出できている割合を示す。顔向きと瞳とを使って視線の位置を割り出す手法を用いている。顔向き情報に対して、瞳情報により視線の位置を補正している。よって、瞳が検出されると、より正確な視線位置を割り出すことができる。

実験中の視線検出箇所のログを採取し、情報提示内容を比較した。結果、注視情報に基づいて正しく情報提示がされていることが、確認された。したがって、注視情報主導型の情報提示装置の開発の成果は得られたと考えられる。しかし、瞳検出が正常にされない割合が高い場合があることもログ情報から明らかになった。視線の位置を精度よく割り出すためには、瞳の検出が必要であるが、眼鏡のフレームが太くはっきりしているケースにおいて検出率が低くなる傾向が強いようである。これは、視線検出技術で用いている瞳領域の抽出精度が目の辺りに影がある場合に悪化することが知られており、眼鏡の有無が検出率に大きく影響を与えていると考えられる。このことは、実験室から環境の劣化する場所に移動した場合の画像認識の難しさを端的に表しているものといえる。一層の要素技術のレベルの向上が求められる。

なお、今回の開発では、視線の動きと興味度との関連については、踏み込むことができなかったが、この実験結果をみると、注視情報から算出した得点に偏りがあることが読み取ることができる。注視することと、興味度との関係を示唆するデータが採取できたようであるが、データ量が少ないことと、分析する手法が未検討であることから、これ以上の判断はできない。優れたインターフェースを持つ製品を実現する上で、このテーマの研究は有力であるが、研究を進める上で、興味深いデータが得られたと考える。次の研究対象として取り組んでいきたい。

5 まとめ

本開発で実現した製品は、視線の検出を適切に行うために、外乱の影響を極力抑える環境が不可欠である。製品化にあたっては、一般的な環境において動作させることが必須となるため、光源も含めた製品の開発が課題である。また、視線検出の要素技術の向上により、一般環境での検出が精度良くできるよう、研究を深める必要がある。また、注視情報主導型の製品としては、実験結果に注視情報による得点算出結果に一定の偏りが見られたことから勘案すると、シナリオの作り方のノウハウを確立することによって、興味深い製品として、(視線情報の一般環境での認識率が上がれば)市場に提供できるものと考えられる。さらに、視線と興味度の関係を研究することによって、人に優しいインターフェースを実現できる。

フェーズ II

1 研究の概要

フェーズ II では、画面の見易さ・使い易さに関して有効な評価手法の研究、視線分析による戸惑い状態検出原理の確立、その一般環境下への応用を目的とした研究を実施した。

人が使い易い Web 画面構成について、視線の動作履歴を分析することにより検出することが可能であるという仮説を立て、指標として Web 画面閲覧時特有の情報獲得活動である「スキミング」に注目した。その結果、画面におけるコンテンツ配置により、動作移動履歴に差が生じることを確認した。

人の戸惑い状態は、視線の動作速度履歴のパターンを分析することにより検出することが可能であるとの知見を得ることができた。この知見に基づいて作成した戸惑い状態検出ニューラルネットワークモデルを検証用実験により検証した結果、90%の検出率を確認した。

戸惑い状態検出原理の確立を目指し、目的の項目が見つからないことによる戸惑い状態基本パターンと、誤操作（予期しない操作結果）による戸惑い状態基本パターンに分類し、それぞれの基本パターンに該当する戸惑い状態を発生させる実験システムを作成し、学生を被験者とした戸惑い実験を実施した。また、加齢による影響を検討しておく必要があるとの認識に立って、高齢者の戸惑い実験も行った。

戸惑い状態検出基本パターンモデルの作成においては、ニューラルネットワークによる学習手法を採用し、実験データを使った学習により、モデルの生成を行った。さらに、作成した戸惑い状態検出基本パターンを利用して、高齢者と若齢者との戸惑い状態のパターン差異の有無について検証を実施した。これらの研究成果を基に戸惑い状態検出基本パターンモデルを要素モデルとして、総合的な戸惑い状態検出モデルを構成した。

戸惑い検出原理を一般環境に応用するため、視線検出精度の向上などの課題解決への取り組みを行った。視線検出精度の向上には赤外線を使用した視線検出装置を使う手法を選択し、一般環境での利用条件を調査した。特に銀行ATM行動分析、赤外線を使用した視線検出装置外光制御の2つの調査により、一般環境下での使用条件を割り出すことができた。

上記の研究成果を具体的な形で示すために、一般環境下で動作する戸惑い状態判定装置を試作した。装置は、屋内で利用する専用端末で、利用者の戸惑い状態を判定して、使い易い画面に切り替える機能を持つ。また、装置は、実験データの分析により作成した戸惑い状態検出モデル、赤外線を使用した視線検出装置を使って精度の高い視線検出を行うための目の追跡システム及び遮光の仕組みなどを内包している。

2 研究の目標

本研究は、画面の見易さ・使い易さに関して有効な評価手法を検討することで、利用者の視線分析により戸惑い状態を検出する手法を確立し、人間の感覚や行動機能に整合したユーザインタフェース構成方法を得ることが目標である。また、戸惑い検出原理の一般環境への応用について、視線検出精度の向上などの課題解決に取り組み、実用化への指針を示す。

3 実施内容、結果

3.1 使い易い画面構成方法の研究

人が Web ページより情報を獲得する際の情報の獲得の容易さ、つまり使い易い Web 画面の構成には、視線の動作パターンに特徴が表れるはずであるとの仮説をたて、既存の Web サイトを模したサイトを用意し、被験者に操作させた。操作中の視線の動きを実験データとして収集し、分析を行った。

3.1.1 注視点に着目した実験、分析

既存の CD ショッピングサイトを参考にし、提示刺激 1 として図 5 に示すようなレイアウトを変えたサイトを 3 つ用意し、ランダムに提示した。それぞれのサイト内において、こちらが

指定した CD を買い物カゴに入れる作業を行ってもらった。その際のトップページにおける視線動作履歴を分析した。レイアウトの違いにより、ユーザは異なる情報獲得活動を行うとの仮説をたて、5名の被験者に対し実験を行った。



図5 提示刺激1

従来から用いられている注視点の定義である、「視線移動速度 5deg/sec 以下の状態が、165msec 以上続いたとき（福田亮子他,注視点定義に関する実験的検討,1996）」を用いて分析した。その結果、従来からの注視点の定義では、注視点をほとんど検出することができなかった。各刺激ページの注視割合は表3の通りである。通常行われている他の実験よりもはるかに少ない注視点しか検出できなかった。そのため、被験者が注目しているカテゴリを把握することができなかった。

表3 注視割合

| | |
|-------|------|
| site1 | 9.0% |
| site2 | 6.1% |
| site3 | 7.4% |

3.1.1 スキャニングに着目した実験、分析

この実験では、既存のニュースサイトを参考にし、提示刺激2として図6に示すようなレイアウトを変えたサイトを3つ用意し、ランダムに提示した。それぞれのサイト内において、被験者自身が読みたいと思う記事のジャンルを選択することから始まり、最終的に目的のニュースが記載されているページに辿り着いてもらった。その際のトップページにおける視線動作履歴を分析した。被験者数は9名である。



図6 提示刺激2

33msec ごとにサンプリングされる視線位置データから、各データ間における視線移動方向を算出することで、その角度の平均をスキャニングの生じさせ易さとして着目した。

スキャニングとは、通常紙を媒体とした文章を読む場合は水平方向に書かれた文章に対して水平方向に視線を移動させるのとは異なり、水平方向へ書かれた文章に対して垂直方向に視線を移動させることである。これは Web ページ上における特有の情報獲得活動である。

図7に刺激1のページ閲覧時の視線移動の典型例を示す。赤い円は視線が移動する際の方向転換点を示し、それらを結んでいる線は視線の移動軌跡を示している。このように、site1 の場合は、垂直方向成分が多く検出されるのに対して、site2 の場合は水平方向成分が多く検出される。Web ページにおいては、通常すべてのページの文章に対して注意深く目を向けることは稀である。つまり、自分にとって重要度の低いページでは、スキャニングを活用し、いかに早くそのページから必要最低限の情報を獲得できるかが重要である。そのスキャニングを活用させる Web 画面構成を明らかにすることが本研究の目的である。

本研究で用いている視線移動方向角度の算出方法は、図8における初めに視点があった P1

から、P2へ視点が移動した際にP1において右方向水平線を基準として、移動方向角度 θ を算出した。つまり、全データにおける移動方向角度を平均することで、垂直方向成分が強くなればなるほど値は大きくなり、水平方向成分が大きくなると値は小さくなる。



図7 視線移動例

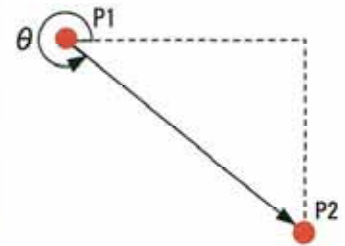


図8 視線移動角度

実験で得られたデータを分析した結果、刺激間に差が認められた。各刺激ページにおける視線移動方向角度の平均は表4の通りである。このように、各刺激間でわずかであるが差が認められた。このことから、視線移動方向角度が、Web画面構成を評価する際の指標になり得る可能性があるかと判断した。

スキヤニングを指標として利用できる可能性が見出されたことから、3.1.1節の実験から得られたデータを分析した、結果が表5である。このように、各刺激間で差が認められた。

表4 視線移動方向角度の平均

| | |
|-------|--------|
| site1 | 176.8° |
| site2 | 174.1° |
| site3 | 175.0° |

表5 刺激1における視線移動方向角度の平均

| | |
|-------|--------|
| site1 | 186.9° |
| site2 | 176.9° |
| site3 | 176.8° |

3.2 戸惑い検出のための予備実験

人が戸惑ったときの視線の動きには、幾つかの基本パターンがあるとの仮定をたて、人が戸惑うような仕掛けを加えた基本パターントラップ画面を用意し、被験者に操作させた。操作中の視線の動きを実験データとして収集し、分析を行った。

3.2.1 実験内容

実験に使った戸惑い基本パターントラップ画面は、T0～T4の4種類を用意した。

1. T0 インストール画面の遷移（次へボタン逆転による戸惑い）

インストーラを実行。次へボタンを押下して画面遷移し、インストールを進めるが、途中の画面で次へボタンと、戻るボタンの位置が逆転している。この画面における視線の動きを戸惑い反応としてとらえる。図10に例を示す。

2. T1 目標値への値の加減算による到達（目標値オーバーによる戸惑い）（付録3.2.1）

到達目標の数字と、現在の数字が表示される。プラスボタンとマイナスボタン上に、数字が表示されており、それぞれのボタンを押すことにより、ボタン上に表示された値が現在の数字に加算または減算される。現在の数字の初期値は、目標値に対して小さな値が表示されるため、順次プラスボタンによって現在値を加算していくが、途中、目標値に対してオーバーする値が加算値として示される。この画面における視線の動きを戸惑い反応としてとらえる。図11に例を示す。

3. T2 計算問題の解答選択（正解がないことによる戸惑い）

計算問題が順次出題される。その答えの候補が3個表示される。被験者は、正解をマウスクリックすることにより、次の問題に進むことができる。途中、解答の候補の中に、正解がないケースが出現し、一定時間後、正解が候補の中に出現する。この画面における視線の動きを戸惑い反応としてとらえる。図12に例を示す。

4. T3 計算問題の解答選択（正解が複数あることによる戸惑い）

上記3と同じ操作であるが、途中、解答の候補が全て正解であるケースが出現する。この画面における視線の動きを戸惑い反応としてとらえる。図13に例を示す。

5. T4 目標値への値の加減算による到達 (ボタンの消滅による戸惑い)

上記2と同じ操作であるが、途中、プラスボタンとマイナスボタンが消滅し、操作不能となる。この画面における視線の動きを戸惑い反応としてとらえる。図14に例を示す。

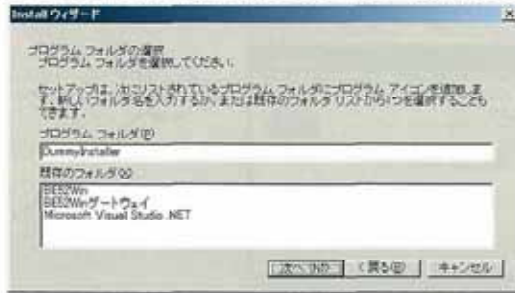


図10 インストール画面の遷移 (T0)

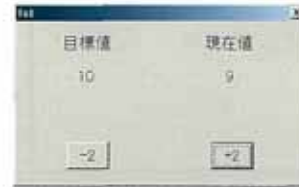


図11 目標値への到達 (T1)

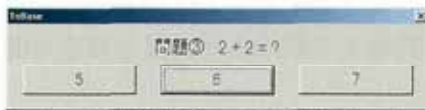


図12 計算問題の解答選択 (T2)

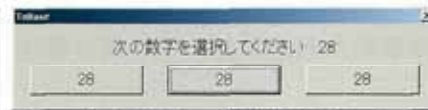


図13 計算問題の解答選択 (T3)

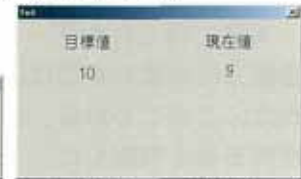


図14 目標値への到達 (T4)

3.2.2 FFTによる戸惑い状態特徴抽出

FFT (Fast Fourier Transformation) は FT (Fourier Transform) を離散数列を扱う場合に最適化した解析手法で、信号の周波数分布を調査するために広く使用されている。

今回の解析では視線の「移動速度履歴」と「基準点からの距離履歴」についてFFT分析を試みた。それぞれの履歴を「トラップ画面」と「非トラップ画面」に分け、FFT変換を行い、変換結果を比較した結果を図15,16に示す。

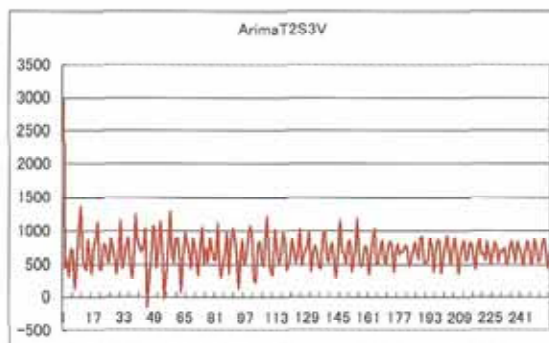


図15 視線移動速度履歴のFFT変換結果

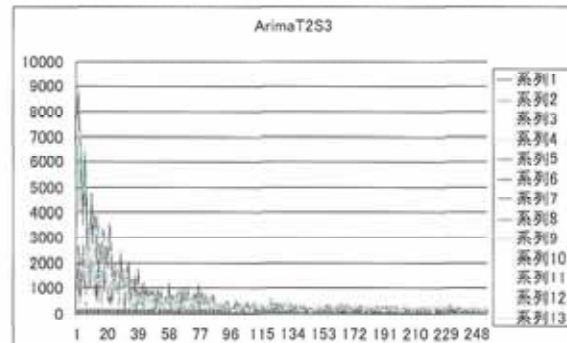


図16 注視点毎の視線移動履歴のFFT変換結果

図15のグラフは「移動速度履歴」のFFT変換結果の代表例である。変換の結果得られた係数列は一樣に分布しており、「トラップ画面」「非トラップ画面」で分布に大きな違いは無かった。また被験者が異なっても分布は同様であった。変換係数の一樣分布は変換前の信号がインパルスであることを示している。(インパルスとは、非常に短い時間のみ正の有限値を持ち、残りは値0である関数である。)このことから「移動速度履歴」の変換結果が一樣分布になったということは、『「トラップ画面」「非トラップ画面」両者とも、視線の「移動速度履歴」はインパルスタイプである』ということを示している。しかしながら「トラップ画面」と「非トラップ画面」を区別する方法をFT変換の結果得られる係数列から議論することは困難であると結論した。

図16のグラフは「基準点からの距離履歴」のFFT変換結果の代表例である。こちらは高周波成分(グラフ左側)の値が高く、低周波成分(グラフ右側)の値が低いという結果になった。「トラップ画面」「非トラップ画面」で分布に大きな違いは無かった。また被験者が異なっても分布は同様であった。このような係数分布は変換前の信号が矩形波であることを示している(矩形波とは、一定時間のみ正の有限値を持ち、残りは値0である関数である。)このことから「移動速度履歴」の変換結果が一樣分布になったということは、『「トラップ画面」「非トラップ画面」

両者とも、視線の『移動速度履歴』は矩形波タイプである」ということを示している。しかしながら「トラップ画面」と「非トラップ画面」を区別する方法を FT 変換の結果得られる係数列から議論することは困難であると結論した。

以上の結果から FFT 変換による戸惑い状態特徴抽出は困難であると結論した。

3.2.3 ニューラルネットワークによる戸惑い状態検出

予備実験データをニューラルネットワークの学習データに利用して、以下の要領で戸惑い状態検出モデルを作成した。実験データを分析して試行錯誤した結果、視線の速度履歴を使うことにより戸惑い状態との関係を捉えることができるとの判断ができたため、視線履歴をどの塊で与えるかについて検証した。検証の結果、連続 50 フレーム (30Hz の視線検出装置使用: 約 1.7 秒の視線履歴) を塊にすることで特徴を抽出できる可能性が判明した。

図 17 に示すように、戸惑い状態を発生させる基本パターントラップ画面が表示された直後から 50 フレームの連続する速度履歴を「値 1」それ以外のすべてを「値 0」として学習する。

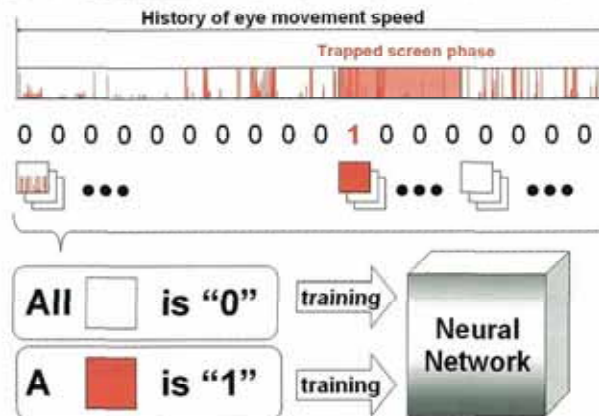


図 17 ニューラルネットワークの学習ポリシー

作成したモデルに、学習データとして使ったデータを入力し、戸惑い状態として「1」を与えた箇所を検出できるかどうかのテストを行なった。結果、図 18 のように全ての戸惑い状態ポイントを特定することができた。

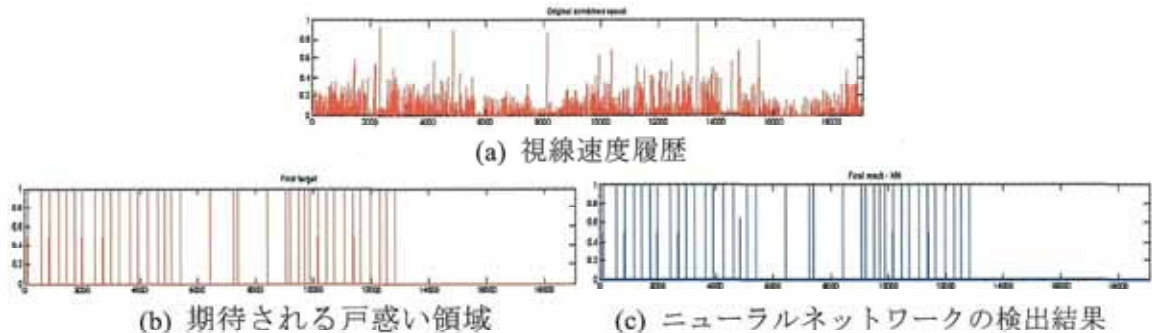


図 18 ニューラルネット検出結果

実験データに 5%ノイズを加えたデータをモデルに与え、戸惑い状態の検出テストを行なった。結果は図 19 のように、全ての戸惑い状態ポイントを特定することができた。

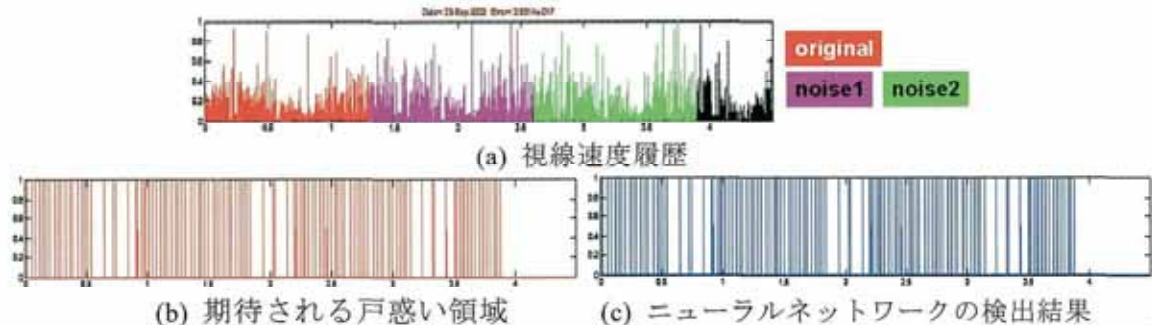


図 19 5%ノイズテスト結果

このように、予備実験からニューラルネットワークを用いることにより、戸惑い状態を、視

線の動きの速度履歴により検出できる可能性が得られたため、本格的な実験により、実験データを追加して視線の動きの速度履歴と戸惑い状態との関係について確証を得ることにした。

3.2.4 戸惑い状態検出ニューラルネットワークモデル作成

予備実験データと本格実験データから、戸惑い状態検出ニューラルネットワークモデルを作成した。実験の過程で、順次、ニューラルネットワークを作成し、検出率をチェックし、学習ポリシーを検証した。その結果、「戸惑い状態を発生させる基本パターントラップ画面が表示された直後から 50 フレームの連続する速度履歴を「値 1」とし、その後の戸惑い状態基本パターントラップ画面表示中データは、学習データとしては用いず、それ以外のすべてを「値 0」として学習する」学習ポリシーに修正した方がより検出率が上がるとの結論を得て、図 20 のように学習ポリシーの変更を行なった。

ニューラルネットワークモデルの構造を表 6 のように設定した。

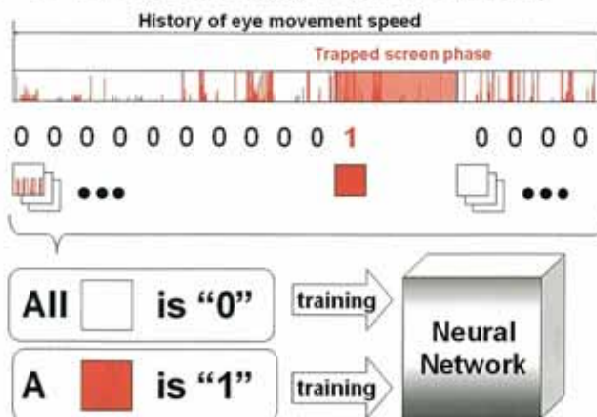


図 20 ニューラルネットワーク学習ポリシーの変更

表 6 ニューラルネットワークモデルの構造

| 項目 | 内容 | | | | | |
|----------|-------------------------------|-----------|----------|-------|-------|---------|
| 構造 | feed forward type | | | | | |
| レイヤ構成 | ID (input data layer, 入力ベクトル) | 50 nodes | | | | |
| | IL (input layer) | 100 nodes | | | | |
| | H1 (1st hidden layer) | 50 nodes | | | | |
| | H2 (2nd hidden layer) | 40 nodes | | | | |
| | H3 (3rd hidden layer) | 30 nodes | | | | |
| | H4 (4th hidden layer) | 20 nodes | | | | |
| | H5 (5th hidden layer) | 10 nodes | | | | |
| | OL (output layer, 出力値) | 1 node | | | | |
| ノード関数 | $a = \text{logsig}(n)$ | | | | | |
| ノードパラメータ | weight | | bias | | | |
| | 行列の名称 | 対象レイヤ | サイズ | 行列の名称 | 対象レイヤ | サイズ |
| | w1 | ID-IL | 100 X 50 | b1 | IL | 100 X 1 |
| | w2 | IL-H1 | 50 X 100 | b2 | H1 | 50 X 1 |
| | w3 | H1-H2 | 40 X 50 | b3 | H2 | 40 X 1 |
| | w4 | H2-H3 | 30 X 40 | b4 | H3 | 30 X 1 |
| | w5 | H3-H4 | 20 X 30 | b5 | H4 | 20 X 1 |
| | w6 | H4-H5 | 10 X 20 | b6 | H5 | 10 X 1 |
| | w7 | H5-OL | 1 X 10 | b7 | OL | 1 X 1 |

3.2.5 戸惑い状態検出ニューラルネットワークモデルの検証

作成した戸惑い状態検出ニューラルネットワークモデルを検証するために、未知データとして被験者 10 人を対象に T2 の基本パターン画面を使って検証実験を行なった。

検証実験データをモデルに入力して戸惑い状態検出を行なった結果は、図 20 のようであっ

た。横軸が時間軸であり、上段の枠の部分が、戸惑い状態基本パターン画面が表示されていた時間である。下段の下に伸びている線がモデルが戸惑い状態と判定した箇所を示している。

戸惑い状態基本パターンが表示されている時間帯に戸惑い状態とモデルが判定したケースは、10件中9件あり、残り1件は、戸惑い状態とは判定していない。

未知データとして戸惑い状態基本パターン T2 を使った検証実験結果は、本研究で作成したモデルは、90%の検出率を計上した。

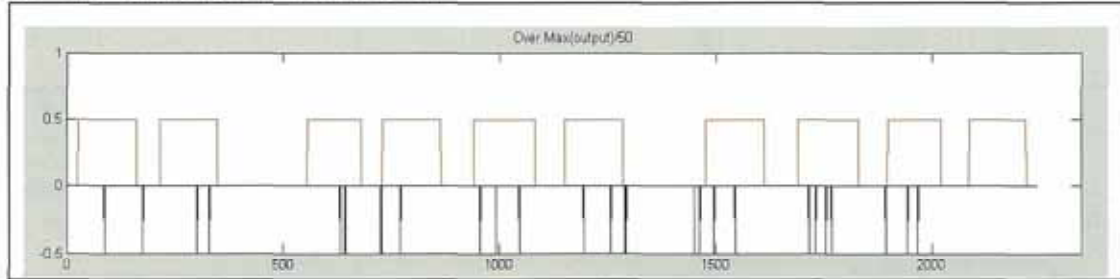


図 20 戸惑い状態検出結果

3.3 戸惑い状態基本パターンによる構造化戸惑い状態判定モデル構築

戸惑い状態時の視線動作履歴基本パターンを分類し、「目的の項目が見つからない」「誤操作」の2種類の基本パターン実験を行い基本パターン別に戸惑い状態判定モデルを作成した。また、高齢者の戸惑い状態と若齢者の戸惑い状態が異なるケースを考慮し、高齢者の戸惑い状態基本パターンモジュールを「誤操作」実験により作成し、違いを検証した。これらの戸惑い状態基本パターンモデルを組み合わせて戸惑い状態判定モデルを構築した。

3.3.1 戸惑い状態基本パターンの分類

戸惑い状態基本パターンは、操作が分からない、うまく操作できない、予期しない操作結果、表示の意味が分からないといった場面に分類できる。

以上の戸惑いを目的の項目が見つからない、誤操作（予期しない操作結果）の2つの基本パターンに集約した。操作が分からないケースとして、「目的の画面に到達するための入り口が見当たらない」「操作ボタンが不明」が想定される。うまく操作できないケースおよび予期しない操作結果のケースとして、「誤操作による予期しない操作結果」あるいは、表示の意味が分からないケースとして、「誤操作の結果による予想外の表示」などが想定される。

3.3.2 戸惑い状態判定基本パターンモデル実験システム

戸惑い状態判定基本パターンモデルを作成するための実験システムを製作した。

「目的の項目が見つからない」実験システムでは、銀行のATMを利用して、振込操作を行う。振込先の支店を選択する操作において、50音順に支店名が3支店毎に表示されてくるが、表示されるはずの場面で目的の支店が無い。画面構成を表7に示す。

「誤操作（予期しない操作結果）」実験システムでは、インターネットを利用して宿泊予約する。宿泊人数を選択して、2名の宿泊を予約したつもりが、7名の宿泊が入力されており、予期した結果にならない。画面構成を表8に示す。

3.3.3 戸惑い状態判定基本パターンモデル実験

戸惑い状態判定基本パターンモデルを使用して実験を実施した。なお、それぞれの実験において、被験者にインタビューを実施し、システムが意図した箇所で戸惑いが発生したかどうかの判定に利用した。









「目的の項目が見つからない」実験システムの被験者は、慶応大学の学生31名である。「誤操作」実験システムの被験者は、慶応大学の学生51名である。

戸惑い状態パターンの年代間差異の有無を検証するため、上記の若齢者を被験者として行った実験に加え、高齢者を被験者とした「誤操作」実験システムを使用して実験を実施した。被験者は、神奈川県藤沢市「こぶし荘」の43名、同「西鶴間PC愛好会」19名の計62名で、その内データが有効だったものは22名であった。

表7 「目的の項目が見つからない」実験システム画面構成

| 画面名 | 画面 | 意味 | 動作 |
|---------|----|--|--|
| 01.htm | | ATM に向かって最初の画面を想定。 ユーザに与えられたタスクは振込みですので、ユーザは「お振込み」をクリックする。 | 1 「お振込み」をクリックされると、02.htm へ移動。 その他のボタンについては、押してもなんら動作しない。 |
| 02E.htm | | 振込先銀行を指定する。 ● ここで最初の戸惑いを期待している。ユーザがいきなりの英語表示に戸惑うことを期待している。 | 2 「Japanese」を選択すると、02.htm へ移動する。 3 「Tokyo- Mitsubishi Bank」を選択すると、03.htm へ移動する。 その他のボタンについては、押してもなんら動作しない。 |
| 02.htm | | 振込先銀行を指定する。 02E.htm と異なり、これは日本語表示。 | 3 「Tokyo- Mitsubishi Bank」を選択すると、03.htm へ移動する。 その他のボタンについては、押してもなんら動作しない。 |
| 03.htm | | 振込先支店を指定する。 ● ここで 2 番目の戸惑いを期待している。ユーザは振込先として指示された「中央南支店」を探すはずであるが、目的の支店名は表示されない。 この画面では支店は3つずつ表示される。50音順に並べられているので、ユーザは台東南支店が表示されたとき、そろそろ中央南支店が表示されると期待するはずである。しかし結局中央南支店は表示されない。千代田支店があるのだから、必ずこの近傍に存在するはず、と考えるユーザはここで戸惑うことを期待している。 | 5 3秒おきに3つずつ、支店名が表示される。 6 すべての支店が表示されてから10秒経過すると、end.htm へ移動する。 ボタンについては、押してもなんら動作しない。 |
| end.htm | | 実験の終了を宣言する。 | ALT+F4 キーを押して、アプリケーションを終了。 |

表8 「誤操作（予期しない操作結果）」実験システム画面構成

| 画面名 | 画面 | 動作 |
|-----|---|---|
| S01 |  | 宿泊するホテルを選択。 |
| S02 |  | チェックイン日とチェックアウト日を選択。 実験によって「誕生日に宿泊」「仕事で出張となり宿泊予約」などのタスクが与えられるので、被験者はそれによって宿泊日を選択する。 |
| S03 |  | 宿泊人数の選択。 |
| S04 |  | 部屋を選択する。 最初にこの画面が表示されたときは、すべての部屋が選択不能になっている。 一定時間経過後、画面左に矢印が表示されるので、ユーザはそれによって前の画面に戻る。 ● ここで戸惑い感情の発生を期待している。 |
| S05 |  | 2回目の表示では、選択した人数が意図的に「7」へと変更されている。 ユーザはこの数値を指示された数値に再度設定する。 |
| S06 |  | 今度はすべての部屋が予約可能となっているので、ユーザは適切な部屋を選ぶ。 |
| S07 |  | 終了をクリックする。 |
| END |  | 実験の終了が告げられる。 |

3.3.4 分析

実験結果から、ニューラルネットワークを利用して、戸惑い状態判定基本パターンモデルを作成した。モデルの構築に当たり、被験者データの70%をニューラルネットワークの学習に使い、残りの30%を検証テストに使用する方針で作業した。

戸惑い状態判定基本モデルを学習に使用しない未知データを使って検証した。各基本パターンの検証結果は、以下の通りである。

3.3.4.1 目的の項目が見つからない戸惑い状態判定基本パターンモデルの検証

目的の項目が見つからない戸惑い状態判定基本パターンモデルを未知データにより検証した結果を図21に示す。このグラフの赤の囲いは、戸惑いが期待される領域である。

未知データにより検証した結果は、100%の検出率を示し、モデルの生成に成功したと判断できる。

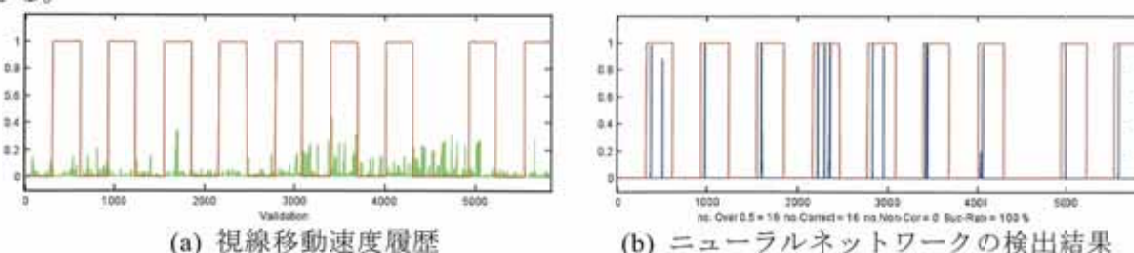


図21 目的の項目が見つからない戸惑い状態判定基本パターンモデル結果

3.3.4.2 誤操作（若齢者）戸惑い状態判定基本パターンモデルの検証

誤操作（若齢者）戸惑い状態判定基本パターンモデルを若齢者の未知データにより検証した結果を図22に示す。このグラフの赤の囲いは、戸惑いが期待される領域である。若齢者未知データにより検証した結果は、75%の検出率を示し、検出率の優れたモデルの構築ができたと判断できる。

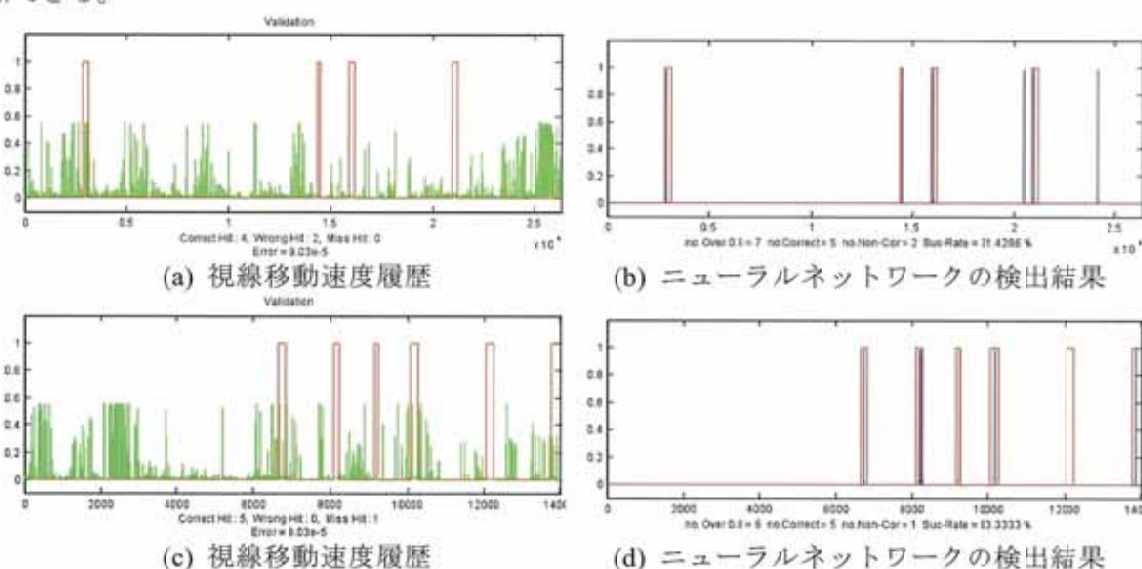


図22 誤操作（若齢者）戸惑い状態判定基本パターンモデルの結果（若齢者）

年代間の戸惑い状態パターン差異を検証するため、誤操作（若齢者）戸惑い状態判定基本パターンモデルを高齢者のデータにより検証した結果図23に示す。

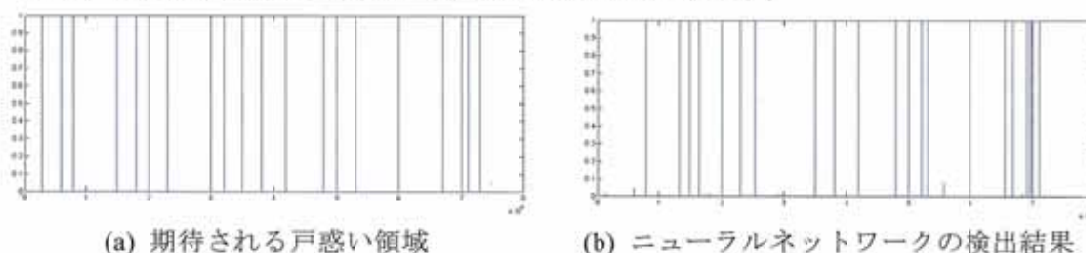


図23 誤操作（若齢者）戸惑い状態判定基本パターンモデルの結果（高齢者）

モデルに高齢者の誤操作実験データ（全データ）を入力した結果、80%の検出率を示した。これは、若年者未知データによる検出率と同等であり年代間の差異が認められないものと考えられる。

3.3.4.3 誤操作（高齢者）戸惑い状態判定基本パターンモデルの検証

誤操作（高齢者）戸惑い状態判定基本パターンモデルを高齢者の未知データにより検証した結果を図 24 に示す。上段は検出が期待される戸惑い位置、下段は実際の検出結果である。

高齢者未知データにより検証した結果は、100%の検出率を示し非常に良いモデルが構築されたと判断できる。

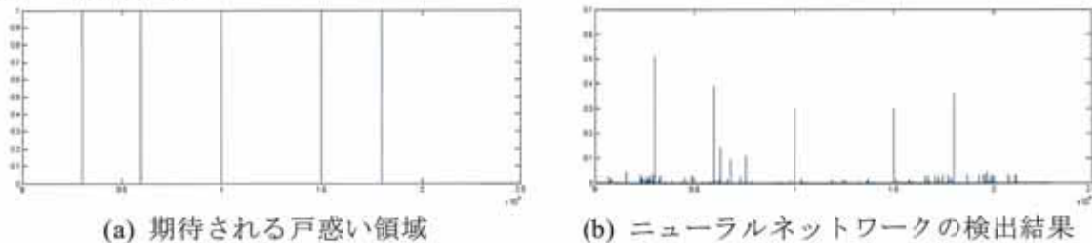


図 24 誤操作（高齢者）戸惑い状態判定基本パターンモデルの結果（高齢者）

年代間の戸惑い状態パターン差異を検証するため、誤操作（高齢者）戸惑い状態判定基本パターンモデルを若年者のデータにより検証した結果を図 25 に示す。モデルに若年者の誤操作実験データ（全データ）を入力した結果、50%の検出率を示した。

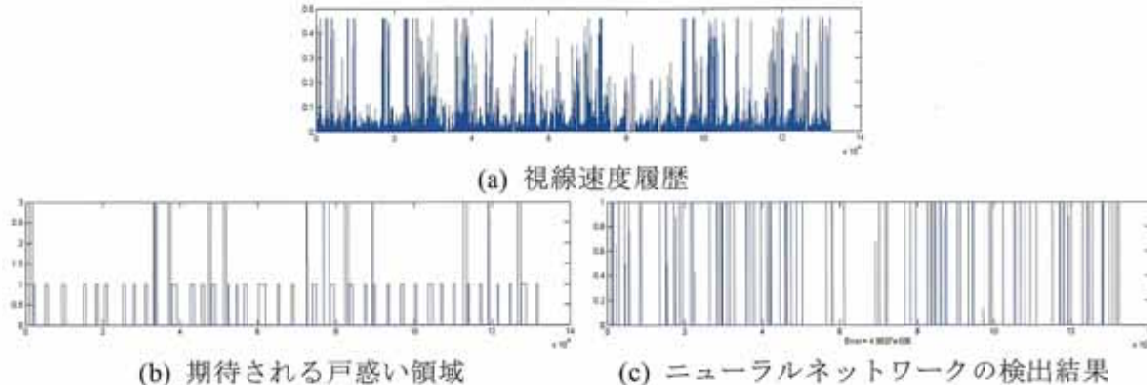


図 25 誤操作（高齢者）戸惑い状態判定基本パターンモデルの結果（若年者）

3.3.4.4 戸惑い状態の判定手法に対する考察

実験データの分析において、数値解析分野から、ニューラルネットワークよりモデルの生成が容易で精度の高い手法を発見するための検討を加えた。現時点では、ニューラルネットワークによる学習モデルに依存しているが、より高い能力を持つモデルを生成できないかという課題について、違う角度から実験データの分析を加えたものである。

ある時刻に対して、それ以降の時刻のデータ総数に対する「値 1」の時刻の総数の割合を、その時刻の最大速度更新率として定義した。このような更新率は、ある時刻の状態が「値 1」のとき、次の「値 1」となる状態の時刻まで、更新率が増加する関数となる。極端な例では目の開いている最後の瞬間に動きが最大となり、次の時刻では目を閉じる場合、更新率は 100%となる。

時刻を x 軸、更新率を y 軸で表現すると、図 26 のパラメータ s3 のデータのように、グラフは鋸の形状になる。区間が短く「値 1」が多い場合は、最大速度更新率の幅が大きい。このような区間に対して、戸惑いが起こっているものと判定する。s1 は戸惑いのない質問に対する状態であり、s3 は戸惑いの起こる状態である。この実験事例に対しては、図 26 より、戸惑いが起きているのは視覚的に明らかである。

8 人の被験者に対して 4 種類の実験を行った。各実験では、目の動きの速さを元に、最大速度更新率を計算してグラフ化する。その結果、戸惑いを起こすような設問の最大速度更新率が、戸惑いの起かない設問のそれに比べて自明に大きいような実験を□、区間の中で部分的にそのようなことが起きている実験を○、今回の手法では判断がつかなかったものを×とすると、表 9

のような結果になった。なお、－は、瞬きが多く、データの区間が小さいため、今回の手法では計測できなかったことを意味する。

表 9 実験結果

| 被験者 \ 実験名 | 実験 1 | 実験 2 | 実験 3 | 実験 4 |
|-----------|------|------|------|------|
| あき | □ | × | ○ | □ |
| ほしの | × | □ | □ | ○ |
| さくらい | ○ | ○ | × | ○ |
| ないとう | × | × | × | □ |
| たかた | × | × | － | × |
| さとう | □ | ○ | × | □ |
| よこかわ | × | □ | × | ○ |
| ささき | × | □ | □ | × |

この結果より、32 件の事例に対し、□は 10 件、○は 7 件、×は 14 件、－は 1 件であった。□と○を合わせると 50%を超えているため、本手法の有効性はある程度認められる。

望ましくない結果、すなわち、×の例としては、図 27 のような場合がある。(s1 は戸感いのない質問に対する状態であり、s3 は戸感いの起こる状態である。このような例に対して、どのような手法を適用して、戸感い状態の s3 の折れ線を実際立たせるかは今後の課題である。

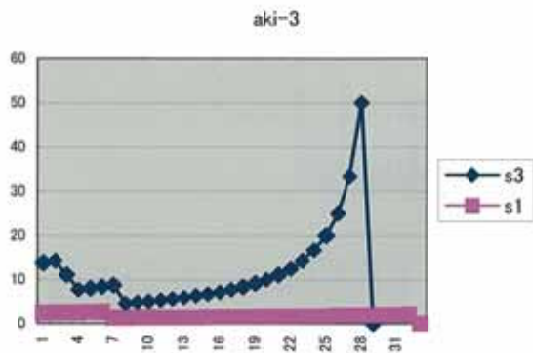


図 26 最大速度更新率

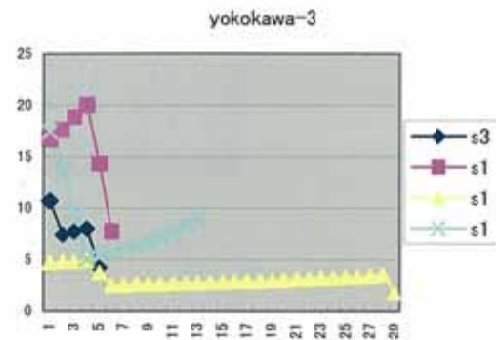


図 27 望ましくない結果

3.3.5 戸感い状態判定モデルの構築

戸感い状態判定基本パターンモデルを構成要素とした総合的な戸感い状態判定モデルを示す。一般的に、最も単純なニューラルネットワークの処理を数式で示すと以下のようになる。

$$\mathbf{a} = f(\mathbf{W}\mathbf{p} + \mathbf{b}) \quad (1)$$

このニューラルネットワークを一般的に拡張すると、以下の数式で示すことができる。

$$\mathbf{a}_n = f(\mathbf{W}_n \mathbf{p}_n + \mathbf{b}_n) \quad (2)$$

$$\mathbf{p}_n = \mathbf{a}_{n-1} \quad (3)$$

本モデルでは、入力となる \mathbf{a}_0 の値が 50×1 のベクトル、出力となる \mathbf{a}_n が 1×1 のベクトル、すなわち実数値である。結合モデル作成に当たっては、それぞれの n ニューラルネットワークを以下のように結合、評価した。

$$F(\mathbf{a}) = \begin{cases} 0 & (N(\mathbf{a}) < T) \\ 1 & (N(\mathbf{a}) \geq T) \end{cases} \quad (4)$$

$$A = \sum_{l=1}^n F_l(\mathbf{a}) \quad (5)$$

$$R = \begin{cases} 0 & (A < 1) \\ 1 & (A \geq 1) \end{cases} \quad (6)$$

$$\mathbf{N} = f(\mathbf{W}_l \bullet (f(\mathbf{W}_{l-1} \bullet \dots \bullet f(\mathbf{W}_0 \mathbf{a}_0 + \mathbf{b}_0) \dots) + \mathbf{b}_l)) \quad (7)$$

3.4 一般環境での応用

戸惑い状態の判定を可能にする視線検出システムの所要条件について研究した。戸惑い状態判定モデルを正常に動作させるためには、赤外線を使用した視線検出装置を入力デバイスに利用する必要があるとの判断から、それを一般環境下で利用することが可能な条件について実験を通して把握した。実験の結果、所要条件として、入射する外光がある程度制御された屋内で利用すること、瞳への光の映り込みを防止することの2点を満たす必要があることが明らかになった。本研究成果が利用される一般環境は屋内が大半であると考えられることから、得られた条件を実用化への所要条件にできると判定した。また、本システムの搭載を想定している、銀行 ATM などの専用端末を、実際にユーザがどのように利用しているかを把握するために、銀行 ATM を用いて行動分析実験を行った。以下に研究内容の詳細について記す。

3.4.1 市販視線検出装置検出精度検証実験

現在、市販されている視線検出装置の中から本研究で要求される仕様を最も満足していると考えられるのは、EyeGaze System(LC Technologies, Inc.) (以下、EyeGaze とする) である。本項では、そこから得られるデータの精度について検証した。その結果が図 28 であり、EyeGaze から得られるデータが、精度について高い評価のある FreeView ((株) 竹井機器工業) から得られるデータと比較しても遜色がないことが明らかになった。よって、本システムには EyeGaze を搭載することにする。

3.4.2 銀行 ATM 行動分析実験

本研究成果は銀行 ATM に搭載することを想定しているため、ATM 利用時にユーザがどのような行動しているのかを把握する必要がある。そこで、実際の ATM を用いて実験を実施した。その結果が図 29 であり、身長が 160cm から 170cm の間のユーザは、頭部運動が大きくなる傾向が認められた。また、視線運動計測結果から、ユーザは顔面を操作パネルに向けるのではなく、視線のみを向けることが明らかになった。

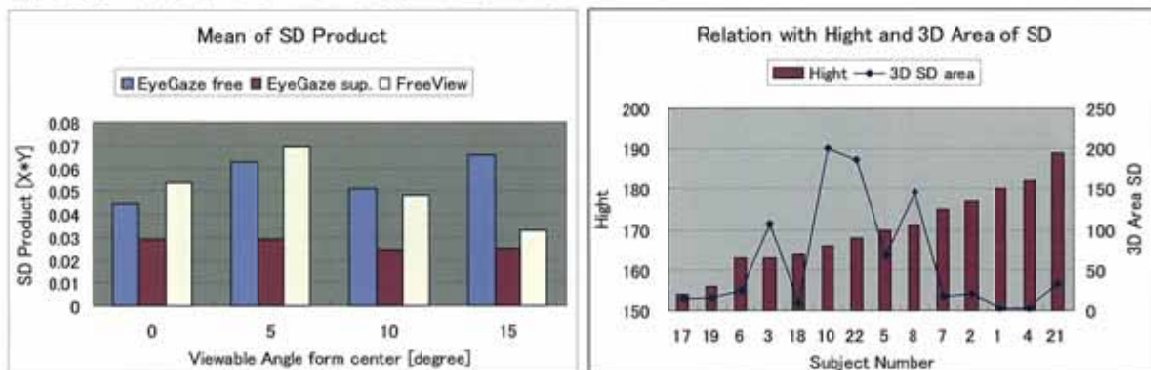


図 28 市販視線検出装置の精度検証結果 図 29 身長と頭部運動領域の標準偏差の関係

3.4.3 赤外線を使用した視線検出システム外光制御実験

通常、角膜反射法を検出原理としている視線検出装置では、視線方向を算出する指標の1つとしてプルキンエ像を用いているため赤外線が使用されている。そのため、赤外線を含む太陽光が入射される場所で検出することは非常に困難である。本システムに搭載する予定である EyeGaze も角膜反射法を採用しているため、実用化へ向けて環境の整備された実験室以外の環境においても視線を検出することが可能となる条件を把握する必要がある。そこで、屋外と屋内において、それぞれ環境を変化させた実験を実施した。

3.4.3.1 屋外実験

屋外において視線検出が可能となるにはどのような条件が必要となるのかについて実験を実施した。実施に際して設けた環境を示すパラメータは、太陽光の入射方向とその強さ、覆いの有無と太陽高度の4つである。その結果、図 31 のように太陽光を遮る為に全体を囲いで覆い、目元での水平照度が 10000lx 以下にする必要があった。検出装置精度検証実験時に環境の整った実験室で得られたデータとを比較した結果が図 30 である。このように、屋外では視線を検出できたとしても、通常の実験室で行った時にえら得るデータよりも4倍以上精度が低下するこ

とが明らかになった。



図 30 実験環境

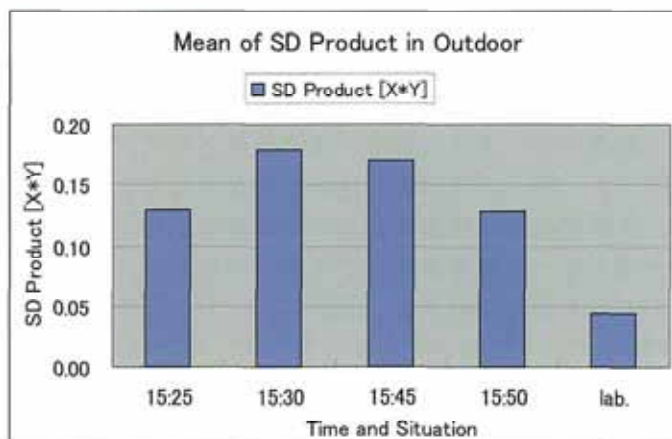


図 31 屋外実験と実験室実験から得られたデータの比較

4つのパラメータについて視線検出を実施するための要件をまとめると、「視線運動を検出するには、太陽が20度よりも低い位置にあり、南を向いた状態でその周囲を完全に覆うことが必須である」ということになる。しかし、これは視線を検出すること自体に限ったものであって、そこから得られるデータの精度を保証するものではない。

3.4.3.2 屋内実験

屋内においても窓際であると屋外環境に近くなるため、屋内で安定した視線検出を実施するための光条件を把握するための実験を実施した。実施に際して設けた環境を示すパラメータは、太陽光入射方向とその量の2つである。なお、太陽光の量は図32のようにカラーフィルムで窓を覆うことによって、入射する太陽光の量を制御した。視線の揺らぐ範囲を算出した結果が図33である。



無し

有り

図 32 カラーフィルムの有無

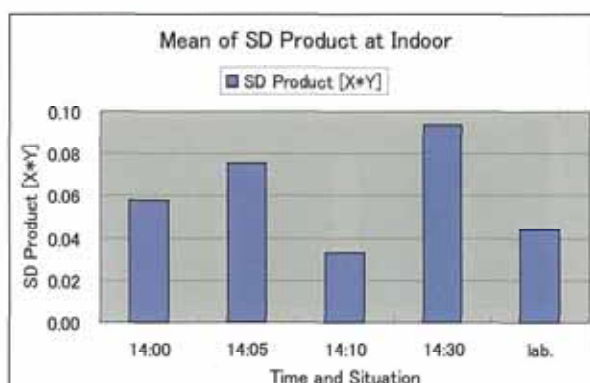


図 33 屋内実験で得られたデータの比較

この結果から、屋内において外光を制御すれば、ある程度高い精度を持ったデータが得られることが明らかになった。しかし、その際には、外光を反射した壁の像などが瞳に映り込まないという条件を伴う。これらの条件を踏まえて、2つのパラメータについて視線検出を実施するための要件をまとめると、「視線運動を検出するには、太陽光を70%以上遮光し、それを背後から入射させ、入射される太陽光を反射することによって、その像が瞳に映りこまないこと」ということになる。そうすれば、ある程度の精度をもったデータを取得することが可能となる。

3.4.4 戸惑い状態判定モデルの一般環境への応用所要条件

以上の結果を踏まえると、屋外及びそれに類似した環境下において視線を検出することは非常に困難である。それに対して、屋内において入射される太陽光を30%程度まで制御すれば高い精度のデータを取得することが可能になることが明らかになった。更に、必須条件として、入射する太陽光を反射した物の像が瞳に映り込むことがないということが挙げられる。

3.5 プロトタイプ製作によるシステムの検証

研究成果を検証するため、プロトタイプを作成し、一般環境下での動作テストを行った。プロトタイプは、銀行ATMとチケット予約の専用端末を想定したもので、その製作に当たって

は、銀行 ATM 行動分析実験で得られた知見を基準にしてカメラの動作制御を行った。

端末操作時にユーザは頭を広範囲で動かすため、視線検出用に目元をアップで捉えているカメラの視野から眼球が外れていってしまうという問題が起こる。この問題に対処するため、本プロトタイプにおいては広範囲で頭部が動いた場合でも、視線検出カメラが眼球を正しく追跡できるような機構を組み込んだ。この機構は「肌色領域検出」と「顔部品抽出」という2つの要素技術によって構成されている。「肌色領域検出」によって視野全体の中から顔の領域を抽出し、抽出された顔領域に対して今度は「顔部品抽出」技術を用いて目領域を特定する。特定された目領域に対して赤外線カメラを向けることで、眼球を継続的に撮影し続ける仕組みである。画像処理はコンピュータへの負荷が高いため、実装に際しては複数のコンピュータで画像処理を分担する機構を採用した。システムの全体構成を図 34、ソフトウェア構成を図 35,36、システムの写真を図 37 に示す。

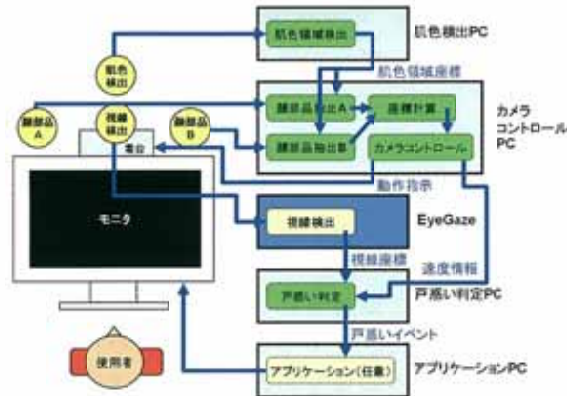


図 34 全体構成

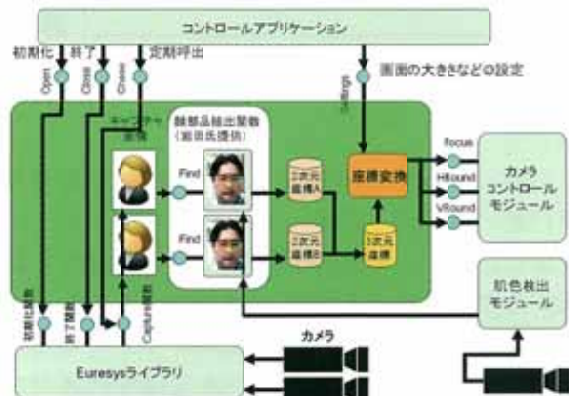


図 35 ソフトウェア処理概要 1

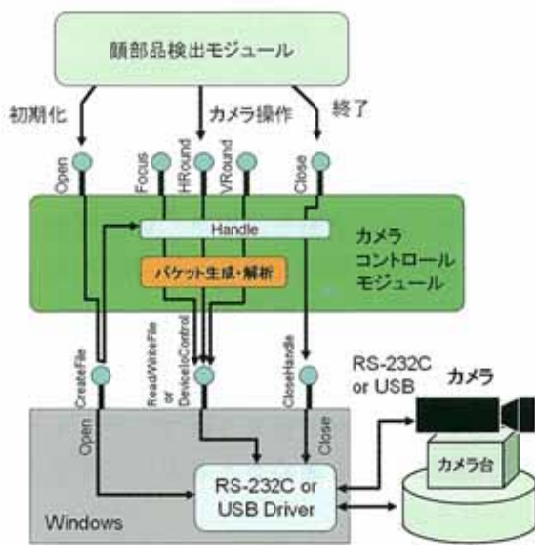


図 36 ソフトウェア処理概要 2



図 37 全体写真

「顔部品抽出」までの過程によって得られた目領域を追跡し続けるためには、カメラをすばやく目的の位置に向けるカメラ台（雲台）が必要となる。本システムでは ATM 行動分析より得られたデータを基にしてこの雲台を製作した。

ATM 実験から得られた頭部の最大移動速度は、4474mm/sec であった。これを元に、雲台に要求される最大回転速度を算出すると、カメラに要求される動作速度は 1.5 回転/sec を超えない、と言える。作成した雲台の設計を図 38、写真を図 39 に示す。

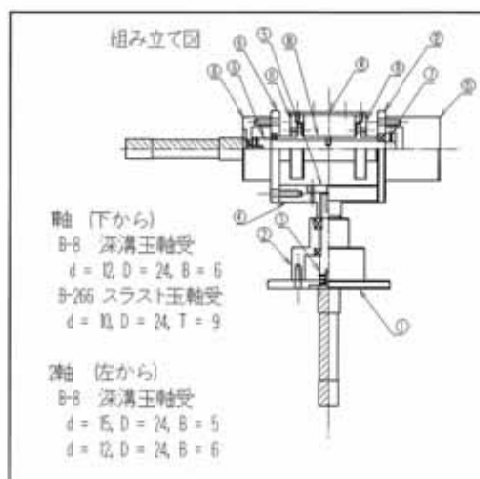


図 38 雲台の設計



図 39 雲台の写真

4 まとめ

戸惑い状態検出原理として、視線の速度履歴のパターンを分析する手法が有効であること及び戸惑い状態基本パターンを単位としてモデル化することが有効であることを検証することができた。更に、戸惑い状態における若齢者と高齢者の視線の速度履歴パターン差異の有無を検証するため、同一の戸惑い刺激を使って両者の実験を実施し、分析を試みた。結果、両者間の視線の速度履歴パターンに差異がないことを検証することができ、本手法で構築する戸惑い状態モデルの基本パターンレベルでは年代区分が不要であるとの知見を得た。また、実験により求めた一般環境で使用できる視線検出装置の所要条件を基に、一般環境で利用できる専用端末型の戸惑い状態検出装置を試作した。

フェーズ III

今後の取り組み

インタラクティブな情報提供システムの製品化にあたっては、一般的な環境において動作させることが必須となるため、光源も含めた製品の開発が課題である。また、視線検出の要素技術の向上により、一般環境での検出が精度良くできるよう、研究を深める必要がある。また、注視情報主導型の製品としては、シナリオの作り方のノウハウを確立することによって、興味深い製品として市場に提供できるものと考えられる。

画面の構成の違いは人の情報獲得活動に影響を与えることを、主観を排除した視線情報から得られた。特に、従来から Web ユーザビリティの世界で重要性が唱えられていたスキミングを定量的に示した。本手法を確立するには、更に同様な実験を進めるとともに、分析方法を更に改良することが必要である。

人の戸惑い状態は、視線の動作速度履歴のパターンを分析することにより検出することが可能であり、戸惑い状態基本パターンを単位としてモデル化することが有効であることを示した。視線検出の技術を含む戸惑い状態検出システムを、研究環境から実環境へ移植するに当たって、視線の検出精度のレベルダウンをどのようにカバーするかも大きな課題となる。実務的な応用を前提にした場合の視線検出システムの所要条件を把握したことにより、簡便で所要の精度が確保できる視線検出システムを構築し、課題の解決を図りたい。