

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501154

研究課題名(和文)次世代 e - ラーニングのための受講者観察システムの実用化

研究課題名(英文) Practical application of student observation system for the next generation of e-learning

研究代表者

中川 祐治 (NAKAGAWA, Yuji)

愛媛大学・総合情報メディアセンター・教授

研究者番号：20227755

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000 円、(間接経費) 750,000 円

研究成果の概要(和文)：近年、e - ラーニングによる遠隔教育が教育機関や企業など各方面で用いられている。e - ラーニングでは、受講者はコンテンツに一方的にアクセスすることになり、学習効果を上げるには一定の集中度を保持しなければならない。そこで、受講者の集中度を把握するために、眼球運動である Saccade の検出による受講者観察システムを提案してきた。この Saccade を検出するには、一連の画像処理が必要であり、特にテンプレートマッチングがビデオレートでの実行を阻止する要因となっていた。そこで、テンプレートマッチングを顔が動いたと判断できる時のみ実行する制御方式を確立し、処理制御の最適化を図った。

研究成果の概要(英文)：In recent years, distance learning by e-learning has been used in various fields such as business and educational institutions. The e-learning, the student will access unilaterally content, it is necessary to hold the concentration of the constant to increase the training effect. Therefore, in order to understand the degree of concentration of the student, we have proposed a student observation system by the detection of a Saccade eye movement. To detect this Saccade, a series of image processing is required, which is a factor that template matching to block the execution of the video rate, especially. Therefore, establishing a control system that runs only when it can be determined that the face has moved through template matching, it is aimed to optimize the process control.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：e - ラーニング 次世代 e - ラーニング 受講者観察システム

1. 研究開始当初の背景

近年 e-ラーニングによる遠隔教育が教育機関や企業など各方面で用いられている。このような学習形態では、受講者はコンテンツに一方的にアクセスすることになり、学習効果を上げるには一定の集中度を保持しなければならない。そこで、受講者の学習への集中度を把握するために、眼球運動である Saccade の検出による受講者観察システムを提案してきた。

2. 研究の目的

e-ラーニングでは種々のメリット、デメリットが考えられる。その中でも特に大きな問題は「確固たるモチベーションがないと一人では学習を継続しづらい」ことである。この問題を解決するためには、教師(管理者)側は受講者の学習状況時の状態を知り、それによって各自に合わせた学習方法、教材を提供し、支援を行っていく必要がある。そうすることにより、e-ラーニングでの学習を、学校、塾などで見られる教室で講義を行っている一般的な学習に近づけることができる。しかし、現在提供されている e-ラーニングシステムでは、このような要求に応えることは不可能であり、さらに以下のような多くの問題を抱えている。

- ◆ あらかじめ用意された教材が受講者の学習状況とは無関係に提供される
- ◆ 教材コンテンツの配信が画一的、一方的で個々に合わせた細かい指導ができない
- ◆ 教室での講義のように、教員と学生がインタラクティブにやり取りする仕組みが無い
- ◆ 研究指導のように、学生と密に情報交換を行うための仕組みが無い

これらの問題を解決するには、一方からの働きかけに対して同等の立場で反応できること、つまり e-ラーニングよりさらにインタラクティブを強化した領域に踏み込む必

要がある。そして、それを実現するためには

- (1)受講者の学習状況をリアルタイムで把握
- (2)(1)の結果により、コンテンツの配信順序・速度・内容を逐一制御

の2点を実現するようなインタラクティブなシステムが必須である。

また、動作環境にも大きな問題が存在する。現在、パーソナルコンピュータの高性能化、低価格化が進み、職場や家庭に広く普及しているが、家庭で使用されているパーソナルコンピュータの OS は Windows、MacOS X、Linux など様々な種類が利用されている。e-ラーニングの特性である。誰でもどこでも学習できるということを考慮すると、やはり学習者が使用するコンピュータの OS に依存しないシステムの構築が必要とされる。

そこで、インタラクティブなシステムを実現する第一歩として、「受講者観察システム」の研究が行われてきた。さらに近年では OpenCV の導入により OS が Windows のみではなく、MacOS X や Linux などの OS に依存しないシステムの構築が行われた。しかし、これまでに構築されてきた受講者観察システムではリアルタイムでの処理が出来ないため実装には至っていない。そこで本報告書では、Saccade 検出をリアルタイムで実行することを目標として、受講者の顔の動きから、テンプレートマッチングの実行に制御をかけることで最適化が有効かどうかを論ずる。

3. 研究の方法

受講者観察システムにおいて最も計算時間を要しているのは目の位置を検出するテンプレートマッチング(以下、TM)である。TMが必要となるのは、システムの起動時と実際に顔の動きがあったときである。ところが従来のシステムで顔の動きを検出しようとする、全フレームに対して TM を適用する必要があり、

Saccade 検出に必要な処理の計算時間 (33msec) を超えてしまい、本来の目的である Saccade 検出ができなくなるというジレンマに陥る。そこで、顔の動きを直接検出するのではなく、Saccade の検出・円候補ピクセルの数・黒目中心座標の値を用いて論理的に推論する。実際には、テンプレートが黒目から完全に外れた場合、Saccade が検出できなくなる。また、テンプレートが黒目から一部外れた場合、円候補ピクセルの数が減り黒目中心の検出精度が下がる。このとき、黒目中心座標はテンプレートの領域外になる場合がある。従って、Saccade が一定時間検出できないとき、円候補ピクセル数が少ないとき、黒目中心座標がテンプレートの領域外にあるときの条件を用いて TM の実行を制御する。そこで、「顔が動いた」と判断された場合は、次フレームで TM を実行する。「顔が動いていない」と判断された場合は TM を行わず、前フレームで得られた目領域の位置を継承する。これにより、TM を含めた処理制御の最適化を行ない、実時間で動作するシステムを構築する。

4 . 研究成果

4-1 . テンプレートマッチングによる目領域抽出方法

テンプレートマッチングとは、画像中から特定パターンがどこに存在するかを探し、位置検出手法の一つである。一般的には、探索画像とテンプレート画像を重ね合わせ比較照合し、両者が一致しているかどうかを判定する処理のことである。テンプレート画像としては、画像パターン(対象とする物体の2次元画像など)が利用される。ここでは、探索画像 $f(x, y)$ からテンプレート画像 $t(x, y)$ と最も類似している位置を検出する場合について詳細を述べる。

図1に示すように、検出しようとする対象を表すテンプレート画像 $t(x, y)$ を探索画像 $f(x, y)$ 中の点 (u, v) の位置に重なるように配置して、 $t(x, y)$ と探索画像の部分パターンとの類似度を測定する。その値は点 (u, v) に対象が存在する確からしさを表しており、その値が小さいほど、その対象らしいことを表している。

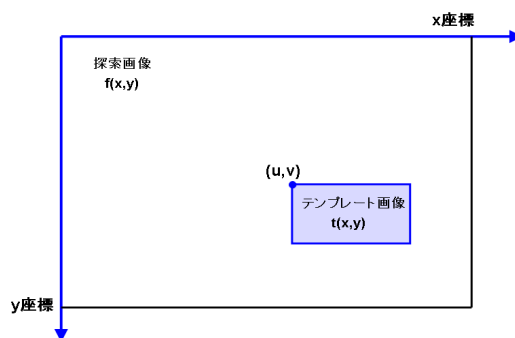


図1 . テンプレートマッチング概要

位置検出で利用されるテンプレート画像は、比較的サイズが大きい場合が多い(具体的には $32\text{pixel} \times 32\text{pixel}$ 以上)。このため、探索画像の画像サイズが大きい場合には、テンプレートマッチングにより位置検出を行うと、多くの処理時間を要してしまう。

4-2 . OpenCV を用いたテンプレート画像の取得方法

テンプレートマッチングでは、あらかじめテンプレート画像を用意する必要がある。また、他人の目画像や複数の目画像によるモーフィング (*morphing*) 画像をテンプレート画像として使用した場合、検出精度が劣ることが分かっている。これまでに開発されてきた「受講者観察システム」では、テンプレート画像の取得を手動で行っていた。しかし、テンプレート画像を手動で取得する場合、受講者の負担が増す、人により切り出す領域が異なる可能性がある、などの手動で行うことの問題点がいくつか列挙される。そこで、OpenCV を用いたテンプレート画像の取得を自動で行うこととする。

OpenCV で用意されている物体検出は、Haar-like 特徴を利用したカスケード上に接続された弱分類器を用いている。Haar-like 特徴とは図 2 のような特徴のことを指す。

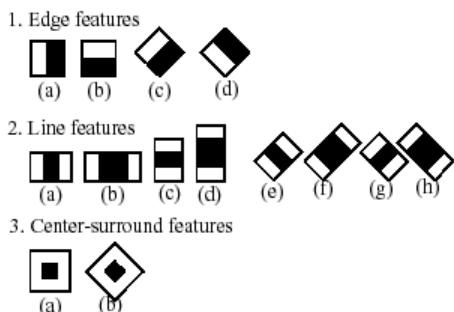


図 2 . OpenCV で使用されている Haar-like 特徴

この特徴に画像を重ね合わせ、以下の式を用いることにより特徴量を算出する。

$$f(x) = |\text{黒領域の画素値の合計}| - |\text{白領域の画素値の合計}|$$

この特徴量の利点として、大域的な値をとるため微小な変化や細かいノイズに対して強く、領域同士の差分をとるので照明変化に対して強い、などが挙げられ、強いロバスト性を持っている。Haar-like 特徴は同じ形状のものを拡大縮小、平行移動したものを異なる別種のものとして判断すれば、24pixel × 24pixel のウィンドウ上で約 180,000 種類存在する。

識別器は大まかに以下のように構成されている。

Haar-like 特徴を入力にとる決定木を、基本分類器とする。

Boosting 技法を用いて、いくつかの基本分類器を複合させてステージ分類器が構成される。

ステージ分類器が数珠つなぎに連結され、最終的なカスケードが構成される。

Haar-like 特徴は、前述したように大域的、つまり形状や局所的な特徴ではなく全体的なアピランスを利用している。例えば、多少ぶれた画像やぼやけた画像でも、大まかなテクスチャの大局的な特徴は変化しないので、

これらを検出することが可能である。しかし、同じ種類のような画像においても全体のテクスチャの個体差が大きく、それが広く分布しているようなオブジェクトでは、その形状や局所的な特徴が類似していても検出することは困難である。このように、Haar-like 特徴を利用した分類器にも、検出の得手、不得手が存在する。以下の図では、OpenCV で用意されている関数を用いた顔検出の例を示している (図 3)。



図 3 . OpenCV を用いた顔抽出

4 - 2 - 1 . OpenCV を用いた目領域抽出

顔抽出と同様に、弱分類器を用いて目領域の抽出を行う。図 4 に目領域抽出の例を示す。

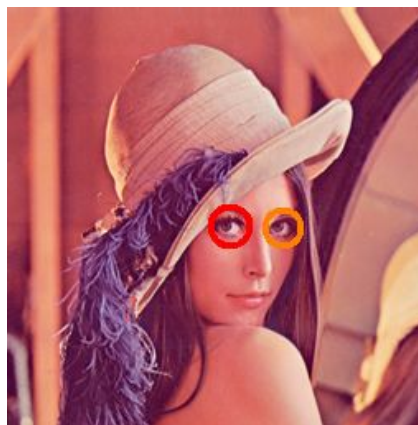


図 4 . OpenCV を用いた目領域抽出

4 - 3 . 受講者観察システムの最適化

ここでは、Saccade を検出するために必要な処理時間(30msec)を、ビデオレート内(33msec)で確立するために、テンプレートマッチングの実行に制御をかけ、受講者観察システムを最適化する手法を提案する。

前述したとおり 1 回の Saccade は約

30msec で発生することがわかっている。受講者観察システムでは、目領域抽出のために、テンプレートマッチング法を使用している。よってこのシステムでは、受講者の集中度合いを判断する Saccade の検出を行うためには、フレーム毎にテンプレートマッチングが必要となる。しかし、ここでフレーム毎に一連の処理を行ってしまえば、処理時間がかかってしまう。特に、テンプレートマッチングは計算量が多くビデオレート内での処理は行うことが出来ない。つまり、Saccade 検出までの処理時間が1フレームあたり 33msec を超えないようにしなければならない。

受講者観察システムでは DV 信号で情報を取り込み、ビデオレートで処理を行っているため、連続したフレームでは受講者の顔にはほとんど動きが生じない。つまり、目領域の位置もほとんど変化がない。

今、理想的に顔の位置が全く動かず、まばたき等も生じないと仮定した場合、テンプレートマッチングを行う必要があるのは、システムが起動して最初の入力画像に対してのみということなる。この場合、その後は目領域の位置だけを継承し続けることで、テンプレートマッチングを行う必要はなくなる。しかし、実際には以下のような要因で、テンプレートマッチングを行う必要が出てくる。

席を離れる

受講者がまばたきをする。もしくは、目を手でこする等の行為を行う

受講者とカメラの間を何かしらの障害物が通過

受講者の顔が動く etc

したがって、テンプレートマッチングの実行は、受講者観察システム起動時の最初の入力画像に対してと、上記の場合のみ行えばよい。そして、それ以外は前フレームで得られた目領域の位置を継承することで Saccade の検出を行う。

4-4 . テンプレートマッチングの制御

テンプレートマッチングは毎フレーム行う必要はなく、受講者観察システム起動時と、前述した場合にのみ行う。このようにすれば、残りは前フレームを継承することでビデオレート内での Saccade 検出処理が可能なことを述べた。しかし、このシステムで受講者の顔の動きを検出しようとする、すべてのフレームに対してテンプレートマッチングを適用しなければならない、という矛盾が生じる。そうなれば、Saccade の検出は出来なくなってしまふ。そこで、顔の動きを直接検出するのではなく、Saccade の検出・円候補ピクセル・黒目中心座標の値から推論し、顔に動きが生じたかどうか判断する。テンプレートが黒目から完全に外れてしまった場合 Saccade は検出できなくなってしまう。テンプレートが黒目から一部外れてしまった場合は、円候補ピクセルの数が減り、黒目中心の検出精度が下がってしまう。このとき、黒目中心座標はテンプレートの領域の外になる場合がある。本報告書では、顔の動きを上記の値を利用して判断し、テンプレートマッチングの実行を制御する。

具体的には、

- (A) Saccade が一定時間検出できないとき
- (B) 円候補ピクセル数が少ないとき
- (C) 黒目中心座標がテンプレートの領域外にあるとき

の3つ条件を組み合わせて TM の実行を判断する。上記(A)(B)(C)の条件を総合的に判断すると以下ようになる。

T_1 Tの間は Saccade が検出されてから閾値 T_1 時間を超えていないため、黒目が動いておらずテンプレート内に有る可能性が高い。ただし、円候補ピクセルの数が閾値 P_1 を下回り、かつ黒目中心座標がテンプレートの領域外にある場合は、黒目がテンプレートから外れてしまった可能性が高いので TM を実行する。

Saccade が閾値 T_1 を超えても検出されな

い $T_1 < T$ の状態では黒目がテンプレートから外れてしまった可能性が高いので TM を実行する。ただし、円候補ピクセル数 P が閾値 P_1 を上回り、かつ黒目中心がテンプレートの領域内にある場合は、集中力の欠如により Saccade が発生していないだけでテンプレートから外れていない可能性がある。そのため顔が動いていない可能性があるので TM の実行は行わない。しかし、受講者の近辺にある目以外のものに反応してしまい、それが動かないものであれば延々と TM が止まってしまう。従って、時間が閾値 T_2 を超えた場合は円候補ピクセルが閾値 P_1 を超えており黒目中心座標がテンプレート内にあっても TM を実行する。

上記 を表にすると以下のようになり、これを実装することでシステムをリアルタイムでの実行させることが可能となる。

表 1. 顔の動きを判断した最適化

Saccade	円候補ピクセル	黒目中心	顔の動き	TM
$T_1 \geq T$	$P_1 < P$	領域内	無	継承
		領域外		
$T_1 < T$	$P_1 \geq P$	領域内	有	実行
		領域外		
$T_1 < T$	$P_1 < P$	領域内	無	継承
		領域外		
$T_1 < T$	$P_1 \geq P$	領域内	有	実行
		領域外		
$T_2 \geq T$				実行

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

宮内泰明・中川祐治, 全方向微分フィルタによる黒目の検出, 平成 25 年度電気関係学会四国支部連合大会論文集, 査読無, p.232, 2013.

中北真偉・中川祐治, 受講者観察システムにおける Saccade 有無の検出, 信学技法, 査読無, Vol.112, No.300, ET2012-64, pp.67-71, 2012.

宮内泰明・中川祐治, Android タブレットによるガイドシステムの構築, 信学技法, 査読無, Vol.112, No.225, PRMU2012-59, pp.41-45, 2012.

宮内泰明・中北真偉・中川祐治, Android タブレットによるガイドシステムの構築, 平成 24 年度電気関係学会四国支部連合大会論文集, 査読無, p.236, 2012.

中北真偉・中川祐治, 受講者観察システムにおける Saccade の検出, 平成 24 年度電気関係学会四国支部連合大会論文集, 査読無, p.237, 2012.

中北真偉・宮内泰明・中川祐治, Android 端末によるガイドシステムの構築, 平成 23 年度電気関係学会四国支部連合大会論文集, 査読無, p.220, 2011.

栃原康介・越智勇太・中川祐治, GPU を導入した受講者観察システムの開発, 平成 23 年度電気関係学会四国支部連合大会論文集, 査読無, p.221, 2011.

〔学会発表〕(計 7 件)

全方向微分フィルタによる黒目の検出, 電気関係学会四国支部連合大会、徳島大、2013 年 9 月 21 日、宮内泰明・中川祐治 受講者観察システムにおける Saccade 有無の検出、電子情報通信学会 / 教育工学研究会、佐賀大、2012 年 11 月 17 日、中北真偉・中川祐治

Android タブレットによるガイドシステムの構築、電子情報通信学会 / パターン認識・メディア理解研究会、幕張メッセ国際会議場、2012 年 10 月 4 日、宮内泰明・中川祐治

Android タブレットによるガイドシステムの構築、電気関係学会四国支部連合大会、四国電力(株)総合研修所、2012 年 9 月 29 日、宮内泰明・中北真偉・中川祐治

受講者観察システムにおける Saccade の検出、電気関係学会四国支部連合大会、四国電力(株)総合研修所、2012 年 9 月 29 日、中北真偉・中川祐治

Android 端末によるガイドシステムの構築、電気関係学会四国支部連合大会、阿南工専、2011 年 9 月 23 日、中北真偉・宮内泰明・中川祐治

GPU を導入した受講者観察システムの開発、電気関係学会四国支部連合大会、阿南工専、2011 年 9 月 23 日、栃原康介・越智勇太・中川祐治

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中川祐治 (NAKAGAWA, Yuji)

愛媛大学・総合情報メディアセンター・教授
研究者番号: 20227755