

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00488

研究課題名(和文) モバイル端末における受講者観察システムの構築

研究課題名(英文) Construction of student observation system on mobile terminal

研究代表者

中川 祐治 (Nakagawa, Yuji)

愛媛大学・データサイエンスセンター・教授

研究者番号：20227755

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：学習者が文章を読む際に発生する眼球運動の一種であるSaccadeに着目したところ、学習に集中している時はSaccadeが観測され、集中度が低下するとSaccadeが観測されないという事実を2003年に確認した。そこで、学習時のSaccadeの有無により学習への集中度を測定する『受講者観察システム』の実用化研究を行ってきた。

これまでに開発したシステムでは、画像処理により黒目中心座標の検出を行っていたが計算量が大きくなる。そこで、機械学習による黒目中心検出手法を検討し、U-Netを利用したセマンティックセグメンテーションによる黒目領域推定手法を構築し、期待する性能を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

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』を提案し開発を行ってきた。受講者観察システムは学習者の集中度が落ちてきた時にアラートを発することができ、休憩を促したり学習を停止させることができる。このアウトプットを用いることで将来的には学習コンテンツ自体を制御することが可能となり、家庭教師のようなシステムの開発へとつながる。

研究成果の概要(英文)：Focusing on Saccade, which is a type of eye movement that occurs when learners read sentences, in 2003 the fact that Saccade was observed when the learner was concentrating on learning and not Saccade when the concentration decreased. Therefore, we have been conducting research on the practical application of a "student observation system" that measures the degree of concentration in learning based on the presence or absence of Saccade during learning. In the systems developed so far, the coordinates of the center of the black eye have been detected by image processing, but the amount of calculation is large. Therefore, we investigated a method for detecting the center of the black eye by machine learning, constructed a method for estimating the black eye region by semantic segmentation using U-Net, and were able to obtain the expected performance.

研究分野：教育工学

キーワード：e-ラーニング 受講者観察システム 機械学習 ニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

一般家庭へのブロードバンドおよび公衆 Wi-Fi の普及により、Blackboard や Moodle のような e-ラーニングシステムが各方面で急速に用いられるようになってきている。特に、企業においては各種資格取得のための学習が必要であり、その学習に e-ラーニングが用いられている。資格によっては約 1,000 時間もの自学自習を要するものもあり、労働時間外での学習では 1～2 年を費やす必要がある。一方、現在の e-ラーニングによる学習では、CD または Web サーバに蓄積された教材に一方的にアクセスするだけで、学習者は自らの学習への集中度を知ることなく、無意識に教材を読み飛ばすだけであり、効率の悪い学習を強いられている。e-ラーニングシステムの高度化に関しては、音声言語処理によるアプローチや、端末の利用状況の解析によるアプローチや、顔の表情認識によるものがあるが、視覚を用いた研究は本研究が唯一である。

2. 研究の目的

e-ラーニングによる学習は、場所・時間の制約を受けずに進められることがメリットであるが、逆に学習に集中しないまま時間だけが経過し、実際には知識の獲得が行なわれていない事が多々ある。そこで、過去 16 年間に渡って、ノート PC 使用時の眼球運動から学習への集中度を測定できる「受講者観察システム」を開発してきた。しかし、昨今の端末小型化により、公共交通機関での移動中に学習する機会が増えてきた。そこで、動的な環境に耐えるシステムが要求される。

本研究では、モバイル端末で動的な環境に耐え得るロバスト性を兼ね備えた受講者観察システムの構築を目的とする。

3. 研究の方法

これまでの研究成果の発展

このシステムでは受講者の眼球運動が 30 ミリ秒で起こるため、その測定を図 1 のような高度な画像解析により 1 秒間に 30 回 (ビデオレート) 繰り返す必要がある。従って、一回の計算を 33 ミリ秒以内で終えねばならない。これまでに、これを実現する高速アルゴリズムを開発してきたが、両眼での測定を行うには 2 倍の計算量が必要となり高速性が要求される。さらに、公園や電車内のような動的な環境での学習に耐え得るようなロバスト性を兼ね備える必要もある。

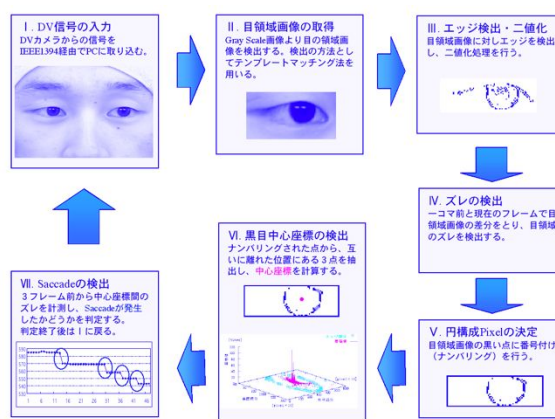


図 1. 受講者観察システムの処理の流れ

研究期間内で明らかにすること

これまでに開発して来たシステムでは、全方向微分フィルタにより黒目の検出を行っていたが、図 2 のような円弧エッジ抽出フィルタを開発する事で計算時間を大幅に削減できる。これにより高速化が図られ両眼の Saccade 検出が可能となる。また、両眼での検出が可能となることから検出効率が格段に向上し、環境の変化に影響されないロバストなシステムを構築することができる。

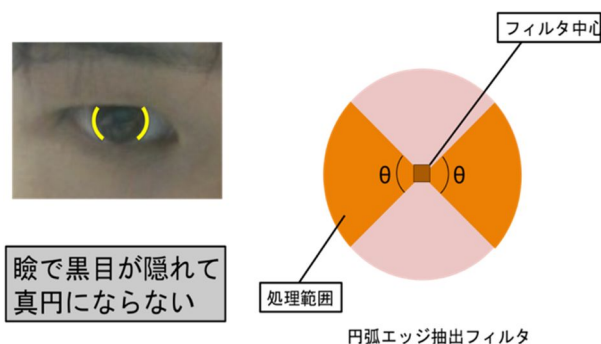


図 2. 黒目の形状と円弧エッジ抽出フィルタ

4. 研究成果

学習者が文章を読む際に発生する眼球運動の一種である Saccade(一秒間に 3 回、一回あたり約 30 ミリ秒)に着目し、各種実験を行ったところ、学習に集中している時は Saccade が観測され、集中度が低下すると Saccade が観測されないという事実を 2003 年に確認した。そこで、学習時の眼球運動を画像解析により取得し、Saccade の有無により学習への集中度を測定する『受講者観察システム』の実用化研究を行ってきた。これまでに開発したシステムでは、大まかな目領域に対して全方向微分フィルタを用いて黒目中心座標の検出を行っていた。しかし、この手法は黒目の半径に合わせたフィルタを用いなければ十分な効果が得られないという欠点がある。通常の学習時では受講者とカメラの距離が変動することに伴い黒目の半径も変動することから、その大きさを合わせるためにフィルタサイズの推定をしなければならず、計算量が大きくなる。そこで、機械学習を用いることにより、黒目の半径に依存しない黒目中心検出手法を検討した。このような環境変化に容易に対応できるように、U-Net を利用したセマンティックセグメンテーションによる黒目領域推定手法を構築した。本研究では、従来の PC で動作している受講者観察システムを、処理能力の劣る携帯端末で動作させることが必要であり、U-Net と呼ばれる大規模ニューラルネットワークで学習した結果を携帯端末に移植し実現する。U-Net の学習には学内の高性能コンピュータ(HPC)を用いて行い、期待する性能を得ることができた。

4-1 U-Net を用いた黒目領域推定

本研究における手法では、U-Net を用いた黒目領域推定から、次章の黒目中心検出が一連の流れとなるので、まずはその流れについて述べる。以下の図 3 はその大まかなアルゴリズムである。

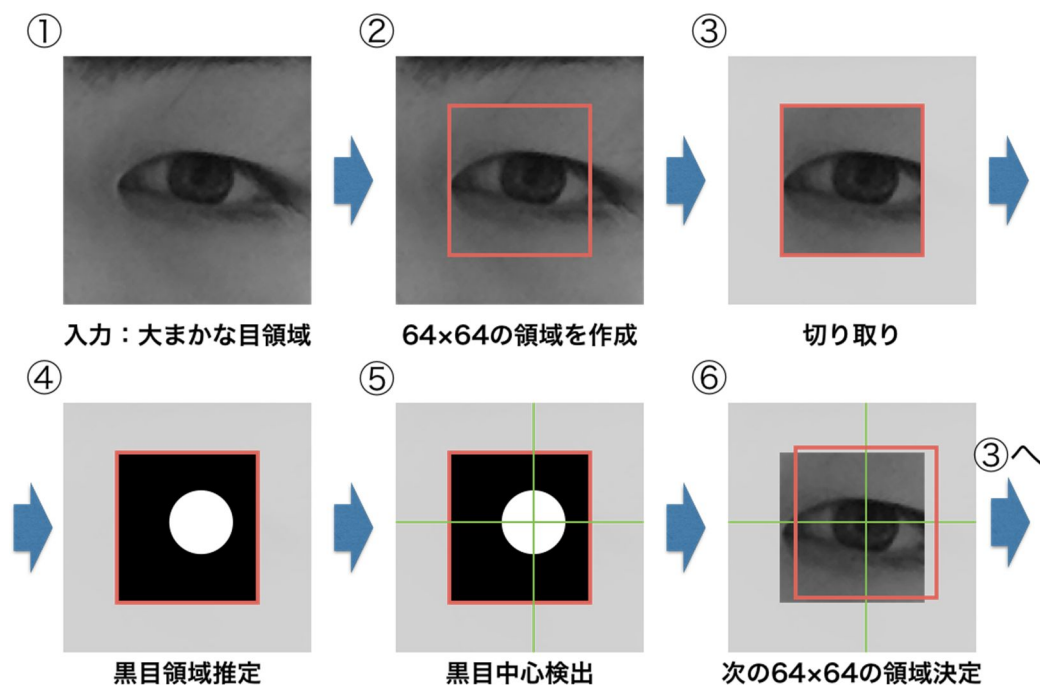


図3 . 黒目領域推定から黒目中心検出までの流れ

図 3 にある通り、このアルゴリズムでは黒目の中心を追跡するような処理を行う。まず、前節で述べた通り、大まかな目領域が検出され指定時間の間固定される。その間、以下の手順を行う。

(i) ターゲットの設定

大まかな目領域から、黒目領域推定で用いる領域の設定を行う。前フレームで求めた黒目中心座標を中心とする、大きさが 64pixel × 64pixel の領域を抽出する。また、前フレームでの黒目中心座標が存在しない場合は、大まかな目領域の中心をその中心とし、同様に大きさが 64pixel × 64pixel の領域を抽出する。

(ii) 黒目領域推定

与えられた領域に対して U-Net を用いて黒目領域推定を行う。出力は二値画像であり、白が黒目領域、黒がその他の領域である。

(iii) 黒目中心検出

作成された二値画像から、円フィッティングや画像処理を用いて黒目中心を検出する。

4-2 U-Net とは

U-Net とは MICCAI (Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention) 2015 にて、Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, and Thomas Brox により発表されたセマンティックセグメンテーション手法である。U-Net は全ての層が畳み込み層となっており、U 字型をしているのが特徴である (図4)。

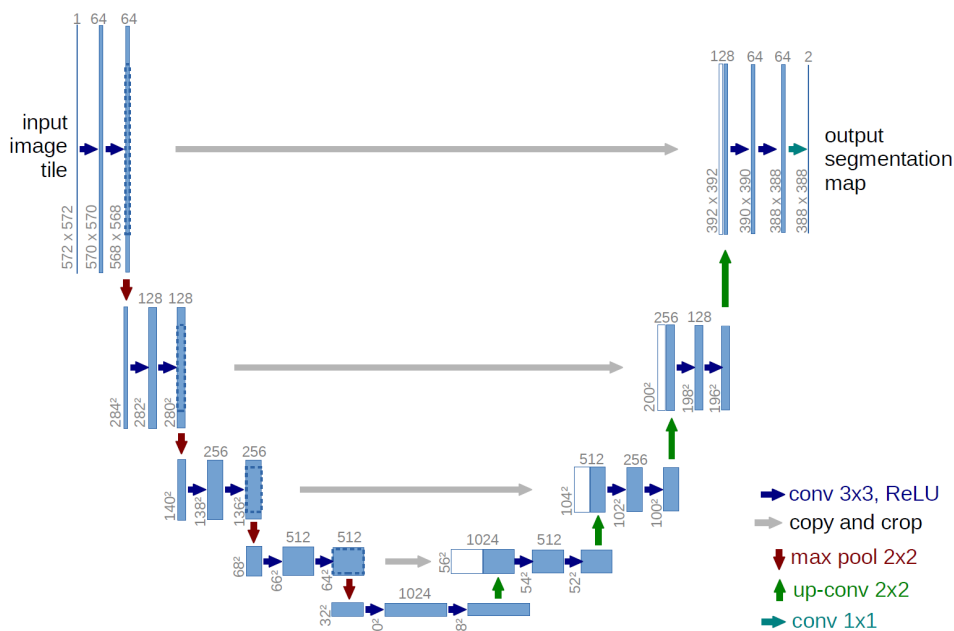


図4 . U-Net の構造

また、U-Net は Encoder-Decoder 構造をしており、スキップ接続により各画素の細かい位置情報を保持しやすくなっている。スキップ接続とは、Encoder の出力をそのまま Decoder に連結することである。本研究では画素単位での細かい検出が必要となる点やリアルタイムでの検出が必要である点を考慮し、セマンティックセグメンテーションに U-Net を用いることにした。

4-3 実験環境

まず、受講者が集中して横書きの文章を読んでいる状況下において、その状況を撮影した動画画像を用意する。そして撮影された動画画像の各フレームにおいて受講者観察システムにおける処理を行う。黒目の中心検出の処理では、画像処理アルゴリズムを用いて処理を行った。また、黒目の中心検出は右目のみ行うこととした。実験環境は以下の通りである。

OS: MacOSX Ver.10.14.6 Mojave CPU: 2.7Hz Intel Corei5

メモリ: 8GB 1867MHz DDR3

入力動画: 1280 x 720pixel, 30fps, 5374 フレーム

4-4 実験結果

実験結果は以下の通りである。

・ Saccade 検出数:350 回

Saccade 発生パターンの内訳

(1) 227 回, (2) 47 回, (3) 58 回, (4) 3 回, (5) 2 回,
(6) 12 回, (7) 0 回, (8) 0 回, (9) 1 回, (10) 0 回,
(11) 0 回, (12) 0 回, (13) 0 回, (14) 0 回, (15) 0 回

以上のように 5374 フレームでの Saccade の検出回数が 350 回となった。これは従来手法と比べると、同等の検出精度となる。よって本研究手法は、従来手法と同等の検出精度を持ちながら、カメラと受講者との距離変化などの環境変化に対応できるようになったといえる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 徳永眞哉、中川祐治	4. 巻 13-28
2. 論文標題 セマンティックセグメンテーションによる黒目領域推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019年度電気関係学会四国支部連合大会論文集	6. 最初と最後の頁 28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 徳永眞哉、中川祐治	4. 巻 13
2. 論文標題 機械学習による受講者観察システム高速化の検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018年度電気関係学会四国支部連合大会	6. 最初と最後の頁 20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 徳永眞哉、中川祐治
2. 発表標題 セマンティックセグメンテーションによる黒目領域推定
3. 学会等名 2019年度電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳永眞哉、中川祐治
2. 発表標題 機械学習による受講者観察システム高速化の検討
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新納裕貴、中川祐治
2. 発表標題 機械学習を用いた鳥ナビの一検討
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------