

Dynamic Time Warping を利用した眼球の追跡運動の検出

Extraction of eye tracking movement by Dynamic Time Warping approach

森田想平*1 古川康一*2 尾崎知伸*2
Sohhei Morita Koichi Furukawa Tomonobu Ozaki

*1 慶應義塾大学 SFC 研究所
Keio Research Institute at SFC

*2 慶應義塾大学大学院 政策メディア・研究科
Graduate School of Media and Governance, Keio University

We present a novel technique which extracts time-ordered pairs of similar subsequences of variable length from a pair of time series sequences. Since the proposed technique uses Dynamic Time Warping(DTW) as a matching algorithm, the proposed technique is robust for the locally fluctuant time-lag between subsequences. We use this algorithm for analyzing eye movement data. By using this algorithm, we can estimate the target of subject's visual attention.

1. 問題背景

我々は眼球運動計測装置を用いることによってヒトの視覚的注意の対象を推定することができる。経験的に理解できるように、通常、ヒトは興味深い視覚入力を網膜中心窩で捉えるために随意性眼球運動を実行することが多い。したがって、眼球運動を解析し網膜中心窩に映っている対象を知ることにより、ヒトが「何に注目しているのか」を推定することができるようになる。この原理的に単純な注意対象の推定手法は、ヒトの振る舞いを解明する研究や、ヒトに「親切的な」コンピュータインタフェースを実装するために利用されている。

任意の対象を網膜中心窩に一定時間以上映し続ける状態を、その対象への注視と呼ぶ。眼球運動を利用した注意対象の推定は、ほとんどの場合この「注視」を検出することによってなされている。注視の検出は非常に単純な手法であるが、静止した視対象への注意を推定する分には十分に有効である。ところが、高速で移動する視対象への注意を推定したい場合、注視の検出は不十分な手法であることが多い。なぜなら、ヒトは高速で移動する視対象に対しては視線を合わせ続けることができないからである。福田らの先行研究においては、ヒトが視線を合わせ続けられる視対象速度の閾値は 10deg/sec であった[福田 and 渡辺 96]。ここで、degree とは眼球の回転角度を表している。10deg/sec とは、25inch サイズのテレビ画面を 3 秒間かけて横切る視対象を、テレビから 1m 離れた場所で観察した場合の速度である。10deg/sec 程度の速度を持つ視対象は我々の周囲環境に多数存在しており、したがって、それらに注意を傾ける機会も少なからず存在する。にもかかわらず、この種の注意を推定するのに既存の手法は不十分なのである。

そこで、我々は本論文において、移動する視対象への注意を推定するための新たな手法を提案する。具体的には、我々は、「注視」ではなく眼球の「追跡運動」を検出することによって注意対象を推定する手法を提案する。先行研究により、ヒトは何かを視線によって追跡しようとする場合、その対象に対してほとんど強制的に注意を払ってしまうことが明らかになっている。また、ヒトが移動対象に視覚的注意を払おうとする場合、視線はしばしばその対象を追跡するという事実も明らかになっている。これらの先行研究を論拠として、我々は視線の追跡対象が注意対象であると推定する提案手法は妥当であると考えられる。

連絡先: 森田想平, 慶應義塾大学 SFC 研究所, 〒 252-8520
藤沢市遠藤 5 3 2 2, E-mail:souhei@sfc.keio.ac.jp

2. 視覚的注意と眼球運動の関係

随意性眼球運動はサッカード、滑動性眼球運動、輻輳運動の 3 種類に分類される。輻輳運動は視点を奥行き方向に移動させる眼球運動であるが、本研究は奥行き方向の焦点位置は考慮しない。したがって、残る 2 つの眼球運動に関して考察を行う。Hoffman ら [Hoffman and Subramaniam 95] 及び Khurana ら [Khurana and Kowler 87] の実験によって、両眼球運動とも、それを実行する時にヒトは眼球運動の対象以外の視対象に対しては注意を払いづらくなる(特徴抽出能力が低くなる)ことが明らかになっている。これらの結果と、そもそもヒトは興味深い対象を見ようとして眼球を動かすという事実から、「ヒトは随意性眼球運動の対象に対して注意を払っている」という推定手法は妥当なものであると我々は考える。

3. 提案アルゴリズム

3.1 トラッキング対象の検出による注意対象の推定

眼球の追跡運動を「トラッキング」と呼ぶことにする。トラッキングは、「眼球位置データの系列と視対象位置データの系列がほぼ同一の軌跡を描いているが、眼球は視対象に対して僅かに遅延している状態」として定義できると本研究は仮定する。ヒトは非常に遅い滑動性眼球運動を行うことができる。また、眼球は微動しており、厳密には静止することがない。そこで、我々は眼球運動の速度に関わらず、データ形式が上記の条件を満たしているものをトラッキングとみなす。

3.2 概要

我々が提案するアルゴリズムは、任意の系列対から「時間的に無矛盾で非冗長な類似部分系列対集合」を検出するアルゴリズムとして一般化することができる。眼球が追跡運動を行っている場合、眼球運動データと視対象の運動データの波形が類似してくるため、類似部分系列対を検出するアルゴリズムを用いることは理に適っている。すなわち、データ波形が類似している箇所でトラッキングが行われていると推定することができる。また、利用するアルゴリズムは類似判定の際に DTW を用いている。したがって、提案手法は眼球と視対象の時間的なずれ、すなわち視線の遅れを適切に取り扱うことができる。更に、任意の視対象に対する追跡運動は通常断続的に行われるが、提案アルゴリズムはこの断続性を適切に取り扱うこともできる。

3.3 詳細

DTW を利用する場合、利用者はマッチング判定を行う系列対を予め指定しなければならない。ところが、トラッキングは

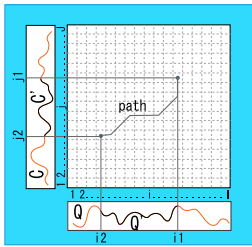


図 1: 類似部分系列対は全てパスとして表現できる.

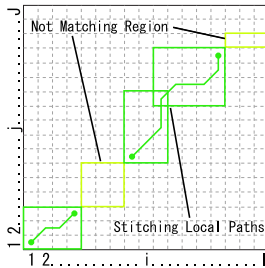


図 2: 非マッチング領域とマッチング領域を縫い合わせる. 長いローカルパスは短いローカルパスを縫い合わせるによって求めることができる.

いつ始まり, いつ終わるのがわからない. また, トラッキングはある程度のインターバルをはさみながら, 一計測中に何回も現れる可能性がある. したがって, トラッキングを漏れなく検出するためには, 可能性のある部分系列対全てに対してDTWを実行しなければならない. このような作業は計算量の爆発を招き, また結果に冗長性や時間的矛盾が表れる原因となる. この問題を解消するため, 本研究は, 任意の系列対から無矛盾・非冗長・最適なマッチング部分系列対集合を検出するアルゴリズムを提案する. このアルゴリズムは, $I \times J$ plane上の各セルと, セル(1, 1)を結ぶロングパスを漸化的に求めていくことにより, 実行される. グローバルパスは, マッチング領域を表すローカルパスと, 非マッチング領域を表す長方形の対角線が交互に縫い合わされたものである. ここで, 系列対(Q, C)に含まれる任意のマッチング(部分)系列対は, $I \times J$ plane上のローカルパスとして表現することができる(図.1). $I \times J$ plane上にはマッチング部分系列を表現する多数のローカルパスが存在すると考えられる. 提案アルゴリズムは, これらのローカルパスを非マッチング領域を接着剤にして上手く繋ぎ合わせ, 最適なグローバルパスを生成するものである. $I \times J$ 平面上のセル (i, j) はそれぞれ, (1, 1) から始まりそのセルで終わる一本のグローバルパス $W_{stitched}(i, j)$ を蓄えとする. アルゴリズムは, グローバルパスの中で評価関数の値が最も小さいものを出力する. グローバルパスは全て $W_{stitched}(i, j)$ をDTWのように漸化的に計算することによって得ることができる.

4. 実験

提案アルゴリズムの有効性を確かめるために実データに対する適用を行った. アルゴリズムを適用するデータは, 慶応大学生 4 名に被験者になってもらい獲得した. 被験者にはダンスの映像を見てもらい, 各試行ごとにダンサーの特定身体部位に注意を払うよう指示を行った.

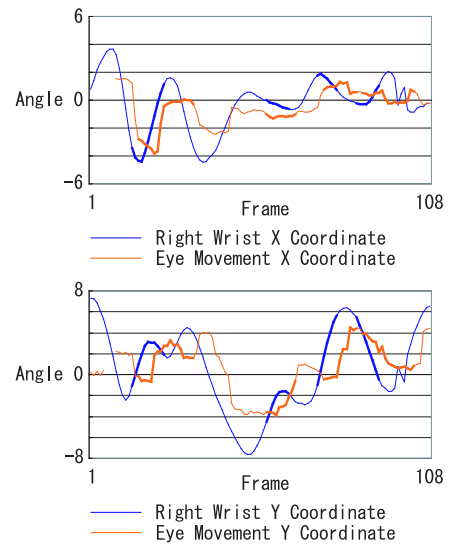


図 3: 検出結果の一例.

獲得したデータに提案アルゴリズムを実行した結果, 注意を払うよう指示した部位に対するトラッキングの量が, そうでない部位に対するトラッキングの量よりも圧倒的に多いことが明らかになった. 図.3 は, 1 試行分の眼球運動データと, その被験者が注意を払うよう指示された部位(この試行では右手首)の運動データを示している. 双方のデータはX座標値及びY座標値からなっている. 任意の要素間距離は2次元上のユークリッド距離として計算した. Figure.3 はアルゴリズムが検出したトラッキング箇所を太線で示している. データ獲得のサンプリングレートは 30frame/sec である.

5. 結論

運動視対象へ注意を払うことは日常生活においても見受けられる行為である. したがって, 本研究の提案手法には, 拡張現実インタフェースや認知科学など, 様々な分野への応用可能性があると考えられる. とはいえ, 本研究の提案手法が幅広く利用されるようになるためには, 視覚的注意とトラッキングの関係について, 深く掘り下げて研究を行う必要がある. 特に, 適切なパラメータ値を探索する必要があると我々は考えている.

参考文献

- [福田 and 渡辺 96] 福田忠彦 渡辺利夫: ヒューマンスケープ: 視覚の世界を探る (1996), 日科技連出版社
- [Hoffman and Subramaniam 95] Hoffman, J.E. and Subramaniam, B.: The role of visual attention in saccadic eye movements, Perception & Psychophysics, Vol.57, No.6, pp.787-795, 1995
- [Khurana and Kowler 87] Khurana, B. and Kowler, E.: Shared attentional control of smooth eye movements and perception, Vision Research, Vol.27, No.9, pp.1603-1618, 1987