

局所探索法を用いた目周辺特徴チェック領域の最適化 Optimization of Checkpoints of Features Surrounding the Eye Using Local Search Method

宮崎 翔太[†] 高野 博史[†] 中村 清実[†]
Shota Miyazaki Hironobu Takano Kiyomi Nakamura

1. はじめに

近年、入力装置の操作性の観点から、非接触で入力可能なインタフェースの開発が盛んに行われている。中でも目を使った入力装置は「手が使えなくても入力操作が可能」、「装置の小型化が容易である」といった特徴がある。このため、目を使った入力装置は手の不自由な障害者に需用が見込まれるほか、ヘッドマウントディスプレイを用いたウェアラブルコンピュータの入力装置としての応用が期待されている[1]。

入力装置に用いる目検出法には誤検出や検出見逃しが発生しないことと、処理が高速であることが求められる。もし、入力操作中に誤検出や検出見逃しが発生すれば、使用者が意図しない誤操作が行われてしまう可能性がある。また、目検出処理が低速だと使用者の操作とコンピュータの応答の間にタイムラグが生じ、使用者が思いどおりに操作することができなくなる。このため、目を使った入力操作が円滑に行われるためには、目検出が高い精度でリアルタイムに行われる必要がある。

誤検出や検出見逃しを防止する有効な方法として、目周辺の特徴の走査領域およびマッチング度を各目周辺特徴の位置及び幅の平均値と標準偏差から設定する方法が提案されている[2]。本研究では正検出率、誤検出率および検出見逃し率を1つのエネルギー関数として表現し、それが最小化される目周辺特徴の走査領域およびマッチング度の最適な値を局所探索で求めた。

2. 目検出システム

本研究では片目部分テンプレートおよび目周辺特徴チェックを用いた目検出システムを扱う。このシステムはCCDカメラとパソコンから構成される。まず、カメラから入力された256階調の濃淡顔画像(解像度640×480ピクセル)に対して2値化処理を行う。得られた2値画像に対して片目部分テンプレートおよび目周辺特徴チェックによる走査を画像左下から右上方向に行い、それらの各判定基準を全て満たす点を目として検出する。

2.1 片目部分テンプレート

非接触入力装置ではカメラ入力画像をディスプレイ上に表示して使用する。カメラ入力画像中の目(虹彩)の移動範囲は、ディスプレイ上の全範囲をカバーするように設定する必要がある。本研究では、使用者が直感的に入力操作を行えるように、カメラ入力画像中の虹彩サイズを実際の虹彩サイズと一致させる。生理学的知見では、成人の角膜の直径は約11mmであり、虹彩サイズは角膜サイズとほぼ一致する[3]。従って、虹彩サイズをディスプレイ上で11mm(46ピクセル)に設定する。ここで、ディスプレイ

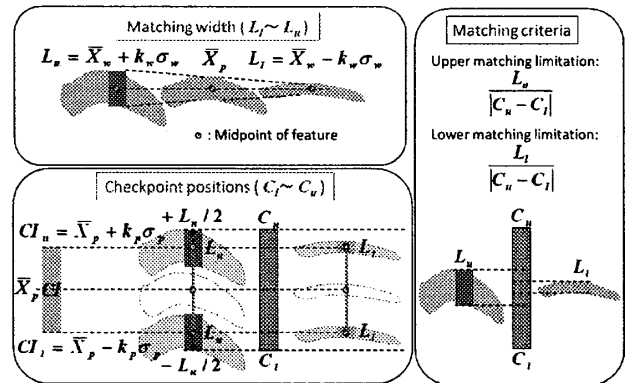


図1 目周辺特徴チェックの設定

の解像度は106.7dpiである。虹彩の上下はまぶたによって隠蔽される。隠蔽されない部分の縦幅は一番見えにくい人を基準として6mm(25ピクセル)とした。従って、片目部分テンプレートを横46ピクセル、縦25ピクセル、線幅1ピクセルのクロス型の直線で構成した。片目部分テンプレートをクロス型の直線で構成することにより、角膜反射光の影響を軽減し、目全体の画像をテンプレートとするよりも計算量を削減している。

2.2 目周辺特徴チェック

片目部分テンプレートのみで目検出を行うと、画像中の目らしい部分を誤検出してしまうため、目周辺の顔特徴のチェックを行う。目周辺特徴チェックでは眉毛、眉毛と目の間、上まぶた、黒目の中、目の下の領域の中から13箇所をチェックする。眉毛と目の間、目の下のチェックでは白画素数を、その他のチェックでは黒画素数をチェックする。各チェック領域でカウントされた白画素数または黒画素数が、領域毎に設定された範囲内である場合、目の条件適合性を満たすと判定する。

各目周辺特徴のマッチング度は、図1に示すように、目中心から各特徴の中心までの相対位置及び各特徴の幅の平均値と標準偏差から設定する。また、走査領域の大きさは目中心から各特徴の中心までの相対位置の平均値と標準偏差と、各特徴の幅の上限値から設定する。走査領域の大きさとマッチング度を設定する際に、各特徴の相対位置及び特徴の幅の標準偏差にそれぞれ係数(k_p , k_n)を与える。これらの係数の与え方により、チェック領域の大きさおよびマッチング度が変化する。すなわち、係数が目検出の結果に大きな影響を与えることになる。

目検出性能を正検出率、誤検出率および検出見逃し率で表わされるエネルギー関数とする。この関数は、各特徴の標準偏差の係数がつくる空間において非線形である。このため、エネルギー関数が最小となる係数の組み合わせを解析的に求めることは難しい。また、実験的に求める場合でも、各係数がつくる空間は複雑かつ膨大であり、全ての係

[†]富山県立大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Toyama Prefectural University

数の組み合わせを探索し尽くすことは難しい。そこで、係数の作る空間にトポロジーを仮定し、係数の局所探索を行うことで、エネルギー関数が最小となる走査領域の大きさとマッチング度の近似解を求める。

3. 局所探索法

チェック領域の設定を最適化するために局所探索 (Local Search; LS) 法を用いる。LS 法は、適当な解から探索を始め、その近傍内に改善解があれば移動する操作を、近傍内に改善解が存在しなくなるまで反復する方法である[4]。式(1)に示すように、エネルギー関数 $E(C, I, O)$ を正検出率 C 、誤検出率 I および検出見逃し率 O を用いて表現する。

$$E(C, I, O) = -C + 2I + O \quad (1)$$

誤検出率 I の係数 2 は、誤検出率のペナルティを高く設定することで誤検出率の小さいパラメータを得られることを期待するものである。式(1)が最小化される目周辺特徴の走査領域およびマッチング度の設定に用いる係数 (k_p , k_w) を探索対象パラメータ x として、次に示すアルゴリズムを用いて探索する。

1. 初期パラメータ x_0 を設定し、 x_0 を用いた目検出結果から関数値 E_0 を計算する。
2. 近傍数を N とし、 $i=1, 2, \dots, N$ まで x_0 に対する近傍パラメータ x_i を生成する。ただし、このときの最大近傍距離を λ とする。
3. x_i を用いた目検出結果から関数値 E_i を計算する。
4. $i=0, 1, \dots, N$ について、関数値 E_i が最小となるパラメータ $x_{\min, i}$ を求める。
5. 初期パラメータを $x_{\min, i}$ に置き換え、最大近傍距離を λ' ($\lambda' < \lambda$) として、以上の処理を繰り返す。 $\lambda'=0$ のとき、探索を終了する。

LS 法によって得られる解は必ずしも最適解ではない。この対策として局所探索を複数回試行し、全試行の結果の中から最も評価値の良いものを大域最適解とする。また、初期パラメータ x_0 の与え方によって、得られる解に偏りが出る可能性もある。この対策として、初期パラメータ x_0 を一様乱数で与える。

4. サンプル顔画像

本研究では、目周辺特徴チェックの設定用サンプル顔画像および局所探索実験用サンプル顔画像としてソフトピアジャパン顔画像データベースを用いた。このデータベースには、15歳から60歳までの男女300人の顔を複数の方向から撮影した画像が含まれる。このデータベースのうち、正面向き、開眼状態の300人の顔画像を、虹彩の直径が46ピクセルとなるように加工した。これらの画像に対して2値化処理を行い、眉毛の形状がはっきりと見える78人の顔画像データセットAとそれ以外の222人の顔画像データセットBに分類した。顔画像データセットAを用いて目中心から各特徴の中心までの相対位置及び各特徴の幅の平均値と標準偏差を計測し、目周辺特徴チェックの走査領域の大きさとマッチング度の設定に用いた。

5. 局所探索・目検出実験

前節で選出したデータセットを用いて局所探索を行った。実験条件として、 $x = (k_i | k_i \in \{1, 2, 3\}, i=1, 2, \dots, 11)$ 、 $N=10$ 、 $\lambda=11$ 、 $\lambda'=\lambda-1$ とした。局所探索の試行回数は4回とした。局所探索の実験結果を表1に示す。また、各データセットを用いた局所探索で得られたパラメータをそれぞれ x_A 、 x_B とし、局所探索で用いなかったもう一方のデータセットを用いて目検出を行った結果を表2に示す。表1と表2のエネルギー関数値の和は、局所探索にデータセットAを用い、目検出をデータセットAとBで行った場合は $-0.833 - 0.520 = -1.353$ である。一方、局所探索にデータセットBを用い、目検出をデータセットAとBで行った場合は $-0.605 - 0.801 = -1.406$ となる。すなわち、局所探索にデータセットBを用いた方が総合的な目検出性能が高いことがわかる。これは、パラメータ x_A がデータセットAの情報のみで構成されているのに対して、パラメータ x_B は目周辺特徴の統計データを含めてデータセットAとBの両方の情報で構成されているためであると考えられる。

表1 局所探索実験結果

| データセット | A | B |
|-------------------|--------|--------|
| 得られたパラメータ | x_A | x_B |
| $\min E(C, I, O)$ | -0.833 | -0.605 |
| C | 0.923 | 0.815 |
| I | 0.013 | 0.025 |
| O | 0.064 | 0.160 |

表2 局所探索で得られたパラメータによる目検出結果

| データセット | B | A |
|--------------|--------|--------|
| パラメータ | x_A | x_B |
| C | 0.772 | 0.910 |
| I | 0.025 | 0.019 |
| O | 0.203 | 0.071 |
| $E(C, I, O)$ | -0.520 | -0.801 |

6. まとめ

本研究では正検出率、誤検出率および検出見逃し率を1つのエネルギー関数として表現し、それが最小化される目周辺特徴の走査領域およびマッチング度の最適値を局所探索で求めた。目周辺特徴チェックの設定に用いるデータセットと異なるデータセットでパラメータの局所探索を行うことで、目検出性能の高いパラメータが得られることが明らかとなった。今後の課題として、局所探索の実験条件を変えることで得られるパラメータが目検出性能にどのように影響するかを調査する必要がある。

謝辞

本研究で使用した顔画像データは、財団法人ソフトピアジャパンから使用承諾を受けたものである。

参考文献

- [1] T. Nishimura, M. Nakashige, T. Akashi, Y. Wakasa, K. Tanaka, "Eye Interface for Physically Impaired People by Genetic Eye Tracking", SICE Annual Conference 2007, pp. 828-833, (2007).
- [2] S. Miyazaki, H. Takano, K. Nakamura, "Suitable Checkpoints of Features Surrounding the Eye for Eye Tracking Using Template Matching", SICE Annual Conference 2007, pp. 356-360 (2007).
- [3] 大村 裕, 大山 浩, 富田 忠雄, 小野 武年, 久場 健司, 赤池 紀生, 概説生理学 動物的機能編, 南江堂, p. 95, (1998).
- [4] 柳浦 睦憲, 茨木 俊秀, 組み合わせ最適化 - メタ戦略を中心として -, 朝倉書店, pp. 41-52, (2001).