

遠隔介護支援システムのための非接触型目入力装置の高信頼化

Realization of High-reliability of Non-contact Eye Input Device for Remote Nursing Support System

畑 昭彦[†]
Akihiko Hata

高野 博史[†]
Hironobu Takano

中村 清実[†]
Kiyomi Nakamura

1. まえがき

現在, ALS や脳卒中による全身麻痺などの障害者のために, 様々なコミュニケーションシステムが開発されている. そのような拡大・代替コミュニケーションシステムとして, 目の位置座標を検出するもの[1], 眼球運動を利用したもの[2], 視線を利用したもの[3]など, 目を利用したコミュニケーションツールが開発されている. これまでに我々は, カメラで撮像して得られる顔画像から目の位置座標を検出し, マウスカーソルを操作する遠隔介護支援システムのための非接触型目入力装置を開発してきた[1]. しかし, 目を用いた拡大・代替コミュニケーションシステムに共通した問題として, 誤った場所を目として検出した場合に, 意図しない位置にマウスカーソルが移動する誤動作が挙げられる. 本研究では, 目を用いた遠隔介護支援システムの代替入力装置である目入力装置の高信頼化を目的とし, 目の誤検出や検出見逃しによる目入力装置の誤動作に対応するために, 多項式回帰を利用した目位置予測アルゴリズムを開発し, その最適なパラメータ推定法について検討した.

2 目位置予測アルゴリズム

2.1 多項式回帰を利用した目位置予測アルゴリズム

従来の目検出法では, 誤検出や検出見逃しが発生する. ここで, 誤検出とは, 黒目以外の場所を誤って目として検出してしまうことであり, 検出見逃しとは, 取り込んだ画像上でどこも目として検出しない場合である. 誤検出が発生すると, マウスカーソルが突然意図しない位置へ移動してしまう. 検出見逃しの場合には, マウスカーソルが動かなくなる状態が発生する. このような誤検出や検出見逃しに対応してスムーズなマウスカーソル移動を可能にするために, 目位置予測アルゴリズムを導入した.

目位置予測では, まず検出点の微小な変動を抑えるために, 過去の目位置の履歴から移動平均を用いる. 次に移動平均点の履歴から, 目の動きの加速度変化に対応できるようにするため多項式回帰を用いて予測点を算出する. その後, 実際の移動平均点と予測点とを比較して移動平均点の評価を行う. 評価は, 予測点を基準として許容範囲を設けて, その許容範囲と移動平均点の位置関係を調べることによって行う. もし, 予測点の許容範囲内に移動平均点があるとき, その検出点は正しい移動平均点であると判断し, 移動平均点に対応した座標にマウスカーソルを表示する. もし, 予測点の許容範囲内に移動平均点がないとき, その移動平均点は誤った検出であると判断し, 予測点に対応した座標にマウスカーソルを表示する. また, 検出点が見つ

からなかったときは検出見逃しであると判断し, 予測点に対応した座標にマウスカーソルを表示する. 尚, 初期設定時は移動平均点を用いて多項式回帰により目位置の予測を行うが, 検出点を用いた多項式回帰により予測を行うこともできる.

2.2 移動平均点

目の位置予測では, 目位置座標の過去の履歴より, 前処理として移動平均点を算出した後に多項式回帰を利用して, 現在の時刻における目位置座標の x, y 成分をそれぞれ求める. 移動平均は古くから用いられてきた平滑化の方法であるが, 株価予測やデジタル信号処理の基本として用いられている. 移動平均には単純移動平均 (Simple Moving Average; SMA) と加重移動平均 (Weighted Moving Average; WMA) などがあり, 本研究ではユーザがこれら 2 種類の移動平均を選択することができる. SMA は, 誤検出の影響が少なく滑らかに変化するが, 変化が大きいとき, つまり目の動きが激しいときの時間遅れが大きい. それに対して, WMA は時間遅れが小さいが, 誤検出による影響が大きい.

2.3 多項式回帰

目位置を予測するために, 本研究では多項式回帰を利用する. 多項式回帰とは, 式 (4) に示すような回帰係数ベクトルの成分 a_0, a_1, \dots, a_m を最小 2 乗法で求める方法である. ここで, 目的変数ベクトル \mathbf{F} , 説明変数行列 Ω 及び, 回帰係数ベクトル \mathbf{a} を次のように定義すると, 多項式回帰は式 (1) で表される. ただし, 添字の T は転置を意味する.

$$\mathbf{F} = \Omega \mathbf{a} \quad (1)$$

$$\mathbf{F} = (F(t_0) \quad F(t_1) \quad \dots \quad F(t_n))^T \quad (2)$$

$$\Omega = \begin{pmatrix} 1 & t_0 & t_0^2 & \dots & t_0^m \\ 1 & t_1 & t_1^2 & \dots & t_1^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & t_n & t_n^2 & \dots & t_n^m \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{a} = (a_0 \quad a_1 \quad \dots \quad a_m)^T \quad (4)$$

ここで, 目的変数ベクトル \mathbf{F} は, 各時刻 $t_i (i=0, 1, \dots, n)$ で予測した目の位置座標であり, \mathbf{a} は予測される多項式の未知係数ベクトルである. 検出した目の位置座標を表すベクトル \mathbf{y} と \mathbf{F} の残差が最小となる時の回帰係数ベクトル \mathbf{a} を改訂コレスキー法で求める. 以上の方法より検出された目の位置座標の x, y 成分から係数ベクトル \mathbf{a} を求め, 次の時刻における目の予測座標値 (x, y) をそれぞれ求める.

[†] 富山県立大学大学院工学研究科

3. 目位置予測アルゴリズム評価実験

本システムはリアルタイム性が要求されているので、予測精度を上げるために過度な次数やデータ数を用いることを避けたい。そこで、多項式回帰を行う際に目位置予測に最も適した次数と回帰に用いる履歴数(目の検出点の数)をAICを用いて調べた[4]。多項式回帰に対応したAICは、式(5)によって求められる。

$$AIC = n(\ln 2\pi + 1) + n \ln \left(\frac{S_E}{n} \right) + 2(m+2) \quad (5)$$

ここで、多項式回帰で用いる履歴数を n 、多項式回帰に用いる移動平均点と多項式回帰を用いて予測で得た座標値の残差平方和を S_E 、多項式回帰の次数を m とする。

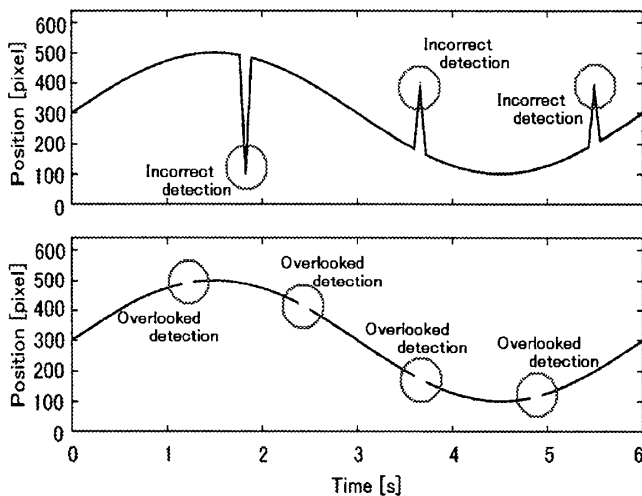


図1 誤検出(上)と検出見逃し(下)の例

3.1 実験方法

目でマウスを操作したときのカーソルの軌跡をsin曲線や矩形直線に近似し、それらの関数で表される擬似検出点を用いて目位置予測のシミュレーションを行った。シミュレーションデータは100点で、“検出見逃しあり”、“誤検出あり”、“誤検出なし、検出見逃しなし”の3パターンである。また、予測の対象は、擬似検出点と2種類の移動平均点(SMA, WMA)とした。図1にsin曲線に対する誤検出と検出見逃しのサンプルを示す。グラフ上の実線は検出点である。“誤検出あり”とは、擬似入力信号の検出点を人工的に誤検出と判定されるデータに置き換えたサンプルである。また、“検出見逃しあり”とは、擬似入力の複数箇所の検出点を削除したサンプルである。各時刻で多項式の次数と多項式回帰を行うための履歴数を変化させてAICを計算し、AICが最小となる条件(次数, 履歴数)を求める。条件ごとにAICが最小になった予測点の数を集計し、パーセンテージで表す。実験に用いた多項式は1次から4次までとし、履歴数は2から7の6種類を対象とした。

3.2 実験結果

実験結果の例として、誤検出があるときのsin曲線の擬似入力データに対して、WMAを対象とした回帰による予測の結果を図2に示す。x軸が多項式回帰の次数で、y軸が

履歴数である。z軸が最小AICを含む割合である。この結果より、履歴2点を用いた1次の回帰で最もAICが最小となるデータが多かったことを示している。また、3パターンのsin曲線や矩形直線のシミュレーションデータに対して、検出点やSMA, WMAを対象に回帰を行った場合でも、同様の結果を得た。

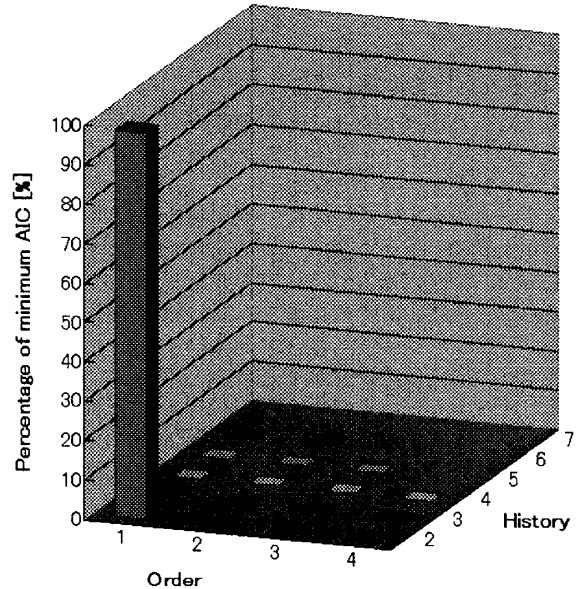


図2 誤検出がある場合の各パラメータの評価結果

4 まとめと今後の課題

今回、遠隔介護支援システムなどで用いられる非接触型目入力装置の高信頼化を目指し、目でマウスを操作したときの目の動きを理想的な擬似入力に近似してシミュレーションを行うソフトを作成し、目位置予測アルゴリズムに用いる最適な次数と履歴数についてAICを用いて評価した。これまでは、経験から2次の多項式を用いて予測していたが、今回のシミュレーションデータを用いた実験では、履歴2点を用いた1次の回帰が最適であることが分かった。

今後の課題として、実際に目を動かしたときのデータを用いて目の位置予測を行う場合、多項式回帰に適した次数と履歴数を評価する必要がある。また、それらの検証で得た最適パラメータを用いて、多くの被験者に非接触型目入力装置を使用してもらい、ユーザビリティ評価を行う。

参考文献

- [1] 柘植夕起子, 高野博史, 黒川正博, 中村清実, “リアルタイム目追跡の非接触型入力装置への応用,” 信学技報, NC2004-162, pp. 149-154, 2005
- [2] 伊藤和幸, 教藤康雄, 伊福部達, “重度障害者向けの視線入力式コミュニケーション装置,” 信学技報, D-I, Vol.J83-D-I, No.5, pp. 495-503, 2005.
- [3] 比嘉広樹, 国吉真史, 堂上高司, 西原賢, “眼球運動を用いたヒューマンインターフェースの検討,” 信学技報, MBE2006-67, pp. 5-8, 2006.
- [4] 坂元慶行, 石黒真木夫, 北川源四郎, 情報量統計学, 共立出版, pp. 128-133, 1983.