

画像処理技術を応用した静電容量式タッチパッドのタッチ信号とノイズの識別 Identification between Touch Signal and Noise of the Capacitive Touch Pad Based on Image Processing Technology

原田敦[†] 三宮千尋[†] 那和一成[†] 岩下明暁[‡] 花木秀信[‡]

Atsushi Harada Chihiro Sannomiya Kazunari Nawa Hiroaki Iwashita Hidenobu Hanaki

1. はじめに

スマートフォンを始めとする静電容量式タッチデバイスは、直感的な操作ができるというメリットから、パソコン、デジタルカメラやカーナビなど様々なデバイスに応用されている。一方、静電容量式タッチデバイスは水滴のような導電性物質に反応しやすく、ラジオ、トランシーバ、携帯電話およびアマチュア無線などの無線電波による電磁界ノイズの影響を受けやすい。そのため、導電性物質への対策やノイズへの耐性を高めることは重要である。

水のような導電性物質への対策としては、導電性物質付着を検出する専用の電極を設けることで、タッチ信号と導電性物質付着時の信号を識別するような手法が知られている[1]。しかしながら、回路の小型化が求められる場合においては適用が困難である。

従来の閾値処理によるタッチ信号と電磁界ノイズの識別では、ノイズによる静電容量の変化よりも高い値の閾値を設定する必要がある。したがって、ノイズの影響を大きく受ける場合は、タッチ感度の劣化に繋がり、細い指による接触には反応しなくなる可能性がある。そこで、デジタルフィルタやコイル、コンデンサ、抵抗を使ったアナログフィルタによる S/N 比を向上させる手法がとられる場合が多い。しかしながら、今回の静電容量検出センサの駆動する周波数 300kHz 程度に近い周波数帯域の電磁界ノイズが照射された場合は、上記のノイズフィルタではセンサの駆動信号さえも減衰させてしまうため適用が困難である。また、センサ周囲に GND シールドを配置するノイズ対策も考えられるが、この場合も回路の小型化という課題に対しては適用が困難である。さらに、ハードによる対策は部品数の増加に伴う材料費の増加にも繋がってしまう。

そこで、我々は、新規なノイズ対策技術を開発すべく、静電容量検出値を画像処理によって特徴量抽出する手法[2][3]に着目した。[2][3]では静電容量検出用の電極をペンや野球ボールの表面に実装し、静電容量検出値に対し画像処理を応用して特徴量を抽出し、機械学習により、ユーザのペンおよび野球ボールの握り方を推定している。

本研究では、静電容量式タッチパッドの性能向上のため、画像処理技術を応用することでタッチ信号とノイズの特徴量を抽出し、タッチ信号とノイズを識別する手法の提案と評価を行った。識別には機械学習手法の 1 つである Support Vector Machine(SVM)を用いた。2 章では、本研究で扱ったタッチパッドについて紹介し、3 章では、指の接触時と導電性物質付着時および電磁界ノイズ照射時のセンサ検出値を可視化した状態を紹介する。4 章では、画像処理技術を応用し、SVM による識別手法を提案する。5 章では、提案手法を用いて、識別精度を評価する。

[†](株)トヨタ IT 開発センター TOYOTA InfoTechnology Center Co., Ltd.

[‡](株)東海理化 TOKAI RIKKA Co., Ltd.

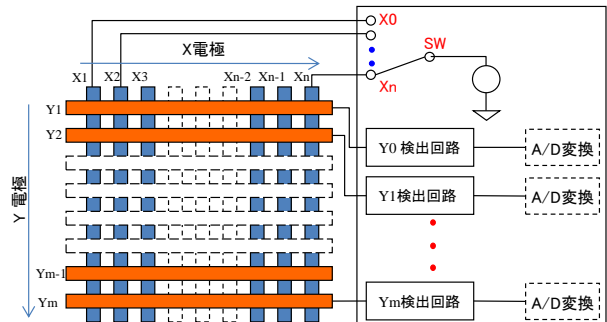


図 1 タッチセンサ

2. タッチパッド

本研究では、図 1 に示すような静電容量式のタッチセンサを有するタッチパッドを用いた。タッチセンサは駆動部の X 電極と受信部の Y 電極が格子状に配置されており、X 電極数は 13 ライン、Y 電極は 11 ラインの全 143 ノード(X 電極と Y 電極の交差点)で構成され、相互容量方式によりタッチ検出を行っている。

相互容量方式の原理を以下に述べる。タッチセンサに近づいた GND と同電位の指が X 電極と Y 電極間に発生した電界の一部を吸収するため、センサは電界の減少に伴う電荷の減少を測定し、指が接触した座標を検出する。本研究で用いたタッチセンサは $X_1 \sim n$ 電極を逐次的に駆動させるのに対して $Y_1 \sim m$ 電極は同時に受信を行う。

3. 静電容量検出データの可視化

3.1 指の接触時のセンサ検出値の可視化

3 本の指でタッチセンサに接触した時のセンサ検出値を可視化した状態を図 2 に示す。図 2 では、3 点のピークを確認することができ、明らかに 3 本の指で接触したことがわかる。

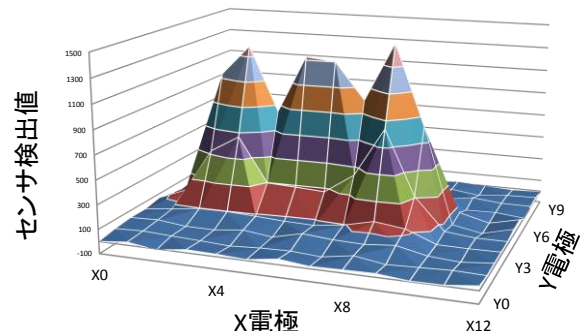


図 2 指の接触時のセンサ検出値

3.2 導電性物質付着時のセンサ検出値の可視化

センサ中央に直径 40mm 程度の水滴を付着させた時の検出値を可視化した状態を図 3 に示す。水滴中心部のセンサ検出値はマイナスの値を示すが、その周辺はプラス側に変化しており、指が接触した時とは明らかに異なる検出結果となっていることがわかる。このような現象が起こる原因は以下の 2 つが考えられる。1 つは、水の比誘電率が空気の約 1 と比較して約 80 程度と大きいこと、さらには、水は指とは異なり接地されていないことから、誘電体として機能し、電極間の静電容量を大きくしているためである。

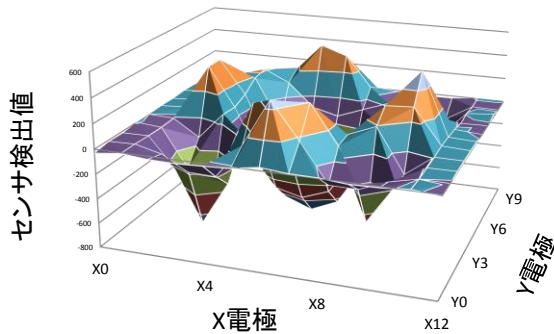


図 3 導電性物質付着時のセンサ検出値

3.3 電磁界ノイズ照射時のセンサ検出値の可視化

電磁界ノイズとして TEM セル試験[4]による無変調連続波をタッチパッドに照射させた時の検出値を可視化した状態を図 4 に示す。これは 60V/m の強度で 1.6MHz の周波数の電磁界ノイズを照射させた時の検出結果である。この場合、X 電極に平行な波の形をしていることがわかる。

本研究で使用したタッチセンサは図 1 に示した構成で電極が配置しているため、均一な電磁界ノイズの影響を逐次的に駆動している X 電極が受けた場合、波のような検出結果となり、明らかに指が接触した時とは異なる検出結果が得られる。

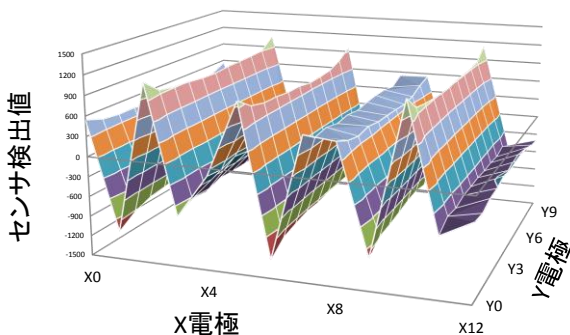


図 4 電磁界ノイズ照射時のセンサ検出値

4. 提案手法

3 章で述べたように、指の接触時と導電性物質が付着した時および電磁界ノイズを照射させた時のセンサ検出値を可視化することで、それぞれに明らかな傾向の違いを確認することができた。

この傾向を利用し、本研究ではタッチセンサ 143 ノードの検出値を図 5 に示すような画像の輝度情報と見なし、画像処理技術を応用することによりタッチ信号とノイズの識別を行う手法を提案する。

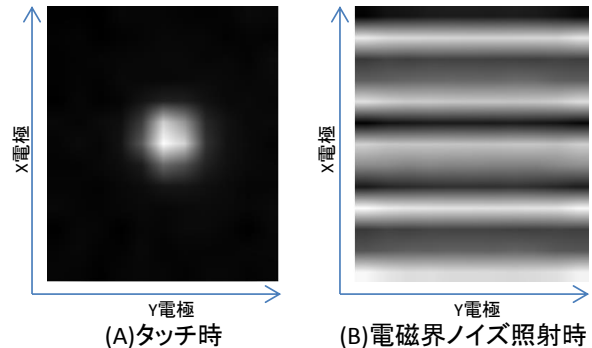


図 5 センサ検出値の画像化

本稿で提案する識別手法のフローを図 6 に示す。図 6 に示すように、本識別手法は識別器生成フェーズと識別フェーズの 2 つのフェーズに分けて構成されている。これはタッチパッドの設計段階で識別器生成を行い、製品製造時に設計段階で生成された識別器を組み込むことを想定しているためである。本識別手法の各処理の詳細について以下で説明する。

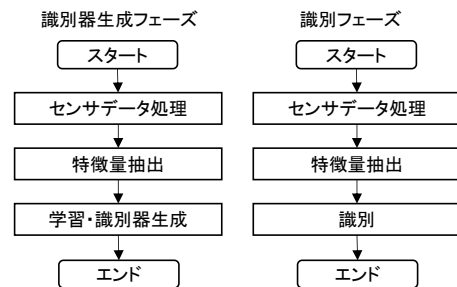


図 6 識別手法

4.1 センサデータ処理

センサから得られる生データ (以下、Raw データ) は、湿度や温度などの環境変化の影響を受けやすい。したがって、環境変化の影響を除去し、指の接触やノイズによるダイナミックな静電容量変化のみを抽出する必要がある。ダイナミックな静電容量の変化量を抽出するために、ある時間 t の Raw データ: $RawData_t(x, y)$ を移動平均した基準値: $Baseline_t(x, y)$ を算出し、Raw データ: $RawData_t(x, y)$ との差分をとることで Raw データの変化量: $Image_t(x, y)$ を求めた。以後、Raw データの変化量を輝度値と記す。

$$Image_t(x, y) = RawData_t(x, y) - Baseline_t(x, y)$$

$$Baseline_t(x, y) = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^k RawData_{t-i}(x, y) \quad (1)$$

次に、閾値処理によって、図 7 に示すような電磁界ノイズ非照射時にも表れるフロアノイズの影響を排除した。閾値は手袋装着時でもタッチ検出可能な値に設定し、輝度値が閾値を超えた場合のみ、タッチ信号とノイズの識別を行い、閾値を下回った場合はタッチ信号ではないと判断する。

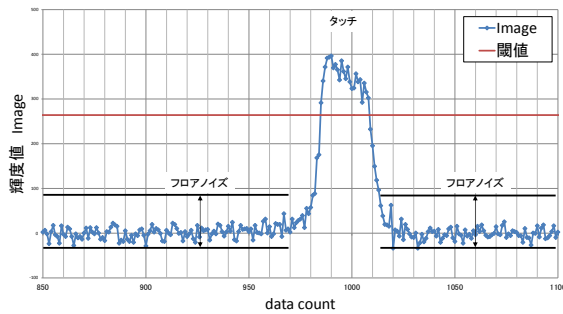


図 7 閾値処理によるフロアノイズの影響除去

4.2 特微量抽出

特微量の抽出は、画像処理技術を応用することにより行う。一般的な画像の特微量抽出手法として SIFT アルゴリズムが知られる。しかしながら、本研究で扱うタッチパッドのノード数(画素数)は、わずか 143 であるため、SIFT では適切な特徴を抽出することができず、適用が困難である。そこで、SIFT の輝度勾配情報を特微量とする手法を応用したオリジナルの特微量抽出手法を提案する。

提案する特微量抽出手法のフローを図 8 に示し、その特微量抽出手法の各処理の詳細については以下で説明する。

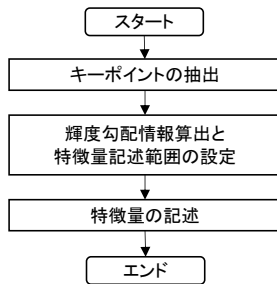


図 8 特微量抽出手法

4.2.1 キーポイントの抽出

キーポイントの候補点は輝度値が閾値を超えたノードから求められる。候補点を対象に注目ノードの周囲 8 近傍のノードと比較し、極大値をとる場合はキーポイントとする。

4.2.2 輝度勾配情報算出と特微量記述範囲の設定

全てのノードの輝度勾配情報を算出し、検出したキーポイントに対して、特微量記述範囲を指定する窓を設定する。

輝度勾配情報は輝度値: $Image_t(x, y)$ から図 9 に示すような 8 方向の勾配方向 d_n の勾配強度: $m_{n,t}(x, y)$ を(2)式より求める。n は勾配方向を表す。

$$\begin{aligned}
 m_{1,t}(x, y) &= Image_t(x + 1, y) - Image_t(x, y) \\
 m_{2,t}(x, y) &= Image_t(x + 1, y - 1) - Image_t(x, y) \\
 m_{3,t}(x, y) &= Image_t(x, y - 1) - Image_t(x, y) \\
 m_{4,t}(x, y) &= Image_t(x - 1, y - 1) - Image_t(x, y) \\
 m_{5,t}(x, y) &= Image_t(x - 1, y) - Image_t(x, y) \\
 m_{6,t}(x, y) &= Image_t(x - 1, y + 1) - Image_t(x, y) \\
 m_{7,t}(x, y) &= Image_t(x, y + 1) - Image_t(x, y) \\
 m_{8,t}(x, y) &= Image_t(x + 1, y + 1) - Image_t(x, y)
 \end{aligned} \tag{2}$$

特微量記述窓は図 10 の a に示すように太枠で囲まれたセンサ全面と b~f に示すようなキーポイントを中心にして太枠で囲った 5 種類の窓を設定する。b~f のような窓を設定した理由は、細い指や太い指が接触する特徴や、波のような検出結果となるノイズの特徴を捉えるためである。

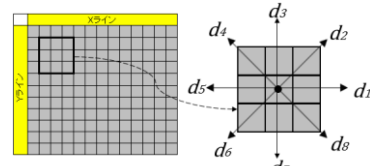


図 9 勾配方向

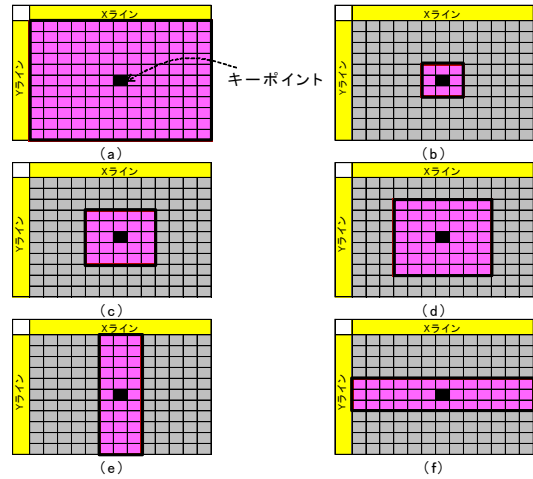


図 10 特微量記述窓の設定

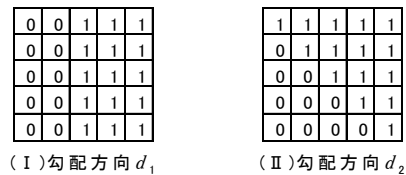


図 11 重み係数

4.2.3 特微量の記述

設定した窓範囲内のノードの輝度勾配情報を基に、ヒストグラム化することにより特微量の記述を行う。まず、窓範囲内の輝度勾配情報に重み付けを行う。図 11 に窓 c の勾配方向 d_1, d_2 を例に重み係数を示す。特微量は 8 方向の勾配方向毎に勾配強度: $m_{n,t}(x, y)$ と重み係数を積算した値を総和することで重み付き加算勾配強度を求める。以上より、6 種類の窓と 8 方向の重み付き加算勾配強度から 48 次元の特微量: $Vec_{w,n,t}(X, Y)$ が得られる。w は窓、n は勾配方向、t は時間、(X, Y) はキーポイントの座標を表す。

さらに、タッチ操作によるセンサ検出値は指がセンサに近づくにつれ徐々に変化するのに対し、ノイズは 1 回の検出毎に大きな変動するため、時系列情報を考慮した特微量の算出も行う。現在の輝度値から得られたキーポイントを中心として、1 フレーム前で検出された輝度値からも 48 次元の過去勾配情報: $Vec_{w,n,t-1}(X, Y)$ を取得する。次に、(3)式で求められるように、現在の 48 次元の特微量と 1 フレーム前で算出された 48 次元の過去勾配情報を差分して得られる $Vec_{diff_{w,n,t}}(X, Y)$ および、加算して得られる $Vec_{sum_{w,n,t}}(X, Y)$ を時系列情報を考慮した特微量とする。

$$\begin{aligned}
 Vec_{diff_{w,n,t}}(X, Y) &= Vec_{w,n,t}(X, Y) - Vec_{w,n,t-1}(X, Y) \\
 Vec_{sum_{w,n,t}}(X, Y) &= Vec_{w,n,t}(X, Y) + Vec_{w,n,t-1}(X, Y)
 \end{aligned} \tag{3}$$

これより、本稿で提案する識別手法において 144 次元の特微量を取得した。

4.3 学習・識別器生成

識別器は線形カーネルによる SVM を使用して、モデルの生成と識別を行った。

5. 評価

5.1 データセット

タッチデータは、普段のタッチパッドの使用で想定されるタッチ操作とタップ操作、ジェスチャー入力としてフリック操作とピンチ操作、また、最大 5 本指による複数点タッチ操作および、手袋装着時のタッチ操作を 20 代～30 代の男女 5 人の被験者に行ってもらい、その時の検出値を取得した。

電磁界ノイズデータは、ISO11452 規格を参考に、TEM セルによるイミュニティ試験を行うことで取得した。照射強度は 60 V/m で 1~400MHz の周波数で無変調連続波をタッチパッドに照射させた。

また、導電性物質付着時のデータとして水を直径 10, 20, 30, 40, 50mm の円状に付着させた時、直径 10mm の水を 5 箇所および 13 箇所付着させた時、さらに、X 電極または Y 電極の隣接する 3 ラインを覆うように水を付着させた時の検出値を取得した。

実際に評価で扱ったデータ数を表 1 に示す。

表 1 データ数

	タッチ	電磁界ノイズ	導電性物質
データ数	987689	48556	2119

5.2 評価方法

本稿ではタッチ信号とノイズの識別性能評価を 2 つの手法により行った。1 つ目は、全データを 5 つのブロックに分割し、そのうち 4 ブロックを学習データ、残りのブロックをテストデータとする、5 Fold Cross Validation を行った。もう 1 つは、被験者 5 人のうち、1 人のタッチデータをテストデータ、残り 4 人のタッチデータと電磁界ノイズデータおよび導電性物質付着時のデータを学習データとして識別精度を評価した。

また、識別精度を評価する指標として適合率と再現率および適合率と再現率の調和平均 F 値を使用した。

5.3 評価結果および考察

5 Fold Cross Validation による識別精度を表 2, 3 に示す。表 2 はタッチ以外の信号として電磁界ノイズを対象とし、タッチ信号と電磁界ノイズの識別を行った結果である。表 3 はタッチ以外の信号として電磁界ノイズおよび導電性物質付着時の信号を対象とし、タッチ信号と電磁界ノイズおよび導電性物質付着時の信号の識別を行った結果である。

表 2 からわかるように、タッチ信号と電磁界ノイズの識別を行った結果は、適合率と再現率および F 値の全てにおいて 99.7%以上の精度で識別が可能であることがわかった。また、表 3 からわかるように、タッチ信号と電磁界ノイズおよび導電性物質付着時の信号を識別した結果、適合率は 97.7%、再現率は 99.6%、F 値は 98.6%と高い精度で識別が可能であることがわかった。このことから、タッチ信号とノイズの識別に画像処理技術を応用した本提案手法の適用可能性を示すことができた。

表 2 タッチ信号と電磁界ノイズの識別結果[%]

適合率	99.7
再現率	99.9
F 値	99.8

表 3 タッチ信号と電磁界ノイズおよび導電性物質付着時の信号の識別結果[%]

適合率	97.7
再現率	99.6
F 値	98.6

表 4 非学習の被験者のタッチ信号識別結果[%]
(学習データに導電性物質付着時のデータを含まない)

テスト被験者	A	B	C	D	E	MIN
再現率	99.9	99.8	99.8	99.8	99.4	99.4

表 5 非学習の被験者のタッチ信号識別結果[%]
(学習データに導電性物質付着時のデータを含む)

テスト被験者	A	B	C	D	E	MIN
再現率	99.2	99.1	99.8	99.1	99.7	99.1

次に、被験者 5 人のうち、1 人のタッチデータをテストデータ、残り全てのデータを学習データとして識別精度評価を行った結果を表 4, 5 に示す。表 4 は、テストデータとなる被験者 1 人を除く、残りの 4 人のタッチデータと電磁界ノイズデータを学習データとした時の結果である。

表 5 は、同様に 4 人のタッチデータと電磁界ノイズデータ、そして導電性物質付着時のデータを学習データとした時の結果である。表 4 からわかるように、少なくとも 99.4%の高い精度で、識別ができることがわかった。また、表 5 の通り学習データに導電性物質付着時のデータを含めた場合においても、少なくとも 99.1%の高い精度で、識別が可能であることがわかった。このことから、学習を行っていない人のタッチ信号も識別が可能であり、本提案手法の堅牢性を示すことができた。

6. まとめ

本稿では、静電容量式タッチパッドを用いて、画像処理技術を応用したタッチ信号と導電性物質付着時の信号およびノイズの特徴量を抽出し、その特徴量を使用して SVM によるタッチ信号とノイズの信号の識別する手法を提案し、評価を行った。

その結果、タッチ信号と電磁界ノイズおよび導電性物質付着時の信号を高い精度で識別ができることがわかった。また、非学習の被験者のタッチ信号に対しても高い精度で識別ができ、本提案手法の有用性を示すことができた。

参考文献

- [1] CapSense®入門
<http://www.cypress.com/?docID=50000>
- [2] Hyunyoung Song, Hrvoje Benko, Francois Guimbretiere, Shahram Izadi, Xiang Cao, Ken Hinckley, "Grips and Gestures on a Multi-Touch Pen", CHI, (2011), pp.1323-1332.
- [3] Brandon Taylor, V.Michael Bove, Jr. "Graspables: Grasp Recognition as a User Interface", CHI (2009), pp.917-925.
- [4] 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示【2012.03.12】別添 12(乗用車の制動装置の技術基準), pp.79-81.87-88.
<http://www.mlit.go.jp/common/000206102.pdf>