

アナログタッチパネルによるマルチタッチインタフェース

鷲野 浩之^{†1} 岡野 祐一^{†1} 川又 武典^{†1}

近年、タッチパネルを搭載した電子機器が広く普及している。PDA やカーナビなどをはじめとして、最も多く利用されているのはアナログ抵抗膜タイプのタッチパネルであるが、アナログタイプのタッチパネルでは、デジタルタイプのように2点を同時に検出することができないため、2点タッチを利用したユーザ・インタフェースを実現することができなかった。本研究では、タッチパネルの両端にある直交する4つの端子の抵抗値の変化に基づいて2点タッチを精度良く検出するとともに、対向する2つの端子の抵抗値の変化に基づいてタッチされた2点間距離を検出することで、アナログ抵抗膜タイプのタッチパネルにおいても、2点タッチを利用した拡大・縮小などのユーザ・インタフェースを実現する。

Multi-Touch User Interface Using the Analog Touch Panel

HIROYUKI WASHINO,^{†1} YUICHI OKANO^{†1}
and TAKENORI KAWAMATA^{†1}

Resently, IT device with touch panel interface is a part of modern life. The touch panel of the analog resistance sensing type is most common, and it is used for PDA and the car navigation system, etc. However, it is difficult to detect multi-point touching on the analog type touch panel, and is not able to provide User Interface using multi-point touching. In this research, we developed a technique that can detect multi-point touching based on the resistances between the orthogonal 4 terminals of the two-layered panel, and can detect the distance between two points touched on the panel based on the resistances between the facing 2 terminals. This method enables us to provide User Interface using two-point touching such as zoom in/out display of the image.

1. はじめに

近年、タッチパネルを利用した情報機器が普及している。タッチパネルにおいてタッチを検出するセンシング方式には、抵抗膜方式や静電容量方式¹⁾、赤外線走査方式など様々な方式があり、それぞれ用途に応じて採用されている。さらに、膜状の電極を配置したアナログタイプと、多数の電極をマトリクス状に配置したデジタル(マトリクス)タイプに分けられる。これらの中で、高解像度で座標検出が可能である、大画面化しても低コストですむ、指以外のペンや手袋でも入力可能であるなどの理由から、アナログタイプの抵抗膜タッチパネルが最も多く利用されている²⁾。

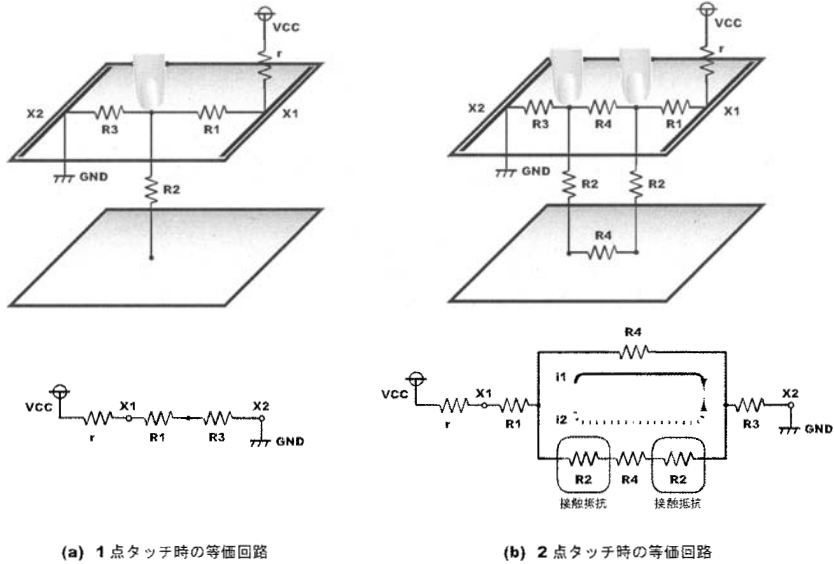
しかしながら、アナログ抵抗膜のタッチパネルでは、パネル上で複数点がタッチされたことを検出できないことから、誤って複数点をタッチしたときの誤作動の防止や、複数点タッチを利用したユーザ・インタフェー

スが提供できないという、デジタルタイプでは実現可能な機能面での課題が残っている。

そこで、アナログ抵抗膜のタッチパネルにおいても複数点タッチを検出する試みは、これまでもなされてきた。一般的な方法は、パネル上で複数点がタッチされた時、1点がタッチされた時と比較してパネルの両端にある2つの端子間の抵抗値が低下する現象を利用して複数点タッチを検出するものである³⁾。ところが、この方法では原理的に、複数点間の距離が小さい時ほど、検出精度が低下してしまうという課題がある。従って、狭小な画面において、片手の複数指操作によるユーザ・インタフェースを実現する場合には、実用的な方法ではない。

本研究報告では、上記課題に対し、近接した複数点がタッチされた場合にも、精度良く複数点タッチが検出可能であるアナログ抵抗膜のタッチパネルを試作し、検出精度について従来方式との比較評価を行った結果を報告する。また、複数点タッチの検出に加えて、パネル上でタッチされた2点間距離を検出することで実現可能な、2点タッチを利用したユーザ・インタフェースの例を示す。

^{†1} 三菱電機(株) 情報技術総合研究所
Information Technology R&D Center,
Mitsubishi Electric Corp.



(a) 1点タッチ時の等価回路 (b) 2点タッチ時の等価回路

図1 2端子方式の等価回路

Fig.1 Equivalent Circuits of the Two-Terminals Detecting Scheme.

2. 従来方式

まず、従来の技術である、パネルの対向する端子間の抵抗値の変化を利用する方式（以下、2端子方式と呼ぶ）において、複数点タッチを検出する検出原理を説明し、従来の手法における課題を述べる。簡単のため、複数点のタッチは2点のタッチとして説明する。

図1は、2端子方式における、1点タッチ時と2点タッチ時の等価回路を示している。(a) 1点タッチ時には、VCCとGNDの間に、基準抵抗 r を介し、x方向の抵抗膜上の抵抗 R_1 と R_3 が直列に接続された回路となる。一方、(b) 2点タッチ時には、VCCとGNDの間に、基準抵抗 r を介し、x方向の抵抗膜上の抵抗 R_1 , R_3 、およびx方向の抵抗膜上の2点間の抵抗 R_4 、y方向の抵抗膜上の2点間の抵抗 R_4 と2層のパネルが接触したときに発生する接触抵抗 R_2 が並列に接続された回路となる。従って、1点タッチ時に比べ、2点タッチ時には端子 $X1X2$ 間の抵抗値が低下する。そこで、2端子間抵抗値の低下がある閾値以上の時、2点がタッチされたと判定する。複数点タッチした場合にも、同様の現象が起こる。

しかし、この2端子方式では、図1(b)からわかるように、2点タッチ時に2点間の距離が近接すると、 R_4 の抵抗値が小さくなり、 R_4 を流れる電流 i_1 が増加し、1点タッチ時の等価回路に近づく。従って、複数点が近接しているような場合には、検出精度が下がるという課題がある。

そこで、今回の試作では、2点間の距離が近接して

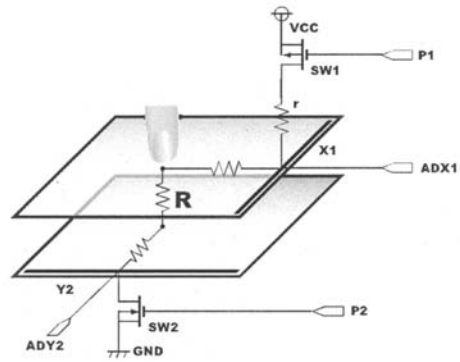


図2 4端子間抵抗値の測定

Fig.2 Measurement of the Resistances between the Orthogonal Four Terminals.

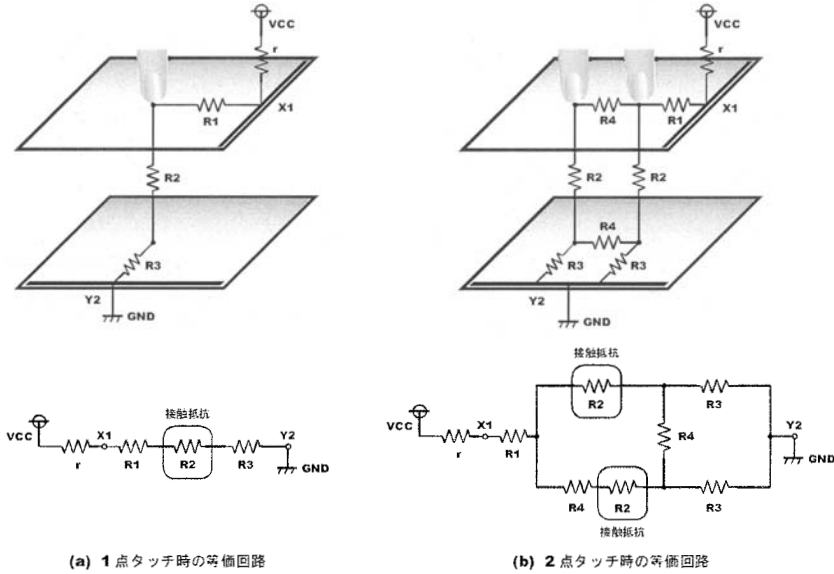
いるような場合にも、精度を落とさずに2点タッチを検出することを目的とした試作を行った。

3. 複数点タッチ検出

3.1 検出原理

従来の2端子方式では、パネルの両端の2端子間 $X1X2$ （あるいは $Y1Y2$ ）の抵抗値の低下を利用して、複数点タッチの検出を行っていたが、今回の試作では、2層のパネルの両端にある4端子間 $X1Y1$, $X1Y2$, $X2Y1$, $X2Y2$ の抵抗値の低下を利用して、複数点タッチの検出を行った（以下、本方式を4端子方式と呼ぶ）。

図2は、端子 $X1Y2$ 間の抵抗値 R を測定する時に



(a) 1点タッチ時の等価回路

(b) 2点タッチ時の等価回路

図3 4端子方式の等価回路

Fig. 3 Equivalent Circuits of the Four-Terminals Detecting Scheme.

できる回路を示している。端子X1に基準抵抗 r を介して電圧を印加し、端子Y2をGNDに接続する。この時の端子X1の電圧レベルを測定することで、基準抵抗 r との分圧比から R を求めることができる。同様にして、他の端子間 X1Y1, X2Y1, X2Y2 についても抵抗値を測定する。4端子方式の1点タッチ時、2点タッチ時の等価回路はそれぞれ、図3(a), (b) のようになる。

(a) 1点タッチ時には、端子X1Y2間の抵抗は x 方向の抵抗膜上の抵抗 R_1 、接触抵抗 R_2 、および y 方向の抵抗膜上の抵抗 R_3 が直列に接続された回路になる。従って、端子X1Y2間の抵抗値 R は、

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1)$$

となる。(b) 2点タッチ時には、 R_1 を介し、2点間抵抗 R_4 、接触抵抗 R_2 、 y 方向の抵抗膜上の抵抗値 R_3 が並列回路を形成する。このときの端子X1Y2間の抵抗値を R' とすると、

$$R' = R_1 + R_a + \frac{(R_b + R_3)(R_c + R_3)}{R_b + R_c + 2R_3} \quad (2)$$

ただし、

$$R_a = \frac{R_2(R_2 + R_4)}{2(R_2 + R_4)} \quad R_b = \frac{R_2 R_4}{2(R_2 + R_4)}$$

$$R_c = \frac{R_4(R_2 + R_4)}{2(R_2 + R_4)}$$

である。 R' は R_4 について単調増加し、 $R_4 \rightarrow 0$ のとき最小値 $R_1 + \frac{R_2 + R_3}{2}$ をとり、 $R_4 \rightarrow \infty$ のとき最大値 $R_1 + R_2 + R_3$ をとる。従って、

$$R_1 + \frac{R_2 + R_3}{2} < R' < R_1 + R_2 + R_3 = R(3)$$

となるから、1点タッチ時よりも抵抗値は低下する。また、 R' は、 R_4 が小さくなればなるほど、 $R_1 + \frac{R_2 + R_3}{2}$ に近づく、つまり、2点間の距離が小さい時にも、抵抗値が低下するため、2点間が近接した場合にも、2端子方式のように検出精度が下がることがない。

以上の検出原理に基づき、近接した複数点がタッチされたことを検出可能なタッチパネルを実現する。

3.2 検出フロー

まず、指の腹で1点をタッチしている状態で、4端子間電位差をパネル上の xy 座標に対応させて基準値テーブルに保存しておく。この基準値テーブルを用いて、複数点がタッチされたことを検出するための処理フローを図4に示す。まず、ユーザがパネルにタッチしたことを検出すると、通常のタッチパネルと同様に、タッチされた xy 座標を検出する。次に、3.1節で前述したような方法によって4端子間抵抗値の変化を表す4端子間電位差を測定する。次に、基準値テーブルを参照して、前段で検出された xy 座標に対応する4端子間電位差の基準値を取得する。この基準値と、実測した4端子間電位差の差が閾値以内で誤差の範囲内の場合、1点タッチと判定する。逆に、4端子間電位差の差が閾値以上の場合、複数点がタッチされたと判定する。最後に、1点タッチと判定された場合には、通常のタッチパネルと同様にタッチされた1点の座標情報を出力し、複数点タッチと判定された場合には、その旨を出力する。

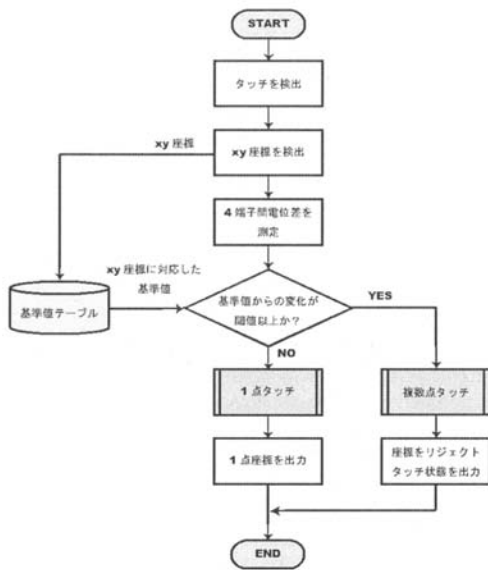


図4 複数点タッチ検出処理フロー
Fig. 4 Processing Flow of Multi-touch Detection.

3.3 評価

4端子方式を実装したタッチパネルコントローラを用いて、複数点タッチの検出精度について評価を行った。

3.3.1 評価データ

協力者にタッチパネル上で指定した点をタッチしてもらい、4端子間の電位差を記録し、評価データとした。

協力者 22歳～50歳の男女計81名

手順 15インチタッチパネル^{*1}上で指定した点を、協力者に1点タッチ後、2点をタッチしてもらい、4端子間の抵抗値の変化を記録した。図5に示す青い点を1点目として、1点目をタッチしたまま2点目をタッチするように指示した。

収集した評価データのサンプルを図6に示す。14～22フレームは協力者が1点をタッチしている状態で、続く23～29フレームは2点をタッチしている状態である。図6から、2点をタッチしている状態では、1点タッチをタッチしている状態に比べ、各4端子間の抵抗値の低下に伴って各端子間の電位差が約150～

*1 DMC社、15インチアナログ抵抗膜タッチパネルを使用。

200mV低下していることがわかる。

3.3.2 評価方法

データ収集時に指定した座標に対応したテーブルの基準値を用いて、4端子間電位差として収集した電位差データを入力し、図4の処理フローに従って複数点タッチを検出する。全ての収集データ $40 \times 81 = 3,240$ サンプルに対し、あらかじめ設定した単一の閾値で複数点タッチが検出できれば検出成功、検出できなければ検出失敗とし、検出精度を評価基準とした。

3.3.3 評価結果

図7は、2端子方式と4端子方式の複数点タッチ検出評価結果を示している。図7が示すように、2端子方式の場合、2点間の距離が50mm離れていると100%検出できるが、50mm未満の場合検出精度が低下する。一方、4端子方式の場合、2点間の距離が50mm以下で近接している場合にも、精度良く複数点タッチを検出することができる。4端子方式の場合においても、2点間の距離が10mmの時は検出精度が低下するが、この場合、2本の指がほぼ接触しており、物理

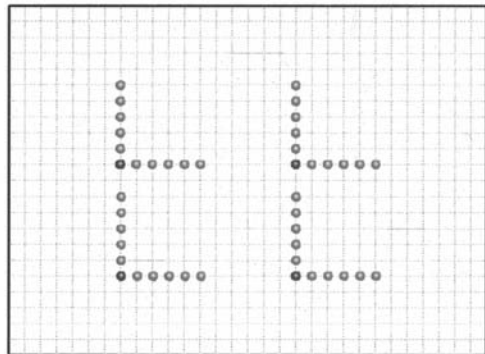


図5 データ収集時に指定した座標 (10mm 間隔)。青い点を1点目として、1点目をタッチしたまま2点目をタッチするように指示した。

Fig. 5 Coordinates Specified when Data is Collected.

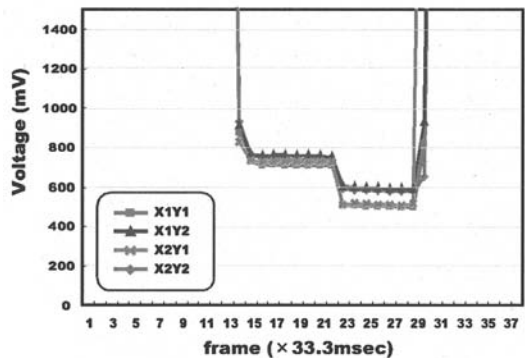


図6 収集した電圧データの例

Fig. 6 An Example of Collected Voltage Data.

的に1点をタッチした場合と差が出ないことから、精度の低下は止むを得ないと考える。

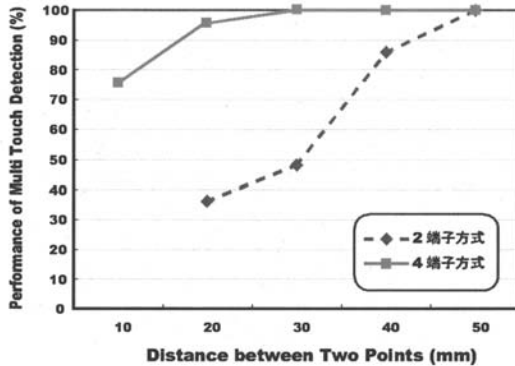


図7 複数点タッチ検出評価結果
Fig. 7 Performance of Multi-Touch Detection.

4. 2点間距離検出

4.1 検出原理

次に、2端子方式によってパネル上でタッチされた2点間の距離を検出する手法について述べる。

3.1節では、従来の技術である2端子方式によって複数点タッチを検出する方法について述べたが、2点タッチの場合、2点間の距離に応じて、パネルの対向する2端子間の抵抗値の変化の度合いが異なる。図1(b)において、パネル上でタッチされた2点間距離が小さい時と2点間距離が大きい時とを比較すると、上側(x方向)の抵抗膜における抵抗値 $R_1 + R_4 + R_3$ は一定であるが、2点間距離が小さい時に比べ、2点間距離が大きい時の方が R_4 が大きいため、並列回路の形成分だけ2端子X1X2間抵抗値が大きく低下する。今、2点間抵抗値 R_4 を $x(x \geq 0)$ とすると、2端子X1X2の2端子間の抵抗値 $R(x)$ は、次式で表される。

$$R(x) = R_1 + R_3 + \frac{x(x + 2R_2)}{2(x + R_2)} \quad (4)$$

ここで $R_1 + R_3$ は、パネル上でタッチしていない時のx方向の抵抗膜の2端子間抵抗値 R_{nt} を用いて、

$$R_1 + R_3 = R_{nt} - x \quad (5)$$

と表すことができる。結局、式(4)と式(5)から、

$$R(x) = -x + R_{nt} + \frac{x(x + 2R_2)}{2(x + R_2)} \quad (6)$$

となる。 R_{nt} はタッチパネル自体の両端抵抗値で決まる定数であるから、 $R(x)$ は2点間抵抗値 x と接触抵抗値 R_2 のみに依存して変化する。接触抵抗値 R_2 は、実際にはパネル上でタッチしている面積によって変化するが、ここでは簡単のため一定として、式(6)を x について微分すると、

$$R(x)' = -\frac{x(x + 2R_2)}{2(x + R_2)^2} \quad (7)$$

となり、 $x \geq 0$ で $R(x)' \leq 0$ であるから、 $R(x)$ は x について単調減少する。すなわち、2点間抵抗値が大きくなるにつれて、2端子X1X2間の抵抗値が低下する。ここで、タッチパネル自体の両端抵抗値、および接触抵抗値はそれぞれ、 $R_{nt} \sim 600 \Omega$ および $R_2 \sim 50 \Omega$ 程度^{*1}であるから、これらの値を式(6)に代入し、 x についてプロットすると、図8ようになる。図8から、X1X2の2端子間抵抗値 $R(x)$ は、2点間抵抗値 x に対してほぼリニアに減少することがわかる。パネルのリニアリティが保証されているとする^{*2}と、2点間抵抗値は2点間距離と線形対応するので、2端子X1X2間の抵抗値を線形写像することで、パネル上でタッチされたx方向の2点間距離を検出することができる。実際にタッチパネルを用いて2点間距離と両端の抵抗値を測定すると、図9のような測定値が得られる。図9から、2点間距離に従って2端子X1X2間の抵抗値はほぼリニアに変化することがわかる。また、y方向も同様にして、2端子Y1Y2間に電圧を印加した時の2端子Y1Y2間の抵抗値の変化から、y方向の2点間距離を検出することができる(図10)。

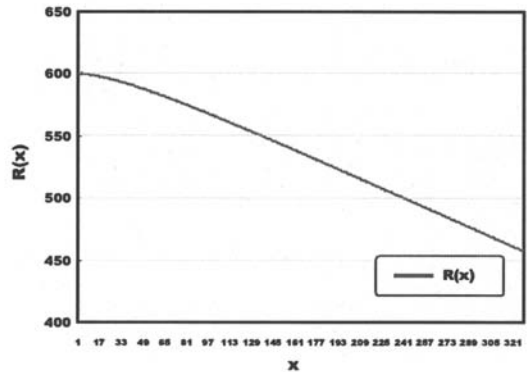


図8 2点間抵抗値と両端抵抗値の関係(理論値)
Fig. 8 Plot of the Resistance between the Touched Two Points vs. the Resistance between the Two Terminals (theoretical value).

4.2 検出フロー

3.2節に前述した複数点タッチ検出処理フローにより、複数点タッチが検出された場合の、2点間距離を検出する処理フローを図11に示す。複数点タッチが検出された場合、2端子間の抵抗値の変化を示す2端子間の電位差を測定し、その電位差に基づいて2点間距離への変換処理を行う。

*1 DMC社、15インチアナログ抵抗膜タッチパネルの実測参考値
*2 パネルの単位長さ当たりの抵抗値が一定とする

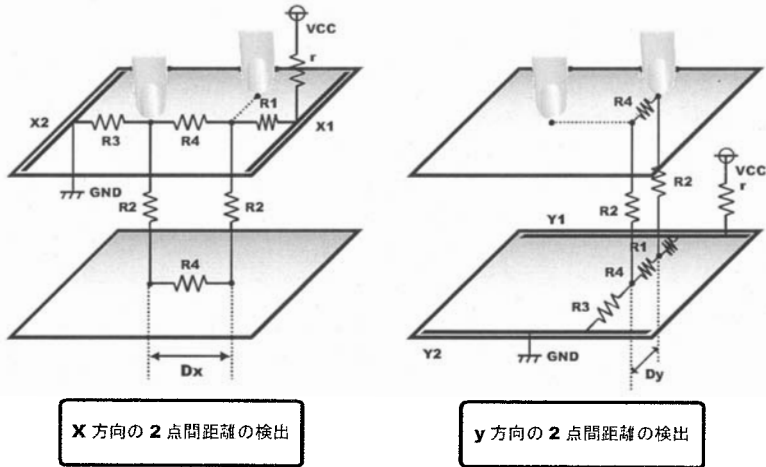


図 10 タッチされた 2 点間距離の検出

Fig.10 Detection of the Distance between the Touched Two Points.

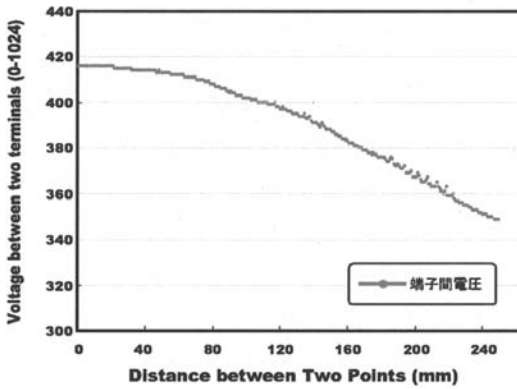


図 9 2 点間距離と両端抵抗値の関係 (実測値)

Fig.9 Plot of the Distance between the Touched Two Points vs. the Resistance between the Two Terminals (observed value).

5. マルチタッチインタフェース

4 章で述べた 2 点タッチ検出により実現可能な、2 点タッチを利用した UI を紹介する。図 12 は、2 点タッチされた座標付近を部分的に拡大表示する UI の例である。2 点タッチしたまま指を滞留させれば、滞留時間に従って、拡大する部分領域を大きくする UI になっている。また、図 13 は、2 点タッチを利用したページ戻し/送り UI である。2 点でタッチしたまま指を左方向にスライドさせると、先頭ページまでジャンプし、右方向にスライドさせると、最後のページにジャンプする。

図 14 は、2 点間距離を利用した UI である。指操作

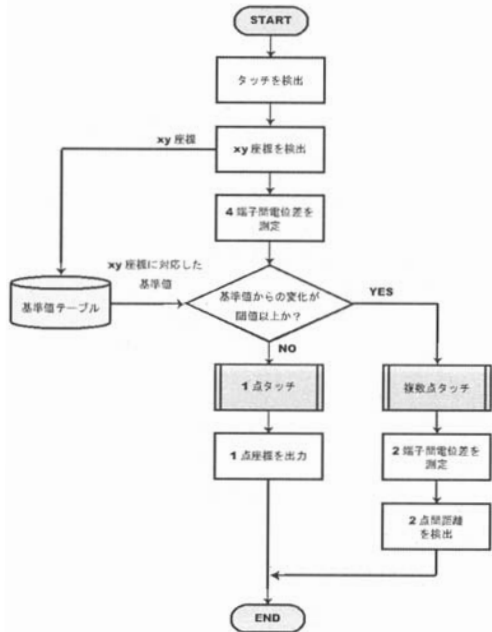


図 11 2 点間距離検出処理フロー

Fig.11 Processing Flow of the Distance Detection between the Touched Two Points

による 2 点間距離の変化に基づいて、画像の拡大/縮小表示を行う。2 点間距離と 1 時刻前の 2 点間距離の差を計算し、差が正の場合、差の大きさに基づいた拡大率で画像を拡大表示し、差が負の場合、差の大きさに基づいた縮小率で縮小表示する。

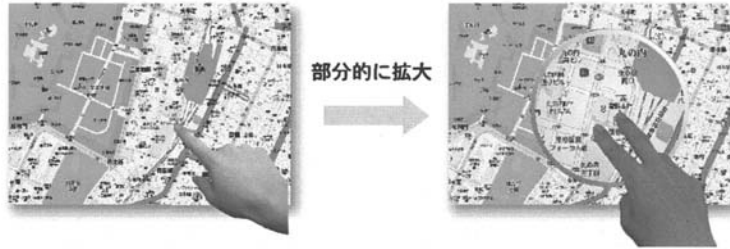


図 12 2 点間タッチを利用した部分拡大 UI
Fig. 12 User Interface using Two-Points Touching (Partially Zoom In UI).



図 13 2 点間タッチを利用したページ戻し/送り UI
Fig. 13 User Interface using Two-Points Touching (Page Return/Skip UI).

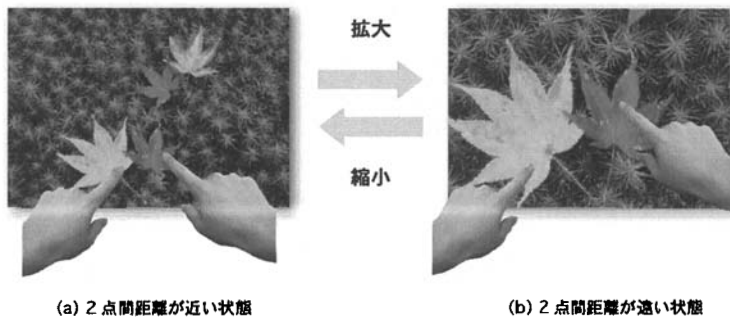


図 14 2 点間距離を利用した拡大/縮小 UI
Fig. 14 User Interface using the Distance between the Touched Two Points (Zoom In/Out UI).

6. おわりに

本研究報告では、直交する 4 つの端子間の抵抗値の変化に基づいて、精度良く複数点タッチを検出する手法について述べた。また、複数点タッチの検出精度について従来方式との比較評価を行った結果、複数点タッチが近接しているような場合に、従来方式よりも精度良く検出できることを示した。さらに、複数点タッチの検出に加えて、対向する 2 つの端子間の抵抗値の変化に基づいて、パネル上でタッチされた 2 点間距離を検出する手法について述べ、2 点間距離を利用したユーザ・インタフェースの例を示した。

今後は、2 点タッチを利用した直観的な使いやすいユーザ・インタフェースを実現することを目的として、ユーザビリティ評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 宮本, 中野, 他: 静電容量結合方式による高透過タッチパネルの開発; SHARP 技報, Vol.92, pp.59-63(2005)
- 2) 三谷, 他: タッチパネルの技術と開発; シーエムシー出版 (2004)
- 3) 奥村: タッチパネル装置; 特開平 8-241161(1996)