

二次元通信における位置計測法（第4報）

～柔軟通信シート上の位置計測とウェアラブルインターフェースへの応用～

○中妻 啓, 丹野 優一, 篠田 裕之 (東京大学)

Measuring Position in Two-Dimensional Communication (Fourth Report)

- Position Detection on Flexible Signal Transmission Sheet and
Application for Wearable Interface -

○Kei NAKATSUMA, Yuichi TANNO, and Hiroyuki SHINODA (The University of Tokyo)

Abstract: Two-Dimensional Communication is a communication model which enables wireless and contactless data and power transmission on a flat surface. We have developed a method for position and orientation sensing in the 2DC networks. Our previous works have achieved device localization with positional accuracy less than 4 mm and rotational angular accuracy less than 3 deg on a Two-Dimensional Signal Transmission (2DST) sheet. A long measurement time, however, remains as a problem. For an actual application, a real time positioning would be needed. In this paper, we report a new architecture of a positioning sensor for faster localization. Additionally, we propose a wearable interface utilizing a flexible 2DST sheet.

1. はじめに

我々はこれまで、二次元通信（Two-Dimensional Communication, 2DC）環境において高精度にデバイスの位置・方向を測定する手法について提案してきた。二次元通信は薄いシートに電磁波を局在させて伝搬させることで、ワイヤレスかつバッテリーレスな表面ネットワーク環境を実現する技術である。二次元通信シート（Two-Dimensional Signal Transmission Sheet, 2DST sheet）上に置かれたデバイスはシート内を2次的に伝搬するマイクロ波に特殊なカプラを介して結合し、データおよび電力の送受信を行う。シートとデバイス間に直接の電気的接触は必要なく、シート上のどこでも通信・電力取得が可能である[1]。

これまでの研究で、我々は二次元通信シート上で高精度に自身の位置(X, Y)および回転角 θ を測定するセンサの開発を行った。2DSTシートに導体パターンとして位置情報コードを埋め込み、これを静電容量センサアレイにより読み取ることで位置・方向を同定する。既にシート上で位置測定誤差4 mm以下、回転角測定誤差2 deg以下の位置検出を実現するセンサを実現している[2]。

本稿ではまず、これまで開発した位置・方向検出センサで1回の位置・方向計測に20秒程度を要するという問題を解決する高速化手法を紹介する。

また、高速化によりリアルタイムの位置検出が可能になれば二次元通信の信号・電力伝送と位置・方向検出機能を組み合わせて様々なインタラクティブシステムの開発が可能になる。ここで我々は、柔軟な二次元通信シートに注目している（Fig. 1）。柔軟二次元通信

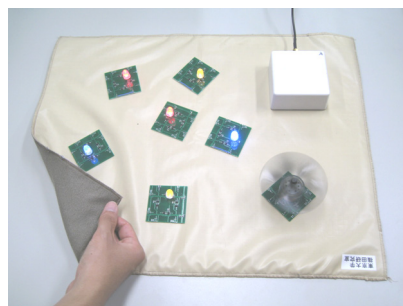


Figure 1 柔軟二次元通信シートによるデバイスへの無線電力伝送の様子。

シートは Fig. 2 に示す二次元通信シートの構造を柔軟な導電素材を用いて構成したもので、ウェアラブルコンピューティングへの応用が期待される。この柔軟シート上でデバイス位置・方向を検出することで、衣服上の位置情報に基づくインターフェース応用が可能である。本稿では、柔軟二次元通信シートにおいて我々の位置・方向検出手法が適用可能であるかの検討を行い、さらに提案するウェアラブルインターフェースシステムの概念を述べる。

2. 位置・方向検出の概要と高速化

我々が提案してきた二次元通信における位置・方向検出手法は Anoto デジタルペン[3]のペン先位置検出システムを参考にしている。

二次元通信シートは2層の導体層が誘電体層を挟む3層構造（Fig. 2）によりシート内のマイクロ波伝搬を可能にしている。3層の最上層はメッシュ構造を持つ導体層であり、シート上に置かれたデバイスが無配線・非接触で信号・電力を送受信することを可能にする。

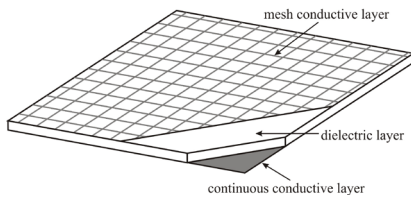


Figure 2 二次元通信シートの構造。最下部が導体層、中間層が誘電体層であり最上部はメッシュ格子構造を持つ導体層である。通信・電力取得をシート上で行うデバイスは最上部のメッシュ導体層上に置かれる。

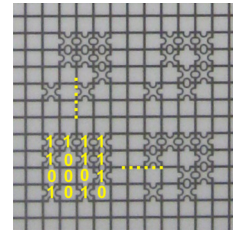


Figure 3 位置情報をコードした二次元通信シートの表面。形状を変形したマスと変形しないマスの配置により位置情報を2次元ビットパターンとして表現する。

我々は位置情報をこのメッシュ導体層に埋め込んでいる。従来の通信シートではメッシュのパターンは正方格子である。我々はこの格子パターンをシート上の位置を表すように変更している。このとき格子パターンは2種類のマス形状により形成される。すなわち各マスは1 bitの情報に対応し、複数のマスによる2次元ビットパターンが座標値(XY)を表す(Fig. 3)。

位置検出センサはシートに付与された位置情報を読み取り、自身のシート上の位置・回転角を決定する。我々は位置情報パターンの読み取りに静電容量測定を用いる。高密度な静電容量センサアレイはシートに付与された導体パターンを読み取ることが可能である。センサは読み取った位置情報パターンに基づき、自身のシート上の位置(XY)と回転角(θ)を取得する。

我々は以上の原理に基づき、位置情報を持つ二次元通信シートおよび位置・方向検出センサの開発を行った。このセンサは位置誤差4 mm以下、回転角誤差3 deg以下でシート上の位置・方向を取得する。

一方、我々が開発したセンサの問題として1回の計測に20秒程度かかることがある。センサは32x32=1024chの静電容量センサによるアレイであるが、各センサからの静電容量値の読み取りに5~20 msec程度を要しているためである。

Fig. 4(a)に従来のセンサの構成を示す。我々は静電容量値の読み取りに静電容量測定IC、AD7142 (Analog Devices社製)を用いている。32x32のアレイは列毎、すなわちセンサ32ch毎に測定回路基板に接続される。これをスレーブ基板と呼ぶ。各スレーブ基板には3つのAD7142が載り、32chのセンサを制御している。さらにAD7142の制御のためスレーブ基板は制御PCまたはマイコン(MC)に接続される。これをマスタと呼ぶ。マスタとAD7142間はI2Cバスで接続されるが、AD7142はI2C通信のアドレス長が2 bitであるため、各スレーブ基板とマスタ間にはマルチプレクサが挿入され、I2Cバスをスレーブ基板毎に切り替えて用いる。

一方、我々が新たに開発した位置・方向検出センサはFig. 4(b)に示す構成を持つ。従来型センサで計測時間がかかっていた主な原因が静電容量値測定にあった

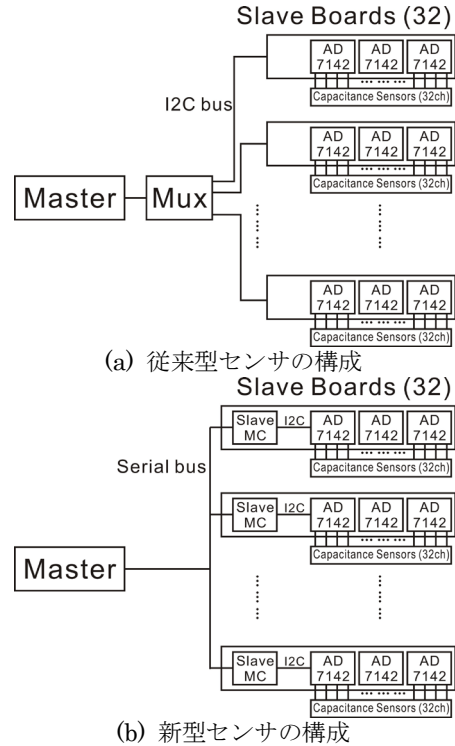


Figure 4 (a)従来型センサの構成。(b)新型センサの構成。

め、これを並列に処理可能な構成となっている。これを可能にしているのが、スレーブ基板上に載るマイコンである。これをスレーブMCと呼ぶ。スレーブ基板上に3つのAD7142が載る構成は従来センサと変わらないが、これらの制御は各基板上に載るスレーブMCが行う。すなわち、32枚のスレーブ基板で並列に静電容量値の読み出しが行われる。スレーブMCはそれぞれIDを持ち、マスタからの呼び出しに応じて測定データを送信する。

Fig. 5に従来型、新型のスレーブ基板を示す。新型センサと従来型センサの静電容量値読み出し時間の比較実験を行った。実験では1024chの静電容量センサからの出力の読み取りを10回ずつ行いその平均を取った。Table 1にその結果を示す。従来型は平均13.9 sec要したのに対し、新型では1.7 secまで高速化されることを確認した。

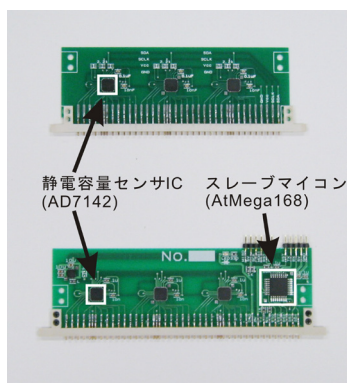


Figure 5 従来型センサ（上）と新型センサ（下）のスレーブ基板。

Table 1 従来型センサと新型センサの静電容量値取得時間の比較（10 試行の平均と標準偏差）。

	従来型	新型
平均 [sec]	13.9	1.7
標準偏差	0.16	0.02

3. 柔軟二次元通信シートにおける位置・方向検出の検討

第 1 章で述べたように、我々はこれまで開発してきた二次元通信におけるデバイス位置検出の応用として衣服を用いたウェアラブルインターフェースを考えている。既に柔軟な素材を用いた二次元通信シートは実現されているが (Fig. 1)、本章ではこれを位置検出に利用するための基礎的検討について報告する。

我々が提案する位置検出手法を利用するには、シートメッシュ導体層に Fig. 3 のように位置情報パターンを導入する必要がある。そこで、柔軟な導電布を用いて位置情報パターンを持つメッシュ導体層を製作しこのパターンが静電容量センサアレイにより読み取れるかを確認する実験を行った。

実験に用いたメッシュ導体層を Fig. 6 に示す。導電布をレーザカッターにより加工して製作している。本実験の目的は柔軟な導体布による位置情報パターンが読み取り可能であるかの確認であるため、加工を容易にするため 1, 0 のマス形状は完全に内部が導体で埋められている格子と、通常のマスの格子の 2 種類とした。導体布表面は木綿の布により覆って絶縁した。

Fig. 7 にこの布上に静電容量センサアレイを置いた様子および読み取った静電容量分布データを用いて推定したセンサの位置・方向を示す。この結果より柔軟なシートにおいても導体パターンと静電容量センサアレイを用いるこれまでの位置検出手法で位置・方向検出が可能であることを確認した。

一方、本実験では試行回数に対し読み取った静電容

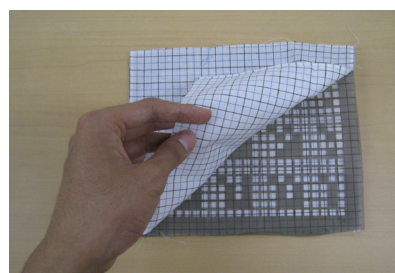


Figure 6 位置情報をコードした導電布。表面は木綿布により絶縁している。

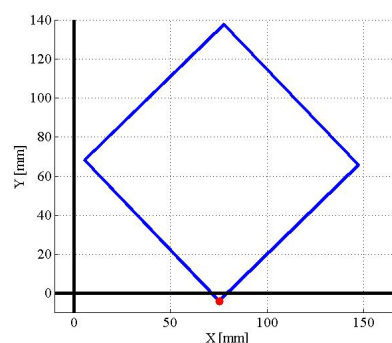
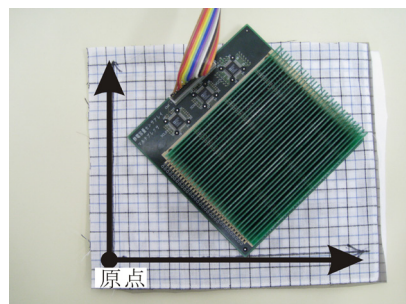


Figure 7 Fig. 6 の布上での静電容量分布の読み取りと、位置・方向推定結果。

量データから位置・方向を正しく推定できる割合は Fig. 3 に示すようなボード型のシートを使った場合に比べ低くなった。特に回転角が 0, 90, 180, 270 deg ではないときに回転角推定に失敗することが多かった。これの原因としては今回用いたパターンが Fig. 3 に示す従来の設計の 1, 0 のマス形状の違いを用いていないことがあげられる。回転角推定にはメッシュを構成する格子線のパターンを用いているため、格子内部を完全に導体で埋めるような今回のパターンでは格子線の識別が困難であったと考えられる。従来手法と同様のメッシュパターンを再現できるよう導電布の加工を工夫することで、従来通りの性能を実現できると期待される。

4. 布上の位置情報に基づくウェアラブルインターフェースの提案

さて、ここまで二次元通信における位置・方向検出とその柔軟シートへの適用について述べた。これらを基礎技術とした応用の一つとして、柔軟二次元通信



Figure 8 布上のデバイス位置情報に基づくウェアラブルインターフェースの概念図。

シートにより衣服を構成し、衣服上のデバイスが信号・電力の送受信、自身の位置・方向検出を行う環境を提供することでウェアラブルコンピューティングシステムを構築することが考えられる。特に我々は、衣服上のデバイス位置・方向に基づく入力インターフェースシステムに注目している。

携帯電話やスマートフォンなどの携帯デバイスは機器を小型化することで携帯性を向上させる一方、ボタンやタッチパネルもこれに伴い小型化するためそのままでは操作性は失われる。こうした懸念に対し、Harrison らは *Skinput* [4] という皮膚をインターフェースとして用いたシステムを提案している。これは機器の携帯性を保ったままで、インターフェースを皮膚上に拡張し操作性の向上を目指すものである。我々は皮膚ではなく衣服に注目し小型デバイスのインターフェースの拡張を考えている。

我々が考えるシステムは Fig. 8 のように小型デバイスを衣服上に当てることで機能する。デバイスは自身が当てられている衣服上の位置及び方向を計測する。デバイスの位置・方向あるいはその動的な軌跡により様々な機能を操作することを想定している。この入出力手法には以下のような利点が挙げられる。

まず、衣服は常に身に付けているものでありまた胸部、腹部など身体上の広い面積の部位を占有する。タッチディスプレイのように表示機能を持たないため詳細な入出力はできないが、この利点を活かし大まかな動作であっても比較的多くの機能を対応付けることが可能である。

次に、衣服の上にデバイスを当てることで潜在的な触覚フィードバックを得られるという利点がある。ユーザは衣服越しに身体の中のどの部分にデバイスが当たっているかを自身の触覚により知ることができる。通常のタッチディスプレイなどのインターフェースでは触覚フィードバックが無いいため操作には視覚による補助が必要であるが、提案するインターフェースでは歩行中や運転中など視覚による補助が困難な状況でも入力が容易であると考えられる。

最後に、この方法は衣服への機能の付加が少なくて

済む利点がある。本手法で用いるのは衣服上のデバイス位置情報のみであり、衣服上に位置情報コードが付与されていれば読み取り機能を持つデバイスにより衣服上で入力操作が可能である。印刷技術等を活用し布上へ導体あるいはインクによるパターンを付与することで、低コストでシステムの導入が可能である。

提案するインターフェースは以上のような利点を有し、視覚的補助を必要としない単純な入力操作に活用できると期待される。システムの実現手法は、前章まで述べた二次元通信における位置・方向検出システムの他、インクによる位置情報パターンの付与とスマートフォンなどに取り付けられたカメラによる方法なども考えられる。この際、赤外光透過インクなどを用いてコードを不可視化することもできる。

今後、実際に提案システムを実装し、その実用性、操作性について検討する予定である。

5. おわりに

本稿では二次元通信におけるデバイス位置・方向検出手法について、その概要を述べ開発した位置検出センサの高速化、布状柔軟二次元通信シートにおける位置・方向検出の検討について述べた。また、この技術の応用の一つとして布上の位置情報に基づくウェアラブルインターフェースについてその概念を述べた。

今後は、通信・電力伝送も可能な柔軟二次元通信シート上でのデバイス位置・方向検出の実現向けシートでの設計、システムの実装を進める。また、提案したウェアラブルインターフェースシステムの具体例の実装と、実用性・操作性についての評価を行うことを予定している。

謝辞

本研究は日本学術振興会特別研究員奨励費 (21-5508) の助成を受けたものである。

参考文献

1. Shinoda, H., Makino, Y., Yamahira, N. and Itai, H., "Surface sensor network using inductive signal transmission layer," In *Proc. of INSS 2007*, pp. 201-206, 2007.
2. Nakatsuma, K., and Shinoda, H., "High Accuracy Position and Orientation Detection in Two-Dimensional Communication Network," In *Proc. of CHI 2010*, pp. 2297-2306, 2010.
3. Anoto. <http://www.anoto.com/>
4. Harrison, C., Tan, D. Morris, D., "Skinput: Appropriating the Body as an Input Surface," In *Proc. of CHI 2010*, pp. 453-462, 2010.