

静電容量分布計測に基づく二次元通信シート上のデバイス位置計測

Position Estimation based on Capacitance Pattern Sensing on Two-Dimensional Communication Sheet

○中妻 啓、 牧野 泰才、 篠田 裕之 (東京大学)

○Kei Nakatsuma, Yasutoshi Makino, Hiroyuki Shinoda (The University of Tokyo)
{tsuna, yasutoc, shino}@alab.t.u-tokyo.ac.jp

This paper proposes a high-accuracy position estimation method on Two-Dimensional Communication (2DC) sheet. 2DC sheet is a wireless and battery-less ubiquitous environment. Devices can transmit/send data and electricity through the sheet without any wires. We fabricate a 2DC sheet with a position information pattern. Capacitance sensing is used to read the pattern. We confirm that the proposed method is efficient for position pattern sensing on the sheet.

Key Words: Self-Localization, Ubiquitous Computing, Sensor Network, Two-Dimensional Communication



Fig. 1 A demonstration of Two-Dimensional Communication is shown. In this demonstration, we have two PCs rigged with our special couplers placed on the 2D Communication sheet. The PC on the right is reading a movie file from the hard drive of the PC on the left wirelessly through the sheet. In addition, LEDs, fans and speakers acquire electricity from the sheet. Data transmission and powering are both realized wirelessly through the sheet.

1. はじめに

位置は時刻と並び、ものの状態や様々な現象を表現する上で重要な情報である。あらゆるセンサ情報は位置情報と組み合わせることでその有用性を増す。また、マウスに代表されるように位置情報は情報空間とのインタラクションに欠かせない。さらに、ロボットが自身の位置を知ること無く実空間で活動することが不可能であるように、位置はロボットあるいは人間の状態を知る上で非常に重要な情報である。

位置検出は上述したように様々な分野の応用を持つ。そのため、位置検出技術はセンサネットワーク[1]、ユーザインターフェース[2]、ユビキタスコンピューティング[3]、移動ロボット[4]など様々な手法が多く分野で提案されてきた。本稿では、ユビキタス社会を支える基盤技術となりうる二次元通信技術[5]に基づき、様々な応用に利用可能な広範囲、高精度のデバイス位置計測手法を提案する。

二次元通信(Two-Dimensional Communication, 2DC)技術は薄いシートを電磁波の伝送路とし、2次元面上で無配線の通信および電力伝送を可能にする新たな通信技術である[5]。二次元通信シート(2DCシート)上に置かれたユビキタスノードは無配線でシートを介した高速通信・電力取得が可能である(図1)。

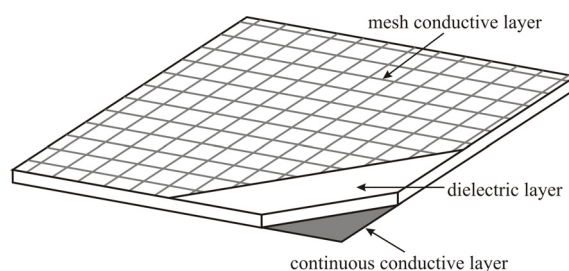


Fig. 2 The structure of 2D Communication sheet. The sheet has three layers. Two conductive layers sandwich a dielectric layer. The upwards-facing side of the conductive layers has a meshed pattern as shown in this figure.

2DCシートの構造を図2に示す。2DCシートは2層の導体層が誘電体層を挟む構造を持つ。シートに印加された高周波数の電磁波(マイクロ波)は、導体層間を2次的に伝搬する。このマイクロ波によりシートを介したデータ・電力伝送が実現される。導体層の一方はメッシュ構造を持つ。誘電体層を伝播するマイクロ波は、メッシュ導体層の表面近傍にエバネッセント波を形成する。シートに置かれた通信ノードは特別に設計されたカプラを持つ。このカプラにより、シート内を伝播するマイクロ波にエバネッセント波を介して結合する。このようにして、シート上に置かれたノード間の通信および電力伝送が実現される。

結合には直接的な電氣的接点を必要としないため、各ノードはシート上の任意の場所で通信および電力取得が可能である。また、データ・電力を伝送するマイクロ波はシート内とその近傍に拘束され、シート外部に伝搬することがない。これらの性質から二次元通信は以下の特徴を持つ。

- シート上であればどこでも配線の拘束を受けずに通信・電力取得が可能
- マイクロ波による悪影響が懸念される病院内などでの使用が可能
- 情報がシート内に閉じ込められるため安全性の高い通信が可能
- 高帯域を利用した高速通信に利用可能

現在、2DCシート上で54Mbpsのデータ伝送、10Wの電力伝送を実現している。

本稿で提案する位置計測手法は、この2DCシート上に置かれたデバイスのシート内における位置(XY座標値)と方向を

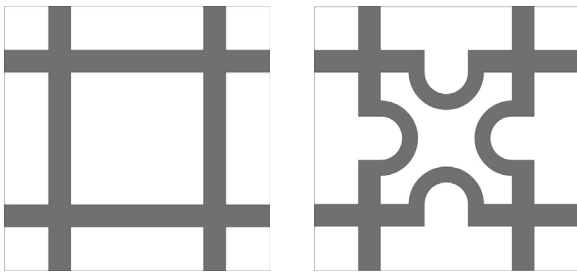


Fig. 3 Two types of blocks for representing one bit information. The left side figure shows a “plain block,” which corresponds 0. The right side figure shows a “marked block,” which corresponds 1.

高精度に取得することを目指している。開発に当たっては、前述した様々な応用に利用可能な仕様として

- 一意に位置・方向を計測可能な範囲：10 m × 10 m 以上
- 位置・方向計測デバイスのサイズ：10 cm × 10 cm 程度
- 位置計測の精度：1 mm 程度

を目標に設定し、これを満たすよう設計を行った。

提案手法では従来の通信・給電を目的とした 2DC シートに新たに位置・方向情報取得のためのマーカを付与し、このマーカのパターンからデバイスが自身の位置・方向を取得する。

本稿では、2 節で提案手法の概要について説明し、続く 3、4 節で提案手法を実現するための位置情報コーディング、位置情報計測について述べる。

2. 位置計測法の概要

我々の提案する手法では、シート上に配置した位置・方向情報を持つマーカを各ノードが持つセンサにより読み取り、ノードが自身の位置・方向を検出する。

マーカには 2DC シートを構成するメッシュ構造を持つ導体層を利用する。シートの持つ巨視的なインダクタンスを保存すれば、通信・給電特性に影響を与えずにメッシュのパターンは自由に変形できる。シート上の位置に応じてメッシュの形状を変形することでメッシュ形状が位置・方向情報マーカとなる。

以上のマーカの読み取りには、静電容量計測を用いる。シート上に置かれた静電容量センサはメッシュパターンによる導体の有無を検出する。小さなセンサを高密度に並べたアレイにより静電容量分布を計測することでメッシュパターンを読み取り、位置・方向情報を取得する。

位置情報を持つマーカの読み取りにより位置検出を行う手法はすでに先行研究があるが[6]、我々の提案手法の特徴はマーカの読み取りに光学的な方法を用いない点にある。電磁気的現象を用いてマーカを読み取ることで、実空間で多く発生する光学的な遮蔽に対しロバストな手法である。なお金属など電磁気的な遮蔽を本手法では想定していない。これは、このような遮蔽は 2DC シート上の通信・電力取得も同時に阻害しデバイス自体が機能しないためである。

3. 位置・方向情報コーディング

本節では、2DC シートに位置・方向情報をコーディングする具体的な手法について述べる。

2 節で述べたように位置・方向情報はシートのメッシュ導体層の導体パターンによって与える。我々は、メッシュの格子が形成する各マスビットとしてコーディングに利用する手

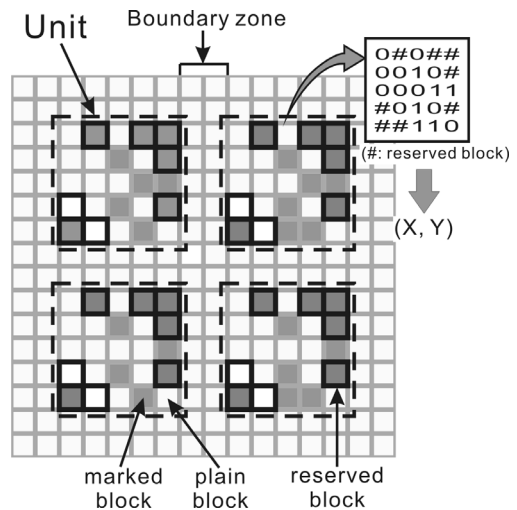


Fig. 4 Our position and orientation coding scheme on the 2DC sheet. Two dimensional bit patterns using plain blocks and marked blocks represent the position and orientation information.

法を提案している。図 3 に我々がビットとして用いる 2 つのマス形状が示されている。従来のシートで用いられていた正方形のマスをも plain block, メッシュの導体ラインが内側に曲げられた形状を持つマスをも marked block と呼ぶ。この 2 種類のマスをもそれぞれ 0, 1 に対応させ、その配置により位置・方向情報を 2DC シート上に 2 次元ビットパターンとして与える。なお、この plain block, marked block の形状は両者のインダクタンスの差が十分小さくなるように設計されており、従来用いられている 2DC シートと同様の通信・給電特性を持つ[7]。

提案するコーディング法の概念を図 4 に示す。位置情報は (X, Y) 座標値としてコードされる。1 つの (X, Y) 座標値は Unit と呼ばれる領域にコードされる。Unit の周囲には各 Unit を分離する Boundary zone が存在する。各 Unit は、その Unit のシート上における座標情報を持つ。位置・方向検出器は計測したシート上のビットパターンに含まれる Unit に付与された座標値を抽出する。さらに、読み取った Unit と検出器の位置・回転関係からより詳細な位置情報および方向情報を検出する。

このコーディング手法が、1 節で提唱した本研究の目指す 3 つの位置検出の仕様を満たすかを検討する。Unit を 5 マス × 5 マスのサイズにすると、1 Unit は 25 bit の情報量を持つ。全ての Unit は方向および自身の占める領域を指示するため、1, 0 の配置が決められた reserved block と呼ばれるマスを 8 マス持つ。そのため、座標値のコードには 17 bit が使われる。1 マスの大きさを従来 2DC シートの設計に用いられている 7 mm 四方とすると、17.7 m × 17.7 m の 2DC シートに一意のビットパターンを与えることができる。また、6.9 cm × 6.9 cm 以上の範囲のビットパターンを読み取ることで Unit 内の座標情報および回転角の取得が可能である。以上より、提唱した 3 つの目標仕様のうち

- 一意に位置・方向を計測可能な範囲：10 m × 10 m 以上
- 位置・方向計測デバイスのサイズ：10 cm × 10 cm 程度の 2 つを満たすことが示された。3 つ目の 1 mm の位置検出精度については、およそ 2.4 mm 以下の解像度でパターンを読み取ればビットパターンを復元できる。1 mm の精度の実現にはより細かい読み取りが必要である。

4. 位置・方向情報パターン計測

本節では、3 節で述べた 2DC シート上の位置・方向情報ビ

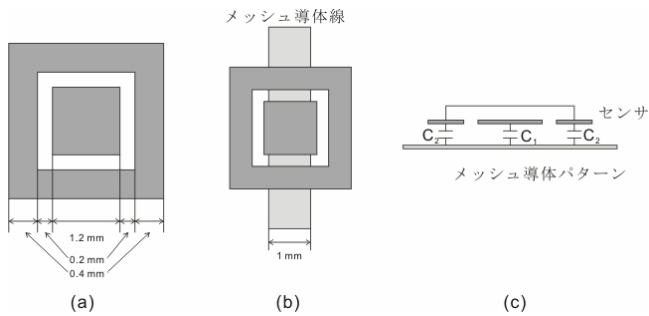


Fig. 5 (a) A sensor structure for capacitance sensing. (b), (c) A principle of a conductive pattern sensing based on the sensor shown in (a).

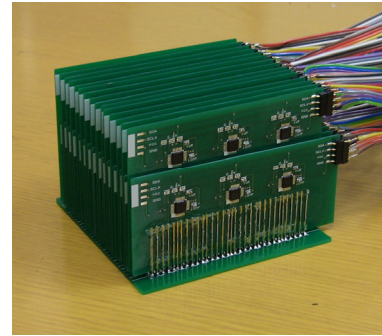


Fig. 6 A capacitance sensor array prototype. It has 900 discrete capacitance sensors which is shown in Fig. 5(a). Each sensor has a sensing circuit. Sensing data are sent to a PC.

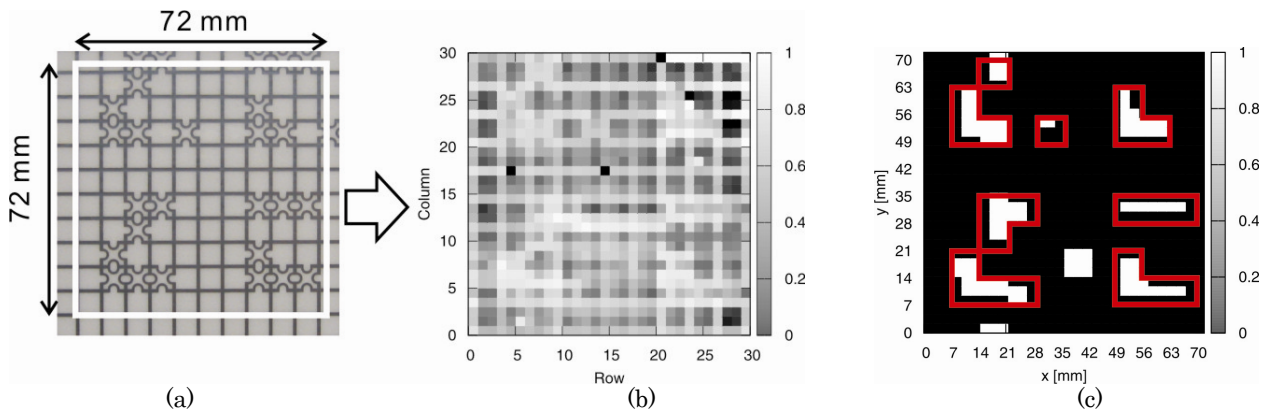


Fig. 7 Results of an experiment using the sensor array shown in Fig. 6. (a) Sensing area is shown as a white square. The sensor array was placed on the area. (b) is the output of the sensor array. Each sensor output is calibrated from 0 to 1. In addition, we processed the output data. We digitized the output pattern, and then manipulated an erosion process. The result is shown in (c). We emphasize positions of marked blocks with red lines.

ットパターンの計測について述べる。

2節で述べたように、位置・方向情報は plain block, marked block という2種類の形状のマス配置により2次元ビットパターンとしてシート上に存在する。我々は、シートのメッシュ導体層の導体パターンを静電容量パターン計測により読み取ることで、所望のビットパターンを取得する計測手法を用いる。我々が用いるセンサ構造を図5に示す。一つの静電容量センサは、正方形導体のパッチの周囲を導体を取り囲む構造を持つ。計測はこの2つの導体部の間で静電容量を測定することで行う。このセンサがシートの導体パターンに乗ると(図5(b))、センサと導体パターン間に容量が形成される(同(c))。これより、シート上の導体パターンのある場所と無い場所で測定される静電容量値に差が生じる。これを利用して、シート上のビットパターンを読み取る。

図6に試作した静電容量センサアレイを示す。このセンサアレイは、900チャンネルのセンサが2.4 mm間隔で配置されている。アレイ全体のサイズは72 mm角である。これを用いてシート上のビットパターン計測実験を行った。結果を図7に示す。

アレイを構成する各センサはそれぞれオフセットが異なるため、導体に乗ったときに1、それ以外の場合に0の出力となるようキャリブレーションを行っている。出力結果には marked block と plain block のパターンが見えるものの、メッシュを構成する導体線の影響も見られる。これを除去するため、閾値による二値化とエロージョン処理を試みた。閾値は手動で0.4を選択した。処理後の結果からは、おおむね所望のビッ

トパターンに一致するパターンを得ることができた。

5. おわりに

本稿では、二次元通信シート上のデバイスの位置・方向計測法を提案した。提案手法では、導体パターンを用いてシート上に位置・方向情報マーカを付与する。このパターンを静電容量センサアレイにより取得することで位置・方向を検出する。

位置・方向情報コーディングとしてシートのメッシュ層の格子のマスビットとした2次元ビットパターンによる方法を提案した。

このビットパターンの読み取りに向け、静電容量センサアレイを試作した。実験により、試作したアレイにより所望のビットパターンに対応する出力を得ることができることを確認した。

今後は、読み取ったパターンの処理手法をさらに検討し、より正確なビットパターン取得を目指す。また、図3の実験1,0のマス形状についても、より計測しやすいよう再設計を行う。最終的に、位置・方向を取得可能なデバイスの製作を行う予定である。

文献

- [1] L. Doherty, et al., "Convex position estimation in wireless sensor networks," in Proc. of IEEE INFOCOM 2001, 2001, pp. 1655-1663.
- [2] J. Rekimoto, et al., "DataTiles: a modular platform for mixed physical and graphical interactions," in Proc. of SIGCHI 2001, 2001, pp.

269-276.

- [3] F. Hoffmann and J. Scott, "Location of Mobile Devices Using Networked Surfaces," in *Proc. of UbiComp 2002*, 2002, pp. 281-298.
- [4] J. Wolf, et al., "Robust vision-based localization for mobile robots using an image retrieval system based on invariant features," in *Proc. of IEEE ICRA 2002*, 2002, pp. 108-119.
- [5] 篠田裕之, "素材表面に形成する高速センサネットワーク," *計測と制御*, vol. 46, pp. 98-103, 2007.
- [6] S. Saito, *et al.*, "Indoor Marker-based Localization Using Coded Seamless Pattern for Interior Decoration," presented at the *Proc. of IEEE Virtual Reality Conference 2007*, 2007.
- [7] K. Nakatsuma, *et al.*, "Position sensing based on electric field measurement on Two-Dimensional Signal Transmission Sheet," in *Proc. of 5th International Conference of Networked Sensing Systems (INSS 2008)*, Kanazawa, Japan, Jun., 2008, pp. 189-194.