

空間自由度の高いネットワーク基盤に関する検討

戸田 真志 秋田 純一

公立ほこだて未来大学 システム情報科学部

E-mail: {toda, akita}@fun.ac.jp

あらまし 個人がそのライフスタイルに合わせて自由にユビキタスシステムを楽しむためには、コンピュータやセンサ等、各デバイスの設置の自由度を確保しつつ、電源と通信路を保証できる敷設方式を容易に提供できる環境が重要となる。本稿では、ユビキタス基盤を衣類や壁と考え、そこに実在する 2 極（衣類の表裏等）を利用して電源供給とデータ通信を実現するネットワーク基盤 TextileNet について、その実現方式と応用の可能性について述べる。

Discussion about Flexible Network Architecture

Masashi TODA Junichi AKITA

School of Systems Information Science, Future University-Hakodate

E-mail: {toda, akita}@fun.ac.jp

Abstract In order for an individual to enjoy a ubiquitous system freely according to his life style, the new environment is required. This type of the environment can guarantee the flexibility of installation of each device, such as a computer, a sensor, and so on. On the other hand, the new environment can provide a power supply and a data-communications way stably. In this paper, we propose a novel concept of physical layer for implementing ubiquitous sensors and actuators network. We consider that clothing or a wall is a ubiquitous base, and we use the surface and the back of a base (clothing or a wall) as a power supply and a data-communications way. We call this architecture "TextileNet".

1. はじめに

ウェアラブル、ユビキタスといった言葉が注目を集めて久しい[1]。身の回りのあらゆるものにコンピュータ、各種センサ、アクチュエータ（ここでは、ディスプレイ等も含めた、コンピュータの出力デバイスの総称として用いている）が埋め込まれるユビキタスコンピューティングにおいては、それらの有機的な結合によって従来とは全く異なる新しいパラダイムの展開が期待されている。ウェアラブルあるいはユビキタスをキーワードとした新しいタイプのシステムも数多く提案されており、情報デザイン、ファッションあるいはアプリケーション等さまざまな観点から議論されている[2]。しかし、この種のシステムでは、基本的な事項としてコンピュータ、センサ等の敷設・接続方法が問題となる場合が多い。特に、電源とデータ通信路の確保は重要な問題として指摘されてい

る。ここで対象としているのは、機能を特化したウェアラブル・ユビキタスシステムではない。本格的なウェアラブル・ユビキタス社会を迎え、個人がそれぞれのライフスタイルに応じて自由にウェアラブル・ユビキタスを楽しむためには、各デバイス(コンピュータ、センサ等)の設置の自由度を確保しつつ、容易な敷設を可能とするような基盤システムが必要であると思われる。すなわち、各デバイスに必須の電源供給路と通信路を基盤として提供し、衣服に見立てた場合のプローチの如く、あるいは壁に見立てた場合の壁飾りの如く、各デバイスを自由にアレンジできる、という発想である。

本稿では、上記の考えを実現するための新しいコンピュータ・センサ・アクチュエータ間接続方式 TextileNet に関する基礎的検討について報告する。

2. 既存技術とその問題点

これまでも、ウェアラブルコンピューティングあるいはユビキタスコンピューティングを見据えたセンサ・アクチュエータの接続方式に関する研究や技術は数多く報告されている。まず、これらの既存の技術と我々の提案する接続方式との違いを比較してみる。

既存技術の代表的なものは無線通信を用いるものである。デバイス間でデータ通信を行うのに求められる距離が比較的近距离のものとしては、例えばRF タグ[3]が知られている。逆に求められるデータ通信の距離が比較的遠距離のものとしては、赤外線通信や Bluetooth、微弱無線機などがよく知られている。このうち、RF タグは電源供給も無線経路で行うことが可能なため、各端末側には電源が不要であるという利点がある。しかしその一方で、タグのリーダーとタグは、接触するほどの近距离にする必要があるため、端末側のセンサ・アクチュエータの配置の自由度は低いと思われる。赤外線通信や Bluetooth などの電波を用いる無線通信の場合、機器間の距離を比較的遠距離にすることが可能である。しかし、端末側には電源が必須となる。この電源としてバッテリーを用いる場合、バッテリー寿命の問題が不可避である。また AC 電源などを用いる場合には電源線を敷設しなければならず、結局のところ無線通信の利点が生かされていないと言えよう。以上ここまで述べたような問題を解決できる CoBIT[4]のようなデバイスも考案されている。CoBIT では、電力供給と信号伝送を共に赤外線を用いている。しかし、電力供給を赤外線で行っているため、端末側でセンサやアクチュエータが利用可能な電力には制限が大きいと思われる。

ウェアラブルコンピューティングでは、農業支援[5]、消防服、戦闘服、身体機能の医学的モニタ、ファッション(コミュニケーション)[6]など様々な研究事例が報告されており、様々なシステムが構築されている。しかし、上述したように現在のウェアラブルコンピューティングシステムでは、多くの場合、その目的や用途を限定している。すなわち、ウェアラブルとして搭載される機器の種類や設置場所は予め決められている場合が多く、ウェアラブル

機器の設置に関する自由度や拡張性に乏しいと思われる。スマートシャツ[7]は通信路である電線をインフラとして衣類に織り込み、そこに機器を自由に設置できる、という点で我々の目指すものに近いが、デバイスを接続できる空間的な場所が限定されている、という問題がある。導電性ファブリックという発想では、稲葉らの全身被覆型触覚センサスーツ[8]があるが、これは触覚センサの使用を前提としたある種のスイッチであり、我々の研究とは目的が異なると思われる。

3. 設計の指針と既存基盤との親和性

3.1. 既存基盤との親和性

本稿で提案する接続方式 TextileNet は、コンピュータ・センサ・アクチュエータ間を 2 本の信号線のみを使って接続し、ここに電源と信号を重畳することで電源供給とデータ通信を行うものである。これらは、ウェアラブル/ユビキタスを支えるネットワーク基盤としての利用を想定している。我々は、日常生活の中での衣服あるいは壁を「基盤環境」に見立てて、本方式を設計しているが、前述した 2 本の信号線は、衣服あるいは壁においては非常に容易に確保される。以下で簡単に説明する。

衣服と TextileNet

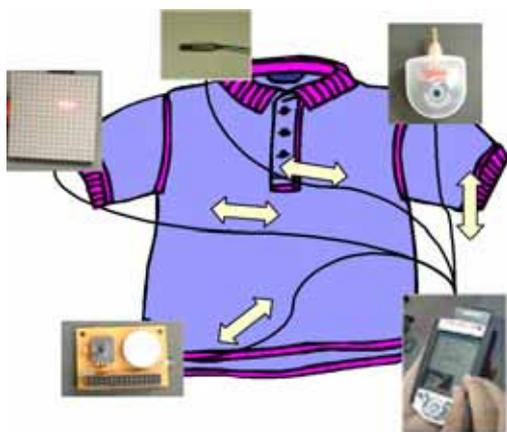
衣服においては、その表面と裏面を 2 つの独立した電源およびデータ伝送路と捉えることが可能である。この場合、衣服の任意の場所に表面・裏面に接続可能なピンバッジのようなデバイスを製作し、これを衣服に装着することで 2 本の信号線との接続が完了する。すなわち、衣服の任意の位置にセンサやアクチュエータを接続できることになる。この様子を図 1 にまとめる。図 1(a)は従来のウェアラブル環境であるが、TextileNet のアーキテクチャを採用することにより、図 1(b)のような効果が期待できる。

壁と TextileNet

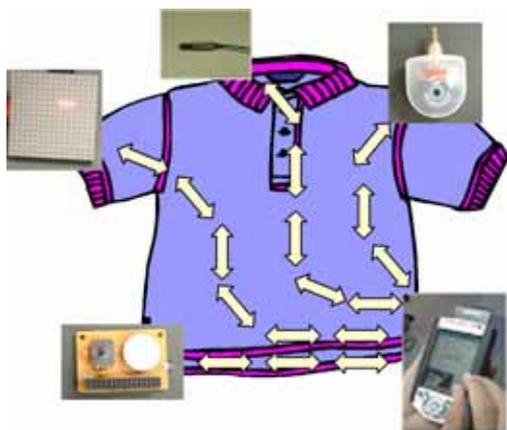
壁についても原則的には衣服と同様である。すなわち、壁材の表面と裏面を 2 つの独立した電源およびデータ伝送路と捉える。壁材自体が厚い場合は、表面近くに 2 層構造の平面電極を

埋め込む、という実現方法でもよいと思われる。いずれにせよこのような壁材に対して、例えば画鋲型のデバイスを製作し、それを壁に差し込むことで2つの電極と接続し、データ伝送を実現する。すなわち、壁の任意の場所にセンサやアクチュエータが接続できることになる。

上記のような手法によって確保された2本の信号線を利用し、ここに電源と信号を重畳することで電源の問題と空間配置自由度の問題を解決することができると考えられる。



(a) 従来のウェアラブルコンピューティング



(b) TextileNet を用いたウェアラブルコンピューティング

図 1 衣服と TextileNet

3.2. 設計の思想

上述した既存基盤の特徴を考慮しつつ、我々が提案する TextileNet について、その設計の指針を以下にまとめる。本稿では特に衣服を前提として指針を述べることにする。

(1) 電源やデータ伝送路の確保

各デバイスが個別にデータ伝送路と電源供給を準備しなければならないことが、「気軽なユビキタス」を阻害しているものと考えている。本 TextileNet では、デバイスの共通基盤とも言える電源供給とデータ伝送路のみを切り分け、衣服の表面を通じて提供することにより、各デバイス装着の気軽さを実現している。

(2) 空間的な自由度

前述した装着デバイスの種類に加え、各デバイスの装着場所も、ユーザのファッションセンスや拘りが反映される部分であり、最大限の自由度が求められる。例えば装着箇所がグリッド状に提供されているような仕組みの場合、「ユビキタスで楽しむ」というような目的の場合、その自由度が不十分であると考えられる。「衣服全体のどこでも装着可能」とする必要があるかどうかはアプリケーションに依存するが、ある一定の領域内での装着場所の自由度は十分に確保される必要がある。本 TextileNet では、衣服を平面電極として考えることで、装着場所の十分な自由度を確保している。

(3) データ通信の安定性

TextileNet で用いる衣服という通信路は、電気的には伝送路インピーダンスが不定且つ変化しうる、比較的大きい容電性リアクタンスをもつ伝送路とみなすことができる。伝送路の特性インピーダンスの変化に影響を受けにくいような送受信回路を検討する必要がある。

(4) 供給電源の容量

各種デバイスを自由に装着するためには、TextileNet により供給される電源の容量が比較的大きい必要がある。本 TextileNet では、電源供給を無線ではなく有線で行うことにより、供給電源容量の問題を回避している。

(5) 衣服としての基本性能

上述したような機能を有しつつも、衣服としての基本性能を損なわないことが必要である。ここで言う基本性能とは、

- ・ 十分な柔軟があること
- ・ 加工・縫製に際して特別な道具や経験を必要としないこと
- ・ 洗濯等メンテナンスが容易であること
- ・ 人体から出る汗や降雨などを受けても性能に問題がないこと
- ・ 色や素材、手触りなどの観点からファッションが楽しめるものであること

などが挙げられる。データ通信や電源供給を実現するためには衣服の表面抵抗が十分低いことが重要となり、それらの実現のためには、導電性塗料を衣服に塗布する方法や、衣服に金属線を編みこむ方法などが考えられる。しかしいずれの方法も柔軟性や耐水性など衣服としての基本性能は十分に得られるものではなかった。本稿では、後述する電磁波シールドクロスを用いることで、高い導電性と衣服としての基本性能を両立させている。

(6) 人体への影響

TextileNet で提供する機能を有する衣服を実際に人が着た場合に、感電などの影響が考えられる。これらの人体への影響についても検討を行う必要がある。

なお、大量のセンサ・アクチュエータとコンピュータとのインターフェース、あるいは、複数デバイスが同一の伝送路を用いることによるデータの衝突などについても検討を行う必要があるが、それらは別稿にて議論することとする。

4. TextileNet の実装方式

4.1. 電源・信号重畳の技術動向

前述したように、本 TextileNet は、コンピュータ・センサ・アクチュエータ間を 2 本の信号線のみを使って接続し、ここに電源と信号を重畳することで電源供給とデータ通信を行うものである。2 本の信号線に電源・信号を重畳する通信方式に関する技術は、FA (Factory

Automation) 分野などを中心にいくつか既存のものを見つけることができる。例えば LonWorks[10]、AS-Interface[11]、FoundationFieldBus/HI[12]などである。これらの技術の目的は、工場内などの広い範囲に分散するセンサやバルブなどのデバイスを 2 本の信号線で接続してネットワークを形成することであり、これらで決められた規格の一部として、電源を重畳することができるものが存在している。

また、建物内などに存在する 2 本組の電灯線を通信にも活用しようという技術もその開発が盛んである。これらは、一般に PLC(Power Line Communication)と呼ばれているが、これも 2 本の信号線に電源・信号を重畳する通信方式であり、交流電源のための電灯線に、電源に干渉されない 100kHz 程度の高い周波数で変調された信号を重畳するものである。しかし、建物内の電灯線が電波源となりうることから、法的な規制が無視できず、データの転送レートは 5kbps 程度と低いものが多い。

4.2. TextileNet の実装

前節で紹介したように、現在、様々な電源・信号重畳通信方式が提案されているが、この中から、本 TextileNet では、Echelon 社による LonWorks を利用することとした。

LonWorks は、Echelon 社によって開発されたビル内分散ネットワーク用の通信方式である。LonWorks は、OSI の 7 層モデルのすべてが実装されている数少ないプロトコルであり、その実現には、NeuronChip と呼ばれる 2 つのプロセッサを内蔵する専用のプロセッサを用いる。また、通信の下位プロトコルはほぼ NeuronChip 内に用意されているため、アプリケーション層レベルのプログラム開発のみでデバイスの開発が可能である。

LonWorks での物理層をサポートするトランシーバにも複数種類が存在するが、これらの中で電源と信号を重畳できるものとしては、ツイストペア線用の LPT-11[13]と電灯線用の PLT-22[14]が挙げられる。今回は通信レートが 78kbps と比較的高速である LPT-11 を使用し、これを衣服の 2 面の電極に対して用いること

とした。設計した伝送回路のブロック図を図2に示す。LPT-11は前述したように、本来はツイストペア線用のトランシーバであるため、平面電極に適用する場合、転送ができない可能性も否定できない。ただし、今回実施したデータ転送の基礎的実験では、後述する30cm×30cm程度の電磁波シールドクロスを用い、問題なくデータの送受信が行われることを確認した。

なお用いたトランシーバLPT-11でデバイスに供給可能な電力は500mW程度である。

本TextileNetで対象としている衣服や壁面といった通信路は、電気的には伝送路インピーダンスが不定且つ変化しうる、比較的大きい容電性リアクタンス分をもつ伝送路とみなすことが可能である。伝送路の特性インピーダンスの変化に影響を受けにくいような送受信回路およびその上位のプロトコルは別途検討する必要があり、今後の検討課題としたい。また、衣服は単なる平板な平面電極ではなく、状況によって変化し且つ複雑な形状を示す。このような場合は、データ転送のエラーが発生することが考えられる。電極の形状と通信品質との関連も今後の検討課題である。

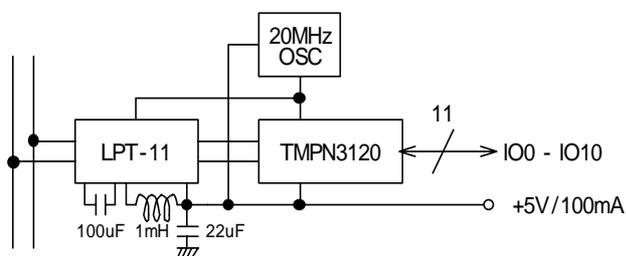


図2 LPT-11を用いた伝送回路

5. 導電性衣服の検討

提案したTextileNetを効果的に動作させるためのデバイスについても併せて検討を行った。実装デバイスを衣服と考えた場合、

- ・ 表面抵抗値が低いこと
- ・ 既成の布と同程度の柔軟性や加工の容易さが確保されること

などが必要と考えられる。それらを満足させるものとして、今回は電磁波シールドクロスを用いた。これは、ナイロン糸に銀をコーティン

グし、メッシュ状に編み上げたものである。表面抵抗値は $0.5 \text{ } \Omega/\text{sq}$ 以下と極めて低い値を示し、導電路として十分な性能を保持していると考えられる。また全面がシースルーの形態を示すため、衣類としての仕立てが比較的容易である。加えて、本導電性繊維は洗濯も可能である。ただし、洗濯の繰り返しに対する性能劣化については、今回は計測していない。図3に今回用いた電磁波シールドクロスを示す。



図3 電磁波シールドクロス

本デバイスを用いてテストベッドとしての衣服を設計し、現在製作中である。絶縁層として通常の布を用い、その両面に電磁波シールドクロスを縫い付けることとする。両面の電磁波シールドクロスの絶縁性を確保するために、絶縁層は2枚の布としている。

6. 通信実験

本デバイスを用いた通信基盤の評価を行うために、実際に通信実験を行ってみた。簡易な布の両面に電磁波シールドクロスを両面テープで接着し、クロスを経由して見立てたうえで、通信状況を試験した。実験の様子を図4に示す。

また、実験の結果を図5に示す。図5はオシロスコープ画面のスナップショットであるが、上が送信信号の波形、下が受信信号の波形である。通信レートは78kbpsである。図5より、問題なく通信ができていることがわかる。



図 4 通信実験の様子

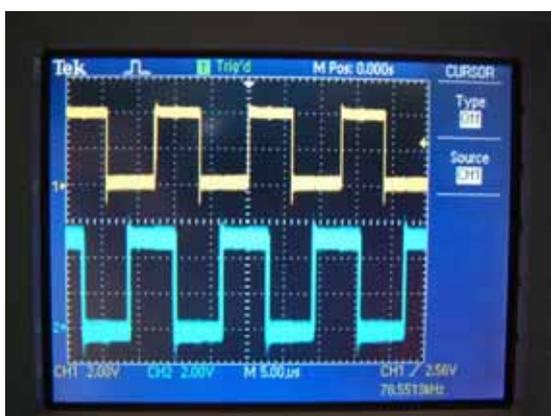


図 5 実験結果(オシロスコープのスナップショット)

7. おわりに

本稿では、ウェアブル・ユビキタスコンピューティングにおいて、空間に分散したコンピュータやデバイス間の通信方式として、2線の信号路に電源と信号を重畳することで電源の問題と空間配置自由度の問題を解決できる通信方式を提案し、その実装方法について検討を行った。具体的には、ウェアラブルコンピューティングでは衣服の表と裏を、建物内のユビキタスコンピューティングでは壁の表と裏をそれぞれ電極とし、ピンバッジや画鋏のように差し込むことで実装が完了する方式を提案した。

現在、衣服をモチーフとした通信デバイスを設計し、製作を行っているところである。通信デバイスの電気的特性および衣服としての特性の評価は今後の課題である。また、TextileNetアーキテクチャ上で動作するピンバッジ型デ

バイス(センサ等)の製作と、それらを用いたアプリケーションの開発も順次進める予定である。

謝辞

本研究は、情報処理振興事業協会・平成15年度未踏ソフトウェア創造事業の助成を受けている。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] Mark Weiser, "The computer for the 21st century", Scientific American, Vol.265, No.30, pp.94-104, 1991.
- [2] 志水英二, "ウェアラブルの未来は「服コンピュータ」にあり", ネイチャーインターフェイス, Vol.2, No.5, pp.24-27, 2002.
- [3] 社団法人日本自動認識システム協会 RFID部, <http://www.aimjapan.or.jp/bkindex/rfid/rfindex.html>
- [4] Takuichi Nichimura, Hideo Itoh, Yoshinobu Yamamoto and Hideyuki Nakashima, "A compact battery-less information terminal (CoBIT) for location-based support systems", In Proceeding of SPIE, number 4863B-12, 2002.
- [5] 中尾太郎, 寺田努, 塚本昌彦, 宮前雅一, 庄司武, 岸野泰恵, 義久智樹, 西尾章治郎, "ウェアラブル型ルールベースシステムを用いた農作業支援システム", 情報処理学会第65回全国大会講演論文集, Vol.5, pp.211-214, 2003.
- [6] 岸野泰恵, 塚本昌彦, 義久智樹, 西尾章治郎, "ファッション・コミュニケーションのためのLEDを用いた装着型デバイス", 情報処理学会第65回全国大会講演論文集, Vol.5, pp.191-194, 2003.
- [7] Sensatex 社: Smart Shirt System, <http://www.sensatex.com/smartshirt/index.html>
- [8] 稲葉雅幸, 星野由紀子, 井上博允, "導電性ファブリックを用いた全身被覆型触覚センサスーツ", 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.1, pp.80-86, 1998.
- [9] Maxim Integrated Products, Inc.: 1-wire and iButton, <http://www.maxim-ic.com/1-Wire.cfm>
- [10] Echelon 社: <http://www.echelon.com/>
- [11] AS-Interface: <http://www.as-interface.com/>
- [12] FieldBUS ONLINE: <http://www.fieldbus.org/>
- [13] LonWorks LPT-11 Link Power Transceiver User's Guide.
- [14] LonWorks PLT-22 Power Line Transceiver User's Guide.