

生体計測のための導電布を用いたウェアラブルセンサネットワーク

A Wearable Sensor Network Using Conductive Textiles for Biomedical Sensing

野田聡人¹
Akihito Noda

篠田裕之²
Hiroyuki Shinoda

南山大学 理工学部¹

Faculty of Science and Engineering, Nanzan University

東京大学 大学院新領域創成科学研究科²

Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

1 はじめに

脈拍や活動量を日常的に計測・記録することが可能なスマートウォッチなどのウェアラブルデバイスが普及してきている。腕時計型のデバイスでは計測箇所が手首の1か所のみとなるが、センサを分散配置した衣服型の「着られる」デバイスは多点での計測を可能にする。病院で行うような多点での心電計測や、四肢に取り付けた加速度センサによる動作解析などの用途が期待できる。

本稿では、衣服上に分散したバッテリーレスのセンサへの給電および通信を、個別の配線なく実現するための一手法を提案する。

電源の確保と通信の無配線化のための有効な手法の一つは、各センサにバッテリーを搭載したうえで電波による無線通信を利用することである。しかし、スマートウォッチのような回路規模のデバイスの一部として無線通信機能を実装する場合とは異なり、単一の機能しか持たない個々のセンサ自体に無線通信機能を持たせることは、実装面積や消費電力の観点で無線通信モジュールの方が大部分を占めることになり、必ずしも合理的ではない。また、無線通信は有線系よりもより多くの外的要因の影響を受けるためデータ欠落・再送などが増加し、データ伝送の即時性が損なわれ、前後関係が乱れることもある。これらのデータを時間軸に沿って正しく整列するには、各センサノードが保持する時計を同期した上で各データにタイムスタンプを付与するなどの対策を必要としハードウェア的にも追加のリソースを必要とする。

一方、銀メッキを施した繊維や銀粒子を含むインクなど、通常衣服の縫製に使用すると同程度の柔軟性と高い導電性を有する材料および製造技術・印刷技術の登場により、これらを利用することで着用性を損なわずに衣服に電子回路を形成することが可能になってきている [1, 2]。しかし、通常硬いプリント回路基板上に電子回路を形成すると同様のアプローチで、ただ柔軟な材料に置き換えて回路を形成することは必ずしも適当ではない。衣服では表面同士の接触（関節の内側や、腕と胴体との間など）が頻繁に生じるため、本来異なる電位であるはずの回路上の導体トラック間で短絡を生じやすい。また繊維材料の性質として繊維が毛羽立つこともあり、導電性の毛羽立ちを介して短絡するリスクもある。

したがって、プリント回路基板における一本一本の銅箔パターンを導電糸で置き換えるような方法ではなく、本稿で以下に提案するような面的な伝送路を形成するこ

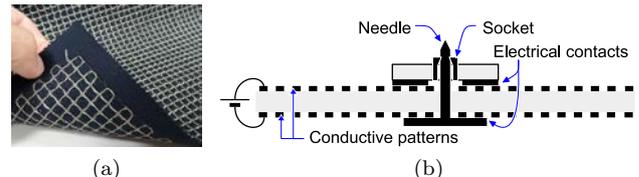


図 1: (a) 両面に導電糸でメッシュパターンを形成した両面導電布. (b) 両面導電布にタック型コネクタを突き刺した断面図. 本図では物理素子を実装する基板 (PCB) 側にソケットを実装する例を示している。

とが有効である。布地のような二次元面的な素材には、表と裏という二つの面が必ず存在するため、これら2面を独立した導体面として一对の伝送路を形成することは合理的である。すなわち、2面間に電圧を印加して電力と信号の伝送を行うことができる。この場合、同一の面上の導電パターンはすべて同電位となり面内での短絡は問題ではなくなる。

導電布の表裏2面（2線）で電力および信号のすべての伝送を実現するには、何らかの多重化方式を用いる必要がある。基本的に直流で給電しつつ信号伝送の期間のみ電源を遮断する時分割多重化 (TDM) [3], 直流での給電と同時に高周波で信号を送る周波数分割多重化 (FDM) [4] が考えられる。本稿では、電源として直流の伝送と同時に複数チャンネルの通信用の RF 信号を送る方式 [5] を用いて、Inter-Integrated Circuit (I²C) によるシリアル通信でセンサデータを伝送する方式を示す。

2 導電布とタック型コネクタ

提案手法では導電繊維を用いた両面導電布と、この布に突刺して両面で接触するタック（鉸）型のコネクタを用いる。導電布およびコネクタは特定の構造のみに限定されるものではなく構成方法には自由度があるが、原理的な要求は、布上に2枚の互いに絶縁された導電面を形成し、コネクタがそれら2面に接触導通することである。布およびコネクタの構造の一例を図1に示す。同図に示す導電布は、非導電性の基布の両面に導電糸で正方形メッシュパターンを形成したものであるが、その他の周期的あるいは非周期的なパターンを形成しても良い。導電糸でなく導電性インクのプリントでも良く、用途に応じて許容される抵抗や必要な伸縮性および製造コストなどから適当なものを採用する。

この導電布に、図1(b)に示すように一方の面からタック

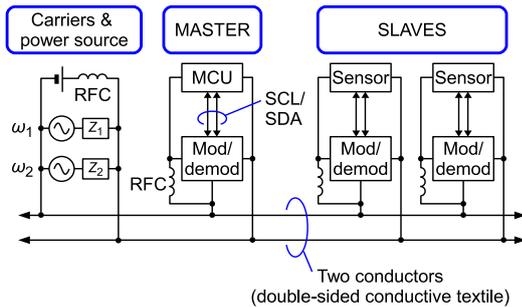


図 2: 単一伝送路上での 2 線式シリアル通信 (I²C) の信号伝送。

ク型コネクタの針を突き刺し、反対側の面から針をソケットで受ける。針とソケットはともに導電性を有し、嵌合状態においてこれらは導通している。センサ素子を実装したプリント回路基板に対し、針とソケットのいずれを配置することも可能である。回路基板の導電布と接触する側に露出させた導電パッドおよび針・ソケットを通して、基板は布の両面とそれぞれ導通する。なお、針を貫通させた際に両面を短絡させないような対策が必要である。

3 周波数分割多重による 2 線式シリアル信号伝送

I²C は 2 線式のシリアル通信方式であり、クロック (SCL) およびデータ (SDA) の 2 線をすべてのデバイスで共有して通信する [6]。

提案手法では、導電布上での周波数分割多重方式による信号伝送 [5] を適用し、これら 2 線の信号により 2 つの周波数の異なるキャリアをそれぞれ変調して同時に伝送する。図 2 にブロック図を示す。マイクロコントローラ (MCU) およびセンサ IC は I²C インタフェースを備えたものを使用し、変復調回路を外付けすることで導電布上での給電・通信に対応する。IC の I²C インタフェースの SCL・SDA ピンを直接振幅変調 (ASK) 用の回路として利用するため、データをバッファリングする追加のメモリや演算機能は必要としない。ASK 復調回路は単純な RF 検出 IC とコンパレータの組み合わせで実装できる。

図 1 と同様の導電布を用いて縫製したジャケットに、提案手法の変復調回路を搭載した複数の温度センサモジュールを実装した例を図 3 に示す。SCL および SDA の伝送にそれぞれ 20 MHz および 50 MHz のキャリアを使用し、I²C の標準的な伝送スピードである 100 kHz のクロック周波数でのデータ伝送を実現している。温度センサに限らず、I²C シリアル伝送に対応した各種センサ IC を同一の変復調回路と組み合わせ利用可能である。

4 まとめ

本稿では、生体計測用のセンサを埋め込んだ衣服を実現するにあたり、導電布を介して各センサへの給電と信号の伝送を可能とする手法を提案した。通常の衣類の縫製に用いるのと同程度の柔軟性を有する導電糸や、スクリーン印刷あるいはインクジェット印刷可能な導電インクなどを用いることで、衣服上に柔軟な伝送路を形成す

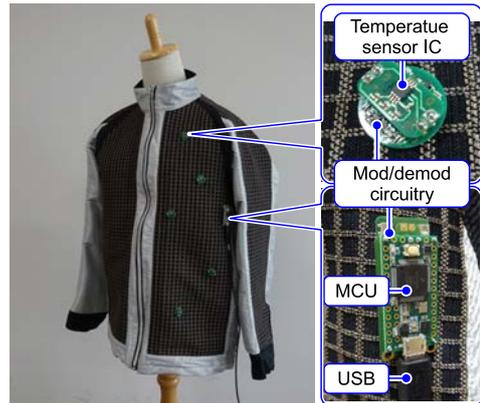


図 3: 温度センサを分散配置したジャケットの実装例。

ることは可能となってきている。本稿では衣服の表と裏という 2 面を独立した導電面として、2 面 (2 線) のみで給電および通信を行う手法を提案した。I²C コンパチブルとすることで、市販の多くの I²C 対応デジタル出力センサ IC をそのまま利用可能であり、またマイクロコントローラに実装するソフトウェアライブラリ等もそのまま利用可能である点が大きな利点である。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 17H04685 の助成を受けて行われた。導電衣服等の材料の一部は帝人株式会社の提供による。

参考文献

- [1] L. Buechley, and M. Eisenberg, "The LilyPad Arduino: Toward Wearable Engineering for Everyone," IEEE Pervasive Computing, vol.7, no.2, pp.12-15, April 2008.
- [2] Y. Kim, H. Kim, and H.J. Yoo, "Electrical characterization of screen-printed circuits on the fabric," IEEE Transactions on Advanced Packaging, vol.33, no.1, pp.196-205, Feb 2010.
- [3] J. Akita, T. Shinmura, and M. Toda, "Flexible network infrastructure for wearable computing using conductive fabric and its evaluation," 26th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, p.65, 2006.
- [4] E. Wade, and H.H. Asada, "Cable-free wearable sensor system using a DC powerline body network in a conductive fabric vest," IEEE EMBC 2004, vol.2, pp.5376-5379, Sept. 2004.
- [5] A. Noda, and H. Shinoda, "Frequency-division-multiplexed signal and power transfer for wearable devices networked via conductive embroideries on a cloth," 2017 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Proceedings, pp.1-4, TUIF1-21, Hawaii, USA, June 2017.
- [6] NXP Semiconductors, "UM10204: I2C-bus specification and user manual, Rev. 6," , 2014.