

# DataPipettor: 近接無線通信を用いたタッチ動作に基づく情報転送インターフェース

陶しょうい<sup>1</sup> 門本淳一郎<sup>1</sup> 入江英嗣<sup>1</sup> 坂井修一<sup>1</sup>

**概要:** ウェアラブルデバイスや組み込みデバイスを含む多様なコンピューティングデバイスが我々の生活空間へと遍在するようになり、そうしたコンピュータ間でデータを共有・転送を行うことは日常的に行う行為の一つとなっている。本稿ではデータをタッチインタラクションに基づく直感的な動作で移動させることを可能にする情報転送インターフェース、DataPipettorを紹介する。DataPipettorでは近接無線通信を利用した無線通信を用いており、近接したチャンネル間で高速なリアルタイム通信を行い、タッチセンシングとデータの送受信を同時に実現する。また近接無線通信の特徴によりインターフェースは小型に構成され、ウェアラブルなデバイスや小型機器のインターフェースへと利用できる。インターフェースを装着したユーザーによるタッチインタラクションを介することで、直感的なデータの転送が行える。またインターフェースを装着した人同士が、物理的にものやりとりを行うようにデータを受け渡すことができる。本稿では、無線通信インターフェースの開発と実測評価をとり、今後の展望を示す。

## 1. はじめに

テクノロジーの進歩によるコンピュータデバイスの小型化・多様な形態化、また市場の成長による低価格化に伴い、我々の誰もがコンピュータを持つようになっただけでなく、生活空間の至るところコンピュータが存在するようになった。その中で例えば手元のタブレット端末で手書きしたノートをPCで整理する、スマートフォンで撮った写真を他人と共有する、といったように一つのデバイス内にある情報を他のデバイスと共有して利用したいことが多くなっている。しかしコンピュータの数やデータの転送の手段が増加していくと共にその工程は複雑になってきている。クラウドサービスやWi-Fi, Bluetoothの技術を活用した同社製品間の連携といったように様々な手段が提供されている。しかし、これらの方法はユーザーに一定のリテラシーを要求するか、事前に複雑な設定を行い環境を用意する必要がある。これは物理的には目の前にあるようなコンピュータ間の移動に対しても同様の操作が必要であり、特に流動的な環境での突発的な利用を想定したときにユーザーにとっては非直感的な作業が必要となる。このようなペアリングや付随する作業に囚われず、身体的な実感かつ空間的な配置に従いユーザーが情報の転送を行うことができれば、より直感的な体験へと繋がる。

本稿では近接場の誘導結合通信を活用したタッチ動作で

利用できる情報転送インターフェースを提案する。物理層の特徴から、150Mb/sの高速な通信が可能であり、かつ接触に基づいてペアリングと通信が可能となる、直感的に情報転送を行えるインターフェースを提案する。

## 2. 関連研究

### 2.1 直感的な情報転送

Weiserは近未来のコンピューティング環境で、多種多様なコンピュータが協調しあう世界としてUbiquitous Computingというビジョンを述べている[13]。実際、我々の周りには様々なコンピュータが存在するようになっていることに加え、形状自在なコンピュータの研究も行われており[5]、よりコンピュータが生活空間の細部まで入る未来が予見される。このように様々な場所にコンピュータが存在するようになったとき、ユーザーが扱う複数のコンピュータ間でどのように情報のやり取りを行うは重要な要素であり、コンピュータの数が増えるにつれてより直感的な方法が求められてきた。ここでは複数コンピュータ間での直感的な転送手法に取り組んでいる研究について紹介する。

Pick-and-Drop[12]ではMulti-ComputerUIという概念を提唱し、ディスプレイ上のアイコンやファイルといったデータをペン型のデバイスでタッチすることで”Pick”し、移動先のデバイスで再度タッチし”Drop”することでデータの転送を行うインタラクションを提案している。Toss-it[16]ではユーザーが手に持ったモバイル機器で”投

<sup>1</sup> 東京大学

げる”、”振る”といった動作を行うことで情報をボールのように扱いに着地点にいるユーザーへと届ける。Memory Stone [4] では現実世界でのモノの移動をデジタルデータで行うというコンセプトで、マルチタッチデバイス上にデータの具現化した形として”記憶の石”を表示し、ユーザーはそれを摘まみ手形状を維持したまま他のデバイスに触れることでデータの移動を行う。BYO\* [3] は同様にマルチタッチデバイスを用いて、指の代わりに一意識別可能な導電性のカスタムトークンを持つ3D プリントされたタンジブルなオブジェクトを使う。FlashTouch [11] は静電容量式タッチが可能かつ光量を検知するトランジスタを内蔵する専用のスタイラスペンを用いることで、画面上から放出されるデジタル化された可視光線を読み取り、双方向通信を実現している。それによってユーザーはディスプレイからペンに取り込んだデータを物理的に移動させ、また別のデバイスへと渡すことができる。Em-comm [14] や Shadow [15] では、電子機器の発している電磁放射を活用し、I/O ポートに触れるなど特定の動作を行わせることで放射する電磁波を適切に変調し目的のデータをエンコードすることで通信媒体として利用している。エンコードされた電磁放射はアンテナを持つスマートフォンや専用のリストバンド型デバイスで受け取りデコードされ利用される。CapNFC [2] は容量結合に基づく近距離無線通信を用いることでユビキタス環境でのデータの通信を行うことを提案している。接触のインタラクションから共通のグラウンドを確保しつつ、オブジェクトにマイクロコントローラを埋め込み信号を出力することで単一方向の情報伝送を行い、コンテキスト内で行って動作に応じたデータやりとりを可能にする。

以上述べたような既存研究では、我々が行う日常の動作や文脈に合わせる形で、データ転送を行うことで直感的な体験を提供している。一方でこれらの多くが bluetooth や Wi-Fi といった比較的速度を持つ手法下においてペアリングが確立していること前提としている。そして実際にやり取りされる対象となる一定の容量を持ったデータはその手法の元で転送される。より流動的な場所や選択肢として多数のデバイスが存在する場合、ユーザーはペアリングをしないおしたり、インタラクションを行う前にネットワークへ接続したりという非直感的な操作が行う必要が生じてしまい、不便となる。

## 2.2 近接無線通信

近接無線通信とは主に半導体チップ間の高帯域接続を目的に研究されてきた技術である [1,8,9]。これまでに、分割して実装された半導体チップ間接続手法としての応用 [6,10] や、摩耗の生じない無線コネクタとしての応用 [7] が成されてきた。近接無線通信では、近接電磁界を活用して、数十ミクロンから数ミリまでといった短距離のみに、広い周波

数帯域を持ったパルス信号を無変調で伝送する。結合の方式としては、キャパシタを使ったものやインダクタを使ったものが存在する。このうちキャパシタを用いるものは周囲の誘電体の影響によって通信特性に変化が生じるため、ウェアラブルインタフェースへの応用は困難である。一方、インダクタを用いた手法においては、周囲材料の透磁率が一定ならば通信特性に大きな変化は生じない。我々はこのインダクタを用いた近接無線通信を活用することで、データ通信とタッチセンシングを同時に実現し、小型で薄型のウェアラブルインタフェースを作成する。主にチップ間の無線通信技術として利用されてきたことから、近接無線通信の送受信機はこれまでシリコンチップ内部の金属配線を用いて実装されてきた。我々は近接無線通信の送受信回路をフレキシブル基板の配線を用いた mm/cm スケールのコイルとディスクリット部品を用いて実装し、無線通信が可能であることと通信性能の実測評価を示す。

近接無線通信と同様に近傍電磁界を利用する無線通信手法として、HF 帯 (13.56MHz) の RFID が存在する。HF 帯 RFID では搬送波を利用した無線通信を行っており、電磁波の波長に対応した共振を発生させるための高い Q 値のコイル設計やキャパシタの付加が要求される。結果として、小型な機器への適用は困難である。一方、近接無線通信では広い帯域を持ったコイルを利用して、NRZ(Non-return-to-zero) 信号を無変調で伝送する。それゆえ、Q 値が低く小型なコイルを用いて通信が実現可能である。

## 3. DataPipettor

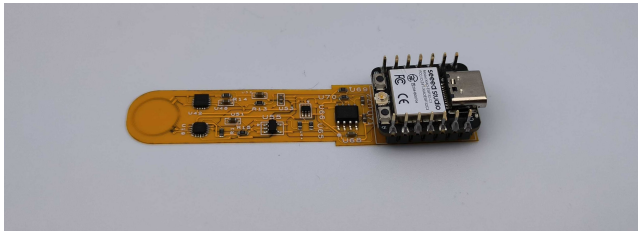
### 3.1 提案

本研究では近接無線通信を利用し、接触・タッチ動作に基づいて情報転送を行うインターフェースである DataPipettor を提案する。ブロードキャストは行わず、近距離でのみ通信が確立する特徴から接触=通信、離す=切断という直感的なペアリング体験が実現できる。また高速な通信が可能となり (今回の実装では 150Mb/s)、他の通信手法に頼ることなく情報転送を完遂できる。

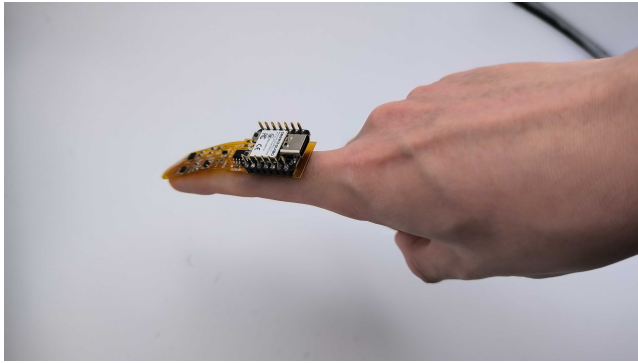
本稿ではユーザーへ取り付けるインターフェースを備えたウェアラブルデバイスを作成し、動作と直感的な情報転送というコンセプトの検証を行った。

### 3.2 実装

図 1a に設計開発し DataPipettor のプロトタイプの外観を示す。DataPipettor は幅 1.6cm、長さ 7cm、厚さ 0.1cm のフレキシブル基板によって実装されており、ユーザーは図 1a のように装着することで、他のインターフェースを備えたデバイスや人との間でタッチ動作によって直感的なデータ転送を行うことができる。今回はフレキシブル基板としてのみ作成を行っているが、コンピュータのインタフェースとして利用する際はハード基板として作成したり



(a)



(b)

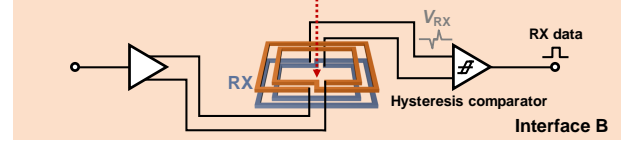
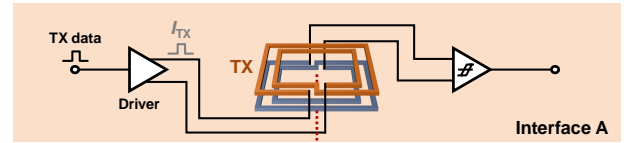
図 1 Overview of the DataPipettor prototype

組み込んだりすることも当然可能である。システムは大きく分けて、実際タッチするインタフェース部となる送受信コイル、回路、記憶装置を備えたシステム制御用のマイクロコントローラ (Seeed Studio XIAO esp32c) からなる。

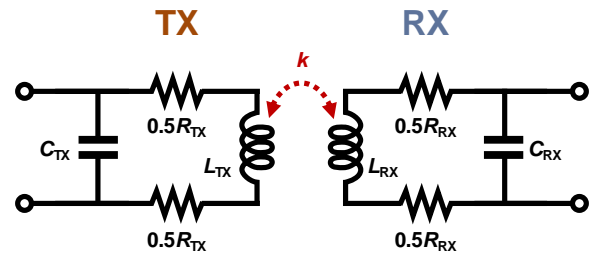
### 3.2.1 送受信回路

図 2a にプロトタイプシステムにおける送受信回路を示す。3.3 V 動作のドライブ回路 (Analog Devices ADCLK905) によって、基板上に金属配線として形成された 10 mm サイズの送信コイルを駆動し、ヒステリシスコンパレータ (Analog Devices ADCMP580) が受信回路として動作する。ドライブ回路は NRZ の矩形信号でコイルを駆動する。この信号が LOW から HIGH に遷移する、あるいは HIGH から LOW に遷移した際に受信側にはパルス波形が生じる。ヒステリシスコンパレータがこのパルス波形を元の NRZ 信号へと復元することで、データ伝送が実現される。プロトタイプシステムにおいては、双方向チャンネルを省面積で実現するために同一基板上に送受信コイルを重ねて実装している。したがって、データ送信時には同一基板上の受信回路にも信号が伝送されてしまうため、これに対処する仕組みを実装している。ヒステリシスコンパレータ IC の制御端子にはスイッチ IC (ROHM Semiconductor BU4S66G2) と抵抗を付加しており、これによって、外部からのコントロール信号による受信回路の一時的な disable 機能を実現している。また、TX coil に電流を流した際に同一基板上の RX コイルへと流れる電流は小さいため、通信特性への影響は小さい。

図 2b に TX/RX coils の等価回路を示している。コイルはインダクタンスだけでなく寄生抵抗と寄生容量を含む回



(a)



(b)

図 2 Wireless transceiver

路としてモデル化される。このとき送信電流  $I_{TX}$  と受信電圧  $V_{RX}$  の関係は

$$\frac{V_{RX}}{I_{TX}} = j\omega k \sqrt{L_{TX} L_{RX}} \cdot \frac{1}{(1 - \omega^2 L_{TX} C_{TX}) + j\omega R_{TX} C_{TX}} \cdot \frac{1}{(1 - \omega^2 L_{RX} C_{RX}) + j\omega R_{RX} C_{RX}} \quad (1)$$

となり、伝送特性は、1 階微分特性に対して、送信コイルにおける 2 次ローパスフィルタ特性と、受信コイルにおける 2 次ローパスフィルタ特性が掛け合わされたものになる。したがって、送信信号が一定の遷移時間を持った矩形信号となる場合には、受信信号としてそれに応じたパルス波形が誘起される [5]。このとき最大転送速度を決めるのは、コイルの共振周波数である。この値はコイルのインダクタンスや寄生容量が小さいほど高域へと移動する [10]。したがって、コイルのサイズが小さいほど、最大転送速度は向上する。

### 3.2.2 無線通信

送受信を行うデータはシリアライズを行いバイナリデータへと変換しマイコンのピンを利用してデジタル信号として出力する。出力された信号はコイルへと伝達し近接無線通信を経ることで送信側から受信側へと受け渡される。このとき送受信回路の説明の際にも述べたように、受信側のコイルは同一基板上の送信コイルの影響を受け混信を引き起こされる。そのため、送信時にはマイコンからコント

ロール信号の入力を行い受信側の回路を切り離すことでそれを防ぐ。これによってインターフェース間の通信においては、送信・受信のいずれかしか一度に行われず、無線の半二重通信となっている。これは Wi-Fi や Bluetooth を用いた通信と同系統の方式になるが、それらと異なりタッチを介して通信が行われるので複雑なルーティングや Mac アドレスなどに基づいた機器の特定は必要ない。基本的な通信の流れについて説明する。通常時、インターフェース備えた各デバイスは常に受信待機状態となっている。送信の役割をもった側のインターフェースはデータの準備を行い送信要求を出す。タッチインタラクションによって近接した受信側のインターフェースで要求が受け取られ、応答が返されればペアリングが完了し後はパケット通信に従って送受信が行われる。このとき送信動作の直前にはトライステートバッファへと入力を行い同一基板で混信しないようにする。今回は REQ/ACK パケットによる応答確認や、シリアライズされて得られたバイナリデータを送受信する簡易的な実装を行った。

## 4. 検証・評価

### 4.1 通信性能

送受信回路の設計にあたって、フレキシブル基板を用いて複数のコイルを試作し、各コイルを用いた場合の無線通信特性について実測評価を行った。フレキシブル基板とディスプレイ部品によって送受信を実現するため、半導体チップとは異なるスケールのコイル、長い伝送線路、コネクタを介した場合にも誘導結合するかどうかの検証をおこなった。コイルを試作し検証した。各コイルの巻き数は2巻きで、銅配線の厚さは  $35\ \mu\text{m}$ 、配線幅と配線間隔は  $0.1\ \text{mm}$ 、コイルサイズはそれぞれ  $3, 4, 5, 10, 20\ \text{mm}$  である。10 mm サイズのコイルについては、同一基板上に送信コイルと受信コイルを重ねて形成したものも設計した。Bit Error Rate Tester (BERT, Keysight N4906A) を用いて生成した  $3.3\ \text{V}$  振幅の Pseudo Random Binary Sequence (PRBS) 信号を送信コイルへと入力し、受信コイルから出力された信号をヒステリシスコンパレータ (Analog Devices ADCMP580) によって復元したものを受信信号とした。各コイルを用いた際の送信信号と受信信号とを比較することで、通信の信頼性を評価するとともに、通信可能な距離や位置ズレ耐性、最大転送速度、通信のタイミングマージンを評価した。

### 4.2 通信距離

図3に各コイルにおける最大通信距離の測定結果を示す。Bit Error Rate (BER) が  $10^{-10}$  以下となる場合に通信成功と判断し、通信の成功する最大距離を実測評価した。この実験の際、ヒステリシスコンパレータの閾値電圧は  $45\ \text{mV}$  程度になるよう設定した。最大通信距離はコイルが大きくなるにしたがって増大し、結果を平均するとコイ

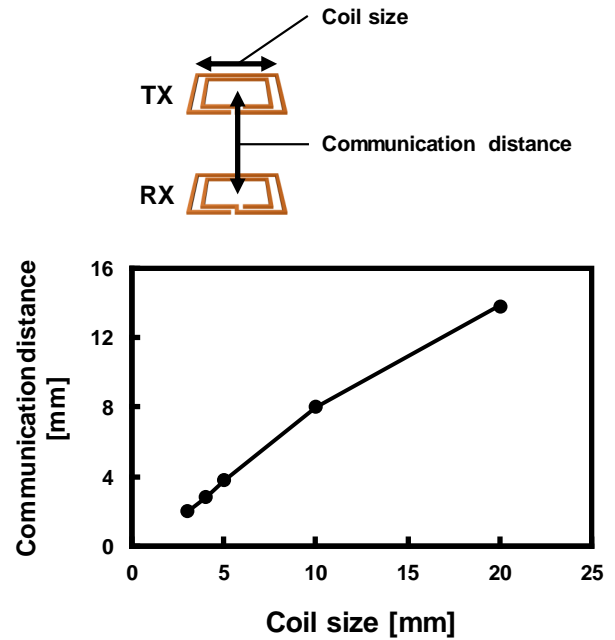
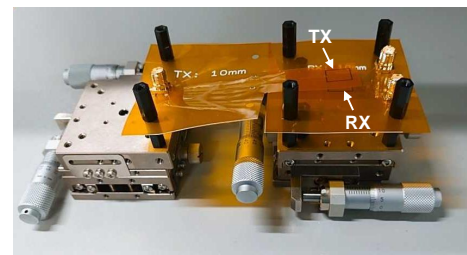
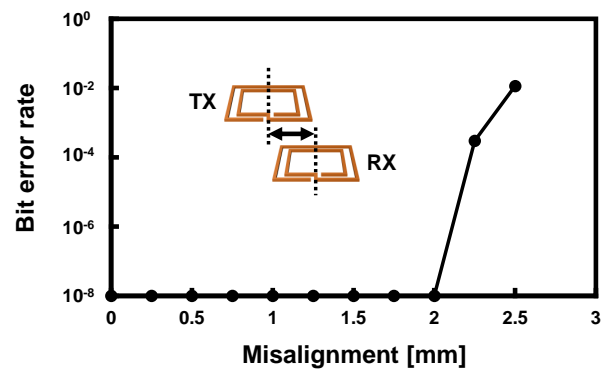


図3 Measured maximum communication distance



(a)



(b)

図4 Measured misalignment tolerance

ルサイズの0.7倍程度から正常な通信が可能になる結果となった。この値はヒステリシスコンパレータの閾値電圧調整によってある程度調整可能であり、アプリケーションに応じて適切な値を選択するべきである。0.7倍程度という結果は、従来の半導体チップ間通信において報告されてきた0.3倍程度という結果 [10] と比較して大きい。これはヒステリシスコンパレータの実現にあたって、CMOSプロセスで

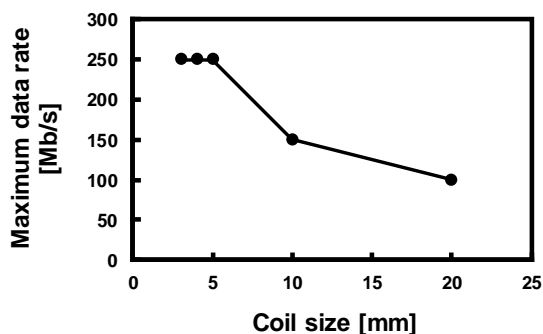


図 5 Measured maximum data rate

製造された集積回路ではなく、SiGe バイポーラプロセスで製造された高性能なディスクリット IC を利用したためであると考えられる。

図 4 に位置ズレによる影響の評価結果を示す。コイルは 10 mm サイズのものを利用した。図 4a に示すようにマイクロメーターを利用して、同軸で重なったコイル同士について垂直方向の 1 軸に沿って相対位置を変えていった。通信距離は 0 mm で一定とした。4b に実験で得られた位置ズレと BER の関係を示す。10 mm サイズのコイルに対して位置ずれが 2 mm を超えた点から BER は増大し始めており、コイルサイズの 1/5 程度のズレが生じるまでは正常に通信が行われることがわかった。

#### 4.3 転送速度 (データレート)

図 5 に各コイルにおける最大データレートの測定結果を示す。BER が  $10^{-10}$  以下となる場合に通信成功と判断し、通信の成功する最大データレートを実測評価した。最大データレートはコイルが小さくなるにしたがって増大し、コイルサイズが 3, 4, 5 mm の場合に 250 Mb/s、10 mm の場合に 150 Mb/s、20 mm の場合に 100 Mb/s という結果となった。コイルサイズの縮小によってインダクタンスと寄生容量が減少し、共振周波数が高域へと移動した結果として、データレートの増大が観察されている。コイルサイズが 3, 4, 5 mm の場合に同一の最大データレートとなったのは、コイルの線長に比して伝送線路が長くなり、伝送線路の通信特性への影響が顕著になったためであると考えられる。

#### 4.4 信頼性

通信の信頼性についてタイミングマージンを含む詳細な評価をおこなった。コイルはプロトタイプシステムに実装したのと同様の 10 mm サイズのものを用いた。図 6a に信頼性評価におけるコイル配置を示している。プロトタイプシステムにおいては、同一基板上に送信コイルと受信コイ

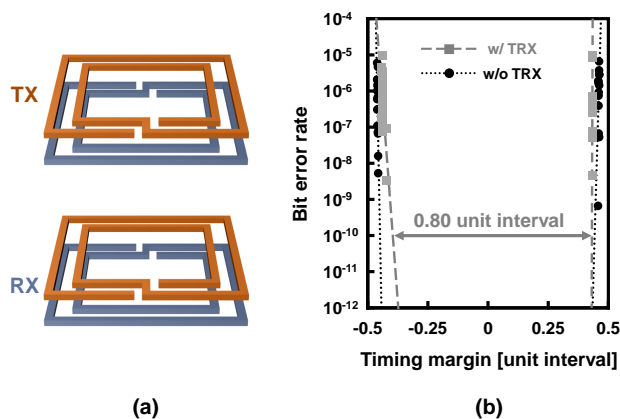


図 6 Reliability evaluation. (a) Evaluated layered structure of the coil. (b) Measured bathtub curve.

ルを重ねて 1 対搭載している。信頼性評価においても、この配置を採用し、単体コイルを利用した場合とのタイミングマージンの違いを比較した。図 6b にコイル間通信におけるバスタブカーブを示す。BERT から 150 Mb/s の  $2^7-1$  PRBS 信号を入力し、タイミングと BER の関係の評価した。また、実測値の線形近似から  $BER = 10^{-10}$  におけるタイミングマージンを推測した。得られた推測値は 0.80 unit interval であり、十分に広いことが確認された。また、タイミングマージンはコイル単体の場合の 92% の値となっており、わずかに低下するものの、同等の最大転送速度で問題なく通信可能であることが示された。

#### 4.5 通信

作成したインターフェースを用いて実際の通信可否について検証を行った。簡易的な REQ/ACK における応答確認や、最大 10k byte のデータの送受信が行えることが確認できた。

### 5. 議論

これまで検証や記述の通り DataPipettor では小型に構成できるかつ高速に通信することができる。これによって新たにハードウェアを追加する手間やコストは加わるものの、ノートパソコンやスマートフォン、コピー機といった既存の大きめデバイスから IoT など用いられているような小型のデバイス、また今回作成したデバイスのようにウェアラブルを想定した用途など幅広い領域において汎用的に利用することができると考えている。これによって周辺に存在するコンピュータ間で、ペアリングやアカウントの登録といった操作をなくし、タッチを介して容易にデータの転送を行うことができる。これが我々がモノを掴んで移動させるような動作に近く、直感的デジタル情報の移動を行うことが可能になると考えられる。また爪側に装着することによって、日常動作への影響を小さくすることができる、

爪側に着けることに対して実際に通信する際にコイル部の位置合わせなどで困難が生じることは考えられるが、ソフトウェア側で補強することが考えられる。タッチ中には送信しきれない大規模なデータに関しても、インターネットを経由して送信する仕組みを作ったりと既存の技術と組み合わせることでカバーすることができる。

## 6. まとめ・展望

本稿では近接無線通信に基づき、小型に構成できる通信インターフェースである DataPipettor を紹介した。実装や検証で、送受信のインタフェース部が十分な通信性能を持つことの検証に加え、実際のデータに対しても通信を行えることを確認した。現在はマイクロコントローラが律速となったり、ディスクリート部品で作成しているが、今後は IC での実装を目指しより小型で高性能なインタフェースデバイスにしていくことを目指す。またより実践的なデモやアプリケーションの作成も行っていきたい。

## 参考文献

- [1] Drost, R., Hopkins, R., Ho, R. and Sutherland, I.: Proximity communication, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol. 39, No. 9, pp. 1529–1535 (online), DOI: 10.1109/JSSC.2004.831448 (2004).
- [2] Grosse-Puppenthal, T., Herber, S., Wimmer, R., Englert, F., Beck, S., von Wilmsdorff, J., Wichert, R. and Kuijper, A.: Capacitive Near-Field Communication for Ubiquitous Interaction and Perception, UbiComp '14, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2014).
- [3] Günther, S., Schmitz, M., Müller, F., Riemann, J. and Mühlhäuser, M.: BYO\* Utilizing 3D Printed Tangible Tools for Interaction on Interactive Surfaces, *Proceedings of the 2017 ACM Workshop on Interacting with Smart Objects*, pp. 21–26 (2017).
- [4] Ikematsu, K. and Sio, I.: Memory Stones: An Intuitive Information Transfer Technique between Multi-Touch Computers, *Proceedings of the 16th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, HotMobile '15, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 3<sup>rd</sup>–e2<sup>nd</sup>–80<sup>th</sup>–938 (2015).
- [5] Kadomoto, J., Irie, H. and Sakai, S.: WiXI: An Inter-Chip Wireless Bus Interface for Shape-Changeable Chiplet-Based Computers, *2019 IEEE 37th International Conference on Computer Design (ICCD)*, pp. 100–108 (online), DOI: 10.1109/ICCD46524.2019.00021 (2019).
- [6] Kadomoto, J., Sasatani, T., Narumi, K., Usami, N., Irie, H., Sakai, S. and Kawahara, Y.: Toward Wirelessly Co-operated Shape-Changing Computing Particles, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 20, No. 3, pp. 9–17 (online), DOI: 10.1109/MPRV.2021.3086035 (2021).
- [7] Kosuge, A., Kadomoto, J. and Kuroda, T.: A 6 Gb/s 6 pJ/b 5 mm-Distance Non-Contact Interface for Modular Smartphones Using Two-Fold Transmission Line Coupler and High EMC Tolerant Pulse Transceiver, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol. 51, No. 6, pp. 1446–1456 (online), DOI: 10.1109/JSSC.2016.2539339 (2016).
- [8] Kosuge, A. and Kuroda, T.: Proximity Wireless Communication Technologies: An Overview and Design Guidelines, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, Vol. 69, No. 11, pp. 4317–4330 (online), DOI: 10.1109/TCSI.2022.3210200 (2022).
- [9] Kuhn, S., Kleiner, M. and Thewes, R. IS-CAS1995 and Weber, W.: Vertical signal transmission in three-dimensional integrated circuits by capacitive coupling, *1995 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, Vol. 1, pp. 37–40 vol.1 (online), DOI: 10.1109/ISCAS.1995.521445 (1995).
- [10] Miura, N., Saito, M. and Kuroda, T.: A 1 TB/s 1 pJ/b 6.4 mm<sup>2</sup>/TB/s QDR Inductive-Coupling Interface Between 65-nm CMOS Logic and Emulated 100-nm DRAM, *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems (JETCAS)*, Vol. 2, No. 2, pp. 249–256 (2012).
- [11] Ogata, M., Sugiura, Y., Osawa, H. and Imai, M.: Flash-Touch: data communication through touchscreens, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2321–2324 (2013).
- [12] Rekimoto, J.: Pick-and-drop: a direct manipulation technique for multiple computer environments, *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 31–39 (1997).
- [13] Weiser, M.: The Computer for the 21 st Century, *Scientific american*, Vol. 265, No. 3, pp. 94–105 (1991).
- [14] Yang, C. J. and Sample, A. P.: EM-Comm: Touch-Based Communication via Modulated Electromagnetic Emissions, Vol. 1, No. 3 (2017).
- [15] Yang, Z., Zhang, J., Wang, Z. and Zhang, Q.: Lightweight Display-to-Device Communication Using Electromagnetic Radiation and FM Radio, Vol. 2, No. 1 (2018).
- [16] Yatani, K., Tamura, K., Hiroki, K., Sugimoto, M. and Hashizume, H.: Toss-it: intuitive information transfer techniques for mobile devices, *CHI'05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1881–1884 (2005).