

平成 25 年度

筑波大学情報学群情報科学類

卒業研究論文

題目

タッチパネルとの人体通信を利用した
複数端末間情報移動手法

主専攻 ソフトウェアサイエンス主専攻

著者 近藤 勇斗

指導教員 高橋伸 志築文太郎 三末和男 田中二郎

要 旨

複数端末間の情報移動には様々な手段があるものの、その操作は煩雑でありユーザの負担が大きいという現状がある。そこで本研究では複数端末間において簡潔で分かりやすい情報移動手法を提案することを目的とし、この手法を実現するためにタッチパネルとの人体通信システムを開発した。このシステムでは予め端末の接続設定を行う必要がなく、タッチパネルのディスプレイに表示された情報に触るだけで情報を移動させることが可能である。

タッチパネルとの人体通信が最も活かされる状況は、公共の場で多数の人に情報が提示されており、各ユーザはその情報から自らが取得したい情報を選んで自らが持つ端末に移動させたいという場合であると考えられる。そして、その端末は気軽に端末間の情報移動を行うことができる、常に端末を身につけているような状況が望ましい。こうした点から、本研究ではユーザが個人の専用端末としてコンピュータを搭載したウェアラブルデバイスを身につけ、情報が映し出されたタッチパネル式テーブルトップ PC を使用する場合を想定した。

評価実験によって既存手法との比較を行った結果、提案手法は情報移動を行うための作業が簡潔で分かりやすいという結果が得られ、既存の通信手法と比較しても有効性があることが示された。

目次

第1章 序論	1
1.1 背景	1
1.2 目的	1
1.3 アプローチ	1
1.4 構成	2
第2章 関連研究	3
2.1 人体通信の研究	3
2.2 複数端末間での情報移動手法の研究	4
第3章 タッチパネルとの人体通信システム	5
3.1 概要	5
3.2 通信モジュール	5
3.2.1 ユーザ側のモジュール	5
3.2.2 テーブルトップ PC 側のモジュール	6
3.3 提案手法の狙い	6
3.4 利用シーン	7
第4章 実装	9
4.1 ハードウェア構成	9
4.1.1 ユーザ側のモジュール	9
4.1.2 テーブルトップ PC 側のモジュール	9
4.1.3 通信機構	12
4.2 アプリケーション	14
4.2.1 開発環境	14
4.2.2 画像移動アプリケーション	15
4.2.3 掲示板アプリケーション	19
第5章 評価実験	23
5.1 実験 1:通信速度の測定	23
5.1.1 被験者	23
5.1.2 実験環境	23
5.1.3 実験タスク	23
5.1.4 実験手順	23

5.1.5	実験結果	23
5.1.6	考察と議論	24
5.2	実験 2:既存通信手法との比較	24
5.2.1	被験者	24
5.2.2	実験環境	25
5.2.3	実験タスク	25
5.2.4	実験手順	25
5.2.5	アンケート	26
5.2.6	実験結果	26
5.2.7	考察と議論	28
第 6 章	結論	31
	謝辞	32
	参考文献	33

図目次

3.1	提案手法のイメージ	5
3.2	テーブルトップ PC のイメージ	6
4.1	ウェアラブルデバイス	10
4.2	テーブルトップ PC	11
4.3	各パーツの接続関係	13
4.4	回路図	14
4.5	テーブルトップ PC からウェアラブルデバイスへの画像移動	17
4.6	ウェアラブルデバイスからテーブルトップ PC への画像移動	18
4.7	ウェアラブルデバイスから掲示板へ内容を送信	21
4.8	ウェアラブルデバイスに掲示板の内容を取得	22
5.1	アンケート結果の平均値	29

表 目 次

3.1 Bluetooth と人体通信の端末接続/接続解除方法の比較	7
5.1 通信速度の測定結果	24
5.2 アンケート結果	28
5.3 手法の順位	28

第1章 序論

1.1 背景

我々の身の周りにはコンピュータが溢れている。デスクトップ/ノートブック PC やスマートフォン、タブレット/テーブルトップ PC を初めとした様々な形態のコンピュータが存在しており、その場所も自宅やオフィスにとどまらず、商業施設や公共施設の案内・受付等様々な用途で利用されている。このようにコンピュータがユビキタスな存在になった結果、ユーザが同時に複数のコンピュータを扱う場面も増えて来た。そこで、1つのコンピュータに表示されている情報を別のコンピュータへ移動するといった、複数端末にまたがる操作を分かりやすく直感的に実現するユーザインタフェースの必要性が高まっている [1]。

例えば、キーボードやマウスなど使いやすいデバイスが接続されたデスクトップ PC で作成した資料を、持ち運びやすいタブレット PC でも閲覧したい場合やスマートフォンで撮影した写真を友人のスマートフォンへ受け渡したい場合、さらには複数人でテーブルトップ PC を囲み、そこに表示されている情報を個人のタブレット PC でも表示したい場合は、それぞれの端末間で情報を移動（コピー・アンド・ペースト）する必要がある。

こうした場面は日常的に存在し、今後さらに増加することが予想される。しかしながら、現在では複数端末間の情報移動には様々な手段があるものの、その操作は煩雑でありユーザの負担が大きいというのが現状である。また、移動させる情報の中には他人には見られたくない情報も存在する。そのため、こうした情報を移動する場合を考慮し、情報移動手法はセキュリティ性が高いことが求められる。

1.2 目的

本研究では複数端末間において簡潔で分かりやすい情報移動手法を提供することを目的とする。複数端末間で情報移動を行う場合の操作を簡潔にしてユーザの負担を軽減するとともに、どの情報がどの端末間で移動しているかという関係を分かりやすいものにする。加えて情報移動手法の重要な要素として、情報漏洩にも強い手法となることも考慮する。

1.3 アプローチ

前節の目的を達成するため、本研究ではタッチパネルとの人体通信を用いる。人体通信とは人体をケーブルのように利用し、人体に電気信号を流すことで行う通信手法のことである。人体に触れている端末同士で人体を通じて直接信号のやりとりを行うため、予めどの端末を接続するかという設定が不要になり、端末の接続関係も非常に明確になる。

さらに、タッチパネルは表示された情報そのものに触ることができるため、触れた情報が移動するという形式を採用することで非常に直感的な情報移動を行うことができる。また、タッチパネルにはディスプレイ上に様々な情報を表示することができるため、ただ端末を接続するだけでなく、触る座標に応じて様々な情報の移動を行うことができる。これにより、従来人体通信を用いて行われてきた情報移動手法に比べ、より幅広いインタラクションを行うことが可能になる。

1.4 構成

本論文の構成は以下の通りである。本章では、本研究における背景を述べ、それを踏まえて目的とアプローチについて述べた。第2章で本研究に関連する研究やサービスを紹介し、本研究との比較によって本研究の位置づけを行う。第3章ではタッチパネルとの人体通信システムの構成を述べ、続く第4章でそのシステムの実装を設計と対応付けつつ説明する。第5章ではユーザによる評価実験によってシステムを評価・考察し、第6章で結論を述べる。

第2章 関連研究

2.1 人体通信の研究

人体を伝送路として利用する人体通信は、通信相手に触れることで伝送路を確立し通信を実現するため、ユビキタスネットワーク社会における新たなマンマシンインタフェースとして考えることができる。人体通信は、1996年 Zimmerman によりウェアラブル・コンピューティングにおける CPU と各種デバイス間の通信に利用することが提案された [2]。これを契機として、人体通信に適するアプリケーションと実現方式の検討が開始された [3][4]。人体通信には主に2つの方式が定義されている。

1. 電界方式

電界方式は次のような方式である。「電界方式送信機により人体表面に電界を誘起させ、その電界に信号をのせ、受信機で電界を検知し受信する。これは誘電体である人体を利用し、電界を人体近傍に発生させることで人体に電界がまとっているようになる。この方式であれば絶縁体を通じた状態でも信号伝送が可能になる。よって、利用状況・方法が多く、送信・受信機の設置位置の制限が減ることになる。しかし、人体に電界を発生させるとなると周りの環境・人体の状態による雑音の影響が大きい。さらに信号を検知することが難しく、人体に誘起した電界の大半が地面に流れてしまい受信機で受ける電界が微弱なものとなる」[5]。このように、人体が触れなくても通信を行うことができるが、意図せず通信を行ってしまう可能性が生じるというデメリットもある。

RedTacton[6]は電界方式を利用したモジュールである。「RedTacton デバイス」と呼ばれる送信機で体の表面に微弱な電界を誘起し、電界が受信機の「RedTacton レシーバー」に到達すると、電気光学結晶の光学的性質を変化させ、その変化の度合いをレーザー光で検出して受光回路で電気信号に変換する。電界方式は信号を検知することが難しいがフォトリック電界センサという高精度の電界センサを用いることで実現している。

2. 電流方式

電流方式は次のような方式である。「電流方式はその名の通り、人体に微弱な電流を流すという方法である。通信としての原理は有線通信と同様であり、通信回路も比較的簡単なものができる。この方式は電界方式よりも比較的環境・人体の状態による雑音にも強い。しかし、電流を用いたとなると送信端末からの電極は伝送路とする人体に必ず接触させておく必要があり、絶縁体を挟んだ通信が不可能である。そのため利用方法・設置位置の制限がかかってくる」[5]。このように通信の際には必ず電極に触れる必要があるが、電流は人体の外部へは漏れないため、情報漏洩しにくいというメリットもある。

電流方式を用いたアプリケーションとしてウェアラブルキー [7] がある。これは人体通信とセキュリティを組み合わせたものであり、人体通信デバイスを身に着けていると PC 等の電子ロックが自動的に解除される。また、Panasonic によるボスシステム [8] は、人が商品に触れることでその商品の価格が人体通信デバイスに転送され、今度はレジに触れることで人体通信デバイスからレジへ商品価格が転送される。Enhanced Touch[9] は手首にデバイスを装着して、人体通信により人と人との接触を検出する。

本研究ではタッチパネルに触れるという動作によって通信を行うため、電流方式を採用する。通信中はタッチパネルに触れていなければならないという制限はあるが、電界方式では狭い範囲に複数の情報が表示されている場合誤作動が起こる可能性が考えられる。タッチパネルとの人体通信という観点では電流方式の方が適していると考えられる。

2.2 複数端末間での情報移動手法の研究

ディスプレイに表示されたデータを他のコンピュータに移動させる手法として Pick-and-Drop[1] という研究がある。これはディスプレイ上のオブジェクトを ID が割り当てられたペンデバイスで「つまみ上げ」、他のコンピュータに「置く」ことで情報の移動を実現している。また、記憶の石 [10] ではマルチタッチ対応のタッチパネルに触れた複数指の位置を検出し、これが形作る多角形の形状から端末のペアリングを行うことで、複数コンピュータ間での情報のやりとりを実現する。

本研究では上記の先行研究と同様に、直感的な操作で機器の接続と情報移動の両方がシームレスに行える手法の実現を目指す。異なる点は、先行研究は情報移動手法として無線通信を利用したのに対し、本研究では人体通信を用いる点である。無線通信では予めコンピュータをネットワークに接続する必要がある。例えば、Pick-and-Drop や記憶の石では、ペンや指の位置を予め接続されたサーバに送り情報を照らし合わせることでデータの移動を行う。そのため、予めコンピュータをネットワークに接続しておく必要があるが、人体通信では人体を通じて直接信号のやりとりを行うことにより、予め接続設定を行う必要がなくなる。

人体通信によるデータ通信の応用手法として TAP[11] という研究がある。これはユーザがカメラを持った状態で写真を印刷したいプリンタに触れることでプリンタにデータを送り印刷を行うものである。プリンタに触れるという動作のみで印刷が行えるため直感的で分かりやすいユーザインタフェースであるが、プリンタのどこに触れても入出力するデータは変わらない。本研究ではタッチパネルを利用することで、ユーザがディスプレイに触れた場所を検出しその場所に表示された情報に応じたデータを通信する。そのため、より幅広いインタラクションを行うことが可能である。

第3章 タッチパネルとの人体通信システム

3.1 概要

本研究では複数端末間において簡潔で分かりやすい情報移動手法を実現するためにタッチパネルとの人体通信システムを開発する。電流を信号として人体通信を行うため、ウェアラブルデバイスとテーブルトップPCの双方が電流の入出力を行うことができる仕組みを備える必要がある。

図 3.1 は提案手法のイメージである。ウェアラブルデバイスを身につけたユーザがテーブルトップPCのディスプレイに表示された情報に触れることで情報移動を行う。ユーザが情報に触れると、移動先のデバイスへ人体を通じて信号が送られる。正常に信号を受信すると、受信した情報がディスプレイに表示される。

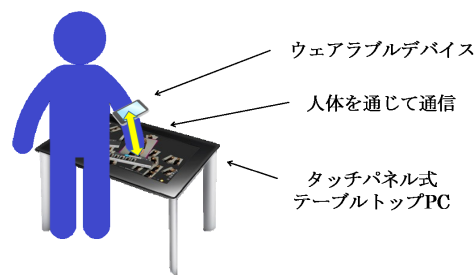


図 3.1: 提案手法のイメージ

3.2 通信モジュール

3.2.1 ユーザ側のモジュール

ユーザ側のモジュールとして手首に装着して使用するウェアラブルデバイスを想定する。このウェアラブルデバイスは外部への電気信号の送信、および外部からの電気信号を受信するための入出力機構を備える。ウェアラブルデバイスには電極が取り付けられ、電極がユーザの体に接触するように装着する。この電極を通じてユーザの体に信号を流したり、ユーザの体を伝わって送られて来た信号を受け取ったりする。

3.2.2 テーブルトップ PC 側のモジュール

テーブルトップ PC 側のモジュールとしてタッチパネル式テーブルトップ PC を想定する。このテーブルトップ PC も外部への電気信号の送信、および外部からの電気信号を受信するための入出力機構を備える。ウェアラブルデバイスの電極と同様の働きをするように、図 3.2 のようにテーブルトップ PC ではディスプレイの上に透明な導電性シートを被せる。この導電性シートを通じてユーザの体に信号を流したり、ユーザの体を伝わって送られて来た信号を受け取ったりする。



図 3.2: テーブルトップ PC のイメージ

3.3 提案手法の狙い

人体通信を用いて行う情報移動手法のメリットは、端末の接続および接続解除の方法が単純かつ明快であるため、情報移動を簡潔に行うことができる点である。例えば、現在の通信技術として一般的な Bluetooth を例に挙げる。Bluetooth と人体通信のそれぞれの場合において端末接続および接続解除の方法は表 3.1 になると考えられる。両者を比較すると、Bluetooth では予め移動先の端末を認識して接続設定を行う必要があるのに対し、人体通信では情報移動を行う際に端末に触れるだけで接続されるため、予め接続設定を行う必要がないということが分かる。また、人体通信では手を触れる/離すという単純明快な動作で接続/接続解除を行うことができるため、ユーザが情報移動を行うための手順を覚える負担も小さいと考えられる。

このメリットを活かした上で本研究ではタッチパネルとの人体通信を利用する。タッチパネルにはディスプレイ上に様々な情報が表示でき、そのそれぞれに直接触れることができる。そのため、ただ端末を接続するというだけでなく、触る座標に応じて様々な情報の移動を行うことができる。例えば、タッチパネルのディスプレイに多数の画像を表示させておき、ユーザは自らが取得したい画像を選んでその画像に触れることで、選択した画像の移動を行うことができる。このようにタッチパネルを用いることで、人体通信をただ端末を接続するために利用するだけでなく、より幅広いインタラクションを行うことが可能になる。また、タッチパネルの情報に触れるという行為は非常に自然なものであるため、ユーザは直感的に行うことができ使い方を覚える負担もごく小さいと考えられる。

以上のようにタッチパネルとの人体通信を用いることで使いやすさにおいてメリットが考えられるが、人体通信を用いることでさらにセキュリティ面でも効果があると考えられる。無線通信では情報を

信号として空気中へ放出し通信を行う。それに対し、人体通信では信号を人体を通じて送るため、信号は人体のみを通り外部へは漏れない。そのため、通信中に体に触れられない限り情報を盗まれることがない。近年では暗号化の技術も発達しているため、無線通信でも情報を傍受される危険性は少ないが、物理的に情報を外部へと漏れさせない人体通信はセキュリティ面でのメリットも期待できると考えられる。

表 3.1: Bluetooth と人体通信の端末接続/接続解除方法の比較

	Bluetooth	人体通信
接続	1. 接続する端末の名称を把握する 2. 接続可能な端末をスキャンする 3. 接続可能な端末を表示する 4. 接続する端末を選択する	移動先の端末に触れる
接続解除	1. 接続中の端末を表示する 2. 接続を解除する端末を選択する	移動先の端末から手を離す

3.4 利用シーン

タッチパネルとの人体通信を利用して移動する情報は文字情報や画像情報等が考えられ、多くの利用シーンが考えられる。以下に想定される利用シーンの例を挙げる。

個人の端末間での利用

ユーザが個人で複数の端末を所有する場合を想定する。普段は作業が行いやすい大型タブレットを使用しており、このタブレットで写真の加工を行った。この写真をタブレットに表示した状態で触れることで、持ち運びやすい端末へ移動させる。

商業施設における電光案内からのクーポン券の取得

商業施設において電光案内により施設の案内図や施設内の店舗の情報を表示している状況を想定する。来店者は個人で持ち歩く端末を所有しており、電光案内の店舗情報とともに表示されているクーポン券に触れることで自分の端末にクーポン券を取得する。

学校における電子掲示板の利用

学校において電子掲示板を利用する場合を想定する。この電子掲示板には連絡事項等が表示されておりその場で見るができるが、この掲示板の情報に触れることで個人の端末に情報を取得する。これによりその場だけでなく情報を持ち運んで閲覧することができる。また、情報を取得するだけでなく、取得した情報を個人の端末で改変し、今度は改変した情報を掲示板へ反映させることもできる。

このように様々な利用シーンが考えられるが、タッチパネルとの人体通信が最も活かされる状況は、公共の場で多数の人に情報が提示されており、各ユーザはその情報から自らが取得したい情報を選ん

で自らが持つ端末に移動させたいという場合であると考えられる。そして、その端末は気軽に端末間の情報移動を行うことができるように、常に端末を身につけているような状況が望ましい。こうした点から、本研究ではユーザが個人の専用端末としてコンピュータを搭載したウェアラブルデバイスを身につけ、情報が映し出されたタッチパネル式テーブルトップ PC を使用する場合を想定した。

第4章 実装

4.1 ハードウェア構成

4.1.1 ユーザ側のモジュール

ユーザ側のモジュールとしてウェアラブルデバイスを作成した。ウェアラブルデバイスにはコンピュータおよびディスプレイとして OS に Android 4.0.3 を搭載した SAMSUNG 社製の GALAXY S II LTE, 電気信号の入出力を行うために Arduino Nano 3.1 を用いた。図 4.1 は作成したウェアラブルデバイスである。ウェアラブルデバイスには電極として銅箔が取り付けられており、この銅箔がユーザの体に接触するように装着する。信号の送受信はこの電極を通じて行う。また、後述する通信機構としてオペアンプおよびコンパレータを用いて回路を構成している。

4.1.2 テーブルトップ PC 側のモジュール

ユーザ側のモジュールと同様、電気信号の入出力を行うために Arduino Nano 3.1 を用いた。テーブルトップ PC のディスプレイ上には導電性シートが被せてあり、このシートに Arduino を接続して信号を流す。シートは透明であるため画面を見ることに支障は生じない。また、今回用いたテーブルトップ PC のタッチ認識は赤外線方式で行われている。画面の縁から赤外線が照射されており、この赤外線が遮られている座標を検出することでタッチパネルとして利用できる仕組みになっている。そのため、シートを被せても座標の検出に支障は生じない。これによりタッチパネルとの人体通信を利用した情報移動を行うことが可能になる。またこちらも、後述する通信機構としてオペアンプおよびコンパレータを用いて回路を構成している。図 4.2 はテーブルトップ PC 側のモジュールである。導電性シートはディスプレイ全体を覆うのではなく、ディスプレイの一部を覆うようにしてあり、導電性シートと Arduino が接続されている。



(a) 表側



(b) 裏側

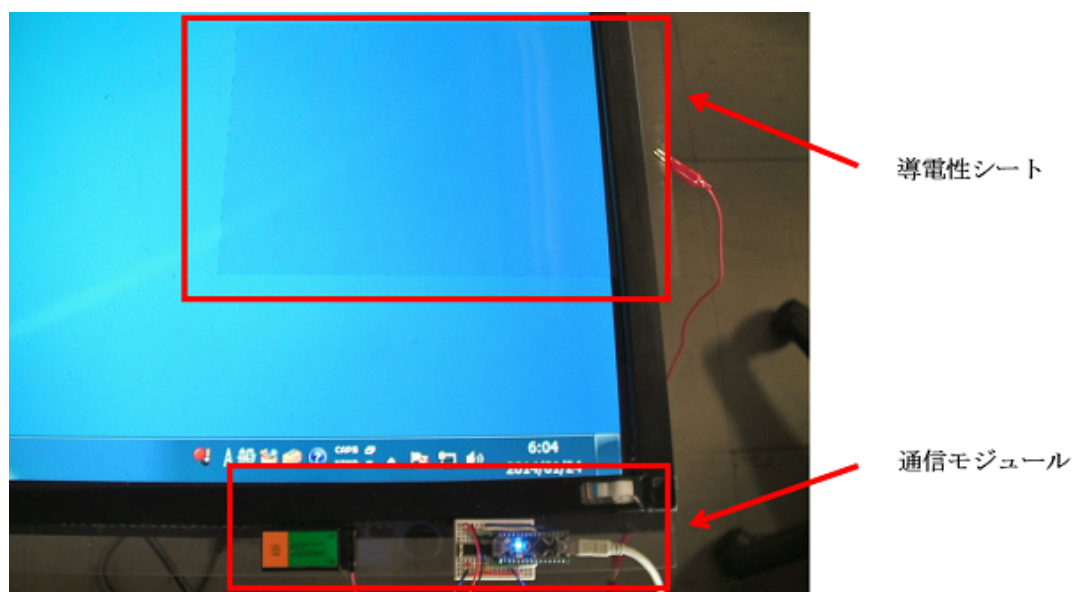


(c) 装着した様子

図 4.1: ウェアラブルデバイス



(a) 全体像



(b) モジュール部

図 4.2: テーブルトップ PC

4.1.3 通信機構

開発したプロトタイプでは双方向に通信を行うことが可能である。テーブルトップ PC からウェアラブルデバイスへと情報を移動する場合には、テーブルトップ PC に表示された情報が電気信号としてテーブルトップ PC に取り付けられた Arduino、Arduino に繋げた導電性シート、人体、人体と接触し Arduino に繋げた電極、ウェアラブルデバイスに取り付けられた Arduino、ウェアラブルデバイスの順に送信されていく。反対にウェアラブルデバイスからテーブルトップ PC へと情報を移動する場合にはこの逆の流れとなり、ウェアラブルデバイスに表示された情報がウェアラブルデバイスに取り付けられた Arduino、人体と接触し Arduino に繋げた電極、人体、Arduino に繋げた導電性シート、テーブルトップ PC に取り付けられた Arduino、テーブルトップ PC の順に送信されていく。これらの接続関係は図 4.3 のようになる。

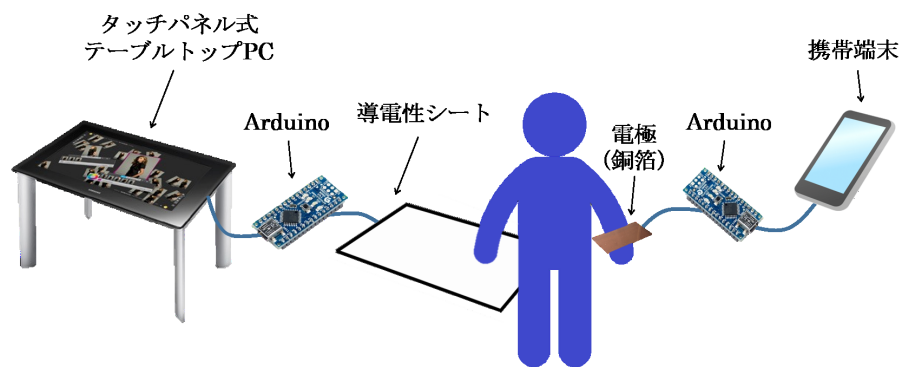
テーブルトップ PC-Arduino 間、Arduino-Arduino 間、ウェアラブルデバイス-Arduino 間の通信はすべてシリアル通信で行う。通信はベースバンド方式でありボーレートは 57600bps に設定した。ここで、Arduino から出力される信号は電圧 5V のデジタル信号であるが、導電性シート及び人体を経由した信号は出力時に比べ減衰する。これを改善するために、受信する直前にオペアンプによって信号を増幅させる。オペアンプは AD620 を使用した。AD620 は 1 本の外付け抵抗 R_G でゲイン G を 1~10000 に設定することができ、ゲイン G は次の式で表される。

$$G = \frac{49.4k\Omega}{R_G} + 1 \quad (4.1.1)$$

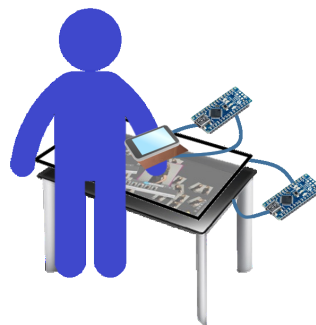
$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G - 1} \quad (4.1.2)$$

今回は十分なゲインを確保するために外付け抵抗は $4.7k\Omega$ を使用し、ゲインを 11.5 に設定した。ただし、オペアンプの電源には 7.2V の電池を使用しているため、出力電圧は最大でも電源電圧までとなる。

上記の仕組みにより減衰した電圧を増幅させるが、導電性シート及び人体を経由した信号は減衰するだけでなく、ノイズが含まれる場合もある。これを改善するために、オペアンプによって信号を増幅させた後、コンパレータを用いることによってノイズを除去する。コンパレータは LMC64 を用いた。正確には LMC64 はオペアンプであるが、コンパレータとして使用しているため、コンパレータと呼ぶことにする。コンパレータの基準電圧は Arduino から出力される 3.3V に設定した。人体及び導電性シートを経由した信号は減衰するが出力時に HIGH であればオペアンプによって増幅されるため 3.3V を超える。一方、出力時に LOW であればノイズが混ざりそれがオペアンプによって増幅されても 3.3V には到達しないと考えられる。これにより出力時に HIGH であれば受信時にも HIGH に、出力時に LOW であれば受信時にも LOW にすることができる。コンパレータの電源もオペアンプと同様に電圧 7.2V の電池を使用している。これらの仕組みにより、送られて来た信号を原信号へ復元する。図 4.4 は作成した回路図である。ユーザ側とテーブルトップ PC のどちらのモジュールも同じ仕組みを用いているため、作成した回路も同じ物である。手法として確立されているものとしてユーザ側のモジュールとテーブルトップ PC 側のモジュールのグラウンドは有線により結合している。

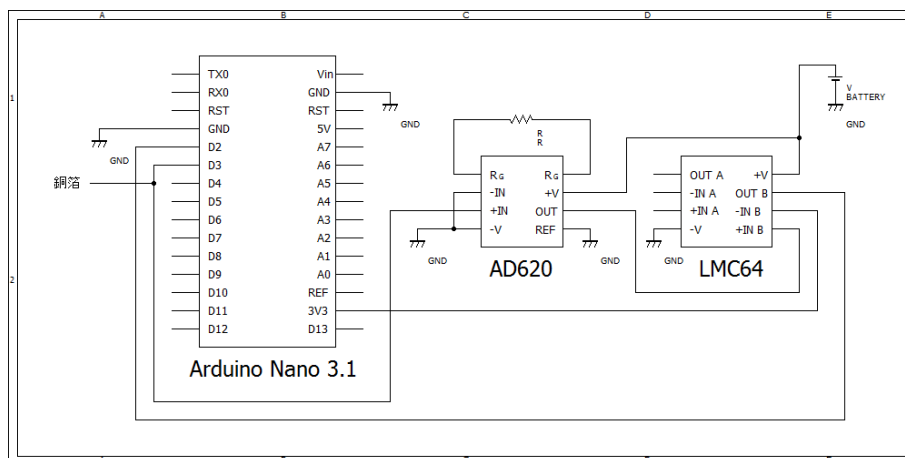


(a) 模式図

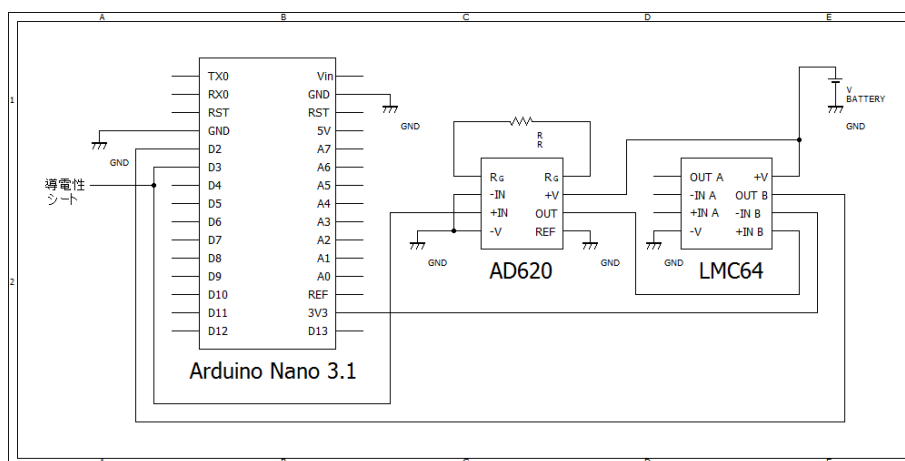


(b) 実際の接続関係

図 4.3: 各パーツの接続関係



(a) ウェアラブルデバイス側の回路図



(b) テーブルトップ PC 側の回路図

図 4.4: 回路図

4.2 アプリケーション

4.2.1 開発環境

本研究ではテーブルトップ PC とウェアラブルデバイスを使用する。そのため、テーブルトップ PC 用とウェアラブルデバイス用のアプリケーションを作成する。開発環境としてはどちらのアプリケーションも Windows 7 Professional 搭載の PC を使用している。この PC を使用し、テーブルトップ PC のアプリケーションの開発環境としては Microsoft Visual Studio Ultimate 2012 を使用し、開発言語には C# を使用している。ウェアラブルデバイスでは開発環境として Eclipse 4.3 Kepler を使用し、開発言語には Java(JDK 1.7.0.45) を使用している。

4.2.2 画像移動アプリケーション

プロトタイプを用いて画像の移動を行うアプリケーションを開発した。初めに、テーブルトップ PC からウェアラブルデバイスへの画像移動の概要を説明する。テーブルトップ PC のディスプレイには複数の画像が表示されており、ユーザは受信したい画像にタッチする。ユーザが画像にタッチすると、画像は電気信号としてテーブルトップ PC に取り付けられた Arduino、Arduino に繋げた導電性シート、人体、人体と接触し Arduino に繋げた電極、ウェアラブルデバイスに取り付けられた Arduino、ウェアラブルデバイスの順に送信されていく。テーブルトップ PC からウェアラブルデバイスへ正しく通信を行うことができていれば、ウェアラブルデバイスのディスプレイに受信した画像が表示される。

続いて、ウェアラブルデバイスからテーブルトップ PC への画像移動の概要を説明する。基本的にはテーブルトップ PC からウェアラブルデバイスへの画像の移動を行う場合と同じであるが、移動を開始する方法が少し異なる。ウェアラブルデバイスからテーブルトップ PC への画像の移動を行う場合はユーザがテーブルトップ PC に表示された画像に触れると移動を開始したが、ウェアラブルデバイスからテーブルトップ PC への画像の移動を行う場合はユーザがテーブルトップ PC に触れた状態でウェアラブルデバイスに表示された送信したい画像にタッチすることで画像の移動を行う。これはどちらの場合でも目的の画像に触れることが移動開始の条件となるようにするため、この仕様を採用した。

この仕様以外はテーブルトップ PC からウェアラブルデバイスへの画像の移動を行う場合と同じ仕組みになる。ウェアラブルデバイスでは送信用、テーブルトップ PC では受信用アプリケーションをそれぞれ起動する。ユーザがテーブルトップ PC に触れた状態でウェアラブルデバイスに表示された目的の画像にタッチすると、画像は電気信号としてウェアラブルデバイスに取り付けられた Arduino、人体と接触し Arduino に繋げた電極、人体、Arduino に繋げた導電性シート、テーブルトップ PC に取り付けられた Arduino、テーブルトップ PC の順に送信されていく。ウェアラブルデバイスからテーブルトップ PC へ正しく通信を行うことができていれば、テーブルトップ PC のディスプレイに送信した画像が表示される。

画像移動の仕組みは次のようになっている。ユーザが受信したい画像にタッチすると画像情報がバイト型の配列に変換される。この配列の大きさが画像のファイルサイズとなる。通信の際にはまずこのファイルサイズを送信する。このファイルサイズは 8 バイトのバイト型配列に変換され、シリアル通信により 1 ビットずつ Arduino へ送られる。Arduino はテーブルトップ PC からデータが送られて来たらそのデータを受信し、その都度信号をウェアラブルデバイスへ向けて出力する。ただし、Arduino の処理がテーブルトップ PC よりも遅れ、それが重なっていくと Arduino の受信バッファが溢れデータが消失してしまう。今回使用した Arduino Nano 3.1 では受信バッファは 64 ビットまでしか蓄積できなかったため、テーブルトップ PC は 64 ビット送信するごと 20ms 待機させるようにした。これにより、Arduino の受信バッファが溢れることなくデータが送れるようになっている。通信速度の理論値は 17.7kbps となる。

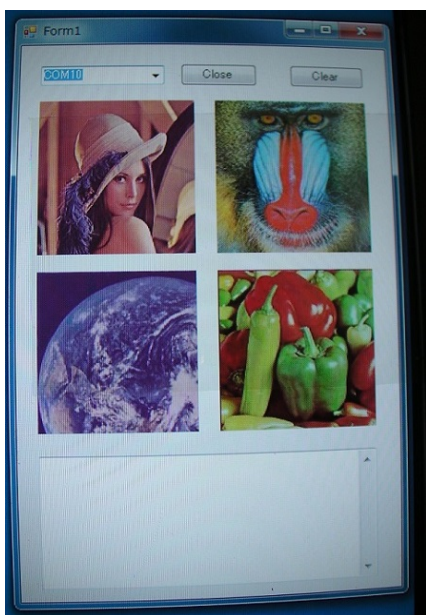
テーブルトップ PC 側の Arduino から導電性シート、人体、人体と接触し Arduino に繋げた電極を通過した信号はウェアラブルデバイス側の Arduino で受信する。この Arduino はテーブルトップ PC 側の Arduino からの信号を受信したら、その都度信号をウェアラブルデバイスへ送る。

ウェアラブルデバイスでは初めにファイルサイズとして 8 バイトのデータを受信する。これがもし 8 バイトとなっていなければノイズであるとしてその後の処理を行わない。8 バイトのデータを受信すれば、これがファイルサイズのデータであると認識して数値に変換し、その後画像情報が送られてく

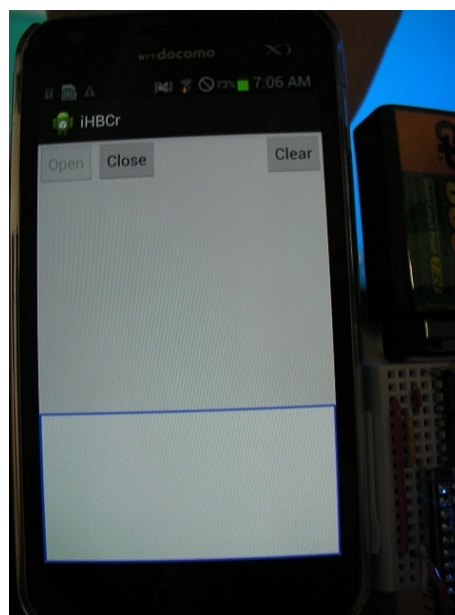
るものとして待機状態に入る。正常に通信が行われていればそのまま画像情報がバイト型配列として送られてくる。このとき送られてくるデータは初めに受信したファイルサイズの分のはずである。そのため、受信した画像情報のバイト配列の大きさが初めに受信したファイルサイズと一致していれば、正しい画像情報であるとしてバイト型配列を画像に復元しウェアラブルデバイスのディスプレイに表示する。この仕組みはウェアラブルデバイスからテーブルトップ PC への画像移動の場合も同じである。

図 4.5 は実際にテーブルトップ PC からウェアラブルデバイスへの画像の移動を行った様子である。図 4.5a はテーブルトップ PC の待機画面、図 4.5b はウェアラブルデバイスの待機画面である。図 4.5c のようにテーブルトップ PC に表示された画像にタッチすることで通信を行う。正しく通信が行われた場合、図 4.5d のようにユーザが触れた画像がウェアラブルデバイスにも表示される。

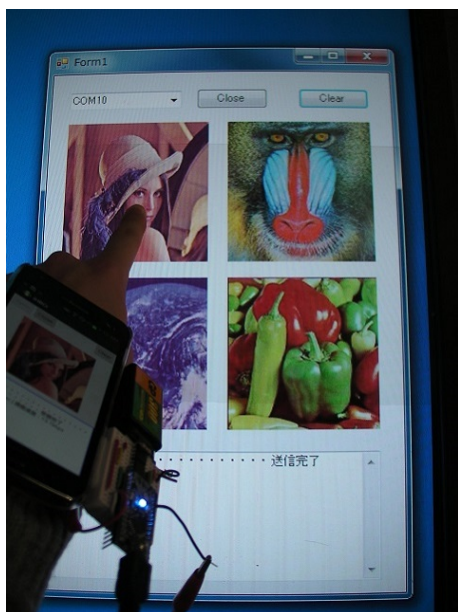
同様に、図 4.6 はウェアラブルデバイスからテーブルトップ PC への画像の移動を行った様子である。図 4.6a はテーブルトップ PC の待機画面、図 4.6b はウェアラブルデバイスの待機画面である。図 4.6c のようにウェアラブルデバイスに表示された画像にタッチすることで通信を行う。正しく通信が行われた場合、図 4.6d のようにユーザが触れた画像がウェアラブルデバイスにも表示される。



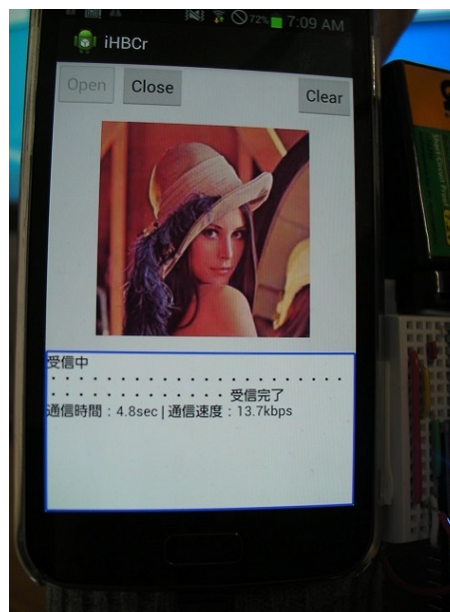
(a) テーブルトップ PC の待機画面



(b) ウェアラブルデバイスの待機画面

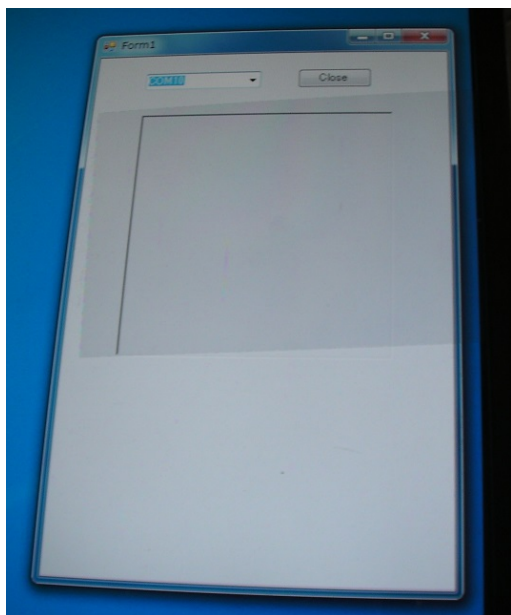


(c) 通信中

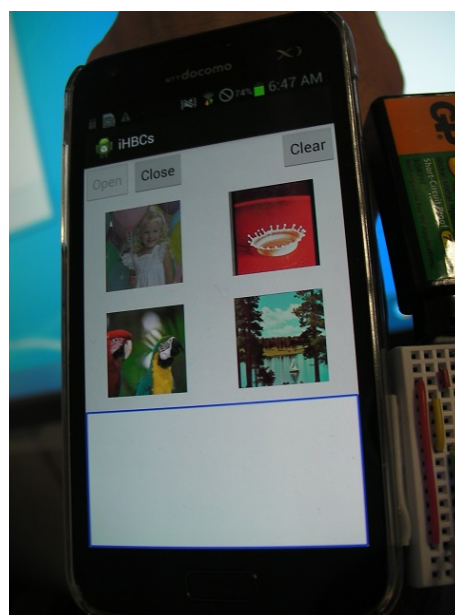


(d) 通信完了

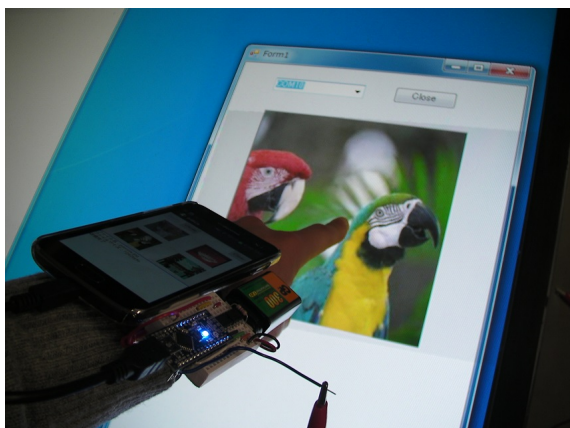
図 4.5: テーブルトップ PC からウェアラブルデバイスへの画像移動



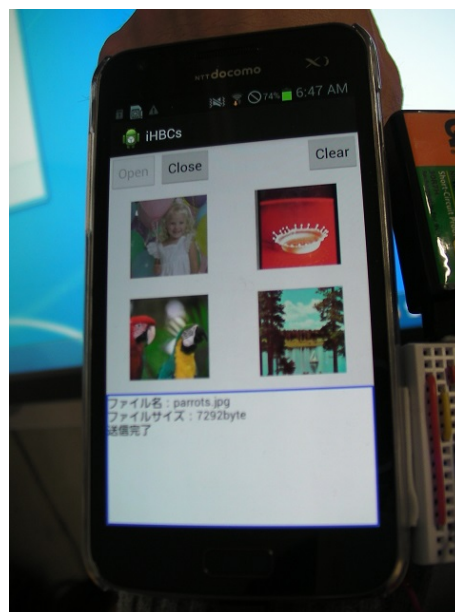
(a) テーブルトップ PC の待機画面



(b) ウェアラブルデバイスの待機画面



(c) 通信中



(d) 通信完了

図 4.6: ウェアラブルデバイスからテーブルトップ PC への画像移動

4.2.3 掲示板アプリケーション

情報移動の例として掲示板の内容変更を行うアプリケーションを作成した。テーブルトップ PC を掲示板として利用する。状況としては学校等の公共の場でグループが情報のやり取りを行う場合を想定している。あるユーザが不特定多数の人に対して情報を見せる場合、ユーザはウェアラブルデバイスに情報を書き込む。この情報を書き込んだ状態で掲示板に触れ、ウェアラブルデバイスの「Send」ボタンをタッチする。すると、ウェアラブルデバイスに書かれている情報が掲示板へと移動する。今度は別のユーザが情報を移動できる形で持ちたい場合、掲示板の Receive ボタンにタッチすると PC からウェアラブルデバイスへと情報が移動し、個人が持ち運べる形となる。今度は個人がこの情報を編集して掲示板に触れ、ウェアラブルデバイスの送信ボタンをタッチする。すると編集した内容が掲示板へと表示される。画像の移動の場合と比べ、取得した情報を編集して移動させることができる。

情報移動の基本的な仕組みは画像移動の場合と同じである。ユーザがテーブルトップ PC に表示された「Receive」ボタンにタッチすると掲示板に表示されている文字情報がバイト型配列に変換され、この文字情報の総サイズが 8 バイトのバイト型配列に変換される。8 バイトのサイズ情報は 1 ビットずつ Arduino へ送られ、Arduino はテーブルトップ PC からデータが送られて来たらそのデータを受信し、その都度信号をウェアラブルデバイスへ向けて出力する。このときの待機状態処理も画像移動の場合と同じである。

テーブルトップ PC 側の Arduino から導電性シート、人体、人体と接触し Arduino に繋げた電極を通過した信号はウェアラブルデバイス側の Arduino で受信する。この Arduino はテーブルトップ PC 側の Arduino からの信号を受信したら、その都度信号をウェアラブルデバイスへ送る。

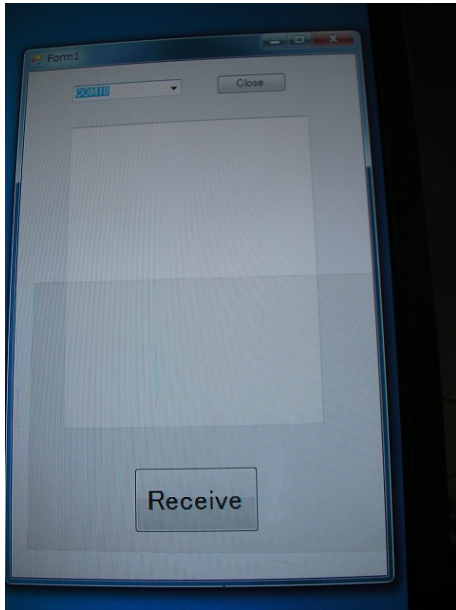
ウェアラブルデバイスでは初めに文字情報の総サイズとして 8 バイトのデータを受信する。これがもし 8 バイトとなっていなければノイズであるとしてその後の処理を行わない。8 バイトのデータを受信すれば、これがファイルサイズのデータであると認識して数値に変換し、その後文字情報が送られてくるものとして待機状態に入る。正常に通信が行われていればそのまま文字情報がバイト型配列として送られてくる。受信した文字情報のバイト配列の大きさが初めに受信した総サイズと一致していれば、正しい文字情報であるとしてバイト型配列を文字に復元しウェアラブルデバイスのディスプレイに表示する。

画像移動アプリケーションと異なるのはこの受信した情報をウェアラブルデバイスで編集できる点である。ソフトウェアキーボードを用いることでこの内容を任意に編集し、その上でテーブルトップ PC のディスプレイに触れウェアラブルデバイスの「Send」ボタンをタッチすることで編集した内容をテーブルトップ PC に送ることができる。このときに仕組みはテーブルトップ PC からウェアラブルデバイスへの情報移動の場合と同じである。正しく通信が行われていればテーブルトップ PC に送信した情報が表示される。

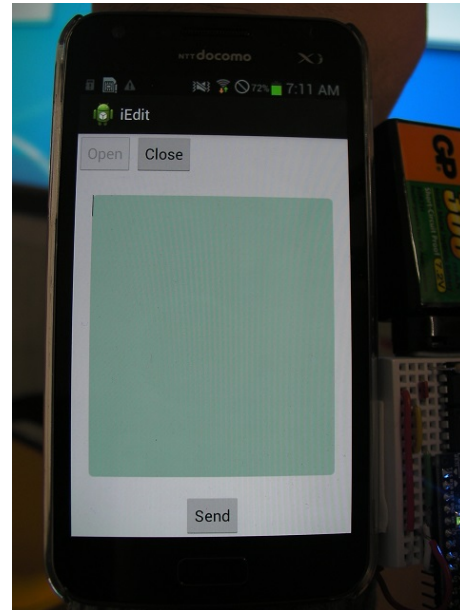
図 4.7 は実際に掲示板アプリケーションを使用してウェアラブルデバイスから掲示板へ内容を送信する様子である。図 4.7a はテーブルトップ PC の待機画面、図 4.7b はウェアラブルデバイスの待機画面である。初めは何も記述されていない状態である。ここで、ユーザは図 4.7c のようにウェアラブルデバイスに掲示板へ書き込む内容を記述する。この状態で 4.7d のように掲示板にタッチすることで通信を行い、掲示板の内容を編集する。

図 4.8 はウェアラブルデバイスに掲示板の内容を取得する様子である。図 4.8a のように別のユーザが掲示板の内容を編集したとする。ここでユーザは図 4.8b のように「Receive」ボタンにタッチするこ

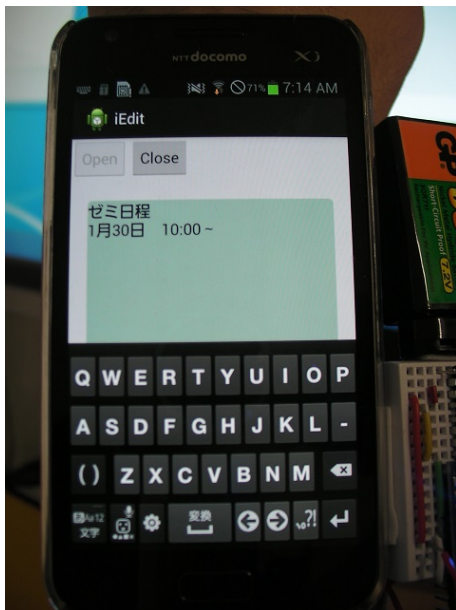
とでウェアラブルデバイスに掲示板の内容を取得する。通信が完了すると図 4.8c のようにウェアラブルデバイスに掲示板の内容が表示される。ユーザはこのままウェアラブルデバイスを操作することでさらに内容を編集して掲示板に送ることができる。



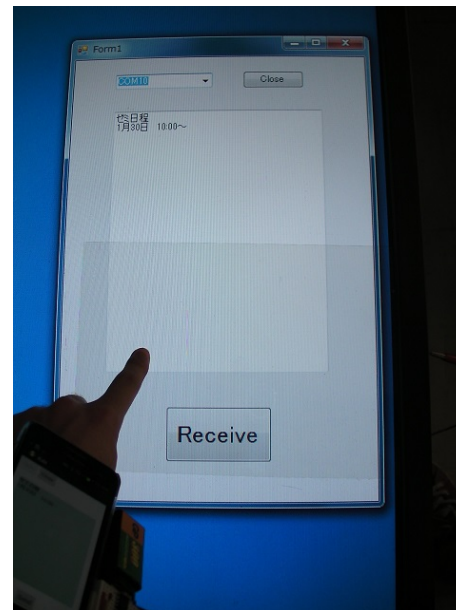
(a) テーブルトップ PC の待機画面



(b) ウェアラブルデバイスの待機画面

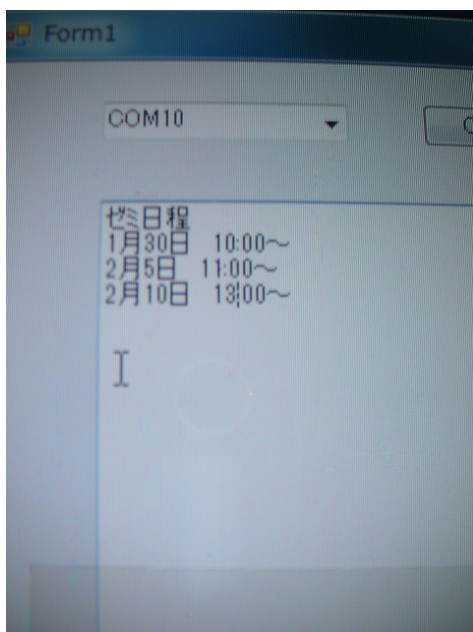


(c) 掲示板へ書き込む内容を記述

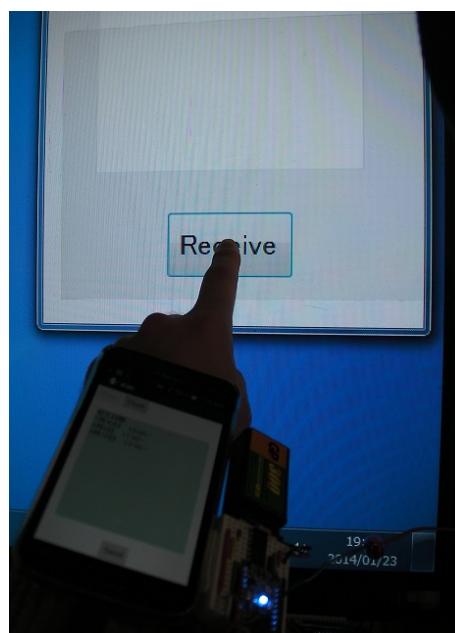


(d) 通信完了

図 4.7: ウェアラブルデバイスから掲示板へ内容を送信



(a) 別のユーザが掲示板の内容を編集



(b) 通信中



(c) 通信完了

図 4.8: ウェアラブルデバイスに掲示板の内容を取得

第5章 評価実験

5.1 実験 1:通信速度の測定

通信手法として重要な要素となる通信速度について実験を行う。作成したプロトタイプおよびアプリケーションを用いて被験者にタスクを行ってもらい、そのときの通信速度を記録する。通信速度はウェアラブルデバイスのディスプレイに表示されるよう設定した。

5.1.1 被験者

22～23 歳の大学生 3 名に実験を行ってもらった。

5.1.2 実験環境

プロトタイプとして作成した通信モジュールを用いて実験を行う。

5.1.3 実験タスク

通信モジュールと画像移動アプリケーションを用いてテーブルトップ PC に表示された画像をウェアラブルデバイスへと移動する。タスクは 5 回実施する。1 回の通信ごとに通信速度を記録する。画像は 8.04KB, 12.00KB, 8.48KB, 8.87KB の 4 種類を用いた。

5.1.4 実験手順

被験者は以下の手順の通りに実験を行う。

1. 使い方について説明を受ける。
2. タスクを実施する。
3. 通信速度を記録する。

5.1.5 実験結果

通信速度の測定結果を表 5.1 に示す。タスクごとの通信速度にはほとんど差異が生じず、被験者が変わっても差異は生じなかった。全体の平均通信速度は 14.1kbps となった。

表 5.1: 通信速度の測定結果

タスク\被験者	被験者 A	被験者 B	被験者 C
1 回目	14.1kbps	13.6kbps	13.9kbps
2 回目	14.3kbps	13.7kbps	13.7kbps
3 回目	14.1kbps	14.2kbps	15.0kbps
4 回目	14.1kbps	14.3kbps	14.3kbps
5 回目	13.9kbps	14.2kbps	14.2kbps
平均	14.1kbps	14.0kbps	14.2kbps

5.1.6 考察と議論

実験結果から提案手法では安定した速度で通信が行えると言える。通信を行うユーザによって人体の抵抗値が異なるため通信速度に影響する可能性も考えられたが、通信速度に影響を与える程の違いとはならなかったため、差異が生じなかったと考えられる。

先述のように通信速度の理論値は 17.7kbps であったが、実測値は 14.1kbps となった。これは通信機構として設定した待機時間だけでなく、機器間で信号を処理する際の遅延により生じたと考えられる。提案手法による通信速度がこの値となったのは、信号の入出力に Arudino Nano 3.1 を用いたことが大きな理由となっている。ボーレートを 57600bps に設定した理由は、この速度が Arduino で安定して処理を行うための限界速であったためである。また、Arduino は PC やスマートフォンに比べて処理が遅いため、処理の同期をとるために 64 バイト送信するごとに 20ms という待機時間を設定した。しかし、Arduino が PC 並の処理速度を持っていればこの待機時間は不要になると考えられる。提案手法で Arduino を用いた理由は電気信号の入出力が手軽に行えるためであったが、別の機器を用いることで通信速度を向上させることができる可能性があると考えられる。

5.2 実験 2:既存通信手法との比較

提案手法と既存通信手法との比較を行う。作成したプロトタイプおよびアプリケーションを用いて被験者にタスクを行ってもらうとともに、これに相当するタスクを既存手法を用いて行ってもらう。比較対象となる既存手法は QR コードと Bluetooth による通信とする。全てのタスク終了後にアンケートに答えてもらう。

5.2.1 被験者

22 歳～24 歳の大学生、大学院生 4 名に実験に行ってもらった。

5.2.2 実験環境

提案手法に関してはプロトタイプとして作成した通信モジュールを用いる。実験では作成した画像移動アプリケーションを使用し、テーブルトップ PC に表示された画像をウェアラブルデバイスに移動する。

5.2.3 実験タスク

a. QR コードによる画像の通信

予めテーブルトップ PC に画像の URL 情報を持った QR コードを 4 種類表示しておく。被験者はスマートフォンで QR コードリーダーを起動し、テーブルトップ PC に表示された任意の画像を読み取る。タスクは計 10 回行うが、QR コードリーダーは初めに一度起動すればよいものとする。

b. Bluetooth による画像の通信

スマートフォンを操作してペアリング可能な端末をスキャンする。目的のノート PC が見つかったらそれを選択してペアリングを行う。ペアリングが完了したらノート PC を操作してファイル送信ボタンから任意の画像を選択しスマートフォンへ画像を送る。タスクは計 10 回行うが、ペアリングは初めに一度行えばよいものとする。

c. 提案手法による画像の通信

予めテーブルトップ PC では画像移動アプリケーションを起動して画像を 4 種類表示しておく。被験者はウェアラブルデバイスで画像移動アプリケーションを起動し、テーブルトップ PC に表示された任意の画像にタッチして通信を行う。タスクは計 10 回行うが、アプリケーションは初めに一度起動すればよいものとする。

5.2.4 実験手順

被験者は以下の手順の通りに実験を行う。1 つの手法について説明したらその手法を用いてタスクを実行し、タスクが終了したら別の手法について説明を受けるという流れで行う。実験を行う順序はバランスをとるよう被験者ごとに入れ替えて行った。

1. 使い方について説明を受ける。
2. 使い方を覚えるために練習として 5 回タスクを実施する。
3. 実験本番として 10 回タスクを実施する。
4. 全てのタスク終了後、アンケートに回答する。

5.2.5 アンケート

1. インタラクション手法の研究 [12] を参考に以下の 5 項目を設定し、5 項目それぞれについて 1 から 5 の 5 段階で評価してもらった (1:非常に悪い 2:やや悪い 3:普通 4:やや良い 5:非常に良い)。
 - 通信を行うための作業が少ない
 - 通信を行うための作業が分かりやすい
 - 端末の接続も含めて通信に時間がかからない
 - 通信の際にミスが発生しにくい
 - 重要な情報を通信するのに抵抗がない
2. 実験を行って感じた各手法の長所・短所について記述してもらった。
3. 実験で比較した 3 つの手法について、情報移動手法として総合的に優れていると思われた順に順位付けを行ってもらった。
4. 全体を通して感想等を自由に記述してもらった。

5.2.6 実験結果

上記のアンケート 5 項目の結果を表 5.2 に示す。また、各項目ごとの平均値を図 5.1 に示す。数値は各項目に対する全被験者の平均値を表している。

実験を行って感じた各手法の長所・短所についての意見を以下に列挙する。

QR コードの長所

- よく知られた手法でわかりやすい。
- カメラで認識するだけなので、どこにいても、またコードが紙に印刷されていても、画面に表示されていても使える。
- カメラで撮るだけで良いので楽。
- カメラが搭載された端末を操作するだけでよい。

QR コードの短所

- QR コードの生成に手間がかかりそう。
- 光の当たり方等環境によっては読み取れないことがある。
- どのコードが何を表しているのか分かりにくい。
- 大画面ディスプレイで使う場合、カメラの位置やピント合わせが大変かもしれない。

Bluetooth の長所

- 複数のファイルをまとめて送れるのがよい。
- 使い慣れたユーザなら、大量のデータ通信を行う際には使いやすいかもしれない。
- 通信が速い。
- 想像よりは簡単に接続、通信が出来たと感じた。
- ある程度離れた距離でも通信できる。
- プライバシー的に安心感がある。

Bluetooth の短所

- ペアリングの手間が煩わしい。
- 接続までの手順が非常に複雑。
- 近くに複数の端末があると目的の端末を探して選択するのが大変かもしれない。
- ペアリング処理の分手間がとても多い。

提案手法の長所

- 単純明快である。
- 通信したいものにタッチすることで直接通信が行えるのでとても分かりやすい。
- 直感的に利用できる。
- 直接触られない限り情報が漏れないのでセキュリティを考えると安心感がある。
- 通信したい画像を視覚的に認識できるかつ身体的な動作によって選択できるためとても直感的である。

提案手法の短所

- 通信中はタッチパネルを押したままに制限されるため煩わしい。
- 通信機器がやや大きく負担になる可能性がある。
- 信頼性が低く重要な情報に欠損が生じると困る。
- 指を接触させる時間が少し長く感じた。

実験で比較した3つの手法について、情報移動手法として総合的に優れていると思われた順に順位付けを行ってもらった結果を表 5.3 に示す。

その他の自由回答で述べてもらった意見を以下に列挙する。

- 人体通信を用いた手法はアミューズメント方面に可能性が広がりそう。
- QR コードは送信側に電源がなくても使えるのが良い。
- Bluetooth は使い方に慣れていないと少し難しい。

- 人体通信を用いた手法はデータの双方向に送受信ができるので、ユーザ認識が必要なデータ移動に用いた方が差別化できると思う。スピードや通信確立の仕組みでは既存手法に勝ちにくい気がする。
- 目的により手法を変えると良い。QR コードは紙等電源を利用しない場合、Bluetooth は大容量データを使う場合、人体通信はそれ以外の部分。

表 5.2: アンケート結果

項目\被験者		被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D
項目 1 通信を行うための 作業が少ない	QR コード	4	4	4	5
	Bluetooth	2	1	2	2
	提案手法	4	5	5	5
項目 2 通信を行うための 作業が分かりやすい	QR コード	4	3	5	5
	Bluetooth	2	1	3	4
	提案手法	5	5	5	5
項目 3 端末の接続も含めて 通信に時間がかからない	QR コード	5	4	5	5
	Bluetooth	3	1	4	4
	提案手法	4	5	3	3
項目 4 通信の際にミスが 発生しにくい	QR コード	5	3	4	4
	Bluetooth	5	5	4	4
	提案手法	2	4	3	3
項目 5 重要な情報を通信する のに抵抗がない	QR コード	5	2	3	2
	Bluetooth	4	3	5	4
	提案手法	1	4	3	5

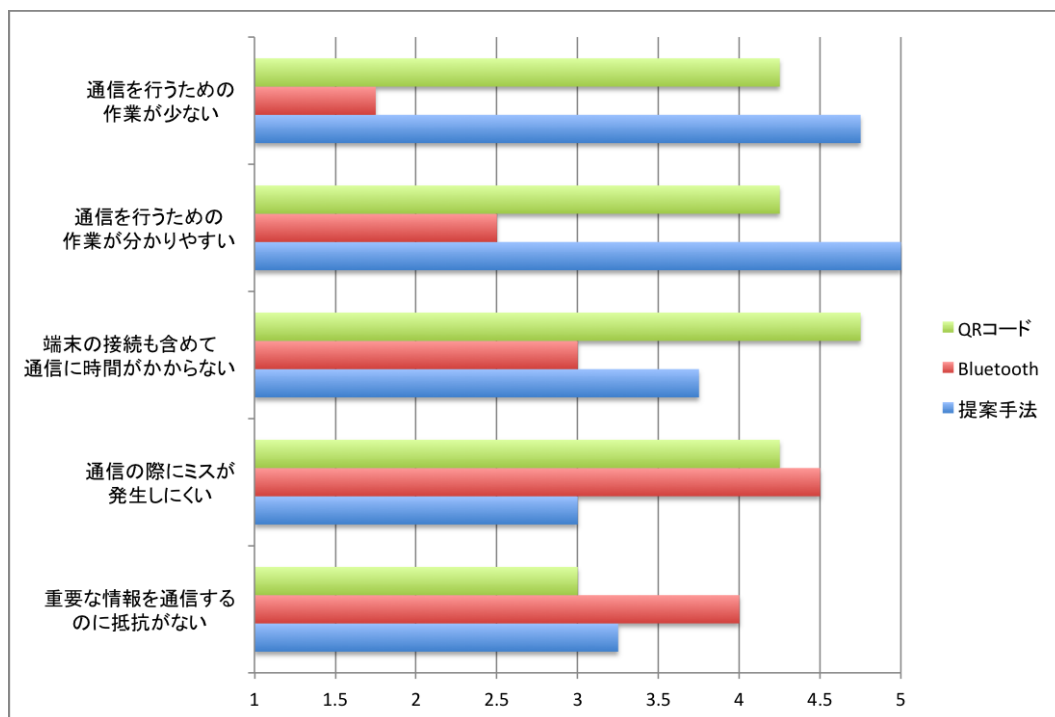


図 5.1: アンケート結果の平均値

表 5.3: 手法の順位

手法\被験者	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D
QR コード	2	3	1	2
Bluetooth	3	2	3	1
提案手法	1	1	2	3

5.2.7 考察と議論

通信を行うための作業が少ない、通信を行うための作業が分かりやすいという項目において提案手法は比較として挙げた既存手法よりもよい結果が得られた。特に通信を行うための作業が分かりやすいという項目は全ての被験者が最高点の5を付けた。これはコメントにも表れており、提案手法の長所として通信の分かりやすさを挙げた意見が複数見られた。この点に関しては提案手法の目的が達成されたといえる。

端末の接続も含めて通信に時間がかからないという項目に関してはQRコードよりは低い評価となったが、Bluetoothよりは高い評価となり、平均的に普通以上であるという評価が得られた。こうした評価となった理由は接続までは簡潔だったものの、画像のサイズに比べて通信速度が遅かったため全体と

して時間がかかってしまったということが考えられる。しかし、通信速度に関しては先述のように改善できる可能性があり、通信速度を改善することでこの評価を向上させることができると考えられる。

通信の際にミスが発生しにくいという項目では提案手法は最も低い評価となった。これは通信中に画面から手を離してしまうと通信ができなくなってしまうことが大きな理由であると考えられる。人体通信の仕組み上、通信中は画面に手を触れている必要がある。しかし、通信速度を改善し画面に触れている時間を短くすればこうしたミスも起こりにくくなると考えられる。また、今回は通信が失敗した場合に再送や誤り訂正等エラー処理を行わなかった。これは通信速度の観点からエラー処理を省いて速度を優先すべきと考えたためである。エラー処理を定義することで通信手法としてより安定すると考えられる。

重要な情報を通信することに抵抗がないという項目においては Bluetooth よりは低い評価となったが、QR コードよりは高い評価となり、平均的に普通以上であるという評価が得られた。この項目に関しては被験者によって大きく意見が分かれた。この項目で提案手法に 5 点を付けた被験者はコメントでも「直接触られない限り情報が漏れないのでセキュリティを考えると安心感がある」と答えた。これは提案手法の目的と合致する。一方で 1 点を付けた被験者は「信頼性が低く重要な情報に欠損が生じると困る」と答えた。これは上記のように通信速度を改善しエラー処理を行うことで改善することができるが、情報が大容量であった場合、通信中一度も手を離さないというのは難しい。重要な情報の場合通信に失敗することは極力避けたいため、セキュリティ性は高くても情報によっては不向きな場合もあるといえる。

順位に関しては被験者ごとに違いはあったものの、複数の被験者が提案手法を最も良いと答えた。この結果から、改善する部分は存在するものの、情報移動手法として有用性があるといえる。改善点としては通信速度やエラー処理が考えられる。それ以外には人体通信を端末の接続とキー情報の通信のみに利用するという手法も考えられる。ディスプレイに表示された情報に触れることで人体通信により端末情報を送り合い接続する端末を認識する。さらに、どんな情報を送るかというキー情報のみ通信する。これらの情報を利用して後は Bluetooth などを用いることで、手を離しても通信が行える。これにより、セキュリティ面でのメリットは失われるが、通信を行うための作業が少なく分かりやすいというメリットを活かしつつ、課題を改善することができる可能性が考えられる。また、単純な情報移動として用いるだけでなく、情報に触れることを活かしたインタラクション考えることでより有効な手法になることが考えられる。

第6章 結論

本研究では複数端末間において簡潔で分かりやすい情報移動手法を提案することを目的としたタッチパネルとの人体通信システムを開発した。タッチパネルとの人体通信が最も活かされる状況は、公共の場で多数の人に情報が提示されており、各ユーザはその情報から自らが取得したい情報を選んで自らが持つ端末に移動させたいという場合であり、その端末は気軽に端末間の情報移動を行うことができるように、常に端末を身につけているような状況が望ましい。こうした点から、本研究ではユーザが個人の専用端末としてコンピュータを搭載したウェアラブルデバイスを身につけ、情報が映し出されたタッチパネル式テーブルトップ PC を使用する場合を想定した。このシステムでは予め端末の接続設定を行う必要がなく、タッチパネルのディスプレイに表示された情報に触るだけで情報を移動させることができる。人体通信を行うために双方が電流の入出力を行うことができるよう設計した。

システムを評価するために通信速度の測定と既存通信手法との比較実験を行った。通信速度は安定した結果が得られ、実測値は平均 14.1kbps であった。既存通信手法との比較実験では QR コードと Bluetooth との比較を行った。アンケート調査により、提案手法は情報移動を行うための作業が簡潔で分かりやすいという結果が得られ、既存の通信手法と比較しても有効性があると示された。

今後の課題としては通信速度と安定性の向上が挙げられる。また、タッチパネルとの人体通信システムをより活かした利用方法についても検討したい。

謝辞

本論文を執筆するにあたり，指導教員である高橋伸准教授，田中二郎教授をはじめ，三末和男准教授，志築文太郎准教授にはゼミやミーティングを通して大変貴重なご意見，アドバイスをいただきました。深く御礼申し上げます。また，インタラクティブプログラミング研究室の皆様にはゼミや日常生活の中で数々のご意見をいただきました。特に，ユビキタスチームの皆様にはゼミ以外にも研究生生活全体にわたって数多くのご意見やご指摘をいただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。そして最後に，大学生活を送る中，経済面や精神面にわたっても支えてくれた両親，そして大学生活を共に過ごし様々な面でお世話になった全ての友人に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] Jun Rekimoto. Pick-and-drop: a direct manipulation technique for multiple computer environments. In Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp. 31-39, 1997.
- [2] T.G. Zimmerman. Personal Area Networks: Near- field intrabody communication. IBM Systems Journal, Volume 35, Issue 3-4, pp. 609-617,1996.
- [3] M.S. Wegmuller. Intra-Body Communication for Biomedical Sensor Networks. Series in Microelectronics, Vol 188, pp. 1-161, 2007.
- [4] Jing-Wu He, Yue-Ming Gao, Sio Hang Pun, Peng Un Mak, Mang I Vai. A transceiver designed for intra-body communication of body area networks. In Proceedings of the 6th International Conference on Body Area Networks, pp. 67-70, 2011.
- [5] 高橋 智仁, 岩下克. 人体通信における高周波信号伝搬特性. 高知工科大学卒業研究報告, 2010.
- [6] NTT. RedTacton. <http://www.redtacton.com/>
- [7] Nobuyuki Matsushita, Shigeru Tajima, Yuji Ayatsuka, Jun Rekimoto. Wearable key: Device for personalizing nearby environment. In Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on Wearable Computers, pp. 119-126, 2000.
- [8] 土井謙之, 西村篤久. 人体を伝送路とする高信頼性通信方式. 松下電工技報, Vol.53, No.3, pp.72-76, 2005.
- [9] Kazuki Iida, Kenji Suzuki. Enhanced touch: a wearable device for social playware. In Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, pp. 83-84, 2011.
- [10] 池松香, 椎尾一郎. 記憶の石:マルチタッチを用いた複数計算機間情報移動. インタラクション 2012 論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, ISSN: 1882-0840, Vol. 2013, No. 1, pp. 80-86, 2013.
- [11] Duck Gun Park, Jin Kyung Kim, Jin Bong Sung, Jung Hwan Hwang, Chang Hee Hyung, Sung Weon Kang. TAP: touch-and-play. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 677-680, 2006.
- [12] Umar Rashid, Aaron J. Quigley. Interaction techniques for binding smartphones: A desirability evaluation. HCI'10, Vol. 5619 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 120-128,2009.