

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11388

研究課題名(和文) センサ付きパッシブ高機能RFIDデバイスを活用する実世界インタラクション手法の研究

研究課題名(英文) Utilizing Passive High-Function RFID Devices with Sensors for Real-World Interaction

研究代表者

高橋 伸 (Takahashi, Shin)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：00272691

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：インタラクションデバイスとしてのパッシブ高機能RFID(PHF-RFID)タグと開発プラットフォームを試作した。試作の一つはカード型デバイスであり、加速度センサと反射型液晶ディスプレイを搭載している。このカードの活用例として、ジェスチャ動作を認識するアプリケーションを作成した。もう一つの試作は指につけた磁石の位置を取得するデバイスであり、頭部に装着することで指の位置を取得することができる。開発プラットフォームは、デバイスプラットフォーム、ファームウェアプラットフォーム、アプリケーションプラットフォームから成り、PHF-RFIDを利用したシステムの試作を容易に行うことができる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

RFID技術は非接触ICカードとして広く使われているが、センサ等を搭載した高機能RFIDの活用方法はあまり探求されていなかった。本研究では、パッシブ高機能RFIDタグ(PHF-RFID)の特徴を生かして、どのようなインタラクション設計をすることで、実世界コンピューティング環境におけるHCIで活用することが可能であるか、という観点で2つの試作を行い、インタラクションデバイスとしての可能性を探求した。今後のPHF-RFIDの活用に向けた一歩と言える。また、PHF-RFIDのフレームワークはその試作による探求を手助けするものであり、今後のより多くの試作による設計と評価につながると期待される。

研究成果の概要(英文)：We have developed two prototypes of passive high-performance RFID (PHF-RFID) tags as interaction devices and a development platform. One of the prototypes is a card-type device equipped with an acceleration sensor and a reflective LCD display. As an example of how the card can be used, we created an application that recognizes gestures. The other prototype is a device that acquires the position of a magnet attached to a finger, which can be worn on the head to acquire the position of the finger. The development platform consists of a device platform, a firmware platform, and an application platform, making it easy to prototype a system using PHF-RFID.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：RFID

1. 研究開始当初の背景

近年ユビキタスコンピューティングあるいは IoT といった言葉で注目されているように、コンピューティング環境もコンピュータだけで閉じた世界から、実世界の様々な場面、コンテキストにおいて活用することが期待されている。そのような実世界環境におけるユーザ入出力インタフェース、インタラクション設計においては、多くの場合、マウスやキーボードの利用が相応わしくない。そのため、その場に応じたデバイスやオブジェクトを活用することが必要となる。我々は、これまで実世界環境における各種インタフェースの研究を行ってきた。例えば、人体通信を用いた大型ディスプレイとの通信、環境音を学習するスマートホームエンドユーザ向けシステム、環境光の変化を学習する小型デバイス群の協調による行動認識、磁気センサアレイを活用したジェスチャ認識、などの研究を行ってきた。

これらの事例に共通する問題として、実世界環境では配線が邪魔であり、できれば無くしたいということがある。無線通信とバッテリーを用いることで、ワイヤレスを実現することはできるが、バッテリーの容量には限りがあり、定期的な充電あるいは交換が必要になる。この点も面倒であり、デバイスが多くなるにつれ管理は不能になっていく。そのため、近年注目されている環境における光や熱、振動等で発電を行うエナジーハーベスティング(Energy Harvesting、環境発電)技術を検討したが、それにより得られる電力はかなり少ないため、利用場面の制約が強い。

そこで我々が着目したのは広く普及している技術である RFID (Radio-frequency identification) である。RFID では、電池を搭載したアクティブ型タグと、電波による給電で駆動するパッシブ型タグがあるが、我々が対象とするのは基本的にパッシブ型タグである。パッシブ型タグでは、RFID リーダーから受信した電波によって電力を得て、それにより搭載しているマイクロコンピュータを駆動し、そうして逆に送信する電波に情報を載せて返すことにより、通信を行う。通常の RFID タグでは、タグの ID をリーダーに送り返すことで、タグが付けられたモノを識別するために使われる。このタグは非常に安価に製造できることから、多くのタグを実世界環境の様々な物にとりつけることが可能であり、実世界コンピューティング環境において広く活用されている。

さらに、これらのタグに温度センサ、加速度センサ等を搭載したパッシブ高機能 RFID (PHF-RFID) タグが登場している。PHF-RFID は電源の心配がないバッテリーレスデバイスであるが、各種センサデータを取得することが可能である。また、低消費電力の液晶ディスプレイや LED、スピーカー等の出力機器まで合わせ持つことが可能である。

このように、バッテリーレスのパッシブデバイスでありながら、入出力機能を持ちうるので、PHF-RFID は実世界コンピューティング環境におけるインタラクションに役立てることが可能と期待される。しかし、これら PHF-RFID タグの活用法は、まだあまり探求されていない。特に、HCI という視点から考えると、PHF-RFID にはいくつか興味深い点がある。

- 各種センサを活用して、ID 認識(つまり「タッチ」)以上のインタラクションが可能である。例えば加速度センサを用いれば、デバイスの動きを取得できるので、スライド/フリップといったジェスチャ動作を組み合わせた認識ができる。
- デバイスを駆動するためにはリーダーの電波が届く範囲にデバイスを近づける必要がある。これはデメリットでもあるが、近づけたときのみ動作することが明確であるため、実世界コンピューティングにおいての一つの問題であるセキュリティ/プライバシー懸念の解消に役立てられる可能性がある。
- デバイスとリーダーを近づけないと動作しないという特徴は、逆に「近づける」という動作を必要とする。この制約をインタラクション設計で活用できる可能性がある。
- 複数のデバイスを同時に駆動することも可能であり、複数デバイスを協調させて用いるインタラクションが可能である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、各種センサ(・ディスプレイ)とパッシブ RFID を組み合わせた電池が不要な PHF-RFID デバイス群の開発フレームワークを確立することである。様々なコンテキストと目的に合わせた利用のためには、設計に多くのノウハウが必要になると考えられる。そこで、実際にいくつかの試作を行い、アンテナの配置や目的に応じたセンサの配置などの標準的な解をフレームワークあるいはライブラリとして用意することで、目的に合わせたデバイスを容易に構築することが可能になるようにする。

また、もう一つの目的は、PHF-RFID タグを実世界環境におけるインタラクションの中でどのように活用するかを研究することである。そこで、上記の開発環境整備と並行して、効果的なインタラクション手法を設計・実装する。さらに、デバイスの開発環境を活用して、実際にアプリ

ケーションシステム例をいくつか試作することで、その有効性を評価する。

3. 研究の方法

PHF-RFID タグのインタラクションデバイスとしての可能性を探るため、また、その実装における様々な知見を得るために、2つの試作を行った。一つは加速度センサ等を搭載したカード型デバイスの試作である。もう一つは磁石の位置を取得することができるシステムである。また、PHF-RFID の開発フレームワークの設計と実装を行った。本フレームワークでは特にデバイスのファームウェアをビジュアルプログラミングの形式で作成することができる。これらの詳細については、研究成果の項に述べる。

4. 研究成果

(1) カード型デバイスの試作と加速度センサの活用

まず、パッシブ高機能 RFID (PHF-RFID) の活用法を探り、その開発・実装における知見を得るために、加速度センサとディスプレイを搭載したカード型のデバイスを設計し実装した (図1)。このデバイスはパッシブ (バッテリーレス) で RFID リーダーからの電波を受信することで電力を発生させ動作する。通常の RFID で取得できる ID だけでなく、3 軸の加速度値を取得でき、また、反射型の液晶ディスプレイに文字等の表示を行うことができる。そのため通常の IC カードのようにリーダーにかざして認識させるだけでなく、かざす際の動きをジェスチャとして操作に用いることができる。このカードの利用例として、勤怠管理の場面、および電子マネーの場面、を想定した 2 種類のアプリケーションを試作した。また、この内容について HCII2018 において研究発表を行った (参考文献 [1])。

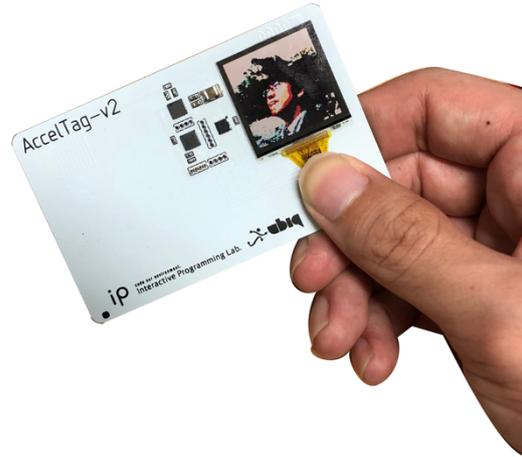


図 1: カード型デバイスの実装

その後、加速度センサを搭載する PHF-RFID を用いたデバイスを後述する開発環境を用いて開発するケーススタディも行った。①RFID モジュール部の動作確認。Farsens 社の評価基板である Kineo を用いた PHF-RFID システム実験を行った。まず、RFID 機能および搭載マイコン上のプログラム動作の確認として、我々が実装した開発環境を用いて、送信毎に値がインクリメントされるプログラムを書き込み、データの送受信テストを行った。RFID リーダとしては、Impinj 社の Speedway RevolutionR420 を利用した。その結果、実際に受信する毎に値がインクリメントされるデータを受信することを確認した。②加速度センサの動作確認及び性能調査。次に評価基板上に搭載されている加速度センサから値を取得する実験を行った。加速度センサはマイコンに接続されている。加速度センサの値を取得し送信するプログラムを前述の開発環境を用いて書き込み、加速度データの受信実験を行った。その結果、毎秒 20~30 回程度の加速度値を正しく受信できることを確認した。③ジェスチャ認識システム実装に向けたソフトウェア開発。RFID デバイスから取得した加速度値を認識するシステムの開発に向けて、RFID リーダによって取得したデータを他のプログラムに送信する UDP サーバ、RFID デバイスを用いたジェスチャ動作の学習をさせるためのジェスチャ動作データ収集を行うアプリケーション、取得した加速度データをリアルタイムで可視化するアプリケーションを実装し、それぞれの動作を確認した。

(2) 磁石の位置を取得するシステムの試作

磁気センサを搭載した PHF-RFID デバイスを利用して、磁石の位置を取得するシステムを試作した (図2)。このシステムでは、3 軸磁気センサを搭載したデバイス (Farsens 社評価基板) 2 つを眼鏡の左右側部に付け、また指には永久磁石を付けることで、顔付近の指の位置を識別することができる。指の位置識別は指の位置毎の磁気センサ値を機械学習することで行っている。この内容については、HCII2020 において発表を行った (参考文献 [2])。初期の試作では PHF-RFID 評価基板 3 つを眼鏡型デバイスの前面と両側面に付けて利用していた。しかし、RFID リーダにおいて



図 2: 磁石の位置を取得するデバイス

取得できるデータに不安定な面があった。そこで、データの取得レートや安定性がどの程度状況によって変わるのかを実験により調査した。RFID の数も評価基板を 2 つに減らすなどして試した。この結果、複数の RFID タグがある場合、RFID リーダが均等に各タグのデータを読みとらず、比較的偏って続けてデータを読みとる傾向が強いことがわかった。また、同様に RFID アンテナとタグとの距離や方向によって、読取性能が変化するかを調査した。その結果、数センチ以内の近付けすぎると、50cm 以上離れた場合に読み取り性能が低下した。どちらの場合も必要な電力が得られなかったためと思われる。これらの試行錯誤の結果、図 2 の形態で用いることとした。

顔面上のタッチ位置を識別する評価では、顔の両側面に PHF センサをつけた状態で、6 点の位置の識別で識別率が 65%程度であった。これは磁気センサからデータが指の向きに対して比較的敏感に変化するためであると考えられるが、学習させる特徴量の工夫によってより高い精度を得られると期待できる。この試作では顔と指に装着するデバイスを完全にバッテリーレスで駆動させることに成功していて、PHF-RFID を利用したインタフェースの可能性を実証できたとと言える。

(3) 開発フレームワークの作成

PHF-RFID アプリケーション開発フレームワークを試作した。PHF-RFID を用いたアプリケーションを開発するためには、大きく分けると①デバイスの設計と実装、②デバイスで動作させるファームウェアの記述、③RFID リーダーを通してセンサ値を取得して利用する PC 側のアプリケーションの開発、が必要である。これらを支援するフレームワークを試作した。

① デバイスプラットフォーム

PHF-RFID デバイスは、おおまかに RFID 部とセンサ部に分かれる。RFID 部はセンサに依らずほぼ共通である。そこで、共通部分をプラットフォーム基板として作成し、それにセンサコンポーネントを接続することで、PHF-RFID デバイスとして試用できるようにした。図 3 はプラットフォーム基板（上部緑の基板）とセンサコンポーネント基板（下部黄色の基



図 3: プラットフォーム基板とセンサコンポーネント基板の接続

板) とを接続した様子である。

② ファームウェアプラットフォーム

ファームウェアプラットフォームでは、デバイスプラットフォームにより作成した PHF-RFID デバイスを動作させるためのファームウェアを容易に作成することができる。図 4 は PHF-RFID デバイス内の加速度センサの値を取得して、RFID リーダーへ送るためのプログラムである。このように、センサデータを RFID マイコン経由でアプリケーション側へ送信できるようにするためのファームウェアをビジュアルプログラミングの形式で作成することができる。プログラム作成が完了した後は、図 5 のように、書き込み機を通してプラットフォーム基板を接続することで、コンパイルしたファームウェアをプラットフォーム基板に書き込むことができる。

③ アプリケーションプラットフォーム

アプリケーションプラットフォームには、PHF-RFID デバイスを利用したシステムにおけるアプリケーションプログラムを作成するためのライブラリを用意した。具体的には、

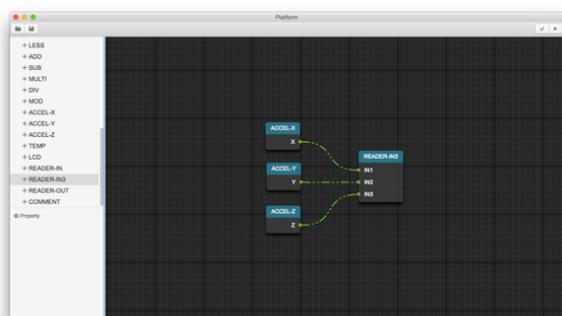


図 4: ファームウェアプラットフォーム

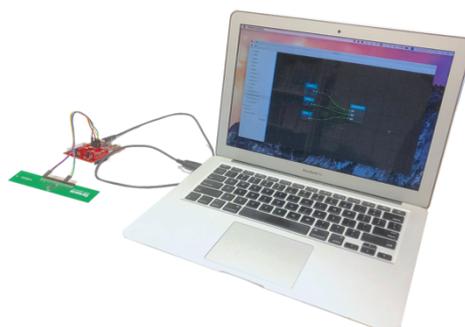


図 5: ファームウェアの書き込み

RFID リーダーを通した PHF-RFID デバイスからのデータ取得、リーダーの出力設定等が行える。図6は実際にアプリケーション（ゲーム）を試作した例である。図6左下にある白い箱が RFID リーダーのアンテナであり、その上で手に持たれているのが加速度センサコンポーネントをプラットフォーム基板に接続した PHF-RFID デバイスの試作である。このデバイスには図4のファームウェアが書き込まれていて、加速度センサの値をアプリケーション側に送ることができる。このアプリケーションではデバイスがゲームコントローラになっていて、ユーザはデバイスを傾けることによりゲームの操作を行うことができる。

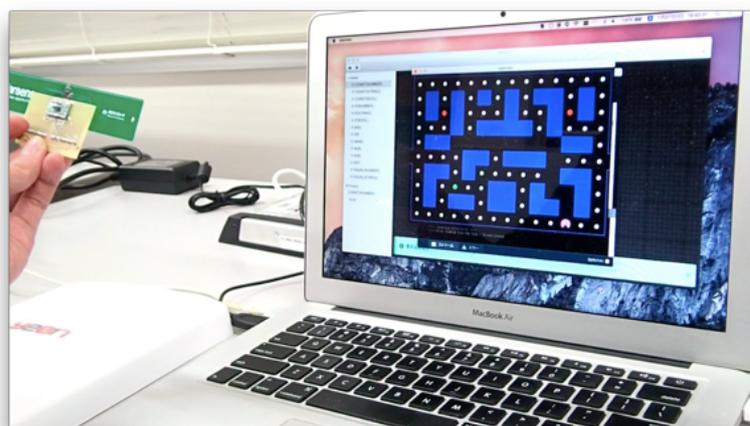


図 6：アプリケーションフレームワークによる試作例

(4) ハンドジェスチャインタフェースの設計

PHF-RFID の将来的な応用として表計算ソフトウェア向けのハンドジェスチャインタフェースの設計を行った。このインタフェースでは表計算シート内のデータ操作をハンドジェスチャにより行うことができる。この内容について AsianCHI2021 において研究発表を行った（参考文献 [3]）。将来的には手に PHF-RFID デバイスを取り付けることにより、ハンドジェスチャの認識ができると期待される。今後、ハンドジェスチャの認識方法を検討していきたい。

参考文献

- [1] Kazuya Oharada, Buntarou Shizuki, and Shin Takahashi, A Gesture-Based Interaction Technique for a Passive RFID Card with an Acceleration Sensor, In Proceedings of the 20th International Conference on HCI 2018, Held as Part of HCI International 2018, Part III, LNCS 10904, pp.334-343, July 2017.
- [2] Yuta Takayama, Yuu Ichikawa, Takumi Kitagawa, Song Shengmei, Buntarou Shizuki, Shin Takahashi, Touch Position Detection on the Front of Face Using Passive High-Functional RFID Tag with Magnetic Sensor, In Proceedings of 22nd International Conference on Human-Computer Interaction (HCII '20), Vol. 2, LNCS 12182, Springer, Copenhagen, Denmark, July 2020, pp. 523-531.
- [3] Yuta Takayama, Yuu Ichikawa, Buntarou Shizuki, Ikkaku Kawaguchi, Shin Takahashi, A User-based Mid-air Hand Gesture Set for Spreadsheet, In Proceedings of the 2021 ACM CHI symposia on Asian CHI Symposium 2021 (Asian CHI Symposium 2021), May 7-13, 2021, Yokohama, Tokyo, ACM, pp. 122-128.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takayama Yuta, Ichikawa Yuu, Kitagawa Takumi, Shengmei Song, Shizuki Buntarou, Takahashi Shin	4. 巻 12182
2. 論文標題 Touch Position Detection on the Front of Face Using Passive High-Functional RFID Tag with Magnetic Sensor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Human-Computer Interaction. Multimodal and Natural Interaction. HCII 2020. Lecture Notes in Computer Science.	6. 最初と最後の頁 523 ~ 531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-49062-1_35	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuya Oharada, Buntarou Shizuki, Shin Takahashi	4. 巻 10903
2. 論文標題 A Gesture-Based Interaction Technique for a Passive RFID Card with an Acceleration Sensor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Human-Computer Interaction. Interaction Technologies. HCI 2018. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 334-343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-91250-9_26	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takayama Yuta, Ichikawa Yuu, Shizuki Buntarou, Kawaguchi Ikkaku, Takahashi Shin	4. 巻 5
2. 論文標題 A User-based Mid-air Hand Gesture Set for Spreadsheets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2021 ACM CHI symposia on Asian CHI Symposium 2021 (Asian CHI Symposium 2021)	6. 最初と最後の頁 122-128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3429360.3468193	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Takayama Yuta, Ichikawa Yuu, Kitagawa Takumi, Shengmei Song, Shizuki Buntarou, Takahashi Shin
2. 発表標題 Touch Position Detection on the Front of Face Using Passive High-Functional RFID Tag with Magnetic Sensor
3. 学会等名 HCII2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuya Oharada, Buntarou Shizuki, Shin Takahashi
2. 発表標題 A Gesture-Based Interaction Technique for a Passive RFID Card with an Acceleration Sensor
3. 学会等名 HCI12018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takayama Yuta, Ichikawa Yuu, Shizuki Buntarou, Kawaguchi Ikkaku, Takahashi Shin
2. 発表標題 A User-based Mid-air Hand Gesture Set for Spreadsheets
3. 学会等名 ACM CHI symposia on Asian CHI Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関