

電磁場を利用した ヒューマンロボットインタラクションの開発

小玉亮¹⁾²⁾, 梶本裕之¹⁾

1) 電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, kodama@kaji-lab.jp)

2) 株式会社 豊田中央研究所 (〒480-1118 愛知県長久手市横道 41-1, kodama-r@mosk.tytlabs.co.jp)

概要: 屋外でも安定して動作するパーソナルロボットの実現に向けて電磁場変動検出を利用したセンサシステムを開発している。ユーザの接近からタッチまでを検知できるため、ユーザの自動追跡やタッチを起点とした機能の呼び出しに利用できる。今回、センサシステムにユーザからロボットに簡単な指令が送れる通信機能を追加した。最大の通信レートは 19200bps で、ロボットのモード変更などに使うことができる。

キーワード: 電磁場変動センサ, 人体通信, 距離センサ, タッチインタラクション。

1. はじめに

安価なセンサや強力なプロセッサ, 大容量のバッテリーといった技術開発によってパーソナルロボットの製品化が実現している[1][2]。現在のところ, パーソナルロボットは技術的な課題や法律上の制約から屋内向けの商品が多いが, 屋外でも簡単に, 安全にロボットを使える仕組みが開発されることで, 活躍の場が広がっていくと期待できる。屋外のアプリケーション例として, 自動走行するベビーカーや子供の遊び道具, 荷物の運搬台車といったユーザに随伴する自律型ロボットが考えられる。

屋外にはロボットにとって無視できないノイズが大量に, 高いレベルで存在する。強い日光はカメラベースのセンサの性能を低下させ, 凹凸の大きい路面はロボットの走行を妨げる。ロボットの周りを歩く人々はユーザを認識するシステムを混乱させる。自律型のロボットにおいては, システムの不調が引き起こすロボットの誤動作や停止によるユーザ体験の悪化が懸念される。

この問題に対する解決策として, よりロバスタなセンシング, より走破性の高い駆動方式の採用が考えられるが, いずれもコストの増大とともに, どんな場合でも完璧な対応をとることは困難であるという問題は残る。一方でより現実的な解決策の一つは「自律モード」と「操作モード」をシーンに応じて使い分けることである。ノイズが少ない場面ではロボットがユーザを自動追従し, ノイズが多い場合にはユーザが直接ロボットを操作する。モードの切り替えのための操作がシームレスにデザインされていれば, ロボットの使い勝手向上とノイズ対策の両立が期待できる。デザイン例としては, ユーザがロボットを操作するための

持ち手部にタッチしたタイミングでモードを切り替える形態が考えられる。

これまで, シームレスなモード切り替えを可能とする Electro-Magnetic Package (EMP) というパーソナルロボット向けのセンサシステムを開発してきた[3]。このシステムでは, ユーザを電磁場で包み込み, ロボットに電磁場の変動を捉えるセンサを搭載することで, センサで受信した電力強度 (RSSI) の変化からユーザの接近とタッチを検出する。ロボットはユーザから放出される電磁場を追跡することでユーザに追従走行できる (図 1a)。また, タッチされたタイミングで操作モードに切り替えることでスムーズなモード切り替えを実現できる (図 1b)。

今回, このセンサシステムにユーザからロボットに指令を送る通信機能を追加した。変調方式に周波数変調 (FSK) を採用したことで, 接近とタッチセンシングのサンプリング・レートを低下させずに, 19200bps の通信機能を実現した。今回試作した回路の構成と, センサの特性および通信速度の評価結果について報告する。

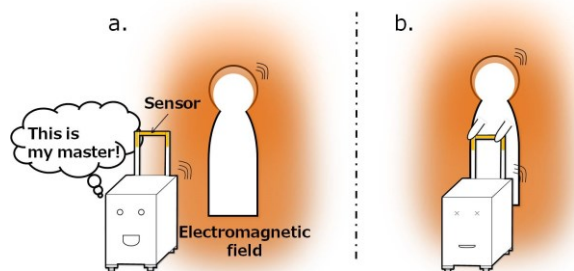


図 1 タッチによるシームレスなモード切替え

2. EM Package

2.1 通信機能の追加

EM Package は一組の送信機と受信機によって構成される。図 2 に通信機能を追加した送・受信機の回路構成を示す。これまでの回路[3]に比べて、送信機にマイコン (MCU) とダイレクト・デジタル・シンセサイザ (DDS) を追加した。受信機には復調 IC (NJM2550) を追加した。

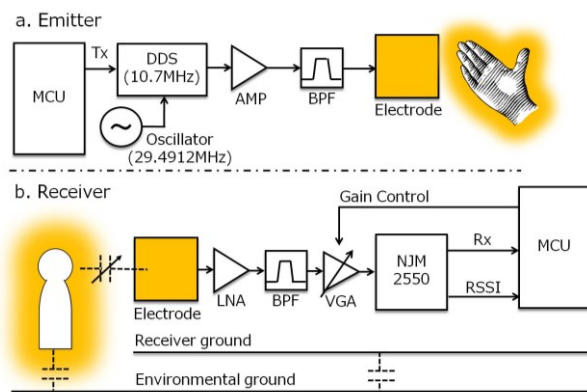


図 2 試作した送信機と受信機

送信機の発振源には 29.4912MHz の水晶発振器を用い、DDS により 10.7MHz 帯の信号を生成している。ユーザが送信機の電極に触れると、ユーザの身体はアンテナのように機能し、全身から 10.7MHz 帯の電磁場が放射される (図 2a)。DDS 内部のメモリには、10.7MHz 帯の 2 つ周波数が登録されており、MCU の UART 送信ポート (Tx) の H/L 信号に合わせて出力周波数が切り替わる。これにより、ユーザが身にまとう電磁場は、FSK 変調されている。

この電磁場が容量結合を介して電極に入力されると、電極に電気信号が生じる (図 2b)。この信号から、以下に示す方法で RSSI の計測と、Tx の H/L 信号の復調を行う。まず、信号雑音比 (SNR) が悪化しないように低雑音アンプ (LNA) で増幅する。そして、不要な雑音を帯域通過フィルタ (BPF) で取り除く。次に、受信信号を可変アンプ (VGA) によって増幅する。アンプの増幅率はマイコン (MCU) によって制御されており、強い受信信号が検出された時には利得を低下させるようになっている。その後、復調 IC によって、Tx の H/L 情報を復調する。復調した信号は UART 受信ポート (RX) で受信する。復調 IC には RSSI を計測する対数アンプが搭載されており、受信電力を電圧レベル (RSSI) に変換する。最後に MCU で AD 変換する。

このセンサシステムでは、MCU の UART を利用して通信機能を実現している。設計時に目標とした通信レートは 19200bps である。これは、4ch の 16bit データを 100Hz の更新レートで送信し続けるという利用シーンから決定した。ロボットのモード切り替えのような単純な指令から、ユーザがフィジカルセンサを身につけ、ユーザの動きに応じて直感的なりアクションを返させるなど、幅広い応用が期待できる。

2.2 RSSI 計測能力の評価

通信機能を追加した回路で、これまで同様に RSSI が計測できるか評価した。図 3 に受信機への入力電力と RSSI の関係を示す。このデータは外来ノイズの影響を取り除くため、送信機と受信機を有線接続して測定した。送信機の出力電力は 0dBm で固定し、可変アッテネータにより -110dB ~ 0dB の電磁場の変動を再現し、受信機に入力した。

測定結果によると、入力電力が増加するにつれて、RSSI は単調に増加しており、RSSI が正常に測定できると確認した。入力電力のダイナミックレンジは 90dB で、これまでの回路と同等の性能が達成できた。

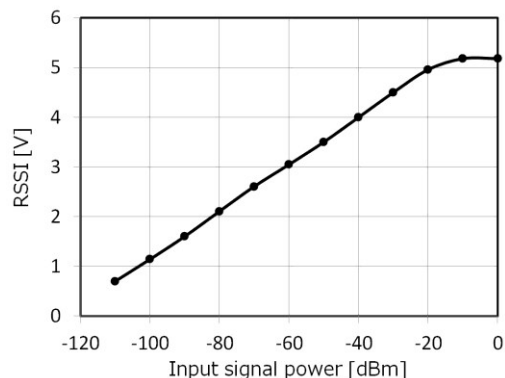


図 3 受信機における入力電力と RSSI の関係

2.3 通信速度の評価

次に、センサシステムに搭載した通信機能が 19200bps の通信レートを備えているか調査した。また、通信機能が安定動作する最低の入力電力を測定し、図 3 に追記した。

送・受信機双方の UART の Baud rate を 19200bps に設定し "test¥¥n" という文を送信させたところ、-90dBm までの入力電力レベルであれば、有線の UART と同等の性能が出せることを確認した。-100dBm を下回ると、ところどころ受信文字が文字化けし、安定性を欠くことがわかった。

3. まとめ

センサシステム[3]にユーザからロボットに簡単な指令が送れる通信機能を追加した。センサの性能低下はなく、-90dBm までの入力電力範囲で 19200bps の通信レートを達成できることがわかった。

参考文献

- [1] iRobot Corporation : 製品ラインナップ, 入手先
(<http://www.irobot-jp.com/product/index.html>)
(参照 2015-06).
- [2] Aldebaran Robotics : Pepper とは, 入手先
(<https://www.aldebaran.com/ja/peppertohta>)
(参照 2015-06).
- [3] Kodama, R. and Kajimoto, H.: EM Package: Augmenting Robotic Intimate Space Interaction Using EM Field Fluctuation Sensing", In Proc. CHI 2015.