

双曲線位置測定のための長距離パッシブ無線タグシステム

北吉 均[†] 澤谷 邦男[‡]

[†] 仙台地域知的クラスター 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-04

[‡] 東北大学工学部 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: [†] kitayoshi@niche.tohoku.ac.jp, [‡] sawaya@ecei.tohoku.ac.jp

あらまし 2.45GHz 帯 RCR STD-1 規格で、30m まで通信可能な 55x25x4mm サイズのパッシブ無線タグを開発した。また、このタグを所持した人の位置を遠隔から測定するためのリーダも開発し、リーダの送信アンテナ数を 3、受信アンテナ数を 4 として評価実験を行った。その結果、20mx20m 程度のフロア内であれば±0.5m 精度で位置の検出が可能であることが分かった。

キーワード パッシブ RFID, 3次元位置検出, 長距離, マルチパス

Long Range Passive RFID-Tag System for Hyperbolic Localization

Hitoshi KITAYOSHI[†] and Kunio SAWAYA[‡]

[†] Intelligent Cluster in Sendai Area 6-6-04 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980-8579 Japan

[‡] Faculty of Engineering, Tohoku University 6-6-05 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980-8579 Japan

E-mail: [†] kitayoshi@niche.tohoku.ac.jp, [‡] sawaya@ecei.tohoku.ac.jp

Abstract A novel long range passive RFID-tag system with 30 m reading distance under ARIB standards is proposed. The size of fabricated tags is 55x25x4 mm and a reader, which can estimate the location of the tag, is also developed. The accuracy of the localization when 3 transmitting antennas and 4 receiving antennas are used for the reader is about 0.5 m in a floor of 20x20 m.

Keyword Passive RFID, 3 dimensional localization, Long range, Multipath

1. まえがき

近年、ユビキタスネットワークやユビキタスコンピューティング、ユビキタスサービスなど、ユビキタス(ubiquitous)を冠する言葉を多く目にする。ユビキタス社会とは、特に意識することなく、全ての人があらゆる場所でコンピュータが利用できるネットワークへの接続が可能である環境を示す言葉のように考えられる。しかし、無線タグ(RFID)が登場してユビキタスの意味が一変した。人や物だけでなく場所までも情報の発信源となって、必要な情報を瞬時に共有する環境を示す言葉になったと考えられる。物流・決済から各家庭の献立支援、観光案内から ITS まで我々の生活環境を一変させてしまう勢いがある。

ところで、人の位置検出機能はユビキタスを実現す

る上で特に重要な情報であると考えられる。これまでに報告された RFID による人の位置検出システムは、アクティブタグを所持する方法とパッシブタグを多数床に配置し人がリーダを所持する方法であった[1]。いずれの方法も位置検出頻度に比例して電池の消耗が回避できないために、所持する装置の大型化や電池交換の負担を利用者に課していた。

筆者らは、2.45GHz 帯 RCR STD-1 規格[2]で 30m まで応答可能な 70x25x4mm サイズの温度センサ付きパッシブ RFID タグを開発した[3]。本稿では、同じ技術を用いて開発した RFID タグ(55x25x4mm サイズ)を所持した人の位置を遠隔から検出する方法および実験結果について報告する。

2. タグとリーダー

図1に開発したパッシブ無線タグの構成を、また図2にその写真をそれぞれ示す。このタグはマイクロプロセッサ(PIC16F684)を内蔵しているため、センサ機能を含む様々なアプリケーション開発やフラッシュメモリによるデータ蓄積が可能であるとともに、筆者らが開発した2分割マイクロストリップアンテナによる高利得トランスポンダ動作と共振型昇圧整流方式による受電回路によって長距離通信が可能である[3]。

図3は、タグIDごとの位置検出を行うために開発したリーダーである。このリーダーは2.45GHz帯で3MHz帯域幅のコンスペクトラムを質問キャリア信号として用いており、かつRCR STD-1規格内の約40MHz帯域幅でキャリア中心周波数のホッピングを行っている。質問キャリア信号としてコンスペクトラムを用いる理由は、移動している無線タグからの応答信号のドップラ補償を行うためであり、受信回路も3つの周波数のタグ応答スペクトラムのI/Q復調が同時にできる構成になっている。リーダーからの質問キャリアは、タグ検出エリアを囲むように配置された3つのファンビーム送信アンテナによって時分割送信され、タグへの電力供給が人体等によって遮蔽されにくくしている。また、リーダーは4つの位置が分かっている受信アンテナをもち、それぞれのアンテナとタグ間の距離を受信信号の周波数応答として求めることができる。ここで、質問キャリアおよびタグ応答回路の位相周波数特性がオフセット誤差として測定値に入るために、1つの受信アンテナを基準として各受信アンテナとタグ間の距離の差を評価し、双曲線法(2点からの距離の差が一定となる関数でありGPSでも用いられている)によってタグの位置を推定するようにしている。

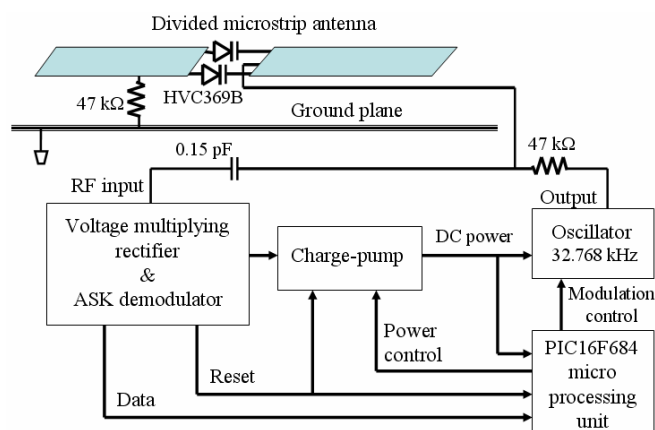


図1 開発したパッシブRFIDの構成

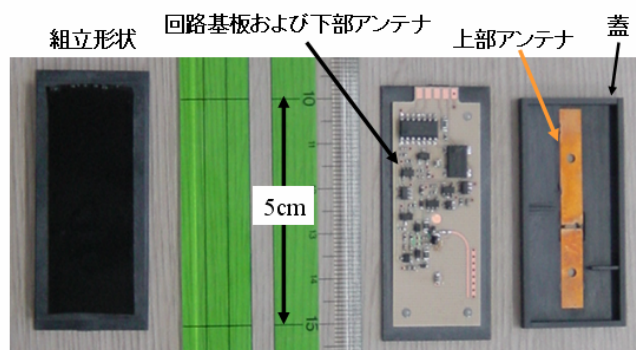


図2 開発したパッシブRFIDの写真

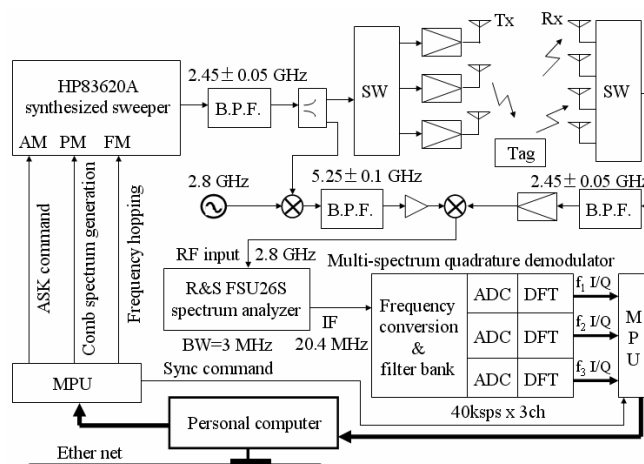


図3 開発したRFIDリーダーの構成

3. 位置検出シミュレーションと実験結果

図4にタグの位置検出系とマルチパス・シミュレーションモデルを示す。このシミュレーションでは6m×6m、高さ3mの部屋にRFIDタグをランダムに配置し、4つの受信アンテナで受信したタグ応答信号からタグの位置を推定し、真値との差異を評価する。タグからの応答信号は床面や壁、室内の様々な設置物で反射しマルチパス環境で受信される。図4において、 τ はタグと受信アンテナ間の距離で決まる直接波の遅延時間、 $\Delta\tau$ は反射波の遅れ時間であり、 $\Delta\tau$ 間隔で10波の反射波を想定した。また、反射波の電力損は遅延時間の3乗則に従うものとし、反射位相はランダムに与えた。

図5および図6は、受信アンテナ#1を基準としてタグ位置を $x=300\text{cm}$ 、 $y=200\text{cm}$ 、 $z=150\text{cm}$ としたときに観測される各受信アンテナでのタグ応答信号受信遅延時間差に基づく双曲線を示した図であり、 $\Delta\tau \rightarrow \infty$ としてマルチパスの影響を除いた結果である。図5は、実際のタグ高さ z と推定面高さ z が一致しているために

各受信アンテナごとの双曲線が1点で交わり正しいタグの位置が推定できることを示している。図6は、実際のタグ高さ z と推定面高さ z が一致していないために各受信アンテナごとの双曲線は1点で交わらない。実際の測定では、マルチパスや雑音の影響によって各受信アンテナごとの双曲線が1点で交わることはないが、RMS 誤差（双曲線の交差広がり）が最小となるように最尤推定を行っている。

図7は、図4の評価系でマルチパスを考慮した3次元タグ位置検出の誤差シミュレーション結果であり、マルチパス除去アルゴリズムとしてグループディレイ(GD)平均化法、MUSIC 法、逆フーリエ変換(IFFT)法を用いた場合の結果を比較している。また、受信アンテナの配置間隔 L による差異の比較も行った。シミュレーションは40MHz帯域幅1MHzステップの周波数応答から直接波の遅延時間推定を行い双曲線法最尤推定結果の x, y, z 座標と真値の座標の RMS 誤差をランダム配置した1000回のタグ位置について平均化した。図7を見て分かるように、どのアルゴリズムを用いた場合も受信アンテナ間隔 $L=2m$ よりも $L=4m$ の方が誤差が小さく、タグから見た各受信アンテナへの見込み角が広い程推定位置精度が良い。また、反射波の遅れ時間 $\Delta \tau$ が大きい程直接波の推定精度が高い。ここで、MUSIC 法を用いた位置推定誤差が他の手法を用いた位置推定誤差よりも大きくなっている。これは、移動平均相関抑圧処理を行ったにもかかわらずコヒーレントなマルチパス（各パスの反射位相はランダムとしたが、周波数依存性はないと仮定した）を高い精度で分離することが難しいことが原因であると考えられる。これに対して、GD 平均化手法や IFFT 法では直接波と反射波の分離は十分でないものの、より電力の大きい直接波の遅延時間を求めるには解が安定で、かつ精度が良いと考えられる。以上の計算機シミュレーションの結果より IFFT 法が最も高いタグ位置推定精度を与えることが分かった。

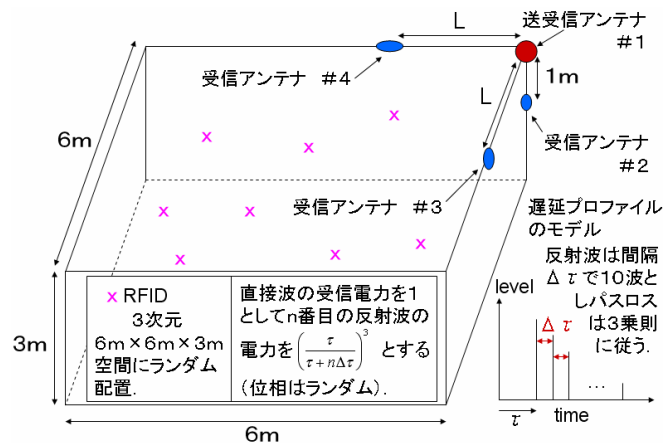


図4 室内 RFID 位置検出モデル

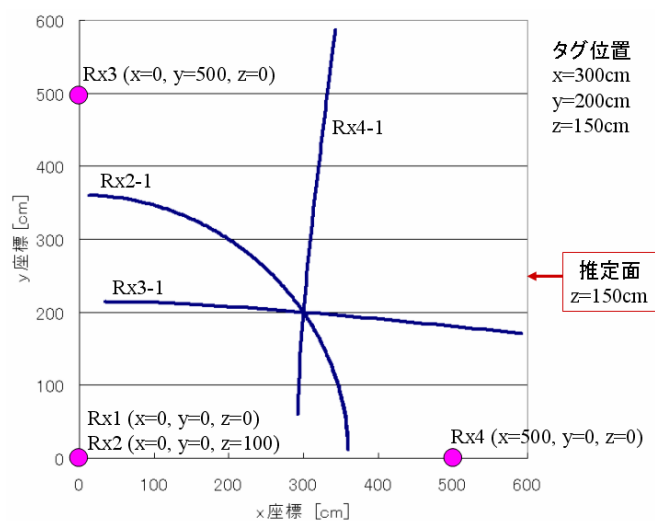


図5 タグ高さと推定高さが一致した双曲線

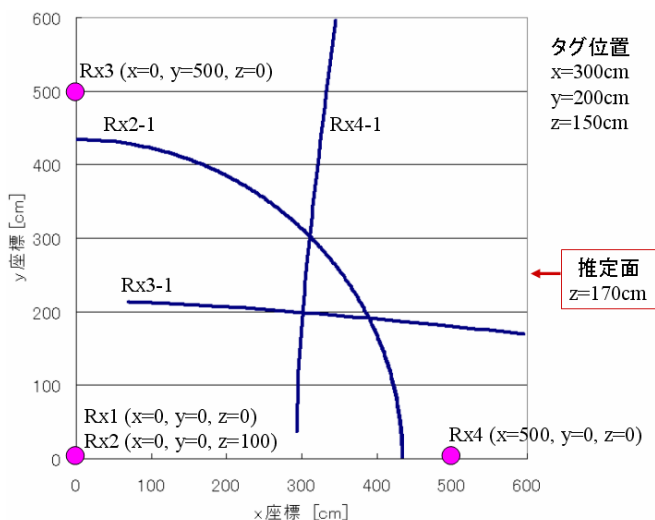


図6 タグ高さと推定高さが一致しない双曲線

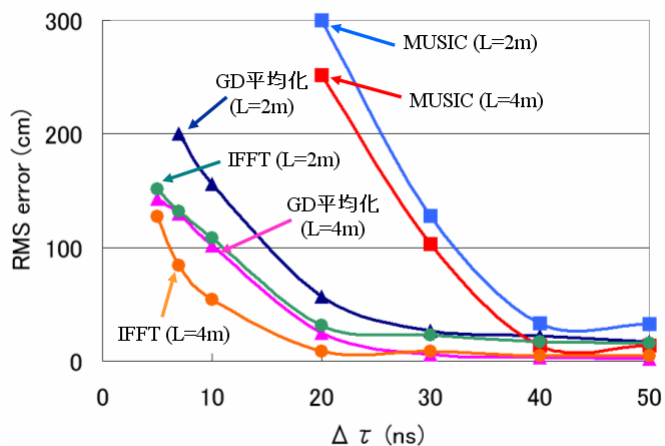


図7 マルチパスを考慮した3次元タグ位置検出の誤差評価シミュレーション結果

図 8 に RFID の位置検出実験系を示す．実験は 5 面電波無響室で行い床面は金属とした他，反射物も配置している．送信アンテナは，水平面半値幅 90° のファンビームアンテナで 1 W EIRP を出力した．受信アンテナは半値幅 70° の円形ビームアンテナを用いた．RFID タグは GND 面を有するマイクロストリップアンテナを用いており，人体に密着した状態でも使用できるが，指向性を有するためにタグの向きを①～⑤のように変化して評価した．

図 9 は，周波数ホッピングを止めて観測したリーダでの受信信号周波数スペクトラム（右）とタグ ID 検出結果（左）である．周波数スペクトラムを見て分かるように，質問キャリア・コムスペクトルに対して，複数のタグ応答サブキャリアが観測されている．質問キャリア信号の受信レベルに対してタグ応答信号レベルは約 80dB 低く，信号の分離が極めて難しいことが分かる．図 3 で示した RFID リーダではフィルタバンクを用いてタグ応答信号を分離選択し DFT 処理によって I/Q 復調を行っている．タグ ID 検出結果は 5ms の DFT 積分を受信アンテナを切換えながらくり返し測定したものであり，リーダからの読み取りコマンド送信後，タグ ID ごとに決まったタイミングで応答している．

図 10 は，タグ ID 検出結果の I/Q 復調データの周波数応答を用いてタグの位置を推定した結果であり，3 次元座標のうち x 軸データのみを図示した．この図を見て分かるように，タグの向きによっては人体の反射等の影響を強く受けて 1m 程度の誤差が生じる場合もあるが，実験エリア全域においてほぼ $\pm 0.5\text{m}$ の精度に入っている．

4. むすび

汎用マイクロプロセッサ PIC16F684 を搭載し，2 分割マイクロストリップアンテナと共振型昇圧整流方式の受電回路による 2.45GHz 帯 RCR STD-1 規格で 30m まで通信可能な小型パッシブ RFID を開発した．また，このタグを所持した人の位置を遠隔から測定するための RFID リーダを開発し，計算機シミュレーションおよび実験評価を行った．計算機シミュレーションでは，位置推定精度が受信アンテナの見込み角広さに依存し，かつマルチパスの影響を除去する手法として IFFT 法が最も適していることが分かった．実験結果では，規格値の 10% のリーダ出力で $6\text{m} \times 6\text{m}$ フロアのほぼ全域をカバーし，規格推定値では $20\text{m} \times 20\text{m}$ 程度のフロア内であれば $\pm 0.5\text{m}$ 精度での位置検出が可能であることが分かった．

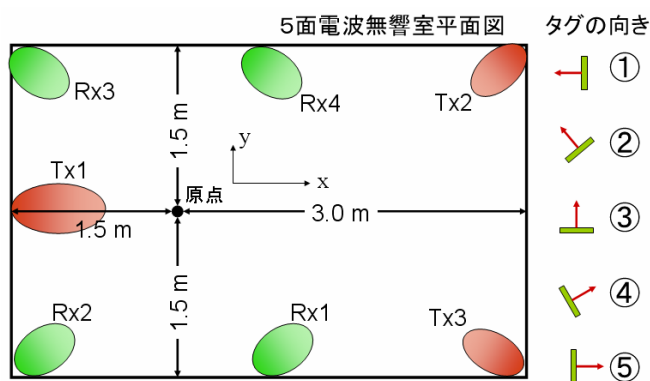


図 8 RFID 位置検出の実験系

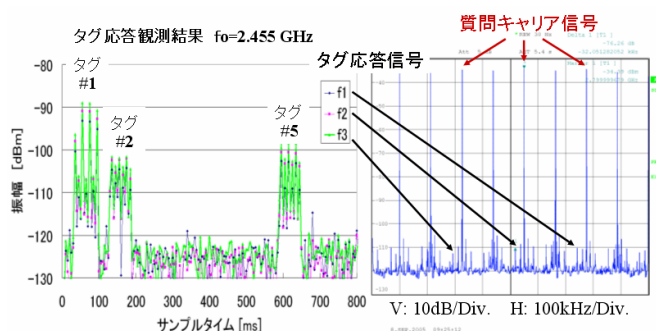


図 9 リーダでの観測信号およびタグ ID 検出結果

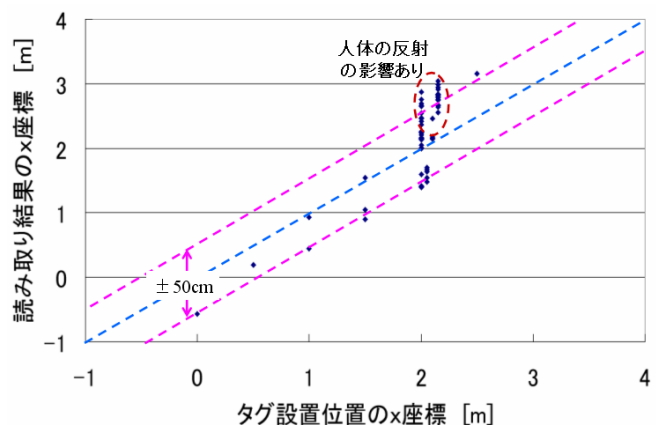


図 10 RFID の位置検出実験結果 x 座標

文 献

- [1] 椎尾, “RFID タグを利用したインターフェース,” 情報処理, vol. 45, no. 2, pp. 160-163, Feb. 2004.
- [2] ARIB Standard, “構内無線局移動体識別用無線設備,” RCR STD-1, 3.0 版, July 2003.
- [3] 北吉, 澤谷: “無電源 10m 超応答可能な無線タグ温度センサ,” 信学技報, WBS2004-152, AP2004-333, RCS2004-420, MoMuC2004-203, MW2004-330, Mar. 2005.