

UHF帯RFID導入時の設計業務を効率化する 読み取り率シミュレータ「RADIOSCAPE-RFID」

菅原 弘人・小野 隆志

要 旨

UHF帯RFIDを導入する際の設計業務を効率化する読み取り率シミュレータ「RADIOSCAPE-RFID」について紹介します。RADIOSCAPE-RFIDは、レイ・トレーシング法を用いた電波伝搬推定とシステム特性から通信可否エリアを導出し、この結果とエアプロトコルの動作とを連携解析することにより、実際の運用環境での読み取り率を算出するものです。これまで現場で行っていたさまざまな最適化作業を机上で実現できるため、設計業務の効率化が実現されます。本稿では、RADIOSCAPE-RFIDを用いた最適化作業の一例として、ゲートシステムにおけるアンテナの傾きの最適化についても紹介します。

キーワード

● UHF 帯 RFID ● 読み取り率 ● 電波伝搬推定 ● エアプロトコル

1. はじめに

2005年4月の電波法令改正により日本国内でもUHF帯(952～954MHz)パッシブRFIDの運用が可能となりました。UHF帯のRFIDは、13.56MHz帯や2.4GHz帯など既存周波数帯でのRFIDに比べて通信距離が長いという特長があります。この特長を活かして、物流現場でフォークリフトに載せた多数の物品を一括して検品し、業務を効率化するなどの利用用途が有望視されています。

このような物流での利用においては限りなく100%に近い読み取り率が求められます。高い読み取り率を実現するためには、機器の選択やリーダアンテナの設置方法、現場の業務に適合したタグの枚数やフォークリフトの移動速度の導出など、さまざまなパラメータの最適化が必要となります。このような課題に対し、現状では導入現場で試行錯誤を繰り返している状態であり、UHF帯RFID導入時の設計業務が非効率であるという問題がありました。

今回我々は、UHF帯RFIDの導入環境でのタグ読み取り状況を推定するシミュレータ「RADIOSCAPE-RFID」を開発しました。RADIOSCAPE-RFIDは、レイ・トレーシング法を用いた電波伝搬推定とシステム特性から通信可否エリアを導出し、この結果とエアプロトコルの動作とを連携解析することにより、実際の運用環境での読み取り率を算出するものです。RADIOSCAPE-RFIDを用いることにより、これまで現場で行っていたさまざまな最適化作業を机上で実現できるため、設計

業務の効率化が実現されます。

本論文では、開発したRADIOSCAPE-RFIDについて、その構成や最適化作業の一例を示します。はじめに、UHF帯RFIDにおける複数枚タグの一括読み取りを推定する上で重要となるフェージング環境下におけるエアプロトコルの動作と、複数枚タグ近接時の特性変化について説明します。次に、これらの要因をモデル化した読み取り率シミュレータの構成を示します。さらに、RADIOSCAPE-RFIDを用いた最適化作業の一例として、ゲートシステムにおいてアンテナの傾きを最適化することを想定し、シミュレーションした結果を示します。

2. 複数枚タグ一括読み取り時の劣化要因

今回開発したシミュレータは、我々が開発した電波伝搬推定ツール「RADIOSCAPE」が基盤となっています¹⁾。RADIOSCAPEは、構造物の影響を忠実に考慮するレイ・トレーシング法を用いた電波伝搬推定と、送信出力や受信感度などのシステム特性を用いて、実環境における通信可否を推定するものです。現在、無線LANや携帯電話などのシステムに対応しています。この枠組みをUHF帯RFIDに適用すると、リーダとタグ間の1対1の通信状況を推定することはできますが、複数枚タグの一括読み取りを推定する場合、以下のような要因も考慮しなければなりません。

(1) フェージング環境下でのエアプロトコル動作

UHF帯RFIDなどのパッシブ型のRFIDでは、複数枚のタグ

を効率的に検知するためのプロトコルが実装されています。具体的には、タグがIDを返答するタイミングを制御したり、いったんリーダーが検知したタグが再び返答しないように制御したりすることによって、ID返答時の衝突をできるだけ回避するものです。

このような制御を行っているため、検知すべきタグの枚数が多ければ、すべてのタグを検知するにはその分の時間を必要とします。上述した入出荷検品の用途では、複数枚のタグがリーダーゲートを通過する限られた時間内に全タグのIDの検出を行う必要があるため、このエアプロトコルの動作が読み取り性能に大きく関係します。

一方UHF帯RFIDでは、伝搬距離が長いためにリーダーアンテナからタグに向かって複数の伝搬経路で電波が到来し、それらの干渉によって強い空間フェージングが発生します。参考文献2)の測定によれば、局所的に20~30dBの受信電力の落ち込みが観測されています。このような受信電力の落ち込みが生じる場所では、たとえタグがID返答の許可を与えられてもリーダーとの通信を行うことができなくなります。また、すでにリーダーに認識されたタグが受信電力の落ち込みによって電源OFFとなると、その後電源を供給されONになった場合でもリーダーに認識済みであることが記憶できていません。そのため、再びIDを返信しタグ同士の衝突の原因となります。一方、複数の伝搬パスが同位相で合成される場合、タグはその分強い電力をリーダーから供給されるため、電波状況が厳しい場所にあるタグでも通信ができるというプラスの効果もあります。

複数枚タグの一括読み取りの推定では、このようなエアプロトコルの動作と空間フェージングによる受信電力の変動を連携して解析する必要があります。

(2) タグ近接時のアンテナ特性の変化

UHF帯RFIDのタグに装備されたアンテナは金属物体ですので、2つのタグが近接している場合には双方のアンテナ間でカップリング現象が生じます。この現象も、複数枚タグの一括読み取りを想定した場合には重要な効果となります。また、この現象はタグのアンテナ構造にも依存しますので、基本的には評価対象となるタグについてのどの程度のカップリングが生じるかをあらかじめ調べておく必要があります。

図1に、タグ近接による特性変化の測定例を示します。この測定では、リーダーアンテナのメインビーム方向に特性評価用のタグ(参照タグ)を配置し、その近傍にカップリング対象

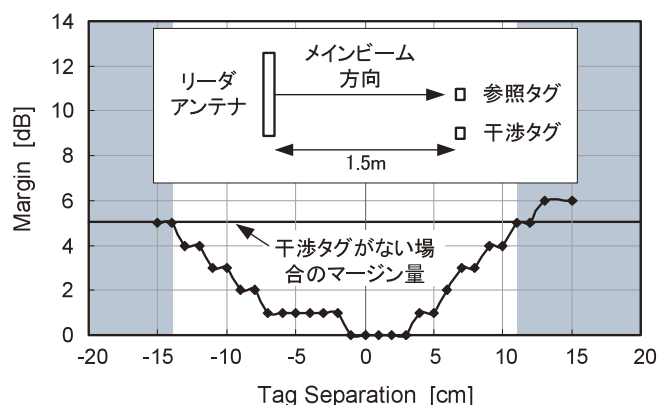


図1 タグ近接による特性変化の測定例

となるタグ(干渉タグ)を配置した際、参照タグと干渉タグとの間隔(図1横軸)に対して電力のマージン量(同縦軸)がどのように変化するかを測定したものです。なお、リーダーとタグ間の距離は1.5mに設定しています。測定結果を見ると、タグ間の距離が10cm程度でも1~2dBの劣化が生じており、5cmでは4dB程度の劣化が生じていることが分かります。

3. 読み取り率シミュレータの構成

図2に、RADIOSCAPE-RFIDの構成を示します。このシミュレータには、利用システムの基本特性(メーカーやエアプロトコルなど)、利用環境(レイアウトやアンテナ位置、フォークリフトの移動範囲・移動速度など)、タグの状態(タグの枚数、タグ間隔、取り付け物品など)を入力します。入力された利用環境情報を用いて、レイ・トレーシング法によりアンテナからタグ間の電波伝搬状況を推定します。

レイ・トレーシング法は、入力されたレイアウト情報を元に電波の反射や透過の影響を忠実に考慮するため、パスごとの伝搬損失とともに遅延時間を算出することができます。算出されたそれぞれのパスについて位相を考慮して合成することにより、タグが移動する範囲内でのフェージング変動を算出することができます。一般的に、タグ間の距離が波長と同程度以上離れている場合、リーダーからの伝搬損失の変動具合は大きく異なるため、そのようなタグは個別に伝搬損失を算出する必要があります。

次に、利用機器の基本特性を用いてリーダーとタグ間の許容伝搬損失を算出します。算出された許容伝搬損失と、前述のフェージング変動推定結果により、タグ移動範囲での通信可

UHF帯RFID導入時の設計業務を効率化する読み取り率シミュレータ「RADIOSCAPE-RFID」

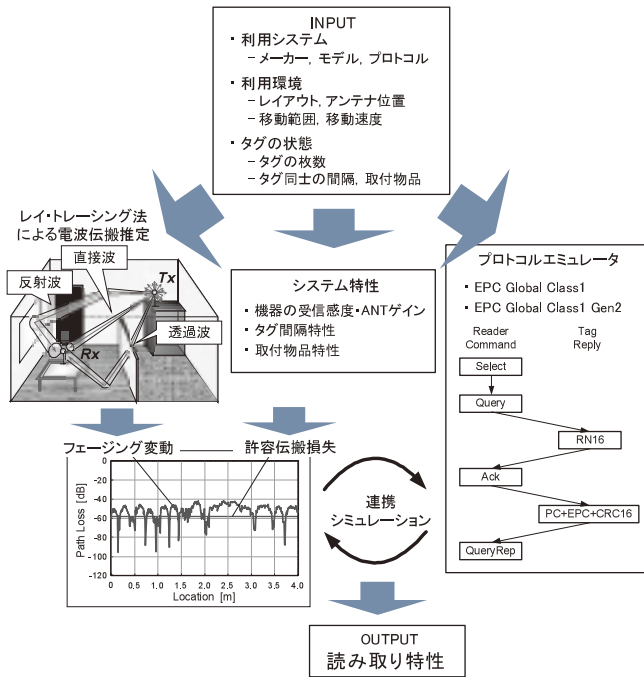


図2 読み取り率シミュレータ「RADIOSCAPE-RFID」の構成

否状況を知ることができます。この通信可否状況とエアプロトコルを連携して解析することにより、複数枚タグの一括読み取り時の状況を推定することができます。

図3は、RADIOSCAPE-RFIDの画面構成を示しています。図3の背面図はレイアウト編集画面で、利用環境のレイアウトやアンテナ位置・アンテナパラメータなどを設定します。前面

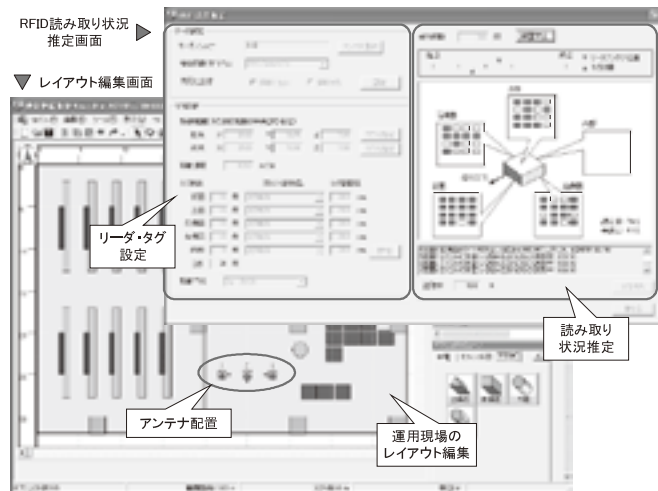


図3 「RADIOSCAPE-RFID」の画面構成

図の左側が使用するリーダアンテナやエアプロトコル、タグの設定などを行う画面となります。タグの設定では、タグの移動範囲・移動速度・枚数と配置位置・貼付対象物品・タグ間の間隔・移動手段などを設定します。前面図の右側が読み取り率推定結果を示す画面で、リーダゲートを通過する間に配置位置ごとのタグの読み取り状況がビジュアルに表示されます。読み取り状況の詳細はログに出力されますので、これを参照することにより、読み取りの経緯を知ることができます。そのため、読み落としの原因が電波の供給不足によるものか、または読み取り機会自体が少なかったことによるものかなど、読み取り誤りの要因切り分けを行うことも可能となります。

4. RADIOSCAPE-RFIDを用いた最適化作業の一例

ここでは、RADIOSCAPE-RFIDを用いた最適化作業の一例として、ゲートシステムにおいてアンテナの傾きを最適化することを考えます。想定したゲートシステムの構成を図4に示します。ここでは、アンテナ3枚を用いたゲートシステムを想定し、その中央部をタグ貼付の荷物が積載されたフォークリフトが通過する状況を想定しました。タグは、フォークリフト進行方向に対して前面、上面、右側面、左側面にそれぞれ16枚ずつ(計64枚)貼付されているものとします。想定したRFIDシステムの諸元を表に示します。

図4に示しますように、ゲートの側面アンテナは進行方向側に、上面アンテナは進行方向逆側に同一の角度 θ だけ傾けることを考えます。このようにアンテナを傾けることで、読み取り可能エリアを広く確保することができますが、傾き角度が大きい場合、アンテナゲインのピークからのずれが大きくなってしまうため、十分な電波がタグに供給されなくなります。

3種類の移動速度について読み取り率を推定した結果を図5

表 想定したRFIDのシステム諸元

項目	概要
エアプロトコル	EPC Global Class1 ³⁾
リーダ送信出力	+30dBm
リーダアンテナ	半値幅105度 ピークゲイン6dBi
ゲートシステム	図4
タグ受信感度	-8dBm
タグ枚数	前面・上面・右側面・左側面に各16枚
タグアンテナ	ゲイン0dBiの等方性アンテナ
タグ間隔	20cm
タグ貼付対象	ダンボール箱
移動速度	80m/分 ~ 160m/分
伝搬環境	物流倉庫の出荷ゲート

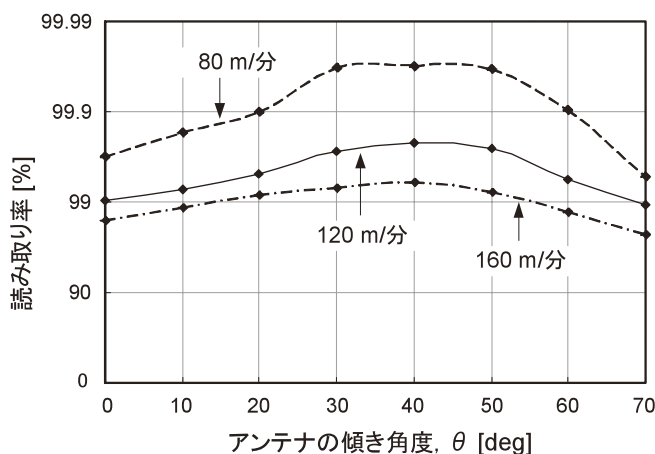
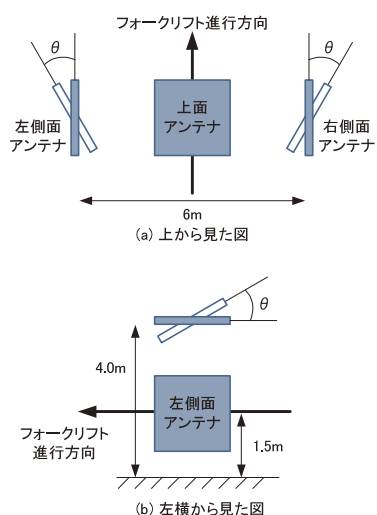


図5 アンテナの傾き角度に対する読み取り率

に示します。図の横軸はアンテナの傾き角度(θ)、縦軸は読み取り率を表しています。破線は移動速度が80m/分、実線は120m/分、点破線は160m/分の場合の結果です。アンテナの傾き角度としては30度~50度が最適であることがわかります。また、移動速度を80m/分まで落とせば、最適化されたアンテナ角度で読み取り率99.9%が確保できることがわかります。ただし、この例ではタグのアンテナが等方性であると想定した場合の結果です。実際のタグのアンテナゲインは等方性ではなく、このことを考慮すると今回とは異なる最適値になることに注意しなければなりません。図5のシミュレーションでは、タグのIDや電波の状況をランダムに変えながら500回の繰り返し計算を複数回行い、その平均特性を導出しました。

500回の計算に要する時間は通常のPC(CPU 1GHz, RAM 512MHz)でおおよそ20分程度です。RADIOSCAPE-RFIDを用いることにより、UHF帯RFIDの導入現場での試行錯誤を行うことなく、最適な設計指針や運用指針を得ることができます。

5. まとめ

本論文では、UHF帯RFIDを導入する際の設計業務を効率化する読み取り率シミュレータ「RADIOSCAPE-RFID」について紹介しました。具体的には、RADIOSCAPE-RFIDの構成として、レイ・トレーシング法を用いた電波伝搬推定とシステム特性から通信可否エリアを導出し、この結果とエアプロトコルの動作とを連携解析することにより、実際の運用環境での読み取り率を算出するものであることを述べました。また、RADIOSCAPE-RFIDを用いた最適化作業の一例として、ゲートシステムにおけるアンテナの傾きの最適化についても紹介しました。

RADIOSCAPE-RFIDを用いることにより、これまで現場で行っていたさまざまな最適化作業を机上で実現できるため、設計業務の効率化が実現されます。今後、UHF帯RFID導入現場でのアンテナ設計最適化や運用指針の導出などにRADIOSCAPE-RFIDを活用していく予定です。

参考文献

- 1) Y. Watanabe et al., "RADIOSCAPE: System Design Tool for Indoor Wireless Communication", Proc. of Int. Conf. on Wireless LANs & Home Networks, 6.2, Dec. 2001.
- 2) 三次ほか, 「950MHz帯無線タグシステムにおけるフェージングの影響」, 2005信学総大, B-1-38, 2005年3月.
- 3) "860MHz-930MHz Class 1 Radio Frequency Identification Tag Radio Frequency & Logical Communication Interface Specification Candidate Recommendation, Version 1.0.1", EPC Global.

執筆者プロフィール

菅原 弘人
インターネットシステム研究所
主任

小野 隆志
インターネットシステム研究所
主任研究員