

RFID情報システムにおけるシステムレベルでの信頼性向上

萩原, 大輔
(株) ソニーグローバルソリューションズ

井上, 創造
九州大学システムLSI 研究センター

安浦, 寛人
九州大学システムLSI 研究センター

<https://hdl.handle.net/2324/6794479>

出版情報：データベースとWeb情報システムに関するシンポジウム(DBWeb2004)論文集, pp. 61-72, 2004-11. 情報処理学会

バージョン：

権利関係：ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は（社）情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。



RFID 情報システムにおけるシステムレベルでの信頼性向上

萩原 大輔[†] 井上 創造^{††} 安浦 寛人^{††}

本論文では、RFID (Radio Frequency IDentification) を用いて現実世界の物品や人を識別するシステムにおいて、個々のデバイスの性能に頼るのではなく、ネットワークを介したシステム全体で RFID タグの認識の信頼性を確保する方法を提案する。実際に RFID タグの認識の観測実験を行い、RFID タグを固定している場合や、RFID タグが移動する場合に、時間、速度、電波の到達距離、RFID タグの状況、リーダを設置している環境といった様々な要因によって認識誤りが起こり、これがシステムの信頼性の低下につながることを確認した。また、シミュレーションによって誤りの数、移動の長さ、リーダの個数を変化させた場合の提案手法の効果を示す。

System Level Reliability in RFID Information Systems

DAISUKE HAGIWARA[†], SOZO INOUE^{††} and HIROTO YASUURA^{††}

In this paper, we propose an approach to increase the reliability of RFID (Radio Frequency IDentification), not relying on the performance of each devices, but relying on a mechanism of entire networked system, which manages objects and/or people in the real world with RFID tags. We identified there exist many factors to reduce the accurate identifications of RFID tags, which results in the reduction of the total-system reliability. Moreover, we show the effect of our approach in diverse parameters such as the number of misidentifications, the length of transportations, the number of RFID readers.

1. はじめに

現在、移動の激しい物品の管理や流通管理のようにトレーサビリティが求められる場所を中心に、RFID (Radio Frequency IDentification)^{1),2)} 情報システムが導入され始めている。

しかし、RFID は無線通信に基づくため、電波の干渉によってリーダが RFID の認識に失敗したり、利用者が RFID を故意に認識させないというように、通信の品質や認識の確実性を保つことが難しいことが多々ある。RFID の認識の失敗によって、現実世界の情報を正確に情報システムに対応づけるができずに、システム全体の信頼性が失われ、大きな損害を受けることにもなりうる。例えば、図書館では、在庫の帳簿に記載された場所とは異なる場所に図書があって正確な管理ができなくなったり、空港では、ロスト・バゲッジが増大したり、スーパーマーケットでは、正しい精算ができなくなったりする。

上記のような問題に対して、単純にリーダにおける

認識の確実性を上げることを考えるのではなく、リーダの性能は変わらなくてもシステム全体で何らかの工夫をすることで、システムの信頼性を向上させるという考え方が必要である本論文では、RFID を用いた情報システムにおける信頼性の問題について、実環境での観測実験を行い、複数のリーダが計算機ネットワークにつながっていることを利用してシステム全体で RFID の認識の信頼性を向上させる方法⁶⁾ についてシミュレーションによる評価を行う。提案手法の基本概念は、現実世界の人やモノがもついくつかの制約を、仮想世界に対して利用することである。現実世界の情報を RFID や様々なセンサを利用して仮想世界に効果的に取り込むことで、取り込んだセンサデータを補完し、修正する。上記の概念によって、現実世界の情報と仮想世界の情報が食い違うことなく、情報システムの信頼性を保つことが可能になる。

1.1 RFID を用いた情報システムの信頼性

ここでは、情報システムの**信頼性**を、現実世界における種々の実体や事象を取り扱う情報システムが、現実世界での実体の変化や事象の発生に対応する情報を確実に取得し、正確に情報システムの情報を更新することができる性質をいう。本論文では、情報取得の手段が RFID であり、事象を人や物体の位置の移動と

[†] (株) ソニーグローバルソリューションズ
Sony Global Solutions Corp.

^{††} 九州大学 システム LSI 研究センター
System LSI Research Center, Kyushu University

する。

信頼性を数量的に表す尺度として、ここでは再現率を定義する。**再現率**とは、人や物体が移動したときに発生した情報に対する取得できた情報が占める割合である。

文献³⁾では、GPS による物体の移動軌跡データを分散して管理する分散型のセンサデータベースにおいて、センサのローカルなデータベースとサーバのデータベース間で生じるデータの欠損や遅着に対して、物体が移動するときの物理的制約から、物体の将来の位置を過去の移動軌跡データから推測することを提案している。この方法は、物体の物理制約を利用するという意味ではわれわれの概念と合致するが、RFID はセンサに対応するリーダが読み取る値そのものに欠損があることを想定する点が我々の手法の特徴である。

1.2 現実世界の物理制約とその利用

RFID を用いた情報システムの信頼性を向上させるためには、リーダや RFID タグの性能を上げるだけでなく、システム全体で工夫をすることも重要な要素となる。我々は、RFID の認識の失敗による現実世界と仮想世界の食い違い（以下、エラー）を、システム全体で検出することに焦点をあてる。検出されたエラーは、その後の自動または手動による修正により再現率を向上させる必要があるが、本論文では修正は理想的な状態で完全に達成されると仮定する。

信頼性向上のためのアプローチの基本概念を図 1 に示す。まず、人やモノの物理的原理に基づいた現実世界の制約（以下、物理制約）を、仮想世界のデータベースに準備として蓄えておく。さらに、RFID によって得られたデータと現実世界の物理制約との一貫性を照合することで、エラー検出が達成される。現実世界の物理制約には、例えば人やモノの 1. 重量、2. 視覚的な形状や挙動、3. 場所、4. 移動を制限する地形が挙げられる。

文献⁶⁾では、現実世界の物理制約をいくつかあげたが、本論文では中でも以下の制約を利用する。

- 現実世界の人やモノには、それぞれ通過できる経路や通過してはいけない経路といった、物体の経路における規則（以下、経路ルール）が存在する。例えば、流通センターでは、物品はベルトコンベヤーに乗って決められた経路を通り、スーパーマーケットでは、陳列棚からとられた商品はレジを通して精算されてから、出口を通る。システムが経路ルールを知っていれば、経路ルールに矛盾した経路の記録を何らかのエラーだと仮定することができる。

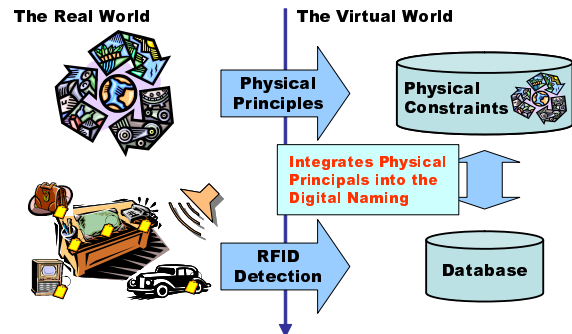


図 1 信頼性向上のためのアプローチ

以下では、システムのアーキテクチャとして、基本的な構成を仮定する。つまり、リーダがネットワークにつながっていて、人やモノの情報、および現実世界の物理制約を格納するデータベースをもつサーバが存在する。現実世界の物理制約は以下のように構成される。（複数の）リーダが設置されている場所をノード $v \in V$ とし、RFID タグが直接移動できるノード間を弧 $a \in A$ とする単純連結有向グラフ $D(V, A)$ を、経路ルールとして事前にサーバに登録しておく。 V はノードの集合で、 A は弧の集合である。図 2 に有向グラフで表現された経路ルールの例を示す。

グラフ $D(V, A)$ 中の**パス**とは、 $D(V, A)$ 中のノードの系列 $\langle v_1, v_2, \dots, v_n \rangle$ ($v_1, v_2, \dots, v_n \in V$) で、任意の $i < n$ に対して、 $(v_i, v_{i+1}) \in A$ を満たすものをいう。RFID タグ b が実際に移動した経路を示す、グラフ $D(V, A)$ のパス $X = \langle r_{b_1}, \dots, r_{b_k} \rangle$ を**リアルパス**とよぶ。**リアルパスの長さ** $|X|$ は k で定義される。

RFID タグ b が実際に移動したときに、 b を認識したリーダのログを**ノード系列** $S = \langle r_{s_1}, \dots, r_{s_l} \rangle$ と呼ぶ。**ノード系列の長さ** $|S|$ は l で定義される。ただし、系列 S に含まれる任意のノード r_{s_i} はリアルパス X に含まれるノードのいずれかであり、系列 S に含まれるノード数はリアルパスに含まれるノード数以下である、つまり、 $l \leq k$ である。系列 S に**誤り**が存在するとは、系列 S とリアルパス X を系列として比較したときに両者が異なる場合をいう。この場合、**再現率**は $|S|/|X|$ で定義される。

システムの動作は以下になる。

各リーダは、RFID タグを認識した際に、リーダ自体の ID と認識した RFID タグの ID を送信する。さらに、リーダとつながった端末やユーザ・インターフェースに、サーバから報告される警告やエラーメッセージを表示する。

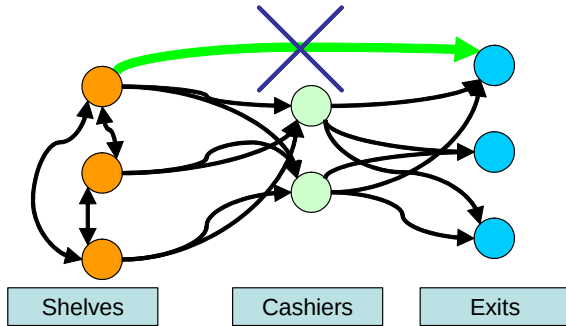


図 2 有向グラフで表現された経路規則の例

サーバは、リーダ r からの信号 $t_{r,1}, \dots, t_{r,k}$ を受け取ると、以下のように動作する。

- (1) リーダ r から送信される RFID タグ j の信号 $t_{r,j}$ を受信。
- (2) 受信した $t_{r,j}$ の前回ログを $t_{r,j}$ とすると、 $t_{r',j}$ が経路規則に違反する場合、つまり経路規則の有向グラフの中で、リーダ r' が存在するノードとリーダ r が存在するノードとの間に弧が存在しない場合、経路規則の例外を報告する。

上記のように、現実世界の物理制約を利用することで、システムは以下のように信頼性を向上させることができる。RFID タグをどのリーダが認識したかの履歴をサーバに記録していくとする。これにより、各 RFID タグに対する履歴が登録された経路規則に違反すると、何らかの例外が生じていることが検知できる。

以下の構成は次の通りである。2 節で実際の環境における RFID タグの認識を観測する。3 節でシミュレーションにより提案手法の効果を調べる。4 節で本論文をまとめる。

2. RFID 情報システムにおける RFID タグの認識の観測実験

RFID 情報システムにおいて、実際にリーダが RFID タグの認識にどれだけ失敗するかを調べるために、研究室内にいくつかのリーダを設置して簡単な RFID 情報システムを構築し、RFID タグの反応を観測する。計算機や金属性の物品が数多く存在するような環境で、RFID タグが置かれている、もしくは移動する場合に、リーダが実際に RFID タグの認識にどれだけ失敗するかを調査し、こういった環境、状況において RFID タグの認識に失敗しやすいかを考察する。

2.1 実験環境

本実験では、研究室内および廊下に 9 つのリーダを

設置する (図 6 の各ノードに相当。)

各リーダは RS-232C ケーブルでそれぞれ制御 PC に接続されていて、認識した RFID タグから受信したデータを制御 PC に送信する。RFID タグはアクティブタグで、自身の ID のみを発信する。制御 PC は、研究室内の LAN を通じてサーバにつながっていて、リーダから受信した RFID タグの ID、および ID を受信した時間、自身の MAC アドレスをサーバに送信する。ID を受信した時間を RFID タグの認識時間とする。サーバは制御 PC から受信したデータ (RFID タグの ID、認識時間、制御 PC の MAC アドレス) をデータベースに格納する。制御 PC とサーバ間の通信は TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) で行われる。各制御 PC とサーバの時間はタイムサーバを使って同期をとる。構築した RFID 情報システムの構成を図 3 に示す。

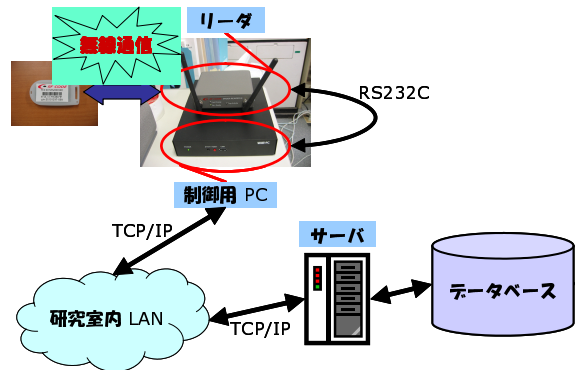


図 3 構築した RFID 情報システムの構成

RFID タグとリーダの仕様、および制御 PC、サーバの環境は以下のとおりである。

[RFID タグ:]

スパイダータグ (RF-CODE 社製アクティブタグ)、
発振周波数: 303.825 MHz $\pm$ 200 KHz, 発信間隔:
約 7.0 秒

[リーダ:]

スパイダーリーダ, 送信レート: 19200 bps, 受信
周波数: 303.825 MHz

[制御用 PC:]

JMNet WAKE-PC, プロセッサ: Transmeta Cru-
soe TM5800, 866 MHz, OS: RedHat Linux 9, メモ
リ: 512 MB

[サーバ:]

DELL Dimension 8200, プロセッサ: Intel(R) Pen-
tium(R) 4, 1.7 GHz, OS: RedHat Linux 9, メモ

リ：1.0 GB

本実験では、RFID タグを固定した場合と RFID タグを移動させた場合の2種類の観測を行う。

2.2 RFID タグを固定した場合の実験

電池の残量の違いのために、RFID タグによって発信間隔には多少のばらつきがある。まず25個の RFID タグに対して、ほぼ同じ発信間隔をもつ RFID タグを選定する。以下では、5分間の RFID タグの認識回数(46回)に対する、実際の認識回数の割合を RFID タグの認識率として計算する。

廊下のリーダー(図6中のW3)における RFID タグの認識率とリーダー・RFID タグ間の距離の関係、および RFID タグを1, 3, 5, 10個と増やしたときの認識率の変化を図4に示す。

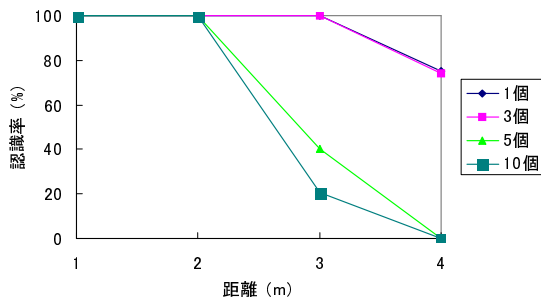


図4 廊下における RFID タグの認識率

図4にあるように、RFID タグが1個、あるいは3個の場合は、3mを越えると徐々に影響が出てきて、5mになると認識されなくなった。RFID タグが5個、10個になると、3m離れると認識率は激減し、4mの時点でどの RFID タグも認識されなくなった。リーダー・RFID タグ間の距離が離れる程、RFID タグの輻輳による影響も大きくなることがわかる。

次に、廊下における RFID タグの認識率と研究室のリーダー(図6中のW7)における RFID タグの認識率の違いを図5に示す。

図5にあるように、RFID タグが1個の場合、廊下でも研究室内でも4mを越えると認識率が下がってくる。ただし、研究室内での認識率の方が、認識率の下がる割合は少ない。これは、廊下のほうが壁にはさまれていて、反射の影響が出やすいのではないかと考えられる。RFID タグが3個の場合、廊下では約100%の認識率であった1mの距離でも、研究室内での認識率が下がっている。しかし、研究室内でも人がいない場合だと、廊下での認識率と変わらない認識

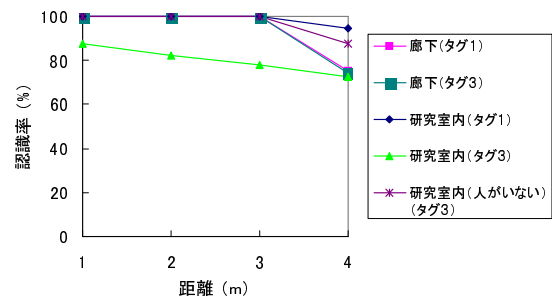


図5 研究室内と廊下における RFID タグの認識率の違い

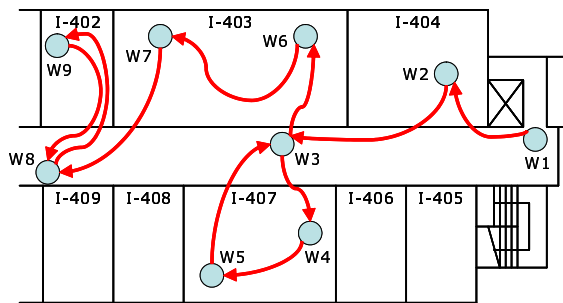
率になる。上記のことから、リーダーや RFID タグの周りに人がいるだけで、RFID タグの認識率に影響がでることが推測できる。

さらに、RFID タグそのものを種々の条件下において観測してみた。RFID タグを靴の中に入れて置いたり、携帯電話と一緒に置いてみたりしてもほとんど影響はなかったが、RFID タグをアルミホイルに包んだ状態だと、リーダーのすぐそばに置いても認識されなくなった。靴のような金属でないものに包まれる場合や、金属でも一緒に置いてある程度の場合にはほとんど影響はないが、金属製のものに包まれると大きく影響される。また、テレビのそばにリーダーを置いた場合、電源がついてない時には何の影響もないが、電源がつくだけで1mの距離も認識されなくなる。ただし、アルミホイルで包んだ場合ほど影響が出るわけではなく、リーダーのすぐそばに RFID タグを置いた場合には確実に認識される。

2.3 RFID タグを移動させた場合の実験

前節の観測で用いた RFID タグのひとつを用いて、RFID タグを移動させた場合の観測を行った。RFID タグの移動は、一人が RFID タグを持って実際に研究室内、廊下を歩くことで行った。移動経路については、図6にあるように W1 → W2 → W3 → W4 → W5 → W3 → W6 → W7 → W8 → W9 → W8 の順に移動した。

ただし、出発点である W1 のリーダーには必ず RFID タグを認識させて移動するため、W2 以降のリーダーでの認識履歴が評価の対象となる。各リーダーにおいて、RFID タグが少なくとも1度認識されたという事象をイベントとよぶ。以下では、実際の移動経路を再現できた場合のイベント数に対する、各リーダーが認識できたイベント数の割合を再現率として評価を行う。同じ条件の下では、RFID タグを持つ位置、移動する場所、速さは可能な限り同様の移動を繰り返した。



移動経路：W1→W2→W3→W4→W5→W3→W6→W7→W8→W9→W8

図 6 RFID タグの移動経路

RFID タグを持って、種々の速度や条件で歩いた結果の再現率を表 1 に示す。

表 1 5 つの条件下でのそれぞれにおける再現率

	全イベント数	認識できなかったイベントの平均数 (平均エラー数)	平均再現率 (%)
普通(約1分)	10	4.4	56
遅い(約1分30秒)	10	2.5	75
速い(約30秒)	10	6.3	37
鞆(約1分)	10	5.0	50
携帯電話(約1分)	10	7.0	30

表 1 にあるように、普通に歩いた場合に比べて、ゆっくり歩いた場合の再現率は高く、速く歩いた場合の再現率は低くなっていることから、RFID タグの認識は移動の速さに影響されることが推測できる。ゆっくり歩いた場合の再現率でも 75% であることから、RFID タグが移動することだけで、RFID タグを確実に認識することは困難であることが推測できる。速く歩いた場合は約 30 秒で 1 回の移動が終わっているが、RFID タグの発信間隔が約 7.0 秒であることから、10 のイベントを全て認識するには少なくとも約 70 秒は必要であるため、前提から再現率が低くなる。単純に考えても、RFID タグの発信間隔を短くする、もしくは移動の速さを制限するといった処置が必要となる。また、普通に歩いた場合でも、RFID タグを鞆の中に入れたり、携帯電話と一緒に持ったりすると、再現率は低くなることがわかる。表 1 に記されていないが、鞆の中に入れた場合と携帯電話と一緒に持った場合に関しては、普通に歩いた場合に比べて同時に複数のリーダーで認識されることが少なかった。このことは、RFID タグから発信する電波の到達距離が短くなっているこ

とが推測できる。各リーダーにおいてイベントを認識できた割合を見てみると、W6, W8, W9 のリーダーにおける RFID タグの認識のエラーが目立った。このことは、リーダーからの距離が比較的遠い位置を歩いたことやリーダーの近くを通る時間が比較的短いことが原因として考えられる。また、W8 のリーダーの近くに設置されているタッチパネル型 PC も、W8 のリーダーにおける認識のエラーの原因のひとつであることが推測できる。

本実験で示されたように、RFID における無線通信は不安定であり、時間、環境、速度、距離、RFID タグの状況（輻輳や取り付けられる物体）、人の有無といった様々なことが要因となっている。無線通信が不安定であることで、思い通りのリーダーで思い通りの RFID タグを確実に認識することは困難である。RFID を単純に利用しているだけでは、現実世界での物の移動や状態の変化を情報システムに正しく反映させることは難しく、現実世界の情報と情報システムの情報に食い違いが生じることが改めて確認された。

3. 経路ルール利用のシミュレーション

本章では、経路ルールによる誤り検出が RFID 情報システムにどれだけ有効かをシミュレーション実験によって評価する。

シミュレーションによる評価は、経路ルールを利用しない場合におけるイベントの再現率と、経路ルールを利用して誤りを検出し、理想的な誤り修正を施した場合におけるイベントの再現率を比較するという方法で行う。ここでいう理想的な誤り修正とは、誤りを修正する機能が、RFID タグが実際に移動した経路を示すリアルパスを知っていて、検出された誤りを含むイベント間とその間のリアルパスを比較することで、検出した誤りを修正することである。

3.1 実験内容

シミュレーション実験は PHP 言語と PostgreSQL を用いた簡易プログラムを用いて行った。シミュレーションプログラムは、以下の手順で動作する。

- (1) まずデータベース上にランダムに有向グラフを作る。有向グラフは、弧の始点と終点を属性とするテーブルで構成される。
- (2) 有向グラフに沿ったイベントを指定された数だけランダムに創り出す。創出されたイベントの履歴がリアルパスということになる。
- (3) イベントの中で指定された数だけイベントをランダムに削除する。この削除されたイベントが誤り

ということになる。

- (4) 創出されたイベント履歴のイベント数に対する、指定された数だけ誤りを削除されたイベント履歴のイベント数の割合、つまり経路ルールを利用しない場合の再現率を計算する。
- (5) 経路ルールを利用して誤りを検出する。
- (6) リアルパスと比較することで検出された誤りを修正し、経路ルールを利用した場合の再現率を計算する。経路ルールを利用した場合の再現率は、経路ルールによる誤り検出を利用することで、RFID 情報システムがどれだけの誤りを修正することができるかの上限ということになる。

上記のような簡易シミュレーションプログラムを用いて、経路ルールを利用しない場合 (Naive) と経路ルールを利用する場合 (Improved) の再現率をそれぞれ計算する。それぞれの再現率を比較することで、経路ルールによる誤り検出が RFID 情報システムにどれだけ有効かを評価する。

本実験では、以下の 3 つの条件における再現率の比較を示す。

- 誤りの数に対する再現率
 - － 有向グラフのノード数：100 (固定)
 - － 有向グラフの弧数：3,000, 5,000, 7,000 (3 パターン)
 - － リアルパスの長さ：100 (固定)
 - － 誤りの数：0 ～ 100 に変化 (パラメータ)
- リアルパスの長さに対する再現率
 - － 有向グラフのノード数：100 (固定)
 - － 有向グラフの弧数：1,000, 3,000, 5,000, 7,000 (4 パターン)
 - － リアルパスの長さ：5 ～ 1,000 に変化 (パラメータ)
 - － 誤りの数：リアルパスの長さの 60%
- 弧数に対する再現率
 - － 有向グラフのノード数：100 (固定)
 - － 有向グラフの弧数：200 ～ 9000 に変化 (パラメータ)
 - － リアルパスの長さ：10, 20, 50 (3 パターン)
 - － 誤りの数：リアルパスの長さの 60%

それぞれの条件に対して、再現率の計算を 10 回試行し、その平均値を経路ルールを利用した場合の再現率とし、経路ルールを利用しない場合の再現率と比較する。

3.2 実験結果

本節では、3.1 節で述べた 3 つの条件におけるそれぞれの再現率の比較を示す。

3.2.1 誤りの数に対する再現率

誤りの数に対する再現率を図 7 に示す。

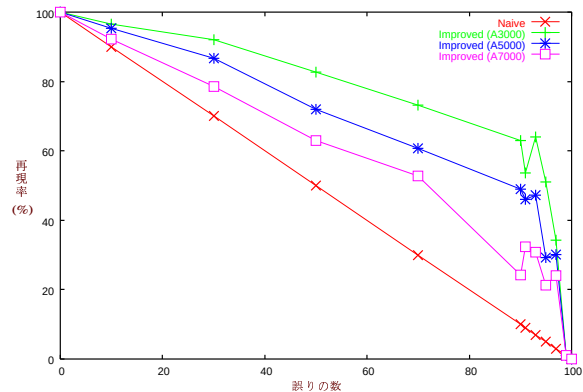


図 7 誤りの数に対する再現率

リアルパスの長さが 100 と固定した場合に、誤り検出の効果があるのは、誤りの数が 1 ～ 98 のときである。誤りの数が 0 のときは誤りがなく、再現率は Naive の場合でも 100% となる。誤りの数が 100 のときはイベントがなく、Improved の再現率は Naive の場合と同じ 0% となる。経路ルールによる誤り検出がイベントの履歴から誤りを検出するものであるため、イベントがない場合には誤り検出できないため、Naive の場合と変わらない。誤りの数が 99 のときはイベントが 1 つだけで、Improved の再現率は Naive の場合と同じ 1% となる。経路ルールによる誤り検出が 2 つ以上のイベントを用いて誤りを検出するものであり、イベントが 1 つの場合には誤り検出できないため、Naive の場合と変わらなくなる。誤りの数が 1 ～ 98 のときは、誤りの数が増えるにつれて、再現率は低くなるが、Naive な場合に比べて Improved の場合の方が誤り検出の効果は高くなっている。イベントの数が減るにつれて、誤りを検出する可能性が高くなることと、検出した場合に修正する誤りが多いことが理由であると推測される。

Improved の場合の中で、弧数は 3,000, 5,000, 7,000 の 3 パターンを示しているが、弧数が多いほど再現率は低くなっている。これは、弧数が多いほど有向グラフに並行パスやループが存在しやすく、並行パスやループによる検出漏れが発生しやすくなるためであると考えられる。

上記のことから、2 つ以上のイベントが期待できるような場合には、経路ルールによる誤り検出が RFID 情報システムに有効であるといえる。

3.2.2 リアルパスの長さに対する再現率

次に、リアルパスの長さに対する再現率を図 8 に示す。

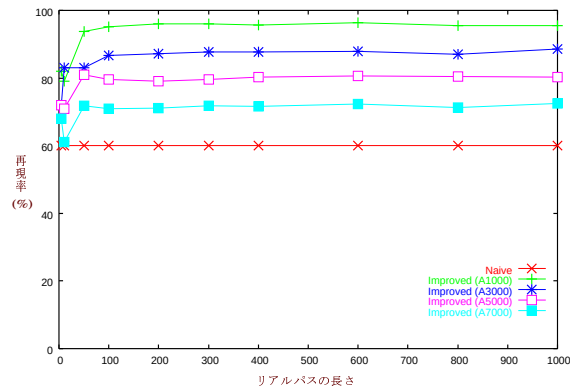


図 8 リアルパスの長さに対する再現率

リアルパスの長さに対する誤りの割合を 60% に固定した場合、リアルパスの長さが 5 ～ 1,000 の間では誤り検出の効果が確認できた。リアルパスの長さが 5 ～ 100 程度までは、Improved の再現率が急激に高くなっていき、200 程度を越えると、ある一定の間隔内に安定していく。これは、リアルパスの長さに対する誤りの割合が一定であっても、リアルパスが長くなることで、リアルパス全体に対しての始点・終点での誤りによる検出漏れが発生したときの影響が少なくなり、リアルパスがある一定の長さを越えると、始点・終点での誤りによる検出漏れの影響がほとんどなくなってしまうためだと推測できる。

Improved の場合の中で、弧数は 1,000, 3,000, 5,000, 7,000 の 4 パターンを示しているが、弧数が多いほど再現率は低くなっている。これは、3.2.1 小節と同様に、並行パスやループによる検出漏れが発生しやすくなるためであると考えられる。

上記のことから、リアルパスが比較的長くなるような RFID 情報システムの応用では、始点・終点での誤りによる検出漏れの影響が少なくなるため、始点や終点でのリーダの性能を上げるような対策の必要性が少なくなるといえる。

3.2.3 弧数に対する再現率

弧数に対する再現率を図 9 に示す。

有向グラフの弧数が 200 ～ 9,000 の間では誤り検出の効果が確認できた。弧数が 200 ～ 1,000 程度までは、Improved の再現率が若干高くなっていき、それ以上に弧数が増えると、徐々に Improved の再現率が低くなっていく。弧数が 200 ～ 1,000 程度まで

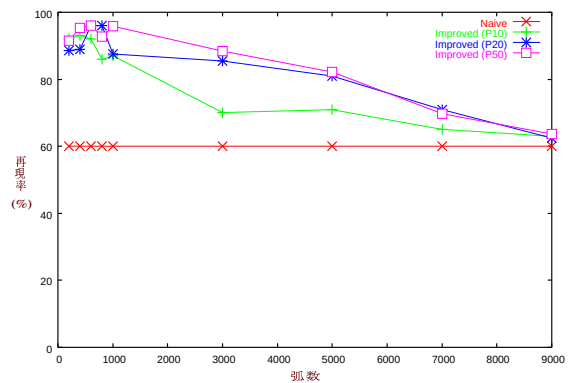


図 9 弧数に対する再現率

は、ノード数に対する弧数の割合が少なく、作られる有向グラフが非連結グラフになってしまう。非連結グラフになった場合は、非連結グラフに存在する連結グラフの、ノード数に対する弧数の割合が増え、並行パスやループによる検出漏れが発生しやすくなる。弧数が 200 から増えていくにつれ、非連結グラフが作成される確率が減っていくので、弧数が 1,000 程度までは Improved の再現率が若干高くなっていく。弧数が 1,000 を越えると、有向グラフ全体のノード数に対する弧数の割合が、非連結グラフに存在する連結グラフの、ノード数に対する弧数の割合よりも大きくなり、並行パスやループによる検出漏れが発生することで、徐々に Improved の再現率が低くなっていくものと推測できる。

Improved の場合の中で、リアルパスの長さは 10, 20, 50 の 3 パターンを示しているが、リアルパスの長さが 10 の場合が他の 2 つに比べて低くなっている。これは、3.2.2 節にあるように、リアルパスが短い場合には、再現率がまだ安定していない状態で、安定状態に比べて低くなっているためであると考えられる。

上記のことから、経路ルールを表す有向グラフにおいて、ノードに対する弧数の割合が低いほど、経路ルールによる誤り検出が効果的であるといえる。

3.2.4 観測実験に即したシミュレーション

2 章での RFID タグを移動させた場合の観測実験の結果に対して、誤りを検出し、実際に歩いた経路であるリアルパスと手動で比較することで修正を行った場合と、シミュレーションによる評価を比較し、考察する。

経路ルールはランダムグラフではなく、図 6 のような有向グラフを用いた。

本章での評価実験と同様の簡易シミュレーションプログラムを用いて、図 6 の有向グラフに対して、同様

のシミュレーションを行い、誤りの数に対する再現率を示し、観測実験の結果に対して手動で誤りを修正した場合の再現率と比較する。

図 10 に誤りの数に対する再現率を示す。3.2 節と同様に、Naive の場合に比べて、Improved の場合の再現率の方が高くなっている。

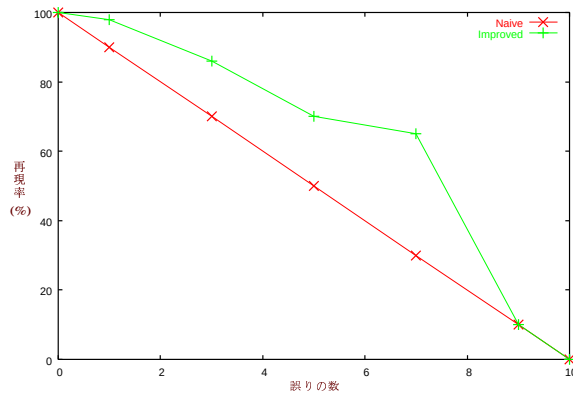


図 10 誤りの数に対する再現率（現場）

表 2 に観測実験の結果における再現率と、結果から手動で誤りを修正した場合の再現率を示す。どの条件においても、誤り検出の効果が現れていることがわかった。

	Naive な場合の 再現率 (%)	Improved な場合の 再現率 (%)
普通(約1分)	56	72
遅い(約1分30秒)	75	90
速い(約30秒)	37	52
鞆(約1分)	50	69
携帯電話(約1分)	30	37

表 2 観測実験の結果と誤りを修正した場合の再現率

さらに、表 2 の再現率を、図 10 に当てはめてみると、普通に歩く場合、遅く歩く場合、鞆に入れて歩く場合においては、ほぼシミュレーションによる評価と一致する。しかし、速く歩く場合と携帯電話と一緒に持って歩く場合は、手動による再現率がシミュレーションによる評価よりも劣っている。これは、観測実験でのリアルパスの長さは 10 と短く、観測実験で得られたイベントの履歴には、リアルパスの始点・終点での誤りによる検出漏れが多かったためである

と考えられる。

上記のことから、リアルパスの始点や終点でのイベントを得ることは、他のノードでのイベントを得ることをよりも非常に重要な意味を持ち、始点・終点での誤りを防ぐことで経路ルールによる誤り検出をより効果的にすることができると考えられる。

4. おわりに

本論文では、RFID を用いた情報システムにおいて RFID タグの認識の信頼性が低下する場合があることを実際に確認し、それをシステム側の工夫により補償する手法をシミュレーションにより評価した。

実際に RFID タグの認識の観測実験を行ったところ、RFID タグを固定している場合でも、RFID タグが移動する場合でも、時間、速度、電波の到達距離、RFID タグの状況（輻輳や取り付けられる物体）、リーダを設置している環境といった様々なことが要因となって、リーダが RFID タグの認識に失敗することが確認された。

誤りの数に対する再現率、リアルパスの長さに対する再現率、弧数に対する再現率のシミュレーションにおいて、それぞれ誤りの数、リアルパスの長さ、弧数を変化させた場合の再現率の変化を調べた。

また、観測実験から、RFID タグの認識のエラーが、時間、速度、電波の到達距離、RFID タグの状況（輻輳や取り付けられる物体）、リーダを設置している環境といった様々なことが要因となることが確認されたので、それぞれを考慮した、より精度の高い RFID 情報システムモデルを構築していく必要がある。

謝辞

本論文は、平成 14-18 年度科学研究費補助金（学術創生研究費 (2)）（課題番号：14GS0218）、および平成 15-16 年度科学研究費補助金（若手研究 (B)）（課題番号：15700100）による。

参 考 文 献

- 1) D. Friedman, H. Heinrich, and D.-W. Duan, "A low-power CMOS integrated circuit for field-powered radio frequency identification tags", *ISCC Digest of Technical Papers*, Feb. 1997.
- 2) S. Tanaka, T. Ishifuji, T. Saito, M. Shida, and K. Nagai, "A coding scheme for field-powered RF IC tag systems", *Symposium on VLSI Circuits Digest of Technical Papers*, May. 1998.

- 3) 勝田 圭介, 柳沢 豊, 佐藤 哲司, “分散型移動軌跡データベースのためのインデクス構築手法”, 情報処理学会研究報告, 2004-DBS-132, pp. 17–24, Jan. 2004.
- 4) Sozo Inoue, Shin'ichi Konomi, and Hiroto Yasuura, “Privacy in the Digitally Named World with RFID Tags”, *Workshop on Socially-informed Design of Privacy-enhancing Solutions in Ubiquitous Computing*, Sep. 2002.
- 5) 井上 創造, 萩原 大輔, 佐々木 淳, 青木 靖, 秋元 一美, 浜崎 陽一郎, 安浦 寛人, “RFID によるイベント支援マルチサービスシステム「RICA」の実証実験”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO MO 2003) シンポジウム, pp. 277–280, Jun. 2003.
- 6) 萩原 大輔, 井上 創造, 渡部 貴大, 安浦 寛人, “信頼性向上のための RFID 情報システムモデル”, 情報処理学会研究報告, 2004-UBI-3, pp. 55–62, Jan. 2004.