

信頼性向上のための RFID 情報システムモデル

萩原 大輔[†] 井上 創造^{††}
渡部 貴大^{†††} 安浦 寛人^{††}

本研究では、RFID (Radio Frequency IDentification) を用いて現実世界の物品を識別可能にすることを「デジタルネーミング」とよび、デジタルネーミング社会における信頼性を向上させるための RFID 情報システムモデルを検討する。デジタルネーミングでは、RFID が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かったりすることで、情報の信頼性を保つことができないという問題が発生する。本論文では、デジタルネーミングにおける信頼性の問題に対して、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 情報システムの信頼性を向上させる方法を提案する。本手法では、物品の移動における最初と最後の認識が確実に成功すると仮定すると、本手法適用前に比べて認識の失敗の確率を削減できる。

Modeling RFID Information Systems for the Reliability

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

In this paper, we address reliability issues in the 'Digitally Named World', which is the environment in which RFID (Radio Frequency Identification) tags are attached to any objects in the real world. Reliability is one of the crucial issues in the Digitally Named World, because of the unreliable nature of RF communication. We propose a systematic approach to maintain the reliability and analyze the effect of our approach, and show that the possibility of identification failure are reduced beside the naive approach, on condition that the first and the final identifications of an object are ensured to be successful.

1. はじめに

我々は、RFID (Radio Frequency IDentification)^{2),3)} を用いて効率的かつ安全な社会を実現することを目指している。本研究では、RFID を用いて現実世界の物品を識別可能にすることを「デジタルネーミング」とよび^{4),5)}、デジタルネーミング社会に求められる要件のひとつである信頼性の問題について議論する。

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 情報システムが導入され始めている^{6)~10)}。今後、現

在のような特定の場所内のみならず、あらゆる場面で RFID 情報システムが導入され、デジタルネーミングが社会に浸透する際には、現実世界の情報を仮想世界に確実に取り込み、情報の信頼性を確保することが重要となる。

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信頼性を保つことが難しいことが多々ある¹¹⁾。RFID の認識の失敗によって、現実世界の情報を正確に仮想世界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

[†] 九州大学 大学院システム情報科学府
Graduate School of Information Science and Electrical
Engineering, Kyushu University

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

^{†††} 九州大学 工学部電気情報工学科
Department of Electrical Engineering and Computer
Science, Kyushu University

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^{12),13)}。本論文では、デジタルネーミングにおける信頼性の問題について、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を提案する。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、デジタルネーミングの信頼性を保つことが可能になる。

本論文では、提案手法の基本概念と現実世界の制約の利用方法を述べる。さらに、物品の移動における最初と最後の認識が確実に成功すると仮定して、ひとつのリーダにおける認識の失敗の確率を p とすると、本手法は本手法の適用前に比べて、認識の失敗の確率を $O(p)$ ($0 < p < 1$) から $O(p^2)$ に削減できることを示す。

本論文の構成は以下の通りである。2章で本研究でターゲットとするアプリケーションを模索し、信頼性向上のために提案する手法の基本概念を説明する。3章で現実世界の3つの物理制約の利用方法を説明し、4章で経路ルールの有効性を理論的に検証する。5章では、簡易システムを使った実験による経路ルールの評価を行う。最後に6章で本論文をまとめる。

2. ターゲット・アプリケーションと信頼性向上のための基本概念

本章では、デジタルネーミング社会において信頼性を要求されるアプリケーションについて考察し、本研究でターゲットとするアプリケーションについて述べる。さらに、ターゲット・アプリケーションに対して、信頼性向上のために提案する手法の基本概念を説明する。

2.1 ターゲット・アプリケーション

デジタルネーミング社会において信頼性を要求されるようなアプリケーションについて、信頼性と即時性への要求を軸として主観的に図示したものを図1に示す。ここで、信頼性への要求および即時性への要求とは以下のようなものである。

信頼性への要求 RFID タグがひとつでも、あるいは一箇所でも反応ミスがあると、システムの有用性

が失われたり、大きな損害を受ける場合には信頼性への要求が高くなる。逆に、いくつかの RFID タグに、あるいはいくつかの箇所でも反応ミスがあったとしても、システムへの被害が少ない場合には信頼性への要求が低い。

即時性への要求 RFID タグがリーダに反応した瞬間に、RFID タグをもつ人やモノがリーダのある場所に訪れたという情報が必要となる場合には即時性への要求が高くなる。逆に、ユーザの動きを統計的に知りたいだけの場合は即時性への要求は低い。

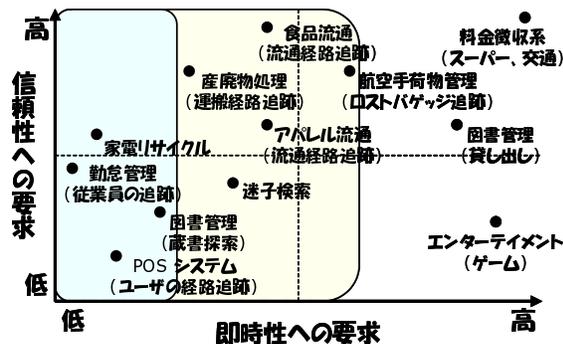


図1 信頼性を要求されるアプリケーション

例えば、スーパーや交通での料金徴収系のアプリケーションは信頼性への要求が高く、かつ即時性への要求も高くなっている。一般ユーザの金銭を直接取り扱うアプリケーションに見られる傾向となる。逆に、POS (Point of Sale) システムや図書管理 (蔵書探索) のような人やモノの経路を追跡するアプリケーションは信頼性への要求も即時性への要求も低いものとなっている。トレース情報を後々に利用したい、かつできればトレース情報を知りたいという程度の信頼性で利用されるアプリケーションに見られる傾向となる。また流通系のアプリケーションについては、信頼性への要求は高く、即時性への要求はそれほど高くない。人やモノが要所に訪れた瞬間にトレース情報が必要なわけではないが、完全に事後ではなく一定間隔で情報が必要になってくると考えられる。

我々のアプローチはシステム全体での信頼性を向上させるものなので、料金徴収系のアプリケーションのように、絶対に反応ミスをしてはいけないような箇所があったり、即時に情報が必要であったりするものには適していないと思われる。特に、即時性への要求が高いアプリケーションについては、各箇所でのリーダの性能が要求されることになる。我々は、まず即時性

への要求が低いアプリケーションをターゲットとして議論を進めていく。

2.2 基本概念

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、デジタルネーミングの信頼性を確保するための第一歩として、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。

信頼性向上のためのアプローチの基本概念を図 2 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。

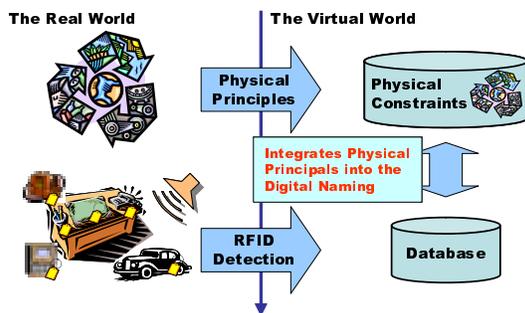


図 2 信頼性向上のためのアプローチ

2.3 現実世界の物理制約

我々の提案する、デジタルネーミングの信頼性を向上させるためのアプローチは、以下の 3 つの概念を基本としている。

- (1) 現実世界の複数の人やモノ、つまり、買い物のかごの中の複数の商品のように一緒に動くものを、ひとつのグループとして取り扱う。システムにいくつかのグループが登録されている場合、あるグループの要素である人やモノのうちひとつでも認識すれば、システムはそのグループの全ての要素である物品の存在を推測することができる。
- (2) 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。

- (3) 現実世界の人やモノの移動は、ある程度決まった時間に制約される（以下、時間ルール）。例えば、ベルトコンベヤー上の物品はある程度決まった時間で移動し、人がある場所から次の場所へ移動するためには少なくとも掛かる時間があり、逆に多く見積もってもこれ以上は同じ場所に滞在しないという時間がある。リーダ間の移動に掛かる時間、あるリーダでの滞在時間の上限や下限をシステムが知っていれば、時間ルールに矛盾した移動や滞在を何らかのエラーだと仮定することができる。

3. 現実世界の物理制約の利用方法

我々は、現実世界の物理制約を利用して、RFID やセンサによって得られたデータを補完し、修正することによって、デジタルネーミングの信頼性を向上させる。本章では、2.3 節で述べた物理制約の利用方法について説明する。

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。図 3 に有向グラフで表現された経路ルールの例を示す。
- RFID タグが各リーダのそばに滞在する時間、および各リーダ間を移動する時間の最小値または最大値を、グラフ $D(V, A)$ 中で対応する各ノード $v \in V$ 、各弧 $a \in A$ に重みとして加え、登録する。
- 複数の RFID タグが同時に行動することが分かっている場合には、リーダが同時に認識する複数の RFID タグの集合を G_0, \dots, G_n としてまとめてサーバに登録する。例えば、 $G_i = \{ \text{商品 4, 商品 10, 利用者 43} \}$ といった形で登録し、一度登録されたグループの要素は別のグループには登録されない。

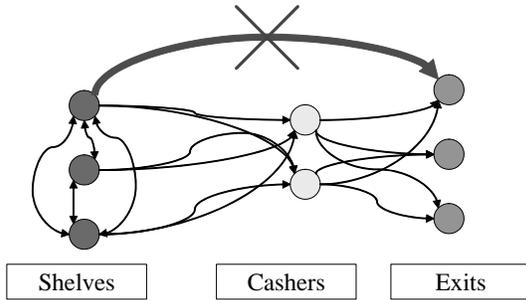


図 3 有向グラフで表現された経路ルール例

システムの動作は以下ようになる。

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。

サーバは、リーダ r から信号 $t_{r,1}, \dots, t_{r,k}$ 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) 受信した各 $t_{r,j}$ が、あるグループ $G_i = \{t_{r,1}, \dots, t_{r,k}\}$ ($0 < i < n$) に含まれる場合、もしグループ G_i の中で受信してない $t \in G_i$ が存在するならば、グループの例外を報告する。
- (3) 受信した $t_{r,1}, \dots, t_{r,k}$ のすべてが、登録されているグループ G_1, \dots, G_n のどの要素にも含まれない場合、新たなグループ G_{n+1} を作成し、 $t_{r,1}, \dots, t_{r,k}$ をその要素とする。
- (4) 受信した $t_{r,1}, \dots, t_{r,k}$ のうちひとつでも、あるグループ G_l に含まれる場合、グループ G_l を更新する。つまり、 $t_{r,1}, \dots, t_{r,k}$ の中で、グループ G_l の要素でない $t_{r,m}$ を要素に加える。
- (5) 受信した $t_{r',j}$ の前回ログを $t_{r,j}$ とすると、 $t_{r',j}$ が経路ルールに違反する場合、つまり経路ルール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、経路ルールの例外を報告する。
- (6) 受信した $t_{r',j}$ の時刻が時間ルールに違反する場合、つまり経路ルールの有向グラフの中で、 $t_{r',j}$ と $t_{r,j}$ の時刻の差が弧の重みである時間の最小 / 最大値と矛盾する場合、時間ルールの例外を報告する。

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。

- 各リーダで認識した RFID タグのうちひとつでも、サーバに登録されているグループ G_1, \dots, G_n のあるグループ G_i グループの要素があれば、グループ G_i の他の要素が認識されていない可能性があると考えられる。例えば、グループ $G_i = \{\text{商品 4, 商品 10, 利用者 43}\}$ がサーバに登録されているときに、あるリーダに利用者 43 と商品 4 だけが認識されたとすると、商品 10 は認識されなかったが、一緒に移動しているはずであることができる。
- RFID タグをどのリーダが認識したかの履歴をサーバに登録していくとする。これにより、各 RFID タグに対する履歴が登録された経路ルールに違反すると、何らかの例外が生じていることが検知できる。
- RFID タグをリーダが認識した時刻をサーバに登録していくとする。これにより、RFID タグの履歴が経路ルールに違反したときに、実際に RFID タグが通った経路を推測できる可能性が広がる。例えば、リーダ r で認識された RFID タグ v が、5 分後にリーダ r' で反応したとする。このとき、 r から r' への経路が、最低でも 3 分かかる経路 1 と、最低でも 10 分かかる経路 2 の 2 通りがあったとすると、RFID タグ v は r から r' を 5 分で移動しているので、実際は経路 1 を通ったと推測することができる。

4. 経路ルールの解析

提案手法は、デジタルネーミングの信頼性を確実に向上させることができるが、100% の信頼性を保証することはできない。本章では、まず有向グラフを用いる経路ルールに焦点を当て、その有効性を理論的に検証し、RFID タグの認識ミスを検出できない場合を明らかにする。

経路ルールで用いるグラフは、自己ループのない単純連結有向グラフ $D(V, A)$ とする。ただし、 V はノードの集合で、 A は弧の集合である。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。 $v_1 = a, v_n = b$ のとき、このパスを $a-b$ パスとよぶ。

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。

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 $S = \langle r_{s_1}, \dots, r_{s_l} \rangle$ で表す．系列 S はリアルパス X に含まれるノードをいくつか取り除いたものである．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．さらに，系列 S の最初と最後のノードは，リアルパスの最初と最後のノードと等しいものである仮定する，つまり， $r_{s_1} = r_{b_1}, r_{s_l} = r_{b_k}$ とする．

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．

3章で説明したサーバの動作を系列 S に適用したときに，「系列 S が誤り検出可能」であることを以下のように定義する．

定義 1

単純連結有向グラフ $D(V, A)$ ，および系列 $S = \langle r_{s_1}, \dots, r_{s_l} \rangle$ に含まれる連続した 2 ノード $\langle r_{s_i}, r_{s_{i+1}} \rangle$ において，弧 $r_{s_i} r_{s_{i+1}}$ が存在し，かつ弧 $r_{s_i} r_{s_{i+1}}$ 以外の $r_{s_i} - r_{s_{i+1}}$ パスが存在しないとき， $r_{s_i} - r_{s_{i+1}}$ パスが弧 $r_{s_i} r_{s_{i+1}}$ として一意に決まるといふ．

定義 2

単純連結有向グラフ $D(V, A)$ ，および系列 $S = \langle r_{s_1}, \dots, r_{s_l} \rangle$ において，「系列 S が誤り検出可能」とは，系列 S がパスでない，もしくは系列 S に含まれるすべての連続した 2 ノード $\langle r_{s_i}, r_{s_{i+1}} \rangle$ に対して， $r_{s_i} - r_{s_{i+1}}$ パスが弧 $r_{s_i} r_{s_{i+1}}$ として一意に決まることをいう．逆に，系列 S がパスであり，かつ系列 S に含まれるいずれかの連続した 2 ノード $\langle r_{s_i}, r_{s_{i+1}} \rangle$ に対して， $r_{s_i} - r_{s_{i+1}}$ パスが弧 $r_{s_i} r_{s_{i+1}}$ として一意に決まらないことを，「系列 S が誤り検出不可能」という．

次に，「系列 S が誤り検出不可能」である場合を明確にする．

補題 1

単純連結有向グラフ $D(V, A)$ において，「系列 $S = \langle r_{s_1}, \dots, r_{s_l} \rangle$ が誤り検出不可能」である場合は，少なくとも以下の 2 つのうち 1 つを満たす．

- (1) (並行パスによる検出漏れ) 系列 S に含まれる連続した 2 ノード $\langle r_{s_i}, r_{s_{i+1}} \rangle$ において，弧 $r_{s_i} r_{s_{i+1}}$ が存在し，弧 $r_{s_i} r_{s_{i+1}}$ 以外の $r_{s_i} - r_{s_{i+1}}$ パス (以下，並行パス) が存在する場合．
- (2) (ループによる検出漏れ) グラフ $D(V, A)$ 中に

ループ ($a - a$ パス ($a \in V$)) が存在し，リアルパス $X = \langle r_{b_1}, \dots, r_{b_i}, \dots, r_{b_j}, \dots, r_{b_k} \rangle$ ($b_i = b_j$) に対して，系列 $\langle r_{b_{i+1}}, \dots, r_{b_j} \rangle$ ，もしくは $\langle r_{b_i}, \dots, r_{b_{j-1}} \rangle$ のすべてのノードが系列 S に含まれない場合．

上記の必要十分条件は，定義 1 および定義 2 を用いて，グラフ $D(V, A)$ 中に並行パスおよびループが存在しないときに，系列 S が必ず誤り検出可能であることを示すことで証明される．

本論文では，系列 S における最初と最後のノードは，リアルパスの最初と最後のノードと等しいものであると仮定している．入口や出口での人やモノの認識を確実にすることは比較的容易である．精度の高いリーダを設置したり，リーダの数を増やしたり，もしくはその他のセンサと連動させることで，この仮定を実現することができる．

次に，並行パスによる検出漏れへの対策として，グラフの変換を行う．

補題 2

単純連結有向グラフ $D(V, A)$ における，弧 $r_i r_j$ および弧以外の $r_i - r_j$ パスをもつ 2 ノード r_i, r_j 間に対して，弧 $r_i r_j$ を新しいノード r_k と 2 つの弧 $r_i r_k, r_k r_j$ に置き換える．この変換によって， r_i, r_k および r_k, r_j 間には，弧 $r_i r_k, r_k r_j$ 以外の $r_i - r_k$ パス， $r_k - r_j$ パスは存在しなくなる．

証明 弧 $r_i r_k$ をもつ 2 ノード r_i, r_k 間に，弧以外の $r_i - r_k$ パスが存在すると仮定する．ノード r_k の入力弧 $r_i r_k$ 以外に存在することになるが，変換によって挿入されたノード r_k の入力次数は 1 であるために矛盾が生じる． r_k, r_j 間についても同様である．

(証明終)

グラフ $D(V, A)$ におけるすべての並行パスに対して変換を施したグラフを $D'(V', A')$ とする．グラフ $D'(V', A')$ 中には並行パスが存在しないため，並行パスによる検出漏れを防ぐことができる．もし並行パスを見つけることが困難な場合は，グラフ中のすべての弧に対して変換を施せばよい．

次に，ループによる検出漏れの確率の上限を示す．

補題 3

単純連結有向グラフ $D(V, A)$ において，各ノードにおけるリーダの反応ミスの確率を p ($0 < p < 1$) とする．リアルパス X から得られる系列 S が誤り検出不可能となる確率は $2(1-p)p^2$ ，あるいは $3(1-p)^2 p^2$ 以下である．

証明 リアルパス X 内でループ l_i を r 回ま

わっていると、ループに含まれるノード数を s 、ループに含まれていて反応するノード数を t とすると、 $k(t,r)(1-p)^t p^{sr} \leq 2(1-p)p^2$ 、あるいは $k'(t,r)(1-p)^t p^{sr} \leq 3(1-p)^2 p^2$ の確率で誤り検出不可能である。ただし、 $k(t,r), k'(t,r)$ は t と r の関数である。リアルパス X 内のループの数を n とすると、誤り検出不可能である確率は $\{2(1-p)p^2\}^n \leq 2(1-p)p^2$ 、あるいは $\{3(1-p)^2 p^2\}^n \leq 3(1-p)^2 p^2$ 以下である。(証明終)

システムに経路ルールを適用しない場合、リアルパス X に含まれるノード数を $|X|$ とすると、すべてのノードにおけるリーダが反応する必要があるため、 $1 - (1-p)^{|X|}$ の確率で誤り検出不可能となってしまう。経路ルールを利用することにより、系列 S の誤り検出不可能である確率の上限を $O(p)$ から $O(p^2)$ に削減されることがわかる。

補題 1 から 3 により、以下の定理が得られる。

定理

並行パスをもたない単純連結有向グラフ $D'(V', A')$ 、およびノードの系列 S が与えられたとき、 $O(p^2)$ の確率で系列 S が誤り検出可能となる。

5. 簡単な実証実験による評価

経路ルールの評価のため、キャンパス内の自動販売機におけるロケーション・サービスを提供する RFID 情報システムを使って実証実験を行った。このロケーション・サービスは、自動販売機のそばに表示端末が置かれていて、利用者の通ってきた経路によって異なるメッセージ(自販機の情報)が表示されるというサービスである。今後、本システムをより高度な POS システムとして発展させることで、より効率的なロケーション・サービスを提供することができる。高度な POS システムを開発するためには、利用者の行動の情報収集を確実にし、トレーサビリティを向上させる必要がある。本章では、実証実験によって得られた情報に対して経路ルールを適用することで、利用者の行動のトレーサビリティを向上できることを示す。

実験で使用した RFID タグは、動作周波数が 300 MHz のアクティブ型で、リーダに ID を 7 秒間隔で送信する。リーダとサーバ間の通信は UDP (User Datagram Protocol) で行われる。キャンパス内の 3 箇所にリーダと表示端末を設置し、利用者に RFID タグを持たせ、図 4 のように移動させた。サーバが各リーダに反応した RFID タグの ID を記録していくことで、利用者は各自販機で、通った経路に沿ったメッ

セージをチェックすることができる(図 5 参照)。

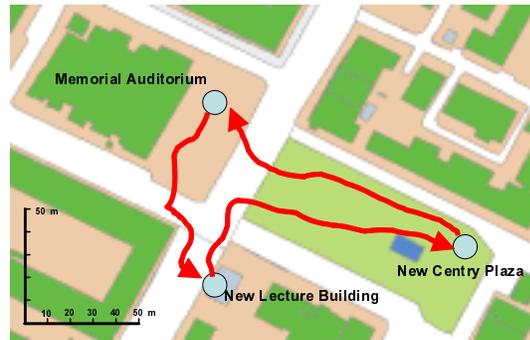


図 4 ユーザの経路



図 5 ロケーション・サービス

実験で得られたデータに対して、経路ルール適用前と適用後での認識率の結果を図 6 に示す。ただし、最初と最後のノードである New Lecture Bld. のリーダでは、その場にいる RFID タグを確実に認識できると仮定している。図 6 において、各リーダにおける RFID タグの認識率は以下の式で計算している。

$$\frac{|ID| \times 7 \text{ (sec)}}{t_{last_time} - t_{first_time} \text{ (sec)}}$$

ただし、 $|ID|$ はそのリーダにおける RFID タグの反応回数であり、 $t_{first_time} - t_{last_time}$ はその場所における滞在時間である。 t_{first_time} および t_{last_time} はそれぞれ以下の式で計算している。

$$t_{first_time} = (t_{this,first} + t_{previous,last})/2$$

$$t_{last_time} = (t_{next,first} + t_{this,last})/2$$

ただし、 $t_{this(previous/next),first(last)}$ は現在(前/次)のリーダで RFID タグを最初(最後)に認識した時間である。

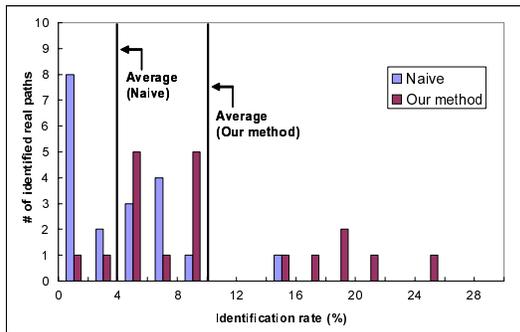


図 6 The distribution of identification rate

上記の実験結果では、各ノード間におけるユーザの移動時間、反応ミス、リーダからの UDP パケットの損失が含まれているため、認識率が非常に低くなっている。図 6 から、認識率の平均が経路ルール適用前の 3.9% に比べ、経路ルール適用後は 10.01% になっていることがわかる。経路ルール適用前の認識率から 4 章で述べた定理を用いて計算した認識率が 7.7% となることから妥当な結果であるといえる。

6. おわりに

本論文では、デジタルネーミングにおける信頼性について議論した。デジタルネーミング社会では、現実世界の情報を仮想世界に確実に取り込み、情報の信頼性を確保することが重要となる。RFID の信頼性の低さによって、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ため、デジタルネーミングにおける信頼性の問題は非常に重要な問題であると考えられる。

本論文では、デジタルネーミングにおける信頼性の問題について、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を提案し、提案手法の検証を行った。

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。今回は、グループ、経路ルール、時間ルールといった簡単なモデルの制約を利用したものである。さらに、物品の移動における最初と最後の認識が確実に成功すると仮定して、ひとつのリーダにおける認識の失敗の確率を p とすると、本手法は本手法の適用前

に比べて、認識の失敗の確率を $O(p)$ ($0 < p < 1$) から $O(p^2)$ に削減できることを示した。

今後、グループ、時間ルールを利用した場合の検証を行い、さらに他のセンサを用いてあらゆる物理制約を利用してデジタルネーミングの信頼性を向上させることを考えていく。

謝辞

本論文は、平成 15 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 年度科学研究費補助金(若手研究(B))(課題番号:15700100)によるものである。ご議論いただいた研究室諸氏に感謝します。

参考文献

- 1) M. Weiser, "Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing", *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 7, pp. 75-84, Jul. 1993.
- 2) Finkenzeller K., "RFID ハンドブック - 非接触型 IC カードの原理と応用 -", 日刊工業新聞社, 2001 年 2 月.
- 3) Sanjay E. Sarma, Stephen A. Weis, Daniel W. Engels, "Low Cost RFID and the Electronic Product Code", *Proceeding of Workshop on Cryptographic Hardware and Embedded Systems (CHES 2002)*, Aug. 2002.
- 4) 井上 創造, 安浦 寛人, "RFID タグを用いた安全で効率の良いデジタルネーミング社会について", 九州大学大学院システム情報科学紀要, Vol.7, No.2, pp. 131-137, 2002 年 9 月.
- 5) 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.
- 6) R. Want, K. P. Fishkin, A. Gujar, B. L. Harrison, "Bridging Physical and Virtual Worlds with Electronic Tags", *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '99)*, May 1999.
- 7) Checkpoint Systems, Inc., "Checkpoint Library System", <http://checkpointsystems.com/content/library/>.
- 8) Narita Airport Authority, "Narita Airport News", http://www.narita-airport.or.jp/naa_e/greenport/2001_11_12/05_airport_news.pdf.
- 9) RFID Journal, "Benetton to Tag 15 Million Items", <http://www.rfidjournal.com/article/articleprint/344/-1/1>, Mar. 2003.

- 10) Ubiquitous ID Center, “FTP: Food Traceability Project”,
<http://www.uidcenter.org/press/TEP030623-e1.pdf>,
Jun. 2003.
- 11) Harald Vogt, “Efficient Object Identification with Passive RFID Tags”, *Proceedings of International Conference on Pervasive Computing*, Aug. 2002.
- 12) 萩原 大輔, 井上 創造, 安浦 寛人, “RFID を用いたデジタルネーミング社会における信頼性の向上”, 第 14 回データ工学ワークショップ (DEWS2003), 2003 年 4 月.
- 13) Daisuke Hagiwara, Sozo Inoue, and Hiroto Yasuura, “Error Detection for the Reliable Digitally Named World with RFID Tags”, *The 6th Joint Workshop on System Development (JWSD2003)*, Apr. 2003.