

信頼性向上のための RFID 情報システムモデル

萩原, 大輔
九州大学大学院システム情報科学府

井上, 創造
九州大学システムLSI 研究センター

渡部, 貴大
九州大学工学部電気情報工学科

安浦, 寛人
九州大学システムLSI 研究センター

<https://hdl.handle.net/2324/6087>

出版情報：情報処理学会研究報告，2004-UBI-3 ユビキタスコンピューティングシステム（UBI）．2004（4），pp.55-62，2004-01．情報処理学会UBI研究会

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」に従うをお願いいたします。

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。

Modeling of 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 to $O(p^2)$ ($0 < p < 1$) from $O(p)$ of the naive approach, where p is the possibility of failure on a single reader, 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。

[†] 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

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^{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。

本稿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述べ、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 章で本稿をまとめる。

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。

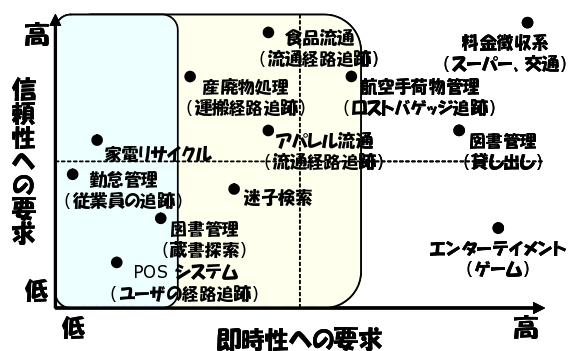


図 1 信頼性を要求されるアプリケーション

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) システムや勤怠管理のようなユーザ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適用してはいないと思われる。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、各箇所でのリーダー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、リーダーや 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。

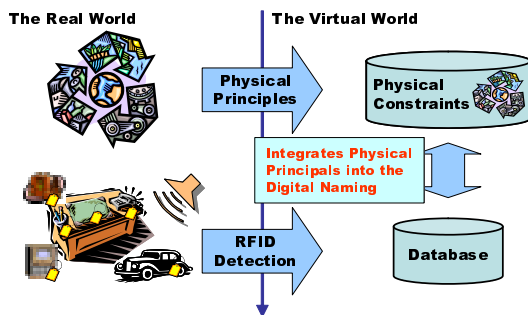


図 2 信頼性向上のためのアプローチ

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、買いも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。リーダー間の移動に掛かる時間、あるリーダーでの滞在時間の上限や下限を知っていれば、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、リーダー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）リーダー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 タグが各リーダーのそばに滞在する時間、および各リーダー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、リーダー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。

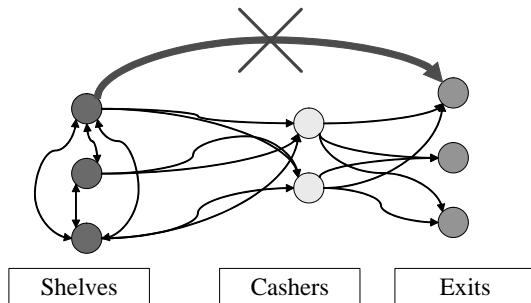


図 3 有向グラフで表現された経路規則の例

システムの動作は以下のようになる。

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 の中で受信していない $t \in G_i$ 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。
- (6) 受信した $t_{r',j}$ の時刻が時間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、 $t_{r',j}$ 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。

- 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。
- RFID タグをリーダが認識した時刻をサーバに記録していくとする。これにより、RFID タグの履歴が経路規則に違反したときに、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. 経路規則の解析

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規則に焦点を当て、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。

経路規則で用いるグラフは、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 $\langle v_1, v_2, \dots, v_n \rangle$ 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は等しいものと仮定する、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、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、 $r_{s_i} - r_{s_{i+1}}$ パスが一意に決まるといふ。

定義 2

単純連結グラフ $D(V, A)$ 、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、 $r_{s_i} - r_{s_{i+1}}$ パスが一意に決まるといふ。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、 $r_{s_i} - r_{s_{i+1}}$ パスが一意に決まらないことを、「系列 S が誤り検出不可能」といふ。

次に、「系列 S が誤り検出不可能」である場合を明確にする。

Lemma 1

Identification errors of t are undetectable for s iff at least one of the following conditions is satisfied:

- (1) **(Lost Incoming)** all nodes of a finite length of continuous sub-sequence in t starting from the first item of t , i.e., r_{b_1}, \dots, r_{b_i} ($1 \leq i < k$), are not in s ,
- (2) **(Lost Outgoing)** all nodes of a finite length of continuous sub-sequence in t terminating at the last item of t , i.e., r_{b_i}, \dots, r_{b_k} ($1 < i \leq k$), are not in s ,

- (3) **(Lost Parallel Path)** for 2 nodes r_i, r_j which has an arc $r_i r_j$ in-between, a path from r_i to r_j other than $\langle r_i, r_j \rangle$ exists in t , or,

- (4) **(Lost Loop)** for a loop in t such that $t = \langle r_{b_1}, \dots, r_{b_i}, \dots, r_{b_j}, \dots, r_{b_k} \rangle$, where $b_i = b_j$, all nodes of the sub-sequence $\langle r_{b_{i+1}}, \dots, r_{b_j} \rangle$ or $\langle r_{b_i}, \dots, r_{b_{j-1}} \rangle$ are not in s .

The proof is straightforward from the Definition 1 and 2.

For lost incoming / outgoing, we don't show algorithmic tactics, but in many of the practical situation, it is easy to ensure the identifications at the start point and endpoint of the real path, such that a supermarket can be equipped with anti-theft RFID gate with reliable wide antennas.

For lost parallel paths, we show graph transformation to avoid lost parallel paths.

Lemma 2

For nodes r_i, r_j which have the arc $r_i r_j$ and have another path from r_i to r_j , replace $r_i r_j$ with a new node r_k and two arcs $r_i r_k, r_k r_j$. Here, there are either no paths from r_i to r_k nor ones from r_k to r_j other than themselves.

Proof: Suppose there is a path from r_i to r_k other than the arc $r_i r_k$, then an incoming arc to r_k other than $r_i r_k$ exists. However, this contradicts that the number of outgoing arcs of r_k is 1. r_k to r_j is likewise. QED.

Applying the transformation for all the parallel paths, undetectability of parallel paths is eliminated. When finding parallel paths is costly, applying the transformation for all the arcs satisfies sufficient condition.

For lost loops, we show the upper bound of the possibility of undetectable errors.

Lemma 3

Suppose the identification-error possibility of a reader r is uniformly p ($0 < p < 1$). For a real path s , the possibility that an error of s is undetectable is less than $|s|p^2$.

Proof: For each loop l_i in s where s loops l_i for $o > 0$ times, l_i becomes undetectable for the possibility of less than $2p^{o|l_i|} < 2p^2$, which corresponds to looping once in the case of Lemma 1 (4). For

s with $n < |s|/2$ loops, the possibility is less than $|s|p^2$. QED.

In the naive system without utilizing Route Constraints, the possibility of identification error for s is $1 - (1-p)^{|s|}$, which is the possibility of no errors in all nodes in s . Thus, we can see that our approach reduces the upper bound of the undetectability of s from $O(p)$ of the naive way to $O(p^2)$ ($0 < p < 1$).

From Lemma 1 - 3, the following theorem is straight forwardly obtained.

Theorem

For a Route Constraint $D'(V', A')$, which is transformed from D shown in Lemma 2, a real path t and the identification sequence s where the starting (terminating) nodes are identical, i.e., $b_1 = s_1$ and $b_k = s_l$, the possibility that an error of s is undetectable is less than $|s|p^2$.

5. 簡単な実証実験による評価

我々は、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、本システムは、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提案手法を適用することで、利用者の行動のトレーサビリティを向上させることができることを示す。

実験で使用した RFID タグは、動作周波数が 300 MHz のアクティブタグで、7 秒毎に ID をリーダーに送信する。キャンパス内の 3 箇所にリーダーと表示端末を設置し、利用者に RFID タグを持たせ、図 ?? のように移動させた。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）。

Figure 6 is the result of the experience with/without our method logged at the server. An identification rate of a tag on a reader is



図 4 The Service

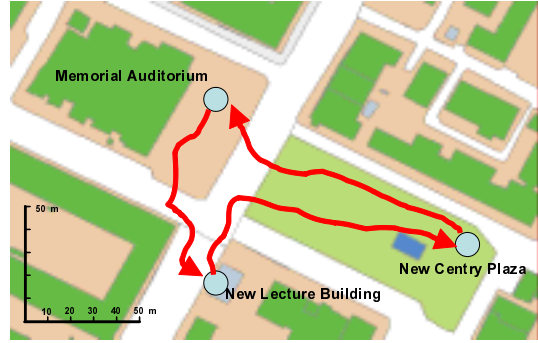


図 5 Users' route

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

where $|ID|$ is the number of identification of the tag on the reader, and

$$t_{first_time} = (t_{this,first} + t_{previous,last})/2 \text{ and} \\ t_{last_time} = (t_{next,first} + t_{this,last})/2$$

is the time of the first(last) identification of the tag on this (previous/next) reader in the real path.

We can see that this rate become quite low since it includes the blank time users move between readers, identification errors, and UDP packet loss from the reader. The figure shows that, applying our method, the average identification rate became 10.01% from 3.9% of the naive approach, which is reasonably close to 7.7% conducted from Theorem 1 and the naive value.

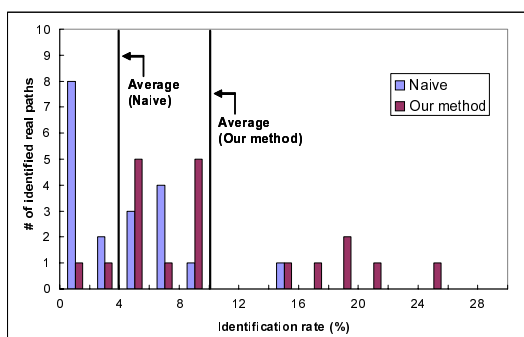


図 6 The distribution of identification rate

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。

謝辞

本論文は、平成 年度 費 () 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.