九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

RFIDを用いたディジタルネーミング社会における信頼性の向上

萩原, 大輔
九州大学大学院システム情報科学府

井上, 創造
九州大学大学院システム情報科学研究院

安浦, 寛人
九州大学システムLSI 研究センター

https://hdl.handle.net/2324/6033

出版情報：SLRC 論文データベース, 2003-03
バージョン：
権利関係：

RFID を用いたディジタルネーミング社会における信頼性の向上

萩原 大輔† 井上 創造††,††† 安浦 寛人††,†††

† 九州大学 大学院システム情報科学府
†† 九州大学 大学院システム情報科学研究院
††† 九州大学 システム LSI 研究センター

あらまし 本研究では，RFID (Radio Frequency IDentification) を用いた情報システムの信頼性を向上させる方法を検討する．RFID とは，無線通信が可能な小型 IC を用いて物品の識別をする技術である．RFID を用いて現実世界の物品を識別可能にすることをディジタルネーミングとよぶ．販売業や流通業では，実際に RFID を用いた物品管理を実施し始めていて，ディジタルネーミングが現実に浸透しつつあるといえる．ディジタルネーミングでは，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．しかし，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．本論文ではこの信頼性の問題について，リーダおよび計算機ネットワークを用いることで，RFID の認識の確実性を向上させ，システムの一貫性を保つ方法について議論する．

キーワード RFID，ディジタルネーミング，ユビキタスコンピューティング，信頼性

Reliability of the RFID System in the Digitally Named World

Daisuke HAGIWARA†, Sozo INOUE††,†††, and Hiroto YASUURA††,†††

† Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
†† Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
††† System LSI Research Center, Kyushu University

Abstract We discuss Reliability in the 'Digitally Named World', which is the environment in which 'Radio Frequency ID's (RFIDs) are attached to any goods and any object in the real world, can be found by the readers of the RFIDs and the networked database system. In distribution industry, the Digitally Named World is launching into the real world, such as the product management system using RFIDs. In the stage of deploying the Digitally Named World, Reliability becomes the crucial issues, because of the unreliable nature of RF communication and human interventions to the operations. Especially, there exists an inaccurate conversion between the real world and the virtual world which models the real world using RFIDs. Error detection and correction of the inaccurate conversion becomes more important as the Digitally Named World is deployed to critical domains. In this paper, We propose the systematic approach, which detects the events which affects the reliability as soon as possible, to establish the reliability of the Digitally Named World.

Key words RFID, Digital naming, Ubiquitous computing, Reliablity

1. はじめに

近年，情報技術およびシステム LSI 技術が急速に進歩したことで，計算機資源を従来では考えられなかったようなさまざまな場所で利用できるようになってきている．高度な動画像処理やプログラム実行が可能な携帯電話は一つの例である．

携帯電話のように，従来は特定の建築物の中の特定の場所に固定されていた計算機資源が，人間が生活する環境へ浸透してきている．この現実世界への浸透が社会的な規律や慣習とどのように融和していくかを議論することは,「計算機上で実現される仮想の世界」ではなく,「計算機がいたるところに浸透した現実の世界」を設計するという意味で非常に重要である．情報技術が浸透した現在，金融や医療の分野における情報技術の問題がそのまま現実の社会の事件や問題に直結することが少なくない．つまり，ユビキタスコンピューティング [1] の思想である「いつでもどこでも何でもできる」という考え方だけで情報技術が進歩するのは危険であり,「その状況で何をすべきなのか，何をしてはいけないのか」という考え方への転換が必要である．

我々は，RFID (Radio Frequency IDentification) 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．RFID

とは，無線通信が可能な小型 IC を用いて物品の識別をする技術である．RFID を読み取る外部の機器をリーダとよぶ．そして，RFID を用いて現実世界の物品を識別可能にすることを「ディジタルネーミング」とよぶ [2], [3]．販売業や流通業では，実際に RFID を用いた物品管理が導入され始めている．また文献 [4], [5] からも，ディジタルネーミングが現実に浸透しつつあるといえる．

本研究では，RFID により物品が識別可能になったディジタルネーミング社会において，RFID を用いて現実世界と仮想世界を確実に結びつけ，RFID を用いた情報システム（以下，RFID システム）の信頼性を向上させる方法を検討する．ディ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．現実世界と仮想世界との結びつきが確実なものでなければ，在庫管理している物品の情報が現実世界と仮想世界で食い違いが生じ，結局手作業で在庫管理の情報を修正するといった余計な手間を増やしてしまう．また，購入していない商品を購入したことにされていたり，販売している商品を盗まれたことに気づかないといったことに発展する可能性もある．こういったことが起こると，ディジタルネーミングを実現するメリットが失われてしまう．

しかし，RFID は無線通信によって実現される技術であり，電波の到達距離の制限や電波の干渉のために，確実なデータ通信を行うことが容易ではない [6]．RFID システムの応用における信頼性の問題について，RFID を用いてスーパーマーケットで商品の管理を行う場合を例に考える（図 1）．商品に付けられた RFID を，レジに置かれているリーダで読み取ることで，利用者はレジの前に並んだりすることなく，複数の商品の一括精算することができる．このとき，電波の干渉によってリーダがいくつかの RFID の認識に失敗すると，精算を済まさずに商品を持ち帰られてしまう．仮に認識の失敗が分かったとしても，もう一度精算し直す手間が掛かってしまう．また，利用者が RFID を故意に認識させなかったりすることも考えられる．つまり，万引きによって損害を受ける．認識の失敗や人為的な違反によって，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なる．

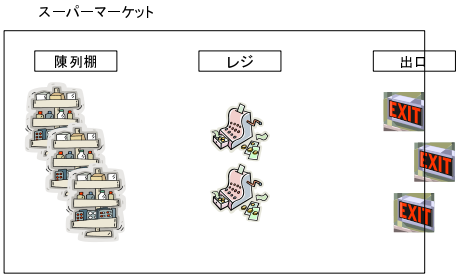

図 1　想定するスーパーマーケット

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．仮に認識の失敗や人為的な違反が起こっても，システム全体でそれを確実に検知し，修正することでシステムの信頼性を確保するが重要になる．本論文では，RFID システムにおける信頼性の問題について，複数のリーダおよび計算機ネットワークを用いることで，システム全体で RFID の認識の確実性を向上させ，システムの一貫性を保つ方法について議論する．

本稿の構成は以下の通りである．2 章で RFID システムの基本的な構造と応用を述べる．3 章で RFID システムの応用における信頼性の問題点を述べ，その問題を解決するひとつの方法を提案する．4 章でディ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基盤システムについて説明する．最後に 5 章で本稿をまとめる．

2.　RFID システムとその応用

RFID とは，無線通信が可能な小型 IC を用いて物品の識別をするための技術である．本章では，ディジタルネーミングを実現する RFID システムについて，その構造と応用を述べる．

2.1　RFID システムの構造

図 2 のように RFID システムは，物品の情報が記憶された小型 IC である RF (Radio-Frequency) タグとその読み取り／書き込み装置であるリーダで構成される [7]．

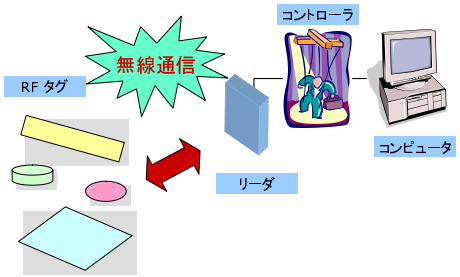

図 2　RFID システム

RFID システムは，RF タグに格納されている情報を，リーダからの電磁誘導によって非接触で読み取り／書き込みするシステムである．RF タグは，リーダからの電磁誘導により供給される電力を用いて，電源なしで動作する．リーダは RF タグに電力を供給し，RF タグに格納されている情報との通信を行う．

RF タグとリーダの基本的な構成を図 3 に示す．RF タグは，無線通信を行う RF 回路，計算を行う論理回路，読み出し専用メモリ (ROM) あるいは書き込み可能メモリ (RAM)，およびアンテナから構成される．リーダは RF 回路および制御装置から構成される．RF 回路は送信機と受信機からなる．

2.2　RFID システムの応用

RFID システムの応用は，主に RF タグのメモリに識別子，つまりその物品を識別するために与えられる唯一の値を記憶させ，大量にある物品を効率よく管理するために用いられている．

航空会社では，航空手荷物に RF タグを取り付けることによって管理システムと連携し，手荷物管理の効率化を図ってい

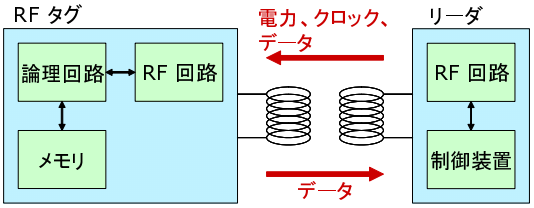

図 3　RF タグとリーダの基本構成

る．また，手荷物の仕分けのコスト削減，手荷物の紛失防止やセキュリティの向上が効果として挙げられる．現在，航空手荷物にはバーコードのタグが取り付けられ，手荷物の管理や自動仕分けに利用されている．しかし，バーコードの認識率は世界的には 70 % 程度といわれて，結果として手荷物の誤った仕分けや紛失が発生する．その理由として，タグの大きさや形状が異なる，タグの取り付け位置が一定ではない，タグが折れたり汚れたりすると認識することができないといった点が挙げられる．一方，RF タグを取り付けることで，無線通信で情報を読み取ることが可能になり，手荷物の誤った仕分けや紛失を防ぐことが可能になる．実際に，成田空港などで RFID を用いた航空手荷物管理システムの実証実験が行われ，認識率は 99 % 以上と報告されている [8]．また，手荷物をチェックインした日時や場所，手荷物の重量を RF タグに書き込むことで，手荷物の中身やそのものをどこかで盗まれてないかどうかを確認することができ，セキュリティを向上させることも可能となる．

流通の分野では，商品に RF タグを取り付けることによって生産，物流，在庫，販売管理システムと連携し，流通の効率化を図っている．物品の生産，物流，在庫の工程では，RF タグが取り付けられた複数の部品や製品を，梱包した状態でリーダのゲートを通過させ，内容物の情報や在庫の情報を同時に認識させる．これによって，同じラインを流れる多品種の物品を一括管理することが可能になる．販売時には，RF タグが取り付けられた複数の商品をかごやカートに乗せたまま，リーダのゲートを通過させ，商品の情報を同時に認識させることで，多くの商品の精算を一括で行うことができる [9]．例えば，レジで従業員が商品をひとつひとつ手にとってバーコードリーダにかざすという手間が必要なくなる．

このように，RFID システムの応用では，無線通信を利用して，現実の世界の多様な形状，また一見では区別できないような物品に対する識別を提供することにより，効率的なサービスや，盗難防止のようなセキュリティを実現することができる．

3.　RFID システムの応用における信頼性

2.2 節で述べたように，実際に RFID を用いた物品管理が導入され始めていて，ディジタルネーミングが現実に浸透しつつあるといえる．ディ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，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が考えられる．認識の失敗や人為的な違反によって，現実世界の情報を，正確に仮想世界の情報に対応づけることが困難になるといった問題が発生する．

ディジタルネーミングを社会に浸透させるためには，仮に認識の失敗や人為的な違反が起こっても，それを確実に検知し，修正することでシステムの信頼性を確保することが重要になる．本章では，RFID の応用における信頼性の問題を明らかにし，その問題を解決するための基本概念について述べる．

RFID システムの応用における信頼性の問題は，大きく分けて以下の 2 点に分類できる．

- ひとつは，リーダが RFID の認識に失敗することで発生する問題である．認識の失敗の原因には，RF タグとリーダとの距離，RF タグの設置場所や方向，RF タグやリーダの移動速度，および RF タグ同士やリーダ同士のコリジョンが挙げられる．スーパーマーケットの例では，買いものかごの中にある複数の商品のうちのいくつかを認識できない場合，現実世界の情報と販売管理システムでの情報が誤って結びつけられ，現実世界の情報と仮想世界の情報とに矛盾が生じる．結果として，売り上げの計算や商品の数が現実と食い違った状態になり，大きな損害となる．
- もうひとつは，利用者が意図的に RFID を認識させないことで発生する問題である．スーパーマーケットの例では，利用者がレジを通らずに出口から出て行ったり，電波を通さない手荷物に商品を隠したりして万引きをすることで，現実世界の情報を仮想世界に正確に取り込むことができなくなる．結果として，上と同様に大きな損害となる．

上記の問題は無線通信の性質から発生するため，単純にリーダにおける認識の確実性を上げるだけで，問題を解決することは難しい．リーダの性能は変わらなくてもシステム全体で工夫をすることで，システムの信頼性を向上させる必要がある．

我々は，ディジタルネーミング社会における信頼性を確保するために，RFID の認識の失敗や人為的な違反をリアルタイムに検出する方法を提案する．エラーの検出は，ディジタルネーミング社会における信頼性を維持するための第一歩であり，検出されたエラーに対して正しい処理を施し，信頼性を回復させる足掛かりとなる．さらに，万引きされた商品は取り戻すことができないように，現実世界で起きた出来事を元に戻すことはできないため，より高精度なエラー検出が求められる．

我々が提案する，ディジタルネーミング社会における信頼性を確保するためのアプローチは，以下の 2 つの概念を基本としている．

1. 現実世界の複数の物品，つまり，買いものかごの中の複数の商品のように同様に動く物品を，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物品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．例えば，かごの中にある商品のうちひとつでもリーダが認識すれば，仮にかごの中の他の商品をリーダが認識できなくても，システムはかごの中の全ての商品を認識したと仮定することがで

きる．

2. 現実世界の物品には，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って精算されてから，出口を通る．ディジタルネーミング社会では，エラーを検出するために物品の経路ルールを用いる．リーダの認識した物品の経路の記録が経路ルールに矛盾している場合は，何らかのエラーが生じていると仮定することができる．例えば，ある商品がレジで認識されずに出口で認識された場合は，レジのリーダがその商品の認識に失敗したか，万引きのどちらかである．

我々のアプローチの基本概念は，現実世界におけるいくつかの制約を，仮想世界に対して利用することである．さらに，物品の重量，画像情報，センサデータといった現実世界の情報を効果的に仮想世界に組み込むことで，上記のアプローチを一般化することができる．

4. FRED：ディジタルネーミング社会の信頼性向上のための基盤システム

本章では，3 章で述べたアプローチを用いた，ディ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基盤システム (*FRED : Fundamental system for REliable Digital naming*) について説明する．FRED は，現在開発途中である．

ここでは，前述の図 1 のようなスーパーマーケットを想定する．商品の陳列棚，レジ，出口にリーダが設置されていると仮定する．また，商品と人に RFID が与えられているとする．リーダのそばにそれぞれ端末があり，そばにあるリーダを制御する．端末はネットワークにつながっていて，商品のデータベースをもつサーバに，リーダが読み取った情報を送信する．利用者は，与えられた RFID を用いることで，レジの前に並んだり，商品の精算を待ったりすることなく買い物をすることができる．

4.1 システムの構成

実現する基盤システム FRED は，リーダを制御する端末と，商品のデータベースをもつサーバによって構成される（図 4 参照）．

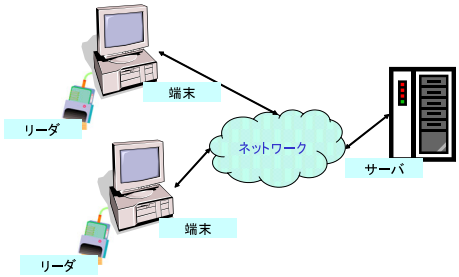

図 4　FRED の構成

図 1 のスーパーマーケットにおける基盤システム FRED は，以下の基本概念によって動作する．

- 陳列棚，レジ，出口をノードとし，それらの間の通過可能な経路を枝とする有向グラフを，RF タグの経路ルールとしてサーバに登録しておく（図 5 参照）．
- リーダが複数の RFID を同時に認識したときには，サーバは認識された複数の RFID をまとめてグループとして登録する．例えば，$G_i = \{$ 商品 4, 商品 10, 利用者 43$\}$ といった形で登録する．ただし，i はグループ番号を表す．

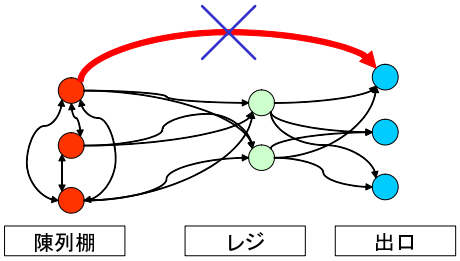

図 5　経路ルールの有向グラフ

4.2 システムの動作

端末は，そばにあるリーダの番号とそのリーダが認識した RFID をサーバに送信するのみである．

サーバは，以下の動作を行う．

- 端末から送信された RFID のすべてが，登録されているどのグループにも含まれない場合，端末から送信された RFID を新たなグループとして登録する．
- 端末から送信された RFID の中でひとつでも，登録されているグループの中のあるグループに含まれる場合，そのグループを更新する．つまり，端末から送信された RFID の中で，そのグループの要素でない RFID を要素に加える．
- 陳列棚から商品を取ってから，もう一度陳列棚に戻すようなときには，一度登録されたグループの要素をグループから削除する．
- グループの要素がすべて精算された場合は，グループを削除する．
- 経路ルールに違反した場合，何らかの例外が生じていることを各端末に知らせる．

4.3 システムの効果

この基盤システム FRED によって，以下のようにディジタルネーミングの信頼性を向上させることが可能になる．

- 各リーダが認識した RFID のうちひとつでも，サーバに登録されているグループの中のあるグループの要素があれば，そのグループ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 $G_i = \{$ 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，レジのリーダに利用者 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と考えられる．この場合，商品 4 だけでなく商品 10 も精算されるようにすることが可能である．
- RFID をどのリーダが認識したかの履歴をサーバに保存し

ていくとする．これにより，各 RFID 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．例えば，陳列棚のリーダで認識された商品が，レジで認識されずに出口で認識されると，万引きされた可能性があることが検知できる．

さらに上記の両方を複合した形も考えられる．陳列棚のリーダで認識された複数の商品が，グループとしてサーバに登録されている時に，そのグループの中のひとつでも出口で認識されたとしたら，そのグループに登録されているすべての商品が万引きされた可能性があることが検知できる．

5. おわりに

本論文では，RFID システムの応用における信頼性を確保する上で，リーダの故障，認識の失敗による問題や経路ルールの違反による問題があることを示した．こ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，複数のリーダおよび計算機ネットワークを用いて，認識した RFID をグループ化する，および経路ルールを有向グラフとすることで，RFID の認識の確実性を向上させ，システムの一貫性を保つ方法について説明した．

今後の課題として，現在開発中の，ディジタルネーミングの信頼性を向上させるための基盤システム FRED を実現し，実証実験する必要がある．またスーパーマーケットだけではなく，他の応用例についても考えていく必要がある．例えば，航空手荷物管理，アパレル流通管理，またイベントや会議における入退室管理のような応用にも利用できるように考えている．

文　献

[1] M. Weiser, “Some computer science issues in ubiquitous computing”, Communications of the ACM, Vol.36, No.7, pp. 74-85, Jul. 1993.

[2] 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.

[3] 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.

[4] Shin’ichi Konomi, “*QueryLens*: Beyond ID-based Information Access”, *Proceedings of 4th International Conference Ubiquitous Computing (Ubicomp 2002)*, Oct. 2002.

[5] Shin’ichi Konomi, “Snap-On Filters for Mobile Information Appliances”, *Proceedings of 5th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction (APACHI 2002)* , Nov. 2002.

[6] Harald Vogt, “Efficient Object Identification with Passive RFID Tags”, *Proceedings of International Conference on Pervasive Computing*, Aug. 2002.

[7] 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.

[8] 国土交通省, “「RFID 技術応用による航空手荷物管理システムに関する調査研究報告書」について”, http://www.narita-airport.or.jp/naa/airport/greenport/2001_11_12/06_news.pdf, 2002 年 4 月.

[9] 石川 俊治, “IC タグ (RFID) と Auto-ID Center 活動”, 第 *3* 回 *21* 世紀のマイクロエレクトロニクスセミナー 「ユビキタスネットワーク社会実現のためのキー・テクノロジー」, 2002 年 11 月.