

## アクティブ型タグにおける適応的な電力制御機構

谷 清人<sup>†</sup>

Gaute Lambertsen<sup>†</sup>

西尾 信彦<sup>§</sup>

kiyo@ubi.cs.ritsumeai.ac.jp gaute@ubi.cs.ritsumeai.ac.jp nishio@cs.ritsumeai.ac.jp

### 概要

ユビキタス社会では、屋内/屋外に複数のサービスが存在するため、ヒトがすべてのサービスを認識することが困難になると予想される。そこで、我々はアクティブ型タグとリーダ機能の両方を備えたインタラクティブ型タグの研究開発を行ない、偏在するサービスとヒト間のセキュアなID交換をヒトに意識させずに非接触で行なうことを可能にする。また、認証・暗号化機構、位置関係取得手法、省電力機構の導入によって、インタラクティブ型タグはヒトが安心してタグデバイスを携行できるようになる。そこで、インタラクティブ型タグの開発基盤技術として挙げられる位置関係取得手法と省電力機構を適応的な電力制御によって実現し、超小型センサデバイス”Smart-Its”を用いてインタラクティブ型タグのプロトタイプ実装を行なった。

## Adaptive Power Control Mechanism for Active-Tag

Kiyoto Tani<sup>†</sup> Gaute Lambertsen<sup>†</sup> Nobuhiko Nishio<sup>§</sup>

### ABSTRACT

In the ubiquitous computing society there will be a large number of services available, both indoor and outdoor, and it will not be feasible for human users to keep track of all these services. We are currently developing an interactive tag for discovery and negotiation of services that is equipped with both active tag and reader functionality. By introducing facilities for authorization and encryption, positional information processing, and power saving, it is possible to exchange IDs between tags without any physical contact, and without human interaction in a secure fashion. These interactive tags will allow people to carry with them tag devices without any concern for their security and privacy. We have implemented a part of the above mentioned positional information processing and power saving facilities that are necessary components for the development of the interactive tag, using adaptive power control, and constructed a prototype of the interactive tag using the "Smart-Its" miniature sensing device platform.

### 1. はじめに

近年、ユビキタス社会の実現に向けてさまざまな研究が行なわれている。ユビキタス社会は、さまざまモノが現在のパソコン以上にさまざまな情報や計算能力を提供する社会であり、コンピュータに対してヒトが行動を起こすのではなく、ヒトの行動に従ってコンピュータがサービスを提供する社会である。

現在、サービスのほとんどが屋内に存在しているが、ユビキタス社会において、屋外にも多様なサービスが多数存在していると考えている。このような環境では、ヒトが屋内/屋外に多数存在するさまざまなサービスを発見して利用することは困難になると予想される。そこで、我々はヒトがサービスを発見するのではなく、

ヒトとサービスにタギングされている(取り付けられている)タグ間の通信によって、ヒトの持つタグが周囲のサービスを発見するタグの構築を行なっている。そして、ヒトの周囲に存在するサービスの認識を行なうためのタグとして、無線ICタグに注目した。

無線ICタグとは、タグ自身に識別コード等のデータを保存することができ、無線通信を使用して離れたリーダ/ライタと情報のやりとりを行なう能力を持つ。このような特徴から、バーコードに代わる商品識別や管理技術等のIT化や自動化を推進する基盤技術として研究が進められている。一方で、無線ICタグをモノだけでなくヒトにタギングすることにより、ヒトの生活を支援する環境を構築することが考えられている。

モノへのタギングを想定して作られている無線ICタグは多数存在し、ヒトにタギングするシステムの研究も行なわれている。現在、商用化されている無線ICタグのほとんどはパッシブ型タグである。パッシブ型タグは電源を持たないため、通信距離は最大2m程度である。利用例として、FeliCa技術を用いた

<sup>†</sup>立命館大学理工学部情報学科

<sup>†</sup>Department of Computer Science, Ritsumeikan University

<sup>‡</sup>科学技術振興機構

<sup>§</sup>PRESTO 21: Intelligent Cooperation and Control, Japan Science and Technology Agency (JST)

<sup>§</sup>立命館大学情報理工学部

<sup>§</sup>Department of Computer Science, Ritsumeikan University

ICOCA/SUICA 等、ヒトへのタギングを想定したタグも実現してきている。しかし、これらのタグは、通信距離やタグとリーダ間の向き等に問題があるため、サービスを利用するには、リーダの読取可能な角度でヒトがタグをリーダに近づけることが必要となる。我々の想定しているユビキタス社会では、ヒトがサービスの位置を特定することが困難であるため、タグとリーダの向きや距離が重要な問題となる。そこで、我々は、アクティブ型タグに注目した。アクティブ型タグは、電源を内蔵しているため、向きに関係なく十数 m 離れた相手との通信を可能にする。アクティブ型タグを用いることにより、ヒトは意識せずに十数 m 離れたサービスを利用することが可能となる。

今回、我々が提案するアクティブ型タグは、アクティブなタグとタグのリーダ機能を持ち、双方向通信が可能なインタラクティブ型タグ (以下、iTag と略す) であり、電波出力制御により、通信距離を変化させることが可能なタグである (図 1)。

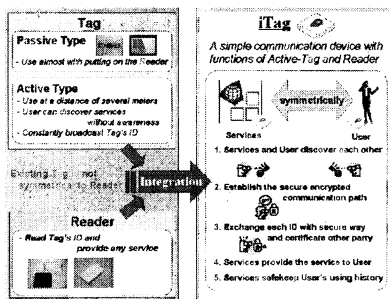


図 1: iTag

ユビキタス社会において、屋内/屋外に存在している多様なサービスをヒトがすべて理解するのではなく、ヒトにタギングされている iTag が自律的にヒトの要求に合ったサービスを選択して利用することが可能な環境を想定している。ヒトがサービスを利用する場合、サービスの利用範囲を限定したり、サービスの種類を限定したり、ヒトが望む範囲内に望むサービスが存在するかを指定することにより、ヒトの意図した範囲に自身の望むサービスが存在するか否かを知ることができる。そのために、サービスとヒトとの位置情報を取得するための機構が必要となる。

現在、屋外における位置測位手法として GPS[11] が挙げられる。GPS は、歩行者や車に対してのナビゲーションシステムなどに利用されている。また、屋内では無線 LAN の電波強度を利用した測位方法 [12] の研究が行なわれている。これらの研究は測位可能なデバイスを所持しているヒトの絶対的な位置情報の取得が目的である。しかし、我々は屋内/屋外に存在するサービスとヒト間の相対的な位置関係の取得を行なう。相対的な位置関係の測定には、電波出力制御機構を利用して研究を進めていく。また、適応的に電波出力制御を行なうことにより、iTag の省電力につながると考えている。そして、ヒトがサービスと通信を行なう際に、ヒトのプロパティ情報を利用するため、プライバシーの

保護が重要になる。

本研究の目的は、ヒトが持つ iTag がサービスとセキュアに通信を行ない、自身が望むサービスを発見して利用することを可能にする。ヒトがサービスを受け取る際に、ヒトとサービス間の距離は、ヒトにとって重要な情報となる。ヒトの望むサービスが遠くに存在する場合、ヒトにとってサービスの存在する場所や移動時間はサービスの価値に影響することが考えられる。そのため、ヒトとサービスの位置関係を知る手段が必要となる。これらの目的から、本稿では、適応的な電力制御機構を用いた位置関係取得手法と省電力機構について述べる。

以下、本論文では、2 章で提案する iTag の想定環境とアプリケーションシナリオについて述べ、3 章で iTag の開発における技術構成の概要を説明する。次に、4 章では、iTag 同士が位置関係を取得するための機能設計について述べ、5 章で位置関係を取得するために必要となる電波出力強度制御を行なったパケットの通信距離とパケットロス率の関係を明らかにする。6 章で省電力について述べ、7 章で関連研究について述べる。最後に、第 8 章でまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 想定環境とアプリケーションシナリオ

ユビキタス社会においては、屋内/屋外には多種多様なサービスが存在すると予想され、それら全てのサービスをヒトが認識するのは困難になる。そこで、我々は、ヒトにタギングされた iTag が周囲に存在するサービスを認識し、サービスとの向きを意識することなくヒトが要求するサービスの検出を可能にすることを目的としている。また、サービスが多数存在する環境では、サービスの種類だけでなく、ヒトとサービスとの位置関係もヒトがサービスを受ける上で重要である。サービスとの距離を取得することにより、ヒトはサービスを利用するかを選択したり、指定した距離内に存在するサービスを検索したり、望むサービスが望む距離内に存在するかなどの検索を行なうことが可能となる。ヒトが利用するサービスの価値は、ヒトとサービスの位置関係により変化する。そのため、ヒトとサービス間の位置関係を知る手段が必要になる。

iTag はヒトとサービスの双方を認証し合い、互いの ID を暗号化された通信で交換する機能を提案し、ヒトへのタギング情報を活用することを可能とする。ヒトとサービスは、自身の情報を送信するためのタグ機能と、情報を受信するためのリーダ機能を持つ。これにより、ヒトとサービス間の双方向通信が可能となる。また、双方向通信を行なうことによって、ヒトが望むサービスと ID の交換を行なうことが可能となる。今回提案する iTag は、他の高機能通信デバイスに装着してサービスとヒト間の認証、位置関係の取得、プロパティ交換を行なう。そして、ヒトがサービスを利用する際は、他の高機能通信デバイスを用いることでヒトにサービスを提供する。

具体的に、街中における防犯システム、店舗案内、観光案内に代表されるナビゲートシステム、広告配信等のサービスが挙げられる。ヒトが望むサービスはそれぞれ異なるため、iTag を用いてヒトが利用したいサービスの選択を行なう。ヒトは利用したいサービスに対して認証を行ない、サービスを利用するための ID

を取得する。そのため、ヒトは自身の ID 以外に利用したいサービスのサービス ID を所持している。それぞれのサービスによってサービス ID が異なるため、サービスはヒトが所持しているサービス ID を確認し、そのサービスを利用するためのサービス ID を所持しているヒトにだけサービスを提供する。ヒトとサービス間の認証は、宣伝広告を配信するためのシステムでは必要ないが、観光案内システムや防犯カメラシステム等では、利用者を特定するため、ID の認証が必要となる。

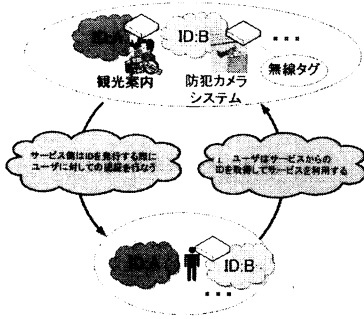


図 2: ID の取得

ヒトは利用したいサービスに対してリクエストパケットを送信する。しかし、ヒトが利用するアプリケーションによって、リクエストパケットの通信距離や送信周期が異なる。リクエストパケットの送信周期は、ナビゲーションサービスのようにパケットを送信し続ける必要がある場合と、防犯カメラシステム(図 3)のようにカメラの前を通過した時だけリクエストパケットを送信する場合と異なる。また、広告配信システムにおいて、ヒトは電波出力制御機構を利用することで電波出力制御されたサービスからの広告パケットを受信することで、サービスとの位置関係を取得することが可能となる。

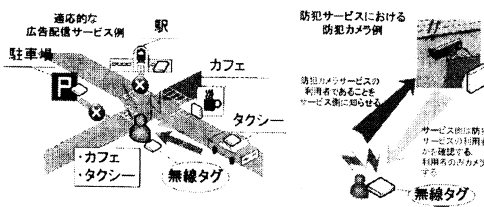


図 3: アプリケーション例

ヒトにタギングされた iTag は利用するサービスによって、適応的なリクエストパケット送信周期機能があると送信するリクエストパケット数が適切な周期になり、電力消費を低下させることができる。また、ヒトとサービス間の位置関係を取得することで適応的な電波出力強度での通信が可能となる。適応的なリクエストパケットの送信周期や電波出力制御は、iTag の消費電力を抑え、省電力を実現する。

### 3. iTag 開発における技術構成

iTag の実現により、サービスが多数存在している環境では、サービスとヒト間の相対的な位置関係はサービスを利用する上で必要となる。また、非接触にサービスを利用するためにはヒトとサービス間における認証が必要となる。そのため、暗号化機構が必要となる。また、iTag はヒトが持ち歩くため、省電力が必要となる。そこで、本章では提案する iTag 開発における技術構成として、位置情報処理機構、省電力機構、認証・暗号化機構について述べる。

**位置情報処理機構** iTag が自位置の測位をする機能であり、測位手法を選択的に適応できる機構を考慮している。移動しないサービスなどにタグ付けされたものや GPS を有する高機能なもの、またそれらをランドマークとする SOM(自己組織化マップ)方式で利用するものなどを考慮している。また iTag 位置の情報配信についてはプライバシー保護を考慮したセキュア通信を適用する。

**省電力機構** iTag はアクティブ型タグであるため、電力消費の主な要因は、データ転送である [5]。また、iTag は認証・暗号化機構や位置関係取得手法があり、従来の RFID タグより高機能であるため、電力の消費が激しい。このことから省電力機構が必要となる。省電力機構は、ヒトが利用するサービスや通信距離に応じて、iTag の電波出力の制御やパケットの送信周期の調整を行ない消費電力を抑える。

**認証・暗号化機構** 認証・暗号化機構は、ヒトがサービスを利用する時に、互いに認証し合い、セキュアな双方向通信を実現するための機構である。認証機構では、iTag の実装スケールに合わせた単純な challenge-response 認証と、AES 暗号化を用いたより高度な TTP(信頼できる第三者)などを利用することを考えている。

上記に示した 3 つの基盤技術の内、本稿では位置情報処理機構に着目し、電力制御を利用したヒトとサービス間の位置関係取得手法について述べる。また電波出力強度やパケットの送信周期を適応的に調整することにより、省電力機構も実現する。位置関係取得技術は、受け取ったパケットの電波強度を用いて iTag 同士の位置関係を取得する。具体的には、サービスから送出されたパケットに電波強度値を追加し、電波強度と通信可能範囲の関係からサービスとの位置関係を取得する。例えば、電波強度の電波出力を制御し、サービスとの通信範囲を限定することで、その通信可能な範囲内に存在するサービスの情報を取得できる。また自身のコンテキストによってサービスを限定し、そのサービスとヒトとの位置関係を知ることができる。このように適応的な電力制御を利用することで、ヒトは意図した範囲に存在する、自身のコンテキストと一致したサービスの有無を知ることができる。また電波出力を適応的に調整し、電波出力時の浪費を防ぐことにより、電力消費問題への解決にもなる。

### 4. 位置関係取得手法の設計

ヒトがサービスを利用する際に、ヒトとサービスとの位置関係は、サービスの価値に影響を与える。そこ

で、ヒトとサービス間の位置関係を取得することにより、ヒトの望む範囲でサービスを発見して利用することが可能となる。発見とは、サービスから送信される広告パケットを受信することでヒトが周囲に存在するサービスを知ることが可能となる。広告パケットにはサービスのプロパティ情報がある。

位置関係の取得には、パケットに送信時の電波強度を追加し、異なる電波強度のパケットを送信する。そして、受信したパケットから電波強度を取得する。取得した電波強度の値と通信距離との関係からお互いの位置関係を取得する。このことから、位置関係の取得には、電波出力制御されたパケットの通信範囲を iTag が把握している必要がある。本章では、iTag が適応的な電力制御が行なえることを前提とし、電波出力制御を利用した位置関係取得手法について述べる。

iTag は、ヒトとサービスがアクティブなタグとタグのリーダ機能を併せ持ち、ヒトとサービス間の双方向通信を可能とする。双方向通信を行なうことにより、ヒトは望むサービスを発見することができる。ヒトとサービスが持つ iTag は同じ性能のタグであるが、サービス側に取り付けられる iTag は移動せず、電源から電力を供給する。サービス側の iTag が通信における電力消費の負荷を負うことで、ヒトの持つ iTag の電力消費を抑える。サービスは、ヒトにサービスの存在を知らせる広告パケットを送信する。ヒトが持つ iTag は、広告パケットを受信するとサービスリストにそのサービスを登録し、ヒトが望むサービスであるか否かを判断する。また、サービスからの広告パケットを受信することで、サービスとの位置関係を取得し、ヒトが所持する iTag のサービスリストにサービスの情報を登録する。ヒトがサービスを利用する場合、ヒトとサービス間の位置関係がヒトにとってサービスの価値に影響を与える場合がある。そのため、ヒトとサービス間の位置関係を取得することで、ヒトが要求しているサービスが利用価値のある場所に存在しているかを確認することが可能となる。また、位置関係を取得することにより、ヒトは周囲に点在するサービスを発見するための範囲の限定や、利用したいサービスの限定、また利用したいサービスが特定範囲内にあるか否かを検索することが可能となる。そのため、ヒトとサービス間の位置関係が重要になる。

iTag 同士の位置関係を取得するために、双方向通信と電力制御機構を用いる。位置関係を取得するために、電波出力制御パケットを利用する。電波出力制御パケットとは、パケット送信時の電波強度を変化させたパケットである。電波強度が弱いと送信パケットの通信距離が短くなり、電波強度が強いと通信距離は長くなる。電波出力制御パケットは、パケット送信時に使用した電波強度値を保持している。通信相手から送信された電波出力制御パケットの電波強度値を用い、iTag 間の位置関係を判断する。

パケットに電波強度値を追加して送信することで、通信相手の電波強度を取得することができる。サービスからの電波出力制御パケットを受信したヒトは、利用したいサービスに対してリクエストパケットを送信する。リクエストパケットの電波強度は段階的に分ける。ヒトからサービスに対してリクエストパケットを送信する際に、ヒトは利用したいサービスに対してリクエストパケットを電波強度の弱いパケットから送信

する。送信したリクエストパケットに対するリプライがない場合、電波強度を強くしてリクエストパケットを送信する。図 4 には、ヒトがサービスに対して送信するリクエストパケットの様子を示す。

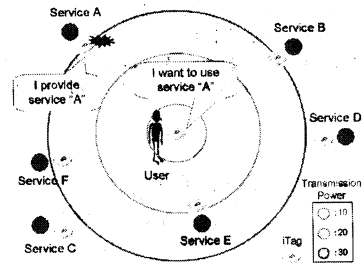


図 4: サービスの発見

サービスはヒトの持つ iTag が送信したリクエストパケットを受信すると、受信した時の電波強度の値とその電波強度値より強い 2 つのリプライパケットをヒトへ送信する。これは、ヒトが移動してサービスから離れた場合に、サービスがヒトからのリクエストパケットを受信した時の電波強度値で返信しても、ヒトまで届かない可能性があるからである。ヒトは、サービスからのリプライパケットを受信するとサービスを利用するための認証を開始する。認証の終了後にサービスと通信を行なう。ヒトは、サービスからのリプライパケットの電波強度値を元にサービスとの距離を確認する(図 9, 図 10 参照)。ヒトとサービス間の通信が途切れた場合、サービス側は、通信範囲を拡大するために、電波強度を上げた広告パケットを送信する。ヒトは、サービスからの広告パケットを受信することで、サービスとの通信を再開する。電波強度の値から iTag 間の位置関係を割り出すには、電波出力強度とパケットの送信距離の関係を iTag が知ることが前提となる。

電力制御機構は iTag 同士の位置関係の取得だけでなく、省電力も実現する。我々は、ヒトが利用するサービスによって、iTag から送信されるリクエストパケットの送信周期が異なると考える。例えば、観光案内サービスや防犯カメラシステムにおいて、自身がそのサービスに接近した時のみリクエストパケットを送信すればよい。しかし、ナビゲーションシステムでは自身の位置を特定するために、連続的なリクエストパケットの送信が必要となる。利用するサービスに適したリクエストパケット送信周期の調整を行なうことにより、iTag の消費電力を抑えることができる。

本稿では、実証実験を行ない各電波強度と通信距離との関係を明らかにした。実証実験結果については、5 章で述べる。

## 5. 適応的電力制御における実験

電波強度の値から iTag 間の位置関係を割り出すには、電波出力強度とパケットの送信距離の関係を iTag が理解していることが前提となる。そのため、電波出力強度とパケットの通信距離の関係を実証実験を行ない検証した。

そこで、位置関係取得手法の実現に向けて、各電波強度における通信距離とパケットロス率を算出するための実証実験を行なった。実証実験には、Smart-Itsのセンサデバイスを利用してプロトタイプ実装を行なった。

### 5.1 実機環境

本研究における実機環境として電力制御が可能なSmart-Itsを利用した。Smart-Itsは、日常で使用するモノにセンサを埋め込み、センサ同士が互いに通信しあうユビキタスコンピューティングを構築するためのテストベッド用に開発されたデバイスである [1]。表1にSmart-Itsの仕様について示す。

表 1: Smart-Its と使用電池の仕様

電波周波数	315 MHz
プロセッサ	PIC18F6720-20MHz
内部メモリ	128 kbyte

次に、Smart-Its プロジェクトにおける Particle, XBridge, Power Board, Breakout Board の仕様を示す。また、図5にXBridge, Power Board, Particleを示し、図6にBreakout Board, Particleを示す。

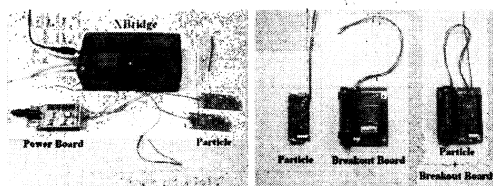


図 5: Power Board と Particle

Particle は、3cm 程の超小型センサデバイスで、315MHz の電波周波数帯を利用して通信を行なっている。Particle は青と赤の LED ランプを持ち、パケットの送受信を表現するために使用される。Particle の特徴としては、実行プログラムを C 言語で記述することができる。Particle は、取得したデータを無線通信によってアクセスポイントである XBridge まで送信することである。Particle の稼動には、Power Board(図5)を利用して電源から電力を Particle に供給する方法と、Breakout Board(図6)に装着している単4電池から Particle に電力を供給する方法がある。Power Board は、5.5cm × 3cm 程の大きさであり、電源から Particle に電力を供給する。1つの Power Board で5つまでの Particle を同時に稼動させることが可能である。Breakout Board は、4cm × 3cm の大きさであり、単4電池を装着することにより、1つの Particle を稼動させることが可能である。XBridge は Particle からのデータをネットワーク上にブロードキャストする。ブロードキャストされたデータは、有線 LAN を利用して TCP/IP 通信によって PC まで送られる。XBridge(図5)は、イーサポートを搭載しており、DHCP から IP アドレスが割り振られる。XBridge は、10cm × 10cm × 4cm の直方体である。XBridge の役割は、Particle

からの無線通信を IP アドレスの通信に変換するトランスレータである。

我々は送信電波強度の制御を行なうことにより、位置関係取得手法と省電力の実現を目指している。そこで、Smart-Its の機能である、電力制御機構を用いた実験を行なった。

### 5.2 電力制御に関する電波出力制御のための測定

適応的な電波出力制御を行なうために、電波強度に対する通信距離とパケットロス率の計測を行なった。Smart-Its における電波強度の可変範囲は 0 から 32 までの、各値における通信距離とパケットロス率を算出した。パケットロス率の算出には式 (1) を用いた。

$$\text{パケットロス率 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{受信パケット数}}{\text{送信パケット数}}\right) \times 100 \quad (1)$$

今回は、送信パケット数 200 パケットにおけるパケットロス率を計測した。また、計測場所を研究室内と研究室前の廊下の異なる 2 箇所の環境下で計測することにより、マルチパスにおける通信距離の変化やパケットロス率の実証実験を行なった。次に、実験環境である研究室内と研究室前の廊下の写真を図7と図8に示す。研究室内と研究室前の廊下における通信距離とパケットロス率の関係を図9と図10に示す。



図 7: 研究室内

図 8: 研究室前の廊下

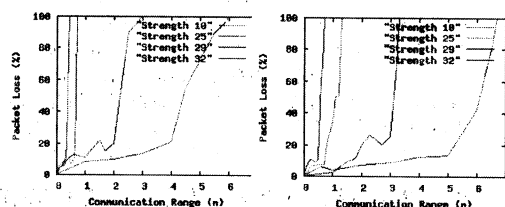


図 9: 研究室内での通信距離とパケットロス率

図 10: 研究室前での通信距離とパケットロス率

図9と図10は、電波強度の可変範囲(0~32)における通信距離とパケットロス率を示している。0~32の電波強度値は、デシベルではなく、TECO[2]の研究チームが Particle の電波出力制御を行なうために作成した API における指標である。縦軸がパケットロス率(%), 横軸が距離(m)。また、計測に用いた電波強度値は 10, 25, 29, 32 である。4本の折れ線が各電波強度における通信距離とパケットロス率を表したものである。次に、図9と図10のグラフを基に電波強度における通信距離を表2にまとめる。

表 2: 研究室内における各電波出力強度の通信距離

電波出力強度	距離 (m)
10	0.35
20	0.55
25	0.65
27	1.2
29	2.2
32	4.5

表 3: 研究室前廊下における各電波出力強度の通信距離

電波出力強度	距離 (m)
10	0.55
20	0.70
25	1.0
27	1.8
29	3.0
32	6.0

図 11 を基に、ヒトにタギングされている iTag は、サービスからの広告パケットを受信することで、サービスとの位置関係を算出する。また、ヒトにタギングされている iTag はサービスとの距離に応じて電波出力制御されたリクエストパケットを送信することが表 2 と表 3 から可能になる。

### 5.3 考察

iTag 間の位置関係を取得するためには、各電波強度と通信距離との関係を明らかにする必要がある。そのため、各電波強度における通信距離とパケットロス率の算出を行なった。図 9 と図 10 のグラフから、Particle と XBridge をある一定の距離まで離すとパケットロス率が急激に増すことが分かる。実証実験の結果から、研究室内に比べて研究室前の廊下の方が通信距離が長いことが分かる。この通信距離の差は、マルチパスの影響であると考えられる。今回の実験結果から、環境が異なることによって通信距離も変化する可能性があることを実証した。このことから、電波強度値が一定であっても一定の距離での通信が可能であるとは限らないため、異なる環境下での電波出力強度と通信距離の関係を知る必要がある。今後、異なる環境下におけるマルチパスの影響を考慮する必要がある。

## 6. 電力制御における消費電力に関する測定

我々は、電力制御が iTag の省電力を実現すると考える。そこで、適応的な電波出力制御パケットやパケットの送信周期を変化させた場合の消費電力を測定した。Smart-Its では常にセンシングを行なっている。そのため、パケット送信時の電力を測定するためには、センシング機能による消費電力を除かなければならない。そこで、パケット送信における消費電力を算出するために、パケットを送信していない時の Particle の消費電力との比較を行なった。

### 6.1 電波出力制御における消費電力の測定

電波出力制御における消費電力の違いを検証するために実証実験を行なった。実験環境は Particle 稼動に必要な Breakout Board(図 6) と単 4 電池 1 本

(DURABLE BATTERY: デュラブルマンガン乾電池)を使用した。実証実験では、Particle と XBridge 間の通信を行ない、電波出力強度を変化させ、電池 1 本における各電波強度での Particle の稼働時間を測定し、Particle の稼働時間から各電波出力における消費電力の割合を算出した。算出方法は、パケットを送信していない Particle の稼働時間と各電波出力強度における稼働時間を利用し、パケット送信における消費電力の割合を計算した。計算に用いた式を式 2 に示す。

各電波出力における消費電力の割合 =

$$1 - \frac{\text{各電波出力における稼働時間 (分)}}{\text{NoPacket 時の稼働時間 (分)}} \quad (2)$$

各電波強度における Particle の稼働時間を表 4 にまとめ、パケット送信における消費電力の割合を図 11 に示す。表 4 の表中にある「割合」は、全体の電力を 1 とした時の電波出力強度を変化させた場合に生じるパケット送信時の消費電力の割合を表している。

表 4: 電波出力強度を変化させた場合の Particle の稼働時間

電波出力強度	Particle の稼働時間 (分)	割合
No Packet	550	0
10	530	0.04
25	500	0.10
29	480	0.13
32	450	0.18

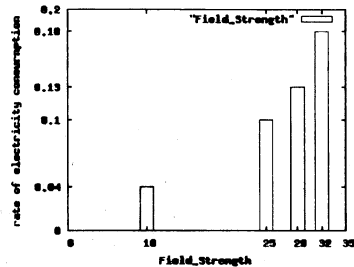


図 11: 電波出力制御を行なった時の電力消費の割合

図 11 は、Particle が消費している消費電力の内、パケット送信に使用された各電波強度における消費電力の割合を表している。縦軸がパケット送信に使用された消費電力の割合であり、横軸が電波強度である。パケットの送信による消費電力以外での電力消費が激しいことが分かる。

### 6.2 パケット送信周期における消費電力の測定

適応的なパケット送信周期による省電力を実現するために、異なるパケット送信周期による消費電力の違いを検証した。実証実験の方法は、電波出力が同じである Particle を 4 つ使用し、Particle から送信されるパケットの送信間隔をそれぞれ約 0.66 秒、1.32 秒、1.98 秒、2.65 秒における稼働時間を実測した。そし

て、実測値から各パケット送信周期における消費電力の違いの割合を算出した。算出方法としては、パケットを送信していない Particle の稼働時間と各パケット送信周期における稼働時間を利用して割合を出した。

パケット送信周期に生じる消費電力の割合 =

$$1 - \frac{\text{各パケット送信周期における稼働時間(分)}}{\text{NoPacket 時の稼働時間(分)}} \quad (3)$$

また、その結果からパケット送信周期の違いにおける消費電力の比較を行なった。実験は Breakout Board と、単 4 電池 1 本を用い、Particle の電波出力強度を 4 つとも 32 とした。各パケット送信間隔における稼働時間を表 5 に示し、各パケット送信間隔による消費電力の割合を図 12 に示す。表 5 の表中にある「割合」は、全体の電力を 1 とした時の異なるパケット送信周期における消費電力の割合を表している。

表 5: パケット送信周期を変化させた場合の Particle の稼働時間

電波出力強度	Particle の稼働時間(分)	割合
No Packet	550	0
0.66	450	0.18
1.32	470	0.15
1.98	480	0.13
2.65	510	0.07

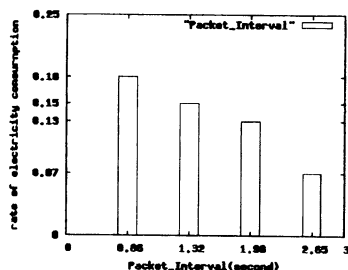


図 12: パケット送信間隔の違いにおける消費電力の割合

図 12 は、パケット送信周期の異なる Particle の稼働時間を基に消費電力の割合を表した。縦軸がパケット送信に使用された消費電力の割合であり、横軸がパケット送信周期(分)である。

### 6.3 考察

本章では、各電波強度とパケット送信周期の違いにおける Particle の稼働時間と送信パケットによる消費電力の関係を調べた。

電力制御における消費電力がどのくらいなのかを計測するため、Particle の実稼働時間から比較し、送信パケットによる消費電力の割合を算出した。表 4 から、パケットの送信による消費電力以外での電力消費が激しいことが分かった。これは、Particle はセンシング機能や LED を持つセンサデバイスであるため、パケッ

トの送受信以外での処理が大きく消費電力に影響していると考えられる。本実験で必要なデータは、Particle のパケット送信における消費電力量であり、その他の消費電力は重要ではない。今回の実験結果から適応的に電波出力制御を行なうことが可能であることを実証した(表 4): 図 11 から強度 32 での消費電力は強度 10 の時、消費電力の約 4 倍であることが分かる。

また、今回の実験結果から適応的なパケット送信周期により、消費電力を抑えることが可能であることを実証した(表 5)。例えば強度 32 でパケット送信周期が 0.66 秒の Particle と、強度 10 でパケット送信周期が 2.65 秒の Particle では、消費電力が約 12 倍違うことになる。このことから、適応的な電波出力制御とパケット送信間隔の適応化により、省電力が実現できることが分かる。また、各電波強度における通信距離とパケットロス率の実験から、通信距離は環境によって変化することが分かる。このことから、今後、環境の変化を考慮する必要がある。

## 7. 関連研究

無線 IC タグ技術として RFID などの無線 IC タグが注目され研究が進められている [3][4]。RFID とは微小な無線チップによりヒトやモノの識別や管理をするために利用される。現在では、図書管理システムとして、書籍に IC タグを貼り付けて貸し出し管理を行なう自動貸出機などが実現されている。将来的にはすべての商品に微小な RFID タグが添付される可能性がある。食品を買ってきて冷蔵庫に入れると自動的に食品を識別し、保持している食品のリストを作ったり消費期限を知らせたりするインテリジェント冷蔵庫などの IT 家電が構想されている。最近では日常生活の中にも RFID などの IC タグ技術を利用したサービスが多様に存在してきている。その例として、FeliCa[4] やお財布携帯 [4] などがある。FeliCa とはソニーが開発した非接触 IC カードの技術方式であり、FeliCa 技術を用いた ICOCA/Suica など一般的に知られている。また、お財布携帯は IC チップが内蔵されている携帯であり、実際に入金された金額のみが使えるプリペイド携帯である。近年、このような IC タグ技術が我々の日常生活の中に急速に普及してきている。これらの技術はほとんどがパッシブ型タグを利用している。

近年、深刻な問題となってきた児童の防犯システムにアクティブ型タグが利用されてきている。しかし、防犯システムといってもこれらは学校内だけであるなど、まだまだ限定範囲における実用化しかされていない。

省電力機構の研究として、センサ/アドホックネットワークなどで研究が進められている [6]。センサネットワークにおいては、センシング機能のあるセンサデバイスをヒトが管理できる場所に設置されているとは限らないため、センサデバイスの長期稼働のために省電力は必要となる。省電力の方法として、周囲に設置されているセンサデバイス同士が通信をして互いに協調し合うことにより、センサデバイスが稼働している時に、他のセンサデバイスを休止状態にすることが考えられている。また、設置されているセンサデバイスが目的のセンサデバイスまでデータを送信する時に、通信相手との距離を考慮した適応的な電力制御パケッ

トを送信するという研究もされている [7].

現在、位置情報処理技術として、屋外での GPS が普及している。GPS とは米国によって軍事用に開発された衛星を使った位置決定システムである。近年では民間にも開放され、航空機や船舶等の航法支援だけでなく、歩行者や車等のナビゲーション用としても広く利用されてきている。歩行者ナビゲーションシステムとして、au の EZ ナビフォークのように携帯端末に GPS 機能が搭載されたシステムも登場してきている [8]。しかし、GPS は屋内で使用できないため、無線 LAN を利用した屋内向けの位置特定システムの研究が数多くされている [9].

## 8. おわりに

本稿では、屋外/屋内にサービスが多数存在するユビキタス社会において、ヒトヘタギングする無線 IC タグはアクティブ型タグが適していることを述べた。また、提案する iTag は、従来のリーダーとタグという別々の関係ではなく、リーダーとタグの両方の機能を併せ持つことにより双方向通信を可能にしたタグである。双方向通信が可能であり、電力制御の行なえるタグとして Smart-Its に注目した。

本稿では、電波強度の適応的な制御を行なうために、各電波強度に対する通信距離とパケットロス率の関係を調べるために実証実験を行なった。実証実験では各電波強度値における通信距離とパケットロス率を算出した。また、異なる環境下で実験を行なうことで、通信距離とパケットロス率が環境によって変化することが分かった。今後、測定値を利用して、通信距離における適切な電波出力制御を実現する。さらに、各電波出力強度と通信距離の関係から電力制御パラメータを作成し、Particle 上で通信距離に適した電力制御が行なえるようにする。また、ヒトが利用するサービスによって、リクエストパケットの送信周期を調整することも考えている。リクエストパケットの周期が同じ場合、サービスによってはパケットの送信数が必要以上であり、iTag にとって無駄な電力を消費してしまう。また、リクエストパケット送信数が不十分な場合、サービスを利用するヒトに対してサービスを十分に提供できない可能性がある。そこで、サービスの種類によってリクエストパケットの送信周期の適応的な調整も必要となる。

今後、適応的なリクエストパケット送信周期の調整と通信距離に応じた適応的な電力制御を行なった双方向通信を実現する。また、受信パケットの電波強度からサービスが存在する位置関係の取得が行なえる iTag の構築を行なう。

## 参考文献

- [1] “The Smart-Its project,”  
<http://www.smart-its.com/>
- [2] “TECO PARTICLE WEB SITE,”  
<http://particle.teco.edu/>
- [3] 渡辺 桂三, 青山 秀夫, 尾崎 伸作, 吉村 和夫, 斉藤 賢爾, 工藤 一浩, 渡辺 淳: “無線 IC タグのすべて,” 日経 BP 社, pp.11-46. (2004)
- [4] 水野 一男, 立石 俊三, 木下 真吾, マーク・パーマー, 情報通信研究機構 総合企画部, 越塚 登, 峯岸 康史, 湯本 由起子, 稲葉 達也, 渡辺 桂三: “無線 IC タグ導入ガイド,” 日経 BP 社, pp.12-43 119-134, (2004)
- [5] J.-P. Ebert, B. Burns, and A. Wolisz: “A Tracebased Approach for determining the Energy Consumption of a WLAN Network Interface,” European Wireless 2002, pp.230-236, (2002)
- [6] 西尾 信彦, 徳田 英幸: “Improvised Network 構築のための基盤技術,” 情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 89-4, pp.25-32, (2002)
- [7] Martin Kubisch, Holger Karl, Adam Wolisz, Lizhi Charlie Zhong and Jan Rabaey: “Distributed algorithms for transmission power control in wireless sensor network,” WCNC 2003 - IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp.558-563, (2003)
- [8] “KDDI, BREW 対応の GPS 歩行者ナビ「EZ ナビフォーク」,”  
<http://k-tai.impress.co.jp/cda/article/news.toppage/15913.html>
- [9] 北須賀 輝明, 中西 恒夫, 福田 晃: “無線通信網を用いた屋内向け測位方式,” 情報論: コンピューティングシステム, pp.131-140, (2003)