

# マルチパケットによる無線通信遅延の低減に関する研究

長坂 康史\*・福本 剛\*\*

(平成21年10月31日受理)

## A Study on Delay Reduction of Wireless Communication by Using Multi-Packet

Yasushi NAGASAKA and Takeshi FUKUMOTO

(Received Oct. 31, 2009)

### Abstract

Our computing environment is changing to the ubiquitous one in which anyone uses any information anytime and anyplace. Therefore electricity consumption is one of the most important issues, because a wireless communication is required for using anyplace. The consumption depends on the communication time and the seize of communication data. It also strongly depends on a packet loss during the communication, which occurs by a weakness of radio waves near the border of maximum communication distance.

This paper describes the method for reducing the communication delay, that is, the retransmission caused by packet losses, by using a multi-packet transfer. The device predicts the distance between devices using the genetic algorithm, and transfers the multiplicative data in order to reduce the retransmission by packet losses. It was confirmed that the proposed method was effective for the reduction in the case of high packet losses.

**Key Words:** wireless communication, communication delay reduction method, ubiquitous computing

### 1. はじめに

昨今では、携帯端末やPDAなどの移動端末が広く普及しており、端末間の通信ではIEEE802.11xや赤外線、Bluetoothなどの無線通信が利用されている。近年では、動画のようなファイルサイズが大きく、高速転送を求められる通信も行われており、高速で低消費電力の通信が以前にも増して求められている。特に移動端末において消費電力は最も注目すべき点である。その中でBluetoothは、その消費電力の低さから注目されており、ここ数年で急速に普及している。しかし、Bluetoothの通信距離は最大でも100m程度と短い。また、限界通信距離付近では頻繁にパケットロスを起こし、再送処理のためスループットが低下し、また電

力の消費量も増加するという問題がある。この問題により、実際にストレスなく使用できる距離はさらに短くなってしまふと考えられる。

そこで本研究では、移動端末が通信相手との距離の把握を自動的に行い、パケットロスが頻発すると予想される通信距離になった場合に、パケットロスによる再送処理を回避するシステムの提案をする。このような問題を解決するためには、通信相手との距離の把握が必要不可欠である。本研究で注目しているBluetooth技術では、受信時の電波強度により、送信相手との距離を知ることが出来る。しかし、電波強度には距離が同じであっても、周りの環境などによりその値が大きく変化するという問題がある。

そこで本研究では、遺伝的アルゴリズムと過去の情報を

\* 広島工業大学情報学部情報工学科

\*\* 日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社

利用することで、この電波強度への環境などからの影響をより小さくし、より正確な距離の把握を行う[1][2]ことを目的とする。さらに、パケットロスによる再送処理の問題に対しては、あらかじめ複数個のパケットを送ることにより、再送要求、またはタイムアウトによる通信遅延を回避することを目的としたマルチパケットシステムを提案する。

## 2. マルチパケットシステム

本研究におけるマルチパケットシステムでは、距離推定と再送処理回避の2段階のアルゴリズムを利用することで処理を行う。

距離の推定は Bluetooth の電波強度を利用する。電波は送信元からの距離が離れるほど減衰していく性質があるため、これを数値化した受信電波強度 (RSSI) を利用することで距離の推定を行うことが出来る。しかし、この RSSI は測定する環境により値が変動し、同距離で取得した場合でも平均 50cm 前後の誤差が生じてしまう。

そこで、本研究では、一時刻前に取得した値と、遺伝的アルゴリズムを利用することにより、この誤差の縮小を図る。

また、再送処理の回避は、まず、推定した距離からパケットロス率を推定する。そして、推定されたパケットロス率に応じた、最も効率の良い個数の同パケットを送信する。これにより、パケットロスによるタイムアウトやパケットエラーなどによる再送処理にかかる時間を短縮する。

## 3. マルチパケットアルゴリズム

### 3.1 誤差縮小アルゴリズム

誤差を小さくする一番簡単な方法は、値の測定回数を増やすことである。数千個の値を取得し、その平均を取れば、最も確からしい値に収束する。しかし、それでは取得に時間がかかってしまう。そこで本システムでは、出来るだけ少ない測定回数で、最も確からしい値に近づけることを目的とする。

本システムでは、一時刻前の過去値の利用と遺伝的アルゴリズムの2つを利用することにより、これを達成する。その簡単な流れを図1に示す。図のように、観測値と過去の値から遺伝的アルゴリズムによって予測パターンを求め、その予測パターンで選択された値の平均が推定値となる。



図1 誤差縮小アルゴリズムの流れ

### 3.2 過去値の利用

歩行中の人間の移動速度を考えると、1秒程度で数mも移動することは考えにくい。つまり、1秒程度前にいた場所の付近に現在もいる可能性が高い。この過去の情報も利用することにより、誤差を抑制する。

### 3.3 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズムとは、ジョン・H・ホランドによって提案された近似解を探索するためのアルゴリズムである。遺伝的アルゴリズムの処理の流れの例を図2に示す。以下ではこの図を用いながら説明を行う。

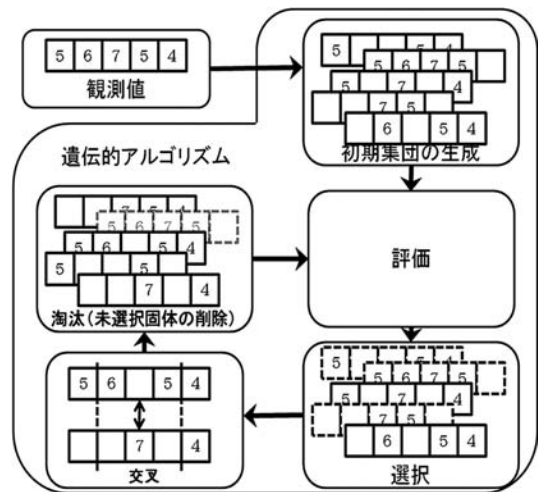


図2 遺伝的アルゴリズムの流れ

まず、観測値として5回のRSSIの取得を行い、それを保持する。この時、過去の値がある場合は5回の観測値の後ろにその値を付け加えることにより利用する。

初期集団の生成では、観測値の取得で得られた5つ(過去の情報を使用する場合は過去の情報を加えた数)の値ひとつひとつに対して、選択するかしないかの決定をランダムで行う。これを1サイクルとし、5サイクル行う。こうすることにより、サイクルごとに違った選択・非選択のパターンを得ることが出来る。これを選択パターン個体と呼ぶ。

評価では、初期集団で生成した選択パターン個体ひとつひとつに対して行い、適応度  $f_i$  を求める。この時の評価関数は式(1)の通りである。

$$f_i = \frac{\sum_{k=1}^N \{(|x_{MAX}| - |\bar{x} - x_k|)x'_{ik}\}}{\sum_{k=1}^N x'_{ik}} \quad (1)$$

$i$  は選択パターン個体の番号であり、それぞれの選択パターン個体が生成された順番の番号を持つ。 $k$  は選択パターン個体の中に収められている観測値の順番番号である。 $N$  は観測値の数である。 $\bar{x}$  は観測値の中で一番大きな値である。 $x_{MAX}$  は観測値の平均である。 $x'$  は選択されていれば1になり、選択されていなければ0が入っている。つまり  $x'_{ik}$  は、 $i$  番目の選択パターン個体の  $k$  番目の観測値が選ばれてい

るかどうかの判定を行っている。これにより選択されていない場合の解は常に0になり、評価に影響しない。

選択では、評価のステップで選択パターン個体それぞれにふられた適応度を基に行う。選択はルーレット選択法を用いる。ルーレット選択法では式(2)を用いて選択確率 $p_i$ を求める。この式により、全体に対して自分の占める割合を求めることが出来る。つまり、適応度の高いものほど選択確率が高くなり、結果的に選ばれやすくなる。逆に適応度の低いものは選ばれにくくなる。これを選択パターン個体の個数回行う。

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{k=1}^N f_k} \quad (2)$$

交叉では、前ステップで選択された選択パターン個体同士でペアを作り、お互いの選択パターンの一部を入れ替える。ペアの作り方は選択された選択パターン個体から順番にペアを作っていく。交叉は2点交叉を行う。2点交叉とは、交叉点と呼ばれる入れ替え場所をランダムで2点選び、交叉点で挟まれた部分をペアと入れ替える。交叉を行うことで、それまでにはなかった選択パターンを作り出すことが出来る。

淘汰では、選択のステップで選ばれなかった選択パターン個体は削除される。これにより、選択されなかった個体、つまり評価値の低い個体が消えて、評価値の高いものが生き残っていくことになる。

交叉によって作られた新しい選択パターン個体を、再度評価する。これにより、前世代の時より評価値の高いものが見つかる可能性がある。遺伝的アルゴリズムはこの評価・選択淘汰・交叉を指定した回数繰り返すことで、より評価値の高い選択パターン個体を選び出すアルゴリズムである。指定した回数繰り返した後、最終的に評価を行い、その時に最も評価値の高い選択パターン個体を選び出す。同じ評価値のものが存在した場合、評価パターン個体の番号の若い方が選ばれる。

遺伝的アルゴリズムにより決定されたパターンに収められている観測値の平均を、最も確からしい値とする。本システムでは、最終的に算出された推定値をその時のRSSIとし、事前に用意しておいた観測モデルと比較することにより、その時のパケットロス率を推定し、パケットロス率が高い相手かどうかを判断する。

### 3.4 観測モデル

本システムの開発にあたり、距離とパケットロス率の関係を明確にする必要がある。測定では、各距離で20個のパケットを送信し、その応答率からパケットロス率を求めた。これを10回行い、その平均を求めた。また、得られた値から、最小二乗法を利用することで近似直線を求めた。測

定により得た距離とパケットロス率の関係を図3に示す。

ここでのパケットロスは、リンクが確立できた場合に通信中に発生したパケットロスを目指す。よって、リンクが確立できなかった場合の数は含まれていない。リンクエラーとは、リンクの確立が行えなかった割合である。この結果より、17mになるとリンクの確立が確実に行えなくなっていることが分かる。

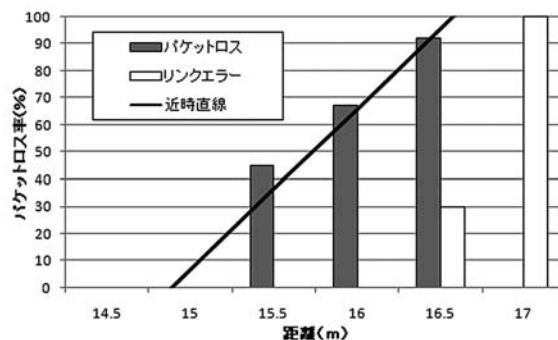


図3 距離とパケットロス率の関係

次に、RSSIから推定パケットロス率を求めるために、図3と同距離でRSSIの測定を行った。各距離でRSSIの取得を20回行い、その平均と標準偏差を求めた。また、求めた値から最小二乗法により、近似直線を求めた。その結果を図4に示す。

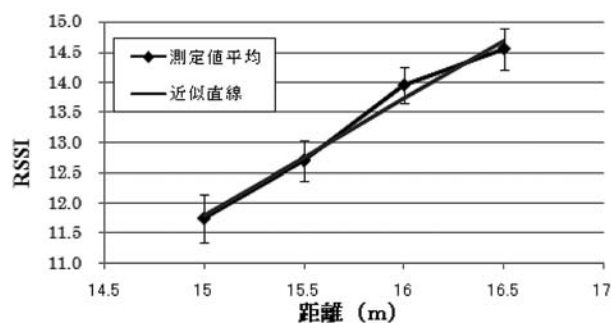


図4 RSSIと距離との関係

最後に、図5は図3と図4からRSSIとパケットロス率の関係を表したグラフである。

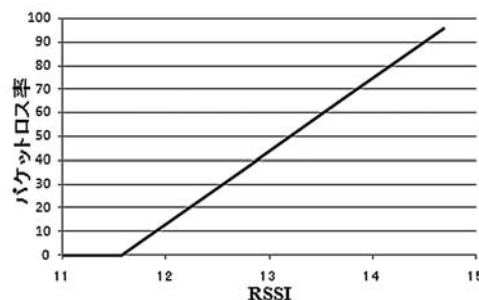


図5 RSSIとパケットロス率の関係

図5を観測モデルとして利用することにより、推定したRSSIに応じたパケットロス率を導き出す。

### 3.5 マルチパケットアルゴリズム

誤差縮小アルゴリズムにより得た結果から、パケットロス率が高いと判断した場合に、事前に複数個のパケットを送ることで再送処理時間の無駄をなくす。

この処理を行うにあたり、パケットロス率に応じた最も効率の良い同時送信パケット個数を知る必要がある。そこで、0%~90%のパケットロス率を故意に発生させ、各パケットロス率の時に最も効率の良いパケット数をシミュレーションにより求めた。その結果、表1のような結果を得た。マルチパケットアルゴリズムの実験では、これを利用して実験を行う。

表1 各パケットロス率に応じた最適パケット数

	0%	10	20	30	40	50	60	70	80	90
最適個数	1	2	2	3	3	3	4	5	5	5

また、この時送信するパケットの構成は図6のようになっている。先頭から8ビットのCode, 16ビットのLength, 16ビットのSequence Number, 8ビットのCheck Sumとなっている。Codeにはデータの種類のためのコードが入れられる。Lengthにはデータ長が入れられる。Sequence Numberには現在の送信パケット番号が入れられる。Check Sumには誤り検出のための値が入れられる。

Code	Length	Sequence Number	Check Sum	データ部分
(8bit)	(16)	(16)	(8)	(80)

図6 本システムのパケット構成

本システムで使用するCodeは、通常パケットを表すSingle\_Packet, 本システム用のパケットを表すMulti\_Packet, 応答MP\_ACK, 再送要求MP\_REQの4つである。

Sequence Numberは、何番目に送信したパケットがロスしたのかを判断するために用いる。送信時に、パケットの番号をSequence Numberに入れ送信を行い、受信側は同番号のSequence NumberとMP\_ACKを返すことにより、その番号の送信が成功したか否かの判断を行う。また、パケットに問題が起り、MP\_REQが返ってきた場合、その時のSequence Numberを見ることにより、どのパケットを再送信すべきかを知ることができる。

Check Sumは、最後のデータ部分を1バイトごとに全て足し合わせ、その結果のビット列の下位8ビットを入れて送信を行い、受信側でも同じように受信したデータ部分を計算し、受け取ったCheck Sumと比較することにより、送信時に発生したデータ部分のデータ誤りを知ることができる。受け取ったCheck Sumと受信後に生成した値が違う場

合は、送信端末へMP\_REQを返すことで再送信を行う。

受信時に、マルチパケットにより同一パケットが複数個送られてきた場合には、2個目以降の同一パケットを破棄する必要がある。このため、すでに受信を終えたパケットに関してはそれ以降の同一パケットを全て破棄する。

送信後、一定の時間が経過しても応答がない場合、再送を行う。タイムアウト時間は100msとした。これはパケットを送り、その返信が返ってくるまでの時間RTT (Round Trip Time) の約5倍を設定した。TCPのタイムアウト時間の初期値「 $RTT \times 4 + \alpha$ 」を参考にし、 $\alpha=RTT$ とすることで、RTTの5倍を設定した。測定を行った結果、RTTの平均は20msであったため、100msを設定することとした

### 4. 性能評価

本システムの性能評価では、誤差縮小アルゴリズムを評価し、その後マルチパケットアルゴリズムの評価を行った。

誤差縮小アルゴリズムの実験を以下の環境で行った。測定場所は屋内の障害物の無い直線を利用した。測定に使用したBluetooth端末は、USBタイプのBluetoothアダプタを挿したノートPCと、Bluetooth機能を搭載した携帯電話の2台を使用した。測定範囲は1m~10mとし、2m間隔で測定した。

実験方法は、まず各距離に対して5回の測定を行い、平均を求める。これを通常平均とする。次に、同じ5つの測定データを使用し、本アルゴリズムを適応する。これを1サイクルとし、各距離に対して20サイクル行った。そして求められた各距離20個の値の平均と偏差を求めた。その後、通常平均の値と本アルゴリズムを適応したRSSIを、予め用意しておいた観測モデルと比較することにより比較を行う。

測定を行い、この時の誤差と偏差に注目した。これを図7に示す。図中の縦軸では観測モデルと比べた時の誤差を表し、横軸ではその時の距離を表している。また、その時の実際の数値と全体の誤差平均を表2に示す。

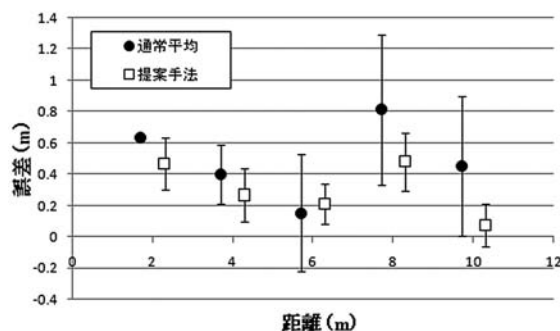


図7 誤差縮小アルゴリズムの測定結果



表2 測定結果詳細値と全体の平均 (単位:m)

距離(m)	2	4	6	8	10	平均
通常平均	0.63	0.40	0.15	0.81	0.45	0.48
提案手法	0.47	0.27	0.21	0.48	0.08	0.30

提案手法を用いることにより、通常平均と比べ、全体で約30%の誤差縮小を行うことに成功した。

マルチパケットアルゴリズムの実験では、15m～16.5mの各距離で10バイトのパケットを100個送信し、送信開始から受信完了までの時間を測定する。これを単一パケットの通信の場合と、本システムを適応した場合とで各20回測定を行い、その平均を比較する。

比較を行った結果を、図8に示す。縦軸は送信開始から受信完了までかかった時間をミリ秒で表している。また、横軸は測定を行った時の距離を表している。シングルパケットは、本システムを適応していない、単一パケットのみでの送信の場合の結果を表している。マルチパケットと本システムを適応した複数パケットを送信した場合の結果を表している。また、この時の詳しい数値と送信パケット数を表3に示す。この表でのパケット数とは、各距離での実験で同時送信したパケットの個数の平均を表している。

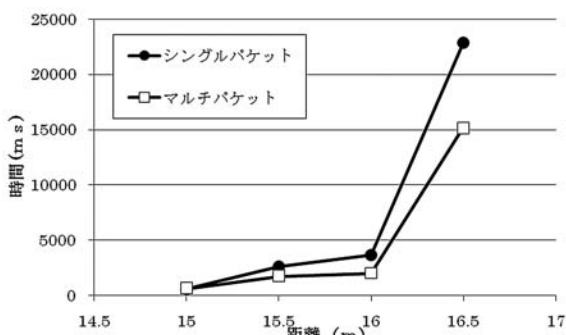


図8 本システムの実験結果

表3 実験結果の詳細

	15m	15.5m	16m	16.5m
シングル	559.85 ms	2573.88	3643.44	22846.58
マルチ	602.03 ms	1744.49	1988.20	15163.18
パケット数	1.4 個	3.6	3.7	4.8

この結果から分かるように、本システムを適応することにより、パケットロスが発生する状況による通信遅延を低減することが出来た。ただし、15m地点の結果を見ると、マルチパケットの方が時間がかかっている。これは送信パケット個数を見てわかるように、何度か重複パケットを送っていることが分かる。この重複パケットを送信したことで、遅延が発生してしまったと考えられる。他の地点では通信遅延の低減に成功しており、パケットロスの確率が高まるほどにその効果が顕著に現れており、16.5m地点では34%の遅延時間の低減に成功した。

### 5. まとめ

本研究では、Bluetooth技術を用いたマルチパケットによる無線通信遅延の低減に関する研究を行った。本研究では、推定した距離から予測パケットロス率を求め、パケットロス率が高いと判断した時、再送要求を受ける前の送信時に、あらかじめ複数個のパケットを送ることで遅延の低減を行った。距離の推定には通信相手のBluetooth端末からの電波受信強度を利用した。この電波受信強度は周りの環境に影響を受けやすく、誤差が大きい問題があったため、誤差縮小アルゴリズムを適応することにより、その誤差の縮小を行った。また、そこで得られた電波受信強度から推定を行い、パケットロス率に応じた個数の同一パケットを送信することにより、単一パケットのみでの通信と比べどの程度通信遅延を低減できたのかの検証を行った。その結果、パケットロス率が上昇するにつれ本システムを適応した方が通信遅延を低減することができ、最大で34%の遅延時間の低減に成功した。

### 参考文献

- [1] 福本, 長坂:「Bluetoothを用いたモバイルコンピュータの位置推定システムの開発」, FIT2008 第7回情報科学技術フォーラム, pp.229-230 (2008)
- [2] 福本, 長坂:「Bluetoothを用いたモバイルコンピュータ間の位置推定アルゴリズムの研究」, RENTAI2008, p.288 (2008)

