

無線ネットワークにおける負荷に応じた経路決定方式に関する検討

坂本 聖也¹⁾ アサノ デービッド²⁾ 鈴木 彦文³⁾ 不破 泰³⁾

1)信州大学院理工学系研究科 〒380-8553 長野市若里 4-17-1

2)信州大学工学部情報工学科 〒380-8553 長野市若里 4-17-1

3)信州大学総合情報センター 〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1

E-mail: 1-3){14tm514h,david,h-suzuki,fuwa}@shinshu-u.ac.jp

あらまし 我々は、長野県塩尻市において、各地にある端末からのデータをサーバに送るために 600 台を越える無線中継機からなる通信インフラを構築し運用している。この通信インフラでは、各中継機は自律的にサーバまでの経路を決定する Ad-Hoc ネットワークの経路決定アルゴリズムを実装している。そこで本研究では、パケット損失率が低い、最適な経路を決定するアルゴリズムを構築する事を目的としている。不適切な経路では、中継機同士のかくれ端末問題が頻発し、パケット損失率が高くなる。先行研究ではパケットが特定の中継機に集中することがないよう、負荷が分散するような経路決定方式を採用していた。本稿ではこれらのパラメータの影響を解析し、よりパケット損失率が低くなる新しい経路決定方式の提案をするための検証結果を報告する。

キーワード アドホックネットワーク, ルーティング, 地域児童見守りシステム

A routing algorithm based on the traffic load in wireless networks

Seiya SAKAMOTO[†] David ASANO[‡] and Hikofumi SUZUKI[‡] and Yasushi FUWA[‡]

1) Graduate School, Division of Science and Technology, The University of Shinshu 4-7-1 Wakasato, Nagano-City, Nagano 380-8553, Japan

2) Dept. of Computer Science and Engineering, Shinshu University 4-17-1 Wakasato, Nagano-City, Nagano 380-8853, Japan

3) Integrated Intelligence Center Shinshu University 3-1-1 Asahi, Matsumoto-City, Nagano 390-8621, Japan

Abstract We build and operate communication infrastructure from wireless transponders in excess of 600, for sending data from the terminals in various places to server in Nagano Prefecture Shiojiri. In this communication infrastructure, each transponders implements a routing algorithm for Ad-Hoc network that autonomously determines the path to the server. The purpose of this study is to construct an algorithm for determining an optimal route that the packet loss rate is low. In the improper route, Hidden terminal problem of the transponders to each other recurrent and the packet loss rate is high. In prior research, proposed a routing algorithm that dispersion traffics load not to concentrate the packet in specific transponder. In this study, we analyzed the effects of these parameters, and report the verification results for more packet loss rate to the proposal of a new routing scheme is lower.

Keywords adhoc-network, routing, regional children protection system

1. はじめに

近年、児童が犯罪に巻き込まれる事件が多発してい

る。そこで、児童の登下校時に児童の位置情報を保護者が確認し、児童を保護するシステムの必要性が増大している。その対策として無線ネットワークを利用して

児童の位置情報を管理するシステムが注目されている。実際に、長野県塩尻市では 2008 年度より児童の保護を目的として「地域児童見守りシステム」を開発し運用している。

このシステムの概要について図 1 を用いて説明する。システムには子機と中継機と親機が存在し、各児童は自身の位置情報を発信する子機を所有し、児童の通学路には複数の中継機が設置されている。子機から発信された位置情報はいくつかの中継機を介し親機へと届き、最終的にはサーバへと届けられる。サーバと通信を行う中継機を親機と呼ぶ。サーバに届けられた位置情報は児童の保護者の携帯電話へ送られる。中継機網は各地で発生するデータパケットをサーバまで届ける一方方向のネットワークであり、また、無線アドホックネットワークを自律的に構築し、親機に向けた経路を確保している。

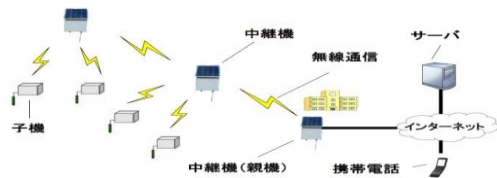


図 1 地域児童見守りシステムの概要図

児童はランドセルに子機をつけて登下校をしている。子機には振動センサーが内蔵されており、児童が登下校中は振動を検知し、180 秒間隔でパケットを送信し、そうでないときは 60 分間隔でパケットを送信する。この児童の位置情報は、情報を発信したときに一番近くにある中継機が受信し、中継機は受信電界強度情報を付加し、複数の中継機を介して、サーバへと転送する。サーバは届いたパケットの受信電界強度と中継機の設置位置情報により児童の位置を推定し、児童の位置情報サービスを提供する。この時、子機から発信されたパケットは予め経路が決定された中継機網を介してサーバへと送られる。

従来のシステム[1]では中継機が経路を決定する場合、親機までのホップ数が最小になるように次中継機を選択する。また、ホップ数が等しい次中継機が複数ある場合、その中からランダムに 1 つの中継機を次中継機とする。しかし、この方法で経路決定をした場合、集団登校等などにより、ある特定の中継機にパケットの送受信の負荷が集中したときに、その負荷に応じた経路変更ができない。負荷が集中するとパケットが損失しまうため、負荷を分散するような経路決定方法が必要である。

そこで先行研究[2]では、パケット損失を招く 3 つの

原因に注目した。かくれ端末関係、さらし端末関係、利用する中継機数を考慮する 3 つのパラメータを使用し、パケットが特定の中継機に集中することがないように、負荷が分散するような経路決定方式を採用していた。

本研究ではこれらのパラメータの影響を解析し、よりパケット損失率が低くなる新しい経路決定方式の提案をするための検証結果を報告する。

2 経路決定に使用するパラメータ

2.1 パラメータの種類

先行研究で使用したパラメータは次の 3 つの問題点を解決するように設定した。

- 問題 1 隠れ端末問題による中継機同士のパケット衝突
- 問題 2 多くの中継機とさらし関係であることによるスループット(処理能力)の低下
- 問題 3 特定の中継機に経路が集中することによる送信負荷の増大

問題 1 は子機台数の増加に伴い子機のパケット発信回数も増え、各中継機の転送パケットも増加する。その場合、隠れ端末問題によるパケット衝突も増加し、パケット損失につながるという問題である。

問題 2 は多くの中継機とさらし関係である中継機は、自身の中継機宛てではない他の中継機から他の中継機へのパケットを受信することが多くなり、スループットが低下するという問題である。スループットが低下した中継機では、パケット送受信が可能な時間が減少するため、問題 1 によるパケット損失が発生しやすくなる。

問題 3 はホップ数による経路決定方法では、ある中継機に経路が集中するという問題である。経路の集中により送信パケットが多くなる中継機では、パケット送信時に問題 1 によるパケット損失が発生しやすくなる。

よって、上記の問題点を解決する必要があった。そして先行研究では経路決定のためのパラメータは以下の 3 パラメータを提案した。

- パラメータ 1 問題 1 を解決するための隠れ端末問題が起こりうる中継機数(かくれ数)
- パラメータ 2 問題 2 を解決するための自身および次中継機とさらし関係である中継機数(さらし数)
- パラメータ 3 問題 3 を解決するための次中継機を利用する中継機数(次中継機利用数)

以上のパラメータを使用し、「地域児童見守りシステム」を疑似再現したシミュレータにより,各エリアにパラメータを適用し,新たな経路を構築する.

2.2 経路を決定するために用いるメトリック

先に示した 3 つの問題を解決するために先行研究で提案された経路決定方法では,次式のメトリックを使用する.

$$M_i = w_k * K_i + w_s * S_i + w_u * U_j \quad (1)$$

経路は親機から順に決定していく.経路が未決定である中継機群にて経路決定済み中継機とさらに関係である中継機 i の中から式(1)のメトリック値 M_i が最小となる中継機 i を探索する.そして, M_i が最小な時の中継機 i の次中継機を中継機 j として経路を決定していく.

K_i は累計隠れ数, S_i は累計さらし数, U_j は中継機 j を次中継機として利用している中継機数である.ただし,多くの中継機の次中継機となる親機 0 においては U_0 の値を 0 とする.

w_k, w_s, w_u は各パラメータの重みを表し,0 より大きいものとする. K_i 及び S_i は親機に転送されるまでに経由されるすべての中継機のかくれ数,さらし数の和であり,式(2),式(3)と表せる.ただし j が親機である場合の K_j, S_j は 0 である.

$$K_i = K_{ij} + K_j \quad (2)$$

$$S_i = S_{ij} + S_j \quad (3)$$

式(2)において,中継機 i が j を次中継機とする場合のかくれ数 K_{ij} とは,次中継機 j とはさらに関係であるが中継機 i とはさらに関係でない中継機数である.また,式(3)においてさらし数 S_{ij} とは,中継機 i, j の両方とさらに関係である中継機数である.

各パラメータは,パケット損失の低減のため各中継機において以下の役割を果たすと想定し,設定された.(累計)かくれ数は,パケット転送時におけるパケット衝突をできるだけ少なくし,問題 1 を解決する.(累計)さらし数は,多くの中継機とさらに関係である中継機をできるだけ選択しないようにし,問題 2 を解決する.次中継機利用中継機数は,パケット転送を特定の中継機に集中させないようにし,問題 3 を解決する.

このメトリック値 M_i は先行研究にてその有用性が明らかにされている.先行研究ではまず,ある特定のエリアで約 8 万通りある経路の中から手動でパケット損失率が最小の経路を見つけ出した.その時のパケット損失率とこのメトリック値を使いパラメータを設定し

て求めた経路のパケット損失率とを比較しほぼ同等の結果を得た.よって本研究でもこのメトリック値を使っていくことにした.

2.3 経路決定の具体例

サーバにおいて式(1)を使用し,経路を決定する具体例を示す.ここでは $w_k = 5, w_s = 1, w_u = 5$ の時,各中継機がどのような経路を決定していくかを図 3~図 8 を用いて説明する.まず,経路決定済みである親機 0 とさらに関係である中継機 1,2 が次中継機を決定する候補となる.サーバでは,候補内で式(1)が最も小さい中継機 i の次中継機を j として順次決定する.ただし,式(1)が最小になる中継機が複数存在する場合,ランダムでどちらかが先に経路を決定する.図 2 では M_1, M_2 が等しいので,この例では先に中継機 1 の次中継機が親機 0 に決定したとする.その場合,図 3 のように中継機 2,3,4 が次中継機を決定する候補となる.

図 4 において,候補 2,3,4 で式(1)が最小の中継機は中継機 2 であるため,中継機 2 の次中継機が親機 0 に決定する.その後,図 4 のように,中継機 3,4,5 が次中継機を決定する候補となる.

図 5 において,候補 3,4,5 で式(1)が最小の中継機は,中継機 3 である.このとき,中継機 3 は中継機 1,2 どちらを選択しても M_3 の値が等しくなるが,この場合もランダムでどちらかを次中継機として決定する.今回の例では,中継機 3 の次中継機を中継機 1 として説明を続ける.経路決定後,中継機 4 が次中継機 1 とする場合の利用中継機数 U_1 が増加するため式(1)の再計算を行う.再計算後は図 5 の状態になる.

図 5 において,候補 4,5 で式(1)が最小の中継機は中継機 5 である.そのため中継機 5 の次中継機が中継機 2 に決定し,図 6 の状態になる.最後に,残った候補 4 の経路が中継機 1 に決定し,図 7 のように全中継機の経路が決定する.

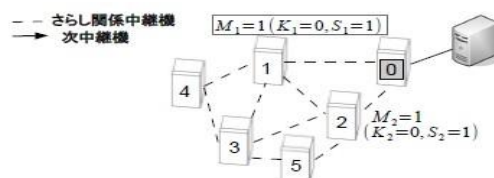


図 2 経路決定開始状態

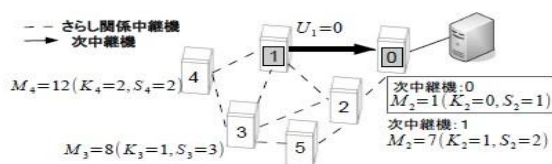


図 3 中継機 1 経路決定後

$$\text{「かくれ数:利用数:さらし数」} = \text{「}w_k:w_s:w_U\text{」} \quad (4)$$

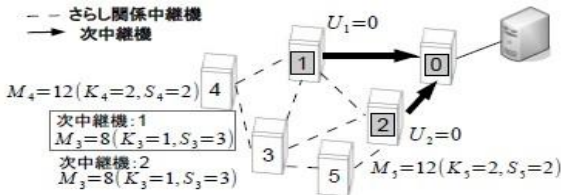


図4 中継機2経路決定後

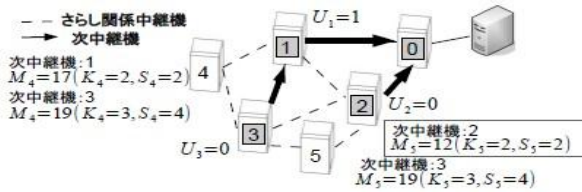


図5 中継機3経路決定後

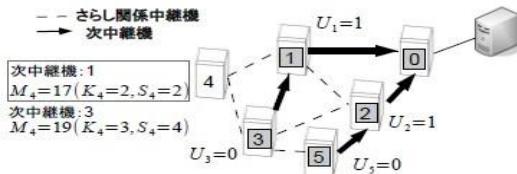


図6 中継機5経路決定後

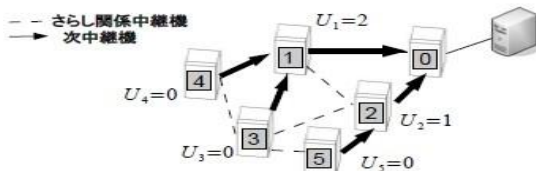


図7 全中継機経路決定後

3 経路決定のためのパラメータの評価方法

今回使用したシミュレーションは長野県塩尻市で運用されている「地域児童見守りシステム」からとれた実際のデータを使い検証を行った。中継機同士の通信状況は「中継機電界強度情報」というものを基に再現した。このデータにより、実際のエリアの中継機網に忠実なものの上でシミュレーションを行った。これにより、実際に起きる可能性のあるかくれ端末問題やさらし端末問題も考慮した。また、子機の動きも実際の子機のログから移動モデルを作成し、それをシミュレータに適用した。このことにより、子機からのパケット発信が混雑している時間帯や、エリアも再現している。これらのデータを使い、実機からとれるデータに近い結果を算出し、問題の検証を行う。

シミュレータ上では3つのパラメータを重み付けをする変数として扱っている。シミュレータ上でのパラメータの表現方法を次式に示す。

例えば、式(4)で「かくれ数:次中継機利用数:さらし数」=「2:1:1」と設定すれば、かくれ数を他の2つのパラメータに比べ2倍重要視するということである。

先行研究ではある地域において「5:1:1」「5:1:5」などがパケット損失率を低減する値として提案された。ここでこれらの数字にはどんな意味や役割や経路構築に及ぼす影響があるのかを見出すことで、今後、パケット損失率が低くなるような最適なパラメータの設定方法を見つけ出す。今回はパラメータの意味や利点、副作用等を中心に述べていく。

先行研究ではある特定のトポロジーにおいて各パラメータを設定していた。今回はそれぞれのパラメータの役割や経路決定に及ぼす影響を調べるためにそれぞれの値を極端にして、その時の経路やパケット損失率を求め考察をする。

また、シミュレーションをするにあたり、様々な条件を設定した。今回は実際に長野県塩尻市にある洗馬小学校の中継機網とこの小学校に通う児童の2011年9月1日の動向(子機のログ)を基にシミュレーションを行った。このエリアの中継機網を図8に示す。このエリアには35台の中継機が存在している。親機は黄色で表しており、洗馬小学校内に存在している。



図8 洗馬小学校の中継機網

このエリアを選択した理由としては、他のエリアと比べてパラメータ変更によって、構築された経路やパケット損失率に大きな違いがみられたためである。また、子機のログについては、子機のログが残っている約3年分のログを調べた中で、一番子機台数が多かったためである。

今回は、「かくれ数:次中継機利用数:さらし数」の関係を「100:1:1」、「1:100:1」、「1:1:100」と極端に設定し、それぞれのパラメータの意味と経路構築時の影響を調べた。

4 評価結果

今回は先行研究で扱っていたエリアとは別のエリアでシミュレーションを行った。また、シミュレーション時の条件として子機が発信するパケット送信間隔を15sとした。これは非常に短いパケット発信間隔であり、パケットの輻輳を起こし、パケット損失率に差異が生じるようにしたためである。その他の条件は3章で説明した通りである。

4.1 かくれ数を重視した場合

パラメータ1はかくれ端末問題を起こす中継機数を考慮したパラメータである。

経路構築時の特徴

図9のようになるべくかくれ端末問題が起きないような経路が構築される。0は親機であり、1から9は中継機番号である。図9の中継機1,2のように親機に近い中継機は経路が集中するため、かくれ端末関係が発生する。しかし、他の部分では他のパラメータを重視したときよりはかくれ端末関係は起こらない。比較的バランスのとれた経路が形成される。また、図8で示した実際の中継機網の概略図での経路を図10に示す。

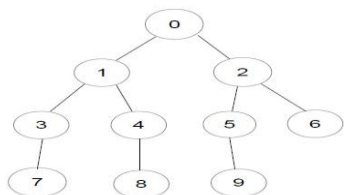


図9 かくれ重視した時に現れる特徴的な経路

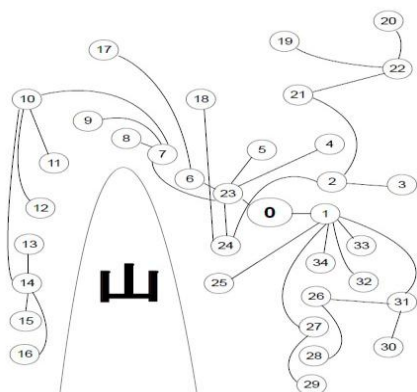


図10 かくれ重視した時の実際の中継機網

図10のように親機(番号0)から末端の中継機に広がっていくような経路が構築される。

メリット

かくれ端末問題が起こる確率の高い中継機に負荷を集中させないため、その分パケットの損失が減少す

る。パケット損失率は約15%とひどくパケットが失われているわけではない。

デメリット

中継機同士はそれぞれ自身の中継機とさらし関係である中継機のさらし一覧表を持っており、その中継機の中のものと同タイミングでパケットの転送を行ってしまうとお互いに干渉しあってパケット損失の原因となる。そのため経路上では繋がっていてもお互いに通信状況が見えている中継機同士のかくれ端末問題が発生する。この問題を考慮できていない。

4.2 さらし数を重視した場合

パラメータ2はさらし端末問題を起こす中継機数を考慮したパラメータである。

経路構築時の特徴

図11のようになるべくさらし関係が起きないような経路が構築される。

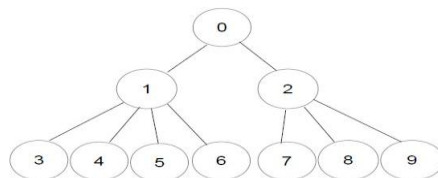


図11 さらし重視した時に現れる特徴的な経路

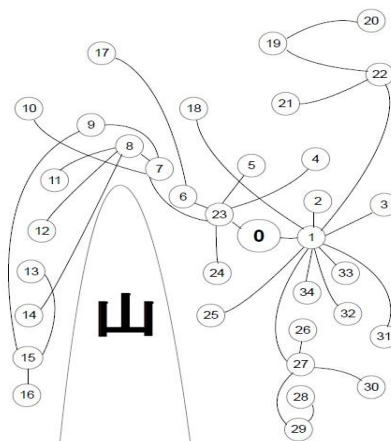


図12 さらし重視した時の実際の中継機網

4.1でも説明したとおり、親機近くの中継機には経路が集中してしまう。また、その中継機において多くのかくれ端末関係が発生する。しかし、他の部分ではさらし関係の中継機は減少する。また、図8で示した実際の中継機網での経路を図12に示す。さらし重視の経路はかくれ重視の経路に比べると中継機同士の通信が遠回りをしている箇所が見受けられるが、親機までのホップ数は小さくなっている。

メリット

経路が、ある特定のの中継機に集中してしまうが、さらに関係の中継機が減少しているため全体的にホップ数が最小な経路が構築される。ホップ数が小さくなることでパケットが損失する確率も低くなる。またパケット損失率は約 12%とそれほど大きな値ではない。

デメリット

経路上でかくれ関係の多い中継機が発生してしまい、パケット損失の原因となってしまう。また、経路上では繋がっていてもお互いに通信状況が見えている中継機同士のかくれ端末問題を考慮できていない。

4.3 次中継機利用数を重視した場合

パラメータ 3 は次中継機を利用する中継機数を考慮したパラメータである。

経路構築時の特徴

特定のの中継機に負荷が集中しないような経路を構築すると図 13 のような線状の経路になってしまう。図 8 で示した実際の中継機網での経路を図 14 に示す。

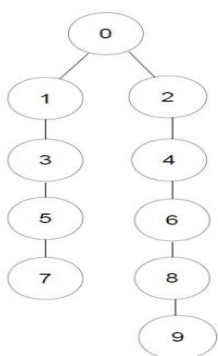


図 13 利用中継機数を重視した時に現れる特徴的な経路

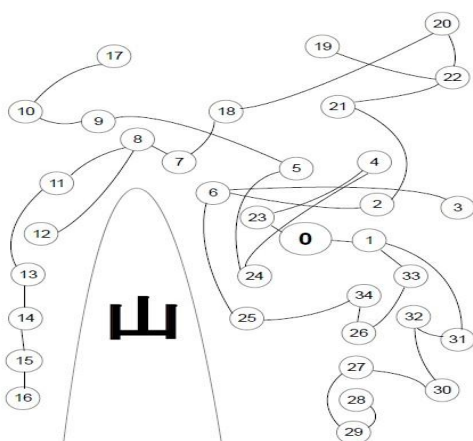


図 14 利用中継機数を重視した時の実際の中継機網

図 14 のように次中継機を利用する中継機数を重視した経路はかくれ重視、さらに重視の経路と比べ、遠くの中継機と通信をするなど不効率な経路を構築してしまう。中継機間のかくれ端末関係、さらに端末関係は少ないが、直線状の経路が形成される。

メリット

特定のの中継機に負荷が集中しないような経路が構築される。

デメリット

特定のの中継機に負荷が集中しないようにしても、経路末端の中継機からの負荷が累積して、結局負荷が集中してしまう中継機が存在する。また、経路上では繋がっていてもお互いにキャリアが見える中継機同士でもかくれ端末問題が起こってしまう。そのことによっても負荷が集中する中継機が発生する。また、パケット損失率は約 51%と非常に多くのパケットが失われてしまう。このパラメータを重視すると、他のパラメータを重視した時よりもパケット損失が著しく増加する。

5 まとめと今後の課題

本研究では先行研究での経路決定方法で提案された各パラメータを重視した時のメリット、デメリット、また、経路構築に及ぼす影響を調べた。調べるにあたり中継機の通信状況や子機の移動等の実際の塩尻市のシステム環境を再現するシミュレータを用いた。シミュレータを用いて調査した結果、各パラメータの特徴をつかむことができた。

今後は様々なエリアにおいて、最適なパラメータの設定方法などを解明することで、よりパケット損失率が低くなるような経路構築を目指したアルゴリズムを見つけていきたいと考えている。

謝 辞

本研究の一部は、総務省戦力的情報通信研究開発推進制度「災害状況を遠隔地から把握するセンサーネットワークのための災害に柔軟に対応する通信インフラシステムの研究開発(142304006)」(H26~H28)の助成を受けて行われた。

文 献

- [1] 黒柳 大治, アサノ デービッド, 鈴木 彦文, 不破 泰, 「土砂災害予測センサーネットワークにおける隠れ端末間の衝突回避プロトコルの研究」, February, 2012
- [2] 唐沢 真一, アサノ デービッド, 鈴木 彦文, 不破 泰 「地域児童見守りシステムにおける経路決定方法の提案と実環境での評価」, February 2013