

メタデータを用いたモバイルアドホック ネットワークにおける情報発見・交換手法に関する検討

金 玲[†] 亀山 渉[‡]

† ‡ 早稲田大学大学院国際情報通信研究科

〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10 早大 29-7 号館

E-mail: † t01a1324@mn.waseda.ac.jp, ‡ wataru@waseda.jp

あらまし 本稿は、アドホックネットワークを構築している各ノード間の情報発見・交換に焦点を当てる。本稿では、アドホックネットワークは統一管理する固定のサーバが存在せず、ノードの移動によって頻繁にセッションの切断が起こるといふアドホックネットワークにおける特有な問題点を克服するための方法として、メタデータを用いて効率的な情報交換を行う手法を提案する。情報発見・交換をモデル化したシミュレーションを行った結果、情報発見に必要なメタデータのサイズが情報交換に与える影響が非常に大きいことが分かった。即ち、交換するメタデータのサイズが大きいと情報取得の確率が高いが、メタデータの処理時間、ノードの移動などによる影響で、必ずしも情報交換の成功率が高いとは言えないことから、メタデータを階層的に伝送する方式を提案し、その方式によって情報交換の成功率が上がることをシミュレーションにより検証した。

キーワード モバイルアドホックネットワーク、メタデータ、情報発見、情報交換

Efficient Information Exchange for Mobile Ad-hoc Networks Using Metadata

Jin Ling[†] Wataru Kameyama[‡]

† Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

29-7 building, 1-3-10 Nishi-Waseda Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 Japan

E-mail: † t01a1324@mh.waseda.ac.jp, ‡ wataru@waseda.jp

Abstract This paper proposes an efficient information exchange method using metadata to be used in ad-hoc networks where no fixed centric servers exist and sessions among nodes cannot be guaranteed due to the moving of each node, that is essential characteristics ad-hoc networks employ. Several simulation results show that the size of the metadata is an important factor to get the information exchange efficiency. Because the size of metadata corresponds to the granularities of target information to be exchanged, generally, more metadata is exchanged, higher success rate of information exchange is achieved, however, this is not the case of ad-hoc networks due to the node mobility. Therefore, a layered-metadata transmission method is proposed in this paper. According to the simulation results, the proposed method gives much higher success rate of information exchange.

Keywords Mobile Ad-Hoc Networks, Metadata, Information Discovery, Information Exchange

1. はじめに

アドホックネットワークは既存のネットワークインフラストラクチャを用いず、移動体にルータの機能を持たせ、複数の移動体のみの一時的なネットワークを動的に構築するネットワークである。アドホックネットワークには、移動体の移動に伴って、ネットワークトポロジの変化が激しいという問題点があるため、ノード間でのルーティングテーブルから相手がどのような情報を持っているかに至るまでの様々な情報交換の効率性が求められる[1]。本稿では、上記の后者、即ち最終的な情報交換に焦点を当てる。

現在 TV Anytime Forum[2]や MPEG7[3]などによって標準化が進められているメタデータは、情報の主な特徴を示した構造化されたデータとして、膨大な情報の中から目的の情報を検索するために使用される。個々の情報にメタデータを付けることにより、情報のプロファイルをよりの確に反映できるため、効率的な検索が可能となる。また、メタデータを階層的に構造化することによって、データアクセスにも利便性をもたらすことができる。即ち、メタデータを用いる情報検索は、正確かつ効率的に欲しい情報の取得を可能とするといえる。

しかし、膨大な情報に対してのメタデータのサイズは決して少なくはない。メタデータの内容にもよるが、TV Anytime と MPEG7 に従って記述してみた一つの映画番組のメタデータでもサイズが約 10KB~15KB で、100 個分まとめた映画番組のメタデータは約 900KB までに至ったことから、メタデータの交換が必ずしも情報交換に効率性をもたらすとは限らないと考えられる。そこでメタデータを階層的に伝送する方法がアドホックネットワークでの情報交換に適しているのではないかと考えた。

本稿では、情報交換において効率性を求めるアドホックネットワークで、各モバイルノードはメタデータ交換を行って、アドホックネットワークでの情報検索及び交換を実現することによって、可動性のある特別なネットワークの中で効率的に信頼できる情報交換が行われるのではないかと考え、メタデータを用いた情報交換について検討を行った。

2. システムモデル

2.1. 情報交換方式

モバイルアドホックネットワークでの情報交換の手順を以下に示す。また本稿では、ファイル要求を行うノードを受信ノード、ファイル提供を行うノードを送信ノードとよぶ。

1. 受信ノードは送信ノードの探索のため、自分の

無線通信範囲内を監視する。

2. 無線通信範囲内の複数のノードのうち一番近いノードを選んで送信ノードとし、メタデータの交換を行う。
3. 送信ノードからもらったメタデータから、送信ノードが自分の欲しいファイルを持っているかいないかの判断を行う。
4. 欲しいファイルがあると判断した場合には、ファイル要求とそれに伴ったファイル交換を行う。
5. 欲しいファイルがないと判断した場合には、送信ノードからもらったメタデータを廃棄するとともに、ファイル取得に成功するまでファイル交換対象取得のため、自分の無線通信範囲内を監視し続ける。

また、各ノードは必要な情報を蓄積するためのキャッシュメモリを保持している。ここでいう必要な情報とは、メタデータの交換を行ったが、自分の欲しい情報をもっていない送信ノード情報である。このキャッシュ情報は次回の受信ノード探索時の対象外ターゲットを参照するのに利用する。即ち、キャッシュ情報に蓄積されてあるノードは、次回のメタデータ、ファイル交換対象から外される。キャッシュ情報は一定の期間後に周期的にリフレッシュされる。

2.2. ノードの状態遷移

情報交換において、各ノードの状態遷移を図 1 に示す。開始時の送信ノードの状態は *Passive*、受信ノードの状態は *Active* である。受信ノードは自分の無線通信範囲内にいる送信ノードを見つけてメタデータ交換を行う場合には、受信ノードの状態は *MDDownload* (*MetaDataDownload*) となり、送信ノードの状態は *Busy* に変わる。受信ノードが送信ノードからもらったメタデータから、欲しい情報を持っていると判断した場合、送信ノードの状態は *Busy* のままで、受信ノードの状態は *FileDownload* に変わる。欲しい情報を持っていないと判断した場合、受信ノードも送信ノードも初期状態の *Active* と *Passive* 状態に変わる。情報の交換に成功した場合、受信ノードも送信ノードも状態が *Passive*、つまり受信ノードもファイルの提供者になる。失敗した場合には、受信ノードと送信ノードは再び初期状態に戻る。受信ノードは情報検索、交換全般において、一定の時間間隔で送信ノードとの通信状態のチェックを行い、送信ノードとのセッションが切れると、受信ノード、送信ノードともに初期状態に戻る。

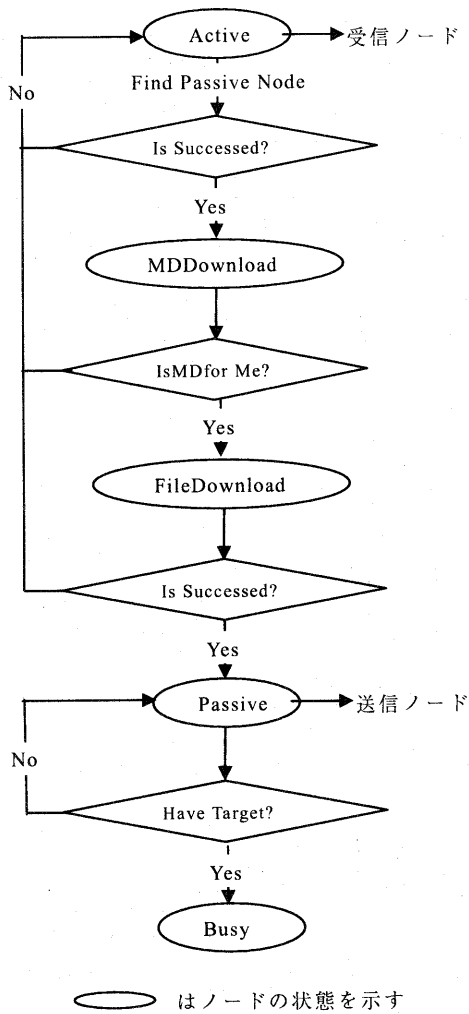


図1：ノード状態遷移図

3. メタデータ交換モデル

アドホックネットワークにおいて情報交換のためのメタデータ交換に対してモデル化を行うために、本稿では階層伝送を考える上で、3階層の二分木構造のメタデータをモデルとして取り上げた。このモデルでは、欲しい情報は必ず木のリーフノードにあると仮定した。

3.1. 完全伝送方式

図2のPattern(1)に示したのが「完全伝送方式」のモデルである。「完全伝送方式」とは、メタデータの構造とは関係なく、一回で全部伝送する方式である。一回のメタデータ交換を通じて、欲しい情報があるかないかの判断がすぐできるというメリットがある。

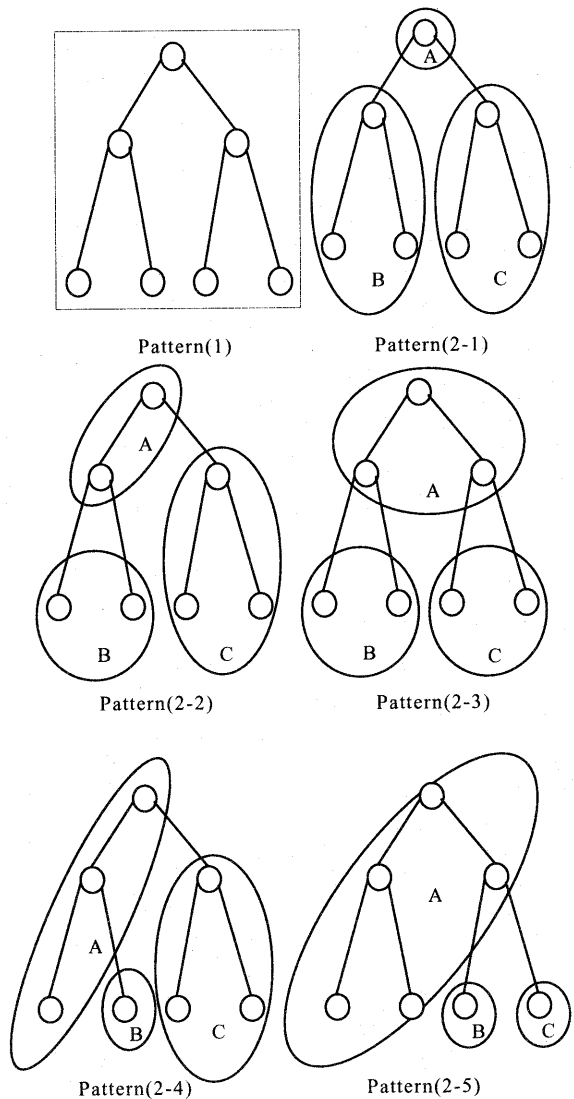


図2：メタデータ交換モデルでの各パターン

3.2. 階層伝送方式

図2のPattern(2-1)~Pattern(2-5)に示したのが、本稿での提案方式である「階層伝送方式」の各階層伝送モデルである。「階層伝送方式」は「完全伝送方式」とは違って、メタデータを全部伝送するのではなく、いくつかの部分に分けて伝送する方式である。本稿では、メタデータ全体を三つのブロックに分けるのと、欲しい情報があるかないかが分かるには、多くても2回の検索でたどりつけると仮定した。この仮定によって、階層伝送方式は図2に示したように、五つのパターン

に分けることができる。

各パターンでの伝送方法は下記のとおりである。まず、送信ノードはツリーのルートを含む A ブロックを伝送する。A ブロックをもらおうと、受信ノードの欲しい情報をもとに、ツリー構造の解析方法に従って、次に送信すべきブロックの判断を行う。送信すべきブロックが分かる場合にはそのブロックを、分からない場合には、左部分のブロックから右部分のブロックといった順番で伝送する。従って、Pattern(2-2)、Pattern(2-3)、Pattern(2-4)では、A ブロックから欲しい情報があるパスが分かるため、次には B 又は C ブロックの伝送を行えばいいが、Pattern(2-1)と Pattern(2-5)では、欲しい情報があるパスが分からないとし、まず B ブロックの伝送を行い、B ブロックにも欲しい情報がなかったら、次に C ブロックを伝送する。このようにして階層伝送方式では、欲しい情報にたどりつくことができる。

また欲しい情報がない場合でも、本稿では 2 回の伝送を経て、即ちリーフノードを含むブロックの伝送を行ってから、欲しい情報がないことを分かると仮定した。

4. シミュレーション条件

シミュレーションを行う際に、以下の条件を仮定する。

- 1 Hop 通信を想定する。
2. ノード間のセッション切断はノード間の距離によるものとする。
3. メタデータのリフレッシュを考慮しない。
4. ノードのキャッシュ情報を入れるバッファサイズを制限しない。

また、二つの伝送方式において、それぞれ各受信ノードが行った処理の結果として、以下の表 1 に示した四つの項目の割合をシミュレーションによって得られる性能指標として、検討することとした。

表 1：性能指標（割合）

Metadata 交換	情報交換	割合 (%)
○	○	a
○	△	b
○	×	c
×	—	d

○：成功 ×：失敗 △：必要なし
割合：それぞれの項目が占める割合

表 1 の項目を具体的に説明すると、以下のようである。

1. a：情報交換が成功した割合

受信ノードと送信ノードとの通信で、メタデータ交換から欲しい情報交換まで成功した割合を表す。

2. b：情報交換を必要としない割合
メタデータ交換は成功したが、欲しい情報がないので、情報交換を行わなかった割合を表す。
3. c：情報交換が失敗した割合
メタデータ交換が成功して、欲しい情報があるので情報交換を行ったが、交換に失敗した割合を表す。
4. d：メタデータ交換が失敗した割合
メタデータ交換を行ったが、途中で失敗したため、情報交換もできなくなった割合を表す。

次にシミュレーションで使用したパラメータを表 2、表 3 に示す。

表 2：共通シミュレーションパラメータ

シミュレーションエリア	3000[m]×3000[m]
ノード数	100
スロットタイム	50ms
ノードの移動速度	4[km/h]
無線通信範囲	200[m]
通信速度	2[mbps]
メタデータ処理速度	100[ms/kb]
交換ファイルサイズ	3[mbyte]

表 3：階層伝送方式における各ブロックサイズ

Pattern	A	B	C
2-1	70kb	210kb	210kb
2-2	140kb	140kb	210kb
2-3	210kb	140kb	140kb
2-4	210kb	70kb	210kb
2-5	350kb	70kb	70kb

表 2 に示したように、シミュレーション環境として、まず、シミュレーションエリア内にランダムに 100 個のノードを配置し、各ノードはランダムに平均速度 4km/h で、与えられた目的地を向かって移動する。シミュレーション開始時には、50 個のノードを送信ノード、50 個のノードを受信ノードとする。交換するファイルは 1 つで、サイズは 3 MB に限定し、受信ノードの 50% がこのファイルを持っていることにする。スロットタイム 50ms 毎に各受信ノードは、新しい送信ノードの取得、又は通信中の送信ノードの位置チェックを行いながら、メタデータ又はファイルの交換を行う。通信ビットレートとノード間通信範囲は IEEE802.11b に準拠した物とした。但し、ビットレートは、実際には通信における様々なレイヤでのオーバーヘッドを考慮し、200Kbps とした。通信範囲においては、障害物の影響などを考慮して 300m を 200m とした。また、パ

ケット伝送モデルは、ノード間の距離が無線通信範囲以内であれば、100パーセントのケット交換率であり、距離が無線通信範囲を超えるとケット交換が行えないとした。メタデータの処理時間はメタデータサイズに比例すると仮定し、比例係数を100ms/kbと仮定した。

また、表3ではメタデータ階層伝送モデルにおけるメタデータの各伝送ブロックのサイズを示す。全体のメタデータサイズを500kbとし、メタデータはツリーの各ノードに均等に割当てると仮定した。

5. シミュレーション結果と考察

メタデータサイズが情報交換に与える影響、またメタデータの完全伝送方式と階層伝送方式が情報交換成功率に及ぼす影響を比較し、結果に対する考察を述べる。

5.1. メタデータ完全伝送モデル

図3は、完全伝送モデルにおいて、交換するメタデータサイズの変更によって、表1で示した四つの項目の割合の値がどのように変化するかについて示したものである。

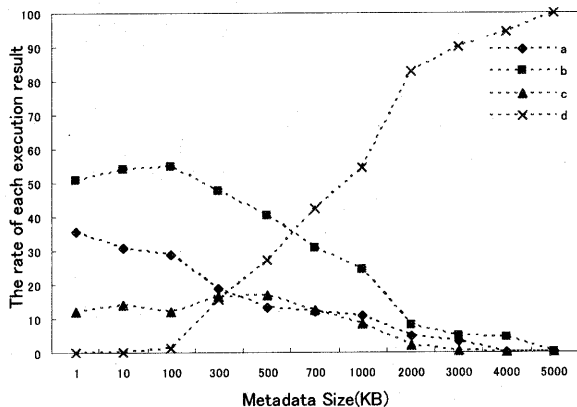


図3：メタデータ完全伝送モデル

まず、情報交換成功率を表す指標 a の結果として、メタデータサイズが増加することによって、a の値が低下していくことが分かる。

指標 a の値が低下していく原因は、指標 b、指標 c、指標 d の合計値の増加によるものと考えられるが、図3を見ると、指標 a が低いときは指標 d の値が大きくなっている。つまりメタデータ交換失敗によるファイル交換の失敗を表す指標 d が、メタデータサイズの増加によって急激に大きくなる。メタデータサイズが1kの時dの値が0で、メタデータ交換は100%成功することになる。メタデータサイズの増加によって、d

の値が急激に増加し、1MBからは50%以上が交換できなくなり、5Mbyteではメタデータ交換が100%失敗してしまう。メタデータサイズの増加によるマシンのメタデータ処理時間増加と伝送時間の増加が、送信ノードとのセッションの切断を起こすため、指標 a が影響を受けて低下するといえる。

本稿での情報交換が成功するには、まずはメタデータ交換が成功する必要がある。メタデータの交換が失敗すると、情報交換が行われる可能性は100%なくなるからである。つまりメタデータ交換の成功率が、情報交換成功率にかかわる最も重要な要因である。

この結果から、メタデータ交換を利用した情報交換方式では、メタデータのサイズが小さいほど情報交換の成功率が高くなるのが分かるが、小さいメタデータからは欲しい情報を得る確率が低くなるため、情報交換の成功率は低下してしまう。以上のことから、伝送するメタデータサイズにはある最適値があることが分かる。

5.2. メタデータ階層伝送モデル

図4は、伝送するメタデータサイズが500KBの時、図2で示した階層伝送方式での五つのパターンと完全伝送方式を使って、表1で示した指標を計算した結果を表す。

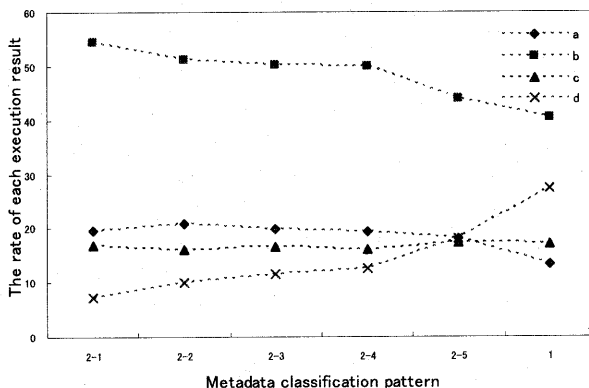


図4：メタデータ階層伝送モデル

まず、ファイル交換成功率を表す指標 a の値をみると、階層伝送方式の Pattern(2-1)~Pattern(2-5)までのそれぞれのパターンが、完全伝送方式の Pattern(1)と比べて、全部高くなっていることが分かる。階層伝送方式での Pattern(2-2)は a の値が 20.91%として最も高く、Pattern(1)での 13.26%と比べると、約 7.5%高い。a の値が最も低い Pattern(2-5)でさえも、Pattern(1)と比べると、約 4.8%高い。またメタデータ交換失敗率を表す指標 d から、Pattern(1)のほうが Pattern(2)の平均値と比べ

て約15%高いことから、階層伝送方式での指標dの値の減少が、指標aの向上を達成さブロック重要な要因であることが分かる。つまりファイル交換の階層伝送方式は完全伝送方式と比べてファイル交換の成功率を向上させるのに有効であることが分かる。

また4.1.で述べたように、dの値は交換するメタデータサイズの増加によって大きくなる。メタデータのサイズが1~100KBの小さいときには、完全伝送方式でもdの値は小さいので、dの値がファイル交換に与える影響が二つの方式でそれほど差がないと思われる。この結果から、メタデータを用いたファイル交換において、メタデータのサイズが大きくなるほど分解伝送方式が適切になってくることが分かる。

6. まとめと今後の課題

本稿では、モバイルアドホックネットワークで1Hop通信の前提で、メタデータを用いたファイル交換に着目し、メタデータサイズがファイル交換に与える影響をシミュレーションによって検証した。更に、メタデータ検索による階層伝送方式がメタデータ完全伝送方式よりファイル交換の成功率がよくなることをシミュレーションにより明らかにした。

また、本稿で提案したメタデータ階層伝送方式では、メタデータの構造とその伝送方法において、単純な分割方法にのみ焦点をあててシミュレーションを行ったため、階層伝送方式での最も効率のいい伝送パターンを十分に導くことはできなかった。

今後の課題としては、これらの問題を解決したうえで、別の階層伝送方式においてもシミュレーションによる検証を行い、さらに、アドホックネットワーク独特な特性であるマルチホップ通信で、メタデータ階層伝送モデルがどのようにファイル交換成功率に影響を与えるかを詳しく調査し、最終的にはアドホックネットワークに最も適切なメタデータ構造とその通信手法を導きたい。

文 献

- [1] Siddhartha K. Goel, Manish Singh, Dongyan Xu, "Efficient Peer-to-Peer Data Dissemination in Mobile Ad-Hoc Networks"
- [2] <http://www.tv-anytime.org/>
- [3] ISO/IEC 15938, "Multimedia Description Interface"