

# モバイルアドホックネットワークにおける メンバ間公平性保証方式の基礎検討

鈴木貴也\* 石川貴史† 石原進‡ 水野忠則‡

\*静岡大学大学院情報学研究科 †静岡大学大学院理工学研究科 ‡静岡大学情報学部

モバイル端末の普及とネットワークゲームやオークションの一般化により、即応性の要求されるアプリケーションのモバイルアドホックネットワークへの展開が期待される。即応性の要求されるネットワークアプリケーションにおいて問題となる遅延差による不公平性は、メンバ間公平性保証方式 ICEGEM (Impartial Communication Environment for Game Members) のようにサーバを利用して公平性を保証する方式に基づいて不公平性の調停を行う端末 (調停役) の導入により吸収可能である。しかしながら、トポロジ変化によって調停役がネットワークの端に位置してしまうと余分な通信遅延が発生し、アプリケーションの即応性が損なわれる。本報告ではモバイルアドホックネットワークのトポロジ変化に着目し、調停役をトポロジに応じてネットワークの中心付近の端末と交代させ、アプリケーションの即応性を向上させる方式について基礎検討を行った。

## A Basic study of Impartial Communication Environment on Mobile Ad Hoc Network

Yoshinari Suzuki\* Takashi Ishikawa † Susumu Ishihara ‡ Tadanori Mizuno ‡

\*Graduate School of Information, †Graduate School of Science and Engineering, ‡Faculty of Information,  
Shizuoka University

Because of the widely use of mobile terminals and the popularization of online games and auctions, applications that needed fast responsiveness will be used on mobile ad hoc networks. The unfairness problem of fast responsive-needed applications, which arise from the differential of access delay, can be detected by using a Mediating-Terminal (a terminal mediating the unfairness between mobile terminals take advantage of ICEGEM (Impartial Communication Environment for Game Members)). However, responsiveness of applications will be lost when a Mediated-Terminal happen to be located at the edge of the network. In this paper, we propose a method to increase responsiveness of applications which works on ICEGEM on mobile ad hoc network. The feature of the method is changing a node which have the mediating function on topology change.

### 1 はじめに

ノート型パソコンやPDA, 携帯電話といったモバイル端末が普及して来ている。また、ネットワーク上でのゲームやオークションなど、ユーザの入力に対して迅速な反応が求められる (即応性の要求される) ようなネットワークアプリケーションが一般化しつつあり、今後はモバイル端末を利用した無線通信によるネットワークへの進出が予想される。一方、Bluetooth[7] や HomeRF[8] など、モバイルアドホックネットワークを実現可能な環境が整いつつある。以上のような状況から、モバイルアドホックネットワーク上でも即応性の要求されるアプリケーションが展開されるものと思われる。

サーバ・クライアントモデルによる即応性が要求されるネットワークアプリケーションでは、メンバ間の遅延差のばらつきによる不公平性が問題となる。

不公平性を解消する方式の一つにサーバにおいて順序制御を行う方式であるメンバ間公平性保証方式 ICEGEM (Impartial Communication Environment for Game Member) [1] がある。本研究では ICEGEM

に基づく順序制御を想定しており、固定サーバに代わって順序制御を行う端末を調停役と呼ぶ。

ICEGEM の導入によりモバイルアドホックネットワークにおいても不公平性は吸収される。しかしながら、端末の移動により調停役がネットワークの端に位置してしまうと調停役-メンバ間の通信に余分な遅延が発生し、アプリケーションの即応性を損なわせる。

本論文では端末の移動によるトポロジ変化に着目し、調停役をトポロジに応じてネットワークの中心付近のメンバと交代させ、アプリケーションの即応性を向上させる方式を提案した。また、端末がランダムに移動するモデルのシミュレーションにより、提案方式の有効性を評価した。

### 2 メンバ間公平性保証方式

サーバ・クライアント型のアプリケーションの場合、サーバとの物理的な距離や使用可能な通信回線によってサーバとメンバとの間の通信遅延に格差が生じ (図1), サーバからすべてのメンバに対し同時刻に送信さ

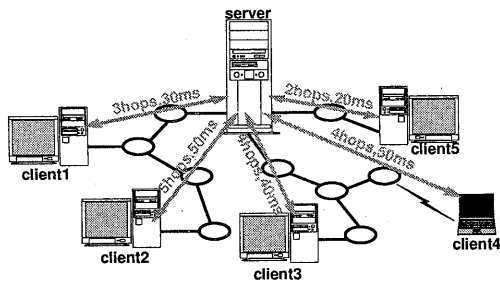


図1 サーバとクライアントの距離と通信遅延

れたメッセージでも到着する時刻はメンバによって異なる、というような不公平が生じる。

メンバ間公平性保証方式 ICEGEM[1] はサーバでの順序制御により前述のような不公平性を調停する方式である。サーバに到着した時刻ではなく、メンバの反応時間の長さによって順序制御を行う点が他の方式と異なる。

サーバで順序制御を行うためにはサーバからメンバへ送られるイベントに対するメンバの応答をサーバが待たなければならない。しかしながら、待ち時間を長く取りすぎるとアプリケーションの即応性が損なわれる。逆に待ち時間が短すぎると公平性が保たれなくなる。また、ネットワークの状況の変化によっても適切な待ち時間は異なる。

そのため、ICEGEM ではメンバの反応時間とトラヒックの状況を参考にして動的に待ち合わせ時間を設定している。さらに、サーバでの待ち合わせ期限に間に合わないような状況ではクライアントはサーバへの送信を行わないという方法により、トラヒックの軽減をはかっている。

### 3 モバイルアドホックネットワークにおけるメンバ間公平性保証方式

#### 3.1 概要

モバイルアドホックネットワークに ICEGEM を導入するには、ネットワークを構成する端末のうちいずれかが不公平性の調停を行えば良い。本方式ではこのような端末を調停役と呼ぶ。

ICEGEM の導入により即応性の要求されるアプリケーションの公平性が保証される。しかしながら、端末の移動によるトポロジ変化のために調停役とメンバとの平均距離が大きくなると通信遅延も大きくなり、アプリケーションの即応性が損なわれる。

全てのメンバからの遅延の平均値が最小となる位置

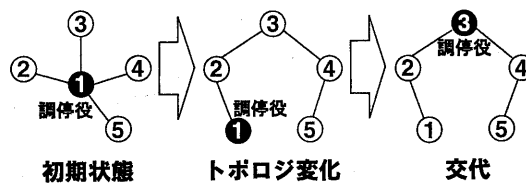


図2 提案方式の概念図

はネットワークの中心である。よって、ネットワークの中心付近に位置する端末が調停役を行うのが望ましい。

しかしながら、モバイルアドホックネットワークではトポロジの変化に伴ってネットワークの中心も変化する。そのため、同一の端末が常に調停役として最適であるということはない。そこで、ネットワークの中心付近に存在する端末が調停役となるようにトポロジに応じて調停役を交代させる方式を提案した (図2)。

#### 3.2 前提条件とその検証

本方式では以下のような条件を前提としている。

- 条件 1. メンバは同一のアプリケーションを利用する

本方式ではいずれかのメンバが調停役を行わなければならない。そのためには、メンバによって使用するアプリケーションに差異があってはならない。

- 条件 2. 全てのメッセージは調停役のアドレスを保持する

全てのメッセージが調停役のネットワークにおけるアドレスを持つことにより、メンバは最新の調停役を容易に知ることができる。

- 条件 3. 調停役へ送信されるメッセージは全て送信元から宛先までの経路を保持する

本方式では調停役が経路情報を用いてネットワーク全体のトポロジを知り、次の調停役を決定する。DSR[5] などを利用すればメンバから調停役へ送信されるメッセージからネットワークのトポロジを知ることができる。

- 条件 4. 調停役はマルチキャストによりメンバにメッセージを配信する

調停役は他の全てのメンバに対して後述のようなメッセージを送信しなければならない。マルチキャスト通信に対応したプロトコル [4][5] を利用すれば、メッセージ送信に関する調停役の負荷を軽減させることができる。

- 条件 5. 調停役は自分が属するグループの全域木の核を求めることができる

本方式では現在の調停役が新しい調停役を決定する。調停役は全域木の核 [6] にあたる端末であるといえる。調停役はトポロジ情報から全域木をつくり、核を発見する。核の具体的な発見方法については後述する。

### 3.3 メンバと調停役

アドホックネットワークを構築し、即応性が要求されるネットワークアプリケーションに参加しているモバイル端末がメンバである。全てのメンバはいつでも調停役となることができる。

メンバは次のような機能を有する。

1. ユーザの反応時間（入力受付が開始されてから入力があるまでの時間）の計測
  2. ユーザの入力により生じた変更（データの差分）及びユーザの反応時間の調停役への送信
  3. 調停役から送信されるメッセージの最新の到着時間間隔（最新の待ち合わせ時間）の計測及び保持
- 調停役もメンバであるので、一般のメンバと同様の機能を有する。また、調停役は一つのネットワーク内のメンバの中から一つだけ選ばれ、次のような機能を有する。

1. ICEGEM に基づく公平性保証
2. 上りメッセージのたどった経路に基づくトポロジの把握
3. 核の導出

### 3.4 メッセージの種類

本方式では2種類のメッセージを使用する。一つは上りメッセージであり、もう一つは下りメッセージである。

- 上りメッセージ  
上りメッセージはメンバから調停役へ送信されるメッセージで、次のような情報を含んでいる。
  - ユーザの入力
  - ユーザの反応速度
  - 調停役のアドレス
- 下りメッセージ  
下りメッセージは調停役からメンバへマルチキャストされるメッセージである。下りメッセージは次のような情報を含んでいる。

- 上りメッセージに対する順序制御の結果
- 調停役のアドレス

### 3.5 メッセージの基本的な流れ

メッセージの基本的な流れをクイズゲームの例で説明する。

図3のようなアドホックネットワークでクイズゲームが行われているとする。今、 $N$  問目の問題まで出題され、調停役を含むそれぞれのメンバはユーザからの入力を待っているところである。

- i) ユーザの入力があると、メンバはユーザの入力と反応時間を上りメッセージとして調停役へ送信する。
- ii) 調停役はある待ち合わせ時間  $T$  だけメンバからの上りメッセージの到着を待つ。
- iii) 調停役は  $N-1$  回目の下りメッセージ送信から  $T$  以内に到着した上りメッセージに対して順序制御を行い、その結果を  $N$  回目の下りメッセージとしてメンバにマルチキャストする。
- iv) 下りメッセージを受信したメンバは、ユーザに  $N+1$  問目の問題を出題し、ユーザの入力を待つ。

以上がメッセージの基本的な流れとなる。

### 3.6 交代の流れ

調停役は上りメッセージに含まれる経路情報から全域木を構築し、核となっているメンバを調べる。自分以外のメンバが核となっていた場合、現在の調停役は核となっているメンバと調停役を交代しなければならない。

現調停役は下りメッセージの調停役アドレスを核となっているメンバのアドレスとしてマルチキャストし、

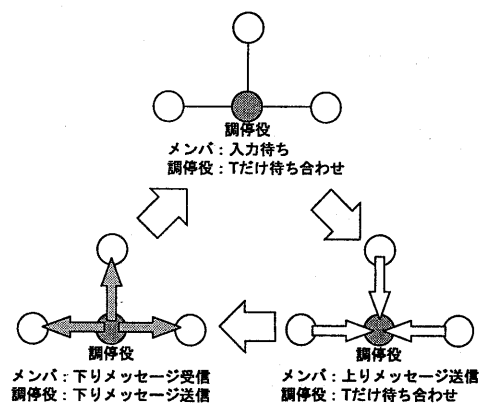


図3 メッセージの基本的な流れ

調停役の交代を通知する。メンバは下りメッセージが示す調停役へメッセージを送ろうとするので、次の上りメッセージは新しい調停役へ送信される。

一方、核となったメンバは、調停役アドレスに自分のアドレスが入れている下りメッセージか自分宛の上りメッセージを受信したときに自分が核であることを知る。核となっているメンバは自分が核であることを認知してから調停役として待ち合わせを開始し、保持している「直前の待ち合わせ時間」だけメンバからのメッセージを受け付ける。

### 3.7 核の発見

核の発見に至る基本的な考え方は次のようになっている(図5)。調停役はネットワークのトポロジを全域木として保持している。よって、「ネットワークの端」のノード(一つしかリンクを持たないノード)から一段ずつ消去して行けば、最後に核が残る。

## 4 評価

### 4.1 シミュレーションモデル

シミュレーションには図6のようなモデルを使用した。10×10の格子上に10個のモバイル端末(メンバ)が孤立や重なりがないようにランダムに配置される。端末の通信範囲は全て4.5で、互いが通信範囲内に入っている端末同士のみ通信可能である。距離をキーとする順位優先探索により端末をノードとする最小木(minimum spanning tree)を構築し、その辺を経路とする。また、各端末はこの経路を利用してユニキャスト通信を行う

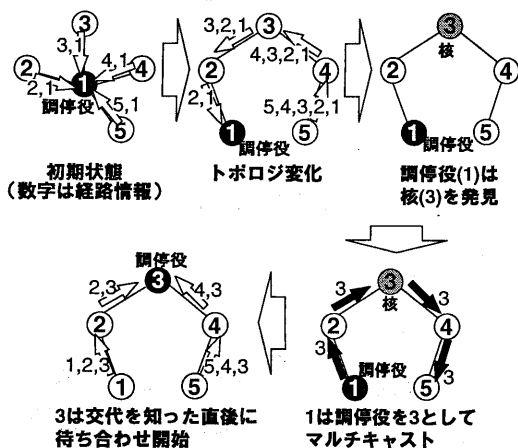


図4 調停役交代の流れ

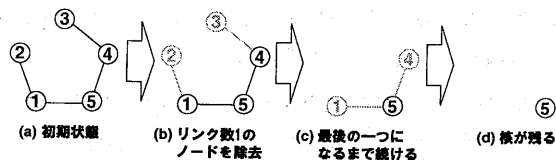


図5 核発見の流れ

ものとする。

各端末はメンバが上りメッセージを送信する前と送信した後に確率  $P$  で移動する。移動先は斜め方向を含む隣接する8つの格子点からランダムに選ばれる。但し、移動先に他の端末がいる場合や格子の端にいる端末が枠を越えて移動しようとした場合は移動先を決め直す。

全端末に対して一度だけ移動の判定を行った後、他のどの端末とも通信できない端末が存在したり、通信範囲により端末が複数のグループに分断されるような場合は、全端末が移動をやり直す。

### 4.2 ホップ数の比較

メッセージのホップ数が少なければ送信元と宛先との距離も小さくなりアプリケーションの即応性が向上する、という観点から、提案方式を用いた場合と用いなかった場合とについて調停役とメンバの間で交換されるメッセージのホップ数を比較した。

#### 4.2.1 上りメッセージのホップ数

上りのメッセージのホップ数を計測した結果を図7に示す。

横軸を全端末の移動確率、縦軸を各端末における1

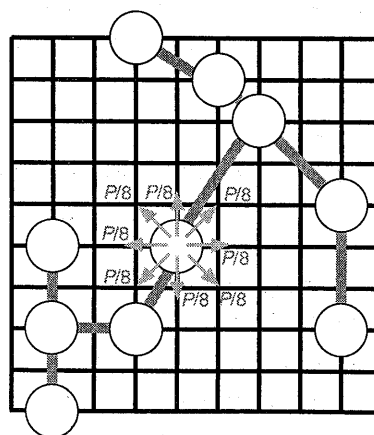


図6 シミュレーションモデル

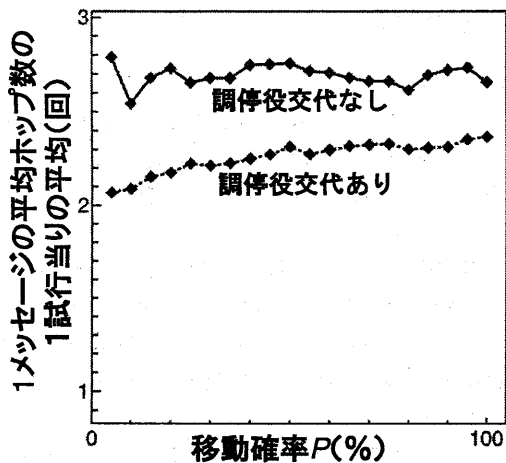


図7 上りメッセージの平均ホップ数

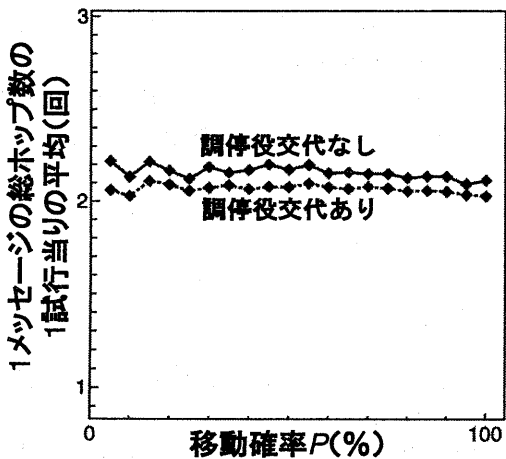


図8 下りメッセージのホップ数

メッセージ当りの平均ホップ数を 1200 回計測した平均値とした。図中で調停役交代ありはトポロジに応じて調停役を交代させた場合を示し、調停役交代なしは交代させなかった場合を示している。

図7より明らかに調停役を交代させた方が平均ホップ数が少なくなっており、上りメッセージの場合における提案方式の有効性が示されたといえる

調停役を交代させた場合では、移動確率が高くなると平均ホップ数も大きくなっている。移動確率が高くなると調停役導出前と導出後でトポロジの変化が大きくなり、導出された調停役と調停役として適切な端末とが一致しなくなる可能性が高まるためと考えられる。

#### 4.2.2 下りメッセージのホップ数

上りメッセージと同様に下りメッセージのホップ数を計測した。その結果を図8に示す。

横軸を全端末の移動確率、縦軸を1メッセージ当りの総ホップ数を 1200 回計測した平均値とした。図中

で調停役交代ありはトポロジに応じて調停役を交代させた場合を示し、調停役交代なしは交代させなかった場合を示している。

図8より、下りメッセージの場合においても調停役を交代させた方がホップ数が少なくなっており、提案方式の有効性が示されたと言える。

下りメッセージは上りの場合とは異なり移動確率による影響が少ないように見える。これは、通信範囲(4.5)に対して移動可能範囲(10×10)が狭いために比較的少ないホップ数で全端末にメッセージが行き届いてしまっているためであると考えられる。

### 4.3 移動可能範囲の影響の検証

本節では4.1節のモデルの格子を20×20に拡大し、端末の移動可能範囲と提案方式の関係を検証する。

#### 4.3.1 上りメッセージのホップ数

横軸を全端末の移動確率、縦軸を各端末における1メッセージ当りの平均ホップ数を 1200 回計測した平均値とした。その結果を図9に示す。図中で調停役交代ありはトポロジに応じて調停役を交代させた場合を示し、調停役交代なしは交代させなかった場合を示している。

図より調停役交代ありの方がホップ数が少なくなっていることがわかる。

図9と図7とを比較すると、格子が広がったために全体的にホップ数が多くなっている。しかしながら、交代ありの場合となしの場合のホップ数の開きには大きな差は見られないことから、移動可能範囲が提案方式に与える影響は小さいと言える。

#### 4.3.2 下りメッセージのホップ数

4.3.1と同様にして計測した。その結果を図10に示す。横軸を全端末の移動確率、縦軸を1メッセージ当りの総ホップ数を 1200 回計測した平均値とした。図中で調停役交代ありはトポロジに応じて調停役を交代させた場合を示し、調停役交代なしは交代させなかった場合を示している。

図10より、調停役を交替させた方がホップ数が少なくなっており、ここでも本方式の有効性が示されたと言える。

図10と図8と比較すると、全体的にホップ数が多くなっていることに加え、調停役が交替する場合としな

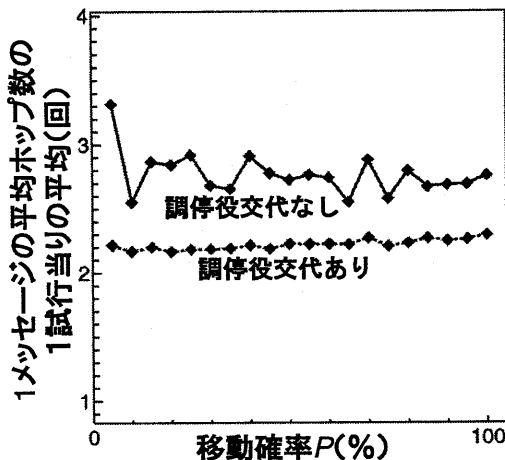


図9 20 × 20 の格子における上りメッセージの平均ホップ数

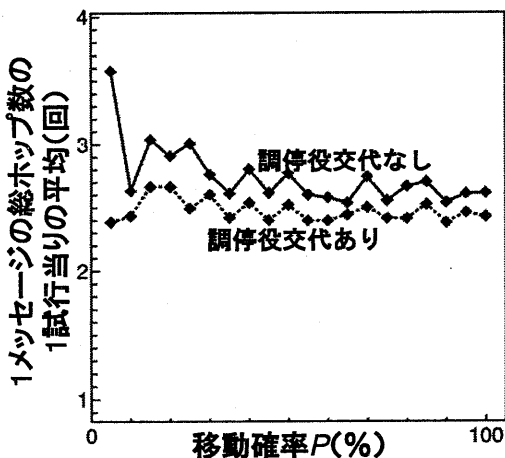


図10 20 × 20 の格子における下りメッセージのホップ数

い場合との差が大きくなっていることがわかる。これは、移動の自由度が増加したために調停役とメンバとの平均的な距離が大きくなり、全端末にメッセージが到着するまでにより多くのホップを要するようになったために、提案方式による効果が表れやすくなったためと考えられる。

#### 4.4 まとめ

以上の結果から、移動確率や移動可能範囲やメッセージの種類によらず、調停役の交代を行った方が行わなかった場合よりもホップ数が低くなっていることが分かり、次のような条件下での提案方式の有効性が示された。

- 全てのリンクは両方向リンクである
- 端末が孤立したりグループが分裂することはない
- 交代相手(新しい調停役)導出の計算時間が十分短い

## 5 おわりに

メンバ間公平性保証方式をモバイルアドホックネットワーク上で効率良く機能させるために、順序制御を行う端末である調停役がトポロジに応じてネットワークの中心に近い端末と交代する方式を提案し、シミュレーションにより評価した。シミュレーションでは端末の移動確率や移動可能範囲を変化させ、提案方式を用いた場合と用いなかった場合についてメッセージのホップ数を比較した。その結果、一定条件下において移動確率や移動可能範囲に関係なく提案方式が有効であることを示すことができた。

提案方式によりメッセージの平均ホップ数が小さくなり、アプリケーションの即応性の向上が期待される。しかしながら、調停役導出の計算コストや調停役の切断などの問題点が存在する。

今後はシミュレーションにおける端末の移動範囲を広げる、シミュレーションに明確な時間の概念を導入する、端末のグループからの脱退・グループへの加入の考慮、実装、などの課題を解決していきたい。

## 参考文献

- [1] 石川 貴士, 石原 進, 井手口 哲夫, 水野 忠則: リアルタイム性の強いネットワークアプリケーションの公平性を保証した通信方式の提案, 情報処理学会第 59 回全国大会 講演論文集 (分冊 3), pp. 551-552, (1999).
- [2] 桑子 純一, 瀬崎 薫: 分散環境におけるメディア同期, 信学技報, pp.67-72, (1998)
- [3] David A. Maltz and Josh Broch: Wireless Ad Hoc Networking Protocols. *Mobicom'99 Tutorial3*, (1999.8.15)
- [4] Charles E. Perkins: Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. *Internet-Draft, draft-ietf-manet-aodv-03.txt*, (1999.6.25)
- [5] Josh Broch, David B. Johnson, David A. Maltz: The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks. *Internet-Draft, draft-ietf-manet-dsr-03.txt*, (1999.10.22).
- [6] A. Ballardie: Core Based Tree (CBT) Multicast Routing Architecture. RFC2201, (1997.9).
- [7] bluetooth: <http://www.bluetooth.com>
- [8] HomeRF: <http://www.home-rf.com>