

Mesh Network を利用した通信における ユーザ行動に基づく通信品質の評価 ～プライシングによる通信方式の提案～

市川 貴久^{†1} 奥田 隆史^{†2}
井手口 哲夫^{†2} 田 学軍^{†2}

無線技術の発展に伴い、ユビキタスネットワーク社会の到来が期待されている。現在注目されている次世代無線技術としては Mesh Network がある。Mesh Network¹⁾ の通信方法には、ユーザ端末のみが相互に接続する「Ad-hoc Mode」と、アクセスポイント (AP) を設置することで、各ユーザ端末だけでは通信が困難な場合は AP を経由して通信を行う「Mixed Mode」がある。このようなネットワーク通信では、ユーザの自由な行動により、ネットワークトポロジが刻々と変化するため、通信経路の割当てが困難となりサービスを安定的に提供できない可能性がある。そのため、通信品質を向上させる仕組みが求められ、あらかじめ通信品質を評価する必要がある。そこで本研究では、プライシング (中継処理を行ったユーザに対し「中継ポイント」というインセンティブを付与する) により、ユーザが積極的に中継処理を行うような方式を提案し、ユーザをエージェントとして捉え、ユーザの行動をプロスペクト理論により表現したモデルで通信品質の評価を行う。

An estimation method of network quality based on user behavior in mesh network

TAKAHISA ICHIKAWA,^{†1} TAKASHI OKUDA,^{†2} TETSUO IDEGUCHI^{†2}
and XUEJUN TIAN^{†2}

Minimal configuration and quick deployment make ad hoc networks suitable for emergency situations like natural or human-induced disasters, military conflicts, emergency medical situations etc. In these wireless ad-hoc network systems, the network topology are vary depending the potion of actual node such as PDAs and PCs. In general, it is difficult to configure any network topology using the actual node in a real environment ad-hoc network and evaluate performance of network. In our previous study, we have proposed a performance evaluation method for evaluating connection rate and pricing cost of the entire network system by using the agent based approach. In this paper, we apply the agent based approach to the mixed mode ad-hoc network to design pricing and pointing model for ad hoc network application service.

1. はじめに

我が国におけるインターネット利用者数は、2006年未までの統計によると約 8754 万人、人口普及率は

68.5% と推定されている²⁾。利用端末状況は、パソコンと携帯電話等の両端末を利用している人が 6099 人 (前年比 25.4% 増) で、パソコンのみを利用している人は 1627 万人 (前年比 2.6% 増)、携帯電話等のみを利用している人は 688 万人 (前年比 64.2% 減) となっており、近年モバイル化が更に進展している。

無線通信の通信可能範囲は数十メートルから数百メートル程度であるため、広範囲にわたって無線 LAN を提供する場合、複数のアクセスポイント (以下、AP) を設置する必要がある。一般的に AP 間の接続にはパッ

^{†1} 愛知県立大学大学院 情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

^{†2} 愛知県立大学 情報科学部 地域情報科学科

Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

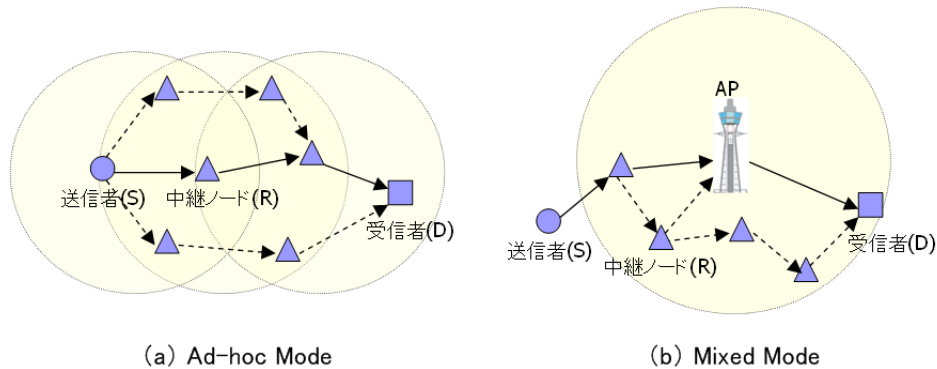


図 1 Ad-hoc Mode と Mixed Mode

クーポンとして有線設備が必要となるため、設備に変更がある場合に柔軟性や拡張性に欠けるという課題がある。

このような課題を解決するために、AP 間の接続も無線通信で実現するネットワーク形態である「Mesh Network¹⁾」と呼ばれる次世代無線通信技術が注目されている。Mesh Network は、ADSL や FTTH 等の高速インターネットサービスを提供することができない地域に、ブロードバンド環境を実現するという目的で考えられたネットワークである。

現在では、米軍の兵士同士の通信手段として実用化が進められている。今後、「いつでも、どこでも、何でも、誰でも」ネットワークに接続することができるユビキタスネットワーク社会(図 2)の到来に向けて、新たな無線技術として期待されている。

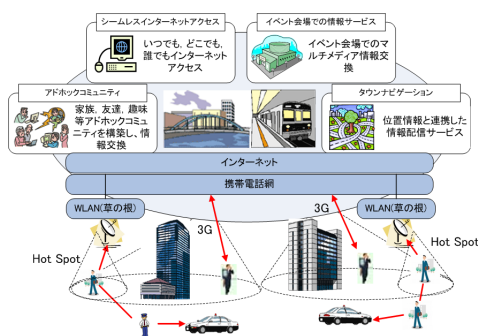


図 2 ユビキタスネットワーク社会の例

Mesh Network には、各ユーザ端末のみでネットワークを構築する「Ad-hoc Mode」と、数箇所に AP を設置することで、各ユーザ端末だけでは通信が困難な場合は AP を経由して通信を行う「Mixed Mode」がある。このようなネットワーク通信では、多くの問

題や課題を抱えているため^{3),4)}、様々な研究がなされている。例えば、各端末のバッテリー電力には限界があるため、電力を効率よく利用しながらスループットを向上させるためのサービス等が研究されている^{5),6)}。

Mesh Network の最大の特徴であるユーザの自由な行動(例えば、データ送信時には中継要求を中継ノードに依頼するが、中継側の立場になった場合、バッテリー消費や PC への負荷を考え、中継を拒否する)により、ネットワークポロジが刻々と変化するため、通信経路の割当が困難となりサービスを安定的に提供できない可能性がある。そのため、通信品質を向上させる仕組みが求められ、あらかじめ通信品質を評価する必要がある。

そこで本研究では、プライシング(中継処理を行ったユーザに対し「中継ポイント」というインセンティブを付与する)により、ユーザが積極的に中継処理を行うような方式を提案するために、

1. ユーザの行動を表現するために、人間の行動を表現する理論である「プロスペクト理論⁷⁾⁻⁹⁾」を利用する、
 2. ユーザをエージェントとして捉え表現
- の 2 点を考慮に入れたモデルでネットワーク全体の通信品質を評価する。以下、2 節では、ユーザをエージェントとして捉え表現するエージェントベースモデリング¹⁰⁾について説明する。3 節では、Ad-hoc Mode および Mixed Mode での通信品質の評価を行う。最後に 4 節で、まとめる。

2. エージェントベースモデリング

Ad-hoc Mode のネットワークでは、送信者 (S) が受信者 (D) と通信を行う際、両ユーザが同一の通信エリア内に存在しない場合、中継ノード (R) を介して

通信を行う (図 1(a)). 一方, Mixed Mode のネットワークでは, 従来のネットワークインフラとして利用されている AP を設置し, 各ユーザ端末だけでは通信できない場合は AP を経由して通信を行う (図 1(b)).

両 Mode において, サービスを安定的に提供するためには高い接続率を維持する必要がある. そのためには, 実際にネットワークポロジを形成するユーザの協力的な行動 (積極的な中継処理) が不可欠となる. 本研究では, ユーザに対してインセンティブを設けることでユーザの協力的意欲を引き出そうと考えている. インセンティブとして, 中継ポイント制の導入を想定している. 中継ポイント制とは, ネットワーク管理者が, 中継に貢献したユーザにポイント (以下, GP) を提供するものである. GP には 2 種類あり,

- ユーザが確実に獲得できるポイント α
- ユーザが確率的に獲得できるポイント β

とする.

本研究では, 図 1 のようなネットワークシステムを表現するために, ネットワーク利用環境を Env , 各ユーザを Agt としたマルチエージェントシステム $S = \{Env, Agt\}$ として捉える^{(11)–(16)}. ここで, Env は, ネットワークを展開する規模 $Area[m^2]$ と, $Area$ 内に存在するユーザ数 $User$ で規定する. Agt は, 送信者 (Sa) と受信者 (Da), AP (APa), および中継ノード (Ra) の 4 種類のエージェントとする.

以下に各エージェントの属性についてまとめる.

Sa, Da, APa エージェントの属性

Sa, Da, APa エージェントは, 現在位置 (以下, $PI(x, y)$), 通信可能な距離 (以下, CA) を属性としてもつ. 各エージェントは位置を固定とし, 移動を一切行わないものとする. また, Sa は Da に対し, 常時データ送信要求をするものとし, Da は常時受信可能な状態とする.

Ra エージェントの属性

Ra エージェントは, $PI(x, y)$, CA に加えて, 接続時間帯 (以下, LT), バッテリー状況 (以下, BC), 参照点 (以下, RP), 所持ポイント (以下, $Point$) を属性としてもつ.

BC は中継処理によって変化し, 充電が完了するまで中継不可能とする. RP は中継可否の判断するための閾値であり, あらかじめユーザに設定されているものとする. また, ある値まで $Point$ が貯まると, 自身の RP が変化する性格をもつものとする.

Ra エージェントの行動パターンを表現するためにプロスペクト理論^{(7)–(9)}を用いる. プロスペクト理論によれば, 人間の行動には, 参照点依存性, 感応度遞

減性, 損失回避性の 3 つの基本的性質があるという. 各性質についての説明は表 1 に示す.

表 1 プロスペクト理論の 3 性質

性質	説明
参照点依存性	物事の価値は各個人によって異なる性質
感応度遞減性	利得局面では危険回避的であり, 損失局面では危険志向的である性質
損失回避性	利得と損失が同額の場合, 損失による不満足は利得による満足よりも大きく感じられる性質

これらの性質のうち, 前者 2 つの性質を反映した Ra エージェントの行動パターンを以下に定義する.

Ra エージェントの行動パターン

1. Ra エージェントは自分の RP と α を比較し, $RP \leq \alpha$ のとき中継許可, $RP > \alpha$ のとき中継拒否とする (参照点依存性).
2. 中継を許可した Ra エージェントの中で, $pc\%$ のエージェントは確実にポイント α を獲得し, $(1 - pc)\%$ のエージェントは β を獲得しようとする (感応度遞減性: 利得局面では危険回避的).
3. β を獲得しようとしたエージェントは, 確率 pg で β を獲得することができ, 確率 $1 - pg$ でポイントを得られない.

上記までにまとめた属性をもとに, 各エージェントの行動パターンアルゴリズムを図 3 に示す.

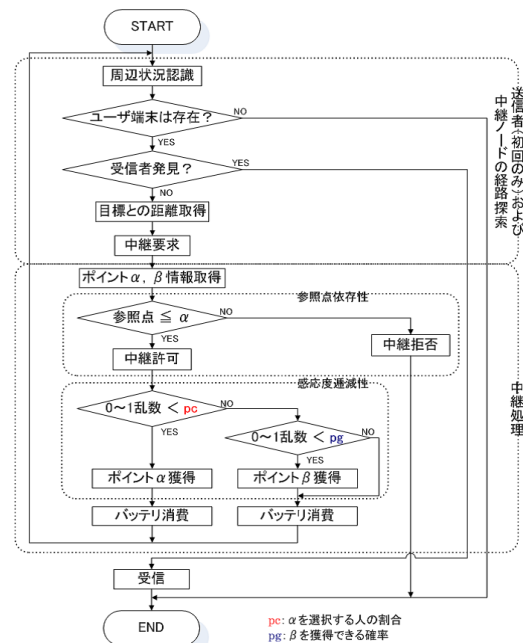


図 3 各エージェントの行動パターンアルゴリズム

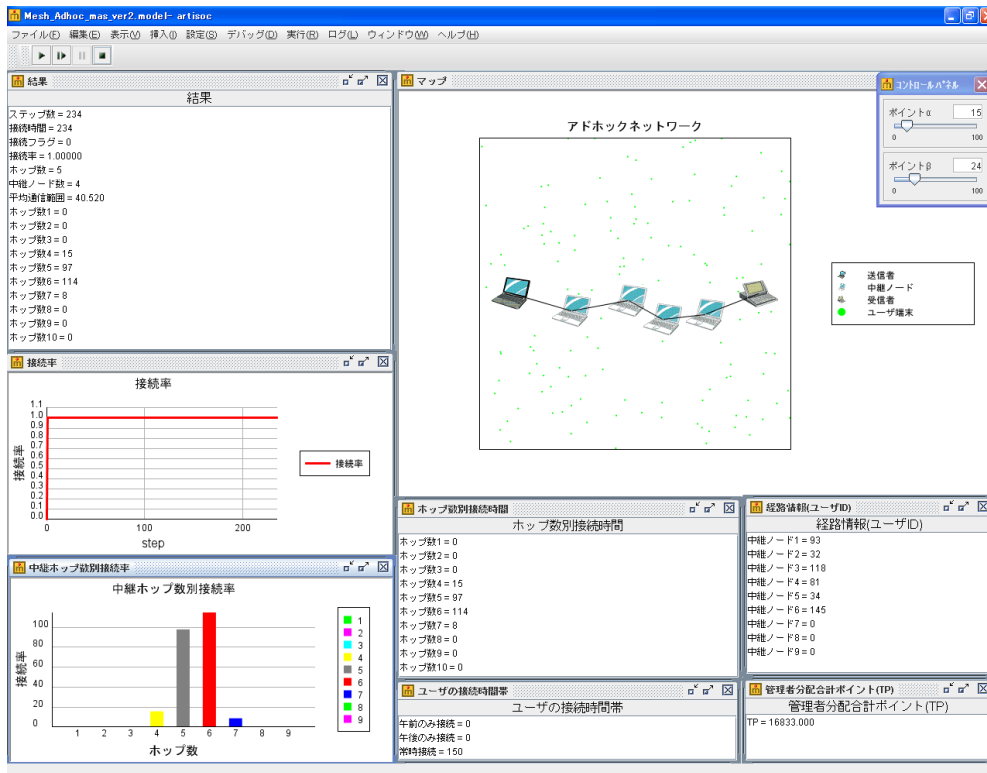


図 4 シミュレーション画面

3. 数 値 例

地方都市 (人口密度: $0.00125 \sim 0.005$ [人 / m^2]) で Mesh Network を用いたサービスを利用することを想定し、両 Mode での接続率、中継ホップ数およびコストについて評価を行う。また、Ad-hoc Mode において無償で中継処理を行うユーザ (以下、 VU) が介在する場合についても評価を行う。

以下、3.1 節では、Ad-hoc Mode の評価を行う。3.2 節では、Mixed Mode の評価を行う。3.3 節では、 VU 介在の場合の評価を行う。3.4 節では、両 Mode の比較を行う。

設定するパラメータと出力項目を表 2、表 3 に示す。両 Mode での共通の設定として、 Env の設定パラメータは、 $Area = 200 \times 200[m^2]$ 、 $User = 50 \sim 200$ [人] とする。

3.1 Ad-hoc Mode

シミュレーション設定

各エージェントの通信半径 CA_{Sa} , CA_{Da} , CA_{Ra} は $30 \sim 50[m]$ (一様分布) とする。 Sa , Da の位置情報は $PI_{Sa} = (20, 100)$, $PI_{Da} = (180, 100)$ とする。 Ra

表 2 設定パラメータ

	設定項目	
Env	地域面積	$Area$
	ユーザ数	$User$
Sa, Da	位置情報	$PI_{Sa}(x, y), PI_{Da}(x, y)$
	通信半径	CA_{Sa}, CA_{Da}
Ra	通信半径	CA_{Ra}
	接続時間帯	LT
	参照点	RP
	バッテリー状況	BC

表 3 出力項目

出力項目	説明
接続率	送受信者間で通信を行うことができた割合
中継ホップ数	送受信者間での中継ホップ数
管理者分配合計ポイント (tp)	ネットワーク管理者がすべての中継ユーザに対し与える中継ポイントの合計 tp は、 $tp = \sum Point$ で求める

の各パラメータ設定は、 LT =常時接続、 $RP=0 \sim 20$ (一様分布)、 $BC=180$ [分](充電は 90 分で完了) とする。 RP の変化するタイミングは、 $Point$ が 100 ポイ

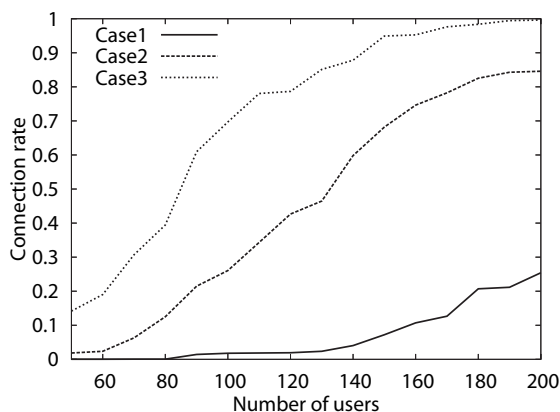


図 5 GP 別接続率 (Ad-hoc Mode)

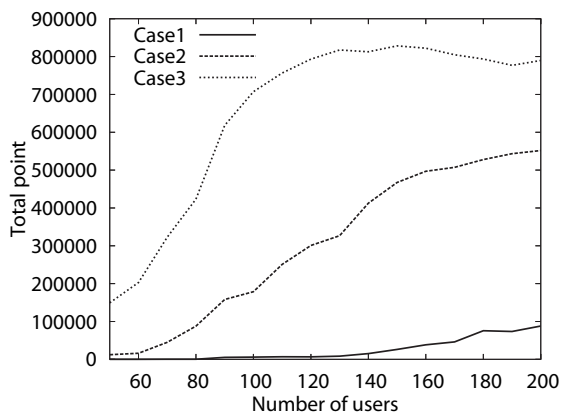


図 6 GP 別 tp(Ad-hoc Mode)

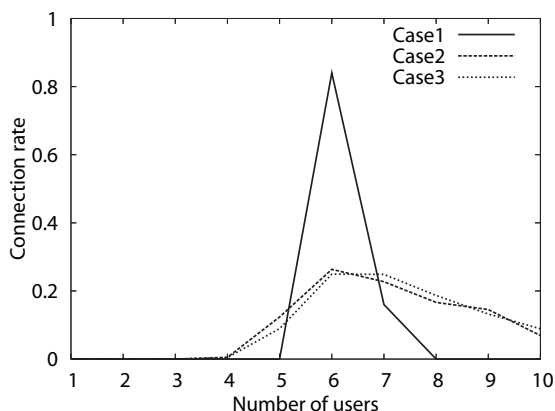


図 7 中継ホップ数別接続率 (長久手町想定)

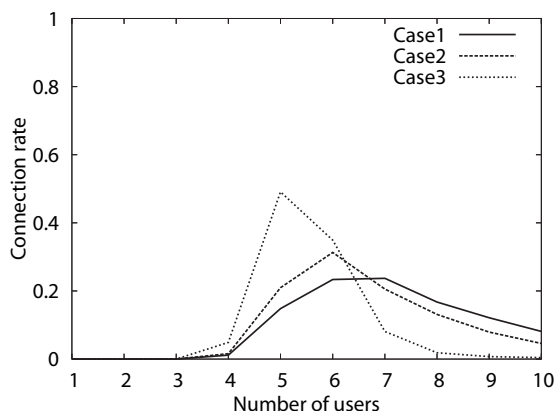


図 8 中継ホップ数別接続率 (大阪府想定)

ント貯まるごとに ± 1 されるものとする．最大ホップ数は 10 とし，ポイント GP は，

Case1: $\alpha = 5, \beta = 8$

Case2: $\alpha = 10, \beta = 16$

Case3: $\alpha = 15, \beta = 24$

の 3 つのケースとする．感応度遞減性に関する確率 pc および pg は 0.8 とする．シミュレーション期間は 30 日間とし，シミュレーション 5 回の平均値を求める．なお，シミュレータはマルチエージェントシミュレータ *artisoc* を利用した．図 4 にシミュレーション画面の様子を示す．

シミュレーション結果と考察

GP 別の接続率を図 5，ネットワーク管理者の分配合計ポイント (以下， tp) を図 6，中継ホップ数 (長久手および大阪府想定) を図 7，図 8 に示す．

図 5，図 6 から，ユーザ数 80 人 (長久手町のイメー

ジ: 0.002 [人 / m^2] に相当) の場合，接続率は Case3 では 50% であり，Case2 の約 2 倍の接続率を維持しているが， tp は Case3 は Case2 の約 3 倍になっていることがわかる．長久手町規模の町で高い接続率を維持するためには，GP を増やすのではなく，CA を広くする等の対策が良いと考えられる．

ユーザ数 190 人 (大阪府のイメージ: 0.00475 [人 / m^2] に相当) の場合，Case2 と Case3 の接続率を見ると，ほぼ 100% 維持しているが， tp を比較すると，Case3 より Case2 のほうが約 23% 少なくなっている．したがって，ネットワーク管理者は，Case2 を選択すれば良いのではないかと考えられる．

図 7，図 8 より，中継ホップ数は長久手町が 7，大阪府が 5~6 が最多である．Ad-hoc Mode では，人口密度の違いによる中継ホップ数への影響が見られる．

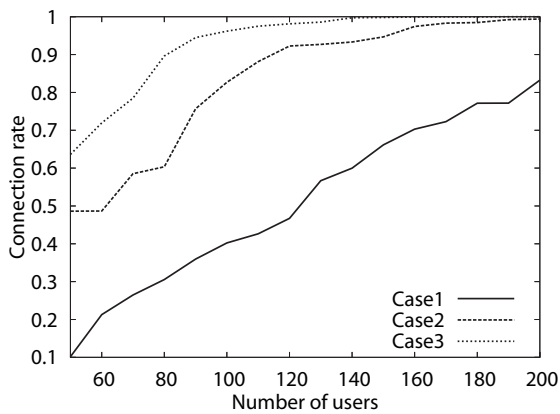


図 9 GP 別接続率 (Mixed Mode)

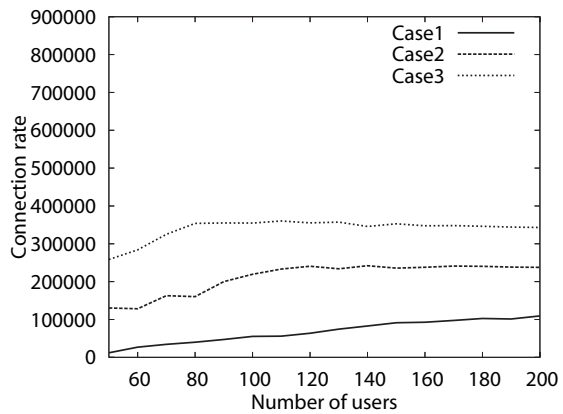


図 10 GP 別 tp (Mixed Mode)

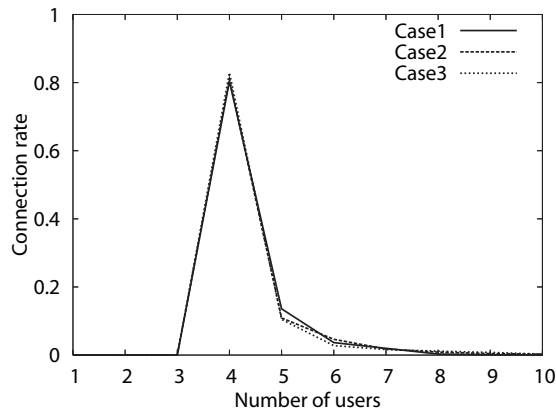


図 11 中継ホップ数別接続率 (長久手町想定)

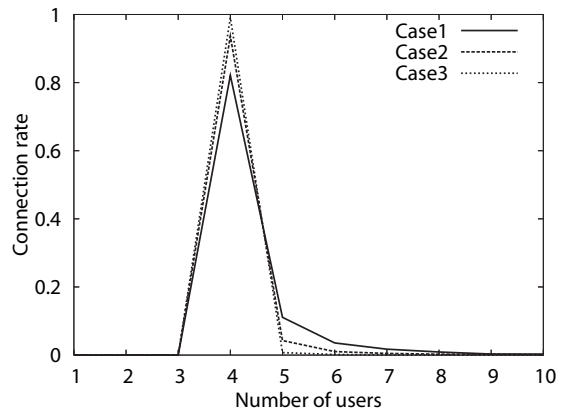


図 12 中継ホップ数別接続率 (大阪府想定)

3.2 Mixed Mode

シミュレーション設定

AP を設置した場合を想定する。図 5 より、人口密度の低い地域では、ユーザに付与するポイントを増加させても高い接続率を維持するには困難であることがわかる。ここでは、AP を設置することにより接続率やコストにどのような変化が見られるかを考察する。AP は 1 台設置し、 APa の通信半径 $CA=70[m]$ とする。その他の設定は、Ad-hoc Mode と同様の設定でシミュレーションを行う。

シミュレーション結果と考察

AP1 台設置時の GP 別接続率を図 9、 tp を図 10、中継ホップ数 (長久手および大阪府想定) を図 11、図 12 に示す。

図 9、図 10 から、ユーザ数 80 人 (長久手町のイメージ: $0.002[人/m^2]$ に相当) の場合、接続率は Case3 では 90%、Case2 では 60% の接続率を維持している

が、 tp は Case3 は Case2 の約 2.2 倍になっている。また、Case1 では tp は低くなっているものの、接続率が 30% 程度であるため期待はできない。

ユーザ数 190 人 (大阪府のイメージ: $0.00475[人/m^2]$ に相当) の場合、Case2 と Case3 の接続率は、ほぼ 100% 維持しているが、 tp を比較すると、Case3 に対して Case2 のほうが約 30% 少なくなっている。したがって、ネットワーク管理者は、低コストで高接続率を維持するためには Case2 を選択すると良いのではないかと考えられる。

図 11、図 12 より、中継ホップ数は長久手町、大阪府ともに 4 ホップに集中しており、人口密度の違いによる影響もほとんど見られないことがわかる。

今回のシミュレーション設定では、AP を 2 台以上設置した場合、送受信者間の通信はすべて AP を経由して行われるため、接続率は 100% であった。

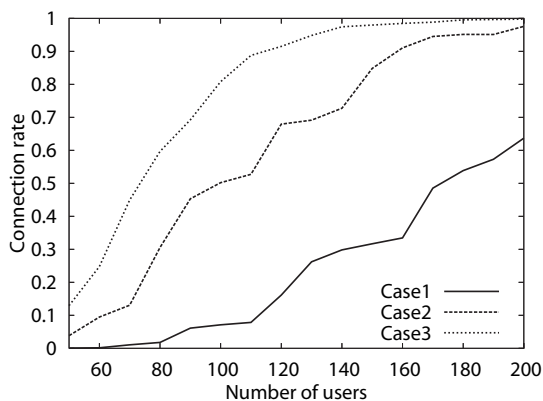


図 13 GP 別接続率 (VU 数=全体の 10%)

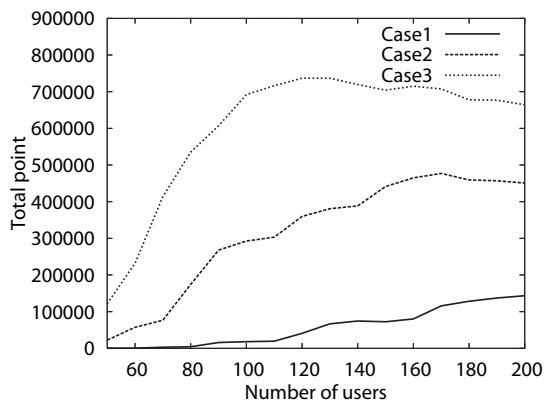


図 14 GP 別 tp (VU 数=全体の 10%)

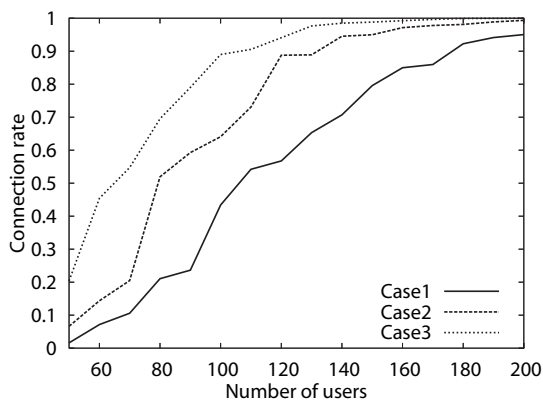


図 15 GP 別接続率 (VU 数=全体の 30%)

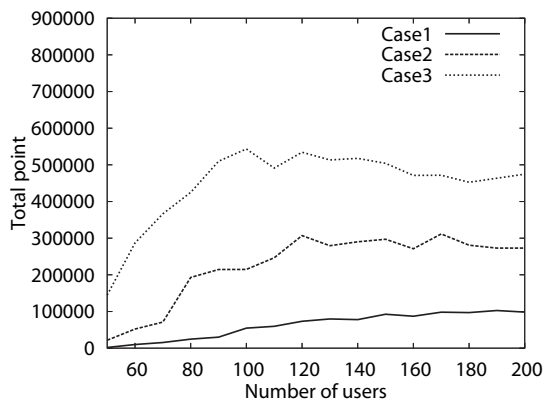


図 16 GP 別 tp (VU 数=全体の 30%)

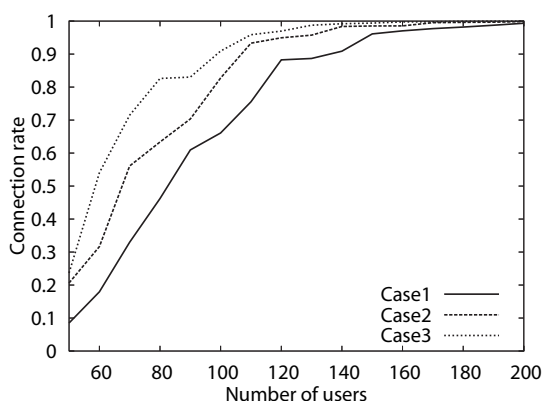


図 17 GP 別接続率 (VU 数=全体の 50%)

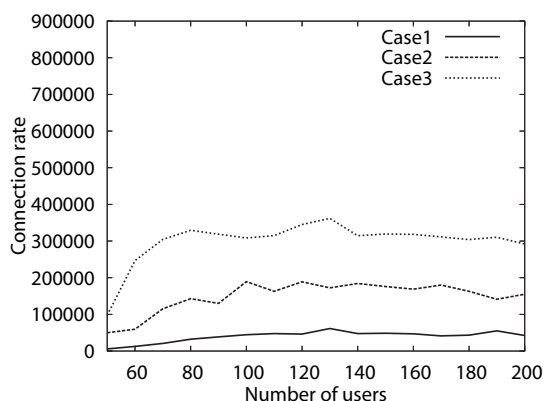


図 18 GP 別 tp (VU 数=全体の 50%)

3.3 献身的な行動をとるユーザの介在

ユーザの中には、無償で中継処理を行うユーザ (VU (*Volunteer User*)) が存在していてもおかしくない。そこで、 VU が混在するケースを想定して評価を行い、各 Mode との比較を行う。

シミュレーション設定

Env 設定は 3 節の数値例 (Ad-hoc Mode) と同様とし、 VU の人数はネットワーク全体に存在するユーザの 10%、30%、50% の 3 種類とする。 VU は他の Ra と異なり、 RP が常に 0 (常時中継処理を行う) と

表 4 Ad-hoc Mode と Mixed Mode の比較

	Mode	ユーザ数 80 人 (長久手町想定：0.002[人/m ²])			ユーザ数 190 人 (大阪府想定：0.00475[人/m ²])		
		接続率	<i>tp</i>	平均ホップ数	接続率	<i>tp</i>	平均ホップ数
Case1	Ad-hoc	0.06%	172	6.16	21.1%	73,522	7.24
	Mixed	30.5%	39,828	4.29	77.2%	109,397	4.30
	VU10%	0.02%	4,266	7.40	53.9%	128,397	7.22
	VU30%	21.1%	24,529	7.41	94.1%	102,529	6.28
	VU50%	46.2%	32,280	7.36	98.8%	54,958	5.82
Case2	Ad-hoc	12.5%	87,636	7.14	84.3%	543,434	6.65
	Mixed	60.3%	160,386	4.33	99.2%	238,470	4.11
	VU10%	30.6%	174,313	7.32	95.1%	456,973	6.39
	VU30%	51.9%	192,949	7.30	98.9%	272,940	5.81
	VU50%	63.3%	142,794	7.18	99.7%	141,219	5.50
Case3	Ad-hoc	39.4%	423,292	7.28	99.5%	776,818	5.56
	Mixed	89.6%	353,932	4.31	100%	344,296	4.01
	VU10%	59.7%	535,008	7.15	99.7%	677,020	5.67
	VU30%	69.5%	424,995	7.09	99.9%	463,427	5.35
	VU50%	82.6%	329,288	6.84	99.9%	310,302	5.35

する．他の設定は *Ra* と同様とする．

シミュレーション結果と考察

接続率および *tp* をそれぞれ、図 13～図 18 に示す．Ad-hoc Mode (VU 介在無し) と比較すると、図 13 と図 5 から、全体的に接続率の上昇が見受けられる．特に Case1 に関しては、人口密度が高くなるにしたがって大幅に上昇している．同様に、図 15 および図 17 を見ると、接続率の大幅な上昇が見受けられる．全体的に見ると接続率は VU10% < VU30% < VU50% という関係になっているため、VU の存在が大きく影響していることがわかる．

また *tp* に関して図 14、図 16、図 18 を図 6 と比較すると、Ad-hoc Mode (VU 介在無し) に対して VU10% の場合約 8% 減、VU30% の場合約 32% 減、VU50% の場合約 55% 減であった．ユーザ全体に対する VU の割合分 *tp* が削減される結果となった．

3.4 Ad-hoc Mode と Mixed Mode の比較

表 4 に Ad-hoc Mode と Mixed Mode の接続率、*tp* についての比較を示す．

接続率は、すべてのケースで Mixed Mode のほうが Ad-hoc Mode よりも高くなっている．一方で、*tp* は Case1 および Case2 の長久手では Mixed Mode のほうが高くなっているが（これは、Ad-hoc Mode の接続率が低いためと考えられる）、その他のケースでは Mixed Mode のほうが Ad-hoc Mode よりも低コストになっていることがわかる．したがって、Case2 の大阪および Case3 においては、Mixed Mode のほうが高接続率・低コストであるため、Mixed Mode が有用であることがわかる．

VU 介在の場合、長久手・大阪ともに VU が増加す

ることで接続率が高くなっている．一方で、*tp* は減少している．特に VU50% の場合、Case1～3 において Mixed Mode よりも高接続率および低コストであることがわかる．したがって、少しでも多くのユーザが献身的な行動をとることによって高接続率および低コストにつながるということがわかる．

4. おわりに

本稿では、Mesh Network(Ad-hoc Mode および Mixed Mode) において安定したネットワークポロジを形成するために、プライシング(中継ポイント制)によるアプローチを提案し、エージェントベースモデリングを利用して評価を行った．評価結果から、AP を 1 台設置することによって、接続率が上昇(特に人口密度の低い地域で)し、ユーザに対するコストの削減や中継ホップ数が安定することを確認した．また、献身的なユーザ(VU)の介在によって Mixed Mode よりも高接続率・低コストを実現できることも示した．

今後の課題としては、人間の行動パターンの詳細化(本研究ではプロスペクト理論を用いたが、ゲーム理論^{17),18})による行動パターンとの比較等)や中継ポイント制の具体化(ポイントの価値をどうするか．例えば、所持ポイントによって中継してもらえ優先順位が高くなる等)、各ユーザの役割分析等が挙げられる．

なお、本研究の一部は、文部科学省平成 19 年度文部科学科学研究費補助金(課題番号 19206044)、平成 19 年度愛知県立大学学長特別教員研究費、平成 19 年度愛知県立大学教育研究センター「共生と地域連携をテーマとした学生自主企画研究」の補助を受けて行われた．

参 考 文 献

- 1) Stefano M. Faccin, Carl Wijting, Jarkko Knecht, Ameya Damle, Mesh WLAN Networks: Concept and System Design, *IEEE Wireless Communications*, 2006, pp.10-17.
- 2) 総務省: 情報通信白書平成19年度版, <http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h19/pdf/19honpen.pdf>, 2006.
- 3) C-K.Toh: アドホックモバイルワイヤレスネットワーク, 構造計画研究所, 2003.
- 4) 蓮池和夫, ソンブラカシュ, バンディオバダイ, 植田哲郎: アドホックネットワークの技術的課題, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-B, No.12, 2002, pp.2007-2014.
- 5) Lei Guo, Xiaoning Ding, Haining Wang, Qun Li, Songqing Chen, Xiaodong Zhang, Cooperative Relay Service in a Wireless LAN, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.25, No.2, pp.355-368, 2007.
- 6) Dusit Niyato, Ekram Hossain, Mohammad M.Rashid, Vijay K.Bhargava, Wireless Sensor Networks with Energy Harvesting Technologies: A Game-Theoretic Approach to Optimal Energy Management, *IEEE Wireless Communications*, 2007, pp.90-96.
- 7) ハーシュ・シェフリン: 行動ファイナンスと投資の心理学 ケースで考える欲望と恐怖の市場行動への影響, 東洋経済新報社, 2005.
- 8) 多田洋介: 行動経済学入門, 日本経済新聞社, 2003.
- 9) 友野典男: 行動経済学 経済は「感情」で動いている, 光文社新書, 2006.
- 10) Charles M.Macal, Michael J.North Agent-Based Modeling and Simulation: Desktop ABMS, *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, 2007, pp.95-106.
- 11) 木下哲男: エージェントシステムの作り方, 電子情報通信学会, 2001.
- 12) 高玉圭樹: マルチエージェント学習 -相互作用の謎に迫る-, コロナ社, 2003.
- 13) 大内東, 山本雅人, 川村秀憲: マルチエージェントシステムの基礎と応用 -複雑系工学の計算パラダイム-, コロナ社, 2002.
- 14) 生天目章: マルチエージェントと複雑系, 森北出版株式会社, 2001.
- 15) 山影進, 服部正太: コンピュータのなかの人口社会 マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系, 構造計画研究所, 2002.
- 16) 山崎重行, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍: エージェントベースモデルによるコンテンツ配信網におけるリクエストパターン生成手法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J89-B, No.12, 2006, pp.2265-2270.

- 17) 横尾真: オークション理論の基礎 ゲーム理論と情報科学の先端領域, 東京電機大学出版局, 2006.
- 18) 前川守: 1000万人のコンピュータ科学 5 社会編 社会の動きをとらえる, 岩波書店, 1997.

付 録

A.1 現状モデルの拡張

現状モデルでは, 送信者 (Sa) は送信のみ, 受信者 (Da) は受信のみ, 中継ノード (Ra) は中継処理のみを行うアルゴリズムになっている. しかし, 実際のネットワーク環境では, 各ユーザ端末が送受信および中継処理を行うことができるはずである. そこで, Sa , Da , Ra の3つのエージェントをユーザ端末 (Ua) として表現したモデルに修正する. Ua エージェントの属性について以下にまとめる.

Ua エージェントの属性

Ua エージェントは, 現在位置 (以下, $PI(x, y)$), 通信可能な距離 (以下, CA), 接続時間帯 (以下, LT), バッテリ状況 (以下, BC), 参照点 (以下, RP), 所持ポイント (以下, $Point$), 現在の行動状態 (以下, BS) を属性としてもつ.

エージェントの移動はランダムとする. BC は中継処理によって変化し, 充電が完了するまで中継不可能とする. RP は中継可否の判断をするための閾値であり, あらかじめ Ua エージェントに設定されているものとする. また, ある値まで $Point$ が貯まると, 自身の RP が変化する性格をもつものとする. BS には, 送信状態, 中継状態, 受信状態, 空き状態の4つとする. 表5に BS の各状態について示す.

表5 Ua エージェントの行動状態

BS	説明
送信状態	周辺のユーザ端末に中継要求を送信する状態
中継状態	送信状態あるいは中継状態のエージェントからの中継要求に対して処理を行うことが可能な状態
受信状態	送信者あるいは中継ノードからの要求に対する待ち状態
空き状態	何も動作がない状態

Ua エージェントの行動パターン

1. BS を更新し, 以下 2.~5. のいずれかの行動をとる.
2. BS =送信状態の場合, 周辺に存在する中継状態のエージェントに中継要求を送信する. 中継状態のエージェントが見つからない場合,
3. BS =中継状態の場合, 送信状態のエージェントからの中継要求に対し, 中継処理を行う.

- (中継処理に関しては、現状モデルと同様)
4. BS =受信状態の場合、要求が到着するまで待つ。
 5. BS =空き状態の場合、何も行動しない。(中継要求に対しても反応をしない)
- 次に Ua エージェントが通信を行うまでの行動アルゴリズムを図 19 に示す。

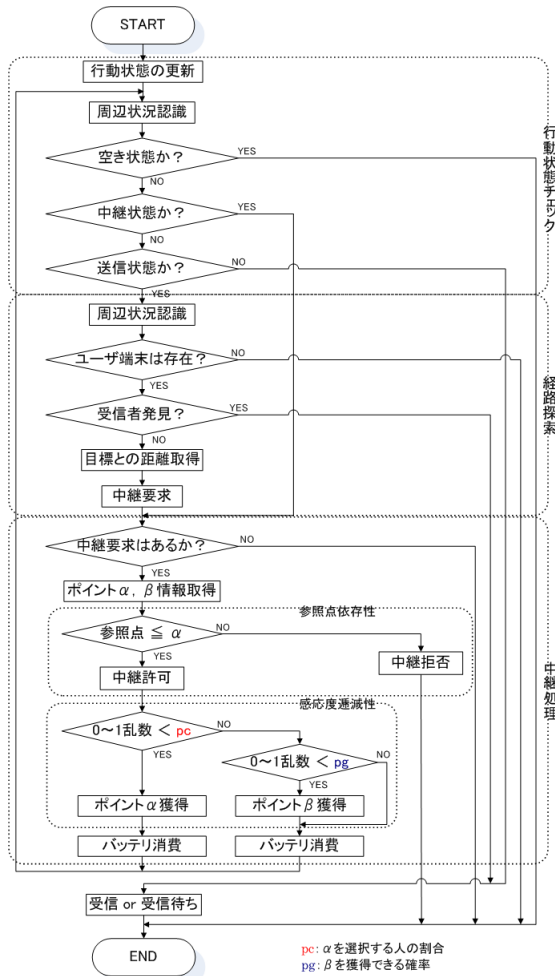


図 19 Ua エージェントの行動パターンアルゴリズム

評価方法

表 6 に示す設定パラメータをもとに、表 7 に示すような出力結果により評価を行う。

拡張モデルでは、各ユーザの接続率および中継ホップ数からネットワーク全体の評価を行う。また、役割 (role) から、ユーザへの負担の大きさや中継箇所 (ネットワークを形成する際の重要度) 等が明確になる。結果より、あるユーザへの負荷増大を軽減するための対策や、中継ポイント制の見直し (例えば、中継箇所が

表 6 設定パラメータ

設定項目	
Env	地域面積 $Area$
	ユーザ数 $User$
Ua	通信半径 CA
	接続時間帯 LT
	参照点 RP
	バッテリー状況 BC
	行動状態 BS

表 7 出力項目

	出力項目	説明
個別	接続率 (cr)	各ユーザが通信を行うことができた割合
	中継ホップ数 (hop)	各ユーザの中継ホップ数
	役割 ($role$)	各ユーザが中継処理のどの部分を担っているか
全体	接続率	ネットワーク全体で通信を行うことができた割合 $\frac{\sum cr}{User}$ で求める
	中継ホップ数	各ユーザの中継ホップ数の平均 $\frac{\sum hop}{User}$ で求める
	管理者分配合計ポイント (tp)	ネットワーク管理者がすべての中継ユーザに対し与える中継ポイントの合計。 tp は、 $tp = \sum Point$ で求める

受信側に近いユーザほど高いポイントを提供する等) が可能となる。

A.2 2007 年度学会投稿論文

1. 市川貴久, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍: エージェントベースモデリングによる Mesh Network の通信品質の評価 -中継ポイント制による安定したネットワークを目的として-, 情報学ワークショップ 2007, 2007 .
2. 市川貴久, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍: 中継ノードの行動が WLAN に与える影響の評価 -Mixed Mode と Ad-hoc Mode の比較-, DICOMO2007, 2007 .
3. 市川貴久, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍: エージェントベースモデリングによる Mesh Network の通信品質の評価 -中継ポイント制による安定した通信を目的として-, 合同エージェントワークショップ & シンポジウム 2007 (JAWS2007), 2007 .