

# ソーシャルネットワークを利用し構築した Wi-Fi アドホックネットワークの親密性に基づく通信制御による性能評価

藤井 聰佳<sup>†</sup> 村瀬 勉<sup>††</sup> EngKeong Lua<sup>†††</sup> 小口 正人<sup>†</sup>

<sup>†</sup> お茶の水女子大学 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

<sup>††</sup> NEC 〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753

<sup>†††</sup> NEC ラボラトリーズシンガポール No.1 Maritime Square, 12-10 Harbourfront Centre, Singapore 099253

E-mail: †satoka@ogl.is.ocha.ac.jp, ††t-murase@ap.jp.nec.com, †††{eklua,oguchi}@computer.org

あらまし 公衆 Wi-Fi などを利用したいが、電波のあるいは契約的にアクセスポイントに接続できないユーザを他のユーザ経由で接続するアドホックネットワークが考えられている。筆者らは、知り合いに中継接続してもらうことで、インセンティブ問題を解決するソーシャルネットワークベースのアドホックネットワークを提案している。本稿では、従来の知り合いか否かという 2 値で、接続の可否を決めるのではなく、知り合い間の親密さの度合い(親密度)を任意の数値で定義し、それを間接の親密度に拡張して接続可否を決めることで、より心理的に受け入れられやすい接続方法を提案している。また、どのユーザに接続するのかといった経路制御に関して、スループットを最大化するための経路制御について検討している。最適経路の選択はアドホックネットワーク全体の情報が必要であって、現実的には困難であるため、局所的な情報のみで決めることが出来る最小経由ノード数経路選択法を用いたヒューリスティックな経路選択方法を提案している。接続率とスループットに関して定量的に評価した結果、良好な接続率とスループットが得られることがわかった。

キーワード マルチホップ、無線 LAN、ソーシャルネットワーク、経路選択、スループット

## Intimacy Based Access Control on Socialized Wi-Fi Ad-Hoc Networks

Satoka FUJII<sup>†</sup>, Tutomu MURASE<sup>††</sup>, EngKeong LUA<sup>†††</sup>, and Masato OGUCHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Ochanomizu University Otsuka 2-1-1, Bunkyo-Ku, Tokyo, 112-8610 Japan

<sup>††</sup> NEC Corporation 1753 Shimonumabe, Nakahara-ku, Kawasaki, Kanagawa, 211-8666, Japan

<sup>†††</sup> NEC Laboratories Singapore

No.1 Maritime Square, 12-10 Harbourfront Centre, Singapore 099253

E-mail: †satoka@ogl.is.ocha.ac.jp, ††t-murase@ap.jp.nec.com, †††{eklua,oguchi}@computer.org

### 1. はじめに

近年、ノート PC やスマートフォンやタブレットなど、移動通信デバイスが増えている。これらのデバイスで用いられるアプリケーションのほとんどはネットワークに接続されていることを前提としており、その多くはプロードバンドでの接続を前提としている。これらのデバイスの中には、3G や LTE の通信機能を持つものも多いが、IEEE802.11(Wi-Fi) 通信機能のみを持つものも少なくない。また、3G/LTE の機能を持つ移動通信デバイスにおいても、次の 2 つの理由により、Wi-Fi 接続が望まれる。一つ目は、日本の MVNO(モバイル仮想通信業者) や東南アジアをはじめ海外各国の 3G/LTE では、従量課金制を

採用しており、無料の Wi-Fi は課金を気にせず使えるためである。二つ目は、エレファントユーザを制限する目的で、大量の通信を行うと帯域制限がかかってしまい、プロードバンド通信が不可能となるためである<sup>(注1)</sup>。日本では長年、3G や LTE での定額使い放題が主流であったが、近年では従量課金のユーザも増加しており、Wi-Fi への依存度は高くなっている。

したがって、3G や LTE は、カバレッジは広いが、従量課金制を考慮すると、公衆 Wi-Fi などを利用し、積極的にオフロー

(注1) : 例えば、代表的な MVNO 業者である Biglobe では、「直近 72 時間 (3 日間) の通信量の合計が 360MB 以上のとき、送受信最大 200kbps に制限します。」としている。[1]

ドしたいと考えるユーザも多いであろう。しかし、Wi-Fiはカバレッジが狭い上に、電波の届く範囲に公衆APがあつても、契約していかなければ、あるいは許可を得なければ、利用することはできない。APとしては、固定的に設置されている公衆APに加えて、テザリングしているスマートフォンやモバイルルータなど携帯型のAPも想定できる。

ところで、もし、このAPに接続可能な端末がトラヒックを中継してくれるならば、すなわち、アドホックネットワークを構成して、中継接続してくれるならば、直接通信することができないユーザもWi-Fi通信を行うことができる。また、電波的にAPに直接接続できない状況であつても、アドホックネットワークを構成することができれば、Wi-Fiのカバレッジを実質的に広げることができる。

そこで、本研究では、あるユーザが、直接接続できないAPまで、アドホックネットワークを用いて接続するWi-Fiネットワークを構築する技術を開発する。

アドホックネットワークに関しては、多くの研究がすでに行われており、その有効性が示されている。しかしながら、アドホックネットワークにおいては、中継ユーザのインセンティブの問題を解決する必要がある。例えば、見知らぬ他人のためにバッテリが消費してしまうのに抵抗があり、積極的には中継しないのが通常であろうとされていることである。アドホックネットワークの実用にあたっては、この問題を解決する必要がある。

ただし、ユーザ同士が知り合いであれば、そのこと自体がインセンティブになり、接続させ中継してあげる、というアドホックネットワーク形成の可能性はあると思われる。これは、ギブアンドテイクが成立するとの想いが潜在的にあるからだと思われる。このことを明示的に利用した例が、FON[2]であり、ギブアンドテイクがインセンティブになる好例である。さらに、知り合いの知り合いであっても、親密度が高ければ、接続・中継のインセンティブは高いであろう。

そこで、本稿では、このSNS(ソーシャル・ネットワーキング・サービス)を基にして、知り合い同士で接続しあう、つまり、ソーシャルネットワークの接続関係でリンクを構成するアドホックネットワークを提案し、その性能を評価する。

## 2. 従来研究

本研究で想定するアドホックネットワークは、そのネットワークを用いることで、通信相手との経路を確立するものである。そのためには、電波の届かない相手に対して、相手との間にいる見知らぬ不特定多数のユーザにトラヒックを中継してもらう必要がある。一般的なアドホックネットワークの研究はすでに数多くなされている[3][4]。しかしながら、このようなアドホックネットワークにおいて、見知らぬ不特定多数のユーザにトラヒックを中継してもらうことに対するインセンティブ問題をどう解決するかは、大きな課題となっている[5]。このインセンティブ問題に関しては、さまざまなものがある[6]。例えば、[7]では、アドホックネットワークを事業化する場合に課題となる中継端末の確保に対して、中継に対する対価として謝金

を支払うサービスモデルを提案し、料金とユーザ効用並びに事業者収益の関係を示している。しかし、この例のように、貸し借りの大がかりな仕組みを必要とするものが多く、より低コストの現実的な仕組みが求められている。また、貸し借りではなく、中継端末のQoS向上をインセンティブに用いた研究[8]があるが、見知らぬ不特定多数のユーザ同士が、QoSのために接続し合うかどうかについての議論は行われていない。

一方、[9]では、SNS上のユーザの友人親密度に基づくアクセス制御メカニズムを提案しているが、親密度はユーザ1対1の関係にのみ設定されるものとし、知人の知人にあたる人物への親密度およびその親密度に基づいた制御方法については言及していない。しかし、現実世界においては、知人の知人など、間接的な知人、いわゆるソーシャルネットワークでリンクされている人に対して、利便性を提供する場合もあるであろう。また、知人の中でも親密度に大きく幅があり、さらにその知人についても同様である。たとえ知人であつても、マルチホップ通信をさせてあげるほどではない、といった場合や、直接の知人ではないが、親友の家族だからマルチホップ通信をさせてあげたい、といった場合が存在する。

そこで筆者らは、そのような知り合い同士で中継しインターネットに接続するアドホックネットワークを構築することを提案している[10]。[10]においては、知り合いベースでのアドホックネットワークでは、「知り合いの知り合い」まで中継を行ってあげることで、インターネットへの接続率を飛躍的に向上できることが示されている。知り合いの知り合いなど間接的な知り合いを見つける方法については、既存のSNSなどの探索メカニズムを用いて、調査できると仮定している。すなわち、ソーシャルネットワークベースのアドホックネットワークを構成することで、QoS(インターネットへの接続性)を飛躍的に高めるアーキテクチャを提案している。[10]では、ユーザ同士の知り合い関係を「有」または「無」の二種類のみに分けて考えているが、現実には、知り合い関係にも程度があり、あまり親密でない相手に対しては、知り合いであることが必ずしも接続に対するインセンティブになるとは限らないと考えられる。そこで本稿では、ソーシャルアドホックネットワークにおいて、「有」「無」の2値に加えて、連続的な数値を持つ親密度を定義し、この親密度に応じて接続/中継可否判定を行うことを提案する。この提案するネットワークにおける、親密度と接続率の関係について調査する。すなわち、親密度が高いほど、中継インセンティブが高くなると仮定したときの、接続率について評価を行う。

さらに、スループットに関する特性についても未だ明らかにされていないため、それを調査する必要がある。スループット性能は、中継可能な経路が複数存在する場合には、最適経路に強く依存する。これは、無線LANを用いる場合には、Performance Anomaly[11]の影響が強く表れるからである。アドホックネットワークにおいて、中継可能な経路が複数存在するときの最適経路については、ダイナミックな経路制御を含めて、従来から多くの研究が行われているが、本研究で想定しているアドホックネットワークは、規模的に大きくなく、また物理レイヤの接

続は安定していると仮定しているため、AODV/OLSRなどの動的なルーティングを用いることは、利便性よりも制御オーバヘッドの大きさによるデメリットが大きい。また、実際の接続にあたっては、ネットワーク全体を把握したうえで、接続を行うには困難があると思われる。そこで、本研究では、局所的な情報を用いた最小経由ノード数での静的な接続を提案し、提案接続方法が、スループットを最大化する接続方法に比べて、準最適なスループットを得られることを示す。

### 3. 親密度ベースのアドホックネットワーク

#### 3.1 定義

提案ネットワークにおいては、あるユーザが持つ端末（以後、ノードと呼ぶ）同士は、もしユーザ同士がある条件にあてはまる間接的な知り合いであれば、ノード同士接続され、トライックが中継されるものとする。条件として、親密度  $I$  ( $0 \leq I \leq 1$ ) 以上の知り合い、という条件を用いる。親密度  $I$  の知り合いとは、ユーザ同士の直接の 1 対 1 の関係性において、積極的に接続を許可したい度合いと定義する。直接の知り合いでない場合、 $I=0$  とする。さらに、 $N$  ホップの知り合いに対しても計算による間接的な親密度を定義する（詳細は後述）。 $N$  ホップの知り合いとは、ソーシャルネットワーク上で知り合いの知り合いの知り合いの... と、知り合いの知り合いを  $N$  回以内で繋いでたどり着く知り合いと定義する。ソーシャルネットワークにおいて、この  $N$  ホップの知り合いに対して、後述の計算方法によって  $N$  ホップの親密度  $I(N)$  を算出する。本論文では、 $N$  ホップの知り合い関係において、あるしきい値よりも高い値の  $I(N)$  をとる関係性のノード同士のリンクで構成された物理ネットワークを  $N$ -SN とする。

知り合い関係は、SNS から得るものとする。例えば、Facebook の「友達」関係により、親密度を何らかの方法で知ることができ、間接的な親密度も算出することができるものとする。

プライバシやセキュリティの問題も重要であるが、本研究では、対象外とする。すなわち、コンピュータ上に知り合い関係がデータベース化され、その情報が容易に得られるものとする。

#### 3.2 アドホックネットワーク構築

アドホックネットワーク構築においては、Wi-Fi を用いて peer-to-peer のネットワークを構成する。さらに、AP に接続できるノードは AP にも接続する。本稿では、一つの AP との近隣のノードで構成されるアドホックネットワークに着目する。具体的には、ノードの電波が届く範囲、すなわち電波的に接続可能なノード同士で、上記データベースから  $N$  ホップの親密度  $I(N)$  を算出し、 $I(N)$  の値が設定したしきい値よりも大きければ、リンクが存在し、すなわち  $N$ -SN が構成される。この  $N$ -SN においては、どのノードが AP に直接接続しているかによって、あるノードから AP までの通信経路が異なる。さらに、AP までの経路が確立されるノードがある反面、 $N$ -SN でのリンクが存在しないために、誰とも接続されず孤立してしまうノードや、いくつかのノードと接続するが AP への経路を持たないサブネットワークなどが生まれる可能性がある。もし AP へ複数の経路がある場合には、ルーティングを決定するこ

とで、アドホックネットワークが最終的に構成される。

このアドホックネットワークの構築手順については、以下のような仮定をする。各ノードは、予めデータベースをダウンロードしておくか、3G/LTE 経由で検索し、接続相手を見つけるものとする。あるいは、AP において、データベースを参照・検索する通信のみは、誰にでも開放しているものとする。接続相手の情報は、ビーコンなどの捕捉で SSID や MAC アドレスなどが認識でき、これらがユーザの属性として、予めデータベースに記録されているものとする。

#### 3.3 構築例

ソーシャルネットワークのつながりに基づいたデータベース上に、図 1 のように、A-E の 5 ノードのほか、多数のノードが存在している。このデータベース上に存在する各ノード同士は、何らかの分布にしたがう親密度  $I$  をもつ。図 1 において線で結ばれているノード同士が、直接の（1 ホップの）知り合いである。この中から、実際に、ある AP の電波の届く範囲にあるノード  $k$  台（ここでは A-E の 5 台）を抽出する。 $N=1$  として、A-E のうち 1 ホップ以内で親密度  $I(1)$  があるしきい値以上であるノード同士を線で結んだもの、すなわち 1-SN が図 2 である。さらに、 $N=2$  として、2 ホップの知り合いに対して新たに親密度  $I(2)$  を計算する。これにより、A-E のうち 2 ホップ以内で親密度があるしきい値以上であるノード同士を線で結んだもの、すなわち 2-SN が図 3 である。図 1-3 でのリンクを、論理的リンク（データベース上のリンクであり、実際の物理的な配置は無関係）と呼ぶ。

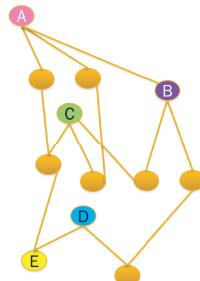


図 1 SNS 上の直接のリンク

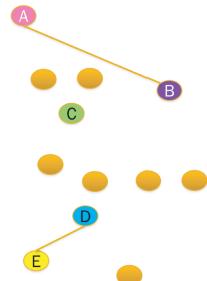


図 2 1-SN のリンク

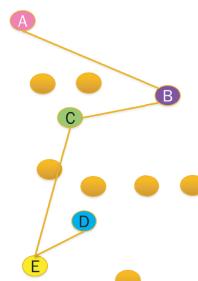


図 3 2-SN のリンク

ここで、実際の物理的な配置を表したもののが図 4 である。これは、電波的にはフルメッシュ(全ノードが IEEE802.11g のキャリアセンス範囲内にある)だが、AP に接続可能なノード数  $j$  は限られている(契約上利用不可能、または、できれば接続したくない等)。ここで、 $j=2$  とし、B, D のみが AP に接続可能であるとき、図 3 で示した 2-SN の結びつきをマッピングしたものが図 5 である。図 5 を物理的リンク(実際にネットワークにおいてパケットが転送される経路)と呼ぶ。例えば、C は直接 AP に接続することができなかった。また、C は B および D と直接の論理的リンクがなかった(図 2)ため、AP に接続できなかったが、C と B は共通の知人の存在により 2-SN で論理的リンクが生じ、物理的に接続可能となった。さらに、もし接続時の物理的な経由ノード数をできるだけ少なくしたいという条件をつけると、最終的な接続経路は図 6 のようになり、A-E の全ノードが AP に接続可能となる。(A: A → B → AP, B: B → AP, C: C → B → AP, D: D → AP, E: E → D → AP)。論理的リンクを用いることにより、物理的リンクが作られ、ユーザ A, C, E はネットワークを利用できることとなる。



図 4 物理的な配置

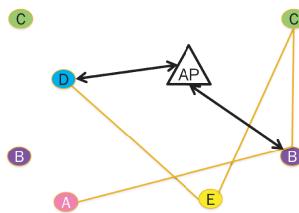


図 5 2-SN の配置

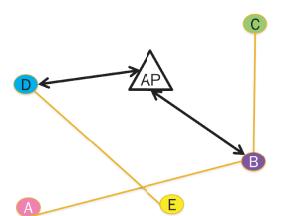


図 6  $N=2$  での最終的な接続経路

## 4. 接続率とスループット

### 4.1 評価尺度：接続率と AP スループット

接続率は、あるノードが AP への接続が確立する可能性を意味し、 $N$  ホップのとき、 $j$  人のノードのいずれかを経由することで AP に間接的に接続可能であるノード数を  $j_N$  とする。ここで、 $j$  人が  $k$  人(AP の電波が届く範囲にあるノード数)のうちどういった割り当てになっているかで場合分けしたすべてのパターンごとの接続確立ノードの割合を合計し、パターン数で割ることによって算出した平均値を接続率  $P$  とする。

AP スループット  $Th$  とは、 $k$  台の端末が AP を通過するスループットを意味する。 $k$  台のうち、他のノードを経由することのできない(孤立している)ノードのスループットは 0Mbps とする。

ホップ数が増えると、接続率が高くなるが、概して、AP スループットは、低下する。これは、AP に間接的にぶら下がるノード数が増えると、(1)AP と直接つながっているノードと AP との通信機会が減少し (2) 低伝送レートで接続するノードも多くなり、Performance Anomaly が生じる可能性が高まるからである。

### 4.2 接続率と AP スループットの関係

接続率  $P$  と AP スループット  $Th$  は次の式で求まる。無線 LAN 総スループットを  $G$  とする。 $G$  は、ホップ数  $N$  で決まる。ホップ数  $N$  が決まると無線 LAN に(直接または間接的に)接続しているノードが決まり、このノード間の接続状況とそれらのノード位置とから伝送レートが求まり、この伝送レートの調和平均で  $G$  が求められる。伝送レートの値の組み合わせが異なると、 $G$  の値も変動する(Performance Anomaly がおこる場合もある)。

$$P = (j + j_N)/k$$

$$Th = j/(j + j_N) \cdot G$$

ホップ数  $N$  が増えると、一般に、AP に間接的に接続するノード数  $j_N$  が増加し、接続率  $P$  が高くなる。このとき、AP に対して、AP と直接つながっているノードと AP との通信機会は  $\frac{j}{j+j_N}$  倍に減少するため、概して AP スループット  $Th$  は低下する。

### 4.3 接続経路とスループット

複数の接続先がある場合、すなわち、複数の経路が選択可能である場合、本稿では、AP スループット  $Th$  を最大にするような経路を選択することを目指す。そのために、最小経由ノード数経路選択法を提案する。提案の選択法では、目的の AP までの経由ノード数が最も小さくなる経路を選ぶ。ノード数が同じ経路が複数あるときには、ランダムに 1 つを選択する。

経路選択においては、複数の端末がそれぞれ異なる伝送レートを用いて接続する場合に発生する Performance Anomaly によるスループット低下を考慮する必要がある。例を用いて、経路の違いによるスループットの違いを示す。 $k=5$ ,  $j=2$  として、 $N=1, 2, 3$  のときの、ノード A-E の  $N$ -SN の物理的配置を表したものが、図 7-9 である。ノード間の数値は、IEEE802.11g を想定し距離に応じて設定された、それぞれのノード間の伝送レートである。調和平均によって  $Th$  を求めると[8]、 $N=1$  では約 8.23Mbps,  $N=2$  では約 4.88Mbps となる。これは、 $N=1$  から  $N=2$  にしたときには、 $j_N$  が増えることにより接続率が上がるが、 $Th$  が低下するためである。さらに、 $N=3$  については、D-E 間にリンクが生まれ、その伝送レートは 54Mbps となっている。物理的なホップ数を減らすように接続経路を選ぶ最小経由ノード数経路選択法では、 $N=2$  と同じ  $Th$  となるが、 $Th$  を最大にするように接続経路を選ぶ場合には、E は D および C を経由して AP に接続することになるため、 $Th$  は約 7.65Mbps となり、大幅に向上する。このように、提案方法はヒューリスティックであり、必ずしも最適ではないが、このような例のみならず、最適と一致する場合も多いと予想できる。次章で定量的

に評価を行う。さらに、最適経路を導出するには、アドホックネットワーク全体の接続情報が必要であるが、アドホックネットワークの全体像を知るための情報交換の制御などのコストが生じる。一方提案方法では、比較的局所的な情報を用いればよいので、実用性が高いと思われる。

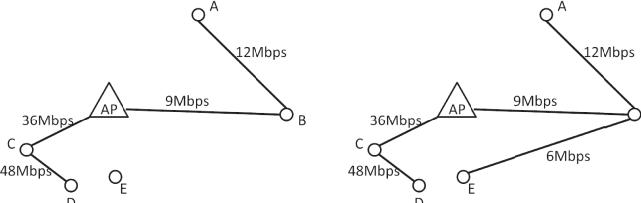


図 7 1-SN の物理的配置

図 8 2-SN の物理的配置

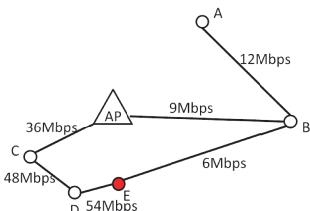


図 9 3-SN の物理的配置

#### 4.4 間接的な親密度の算出

提案ネットワークでの前提として、親密度が大きいほど中継インセンティブが高くなる、とすでに述べた。本モデルでは、直接の知り合い同士は、前述のように親密度が定義され、間接の知り合い同士は、計算で親密度が算出されるものとする。一般に、 $N$  が大きくなつて知り合い度合が薄れると、他のノードに接続させてあげることに対して心理的な抵抗が生じると考えられる。そこで本稿では、[12] のリンク強度算出方法を参考にして間接的な知り合いの親密度を計算する。すなわち、間接的な知り合いの親密度は、その積で求められ、直接の親密度がその積よりも小さい場合には、大きい親密度でオーバライトされる。具体的には、1 ホップでの（直接の）親密度は定義されているため、 $N$  ホップでの X-Y 間、Y-Z 間、X-Z 間の親密度をそれぞれ  $I_{XY}(N)$ ,  $I_{YZ}(N)$ ,  $I_{XZ}(N)$  とすると、 $N \geq 2$  において、

$$I_{XY}(N) = \begin{cases} I_{XY}(N-1) \cdot I_{YZ}(N-1) \\ & (I_{XZ}(N-1) < I_{XY}(N-1) \cdot I_{YZ}(N-1)) \\ I_{XZ}(N-1) \\ & (I_{XZ}(N-1) \geq I_{XY}(N-1) \cdot I_{YZ}(N-1)) \end{cases}$$

によって算出する。

### 5. 評価モデルと性能評価結果

前章までに述べた親密度ベースのアドホックネットワークを評価するために、次のようなモデルを用いた。ソーシャルネットワーク上には 100 台（100 人のユーザ）が存在する。このユーザの中で、ある日時にある AP の周辺に存在するユーザ（端末）

のみを考える。具体的には、図 10 に示すように  $100m \times 100m$  の範囲で、中心に AP が 1 台存在し、ソーシャルネットワークからランダムに抽出された  $k=5$ 、すなわち 5 台の端末が周りのランダムな位置に存在している。これらの端末は、AP を経由したインターネット接続を求めており、AP に直接アクセスできる端末は  $j$  台に限定されている。IEEE802.11g を想定し、端末間距離に最適な伝送レートをとるものとする。

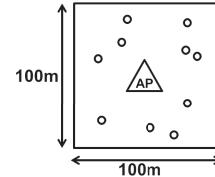


図 10 AP とノードの物理的配置イメージ

1 対 1 の親密度の定義には、 $0 \leq I \leq 1$  の範囲で、平均 0.6、標準偏差 0.15 の正規分布を用いてランダムに発生させた値を用いた。正規分布により値が 0 以下になる場合には 0、また、1 以上になる場合には 1 とした。ランダムな位置を変更して、20 回の評価を行い、その平均値を求めた。

$j=1$  のときの  $N$  および接続親密度しきい値と接続率との関係を表したグラフが図 11 である。 $N$  がいずれの場合においても、親密度しきい値がある値以下になった時点で、接続率が大幅に向上し、100%に近付くが、 $N \geq 2$  においては、その変化率が特に大きい。これは、本稿で用いた  $N$  ホップの親密度の算出方法では、 $N$  が大きくなるにしたがって親密度がより高い値に分布しやすくなるためである（付録参照）。また、これにより、親密度しきい値を大きくしても、 $N$  の値が大きければ、同じ接続率を得ることができる。すなわち、接続可能ホップ数を大きくした場合、接続可否のしきい値を大きくしても、同じ接続率を維持できることを意味する。これは、より親密度の高い関係ならば、ホップ数の多い知人でも接続してあげたい、という人間の感情に沿った結果を得ている。

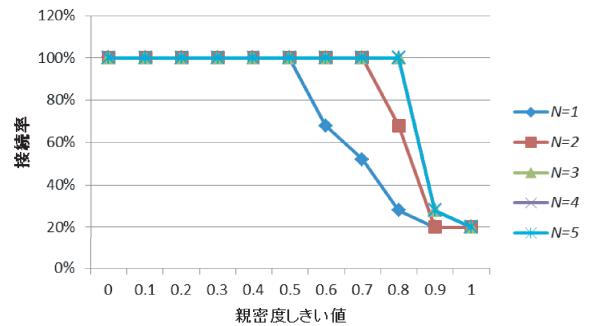


図 11 親密度しきい値の変化に対する接続率変化

$N=2$  について、AP に直接接続可能なノード数  $j$  および親密度しきい値と AP スループットとの関係を表したグラフが図 12 である。 $j$  を大きくすればするほど、スループットは最大値に近付くが、 $j=1, 2$  程度のとき、しきい値が 0.7 以下において

て、AP スループットが大幅に低下する。一方、この区間で接続率は大幅に向かっている(図11)。これは前述のように、AP に間接的にぶら下がるノード数が大幅に増えたことによるものである。

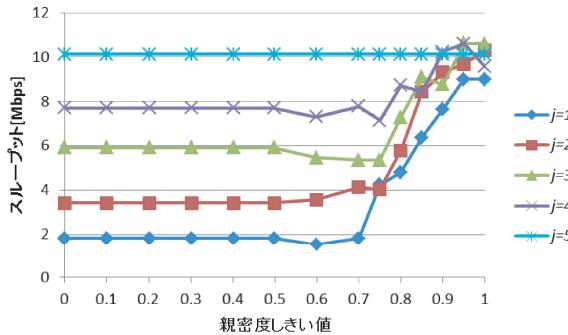


図 12 親密度しきい値の変化に対する AP スループット変化

さらに、ヒューリスティックな最小経由ノード数経路選択法の有用性の評価を行った。上記のスループットの評価は、ホップ数最小の接続経路をとり、複数回のパターンの平均をとった結果であるため、必ずしもスループット最大となる接続経路をとっているとは限らない。そこで、接続率最大化をした上で AP スループット最大化を目的とした接続を行った 1 つのパターンについて、親密度しきい値に対する AP スループット変化を示したグラフが図 13 である。図 12 および 13 に見られるように、最小ノード数接続方法も、スループット最大化接続方法も、しきい値に対して同様のスループット特性を持つ。図 13 のスループット最大化接続方法に対して、図 12 の提案している最小ノード数接続方法は、平均 15% 程度の誤差に収まっており、実用的に十分な方法であると思われる。

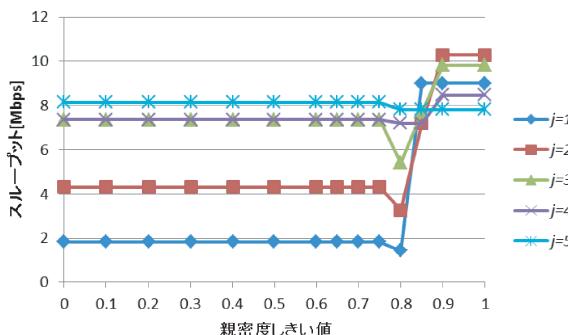


図 13 親密度しきい値の変化に対する AP スループット変化例

## 6. まとめ

公衆アクセスポイントなどを経由してインターネットに接続したいが、電波的あるいは契約的に接続できないユーザが、他のユーザに中継してもらうというようなアドホックネットワークを想定する場合、中継インセンティブが課題となる。これを解決するために、ソーシャルネットワークにおける知り合い関係をインセンティブとして接続・中継を行うソーシャルネット

ワークベースのアドホックネットワークを提案している。直接または間接の知り合いであることが中継を行うインセンティブになり、それらの関係はソーシャルネットワーク上で定義できるというアイデアに基づいている。本研究では、親密度に応じて接続(中継)を行う接続制御およびアドホックネットワークにおいて複数の中継経路があるときに最短ホップで接続する経路制御を提案し、接続率およびスループットの評価を行った。

接続制御においてはユーザ同士の親密さの度合い(親密度)に応じて接続可否を判断するものとし、直接の親密度だけではなく、間接的な親密度も算出することで、間接の度合い(ホップ数)を大きくしても接続率を維持できる条件、およびスループットを下げることなく良好な接続ができる条件を明らかにした。興味深いのは、接続可能ホップ数を大きくした場合、接続可否のしきい値を大きくしても、同じ接続率を維持できるという結果であり、これは、より親密度の高い関係ならば、ホップ数の多い知人でも接続してあげたい、という人間の感情に沿っている。

しきい値が小さくなる、あるいはホップ数が大きくなると、接続率が上がり、それまで接続不可能だったノードが接続し、通信を行うことで、相対的にインターネットへのスループットは低下するが、接続率が高い場合、経路を選択して接続が可能であることから、スループットが上昇する場合もある。ここで、ネットワーク全体の情報が必要な最適経路の計算は現実的ではないことから、最小経由ノード数経路選択法というヒューリスティックな経路選択方法を提案した。提案する経路選択方法でも、最適経路と遜色ないスループットで良好な接続ができることを確認した。

## 文 献

- [1] <http://join.biglobe.ne.jp/mobile/lte/plan.html>
- [2] FON: <https://www.fon.com/jp/info/whatsFon>
- [3] W. Kiess and M. Mauve, "A survey on real-world implementations of mobile ad-hoc networks," Ad Hoc Networks, Volume 5, Issue 3, pp. 324-339, 2007
- [4] R. Bruno, M. Conti and E. Gregori, "Mesh Networks: Commodity Multi-hop Ad Hoc Networks," IEEE Communications Magazine, IEEE Vol. 43, Issue 3, pp. 123-131, 2005
- [5] S. Zhong, L. E. Li, Y. G. Liu and Y. R. Yang, "On designing incentive-compatible routing and forwarding protocols in wireless ad-hoc networks," Wireless Networks, Vol. 13, Issue 6, pp. 799-816, 2007
- [6] M. Feldman, K. Lai, I. Stoica and J. Chuang, "Robust Incentive Techniques for Peer-to-Peer Networks," EC '04 Proceedings of the 5th ACM conference on Electronic commerce, pp. 102-111, 2004
- [7] 藤井 拓也, 矢守 恒子, 田中 良明: 中継謝金を支払うアドホックネットワークサービスにおける基本料金と通信料金の設定法(アドホック NW), 電子情報通信学会技術研究報告. NS, ネットワークシステム 110(448), pp. 263-268, 2011
- [8] 藤井 聰佳, 村瀬 勉, 小口 正人: マルチホップマルチレートネットワークでの接続先選択ポリシーと接続元別重み付けスケジューリングにおける通信性能評価, 第 6 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2014), C9-4, 2014
- [9] Y. Wang, E. Zhai, E. K. Lua, J. Hu and Z. Chen, "iSac: Intimacy Based Access Control for Social Network Sites," Ubiquitous Intelligence & Computing and 9th International Conference on Autonomic & Trusted Computing (UIC/ATC),

2012 9th International Conference on, pp. 517-524, 2012

- [10] 藤井聰佳, 村瀬勉, 小口正人, Eng Keong Lua : ソーシャルネットワークの接続関係でリンクを構成する Wi-Fi アドホックネットワークの提案と評価, 電子情報通信学会, IN 研究会, IN2014-109, pp. 65-70, 2015 年 1 月.
- [11] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel and A. Duda, "Performance anomaly of 802.11b," Proc. of IEEE Infocom2003, vol.2, pp.836-843, Mar.2003.
- [12] 與語一史, 新熊亮一, 笠井裕之, 山口和泰, 高橋達郎: 新世代の情報通信統合アーキテクチャのためのソーシャルメトリック構築手法, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 68, 2010 年 9 月.

## 付 錄

$I(N)$  の定義式を用いて 2~5 ホップの親密度を計算したときの分布関数（付録図 A-2~5）を示す。図において示されるように、親密度が低い関係は、ホップ数を多くするにつれて、大きい値で上書きされる傾向になるため、分布は全体に親密度の高い側（右側）にシフトしていく。

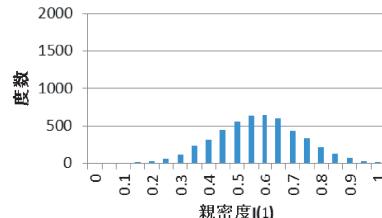


図 A・1 直接の知り合いの親密度の分布

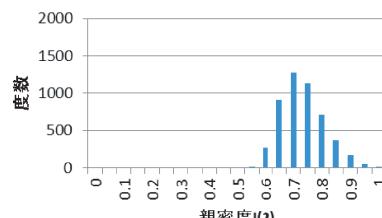


図 A・2 2 ホップの知り合いに関して算出した親密度の分布

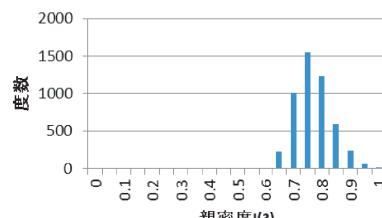


図 A・3 3 ホップの知り合いに関して算出した親密度の分布

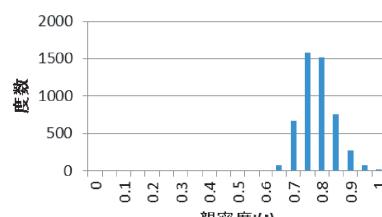


図 A・4 4 ホップの知り合いに関して算出した親密度の分布

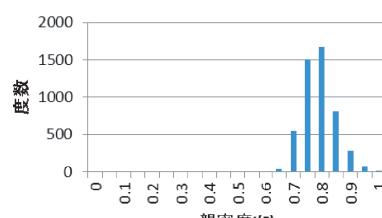


図 A・5 5 ホップの知り合いに関して算出した親密度の分布