

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アーキテクチャの提案

藤井 聡佳¹ 村瀬 勉² 小口 正人¹ Eng Keong Lua³

概要:

近年、テザリングやモバイルルータなどの移動無線ノードの普及および Wi-Fi ダイレクトを用いた仮想マルチホップ網の構成技術などにより、マルチホップネットワークの実現性が高まってきた。また、Facebook や twitter といったツールの充実により、ソーシャル・ネットワーキング・サービス (SNS) へのユーザの意識が高まっている。これら SNS でのやり取りのデータから、友人関係の親密度は数値化することができ、ユーザ自身よりもコンピュータのほうが友人関係を把握できているともいえる。こうした背景から、本研究では、ユーザ間の友人関係のネットワークを効果的に活用することにより、あるエリア内のユーザの通信可能性を高め、満足度を高めることを目標とする。実際に、友人関係の親密度の値を用いて、直接の知り合いでなくともデータ転送することを可能としたときについて評価をおこない、エリア内でネットワークに接続可能なユーザの割合を高めることができることを示す。ソーシャルネットワークを用いたマルチホップネットワーク構築の提案と最適化のためのフレームワークをつくった。

Architecture of Social Network Based Ad-hoc Network for Better Wi-Fi Access

SATOKA FUJII¹ TUTOMU MURASE² MASATO OGUCHI¹ ENG KEONG LUA³

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。これらのデバイスの中には、3G や LTE の通信機能を持たず、IEEE802.11(Wi-Fi) 通信機能のみを持つものも少なくない。一方、3G や LTE の通信機能を持つデバイスにおいても、Wi-Fi 通信のニーズは高い。これには、次のような理由がある。料金体系として、東南アジアをはじめ海外各国では、従量課金制を採用している場合が多い。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、近年では従量課金制のニーズも高まっており、安価な従量課金プランが主として

MVNO にて多く導入されている。

一般に、3G や LTE は、カバレッジは広いが、従量課金制を考慮すると、Wi-Fi を利用し、積極的にオフロードしたいと考えるユーザも多い。しかし、Wi-Fi はカバレッジが狭い上に、電波の届く範囲に AP があっても契約していなければ、あるいは許可を得なければ、利用することはできない。ここでの AP には、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アドホックな AP も含む。しかし、もし、この AP に接続可能なノードがトラフィ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っても、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、AP までアドホックネットワークを用いて接続する Wi-Fi ネットワークを想定する。

¹ お茶の水女子大学
2-1-1 Ohtsuka, Bunkyo-Ku, Tokyo 112-8610, Japan

² NEC
1753 Shimonumabe, Nakahara-ku, Kawasaki, Kanagawa
211-8666, Japan

³ NEC シンガポール研究所
No.1 Maritime Square, #12-10 Harbourfront Centre, Singapore 099253

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った。例えば、他の人のためにバッテリーが消費してしまうため、積極的に中継しないのが通常であろうとされている。アドホックネットワークの実用例が少ないのは、この問題がきちんと解決されていないからであろう。

ところで、アドホックネットワークを形成するノードのユーザ同士が顔見知りの知り合いであれば、そのこと自体がインセンティブになり、直接依頼されれば、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[1]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ろう。しかしながら、直接の知人であればまだしも、知人のそのまた知人という関係の相手が自身の身近に存在することを、直接知ることは難しい。ただし、昨今、Facebook や twitter といった SNS の興隆で、簡単に知り合いを見つけることが可能になってきている。

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アーキテクチャを提案する。

以下、2章でアドホックネットワーク、ソーシャルネットワークに関する従来研究について述べ、3章では提案する SNS ベースのアドホックネットワーク (SOCAN) について説明する。4章では、SOCAN の品質制御に関するフレームワークについて述べ、5章では、ソーシャルネットワーク例と物理ネットワーク例における、SOCAN を例示する。最後に、6章でまとめを述べる。

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フィックを中継してもらう必要がある。そのよう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。例えば [2] [3]。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フィ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 [4]。このインセンティブ問題に関しても、さまざまな研究がある [5]。例えば、[6] 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、中継ノードの QoS 向上をインセンティブに用いた研究 [7] 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、[8] 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。たとえ知人であっても、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。なお、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も技術的な課題になるが、本研究では、間接的な知り合いは、既存 SNS などでの探索メカニズムを用いて、調査できると仮定する。

本研究では、「知り合い」ということが中継インセンティブになるという前提の下、知り合いの知り合いといった間接的な知り合い関係まで考慮して、それをベースに、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 (接続性) を飛躍的に高めるアーキテクチャを提案する。

3. SN ベースのアドホックネットワーク (SOCAN)

3.1 ソーシャルネットワークの構築

SOCAN における前提について述べる。SOCAN においては、SNS により人間関係 (端末関係) が定量的に定義されソーシャルネットワーク (SN) のデータベースに記録されているものとする。すなわち、2 人の人間に、その人間関係に比例する重みがついているものとする。これにより、知り合いの知り合いといった関係と、そのときの人間関係の重みを計算機上で容易に求めることができる。例えば、 N ホップの知り合いというのは、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と、それに該当する知り合いを全て求めることができる。この N ホップの知り合いに対して、直接リンクを張ったものを N ホップソーシャルネットワーク (N -SN) と呼ぶ。この N -SN で接続しているユーザ間では、中継が可能であるとする。ここまではデータベース上で計算しておき、データベースに保管しておく。

3.2 アドホックネットワークの構築

実際のアドホックネットワーク構築においては、Wi-Fi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、上記データベースのN-SNを参照し、N-SNにてノード間にリンクがあれば、接続(接続を許可)する。これにより構成されたネットワークがSOCANである。このSOCANネットワークにおいては、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、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。さらに、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、SOCANが最終的に構成される。

このSOCANの構築については、以下のような仮定をする。SOCANに参加するノードは、あらかじめ決められる約束事に従い、前述のようにして求められたリンクが存在する相手とは必ず接続しなければならないものとする。また、各ノードは、予めN-SN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、ビーコンなどの補足で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SNに記録されているものとする。

3.3 SOCANの特性

SOCANでは、ソーシャルネットワークにて、直接のリンクが多ければ多いほど、接続可能性は高くなる。従って、接続性を上げるためには、例えば、前述のホップ数 N を大きくすればよい。しかしながら、 N が大きいということは、あまり知らないユーザ同士が接続されてしまうことを意味し、これが必ずしも中継インセンティブとして働くとは言いきれない。インセンティブの面からは、あまり好まれないと思われる。従って、妥当な N の範囲が存在するかどうか、など今後の検討が望まれる。このように、その特性を知り、最適なSOCANを構築するために検討すべき項目を次章で述べる。

4. SOCANの品質制御のフレームワーク

4.1 フレームワーク

SNベースのアドホックネットワーク構成の最適化のためには、様々な要因を考慮すべきである。ここでは、その要因を列挙し、今後の研究の発展を期待する。

4.2 評価尺度

SOCANの性能を議論するに当たっては、その評価尺度を決めておく必要がある。たとえば、接続可能性を評価尺

度とすることができる。SOCANを利用することで、あるエリア内の接続可能ノードの割合が $\frac{1}{10}$ から $\frac{9}{10}$ に増加した場合と、 $\frac{7}{10}$ から $\frac{9}{10}$ に増加した場合とでは、SOCAN利用による価値が大きく異なる。

また、スループットにより評価する場合もある。例えばシステム合計スループットを考えた場合、接続する伝送レートによって、システム合計スループットが大きく異なってくるからである。Wi-Fiにおいては、CSMA/CAによるPerformance Anomaly特性に注意を払う必要がある。無線LANでは、フレーム受信状況を最適にするために電波状況に応じて適切な伝送を行うため、各端末それぞれに適した伝送レートが用いられる。ここで、既存の高伝送レート端末に対して低伝送レート端末が加わると、CSMA/CAの送信機会均等性により、高伝送レート端末およびシステム合計スループットが著しく低下するという問題である[9]。

4.3 インセンティブ

中継のインセンティブについては、これがなければユーザによる行動がなされず、実際にアドホックネットワークを構成する際にまず考慮しなければならない問題である。ここでは、知り合い=インセンティブ、と考えている。しかし実際には、知り合い度合いによりインセンティブの度合いも変わってくる。どの程度の度合いで、中継のインセンティブになるかを把握する必要がある。

また、知り合いを網羅する必要がある。どのような手段で網羅するかも課題である。例えば、SNSを用いる方法がある。SNSでは、間接の知り合いを探すことが比較的容易であり、ページ上で「あなたの友人では？」といった提案をされることもよくある。しかしながら、SNSで希望の N ホップ先の知り合いを見つける手段およびホップ数だけではなく、その他の指標(例えば後述するように親密度)で間接的な知り合いを見つける手段などが必要である。

また、直接の知り合いの度合いから間接の知り合いの度合いを計算する方法などが必要である。次に詳しく述べる。

4.4 知り合いの度合い(親密度)

知り合いの度合い、言い換えると親密度を数値的に表現することが重要である。これにより、間接的な知り合いも、その親密度を数値的に計算することができ、普遍的なルール(例えば、間接的な知り合い間にリンクを張る閾値)を適応することができる。

この親密度を定義することも1つの課題である。この数値を「リンクの重み」と呼ぶ。リンクの重みとインセンティブの関係も議論する必要があるが、ここでは、リンクの重みとインセンティブは正の相関関係があるものと仮定

する。

リンクの重みについては、誰が数値を定義するのか、重みに方向性を考慮するか、 N ホップの重みをどう算出するか、数値をどのように更新するか、あるいは静的な数値なのかダイナミックな数値なのか、など多くの考慮すべき事項がある。一般に、SN の規模が大きくなると、接続可能なリンク重みの閾値を少し調整するだけで、構成される間接知り合い間のリンクの数が大幅に変化するであろう。

数値化に関しては、誰が数値を定義するのかを考慮する必要がある。主観的な数値や、SNS での活動度合いから算出する数値などが考えられる。つまり、知り合いが全て同じ親密度であるという訳でもなく、親密度についても、考慮する必要がある。さらに、間接的な親密度を1つ1つ個別に定義する、あるいは直接の親密度から算出する、といった手段も必要である。例えば、リンクの重み (P とする) を、ここでは、2 ノードのユーザ間の人間関係の親密度に応じて $0 \leq P \leq 1$ となるように値を与える。 N ホップ先の知り合いまでの親密度は、 N ホップの間のリンク重みの積である。もし A-B 間の親密度 P_{AB} が 0.8、B-C 間の親密度 P_{BC} が 0.7 であれば、A-C 間の (B 経由の) 親密度 P_{AC} は、 $P_{AC} = 0.8 \times 0.7 = 0.56$ と求まる。

親密度においては、前向き親密度と後ろ向けの親密度の両方がある。前向き = 好き、後ろ向き = 嫌い、である。嫌いであるが知り合いであるという関係も存在するため、この場合には、知り合いであることは中継のインセンティブになりにくい。従って、リンクの重みに関しても、正と負の両方の数値化が必要かもしれない。

また、コンテキストに応じて、インセンティブは変化するであろう。知り合い度が同じでも、中継ユーザのバッテリーが不足している状況では、他人の中継を行う余裕がなくなるため、インセンティブも小さいであろう。従って、親密度という静的なものと同様にコンテキストという動的なものから、インセンティブは決まると思われる。このようなコンテキストを考慮すると重みは、ダイナミックであり、なおかつ更新を適度なタイミングで行う必要がある。

4.5 ホップ数

SN でのホップ数 N は、増やせば増やすほど接続先ノードの選択肢が増え、接続可能性が高まる。しかしながら、3 章で述べたように、 N が大きいということは、あまり知らないユーザ同士が接続されてしまうことを意味し、これが必ずしも中継インセンティブとして働くとは言い切れない。従って、妥当な N の範囲が存在するであろう。また、ホップ数とともに、前述の重みを考慮するのが現実的であると思われる。

4.6 間接知り合いの探索

現在、すでに多くの SNS が利用されており、それらの検

索機能を用いることで、その SNS 内での知り合い関係は把握することができる。しかしながら、SNS を超えた SNS 間での知り合いを探索することは難しい。従って、コミュニティやシステムで限定された SNS 間の探索をどのように行うかを検討する必要がある。

4.7 AP 数

AP 数については、ここでは全ノードがキャリアセンス可能な範囲にしているため、これが増えても総スループットの最大値が増えるわけではない。しかし、リンク数と同様、AP 数が増えることで最終接続先の選択肢が増える。これにより、距離の遠い AP まで接続する必要がなくなり、Performance Anomaly が解消され、総スループットが向上する可能性がある。

4.8 契約の問題

契約上、中継機能を利用して回線を他人に使わせることを禁じているサービスプロバイダがある。しかしながら、これは悪用されたときのトレースなどが技術的に問題なのであって、これが解決されることで、技術的には他人に使わせることは可能であると考えられる。(契約は人為的なものなので、明日にでも、禁止条項は無くなるかもしれない。) 例えば、携帯電話事業者のソフトバンクモバイルは、前述の FON(第3者が相互的に利用する)をサポートするキャリアになっている。

5. SOCAN の例

以下のようなモデルを想定する。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。線で結ばれているノード同士は直接の(1ホップの)知り合いである。ここでは、リンク重みについては考慮しない。そこで、例として、知り合いの知り合い(2ホップの知り合い)まで接続可能として、A-Eのうち1, 2, 3ホップ以内で接続可能なノード同士を線で結んだものがそれぞれ図2, 3, 4である。図1-4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。

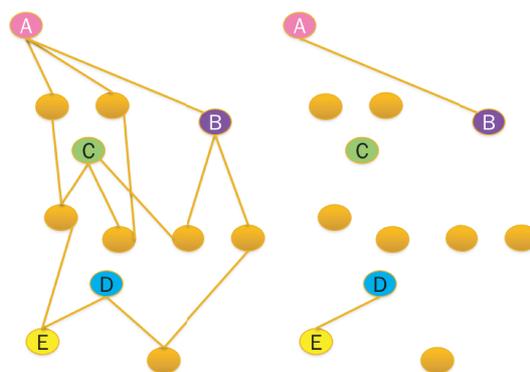


図1 SNS のリンク

図2 SNS1 ホップのリンク

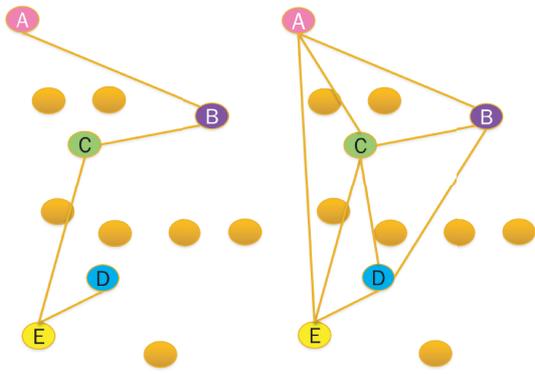


図 3 SNS2 ホップのリンク 図 4 SNS3 ホップのリンク

ここで、実際の物理的な配置を表したのが図 5 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、B, D のみが AP に接続可能であるとして、これに、図 3 で示した 2 ホップ以内の結びつきをマッピングしたものが図 6 である。図 5 および 6 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。C と B は直接の論理的リンクはなかったが、共通の知人が存在することにより 2 ホップの知り合いとなり、論理的リンクが生じ、物理的にホップ可能となった。例えば、物理的なホップ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 7 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ようになった。

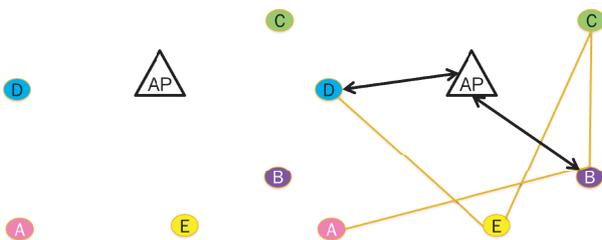


図 5 物理的な配置 図 6 2 ホップ以内

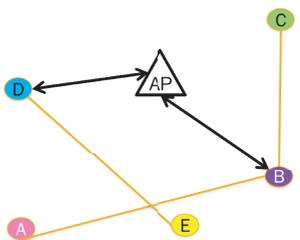


図 7 最終的な接続経路

6. おわりに

アドホックネットワークにおける中継インセンティブの課題を解決するために、SNS ベースのアドホックネットワークを提案した。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うるというアイデアを利用する。また、直接の知り合いであるだけでなく、間接的な知り合いである場合にも、中継をさせるため、SNS を用いて、知り合い度合いを知り、中継可否を判定する。これにより、直接接続ができないとされていた物理ノード間でも、中継を用いて通信が可能となる。

この SNS ベースのアドホックネットワークにより、通信品質 (つながる度合い) を改善することができるが、インセンティブの度合いと知り合いの度合いなど、明確にすべきパラメータが多く存在する。これらをリストアップ・整理し、フレームワークを提示した。

今回は、小規模の SNS ネットワークおよび物理ネットワークを例に取り、SNS の関係から抽出した中継可能性を物理ネットワークにマッピングして、実際に物理ネットワークでアドホックネットワークが構成される過程とその結果を示した。本例示ネットワークの場合においては、SNS を使った場合、接続可能なノードが増加した。

参考文献

- [1] FON: <https://www.fon.com/jp/info/whatsFon>
- [2] Kiess, W. and Mauve, M.: A survey on real-world implementations of mobile ad-hoc networks, Ad Hoc Networks, Volume 5, Issue 3, pp.324-339(2007)
- [3] runo, R., Conti, M. and Gregori, E.: Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks, Communications Magazine, IEEE (Volume:43, Issue: 3), pp.123-131(2005)
- [4] Zhong, S., Li, L.E., Liu, Y.G. and Yang, Y.R.: On designing incentive-compatible routing and forwarding protocols in wireless ad-hoc networks, Wireless Networks, Volume 13, Issue 6, pp.799-816 (2007)
- [5] Feldman, M., Lai, K., Stoica, I. and Chuang J.: Robust Incentive Techniques for Peer-to-Peer Networks, EC '04 Proceedings of the 5th ACM conference on Electronic commerce, pp. 102-111 (2004)
- [6] 藤井 拓也, 矢守 恭子, 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), 263-268 (2011)
- [7] 藤井 聡佳, 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)
- [8] Wang, Y., Zhai, E., Lua, E. K., Hu, J. and Chen, Z.: 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)
- [9] Heusse, M., Rousseau, F., Berger-Sabbatel, G. and Duda, A.: Performance anomaly of 802.11b, Proc. of IEEE Inforcom, vol.2, pp.836-843 (2003).