マルチメディア通信と分散処理 111－2
コンピュータセキュリティ 20－2
（２００３．２．２７）

Ad-Hoc ネットワークと無線 LAN による広域無線インターネット網

神戸 康多† 岸本 了造‡

あらまし

広域網でのインターネット接続サービスとして携帯電話網や PHS があるが，これらのサービスにはそれぞれ課題があり，今後ますます増加する無線データ通信のユーザの要望を満たす完全な方式は現在のところ存在しない．Mobile IP や Cellular IP などのノードの移動透過性や移動しながらの連続した通信を IP レベルで実現するプロトコルも提案されているが，パケットロスの問題や位置登録パケットによるトラフィック混雑などの問題がある．また最近では，街角や店舗に無線 LAN アクセスポイントを設置して外出先から高速なインターネット接続が可能なホットスポットサービスが注目されている．しかし，ホットスポットは局所的なサービスであり，ネットワーク間を自由に移動しながらの通信はできない．また固定基地局である無線 LAN アクセスポイントを使用しているため，アクセスポイントに障害が起こると，そのカバーエリア全体が通信不可能になる．本研究は Ad-Hoc ネットワークと無線 LAN，Mobile IP を用いて，携帯端末がネットワーク間を自由に移動しながら連続した通信を可能にし，無線 LAN アクセスポイントの障害に依存しないロバストな無線広域網の提案である．

The wide-area wireless internet by using Ad-Hoc networks and wireless LANs

Kota KANBE†， Ryozo KISHIMOTO‡

Abstract

Although there are demands that many users want to enjoy internet services in the wide-area wireless internet, transparency and mobility aren't supported in today's IPv4 networks. Mobile IP or cellular IP were proposed as the macro- and micro-mobility protocols. However, there are severe problems such as packet losses and QoS controls at call setup and handover, when these protocols are applied to the wide-area fixed-zone wireless networks. In this paper, new wide-area seamless wireless network architecture is proposed by using wide-area wireless ad-hoc networks, wireless LANs and mobile agent protocols, which is capable of solving these problems. This proposed architecture is capable of providing robust and fault-tolerant networks whose communication services are uninterrupted even if the access points of wireless LANs break down.

1. はじめに

現在，無線データ通信の主な方式として携帯電話，PHS がある．また，最近では喫茶店や街角で無線 LAN が利用できるホットスポットサービスも普及し始めている． PDA 端末に代表される携帯端末も高性能化，低価格化しており，これからますます高性能な携帯端末が普及し，外出先での無線データ通信の需要が増えるであろう．

†立命館大学大学院理工学研究科情報システム学専攻
The graduate school of Science and Engineering, Ritsumeikan University
‡立命館大学情報学科
College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

しかし現在の無線データ通信の主流である携帯電話網と PHS，無線 LAN ホットスポットサービスにはそれぞれ問題点がある．具体的には，携帯電話網や PHS は無線 LAN に比べ通信速度が遅く，構築費用が高い．また無線 LAN のホットスポットは，喫茶店の中や，駅の中だけでしか利用できないといった局所的なサービスであり，ネットワーク間を移動しながらの連続した通信ができない．このため，使用可能なアプリケーションやサービスが限定されてしまっている．

また，IP に移動透過性を付与するプロトコルとして，Mobile IP や，Cellular IP があるが，Mobile IP はマイクロモビリティがサポートされておらず，Cellular IP はネットワーク間の移動に Mobile IP を用いるため，パケットロスが生じ

るなどの問題点があり, ノードの移動を完全にサポートしているとは言えない.

以前，これらの問題点を解決する方式として，現在のセルラーネットワークに Mobile IP[1]を適用した ALL IP の広域無線インターネット用プロトコル”Mobile Agent Protocol”[2]を提案したが, セルラーネットワーク上のプロトコルのため，耐障害性に問題があった.

本研究は

- マクロモビリティとマイクロモビリティの両方を実現している
- ローミング時のパケットロス対策
- 災害やアクセスポイントの故障などの障害に強い
- ネットワーク構築費用が安価

の５点を実現しており，無線 LAN と Ad-Hoc ネットワーク，Mobile IP で構築された ALL IP の広域無線インターネット網の提案である.

2. ノードの移動をサポートするプロトコル

2.1. Mobile IP

Mobile IP とはインターネット上でホストの移動を透過的にサポートするためのプロトコルである. つまり本来のネットワークであるホームネットワークから移動先のフォーリンネットワークに移動しても，IP アドレスを変更することなく通信するための技術が Mobile IP である.

Mobile IP では，ノードは HoA(Home address)と CoA(Care-of Address)という 2 種類の IP アドレスを用いる．HoA は，ホームネットワークでの IP アドレスであり，CoA は訪問先で獲得する IP アドレスである．この 2 種類の IP アドレスを，ホームネットワークに設置されている HA(Home Agent)がマッピングし，移動ノード宛のパケットをフォーリンネットワークに転送することで移動透過性を実現している.

2.2. MANET

MANET とは Ad-Hoc ネットワークの技術であり，IETF のワーキンググループで活発に議論が行われている．現在，MANET ワーキンググループではルーティングプロトコルが研究されており, 様々なルーティングプロトコルがインターネットドラフトとして提案されている.

MANET のルーティングプロトコルは大きく Proactive(Table-driven) 型と Reactive(On-demand) 型の 2 つに分類できる.

Proactive 型とは, 定期的なルーティング情報のフラッディングにより，各ノードが Ad-Hoc ネットワーク内の全てのノードのルーティング情報を維持する方式である. ルーティング情報が定期的に更新されるため, ノードが頻繁に移動するような Ad-Hoc ネットワークに向いている．しかしネットワークを流れる全パケットの内, ユーザデータ以外の制御パケットの占める割合が高いため，大規模な Ad-Hoc ネットワークには向いていない. Proactive 型の代表的なルーティングプロトコルとしては DSDV[3], FSR[4]が提案されている.

Reactive 型とは，Proactive 型のように常に Ad-Hoc ネットワーク全体の経路情報を維持するのではなく, 送信要求が発生した時に送信先までのルートを検索する. 通信終了後はそのルートを維持する必要はない．このように，定期的なルーティング情報の交換がないため必要以上の制御データが流れず, トラフィックが混雑しないという利点がある．欠点としては頻繁に移動する Ad-Hoc ネットワークの場合，送信する度に送信先までのルートを検索しなければならないため，効率が悪い．Reactive 型の代表的なルーティングプロトコルとして，AODV[5]，DSR[6]が提案されている.

3. 提案する広域無線インターネット網

3.1. 提案方式のネットワーク構成

電柱などにホットスポットのような無線 LAN アクセスポイント(以下 AP と記す)を配置し，AP 同士は光ファイバを用いて接続されている. 図１に本提案のネットワーク構成を示す.

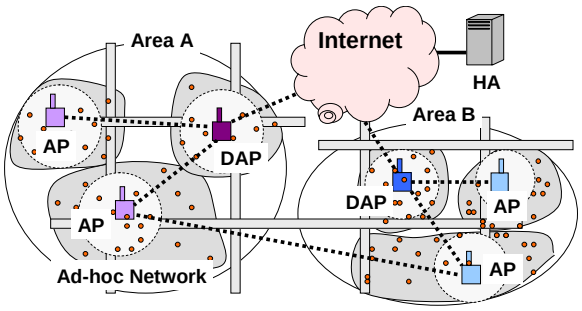


図 1 ネットワーク構成

図 1 の DAP とは，複数の AP を管理し，インターネットに接続されている AP の事である．DAP が管理する範囲をエリアと呼ぶ．さらに，AP の電波が届かない地域をカバーするため，AP を一つだけ含むような Ad-Hoc ネットワークを形成する．この Ad-Hoc ネットワークは AP を一つだけ含むように構成されているため小規模であり, 携帯電話のようにノードの頻繁な移動を想定しているため，Ad-Hoc ネットワークのルーティングプロトコルとしては MANET の Proactive 型を使用する． Proactive 型のため，それぞれのノードは，同じ Ad-Hoc ネットワークの他のノード全てをルーティングテーブルで常に把握していることになる． ＳＳＳ

送信時にはルーティングテーブルを参照し, 送信先が自分の Ad-Hoc ネットワークに存在するか判別してから送信を行う．同じ Ad-Hoc ネットワーク内のノード宛のパケットは無線マルチホッ

プで送信され，違う Ad-Hoc ネットワークのノード宛のパケットは最寄りの AP 経由で送信する．

3.2. 位置登録

3.2.1. 電源 ON 時の位置登録

ノードは電源を ON にすると最寄りの Ad-Hoc ネットワークに所属し，最寄りの AP，DAP，HA に対し位置登録を行う．具体的には，電源を ON にすると周囲のノードから Hello パケットを受信する．この Hello パケットには，そのノードが所属している AP の IP アドレス，AP までのホップ数，エリアの DAP の IP アドレス，が含まれている．ノードは，AP までのホップ数が一番小さい Hello パケットの情報を使用して最寄りの AP，DAP，自分の HA に対して位置登録パケットである Binding Update を送信する．ノードの位置登録処理が完了すると表 1 のように登録される．

表 1 位置登録完了時の Binding Cache

構成要素	Home Address	CoA
AP	MN’s HoA	AP’ s IP
DAP	MN’s HoA	AP’s IP
HA	MN’s HoA	DAP’s IP

なお，Hello パケットは異なる Ad-Hoc ネットワークには転送されない．つまり Ad-Hoc ネットワーク A に属するノード A ´ が Ad-Hoc ネットワーク B のノード B ´ からの Hello パケットを受信した場合，A ´ は受け取った Hello パケットを Ad-Hoc ネットワーク A にブロードキャストしない．

3.2.2. エリア内ハンドオフ時の位置登録

図 2 左のノード MN が同じエリア内つまり，DAP1 内の Ad-Hoc ネットワーク AN1 から同じ DAP1 内の Ad-Hoc ネットワーク AN2 へネットワーク間をハンドオフした時の処理を説明する．

ノード MN が AN1 と AN2 の Ad-Hoc ネットワークの境界に来ると，AN2 内のノード IN からの Hello メッセージを受信する．この Hello メッセージの中には移動先ネットワークの AP2 の IP アドレス，IN から AP2 までのホップ数，DAP1 の IP アドレスが含まれている．ノード MN は，Hello メッセージに含まれる DAP の IP アドレスが現在所属している DAP と同じで，ホップ数が現在の AP のホップ数よりも小さい場合は，DAP 内での移動と判断し，AP2，DAP1 に位置登録を行う．その結果，AP2 と DAP1 の Binding Cache に，MN の CoA として AP2 の IP アドレスが格納される．

エリア内のハンドオフに伴う位置登録は DAP より外側のインターネット側には影響がない．このため，インターネット側にはノードの移動を隠していることになり，Binding Update パケットによるトラフィックの混雑を回避することができる． なお，位置登録を完了してから一定期間，AP1 には MN のエントリが保存されたままになる．これは，ハンドオフに伴うパケットロスの対策である（3.4.2 節，3.5 節参照）．

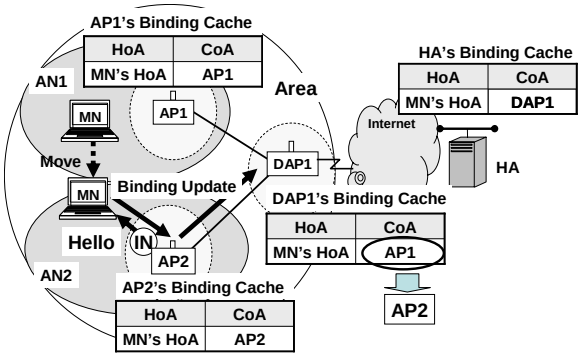


図 2 エリア内ハンドオフ時の位置登録

3.2.3. エリア間ハンドオフ時の位置登録

図 3 内のノード MN が AN1 と AN2 の Ad-Hoc ネットワークの境界にくると，AN2 内のノード IN からの Hello パケットを受信する．この Hello パケットには AP2 の IP アドレス，AP2 までのホップ数, DAP2 の IP アドレスが含まれている．ノード MN は Hello パケットに含まれている DAP フィールドの IP アドレスが現在の DAP と違い，かつ AP フィールドのホップ数が現在所属している AP までのホップ数よりも小さい場合は，エリア間ハンドオフと判断し，AP2，DAP2，HA に対して Binding Update パケットを送信し位置登録を行う．その結果 AP2 と DAP2 の Binding Cache の MN の CoA として AP2 の IP アドレスが格納され， HA の Binding Cache の MN の CoA として DAP2 の IP アドレスが登録される．なお，位置登録を完了してから一定期間 AP1，DAP1 には MN のエントリが保存されたままになる．これは，ハンドオフに伴うパケットロスの対策である (3.4.3 節，3.5 節参照).

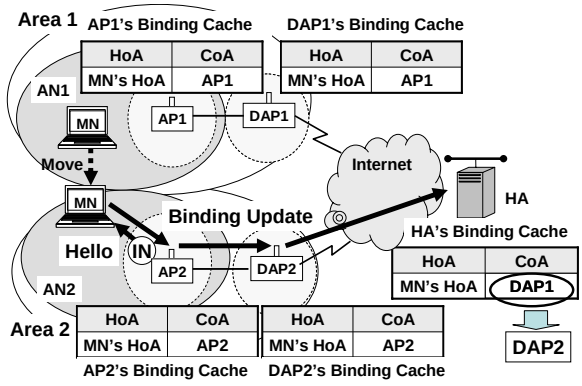


図 3 エリア間ハンドオフ時の位置登録

3.3. 送信

本方式のパケット送信のメカニズムは，同じ Ad-Hoc ネットワーク内にいるノード宛のパケットに関しては, 無線マルチホップ通信で直接送信されるが, それ以外のノード宛のパケットについては最寄りの AP を経由する．つまり送信先ノードが自分と同じ Ad-Hoc ネットワークに存在するかどうかを知る必要があり, パケットを送信する際に調べなくてはならない．本方式は MANET の Proactive 型ルーティングプロトコルを採用している．Proactive 型ルーティングプロトコルは, 各ノードが保持するルーティングテーブルに, 同じ Ad-Hoc ネットワークに存在するノードを全て保持している．よって，ノードは送信前にこのルーティングテーブルを検索してから送信すればよい.

図 4 にノード MN がインターネット上のノード CN にパケットを送信する際のパケットフローを示す.

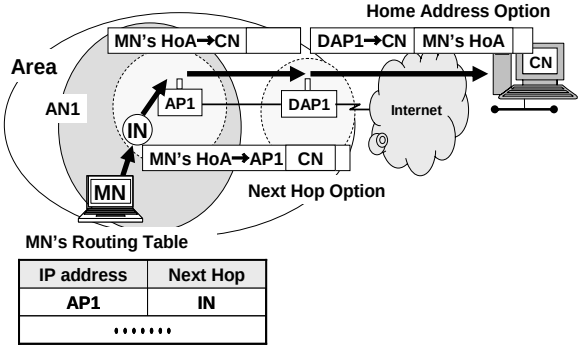


図 4　送信処理

MN はまず，自分のルーティングテーブルと Binding Cache を検索する．今回は CN との初めての通信なので両テーブルに CN のエントリはない．したがって，送信先を AP1 にし，Next Hop Option に CN を指定してパケットを送信する．パケットは無線マルチホップで IN，AP1 を経由し DAP1 に到着する．ここで DAP1 はパケットの送信元を DAP1 に変更し，Home Address Option フィールドに MN の HoA を指定してインターネットにフォワードする. パケットはインターネット中をルーティングされ，CN に到達する．

3.4. 受信

3.4.1. 通常の受信

本方式では移動ノードの情報を HA，DAP，AP で階層的に保持している. 具体的には HA でノードが現在所属している DAP を保持し，DAP はノードがどの AP に所属しているかを管理する．図５に，移動ノード MN が，インターネット上のノード MN からパケットを受信したときのパケットフローを示す.

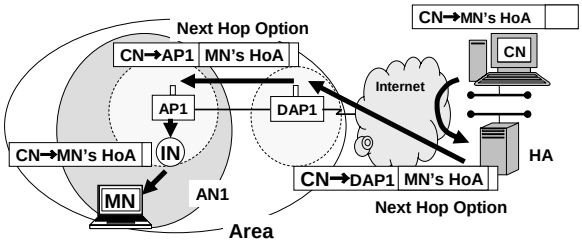


図 5　受信処理

CN は MN の CoA を知らないため, MN の HoA 宛にパケットを送信する. 送信されたパケットは HA に到着し，HA は Binding Cache を参照して DAP1 にパケットをフォワードする．なお，Next Hop Option で MN の HoA を指定する．パケットを受け取った DAP1 は，Next Hop Option で MN の HoA が指定されているため，Binding Cache を検索する．その結果 CoA として AP1 が示されているため, パケットヘッダの送信先を AP1 とし，Next Hop Option で MN の HoA を指定してフォワードする. AP1 はパケットを受け取った後は無線マルチホップで MN に到達する.

パケットを受け取った MN は送信元の CN に対して Binding Update パケットを送信し，現在の CoA として DAP1 を通知する．その結果次からの CN 発 MN 宛のパケットは送信先を DAP1 にし, Next Hop Option に MN の HoA を指定する．このように，三角経路になるのは最初だけで，次からの通信は HA を経由せずに直接 DAP1 に届けられるため経路が最適化される.

3.4.2. パケット受信中のエリア内ハンドオフ

図６左の移動ノード MN が，インターネット上のノード CN からのパケットを受信中に同じエリア内で AN1 から AN2 にハンドオフする際の処理を説明する．この移動は管理される DAP が変更にならない移動であり，MN は AN1 と AN2 の境界付近で，3.2.2 節で説明したエリア内ハンドオフ時の位置登録が実行される. 位置登録処理の結果 DAP1 の Binding Cache の MN の CoA として AP2 の IP アドレスが格納される.

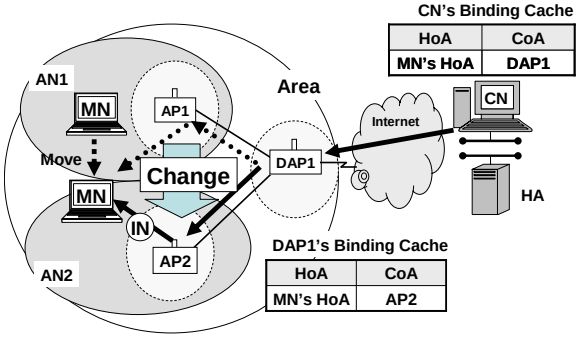


図 6　パケット受信中のエリア内ハンドオフ

位置登録処理が完了すると，これ以降 DAP1 を通る MN 宛のパケットの経路は，CN→DAP1→AP1→MN から，CN→DAP1→AP2→MN に切り替わる．また， CN は一定期間 AN1 に所属したままになり，AN1，AN2 両方の Ad-Hoc ネットワークに属することになる．つまり，ある期間 AN1 からのパケットと，AN2 からのパケット両方を受け取る．これによりスムーズなハンドオフが可能になる．(3.5 節参照)

3.4.3. パケット受信中のエリア間ハンドオフ

図 7 左のノード MN がインターネット上のノード CN からのパケットを受信中にエリア 1 の AN1 からエリア 2 の AN2 にエリア間でハンドオフする際の処理を説明する．この移動は管理される DAP が変更になるハンドオフであり， AN1 と AN2 の境界付近で，3.2.3 節で説明したエリア間ハンドオフ時の位置登録処理が実行される．

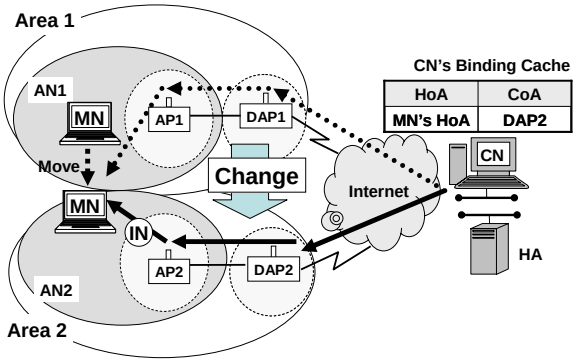


図 7　パケット受信中のエリア間ハンドオフ

CN に対しても Binding Update パケットを用いて位置登録を行い，CoA として DAP2 の IP アドレスを登録する．位置登録が完了すると，これ以降 CN 発 MN 宛のパケットの経路は CN→DAP1→AP1→MN から，CN→DAP2→AP2→MN に切り替わる．エリア内ハンドオフと同じように，ハンドオフが完了した後，CN はしばらくの間 AN1 に所属したままになり，AN1, AN2 両方の Ad-Hoc ネットワークに属することになる．こうすることでハンドオフ時のパケットロスをなくすことができる．(3.5 節を参照)

3.5. パケットロス対策

現在の携帯電話網のようなセルラーネットワークでは，ノードがセル間をハンドオフする際にセルとセルが重複する部分で位置登録を行わなければならない．今後ますますマイクロセル化が進み，セルの半径が小さくなっていくとセルの重複部分がより小さくなり，ノードの高速移動時のパケットロス対策が重要な課題である．本提案方式も，Ad-Hoc ネットワーク間をハンドオフする際に位置登録が行われる．したがってセルラーネットワークのパケットロスと同じ問題が生じることになる．パケットロス対策を説明する前に，まずこのパケットロスが発生する仕組みについて説明する．

図 8 中の MN は AN1 と AN2 の境界にくると AP2，DAP1 に対して位置登録を行う．しかし，位置登録パケットを送信し，位置登録が完了するまでに遅延が生じるため，位置登録処理の途中で DAP1→AP1 にルーティングされた MN 宛のパケットに関しては，MN は既に AN1 には存在しないために MN に到達することができない．よってこれらのパケットは廃棄されてしまう．このパケットの損失により携帯電話の音声通信や動画のストリーミングのような即時系のサービスでは音声や画像が途切れるといった問題が発生する．

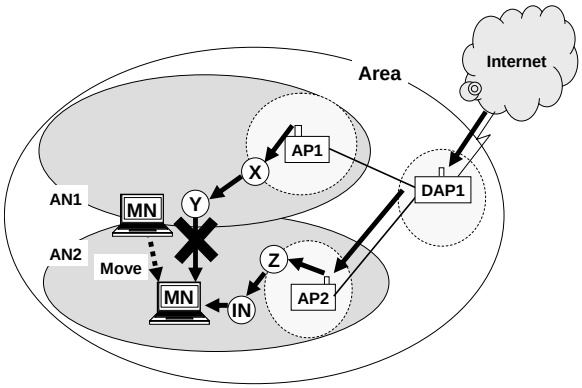


図 8　パケットロス発生の仕組み

この問題を解決するために本方式では，Ad-Hoc ネットワークの特性を生かしたパケットロス対策を行っている．

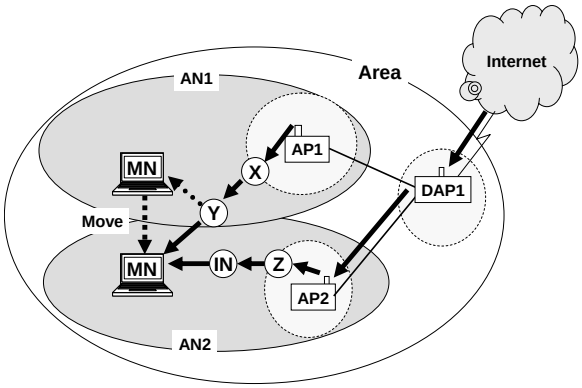


図 9　パケットロス対策

図 9 の AN1 にいる MN がデータを受信中に AN2 へハンドオフした際のパケットロス対策を説明する．

ハンドオフする前の状態では，MN は DAP1→AP1→X→Y→MN という経路でデータを受信している．MN が AN1 と AN2 の境界に移動すると，

AP2，DAP1 に対して位置登録を行うが，この時の位置登録の遅延によりパケットロスが発生する．そこで MN は，AN2 に移動した後しばらく AN1 ネットワークとの接続を維持する．これにより AN2 に移動した後も, DAP1→AP1 にルーティングされたパケットを DAP1→AP1→X→Y→MN という経路で受け取ることができるので, パケットロスが起こらないスムーズなハンドオフが可能になる．MN が Ad-Hoc ネットワーク間をハンドオフする際に移動元 Ad-Hoc ネットワークを引っ張る形でハンドオフするというイメージである．

3.6. 耐障害性

ホットスポットや携帯電話網は, 固定基地局ベースのため, 災害時や基地局障害時にはその故障基地局がカバーするエリア内の通信が不可能になる．本方式は，Ad-Hoc ネットワークの特性を利用して，固定基地局である無線 LAN アクセスポイントが故障しても通信を維持することが可能である．以下に無線 LAN アクセスポイントが故障した際の通信維持の仕組みを説明する．

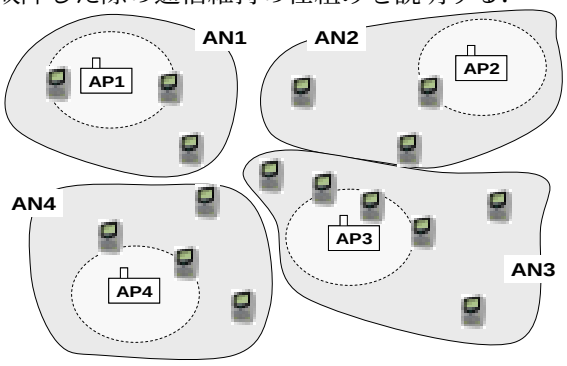


図 10　故障前の Ad-Hoc ネットワークの構成

図 10 内の各ノードは Hello パケットの AP までのホップ値を基に最寄りの AP に所属している状態である．ここで，AP2 が故障したとする．AN2 内のノードは AP2 からの Hello パケットが到達しないため AP2 の故障を検知し，AN2 中に AP2 が故障したことを伝えるパケットをブロードキャストする．

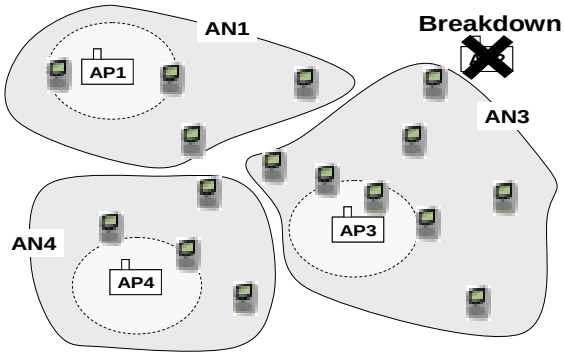


図 11　Ad-Hoc ネットワーク再構成後

このパケットを受信した AN2 内のノードは周辺の Ad-Hoc ネットワークからフォワーディングされてくる Hello パケットを待ち構える．周辺の Ad-Hoc ネットワークからの Hello パケットを受け取ったノードは AP からの Hop 数フィールドを基に最寄りの Ad-Hoc ネットワークに所属することになり，図 11 のように Ad-Hoc ネットワークが再構成される．

4. 考察

第 3 世代携帯電話網は隣のノードとの通信も常に基地局経由であったが, 本方式はノード同士で直接通信できる．耐障害性については 3.6 節で述べたとおり AP を一つだけ含むように Ad-Hoc ネットワークを構成するため，AP が故障しても通信が可能でありロバストなネットワークといえる．また本方式は，ホットスポットを使用しており携帯電話網のように大規模な基地局が必要ないため, 安価に広域の無線網が構築できる．アプリケーションとしては, 近隣地域の情報のみを配信するといった局所的なサービスが考えられ, 地域密着型で利便性の高いサービスを提供可能であると思われる．

5. まとめと今後の課題

無線 LAN と Ad-Hoc ネットワークを用いて, パケットロス対策が考慮された, マイクロモビリティー, マクロモビリティーの両方をサポートする広域の無線網を提案した．

今後の予定として，本方式を NS2 上に実装, シミュレーションし本方式の有用性, 実現性を確認する予定である．

参考文献

[1] Charles Perkins, Dave Johnson, Jari Arkko,"Mobility Support in IPv6", 04-NOV-02

[2] A. G. Valko, A. T. Campbell, J. Gomez, "Cellular IP," Internet Draft, draft-valko-cellularip-00.txt, November 1998.

[3] 神戸康多, 岸本了造 “広域無線インターネットにおける Mobile Agent Protocol の提案“ 信学技報 Vol.102 No22, 2002 pp81-86

[4] S. Corson, J. Macker. ”Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol PerformanceIssues and Evaluation Considerations.” January 1999.

[5] Charles Perkins , “Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers” (1994) ACM SIGCOMM'94 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications

[6] Mario Gerla, "Fisheye State Routing Protocol (FSR) for Ad Hoc Networks", 24-JUN-02.

[7] Santanu Das, Charles Perkins, Elizabeth Royer, "Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing", 06-NOV-02.

[8] Dave Johnson, Dave Maltz, Josh Broch, Jojeta Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", 22-FEB-02.