

無線ネットワーク向けマルチキャストグループ管理プロトコルの提案と評価

上野 英俊 鈴木 偉元 石川 憲洋

株式会社 NTT ドコモ

あらまし 我々は、無線ネットワーク向けの新しいマルチキャストグループ管理プロトコル MMGP (Mobile Multicast Group Management Protocol) を提案する。MMGP は、無線 LAN や移動通信網での利用を想定して設計されたプロトコルであり、受信者が頻繁に移動する状況においても適切なグループ管理が行えるように設計されている。また MMGP は、セキュリティについても考慮されており、マルチキャスト DoS (Denial of Service) への対策が可能である。我々は、MMGP が IGMP と比較して少ない制御パケット数でグループ管理の実現が可能であり、さらに受信者における消費電力を低減する効果があることをシミュレーションによる性能評価によって示す。

A Multicast Group Management Protocol for Wireless Networks

Hidetoshi Ueno, Hideharu Suzuki, and Norihiro Ishikawa

NTT DoCoMo, Inc.

Abstract We propose a new group management protocol for wireless networks called Mobile Multicast Group Management Protocol (MMGP). MMGP is designed for use on wireless LANs and mobile networks, and is capable of reducing the communication costs even when receivers move frequently. MMGP also considers security and can prevent multicast DoS. We evaluate MMGP by conducting network simulation and show that MMGP is capable of realizing group management at lower communication costs than IGMP. We also show that MMGP is effective in improving battery saving time of a receiver compared with IGMP.

1. はじめに

公衆無線 LAN や移動通信網では、資源が限られた無線を利用するために有線ネットワークと比べて通信コストが高い。従って、無線の共通チャネルを利用することにより多数の受信者に対してデータの同報配信が可能なマルチキャストを無線ネットワークに適用する例が近年になって増加している。

以上の背景から、マルチキャスト技術の無線ネットワークへの適用に関する多数の研究が存在する。これまでの研究の多くは、グループメンバがアクセスネットワークの変更を伴って移動した際に生じる受信データの欠落を防止するためのルーティングを重点に検討が行われており、マルチキャストグループ管理プロトコルには IGMP (Internet Group Management Protocol) 等の既存のプロトコルを適用することが暗黙の前提となっている。

しかし、IGMP を単純に無線ネットワークに適用するには課題がある。例えば、その制御パケットが通信コストの高い無線区間を流れることから、その通信量を低減する必要があるほか、電源断や移動により通信が途絶えた場合の対策も必要である。以上を踏まえ、本論文ではモバイルマルチキャスト向けグループ管理プロトコル MMGP (Mobile Multicast Group Management Protocol) を提案する。

2. MMGP で解決すべき課題

以下では、IGMP を無線ネットワークに適用した場合の課題を整理し、MMGP の要求条件を明確にするために、無線を利用した一般的な通信において考慮すべき課題を整理する。

- 無線区間の通信コスト

一般的に無線通信は有線通信と比較してコスト高であるため、無線区間の通信量を低減することが重要である。さらに、携帯電話を受信者として利用する場合には、その処理能力 (CPU、電源容量) に制限があるため、受信者におけるデータ

送受信量を低減する必要がある。これにより、受信者における通信処理を低減することが可能になるため、例えば携帯電話の待ち受け時間の延長が可能となる。

- 受信者の移動等

移動通信においては、突然の電源断や移動に伴う受信者の圏外流出が発生する可能性がある。このことにより、例えば IGMPv3 のようにアクセスルータが受信者の状態 (アクセスネットワークの在籍状況等) を管理する場合には、そのアクセスルータと受信者のそれぞれが保持する状態情報の不一致が発生する可能性がある。

以上の特徴を考慮すると、IGMP をモバイル環境に適用した場合の課題が明らかになる。以下では、これらの課題について整理し、MMGP に求められる要求条件を以下に述べる。

- メッセージの連送による不要な通信を削減

IGMP では、加入要求 (Membership Report) 等の各種メッセージに対する確認応答が存在しないため、メッセージの欠落による未到達が検出不可能となる場合がある。そこで、同じメッセージを複数回連送する (IGMP の Robustness-Variable では 2 回がデフォルト) ことでメッセージ未到達の確率を抑制している。しかし、この対処により無線区間の通信量を不必要に増大させる要因となるため、MMGP ではメッセージの連送を必要としないグループ管理方式を検討する必要がある。

- IGMP 問い合わせによる受信者処理量の削減

IGMP では、IGMP 問い合わせ (Query) により定期的にメンバの存在確認を行う。IGMP 問い合わせには、グループ特定問い合わせ (Group-Specific Query) と全ての受信者を対象とする一般問い合わせ (General Query) が存在し、いずれも多数の受信者がこれを処理する必要があるため、受信者が電源容量に制限のある携帯電話である場合は待ち受け時間低下の要因となる。従って MMGP では、問い合わせによる通信の影響を最低限のメンバのみに抑えることで受信者全体の処理量を低減する必要がある。

メンバの移動による通信発生を低減

IGMPv3では、アクセスルータが全てのメンバの加入状況を管理する。従ってアクセスルータは、メンバからの離脱要求(Leave Group)受信時にグループ指定問い合わせを送信せずに当該メンバの状態情報を削除する機能(Fast Leave)が利用可能である。しかし、無線ネットワークでは、メンバが離脱要求を送信せずに他のアクセスネットワークに移動してしまう可能性がある。このため、このFast Leave機能が有効に働かず、状態不一致を解消するための通信がさらに必要となる懸念がある。従って、MMGPでは、メンバの移動が頻繁に発生する無線ネットワークにおいても柔軟に対処できる必要がある。

マルチキャスト DoS (Denial of Service) への対処

IGMPでは、任意の受信者がデータ受信の開始を要求するため、手当たり次第にグループに加入し、マルチキャスト配信経路を不必要に構築するマルチキャストDoSの問題が存在する。MMGPでは、論文[1]に紹介されるマルチキャストDoS対策と同様に、マルチキャストグループに加入する最初のメンバと、グループから離脱する最後のメンバについて受信者認証を行い、その正当性を判断する必要がある。

3. MMGP の提案

マルチキャストでは、配信を希望するメンバが配下に存在すれば、その数が何台であったとしても、アクセスルータは配信データの中継を行う必要がある。このため、マルチキャストグループ管理プロトコルの本来の目的は、このようなメンバがアクセスルータ配下に存在するか否かを把握できる機能を提供することだと言える。MMGPではこの点に着目し、メンバの中から選択した1台以上のメンバのグループ在籍状況をアクセスルータにおいて集中的に管理する。そして、選択したメンバを識別するためにトークンを用いる方法を提供する。

MMGPの動作の概要は以下のとおり。

- MMGPルータ(MMGPをサポートしたアクセスルータ)は選択した1台以上のメンバに対してトークンを与え、これらのメンバ(トークンメンバと呼ぶ)のグループ在籍を定期的に確認するなどの厳密な管理を行う。つまりMMGPルータは、確認応答を伴うユニキャストによりトークンメンバの在籍確認を行うことで、IGMPで問題であったメッセージの連送や問い合わせ処理の問題を解決する(要求条件の対処)。
- MMGPでは、最低1台のメンバにトークンを与える。これにより、最初にマルチキャストグループに加入するメンバ、及びマルチキャストグループから最後に離脱する(可能性がある)メンバ(マルチキャストグループに他のメンバがいない状態のメンバ)は必然的にトークンメンバとなる。
- トークンを与えられないメンバ(非トークンメンバと呼ぶ)の状態管理は重要ではないため、MMGPルータは、非トークンメンバのグループへの加入や離脱を把握する必要がなく、例えば非トークンメンバが他のサブネットワークに移動した場合や、電源断等により突然通信ができなくなった場合でも特に処理は行わない。以上により、非トークンメンバの移動に伴う通信を削減する(要求条件の対処)。
- 全てのトークンメンバが離脱した場合には、非トークンメンバを選択して、これにトークンを再割り当てる。MMGPでは、最低1台の受信者に対してトークンを与える。
- MMGPルータは、トークンメンバが配下に存在する限りマルチキャスト配信データの中継を行う。
- MMGPでは、トークンメンバの加入時及び離脱時に受信者認証を実行する。これは、最初にグループに加入するメンバと最後にグループから離脱するメンバは必ずトークンメン

バになるという点に着目したものである。これによりマルチキャストDoS対策が可能となる。(要求条件の対処)。

3.1 MMGP の詳細

本節では、MMGPの詳細について通信シーケンスを用いた具体例を用いて説明する。MMGPについては、論文[2][3]においても詳細に説明している。

1. トークンメンバの加入(MMGP Join)

受信者が最初にマルチキャストグループに加入する際には、以下に示すトークンメンバの加入手続きが実行される(図1)。

受信者がMMGP Join Requestを送信すると、MMGAルータは、当該マルチキャストグループに加入しようとする最初のメンバであることが分かる。ここで、MMGPルータがマルチキャストDoS対策を必要とする場合には、に示す受信者認証手続きを実行しても良い。なお、本図中の点線はその実行がオプションであることを示している。次に、受信者に対してトークンを付与する。その後、トークンが到達したことをMMGPルータに伝えるため、受信者は送達確認(ACK)を送信する。なお、MMGPルータは、のMMGP Join Requestの受信、もしくはの受信者認証完了後、必要に応じてマルチキャストツリーの構築を行い、マルチキャストデータの中継を開始する。以上に説明したトークンメンバの加入に関する一連の通信は全てユニキャストで実行される。

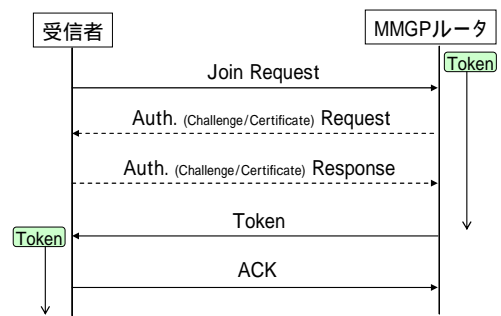


図1 トークンメンバの加入(MMGP Join)手続き

2. 非トークンメンバの加入(MMGP Join)

他のメンバが既に存在するマルチキャストグループに受信者が加入する場合には、非トークンメンバの加入手続きが実行される。受信者は、図1における加入手続きと同様にMMGP Join Requestを送信する。MMGPルータは、本メッセージを受信した時点で2番目以降のメンバ(つまり非トークンメンバ)の加入要求であることが判断可能なため、この時点で処理は終了する。なお、受信者は、何らかの方法で既にマルチキャストグループに加入しているメンバが他に存在するということが検出可能であれば、MMGP Join Requestの送信を省略出来る。なお、以上に説明した非トークンメンバの加入に関する一連の通信は全てユニキャストで実行される。

3. トークンメンバの離脱(MMGP Leave)

トークンメンバがマルチキャストグループから離脱する際には、以下に示すトークンメンバの離脱手続きが実行される(図2)。

受信者は、先に受信していたトークンをMMGP Leave Requestメッセージ中に付加してMMGPルータに送信する。MMGPルータは受信したトークンを確認し、自分で発行したものであるかどうかの検証を行う。ここで、マルチキャストDoS対策の必要性に応じ、受信者認証手続きを実行しても良い。最後に、トークンを受信したことを示すOKメッセージを返信する。なお、以上に説明したトークンメンバの離脱に関する一連の通信は全てユニキャストで実行される。

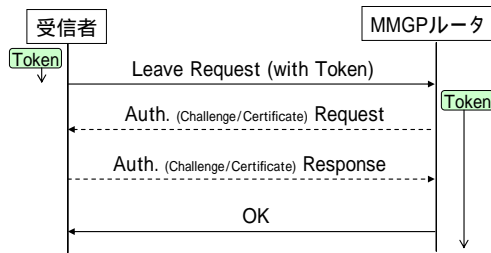


図2 トークンメンバの離脱 (MMGP Leave) 手続き

4. 非トークンメンバの離脱 (MMGP Leave)

非トークンメンバである受信者は、MMGP Leave Request をユニキャストで送信することでマルチキャストグループから離脱する。MMGP ルータは、非トークンメンバの離脱の把握が必ずしも必要無いため、本メッセージは省略可能である。

5. トークン再割り当て

MMGP では、トークンメンバの離脱が発生した場合には、トークンを他のメンバに再割り当てする (図 3)。MMGP ルータは、トークン再割り当てが必要になると、メンバが加入しているマルチキャストグループに対して MMGP Query メッセージを送信する。それを受信した各メンバは MMGP Join Request を送信することでメンバとして在籍していることを MMGP ルータに伝える。MMGP ルータは、MMGP Join Request を受信したメンバの中から 1 台をトークンメンバとして決定するが、この際マルチキャスト DoS 対策が必要な場合には、受信者認証処理を実行しても良い。そして、決定したメンバに対して図 1 と同様にトークン付与のための手続きを行う。なお、残存メンバが存在しない場合には、MMGP Join Request を送信する受信者が存在しないため、MMGP ルータは MMGP Join Request 待ちタイマの満了を待ってマルチキャスト配信の中継を停止する。なお、以上に説明したトークン再割り当てに関連する一連の通信は、MMGP Query のみがマルチキャストで実行され、それ以外の一連の通信は全てユニキャストで実行される。

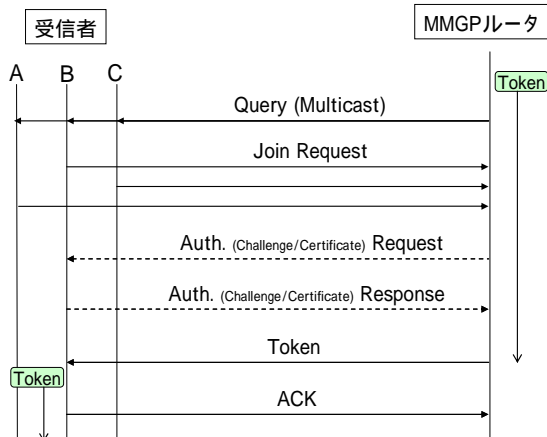


図3 トークン再割り当て手続き

6. トークンメンバの在籍確認 (Hello)

MMGP では、トークンメンバのグループ在籍状況を把握するために定期的にトークンメンバの在籍確認を行う (図 4)。

MMGP ルータは、定期的に MMGP Hello メッセージをトークンメンバに対して送信する。それに対して受信者は、MMGP Hello ACK によって在籍していることを MMGP ルータに伝える。以上の MMGP Hello と MMGP Hello ACK はユニキャストを用いて通信される。MMGP ルータは、MMGP Hello メッセージ待ちタイマの満了を持ってトークンメンバの不在を検知することが可能であり、その後、図 3 に示すトークン再割り当

て手続きを実行する。

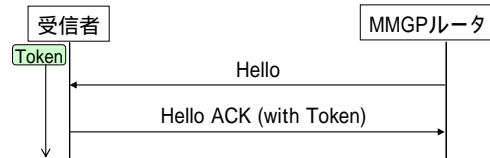


図4 トークンメンバの在籍確認 (Hello)

4. MMGP の評価

本節では、ns (Network Simulator) を用いたネットワークシミュレーションにより MMGP と、IGMP の二種類のバージョン (IGMPv2 と IGMPv3) を比較し、提案方式の有効性を評価する。このとき、評価する項目は以下の二項目である。

- 通信に必要な制御パケット数

MMGP/IGMP の通信に要する制御パケット数を測定することにより各処理に必要な通信量の評価を行う。無線ネットワークにおいて MMGP/IGMP を適用する場合には、制御パケット数とその方式に必要な通信コストが比例するため、制御パケット数がより少ない方式が無線ネットワーク向けマルチキャストグループ管理プロトコルとして優れていると言える。

- 受信者の送受信パケット数

受信者における MMGP/IGMP の送受信パケット数を比較する。受信者におけるパケットの送受信には CPU 処理やメモリの利用が伴うため、これにより受信者が利用する端末の電力を消費する。消費電力を低くすることは、例えば、受信者に携帯電話を用いる場合の待ち受け時間の改善につながることから、送受信パケット数が少ないほうがモバイル向けマルチキャストグループ管理プロトコルとして優れていると言える。

以上の二項目の評価をするに当たり、利用するネットワークとして以下の二種類を想定する。

- 有線ネットワーク

IGMP は、当初有線ネットワーク (以下では、イーサネット等のケーブルを用いて通信を実現するネットワークで構成する LAN を想定する) を対象に設計されており、逆に MMGP が有線ネットワークに適用すると障害が発生するかどうかを確認する必要がある。そこで、評価に用いるネットワークの一つとして、有線ネットワークを採用する。この有線ネットワークにおいては、マルチキャストデータはサブネットワーク上の全ての受信者において受信可能であり、例えば、ある受信者が送信した IGMP 加入要求や IGMP 離脱要求は、サブネットワーク上の他の受信者が受信可能であると仮定する。

- 無線ネットワーク (移動通信網、無線 LAN 等)

MMGP はモバイルマルチキャスト向けに設計されていることから、評価に用いるネットワークのもう一つとして、無線ネットワーク (以下では、移動通信網や無線 LAN 等の無線のネットワークで構成する LAN を想定する) を採用する。例えば、移動通信網の場合には、アクセスルータから送信されたマルチキャストデータは、無線共通チャネルを用いることによりサブネットワーク上の全ての受信者で受信可能である。逆に受信者が送信したマルチキャストデータは、無線基地局が最初に受信し、無線基地局は受信したデータを単にアクセスルータに中継するのみであるため、受信者が送信したマルチキャストデータを他の受信者が受信することは無い。つまり、無線ネットワークでは、受信者が送信した IGMP 加入要求や IGMP 離脱要求は他の受信者が受信することは不可能である。なお、無線 LAN の場合には受信者が送信したマルチキャストデータは、受信者が発した電波を他の受信者が直接受信することもある。

しかし、無線 LAN における隠れ端末問題の要因と同様に、送信者から距離の離れた受信者においては当該データの受信ができない場合も存在する。従って、本節では、無線 LAN の場合にも移動通信網と同様に考えることにする。

また、受信者の移動状況について以下の二点を評価する。

● 受信者が移動しない状況

有線ネットワークにおいては、受信者はケーブルを通じて接続されるため、受信者の移動を考慮する必要性は少ない。また、無線ネットワークにおいても、無線基地局を受信者が集まるような箇所（喫茶店等）に設置するようなスポット的な利用においては、受信者が移動することにより単に圏外になってしまうため、サブネットワークの変更を伴わない場合も考えられる。

● 受信者が移動する状況

無線ネットワークにおいては、受信者はケーブルを通じて接続されていないため、通信を行ったままサブネットワークの変更を伴う移動を考慮する必要がある。従って、本節では、無線ネットワークに限り、受信者が移動した状況を考慮する。

なお、性能評価実験における条件は以下のとおりである。

- 1 台の MMGP ルータで構成するサブネットワーク中に複数の受信者が存在する状況を想定し、受信者数は 1 台から 200 台の範囲で変化させて測定を行う。
- 評価実験では、送信者は 30 分間のデータ配信を行う。受信者は、配信開始前の 5 分間にマルチキャストグループに一樣な間隔で加入し、データ配信完了後の 5 分間で当該マルチキャストグループから一樣な間隔で離脱する。
- 受信者が各サブネットワークに滞在する時間は平均 10 の指数分布に従う。滞在時間後、サブネットワークの変更が生じる。仮に 1Km のセル半径で構成される円形のエリアを想定した場合に、10 分でこのセルに流入してから流出するには時速約 9Km で移動する必要がある。
- 制御パケット数の比較において、ユニキャスト及びマルチキャストのいずれかで送受信された場合でも、制御パケットは一つにつき一個と数える。これは、無線ネットワークでは共通チャンネルを利用することから、マルチキャストはユニキャストと同じ電波リソースを占有するためである。
- 送受信パケット数についても、ユニキャスト及びマルチキャストのいずれかで送られた場合でもパケットは一つにつき一個として数える。例えば、マルチキャストで n 台の受信者を対象にマルチキャストでのデータ配信を行った場合には、合計の受信者の受信パケット数は n 個となる。
- 受信者が移動する際にはサブネットワークから受信者が隣接するサブネットワークへ移動すると共に隣接するサブネットワークから当該サブネットワークに流入する受信者も存在するものとして想定する。従って、一時的に受信者数の変化はあるもののトータルで考えた場合のサブネットワーク内に在籍する受信者数は一定である。
- 非トークンメンバの MMGP Leave と MMGP の受信者認証は省略したものとする。
- MMGP Hello 間隔を IGMP の一般問い合わせ間隔のデフォルト値と同じ 125 秒とする。

4.1 制御パケット数の比較

図 5 に、有線ネットワークにおける各グループ管理プロトコルで送られた制御パケット数を示す。有線ネットワークにおいては IGMPv2 の制御パケット数が一番少なく、IGMPv3 の制御パケット数が一番多い。IGMPv3 では、全ての受信者が IGMP 加入要求と IGMP 離脱要求を送信し、さらに IGMP 加入要求は IGMP 問い合わせ発生毎に必要なとするため、制御パケ

数が受信者数に比例して増加する。それと比較して、IGMPv2 では Suppress 機能により IGMP 問い合わせ後の IGMP 加入要求は最低一台のメンバが送信すればよく、また、IGMP 離脱要求を全ての受信者が送信する必要がないため制御パケット数が IGMPv3 と比較して少ない。MMGP においても、最初の MMGP Join はトークンメンバ、非トークンメンバのいずれも送信するが、ユニキャストを用いる MMGP Hello を用いてトークンメンバに対してのみ在籍確認を行うため IGMPv3 ほど制御パケット数は必要としない。MMGP が IGMPv2 と比較して制御パケット数が僅かに上回っている理由は、MMGP ではトークン再割り当てに MMGP Query とその後の MMGP Join が必要となり、これらの分の制御パケット数が増加するためである。

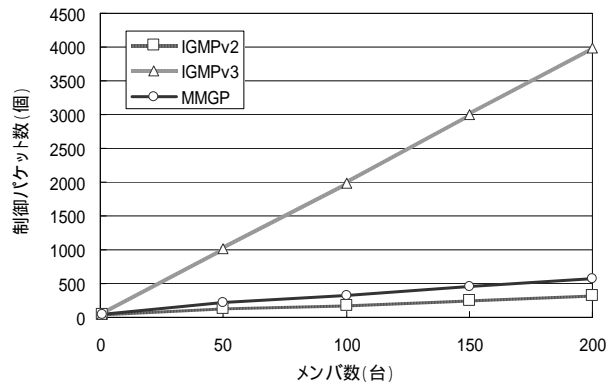


図5 有線 NW における制御パケット数の比較

図 6 に、受信者の移動を考慮しない場合における無線ネットワークにおける制御パケット数を示す。このケースでは、MMGP の制御パケット数が一番少なく、IGMPv2 の制御パケット数が一番多い。無線ネットワークにおいては、IGMP 加入要求が他の受信者によって受信されないため、結果的に IGMP 加入要求と IGMP 離脱要求が全ての受信者によって送信されることがその原因である。これは IGMPv2、IGMPv3 のいずれにおいても共通である。ただし IGMPv2 の場合には Fast Leave 機能を持たないため、IGMP 離脱要求後に IGMP グループ特定問い合わせが発生し、それがさらに IGMP 加入要求を発生させる要因になっている。従って、IGMPv2 は、IGMPv3 と比較しても制御パケット数が多い。反面 MMGP では、MMGP Hello を用いてトークンメンバに対してのみ在籍確認を行っているため制御パケット数の低減が可能である。

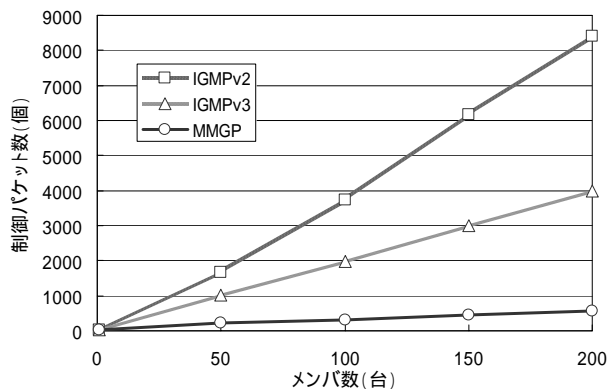


図6 無線 NW における制御パケット数の比較 (移動無し)

図 7 に、受信者が移動する無線ネットワークでの制御パケット数を示す。IGMP では、いずれのバージョンにおいても、受

信者が移動しない図 6と比較して、制御パケット数の変化は少ないことが分かる。これは、IGMP の制御パケット数は受信者の移動には関係なく、単にアクセスルータ配下の受信者数に依存することが原因である。これに対して MMGP では、トークンメンバが移動することによって発生するトークン再割り当てに通信が必要であるため、制御パケット数が増加している。ただし、トークンメンバはメンバの中の代表者 1 台のみが指定されるため、トークンメンバの移動によるトークン再割り当ての影響は少ない。評価結果から見て、MMGP は、IGMPv2 や IGMPv3 と比較して制御パケット数は少ないことが分かる。

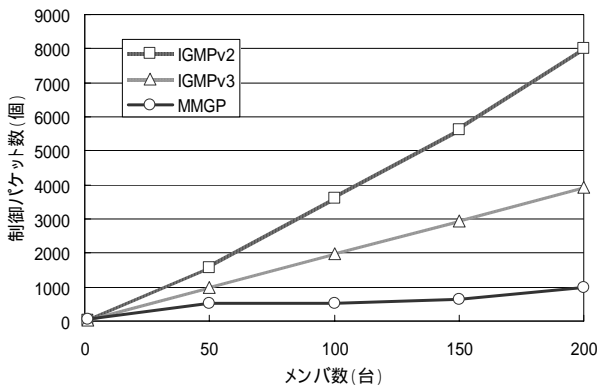


図7 無線 NW における制御パケット数の比較 (移動有り)

4.2 受信者の送受信パケット数の比較

図 8に、有線ネットワークにおける受信者の送受信パケット数を示す。この状況においては、IGMPv2 と IGMPv3 の送受信パケット数は多く、MMGP の送受信パケット数は少ない。また、受信者数が少ない状況では IGMPv2 の送受信パケット数は IGMPv3 と比較して少ないが、受信者数が増加すると IGMPv2 の送受信パケット数が IGMPv3 よりも多い。この理由は、IGMPv2 では、受信者数が増加するにつれて受信者のグループ離脱時に発生するグループ特定問い合わせによる受信パケット数が増加するからである。これに対し IGMPv3 ではグループ特定問い合わせが存在しないため、受信者数増加による影響は小さい。IGMP の送受信パケット数に対し MMGP の送受信パケット数が少ない理由は、MMGP では、トークン再割り当て時以外にはユニキャストを用いて基本的に通信を行うため、通信を必要とするのは通信対象となる受信者のみであることが影響している。以上のことから、MMGP により受信者の送受信パケット数を減らす効果があることが分かる。

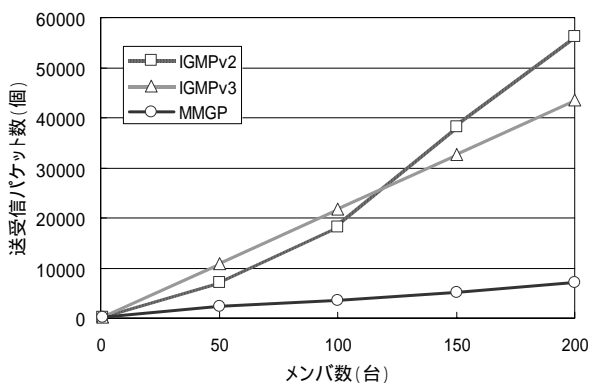


図8 有線 NW における送受信パケット数の比較

図 9に、無線ネットワークにおける受信者の送受信パケ

数を示す。無線ネットワークにおいては、IGMPv2 と IGMPv3 の送受信パケット数が多く、MMGP の送受信パケット数が少ない。この傾向は図 8と同様である。IGMPv2 の送受信パケット数が IGMPv3 の送受信パケット数と比較して多いのは、IGMPv2 には IGMPv3 で提供されている Fast Leave 機能が無いためである。

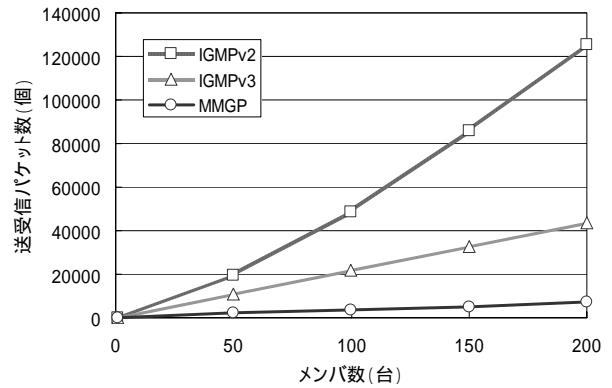


図9 無線 NW における送受信パケット数の比較 (移動無し)

図 10に、受信者が移動する場合の受信者の送受信パケット数を示す。IGMP では、いずれのバージョンにおいても、受信者が移動しない図 9と比較して、受信者の送受信パケット数の変化は少ないことが分かる。これは、IGMP パケットの送受信数は受信者の移動には関係なく、単にアクセスルータ配下の受信者数に依存している。これに対して MMGP では、トークンメンバが移動することによって発生するトークン再割り当てに通信が必要であるため、受信者が移動しない状況と比較した場合に、送受信パケット数が増加している。なお、このような状況においても IGMPv2 や IGMPv3 と比較して送受信パケット数は相対的に少ないことが分かる。

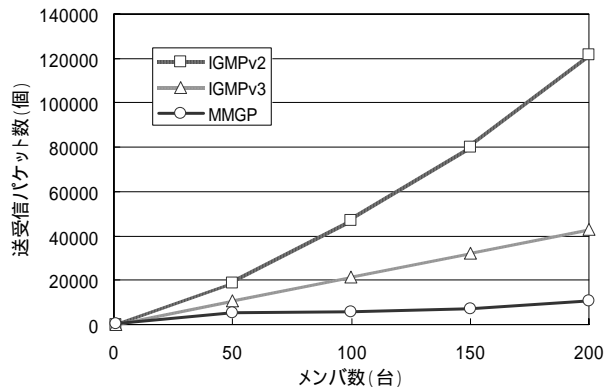


図10 無線 NW における送受信パケット数の比較 (移動有り)

5. MMGP の考察

以下では、4節の結果を基に MMGP に関して考察する。

• MMGP の制御パケット数 (通信量) に関する考察

MMGP は、アクセスルータ配下に最低 1 台のメンバが存在するか否かを把握するという本来のマルチキャストグループ管理の目的に沿って設計されており、トークンを利用して 1 台のメンバの管理を厳密に行うことで効果的なグループ管理を実現している。そのため MMGP は、有線ネットワークにおいては IGMPv2 より制御パケット数が多いものの、無線ネットワークに

においては IGMP のいずれのバージョンよりも少ないパケット数でグループ管理が可能である(2節の要求条件)。

IGMPv2 は、LAN 等の有線のネットワークにおいては、MMGP よりも少ない制御パケット数でグループ管理が可能であることを確認したが、無線ネットワークにおいては、制御パケット数が著しく増加する傾向にあることが確認できた。これは、無線ネットワークでは、アクセスルータから受信者への下り通信のみマルチキャスト配信データが全ての受信者において受信可能であるが、受信者からアクセスルータへの上り通信ではマルチキャストデータは他の受信者で受信できないということが要因になっており、IGMPv2 を無線ネットワークに適用するには課題があることを確認した。

IGMPv3 は、有線/無線のいずれのネットワークに適用してもその制御パケット数の変化は無かった。また、IGMPv3 は、MMGP と比較して全ての場合において制御パケット数が多いことを確認した。ただし、IGMPv3 はアクセスルータにおいて全ての受信者を管理する機能を持っており、それについては MMGP では保持していない機能である。従って、アクセスルータにおいて全ての受信者の管理が必要な場合においては MMGP の代わりに IGMPv3 を適用する必要があるが、そのことによる制御パケット数の増加を考慮する必要がある。

● 受信者の送受信パケット数(消費電力)に関する考察

MMGP では、トークンメンバの離脱を原因とするトークン再割り当てに用いる MMGP Query にのみマルチキャストを用いるが、その他の全ての制御メッセージはユニキャストを用いて通信を行う。従って、MMGP は有線ネットワーク、無線ネットワークの全てのケースにおいて IGMP と比較して少ない送受信パケット数でグループ管理の実現が可能である。つまり、MMGP は、受信者全体を考慮した際の送受信パケット数の低減を図ることが可能であり、受信者が使用する端末の消費電力を低減することが可能である(2節の要求条件)。

IGMPv2 と IGMPv3 のいずれも、全ての制御メッセージはマルチキャストアドレスを宛先としてやり取りされる。特に IGMP 一般問い合わせは、サブネットワーク中の受信者全てがその受信対象であるために、受信者全体の送受信パケット数が増加する原因となっており、受信者が使用する端末の消費電力に影響があることが課題である。特に電源容量の制限が厳しい携帯電話を受信者として用いた場合には、その待ち受け時間への影響が無視できなくなる。

● 受信者の移動に関する考察

MMGP では、受信者の移動によりトークンの再割り当てに必要な手順を原因とする制御パケット数の増加が確認できた。しかし、受信者の一般的な移動速度を考慮した測定結果によると、そのような制御パケットの増加傾向を考慮しても、IGMP よりも少ない制御パケット数でグループ管理を実現可能であることを示した(2節の要求条件)。

IGMP では、受信者の移動が発生した状況においてもそれが要因となって制御パケット数が増減する要因にはならないことが分かった。ただし IGMPv3 においては、アクセスルータにおいて受信者のグループ加入状況を全て管理しているため、受信者の移動によりその状態情報の不一致の要因になる。IGMPv3 では、一般問い合わせにより一定間隔で受信者の在籍情報を確認することによりこの状態不一致を解消することが可能であるが、受信者が頻繁に移動する環境においては、最大一般問い合わせの間隔時間だけ状態不一致が発生する可能性があることを考慮する必要がある。以上のことから、受信者が移動する無線ネットワークにおいては、受信者のグループ加入状況を全て管理する IGMPv3 の設計思想は適さない

ため、MMGP のように受信者の状態管理を行わないグループ管理方式の採用を検討する方が合理的である。

● MMGP のトークン再割り当てに関する考察

トークンメンバの離脱や移動に伴うトークン再割り当ての発生は、その後のトークン再割り当ての処理を必要とするため、MMGP における制御パケット数の増加の要因になる。従って MMGP では、移動する確率が低い受信者や最後にグループから離脱する受信者にトークンを割り当てることにより制御パケット数の更なる減少を図ることが可能となる。

例えば、グループ在籍時間が一番長いメンバにトークンの再割り当てを行うことにより、移動や圏外流出等の可能性が低いメンバにトークンを割り当てることにつながるため、結果的にトークン再割り当てが発生する回数を低減することが期待出来る。以上を実現するための一つの実現例として、受信者のグループ在籍時間に応じて MMGP Query 受信後の MMGP Join Request の送信タイミングを変化させる方法を検討している。これは、受信者のグループ在籍時間が長い場合には MMGP Join Request 送信を早く行い、逆にグループ在籍時間が短い場合には MMGP Join Request 送信を遅らせ、MMGP ルータが一番早く MMGP Join Request を受信したメンバをトークンの再割り当て先メンバとして選択する方法である。トークン再割り当てに関する更なる考察と性能評価は今後の課題として継続して検討を続ける予定である。

● MMGP のセキュリティに関する考察

MMGP では、必要に応じてトークンメンバの加入や離脱に対して受信者認証を実行し、マルチキャスト DoS の対策が可能である(2節の要求条件)。ただし、配信データの第三者による盗聴を防止するためには、受信者認証だけでは不十分であり、マルチキャスト配信データの暗号化を組み合わせる必要がある。MMGP は、各種マルチキャスト用暗号化プロトコル [1] と併用して利用可能であり、必要に応じてデータ暗号化プロトコルと組み合わせることが出来る。

6. まとめ

本論文では、既存のグループ管理プロトコルを移動通信網や無線 LAN で適用した場合、通信コストが高くなるほか、電源断や移動により受信者との接続が突然途絶えた場合の対策が行われていない問題を指摘し、これを解決するため、モバイルマルチキャスト向けのグループ管理プロトコル MMGP を提案した。そして、シミュレーション実験により MMGP と IGMP の比較を行い、MMGP の性能とその特徴を明らかにした。なお、これまでにマルチキャストグループ管理プロトコルのモバイル環境への適用について十分に検討が行われた研究例は存在せず本研究の新規性は高い。従って、本研究は今後のモバイル向けマルチキャストグループ管理プロトコルの検討における重要な位置付けとなることが期待できる。

文 献

- [1] H. Ueno, H. Suzuki, N. Ishikawa, and O. Takahashi, "A Receiver Authentication and Group Key Delivery Protocol for Secure Multicast," IEICE Transactions on Communications, Vol.E88-B, No.3, 2005.
- [2] H. Ueno, H. Suzuki, and N. Ishikawa, "A Group Management Protocol for Mobile Multicast," 4th International Conference on Networking (ICN'05), LNCS 3421, 2005.
- [3] 上野英俊, 鈴木偉元, 石川憲洋, "モバイルマルチキャスト向けグループ管理プロトコルの提案," 電子情報通信学会研究報告, Vol.104, No.279, (MoMuC2004-55-64), 2004.