

ミリ波無線通信を利用したマルチホップデータ転送手法の紹介

川村 晋太郎[†] 塩谷 吉満[†] 松山 健吾[†] 王 洋[†] 高 敏雄[†]

株式会社リコー リコーICT 研究所 システム研究センター[†]

1. まえがき

セミナー会場や学校の教室などの無線端末の稠密環境において、全端末に情報（ドキュメント、映像・音声ストリームデータなど）を一斉配信するニーズが有る。しかし、現在広く普及している無線 LAN（IEEE 802.11ac, 以降 11ac）では干渉や輻輳の影響で無線通信の速度が低下する、もしくは接続できない問題が生じてリアルタイムに情報を共有する事ができない。

そこで 60GHz 帯を使用する次世代高速無線通信規格であるミリ波無線（IEEE802.11ad[1] , 以降 11ad）に着目した。11ad は非常に高速で、11ac の電波混雑に関係なく無線通信が可能な点が挙げられるが、通信距離が約 10m と短く、また電波直進性が非常に強い為、衆人環境、もしくは障害物が多い環境では使い勝手が悪い。

本稿では、上記課題を解決したマルチホップデータ転送手法について提案する。

2. ネットワーク構成

本稿で紹介するシステムのネットワーク構成は、あるエンドノードが持つデータをその他全エンドノードに一斉配信する目的に特化したものである。

アクセスポイント（以降 AP）に複数エンドノードがステーション（以降 STA）として接続されたスター型トポロジの BSS（Basic Service Set）を形成し、AP 機能を持つノードを中継ノードとしてマルチホップ転送し、実質的な通信範囲の拡大を行うことが考えられる。しかし、複数 AP 同士を繋いで通信範囲を拡大する機能は、規格上 11ad には備わっていない。

この課題を解決する為、マルチホップ転送機能を持つ中継ノードにて図 1 に示すように 2 個の 11ad モジュールを備え、片方を AP、もう片方を STA に設定して、異なる BSS 間をホッピング転送する。各エンドノードはいずれかの中継ノードの AP 側に接続する。

ネットワーク全体の経路制御を行う集中制御ノードは、中継ノードの中から任意に 1 つ選択され、集中制御ノードと中継ノードは 11ac を使用して経路計算に必要なデー

タの収集と集中制御ノードの経路計算結果の通信に使用する（3.2 節にて詳述）。以上のように、メッシュ型とスター型を組み合わせた階層構造のトポロジを持つ。

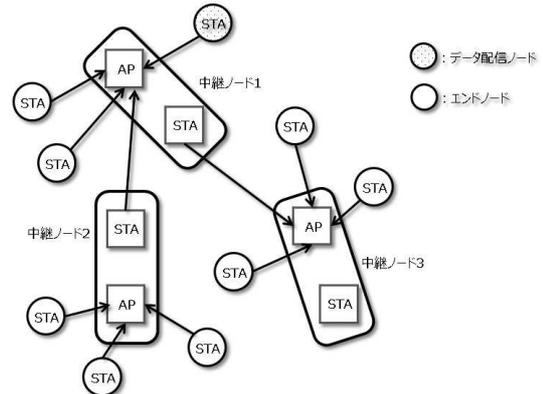


図 1: IEEE802.11ad マルチホップネットワークトポロジ

3. 機能

本システムの目的は、図 1 に示すデータ配信ノードからのコンテンツを全エンドノードに高速・低遅延で一斉配信することである。マルチホップデータ転送においては「リアルタイム性」を主眼としており、「データ到達保証」の為に経路制御を実施する。

3.1. マルチホップデータ転送

マルチホップデータ転送は、中継ノードへの転送とエンドノードへの転送に大別される。

配信データがファイルの場合、各中継ノードで受信データを保存すると同時に終端ノードでなければ、次ホップ先の中継ノードにデータ転送する。次ホップ先の中継ノードへのデータ転送が終了後、BSS 配下のエンドノードにデータ転送する。各中継ノードに転送データを保存するので、エンドノードが新規にネットワークに参加した場合、中継ノードから即時にデータ取得する事が可能となり、既参加の他エンドノードとスムーズに同じ情報を取得出来る。

ストリーム転送の場合は、中継ノードにおいて、チャックデータ単位で送受信を並行して行い、また MAC 層でマルチキャスト-ユニキャスト転送の変換を行っている。

3.2. 経路制御

先述のように 11ad は衆人環境や障害物が多い場合、通信が不安定もしくは切断される為、マルチホップデー

Introduction of Multi-hop Data Transfer Method Using Millimeter-wave Wireless Communication
Shintaro KAWAMURA[†] Yoshimitsu SHIOTANI[†] Kengo MATSUYAMA[†] Yang WANG[†] Toshio TAKA[†]
[†]System Research & Development Center, Ricoh Institute of Information and Communication Technology, RICOH Company, Ltd.

タ転送においては経路制御プロトコルが必須となる。

具体的には 11ad ネットワークトポロジ作成時、及び無線切断や通信品質低下 (MCS : Modulation and Coding Scheme の低下及び UDP パケット欠落率の上昇) 時に通信経路を適宜切り替える (接続相手の中継ノードを切り替える) ことで、データの到達性を保証する。図 2 に中継ノード 2-3 間が無線切断した際のネットワークトポロジ例を示す。無線切断したことにより、中継ノード 3 とそれらに接続するエンドノードではデータ受信出来ない状態となる。

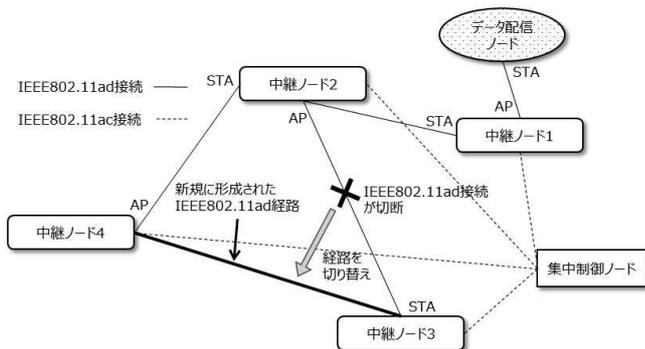


図 2: 経路切り替え (エンドノードは省略)

中継ノード間の 11ad が切断した場合、中継ノードはスキャンを実施して、集中制御ノードに切断した旨とスキャン結果 (接続可能な周辺中継ノード及び電波強度) を通知する。集中制御ノードは上記通知を受信後、収集したスキャン結果を使用して新規に経路計算を行い、その計算結果から導かれる新規接続先となる中継ノードの IP アドレス, SSID, 使用チャンネル情報等を通知する。

また、切断した中継ノードと以降に接続される中継ノードがデータ配信ノードと分離しないように、データ配信ノードに到達可能、不可能ノード群に分類して、切断した中継ノードが前者に属するいずれかの中継ノードに接続するように経路計算する。図 2 の例では中継ノード 2 から中継ノード 4 への切り替えを行っている。

4. 評価結果

図 3 に 10 台の中継ノードを使用してホッピング転送した場合のファイル転送時間 (100MByte のファイルを転送) と映像再生遅延時間を示す。ファイル転送時間はホップ段数に比例して転送時間が増加するのに対して、映像再生遅延時間はホップ段数に関係なく約 100 ミリ秒となっている。これは送受信ノードのコーデック処理時間 (※) が支配的であり、ネットワークの遅延時間は 10 ミリ秒以内である事を示している。 ※H. 264 Baseline

Profile frame rate = 30fps, 1920x1080

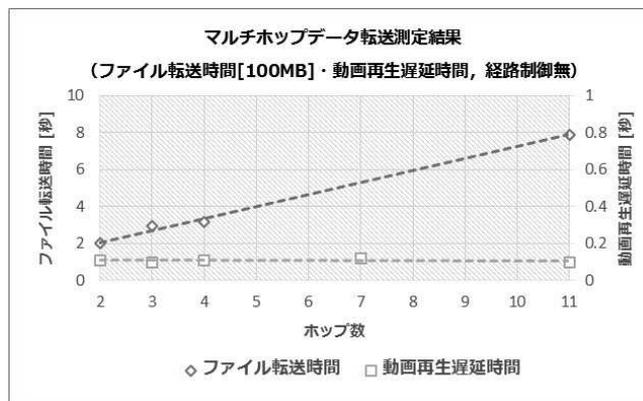


図 3: 中継ノード間のマルチホップ転送時間評価結果

また、中継ノード 5 台を使用してエンドノード 30 台にファイル配信, 映像ストリーム配信を行った場合の評価結果を表 1 に示す。無線 LAN (IEEE802.11ac 1ss) を使用した場合と比較してファイル配信時間は約 23 倍高速であり、無線 LAN では実現できなかった全エンドノードに 100 ミリ秒以内の遅延時間で映像ストリーム配信することが出来た。

表 1: データ転送性能比較結果

エンドノード	ミリ波	無線 LAN
30 台	マルチホップ	電波干渉無し
ファイル配信 完了時間	12.7 秒	295 秒
映像再生 遅延時間	~100 ミリ秒	多くのエンドノードで 再生不可

また、中継ノード間の無線通信が切断した場合の経路切り替えに要する時間は 571 ミリ秒であった。切断検出 (1 ミリ秒), スキャン処理 (423 ミリ秒), 集中制御ノードでの経路計算時間 (7 ミリ秒), 他中継ノードへの接続時間 (140 ミリ秒) であり、使用している通信チャンネルは 2 個で、暗号化は行っていない。

まとめ

本稿では、端末稠密環境においてコンテンツ一斉配信を行う目的で、高速なミリ波無線通信 (IEEE802.11ad) を利用したマルチホップデータ転送手法について述べた。今後は実証実験等を通して、アプリケーションの価値検証と本システムの有効性検証を進めていく予定である。

参考文献

[1]IEEE 802.11ad, 2012, 『Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, Amendment 3: Enhancements for very high throughput in the 60 GHz band』.