

分散型環境におけるアドホックネットワークの改善と提案

Performance Improvements of Multi-hop Ad Hoc Wireless Networks in Distributed Cooperative Systems

無線 LAN(Local Area Network) は携帯電話、ノートパソコン、車車間通信など様々なところで使用されており、特に協調走行に於ける分散型無線通信にて必要とされている。無線通信は有線通信と比べ、利用できる帯域は限られており、効率の良い通信ができる MAC(Medium Access Control) プロトコルが必要となっている。無線通信プロトコルには集中型の通信方式 PCF(Point Coordination Function) や分散型の通信方式 DCF(Distributed Coordination Function)、DCF を拡張した通信方式 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access) がある。分散型の通信方式には制御局がなく、各ノードは自律しているため、ノードが自由にネットワークに加入や脱退をすることができるメリットがある。その一方、ノード数の変動によってスループットや公平性が低下するなどの問題点がある。特に、EDCA を用いた場合やマルチホップ環境の場合、ノード数の増加によってスループットや公平性の低下が激しくなる。本研究では、従来の通信方式の弱点を克服して新しい提案を行い、3 段階を経て成果を得ることができた。まずは、シングルホップ環境で動的なノード数の推測方法を確立し、トラフィックの変動に応じたスループット及び公平性の最大化を行うことができた。次に、それに基づいて QoS (Quality of service) とスループットを同時に改善することができる通信手法を提案できた。最後に、先述したシングルホップ環境での提案手法をマルチホップ環境への拡張に関する研究を行った。マルチホップ環境では隠れ端末からの影響を受けるため、動的なノード数の推測は複雑で困難であるとされてきた。理論解析を行った上で、独自の手法を提案し、動的にノード数を推測することができた。そして、マルチホップ環境に於いても高スループット且つ高い公平性を実現できた。

第 3 章では、シングルホップ環境に於いてスループットと公平性を向上することができる通信手法 OBEN(Optimizing Backoff by dynamically Estimating Number of Nodes) を提案し、評価する。制御局がない環境では、各ノードはキャリアセンスを行い、ランダムな待ち時間を待ってからパケットを送信する。ランダムな待ち時間が原因で、ノード数の増加に伴い、多くの衝突が発生し、スループットが低下する。また、CW (Contention Windows) はノードのパケット送信機会と関係する値であり、CW が小さい場合は多くの衝突が発生する。反対に、CW が大きい場合は余分な待ち時間が増加し、スループットが低下する。従来の手法では CW の変化が激しいため、スループットや公平性の低下等の問題がある。そのような問題点を解決する為、新しい通信手法 OBEN を提案する。OBEN では、まず各ノードは無線チャネルを観察する。無線チャネルの状態として、アイドル状態、送信成功状態、

衝突状態がある。各ノードはそれら 3 つの状態を観察することで、状態の確率を算出し、ノード数を推測する。次に、推測したノード数を基に、高スループットを実現できる最適な CW を算出する。このようにして、全てのノードが動的にノード数を推測し、ノード数に応じた最適な CW を得ることで、OBEN は高スループットかつ高い公平性を実現する。提案手法 OBEN と従来の手法 DCF と関連研究のシミュレーション結果を比較し、OBEN の有効性を確認することができた。

第 4 章では QoS を考慮したシングルホップ環境に於いてスループットと公平性の向上を目指す改善案について説明する。IEEE802.11e では EDCA を定義しており、それは DCF を拡張し QoS を考慮した通信方式である。EDCA に於いては、従来の DCF の問題点に加え、QoS が十分に保証できていないという問題点がある。各ノードは優先度の異なる AC (Access Category) を複数保持しており、優先度の高い AC は優先的にパケットを送信できるようにする為、非常に小さい CW を持つように設定される。しかし、優先度の高い AC を持つノード数が増加したとき、多くの衝突が発生する。そのため、従来の手法では QoS を十分に保証できない。提案手法 OBQ (Optimizing Backoff with QoS) はすでに提案した OBEN に基づき、上で示した問題点を解決する新しい MAC プロトコルである。OBQ では、OBEN と同様、無線チャンネルを観察することで各チャネルイベントを算出し、動的に推測したノード数を基に最適な CW を算出する。そして、最適な CW と設定した CW 比を用いることで、ノード内部の各 AC に CW を割り当てる。CW 比は使用するアプリケーションに応じて自由に設定することができる。CW 比を変化させることで、各 AC の遅延は変化するがトータルスループットは変化しない。OBQ を評価するため、シミュレーションを行った。提案手法 OBQ と従来の手法 EDCA のシミュレーション結果を比べ、OBQ ではノード数の増加に伴うスループットの減少を回避でき、最適な QoS を提供しつつ、高いスループットと公平性を得ていると分かった。

第 5 章ではマルチホップ環境におけるスループットと公平性の向上を目指して OBEM (Optimizing Backoff by dynamically Estimating the number of nodes in Multi-hop networks) を提案する。シングルホップ環境では、全てのノードは互いに通信可能な範囲内に存在することを仮定していた。それに対してマルチホップ環境では、シングルホップ環境より多くの問題が生じる。それはノード数の増加に伴い、急激にスループットが低下することである。その原因の 1 つは隠れ端末問題である。標準化された RTS/CTS を用いることによってある程度の隠れ端末問題は緩和されるが十分ではない。また、マルチホップ環境では隠れ端末問題による影響で解析が非常に複雑になる為、関連研究に於いてはノード数の推測やノード数に応じた最適な CW 値について十分に研究されていなかった。そこで、従来の手法の問題点を解決し、ノード数の推測や、推測したノード数を基に最適な CW を算出する通信手法 OBEM について提案する。OBEM は、OBEN より適用環境を拡張させた

手法であり、マルチホップ環境において適用する。OBEM では、各ノードは無線チャンネルを観察し、チャンネルの状態の確率を算出する。それを用いて隣接ノード数と隠れ端末ノード数を推測し、それらに応じた最適な CW を調整する。シミュレーションを通じて、隣接ノード数や隠れ端末ノード数を推測できていることを確認できた。また、従来の手法と比較し、提案手法 OBEM は、高スループットかつ高い公平性を実現することができ、隠れ端末問題を緩和することができた。

第 6 章は研究の成果と優位性を総合的にまとめ、今後の課題となる項目の理を行っている。本研究では、異なる目的と環境に対して通信プロトコルの研究を行った。まず、DCF を改善した分散型 MAC プロトコル OBEN を提案した。OBEN は動的にノード数を推測し、最適な CW を得ることで、高スループットかつ高い公平性を実現することができた。ノード数が変化する環境でも、動的に最適な CW を調整することができ、従来の手法 DCF や関連研究より高い公平性を得ることができた。また、OBEN を拡張した手法として、EDCA を改善した分散型 MAC プロトコル OBQ を提案した。提案のノード数推測手法を用いてし、最適な CW を算出する。そして、CW 比と算出した CW を用いることで、各 AC に CW を割り当てる。CW 比は使用するアプリケーションに応じて設定することができる。CW 比を変化させることで各 AC の遅延は変化するが、トータルスループットは変化しない。そして、より広いネットワークに適用できるように拡張した手法として、DCF を改善した分散型 MAC プロトコル OBEM を提案した。動的に隣接ノード数や隠れ端末ノード数を推測し、最適な CW となるように CW を調整することで、隠れ端末問題を緩和することができた。詳細な理論解析やシミュレーション結果により、提案プロトコルは高スループット、QoS、マルチホップ環境への適応性から十分な性能を持つことで本研究の成果は車群の協調走行等のような分散型ネットワーク環境に応用できる通信技術を確立した。