

センサネットワークにおけるネットワークコーディングの効率的通信方式の検討

白石 朋広[†] 安達 直世[†] 滝沢 泰久[†]関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科[†]

1. はじめに

「ユビキタスコンピューティング」や、「ユビキタスネットワーク」など、「ユビキタス」という考え方は大きく展開されており、それを実現する技術の1つとしてセンサネットワークが注目されている。複数のノードを広範囲に分布することにより、それらが協調し、環境や物理的状況などの採取が可能になる。この技術は環境モニタリングや構造物ヘルスマニタリングなどへ応用出来る

無線センサネットワークの特徴の1つは、ネットワークを構成するセンサノードがバッテリー駆動ということである。そのため、分布したセンサノードは充電不可能であり、使用できる電力には制限がある。2つ目の特徴として、使用できる電力には制限があるので、センサノードの通信距離が狭くなり、構成されるネットワークはメッシュ型のトポロジとなる。この構成において、センサノードやセンサネットワーク全体のライフタイムを長くするため、消費電力を抑制する技術が必要となる。

既存の省電力の技術は大きく2つに大別できる。1つは各ノード間の送信回数の削減により消費電力を削減する方式で、もう1つはノードをスリープ状態にして消費電力を削減する方式である。しかし、これらの方法はアプリケーションレベルでのデータの精度が低下する問題がある。そこで、データ精度を維持しつつ省電力化を行うためにネットワークコーディング（以下 NC）をセンサネットワークに適用する。

NC はマルチホップ通信において、中継ノードにて1つの送信パケットに他のノードのデータを重ねてコード化しブロードキャスト通信で送信、受信側でそれをデコードする技術である。これにより、スループットの向上が図れ、送信回数を削減できることから、省電力化及び、データ精度の維持が可能と考える。しかし、ブロードキャスト通信は再送制御が無いため、符号化したパケットの信頼性が無い。従って中継ノードからのブロードキャスト送信の信頼性を高める必要がある。

本稿では、NC の送信の信頼性を高めるためのパケット送信方式について検討を述べる。検討方式は、それぞれのノードに輻輳検知機能を持たせ、輻輳が検知された場合には符号化を行わずにユニキャストでパケットを送信し、輻輳が検知されなかった場合には符号化しブロードキャストで符号化パケットを送信する。これにより、従来の NC より、コーディング回数は減るが、End-to-End 遅延時間、パケット到達率は上がると思われる。

2. ネットワークコーディングの動作

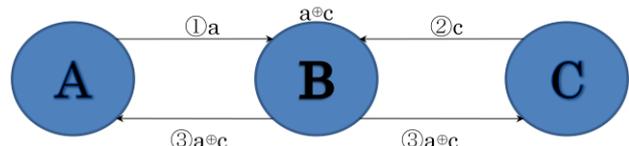


図1 NC を用いた双方向通信の様子

図1にNCの動作例を示す。ノードAとノードCがノードBを介して双方向通信を行っている。まずノードAがノードBにパケットaを送信、ノードCがノードBにパケットcを送信する。次に、中継ノードBにおいて、XORによる符号化パケットa@cを作成し、ノードA,Cにブロードキャストで送信する。ノードA,Cは受信した符号化パケットを複合し、ノードAはパケットcを、ノードCはパケットaを得る。

従来の2ホップユニキャスト通信では、全体で4回の通信を行わなければならなかったが、NCにより3回に削減することができる。ただし、NCを行うためには中継ノードにて、符号化の対象となるパケットの到着を待つ必要がある。図1の例で言うと、中継ノードBではパケットaとパケットcが揃うまでノードA,ノードCへの送信を行うことができない。このようにNCを行う場合、中継ノードにて、符号化要件を満たすパケットが到着するまでの待機時間が必要となる。

3. 提案方法

本研究では、それぞれのノードに輻輳検知機能を持たせるために、MAC層での送信時間 t_0 を取得、さらに物理層での送信時間 t_1 を取得し、その差を送信遅延時間とし、パラメータで指定したn回分の平均値（今回は $n=10$ ）を求める。パラメータとして与えている送信遅延時間閾値 t との大小関係にて輻輳の有無を判別している。

輻輳が検知されなかった場合には、NC が可能な状況（対象パケットが存在）ならば NC を行い、NC が不可能な状況ならば、待機キューに挿入する。輻輳が検知された場合、シナリオの設定に従い MAC に送信する、もしくは待機キューに挿入する。

4. 実験と考察

4.1 実験条件

ネットワークシミュレータの QualNet を利用して、輻輳検知機能を持たせた NC の効果を検証する。図 2 の実験条件において、各待機時間で 10 通りのロポロジについてデータを取り、その平均値を割り出し、通常の NC (NCon)、輻輳検知を行った場合の NC (ToMac、Enqueue) コーディング回数、End-to-End 遅延時間、パケット到達率を比較して検証を行う。

評価空間	1000m×1000m
ノード数	25
最大送信アイテム数	300
パケットサイズ	64byte
パケット送信間隔	0.01s
パケット送信開始時間	10.00s~10.24s
パケット送信終了時刻	制限なし
待機時間	200ms~700ms
送信遅延時間閾値	0.03s

図 2 実験条件

4.2 実験結果

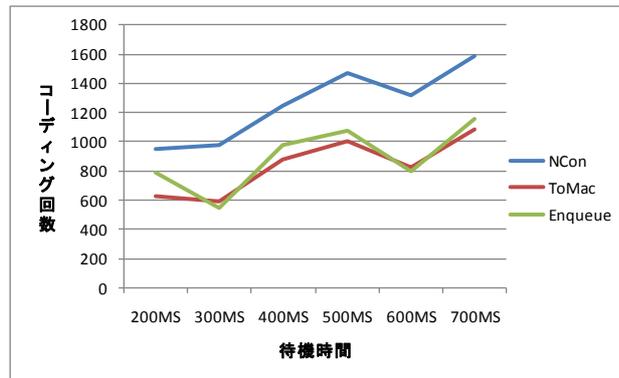


図 3 コーディング回数の比較

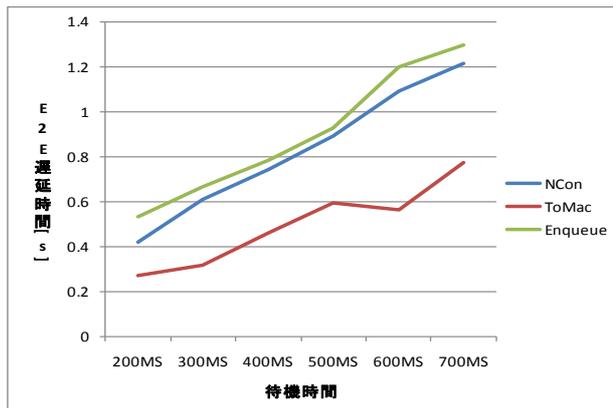


図 4 End-to-End 遅延時間の比較

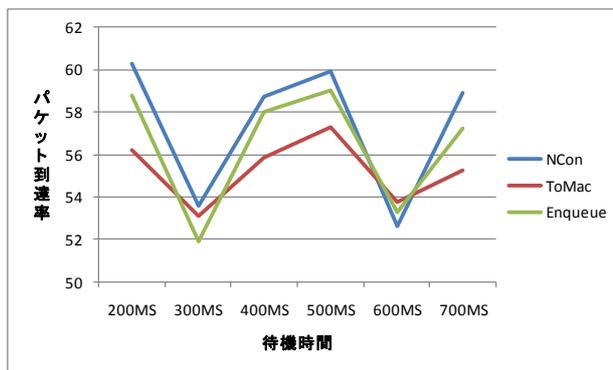


図 5 パケット到達率の比較

図 3 より輻輳検知を行う方がコーディング回数が減り、予想通りとなった。しかし、End-to-End 遅延時間は ToMac 方式は大幅に減少したが、Enqueue 方式では従来の方式を上回ってしまった。また、図 5 からわかるようにパケット到達率は輻輳検知をしない方が良いという結果になった。また、待機時間が送信間隔の倍数となる場合、タイムアウトしてコーディングを行わなかったパケットと、新規送信パケットのタイミングが重なり、パケット衝突が発生すると思われる。

5. 結論

本研究で実装した輻輳検知では、あまり効果が得られないことがわかった。ToMac 方式で実験を行った結果、ユニキャストの再送制御のためにパケットロス→再送→パケットロスと繰り返してしまうことが、パケット到達率が落ちた原因と判明した。このような現象を確認したので、次のアプローチとして、輻輳の有無によりバックオフの時間を制御するよう試みる。