

センサアドホックネットワークにおける Network Coding を用いた通信競合性能の解析

Analysis of Communication Conflict based on The Network Coding

寺島美昭[†]

Yoshiaki Terashima

河東晴子[†]

Haruko Kawahigashi

若山俊夫[†]

Toshio Wakayama

1. はじめに

我々は被災地に配置した無線通信機能を持つセンサ(端末)が観測情報を共有して、正確、迅速に状況を把握する事を目的に、Network Coding(NC)理論を用いたセンサアドホックネットワーク(NC通信)の実現を研究している。NCは通信可能な最大情報量(Max-Flow)を計算するグラフ理論の考えである。センサアドホックネットワークに応用する事により、パケットを送信能力(コスト)に限界のある単一リンクのみでなく、複数のリンク(リンク集合)へ符号化により分割したパケットを送信する事により、大きな情報量の通信が可能となる。しかし、現実には理論では考慮されていない伝送ルーティングによる処理遅延、伝送時のパケット衝突による情報欠落、分割した情報を符号化処理する同期処理のズレなどの解決が必要である。本報告ではセンサ運用に特化して処理負荷を軽減した符号化ルーティング方式[1]を述べ、NC通信実現に向けたシミュレーション評価方法の検討、及び1対N通信にてリンク集合が複雑になる場合の通信性能の解析結果を報告する。

2. 符号化ルーティング方式

図1は、送信端末 T00s が、受信端末 T06d, T16d, T26d に対して、端末 T01 ~ T05, T11 ~ T15, T21 ~ T25 が構成するリンク集合を用いて、1対3のNC通信を実行する例である。例えば端末 T24 は式(1)に示す符号化関数 E24 を用いて、端末 T03, T13, T23 からの入力パケットである D03, D13, D23 を符号化して、この結果として得られる D15, D25 を、それぞれ端末 T15, T25 へ送信する。この動作を符号化ルーティングと呼ぶ。

$$\begin{bmatrix} D15 \\ D25 \end{bmatrix} = E24 \begin{bmatrix} D03 \\ D13 \\ D23 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{24}_{11} & e^{24}_{12} & e^{24}_{13} \\ e^{24}_{21} & e^{24}_{22} & e^{24}_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D03 \\ D13 \\ D23 \end{bmatrix} \quad (1)$$

しかし、符号化ルーティングの実現では、リンク集合を決定する制御パケットの交換ルートや、受信端末が送信情報を復号できるように全中継端末の符号化関数を調整する制御手順が複雑になる。この負荷は、データパケット受信に遅延を発生させ、さらに遅延が密結合するリンク集合の構成端末を伝播するため、結果としてエンド-エンド間のスループット劣化や、タイムアウトによるNC通信の不成立が発生する。この問題に対して我々は、被災地でのセンサネットワーク運用が計画的であり、他の通信が混在しない専用ネットワークである事を利用して、予め端末が同一のリンク集合と符号化関数決定アルゴリズムを保持する制御方法を

用いる。全端末は、被災地でセンサ配置が完了すると同時にフラット手順を用いてトポロジ情報を共有する。送信端末がNC通信を開始する時には、自身の端末IDと受信端末IDを実際の情報伝送ルートに関係なく全端末にブロードキャストする事により、各端末は自身がリンク集合を構成する中継端末であるかを判断し、メンバである場合は自身が実行する符号化関数を自律的に決定する。

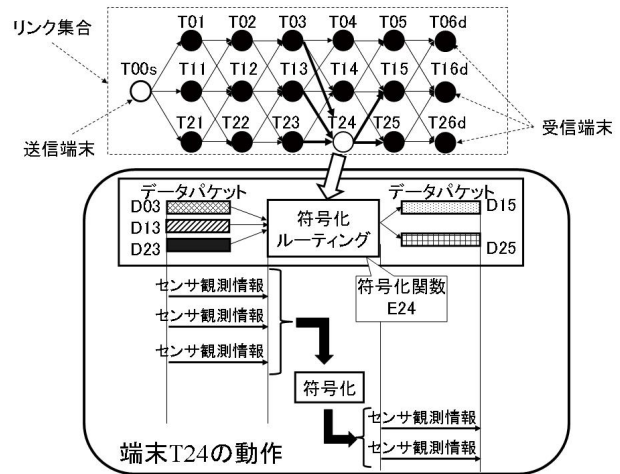


図 1: 符号化ルーティング方式

3. シミュレーション方法

NC通信を実現するリンク集合の複雑さや通信競合により発生する制御負荷が、通信性能に与える傾向を確認するために、ネットワークシミュレータ QualNet[2]を用いてシミュレーションを行った。ここではリンク集合の複雑さに関して、客観的に難しさを表現する値である“複雑度”、及びトポロジ構成として“多段構成”を用いた評価モデルを定義した。

複雑度

NC理論では、同一ノード数で構成されるネットワークの場合、リンク数を多く確保できるほど高いスループットが得られる。しかし、実際のNC通信では逆にリンクが多く冗長性が高いリンク集合を用いる場合ほど、制御の複雑さが増大してスループット劣化等の悪化を招く。このスループット向上とリンク集合の冗長性は、トレードオフの関係にあるため、同一ノード数でNC通信実現の困難さを表現する複雑度を定義した。複雑度は相互独立なリンク集合を計算する際に、トポロジ情報に対してルーティングアルゴリズムを実行

[†]三菱電機(株)情報技術総合研究所

した回数である．この定義を用いる事により同一の1対N通信を実現するリンク集合の冗長性の違いを、実現の視点であるルーティングに関わる客観的な値として捉える事ができる．

多段構成

トポロジ構成と通信性能の関係を解析するために、端末を4×4の格子状に配置するトポロジモデルを定義する．例えば複雑度=3に相当するリンク集合のNC通信を確認するために、格子状に配置した16端末を2段積み重ねた32端末の多段構成を用いる．各端末は格子状の隣接端末に加え、2段に組み合わせた上下の隣接端末間のみが電波到達範囲にあるように送信出力を調整している．この結果、例えば1段の配置では独立に設定できる境界端末数が2であるが、多段構成を用いる事により3次元の隣接端末へのリンクを確保でき、最大で複雑度=4のリンク集合が実現できる．

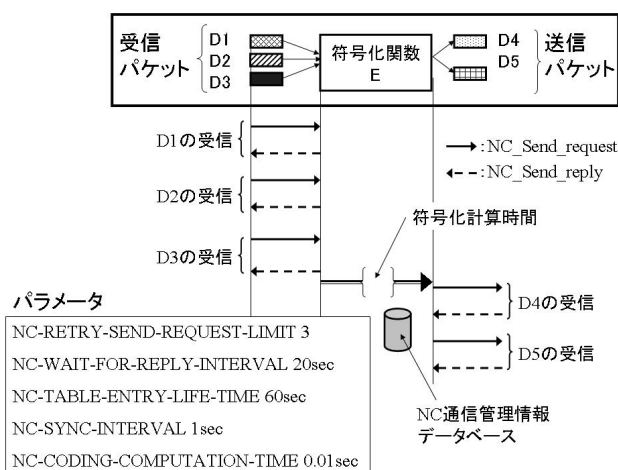


図 2: シミュレーションモデル

表 1: 符号化ルーティングモデルのパラメータ

パラメータ	機能
NC-RETRY-SEND-REQUEST-LIMIT	NC_Send_Request パケットの最大再送回数
NC-WAIT-FOR-REPLY-INTERVAL	NC_Send_Reuquest パケットの送信確認タイムアウト時間
NC-TABLE-ENTRY-LIFE-TIME	符号化ルーティングの端末構成や符号化関数情報を管理情報として端末が保持する最大時間。この時間内に NC_Send_Request パケットを受信しない場合、管理情報は破棄される。
NC-CODING-COMPUTATION-TIME	符号化関数 E による符号化計算処理時間。

図2は図1と同じリンク集合の構成において、端末T24の符号化ルーティング動作を模擬するシミュレーションモデルである．ここでは符号化ルーティングにおいて負荷が発生する要因を、表1に示す符号化計算時間等やパケット再送のタイムアウト時間、再送回数等と分析し、これらの値を設定できるように設計した．

4. 評価

図3は、1対N通信の受信端末 (Server) 数を1から6に設定した場合について、CBR(Constant Bit Rate)モデルと同様に送信データ量を100byteから1000byteまで100byte間隔で変化させた場合の通信性能 (Performance) である．全て複雑度を3に設定し、多段構成(2段)による32端末を用いている．性能劣化が少ないServer=1の場合は、複雑度=3のリンク集合を構成するリンクが排他的に設定されるため、同一リンク、同一端末での通信競合が発生しない．これに対してServer=2以上の場合は、異なる受信端末へ情報伝送を行うリンク間に競合が発生するため、受信端末数が増加するほど通信性能が劣化する．本制御方式では最大の負荷となる受信端末数6でもNC通信が成立しており、制御負荷の軽減効果は認められるものの、平均的なデータ量である500[byte]の送信では30k[b/s]の通信性能の確保が限界である事が確認できた．

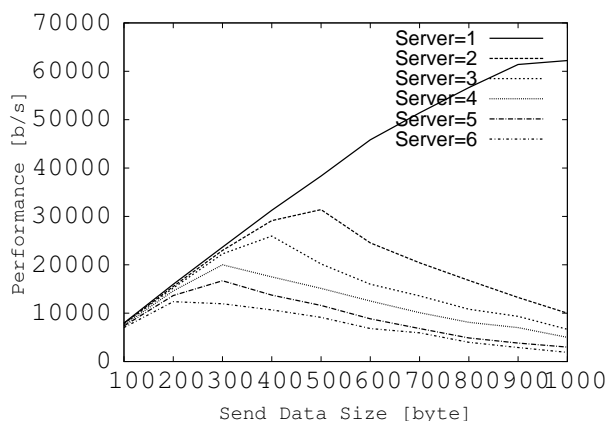


図 3: 受信端末数と通信性能の関係

今後の実現の課題として、パラメータの最適化や方式の改善によるNC通信性能の向上とともに、センサ運用に対応した計画的な端末配置を決定するネットワーク設計手法の開発がある．被災地での状況把握を迅速、継続的に行うためには、救済計画と連携した端末配置計画や、地形変動等によるボトルネック箇所の変化に対応した再配置が重要である．ここではシミュレーションを用いて、運用中も継続的にセンサアドホックネットワークの通信性能解析を行う必要がある．

5. おわりに

本報告では被災地に展開するセンサアドホックネットワークでのNC通信の評価方法を検討し、NC通信の受信端末増加によるスループットの劣化を確認した．

参考文献

- 寺島美昭、清原良三、河東晴子、中島毅: 階層型 Network Coding 方式を用いたセンサアドホックネットワークの設計と評価, 情報処理学会論文誌 Vol.53 No.8 1976-1990 (Aug. 2012)
- <http://www.scalable-networks.com/products/qualnet/>