

Network Coding を利用したアドホックネットワーク情報伝送方式の評価 A Study of Ad-hoc Network Design for Information Transmission Method Based on Network Coding

寺島 美昭†
Yoshiaki Terashima

河東 晴子†
Haruko Kawahigashi

1. はじめに

大規模災害による被災地での医療や救援活動では、ネットワークセンサ(センサ)を広範囲に展開する事により、状況の迅速、高精度な把握を実現するセンサアドホックネットワーク整備への期待が高い。しかし、被災地の山岳地形や都市の倒壊物により電波伝搬が遮断されるため、通信帯域が制限され、十分な観測精度や安定した周期による観測情報の交換が難しい(狭帯域通信環境)。この問題に対して我々は Network Coding 技術[1]を用いた情報伝送方式を検討している。Network Coding は、End-to-End 間で利用可能な複数のリンク(独立パス)を用いて情報を符号化して伝送する事により、最大フロー通信を実現する理論である。狭帯域通信環境下において、利用可能なパスを複数のセンサが連携して最大限に活用する事により、個々の独立パスの情報伝送量を抑えた高効率な情報伝送が実現できる。

本報告では、配置したセンサに移動が無い静的ネットワークを前提に、Network Coding 情報伝送(NC 情報伝送)を実現するセンサアドホックネットワーク(NC アドホックネットワーク)方式と評価を報告する。

2. NC アドホックネットワーク方式

2.1 概要

NC 情報伝送は、予め通信を行う独立パスの集合と、この構成に基づいて各センサが実行する符号化関数を決定する必要がある。本研究では対象を静的ネットワークに限定する事により、センサ移動による影響を排除している。さらに各センサが配置時にトポロジ情報を共有して共通のアルゴリズムを搭載する事により、各センサが独立にルーティング、符号化関数を決定する。この結果、センサ間で符号化関数を合意する処理時間、及び情報交換を行う制御トラフィックを削減している。実現する NC 情報伝送を図1に示す。nc_send()による NC 情報伝送の実行の準備として、nc_open()による独立パス決定と符号化関数決定が行われる。

NC アドホックネットワーク方式は、TBRPF(Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding)[2]を基盤として設計した。TBRPF はプロアクティブ型ルーティングを行い、隣接センサの監視に基づく差分情報の定期交換により、制御トラフィック量を削減する事に特徴がある。この TBRPF 機能に対して、NC 情報伝送を実現するために、以下の2機能を拡張している。

- 独立パス検索機能：ポロジ情報に対応して、NC 情報伝送を行うセンサ間の独立パス、及び各センサが符号化関数を決定する機能。送信センサが独立パスを利用して送信した情報を、受信センサが復号化により取得するまでの独立パス集合を管理する。
- Network Coding 通信機能：独立パス構成に基づき受信

† 三菱電機(株) 情報技術総合研究所

する情報を、符号化関数を用いて符号化して 次の独立パスへ送信する機能。複数の独立パスを用いて情報を受信、送信するため、これらの情報を1つの単位として符号化する同期的な処理を行う。

NC アドホックネットワークは、3種類の制御プロトコルを備えている。Neighbor Discovery Control Protocol と Topology Control Protocol は、TBRPF 定義の制御プロトコルである。Neighbor Discovery Control Protocol は、隣接センサを検索するための手順を提供する。各センサは隣接センサ管理テーブルを保持し、Topology Control Protocol を用いて、一定周期で周辺のセンサにトポロジ情報通知する。この動作を一定時間行う事により、最終的に各センサは同一のトポロジ情報を Topology 管理テーブルに共有する。

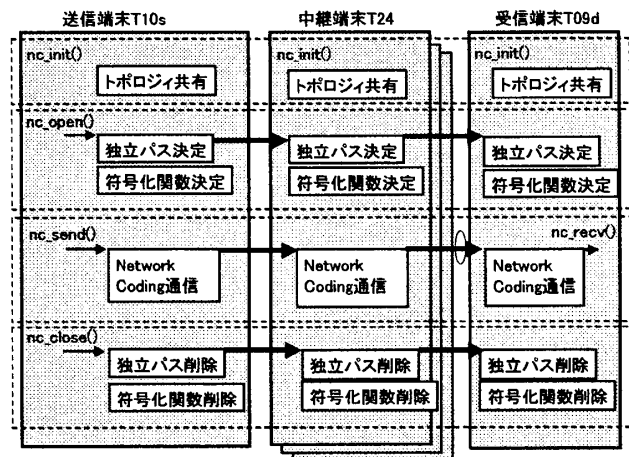


図1. NC 情報伝送

2.2 独立パス検索機能

Coding Control Protocol は独立パスと符号化関数を決定するために拡張した制御プロトコルである。送信センサは、自身の ID と受信センサ ID を、計算して得られた独立パスを構成する各センサに通知する。これらの情報を取得した各センサは、共通に保持するトポロジ情報に基づいて、NC 情報伝送に必要な独立パスと符号化関数を決定する。このため各センサは実際に通信が行われるルーティングに沿って制御メッセージを伝える複雑な手順を必要としない。また、この送信センサが計算した独立パスの結果に従って、抽出された独立パスを構成するセンサにブロードキャストする単純な手順により、交換する情報量を限定している。

2.3 Network Coding 通信機能

図2は Network Coding 通信の動作である。情報伝送を行うデータメッセージは、符号化処理ヘッダと、送信データから構成される。符号化処理ヘッダは、独立パスを用いたルーティングの符号化と同期処理を行なうための情報である。ここで同一の NCID(Network Coding ID)とシーケンス

番号を持つ受信データメッセージは、1つの符号化単位として処理する。NCIDは送信センサが生成するネットワーク内に一意の値であり、送信センサが符号化関数決定時に各センサに対して、送信センサID、受信センサIDとともに通知する。この3つの情報の組み合わせにより、1つのNC情報伝送を行う通信路を各センサ間で識別する。またシーケンス番号は、送信センサが符号化して分割送信するデータメッセージ単位を識別する値である。

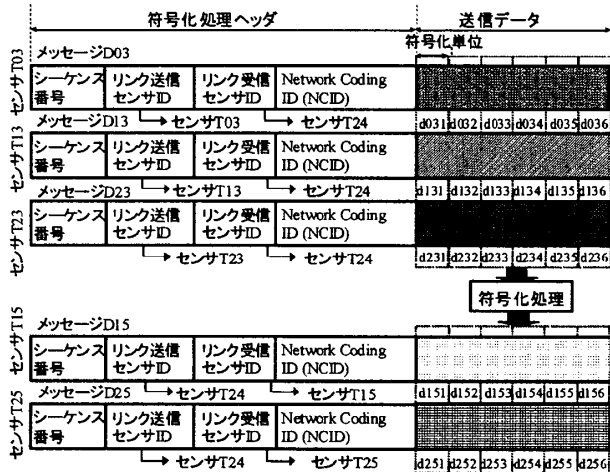


図2 データパケット伝送

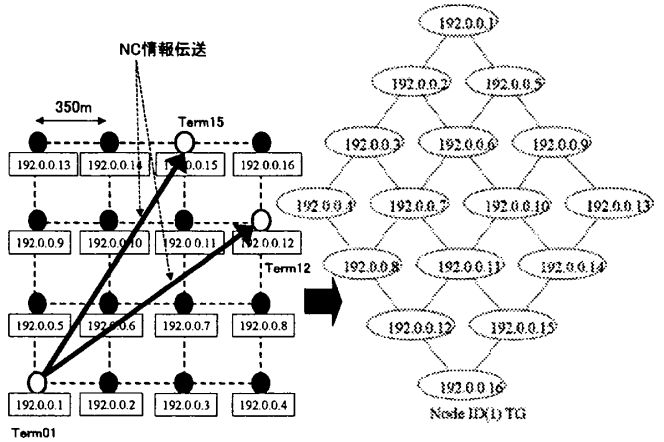
送信データは、実際に符号化される情報である。このセンサは、独立パス検索機能において、送信センサから受信センサまでの独立パスの集合を計算する。この結果として、センサ T03, T13, T23 から情報を受信し、センサ T15, T25 へ送信する独立パスの集合、及び符号化関数を得る。この後にセンサ T03, T13, T24 から入力する情報 D03, D13, D23 を符号化関数で符号化し、センサ T15, T25 へ情報 D15, D25 を出力する。各センサが同様の処理を繰り返す事により、最終的に送信センサが送信した情報を受信センサが受信できる。

3. 評価

NC アドホックネットワーク方式の動作に関して、QualNet4.0 によるシミュレーション評価を実施した。評価は図3「(1)シミュレーション構成」に示すように、センサを格子状 4x4 の形態で 350m 間隔で配置した環境で行なった。横方向、縦方向のセンサ間のみ通信が可能であり、斜め方向のセンサ間は通信不可に設定している。各センサには、「192.0.0.x (x=0~16)」の識別子を割り当てている。

図3「(2)トポロジ管理テーブル」は、各センサが共通に保持したトポロジ情報である。この構成において、センサ Term1(192.0.0.1)から、Term12(192.0.0.12), Term15(192.0.0.15)に対して Network Coding 通信を実行した。この独立パスを利用して CBR(Constant Bit Rate)を用いて、送信データを 100 byte 単位で増加させた場合のスループットを図4に示す。ここでは送信データの増加とともにスループットが増加するが、550byte をピークに減少に転じる結果が得られた。これは Network Coding 通信を行うセンサにおいて複数の受信メッセージを同期させる負荷増加が、中継センサが行なう同期的な処理に影響するためと考えられる。

このピーク値の向上が、スループット改善につながる。またトポロジ的に受信センサ Term12, Term15 は、送信センサ Term01 に対して同一条件の位置にあるにも関わらず、スループットの差が広がる傾向がある。このため各センサが連携してルーティング制御する必要がある。



(1)シミュレーション構成(格子状4x4) (2)トポロジ管理テーブル

図3 NC 情報伝送評価環境

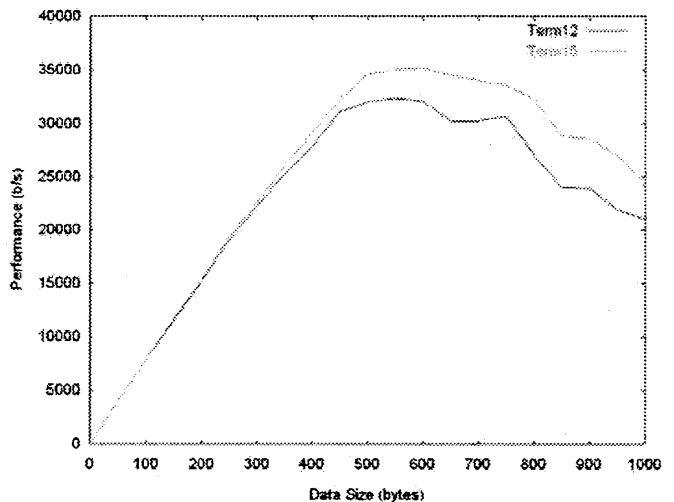


図4 NC 情報伝送性能

4. おわりに

Network Coding を利用した情報伝送を実現する、NC アドホックネットワーク方式を報告と評価を報告した。

参考文献

[1] Rudolf Ahlswede, Ning Cai, Chuo-Yen Robert Li, Network Information Flow, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 46, No.4, July 2000
 [2] RFC 3684, TBRPG, Network Working Group Request for Comments: 3685, Category Experimental, Feb. 2004