

無線センサ・アクチュエータネットワークにおけるネットワークコーディング指向ルーティング方式

瀬戸勇輝
関西大学環境都市工学部

白石朋広
株式会社アイアクト 事業統括部

安達直世
関西大学環境都市工学部

滝沢泰久
関西大学環境都市工学部

1. はじめに

近年、Internet of Things や M2M といったモノとモノとがインターネットにつながるという考え方が注目されており、それを実現する技術の1つとして無線センサ・アクチュエータネットワーク (WSAN) がある。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り、その情報を元にアクチュエータが物理的作用をもたらす事が出来る [1]。

WSAN では IEEE802.15.4 による無線通信が想定されるため、低出力/低遅延となり、高いスループットが期待できない。本稿では IEEE802.15.4 による WSAN においてスループットの向上は図るため、ネットワークコーディング (NC) を適用し、NC 機会を高めるルーティング方式を提案する。

2. CoAP

既存の HTTP プロトコルではパケットヘッダが大きいため、比較的低速なネットワークを用いる M2M の環境下では不向きである。CoAP は、Restful アーキテクチャに基づく標準仕様のアプリケーションプロトコルであり、M2M に特化した簡易 HTTP と呼ばれるものである。CoAP は Restful により Request/Response のメッセージ交換によりサーバとクライアント間は双方向で可変長のトラフィックとなる。CoAP は HTTP と同様にリクエストとレスポンスによってパケットの受け渡しが行われるが、CoAP のパケットヘッダは 4 バイトと非常に小さく、UDP での実装なので HTTP と比較して、TCP の 3 ウェイハンドシェイクや再送制御が無いためレスポンスが非常にシンプルである。そのため、M2M 通信においては、HTTP より CoAP の方が適していると考えられる [2]。

3. ネットワークコーディング

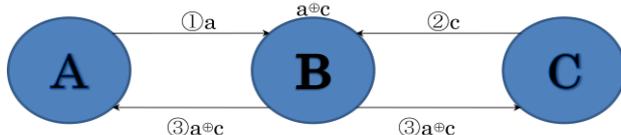


図1 NCを用いた双方向通信の様子

ネットワークコーディング (以下 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 [3]。

図1は、ノードA、ノードCがノードBを介して双方向通信を行っている。ノードA及びノードCが送信したパケット (a および c) は、まずノードBへ届けられる。次に、中継ノードであるノードBにおいて、パケットa, cに対して、符号化パケットa+cを作成する。符号化パケットa+cを受け取ったノードAでは、受信した符号化パケットa+cとノードAが送信したパケットaから、所望のパケットcを復合することができる。ノードCでも同様にして所望のパケットaを復号することが出来る。従来の2ホップユニキャスト通信では、全体で4回の送信を行わなければならないが、NCにより同一のデータ量としつつも、3回に削減することができる。送信パケット数を削減することで、パケット同士の衝突が減り、パケットロスによるスループットの低下を防ぐことが出来る。この点においても、データ精度の維持も可能だと考えられる。前章でのCoAPでは、双方向のトラフィックのためNCの適用が可能である。

4. NC機会を高めるルーティング方式

4.1 AODVにおけるNC機会

NCを適用するにおいて、経路探索方式としてAODVプロトコルを用いるが、従来のAODVプロトコルによるルーティングでは、各ノード間の通信経路上の中間ノードが別々のノードが使用される可能性があり、複数の経路が異なるパスを用いることになる。この場合、各経路のパケットが交差することがないため、パケットのNC機会が少なくなってしまう。NC機会を増やすためには、異なる経路間においてもパケットを交差させる必要がある。

従って、異なる経路間で2つ以上のパスを共有するようにAODVプロトコルを改良する。

4.2 パス共有メトリック

パスを共有するメトリックとして「重み」というメトリックを使用する。この重みは、2ホップ間でパスをいくつ共有しているかを調べるメトリックである。重みが1であればパスは1つ共有しており、重みの値が大きければ大きいほどパスはより多く共

有していると考える。この「重み」は RREQ メッセージを用いて算出される。RREQ メッセージ送信元ノードから直接に RREQ メッセージを受信したノードは、自身の経路表（宛先ノード、転送元ノード、転送先ノード、送信元ノード）内の転送元ノードと受信 RREQ メッセージの転送元ノード（この場合は転送先ノードは送信元ノード）が一致すれば、異なる経路間で1つのリンクを共有している。その場合、一致した経路表を RREQ メッセージ内に入れて転送（ブロードキャスト）する。転送 RREQ メッセージを受信したノードは RREQ メッセージ内の経路表の転送先ノードに自身が含まれる場合は、2つのリンクにより構成されるパスを異なる経路間で1つ共有することになる、これを RREQ メッセージ転送ノードで加算し、この数値をパス共有メトリックとする。このメトリック値が高い程、パス（中継ノード）の共有数が高い。

5. 実験と評価

ネットワークシミュレータの QualNet を利用して、図3の条件で提案方式（AODV 改）、AODV の NC 有/無の三つの方式を、それぞれの総 NC 回数（図4）と待機キュー待機時間ごとのスループット（図5）において比較した。評価トラフィックは、シンクノードから各ノードに CoAP の Request メッセージ、各ノードからシンクノードに CoAP の Response メッセージが送られることを想定してシンクノードと各ノード間において双方向 VBR トラフィックを発生させる。

評価空間	1500m × 1500m
ノード数	25(シンクノード1, SAノード24)
パケットサイズ	200~300byte
パケット送信間隔	1s
待機時間	100ms~1000ms
MAC	IEEE802.15.4
ネットワーク	IP
トランスポート	UDP

図3 実験条件

5. 1 実験結果

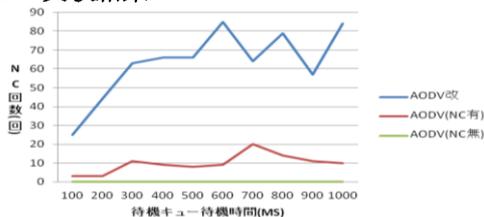


図4 NC回数の比較

図4から、NC回数は AODV (NC 有) より AODV 改の方が非常に多くなる。これは複数のパ

スを共有するルーティングにより、NC 機会が増加したためであり、パス共有メトリックが有効であることを示す。

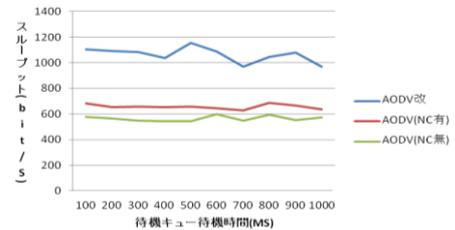


図5 スループットの比較

図5から、スループットは AODV 改が最も大きい。これは NC 機会の増加により送信回数が減り、パケット同士による衝突が減り、パケットロス回数が減ったためであると考えられる。

6. 結論

本稿では、無線センサ・アクチュエータネットワーク上での利用を想定した、無線センサノードのスループット向上を行うためのルーティング方式を提案した。ネットワークシミュレータを用いた比較評価から、提案方式が AODV と比較して以下の特性を持つ事を示した。

- 異なる経路間のパスを共有する経路を構成する
- 異なる経路間のパスを共有することによって NC 機会の増加し全体の NC 回数が増加する
- パケット送信数の減少によりパケット衝突の減少し、パケットロスが減少する

以上の結果から、提案方式は NC の機会増加によって送信回数が減少し、パケットロスが減少することでスループットの向上が可能である。今後の課題として、提案方式では、異なる経路間のパスを共有した結果、一部のノードに負担が集中し、電力消費が偏るため、これを抑制する方式を検討する。

参考文献

[1]森田, 林原, 滝沢: 無線センサ・アクチュエータ・ネットワーク(WSAN)における高信頼、低電力データ配送方式(セッション 4:無線センサーと耐故障性),情報処理学会研究報告,Vol.121,p49-54,2006
 [2]山田, 羽田, 三次: ZigBee ネットワーク区間を含む HTTP 通信の効率化(一般,フレッシュマンセッション,ユビキタス・センサネットワークを支える理論,一般),電子情報通信学会技術研究報告, Vol.54, p35-38, 2011
 [3]田野, 梅原: 誤り制御を適用した物理層 XOR ネットワークコーディングの構成とその特性(無線通信システム), 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.130, p235-240, 2013