

間欠的無線アドホックネットワークにおける 起動スケジュール変更による配送遅延短縮手法

堀江 慎[†] 桧垣 博章[†]東京電機大学大学院 未来科学研究科 ロボット・メカトロニクス学専攻[†]

1 はじめに

無線アドホックネットワークでは、中継無線ノード列から構成される無線マルチホップ配送経路に沿ってデータメッセージが運ばれる。各無線ノードの省電力化のために、無線ノードに起動状態と休止状態の区別を導入し、通信モジュールの電源をオフとする。この間欠通信と従来の常時起動通信では、消費電力とデータメッセージ配送遅延とがトレードオフの関係となる。そこで、本論文では独立である隣接無線ノード間のデータメッセージ転送にともなう制御メッセージの交換を傍受することにより、トレードオフのひとつを実現する手法を提案する。

2 関連研究

データメッセージの転送が必要となった隣接無線センサノード間でのみ同期を実現する非同期式手法として、IRDT 手法がある [1]。IRDT 手法では、転送元無線ノード N_c は、プリアンブルメッセージを送信し続けるのではなく、転送要求発生以降は、転送先無線ノード N_n からのポーリングメッセージの受信待機状態となる。各無線ノードは、一定周期で休止状態から起動状態へと移行し、自身の ID を含むポーリングメッセージをブロードキャスト送信すると直ちに送信要求メッセージ $Sreq$ の受信を待機する。一定の受信待機時間に $Sreq$ メッセージの受信がない場合には、起動状態から休止状態へと移行する。ポーリングメッセージの受信を待機している N_c が次ホップ隣接無線ノード N_n の ID を含むポーリングメッセージを受信したならば、直ちに $Sreq$ メッセージを N_n へ送信する。 $Sreq$ メッセージの受信に対して N_n が受信確認メッセージ $Rack$ を返送すると、 N_c はこれを受信することによって N_n がデータメッセージの受信待機状態にあることを検出する。そこで、 N_c から N_n へとデータメッセージを転送する。

3 提案手法

中継無線ノード N_i から隣接無線ノード N_j へのデータメッセージ転送遅延は、自律的に決定される N_j の起動スケジュールに依存している。この N_j の起動スケジュールの決定には、隣接無線ノードの状態、すなわち、 N_i が無線マルチホップ配送されるデータメッセージの中継無線ノードであるか否かが考慮されていない。したがって、転送すべきデータメッセージを保持した中継無線ノードの存在を、このデータメッセージ配送

のより大きな擬似速度が得られる可能性がある隣接無線ノードが検知可能であるならば、起動スケジュールの変更によって配送遅延を短縮することが可能である。

IRDT-GEDIR[2] では、各無線ノードは休止状態から起動状態に移行する際にポーリングメッセージをブロードキャスト送信する。また、転送すべきデータメッセージを保持する中継無線ノードは、転送先隣接無線ノードのポーリングメッセージ受信時に送信要求メッセージ $Sreq$ をユニキャスト送信し、これを受信した隣接無線ノードは受信応答メッセージ $Rack$ をユニキャスト送信する。この $Rack$ メッセージの傍受により、中継無線ノード N_r の隣接無線ノード N_i は、 N_r によるデータメッセージの受信後に自身がこのデータメッセージの転送先となる可能性があることを検知することができる。そこで、 N_i はデータメッセージ受信終了時に起動状態となっているようにスケジュール変更を行なう (図 1)。

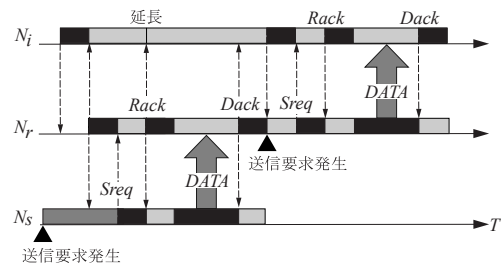


図 1: $Rack$ の傍受による起動スケジュール変更

[起動スケジュール変更]

- (1) 起動状態にある無線ノード N_i は、隣接する中継無線ノード N_r がユニキャスト送信する $Rack$ メッセージを傍受したならば、以下を満たすことを条件として起動状態を維持する。

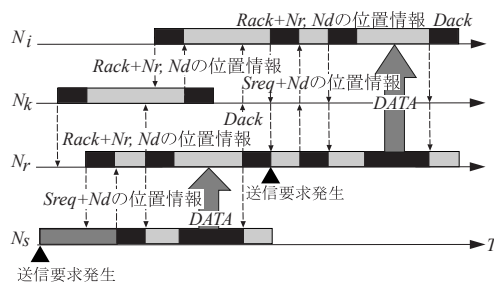
$$|N_i N_d| < |N_r N_d|$$

(N_d はデータメッセージの送信先無線ノード)

- (2) N_i は、 N_r がユニキャスト送信する $Dack$ メッセージを傍受したならば、ポーリングメッセージをブロードキャスト送信する。□

ただし、隣接無線ノードが起動スケジュールを変更するのは、中継無線ノードがユニキャスト送信した $Rack$ メッセージを起動状態にある隣接無線ノードが傍受した場合である。間欠通信手法の適用により休止状態にある隣接無線ノードは、この $Rack$ メッセージを傍受することはできない。そこで、本節では $Rack$ メッセージを受信した隣接無線ノードがこれを転送することによって、中継無線ノードがデータメッセージの受信を終了して $Dack$ メッセージを送信する時点で適切な隣接無線ノードがポーリングメッセージをブロードキャスト

ト送信できるようにする手法を提案する。図2に示すように、中継無線ノードが *Rack* メッセージをユニキャスト送信すると起動状態にある隣接無線ノードがこの *Rack* メッセージを受信する。ここで、*Rack* メッセージを受信した隣接無線ノードは、その位置に依らずにこの *Rack* メッセージを保持することとする。ただし、*Rack* メッセージ受信直前に隣接無線ノードのポーリングメッセージを受信しており、ポーリングメッセージに含まれる位置情報が自身よりも送信先無線ノードに近い場合には、自身よりも送信先無線ノードに近いノードが *Rack* メッセージを保持していることを検知可能であるため、*Rack* メッセージを破棄して休止状態へ移行する。この隣接無線ノードと中継無線ノードとに隣接する無線ノードがブロードキャスト送信するポーリングメッセージを受信することによって、ポーリングメッセージに含まれる位置情報を取得することができる。この位置情報から、起動した隣接無線ノードの方が送信先無線ノードに近い場合には、*Rack* メッセージが転送されている間に *Rack* メッセージの転送を行なうことが必要であり、これらの衝突を回避しなければならない。したがって、データメッセージは制御メッセージとは異なるチャネルを用いて転送することとする。

図2: *Rack* メッセージ転送手法

4 評価

本論文で提案する手法では、データ転送の発生を検知した隣接無線ノードが起動状態を維持することで、中継無線ノードがこの隣接無線ノードへデータメッセージを転送する際の待機遅延を短縮することができる。一方で、起動スケジュールを変更した隣接無線ノードは起動スケジュールを変更しない場合と比較して起動状態を延長することとなるため、消費電力が増加することが考えられる。そのため、提案手法適用による待機遅延の短縮率と消費電力の増加率について評価を行なう。100m 平方の正方形領域の中央に中継無線ノード、領域境界の一辺の中心に送信先無線ノード、中継無線ノードの無線信号到達範囲内に一様乱数によってランダムにノードを配置し、中継無線ノードが前ホップ無線ノードからデータを受信した場合において、中継無線ノードが次の転送先無線ノードへデータを転送するまでの待機遅延と、中継無線ノードとその隣接無線ノードの消費電力評価する。*Rack* メッセージの転送を行なう提案手法と提案手法を適用せずに転送先無線ノードを決定する従来手法を比較する。ただし、各ノードの無線信号到達範囲は10m、隣接ノード数は3–30、間欠周期は[0.5秒–1.5秒]、起動待機時間は10ミリ秒、データ転送遅延は10ミリ秒、各無線ノードの起動時の消費電力を20ミリAとする。

図3に各無線ノード数ごとに100,000通りの異なる無線ノード配置によって測定した1ホップの待機遅延

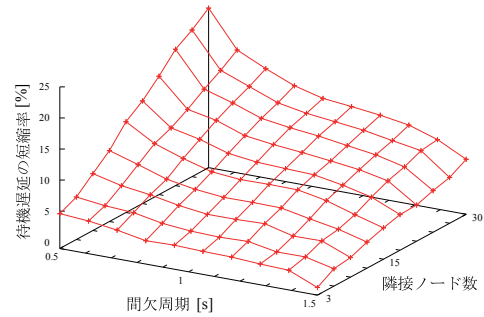


図3: 提案手法適用時の待機遅延の短縮率

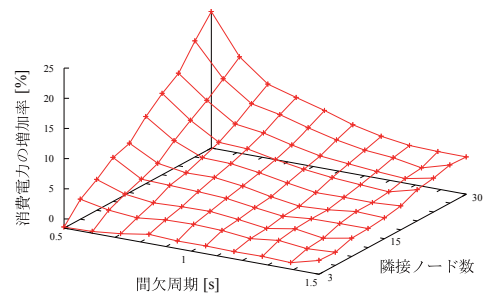


図4: 提案手法適用時の消費電力の増加率

の短縮率を示す。間欠周期によらず待機遅延が短縮しており、隣接無線ノード数が多い場合、間欠周期が短い場合に待機遅延の短縮率が大きくなり、平均で8.9%、最大で25%の待機遅延の短縮を実現することができた。次に、消費電力の増加率を図4に示す。全体として隣接無線ノード数が多く、間欠周期が短いほど消費電力が増加しており、平均4.3%、最大21%増加した。このことから、待機遅延の短縮と消費電力の増加はトレードオフの関係にあるといえる。以上のことから、提案手法では消費電力の増加があるものの、待機遅延を大きく短縮できることが確認された。

5 まとめ

本論文では、IRDT-GEDIRにおいて交換される制御メッセージを傍受することによって、次ホップ中継無線ノードとなり得る隣接無線ノードの起動スケジュールを変更し、エンドエンド配送遅延を短縮する手法を提案した。さらに、起動スケジュール変更機会を増加させるために、起動スケジュール変更を検知する *Rack* メッセージを他の隣接無線ノードが転送する拡張手法を提案した。提案手法は、オリジナルのIRDT-GEDIRに比較して消費電力が増加しているものの、データメッセージの転送待機時間を大きく短縮できることが示された。

参考文献

- [1] Hatauchi, T., Fukuyama, Y., Ishii, M. and Shikura, T., “A Power Efficient Access Method by Polling for Wireless Mesh Network,” Transactions of IEEJ, Vol. C-128, No. 12, pp. 1761–1766 (2008).
- [2] Kumagai, S. and Higaki, H., “Low-Power and Shorter-Delay Sensor Data Transmission Protocol in Mobile Wireless Sensor Networks,” Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Future Internet, pp. 26–34 (2014).