

無線センサネットワークにおける意図的衝突による盗聴妨害のための転送スロット割当てアルゴリズム

大栗 正宏^{†1,a)} 梶垣 博章^{†1,b)}

概要：無線センサネットワークでは、各無線センサノードに備えられたセンサモジュールが取得したセンサデータを含むデータメッセージを無線センサノードが中継無線ノードとなる無線マルチホップ配送によって固定無線シンクノードへと配送する。各中継無線ノードが転送するデータメッセージは、その無線信号到達範囲にブロードキャスト送信されることから、ここに存在する盗聴無線ノードが傍受することが可能である。本論文では、これを妨害する手法として、転送データメッセージの送信無線センサノードと無線信号到達範囲が重複し、かつ、送信無線センサノードの次ホップ隣接無線センサノードをその無線信号到達範囲に含まない近隣無線センサノードがデータメッセージを並行して送信する手法を提案する。これによって、これらの無線センサノードの無線信号到達範囲が重複する領域に存在する盗聴無線ノードによるデータメッセージの傍受を妨害することができる。また、この手法によって傍受をより困難にするためには、より多数の近隣無線センサノードによるデータメッセージの並行転送を実現することが求められる。そこで、TDMAを適用して、これらの無線センサノードに同じ送信スロットを割当てる手法を考案する。ここでは、隣接無線センサノード間の無線信号到達範囲の重複領域の面積を選択の指標として、局所的により多数の近隣無線センサノードに同一の送信スロットを割当てる貪欲アルゴリズムを構成する。また、シミュレーション実験により、従来の幅優先探索に基づく送信スロット割当てアルゴリズムに傍受を妨害するための送信スロット割当てを組み込んだ手法と比較して、提案手法の方が傍受を妨害できる領域が大きいことを示す。

1. はじめに

無線センサネットワークでは、各無線センサノードがセンサモジュールによって取得したセンサデータを含むデータメッセージを固定無線シンクノードまで無線マルチホップ通信で配送する。このとき、各無線センサノードが次ホップ隣接無線センサノードに転送したデータメッセージは、この無線センサノードの無線信号到達範囲内で傍受可能である。しかし、この傍受を試みる盗聴無線ノードが他の無線センサノードの無線信号到達範囲にも含まれ、この無線センサノードが同時並行にデータメッセージを自身の次ホップ隣接無線センサノードへ転送するならば、盗聴無線ノードにおいて意図的に衝突を発生させることによって傍受を妨害することができる。本論文では、これを実現するために、TDMAを適用して、各無線センサノードに適切な送信スロットを割り当てる方法を提案する。

2. 関連研究

無線アドホックネットワークにおいて無線マルチホップ配送経路に沿って配送されるデータメッセージの盗聴無線

ノードによる傍受を妨害する方法として、中継無線ノードやその近隣無線ノードがノイズ無線信号をデータメッセージの転送と同時並行に送信する方法が提案されている。論文 [2] では、中継無線ノードは指向性アンテナを備え、無線信号を次ホップ中継無線ノードに向けて送信し、次ホップ中継無線ノードはノイズ無線信号を同時並行に送信する方法を提案している。次ホップ中継無線ノードは、データメッセージを含む無線信号とノイズ無線信号が重畳された無線信号を隣接無線ノードに転送させ、ノイズ無線信号を除去することでデータメッセージを得る。ここでは、指向性アンテナと信号処理のための計算性能が各無線ノードに求められることに加えて、配送遅延が延長する問題がある。論文 [7] では、無指向性アンテナを備えた中継無線ノードの近隣無線ノードがノイズ無線信号をデータメッセージ転送と同時並行に送信することによって意図的に衝突を発生させ、盗聴無線ノードによる傍受を妨害する手法を提案している。ただし、ノイズ無線信号は意図的衝突のみを目的として送信しており、無線信号送信のための消費電力が増加するなどの無線アドホックネットワーク全体の性能への影響を考慮する必要がある。

無線センサネットワークでは、TDMA方式に基づいてデータメッセージの衝突を回避し、無線アドホックネットワーク全体の性能向上を目指す手法が提案されている [1, 3, 5, 6, 8, 9]。例えば論文 [5] では、データメッセージの転送先無線センサノードでの衝突が発生しないように、各

^{†1} 東京電機大学 ロボット・メカトロニクス学科
Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University, Adachi Tokyo 120-8551, Japan

a) okuri@higlab.net

b) hig@higlab.net

無線センサノードにデータメッセージ転送のための時間スロットを割り当てる。このとき、必要なスロット数を削減することによって、各無線センサノードの送信機会を増加させ、データメッセージの配送スループットの拡大や配送遅延の短縮を実現している。

3. 提案手法

論文 [7] では、無線アドホックネットワークにおける無線マルチホップ配送において、中継無線ノード N_i から N_{i+1} へ転送されるデータメッセージを盗聴無線ノードに傍受されることを困難にするために、 N_i の 1 ホップ隣接無線ノードであり N_{i+1} の 1 ホップ隣接無線ノードではない無線ノード、および、 N_i と N_{i+1} に共通の 2 ホップ隣接無線ノードがノイズ無線信号をデータメッセージ転送と並行して送信する方法が提案されている。本論文では、無線センサネットワークを対象として、近隣無線センサノードが並行してデータメッセージを転送することによって互いの送信する無線信号が互いの無線信号到達範囲に含まれる盗聴無線ノードによるデータメッセージの傍受を妨害する協調的手法を提案する。ここでは、データメッセージの配送経路はシンクノードからの制御メッセージのフラッディングを用いて定められていることを前提として、TDMA を基礎として各無線センサノードにデータメッセージを転送する送信スロットを適切に割り当てることによって、高い盗聴防止効果を得ることを目的とする。

まず、ノイズ無線信号の送信が盗聴無線ノードによるデータメッセージ傍受を妨害する効果を定式化するために以下を定義する。

[ノイズ支援可能無線センサノード]

センサデータの無線マルチホップ配送経路における送信元無線センサノードあるいは中継無線センサノード N_i の次ホップ隣接無線センサノードが N_j であるとき、無線センサノード N の無線信号到達範囲と N_i の無線信号到達範囲に共通部分があり、 N の無線信号到達範囲に N_j が含まれないとき、 N は N_i のノイズ支援可能無線センサノードであるといい $N \Rightarrow N_i$ と表す (図 1)。□

$N \Rightarrow N_i$ のとき、 N_i から N_j へのデータメッセージ転送と並行して N がノイズ無線信号を送信することによって、 N と N_i の無線信号到達範囲の共通部分に存在する盗聴無線ノードでは、転送されるデータメッセージとノイズ無線信号とが衝突することから、この盗聴無線ノードによるデータメッセージの傍受を妨害することができる。また、 N の無線信号到達範囲に N_j が含まれないことから、転送されるデータメッセージとノイズ無線信号は N_j においては衝突しない。このため、 N_j は転送されるデータメッセージを正しく受信することができる。

盗聴無線ノードによるデータメッセージの傍受に対する N が送信するノイズ無線信号による妨害の効果は、 N_i と N の無線信号到達範囲の共通部分の面積が大きいほど大きいと考えられる。そこで、この効果を評価するために、以下の単純盗聴妨害貢献度を導入する。

[単純盗聴妨害貢献度]

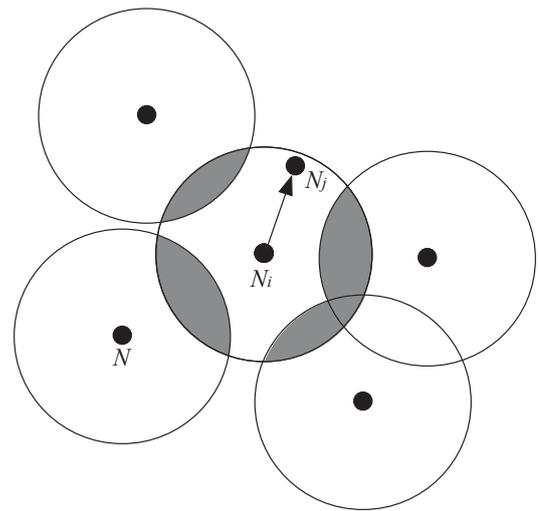


図 1 ノイズ支援可能無線センサノード.

$N \Rightarrow N_i$ であるとき、 N の無線信号到達範囲と N_i の無線信号到達範囲とが重複する領域の面積の N_i の無線信号到達範囲の面積に対する比を単純盗聴妨害貢献度といい $SC(N \Rightarrow N_i)$ と表す。なお、 $N \Rightarrow N_i$ でないとき $SC(N \Rightarrow N_i) = 0$ とする。□

すべての無線センサノードの無線信号到達距離が等しい場合には、単純盗聴妨害貢献度は無線センサノード間の距離のみによって定まる。 $N \Rightarrow N_i$ で、無線信号到達距離が r 、 $|NN_i| = d$ であるとき、 $SC(N \Rightarrow N_i) = \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{d^2}{2r^2} - 1 \right) - \frac{d}{2\pi r^2} \sqrt{(2r+d)(2r-d)}$ である。 d の変域 $0 \leq d \leq 2r$ に対する $SC(N \Rightarrow N_i)$ の値を図 2 に示す。図 1 に示すように、 N_i の近隣無線センサノードの無線信号到達範囲は相互に重複することもあることから、単純盗聴妨害貢献度が高い無線センサノードによるノイズ無線信号送信のデータメッセージ傍受妨害効果が単純に高いものであると評価することはできない。例えば、図 3 において N 、 N' はともに N_i から N_j へのデータメッセージ転送に対するノイズ支援可能無線センサノードである。ここで、領域 S は N が送信するノイズ無線信号と転送データメッセージとの衝突によって盗聴無線ノードによるその傍受が妨害される領域、領域 S' は N' が送信するノイズ無線信号と転送データメッセージとの衝突によって盗聴無線ノードによるその傍受が妨害される領域であるが、領域 S'' は N 、 N' が送信するいずれのノイズ無線信号とも転送データメッセージが衝突する。単純盗聴妨害貢献度はこれを二重に算入しているという問題がある。

そこで、 N_i から N_j へのデータメッセージ転送に対してノイズ無線信号の送信によって盗聴無線ノードによる転送データメッセージの傍受を妨害する近隣無線センサノードを順次選択し、盗聴無線ノードがノイズ無線信号と衝突することなく転送データメッセージを傍受可能な領域を順次狭くしていく場合において、近隣無線センサノードによるノイズ無線信号送信の効果を評価する指標として、以下の増分盗聴妨害貢献度が考えられる。

[増分盗聴妨害貢献度]

$N \Rightarrow N_i$ であるとき、 N の無線信号到達範囲と N_i の無

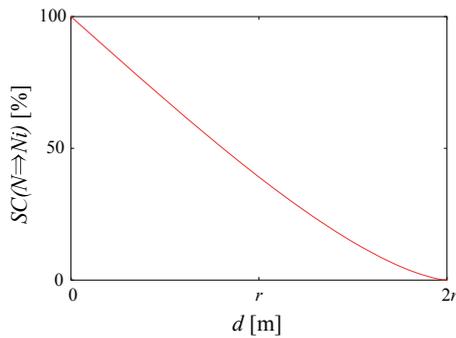


図 2 単純盗聴妨害貢献度.

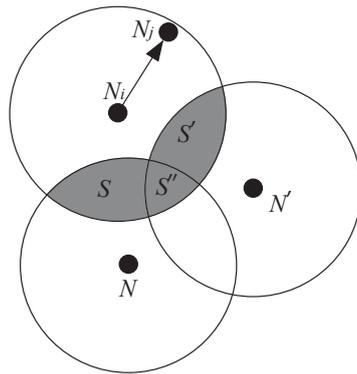
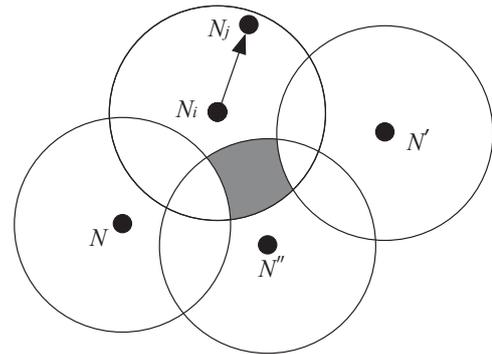


図 3 ノイズ無線信号到達範囲の重複.

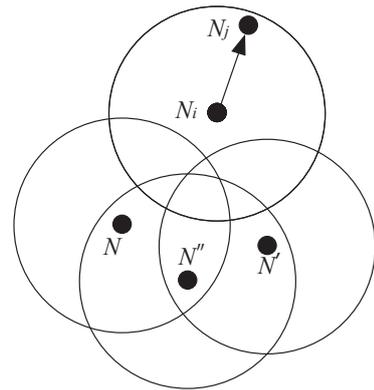
線信号到達範囲とが重複する領域のうち、既に N_i から N_j への転送データメッセージの傍受を妨害するためにノイズ無線信号を送信するものとして選択されたいずれの近隣無線センサノードの無線信号到達範囲にも含まれない領域の面積の N_i の無線信号到達範囲の面積に対する比を増分盗聴妨害貢献度といい $IC(N \Rightarrow N_i)$ と表す。なお、 $N \Rightarrow N_i$ でないとき $IC(N \Rightarrow N_i) = 0$ とする。□

図 3 においては、 N が既にノイズ無線信号を送信する近隣無線センサノードとして選択されているとき、 N' の増分盗聴妨害貢献度は領域 S' の面積の N_i の無線信号到達範囲に対する比であり、逆に、 N' が既にノイズ無線信号を送信する近隣無線センサノードとして選択されているとき、 N の増分盗聴妨害貢献度は領域 S の面積の N_i の無線信号到達範囲に対する比である。ただし、図 4 のように N_i から N_j へのデータメッセージ転送に対して、近隣無線センサノード N と N' がノイズ無線信号を送信する無線センサノードとして選択されている場合における近隣無線センサノード N'' の増分盗聴妨害貢献度を考えると、(a) のようにその領域の面積計算が複雑になる場合や、(b) のように N'' のノイズ無線信号到達範囲が N_i の無線信号到達範囲を新たに被覆する領域が存在しない場合もある。

したがって、増分盗聴妨害貢献度は単純盗聴妨害貢献度よりも近隣無線センサノードのノイズ無線信号到達範囲の重複を考慮している点で優れた指標であるものの、(1) 面積計算対象領域の形が多様であり、その面積の計算が複雑である、(2) 近隣無線センサノードの選択順序によって貢献度が 0 となる近隣無線センサノードが存在する、(3) ノイズ無線信号送信無線センサノードが選択されるごとに近隣無線



(a) 複雑な貢献度計算を要する場合



(b) 貢献度が 0 である場合

図 4 増分盗聴妨害貢献度.

センサノードの貢献度が変化し、更新のための再計算を要する、という問題がある。そこで、本論文の以下の議論では、近隣無線センサノードの評価に単純盗聴妨害貢献度を用いるものとする。

論文 [7] においては、 N_i から N_j へのデータメッセージ転送に対して $N \Rightarrow N_i$ である近隣無線ノードがノイズ無線信号を送信することによって盗聴無線ノードによるデータメッセージの傍受を妨害している。このとき、 N はこの傍受妨害のみを目的として自身の電池に蓄えられた電力を消費してノイズ無線信号を送信する。この消費電力を有効に活用するためには、 N がノイズ無線信号を送信するのではなく、 N も自身の次ホップ隣接無線センサノードへとデータメッセージを転送することが望ましい。すなわち、 N_i と N が並行して転送するデータメッセージがそれぞれの次ホップ隣接無線センサノードにおいて衝突することなく正しく受信され、かつ、互いの無線信号到達範囲が重複する領域における盗聴無線ノードによるデータメッセージの傍受を妨害することが望まれる。このように、近隣無線センサノードが同時並行に行なうデータメッセージ転送が互いに盗聴無線ノードによる傍受を妨害する無線センサノードの関係は、以下の相互ノイズ支援可能無線センサノード対により定められる。

[相互ノイズ支援可能無線センサノード対]

無線センサノード N_i と $N_{i'}$ が互いにノイズ支援可能無線センサノードであるとき、すなわち、 $N_i \Rightarrow N_{i'}$ かつ $N_{i'} \Rightarrow N_i$ であるとき、 N_i と $N_{i'}$ は相互ノイズ支援可能無線センサ

ノード対であるといい、 $N_i \leftrightarrow N_{i'}$ と表す。□

図5に示すように、 $N_i, N_{i'}$ がそれぞれ次ホップ隣接無線センサノードである $N_j, N_{j'}$ へとデータメッセージを転送するとき、 N_i と $N_{i'}$ の無線信号到達範囲に共通部分があり、 $N_j, N_{j'}$ がそれぞれ $N_{i'}, N_i$ の無線信号到達範囲に含まれないことから、 $N_i, N_{i'}$ が同時並行にデータメッセージを転送しても $N_j, N_{j'}$ において衝突せず、無線信号到達範囲の共通部分に含まれる盗聴無線ノードによるデータメッセージの傍受を妨害することができる。ここで、単純盗聴妨害貢献度については以下が成り立つ。

[定理] $N_i \leftrightarrow N_{i'}$ のとき、 $SC(N_i \Rightarrow N_{i'}) = SC(N_{i'} \Rightarrow N_i)$ である。□

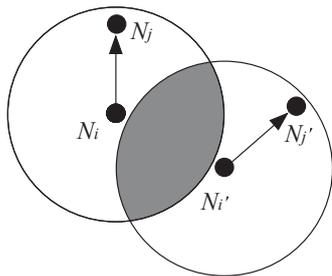


図5 相互ノイズ支援可能無線センサノード対。

相互ノイズ支援可能無線センサノード対である近隣無線センサノード $N_i, N_{i'}$ の次ホップ隣接無線センサノードが $N_j, N_{j'}$ であるとき、 $N_i, N_{i'}$ が転送するデータメッセージの衝突により盗聴無線センサノードによるデータメッセージの傍受を妨害するためには、(1) $N_i, N_{i'}$ とともに $N_j, N_{j'}$ へ転送するデータメッセージを保持していること、(2) N_i と $N_{i'}$ が並行してデータメッセージを $N_j, N_{j'}$ へと転送することができること、の2つが求められる。

無線センサネットワークにおける各無線センサノードは、自身の備えるセンサモジュールが取得したセンサデータに加えて、隣接無線センサノードから転送されたデータメッセージに含まれるセンサデータを無線シンクノードへと配送するために次ホップ隣接無線センサノードへとデータメッセージを転送する。センサモジュールによるセンサデータの取得は、特異なイベントの発生を契機として行なわれるものもあれば、時間の経過とともに定期的に行なわれるものもある。以上により、 $N_i, N_{i'}$ がともに転送すべきデータメッセージを保持する機会は多く存在することが期待され、特にシンクノードに近い無線センサノードにおいてはバッファオーバーフローが懸念されるほどに転送機会があることが考えられる [4]。

一方、中継無線センサノードのデータメッセージ転送と並行に近隣無線センサノードがノイズ無線信号を送信する手法については非同期的に行なう手法が [7] で議論されている。無線センサネットワークでは、前述の通りデータメッセージの配送要求が頻繁に発生することから各無線センサノードの送信スケジュールをあらかじめ決めておく手法が広く用いられている [1, 3, 5, 6, 8, 9]。本論文では、TDMA を適用し、相互ノイズ支援可能無線センサノード対 $N_i, N_{i'}$

に同じ送信スロットを割り当てることによって N_i と $N_{i'}$ が並行にデータメッセージを転送することを実現する。

無線センサノード N_i が次ホップ無線センサノード N_j にデータメッセージを転送するとき、この転送データメッセージが盗聴無線ノードによって傍受されることをより困難とするためには、 N_i と相互ノイズ支援可能無線センサノード対となるより多くの近隣無線センサノードに N_i と同じ、送信スロットを割り当てるのが求められる。このとき、この近隣無線センサノード対についても、それぞれが転送するデータメッセージが次ホップ隣接無線センサノードにおいて互いに衝突しないことが求められる (図6)。すなわち、 $N_i \leftrightarrow N_{i'}, N_i \leftrightarrow N_{i''}$ のとき、 $N_i, N_{i'}, N_{i''}$ に同じ送信スロットを割り当てることによって N_i の転送データメッセージの盗聴無線ノードによる傍受を妨害するためには、 $N_{j'}, N_{j''}$ がそれぞれ $N_{i'}, N_{i''}$ の無線信号到達範囲に含まれないことが必要である。

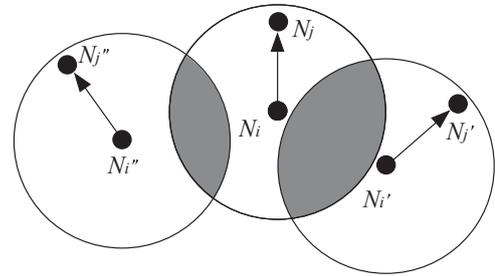


図6 複数の相互ノイズ支援可能無線センサノードによるデータメッセージ傍受の妨害。

そこで、図7に示すように、既に同一の送信スロットが割り当てられている無線センサノードのいずれかと相互ノイズ支援可能無線センサノード対となる送信スロットが割り当てられていない無線センサノードをひとつずつ選択し、順次同一の送信スロットを割り当てる手法を提案する。図7では、 N_1, N_2, N_3, N_4 に既に同一の送信スロットが割り当てられているとき、送信スロットが割り当てられていない無線センサノードのうち N_1, N_2, N_3, N_4 との無線信号到達範囲の重複がある無線センサノードのひとつ、例えば N_5 を選択して同一の送信スロットを割り当てる。同一の送信スロットを割り当てることによってデータメッセージを並行に送信する近隣無線センサノードとの間で転送データメッセージの衝突を発生させ、盗聴無線ノードによる傍受を妨害することのできる領域の大きさは、どの無線センサノードをどの順序で選択して同一の送信スロットを割り当てるかに依存する。本論文では、同一の送信スロットを割り当てることが可能な無線センサノードのうちで単純盗聴妨害貢献度が最も高いものを選択するとともに、選択可能な無線センサノードが存在する限り、同一の送信スロットの割り当てを継続する貪欲アルゴリズムを用いることとする。

ここで、スロット割り当てのために推移的相互ノイズ支援可能無線センサノード集合を定義する。

[推移的相互ノイズ支援可能無線センサノード集合]
無線センサノード N について、 $N \leftrightarrow N'$ かつ $N' \leftrightarrow N''$ で

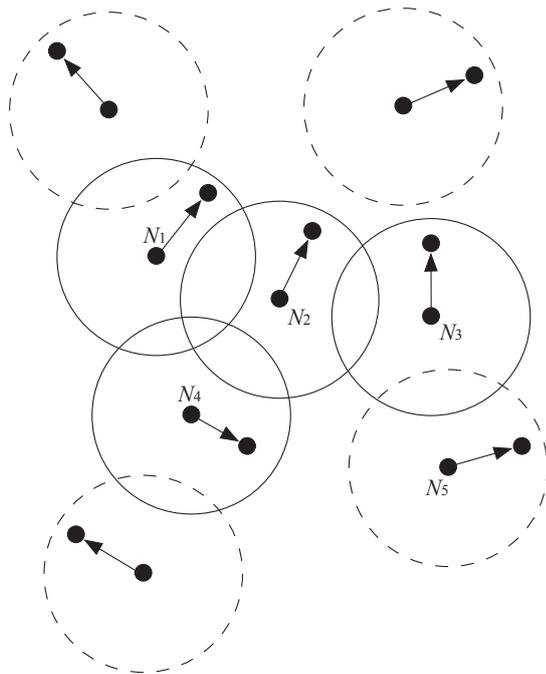


図 7 同一送信スロット割当て無線センサノードの選択.

あるとき, N と N'' は推移的相互ノイズ支援可能無線センサノードといい $N \iff N''$ で表す. また, 無線ノード集合 $RMNS(N) := \{N' | N \iff N'\}$ を推移的相互ノイズ支援可能無線センサノード集合という. □

[定理] $N \in RMNS(N)$ である. □

つまり, 提案手法では, 既に同一の送信スロットを割当てられている無線センサノードの集合 NS (これに含まれる無線センサノードのひとつを N_0 とすると, この集合は $RMNS(N_0)$ の部分集合である) に含まれるいずれかの無線センサノードと相互ノイズ支援可能無線センサノード対を構成する無線センサノードのうち, NS に含まれるすべての無線センサノードとの間で, 互いに次ホップ隣接無線センサノードをその無線信号到達範囲に含まないもののひとつを選択して, 同一の送信スロットを割当てる. この新たに同一送信スロットを割当てる無線センサノードを N' とすると, $\forall N \in NS$ について $N \iff N'$ が成り立つ.

また, 提案する貪欲アルゴリズムでは, 既に同一送信スロットが割当てられている無線センサノードとの単純盗聴妨害貢献度が最大である無線センサノードを選択することから, 選択された無線センサノードは既に同一送信スロットを割当てられている無線センサノードと無線信号到達範囲が重複する. ただし, この重複が存在する無線センサノードが選択できなくなった場合には, 重複のない無線センサノードであっても条件を満足するのであれば選択して同一送信スロットを割当てる. すなわち, 条件を満足する無線センサノードが存在しなくなるとはじめて新たな送信スロット割当てを開始するものとする.

[スロット割り当てアルゴリズム]

1. スロットが割り当てられていない無線センサノード N をランダムに選択する. すべての無線センサノードにスロットを割り当て済みであれば終了する.

2. すでにいずれかの無線センサノードに割り当て済みのスロットのうち $N' \Rightarrow N$ である N' に割り当てられていないスロットのひとつを選択し N に割り当てる. そのようなスロットがない場合には, 新しいスロットを N に割り当てる.
3. N と同じスロットが割り当て済みであり $N' \in RMNS(N)$ である無線センサノード N' について, $N' \iff N''$ である無線センサノード N'' のうち $SC(N' \iff N'')$ が最大である N'' に N と同じスロットを割り当てる. このような N'' が存在するならば 3 へ, 存在しないならば 1 へ. □

4. 評価

本章では, 前章で提案した送信スロット割当て手法の有効性を評価するためにシミュレーション実験を行なう. ここでは, 各無線センサノードが割当てられた送信スロットを用いてデータメッセージを次ホップ隣接無線センサノードへと転送した場合に, 並行に送信されたデータメッセージの衝突によって盗聴無線ノードがデータメッセージの傍受に失敗する領域、すなわち, 同じ送信スロットが割当てられた近隣無線センサノードの無線信号到達範囲が重複する領域の無線センサノードの無線信号到達範囲全体に対する割合である意図的衝突による傍受妨害領域の被覆率を評価する.

シミュレーション領域は $1,000\text{m} \times 1,000\text{m}$ の正方形領域とし, ここに無線信号到達距離が 100m の無線センサノードを 400 台, 600 台, 800 台, $1,000$ 台配置する. 各無線センサノードの位置は一様分布乱数を用いてランダムに決定する. 領域の中央に固定シンクノードがあるものとし, センサデータを含むデータメッセージの無線マルチホップ配送経路は, 固定シンクノードからの制御メッセージのフラッディングによって構成したスパニングツリーにより定める. 本論文の提案手法によって各無線センサノードに送信スロットを割当てる手法 (以下, 「提案手法」とする) と, 固定シンクノードを根とするスパニングツリーに幅優先探索により送信スロットを割当てる手法 (以下, 「従来手法」とする) について, 被覆率を評価する. なお, 従来手法においても, 提案手法と同様に探索順に従って単純盗聴妨害貢献度に基づいて局所的に被覆率を高める送信スロット選択を行なうものとする.

無線センサノードが 400 台, 600 台, 800 台, $1,000$ 台の場合の評価実験結果を図 8, 図 9, 図 10, 図 11 にそれぞれ示す. ここでは, X 軸は被覆率, Y 軸は被覆率が X 以上の無線センサノードの割合を表している. いずれの無線センサノード数においても, 提案手法は従来手法に比べて高い被覆率が得られていることがわかる. これは, 同一の送信スロットを割当てることで並行に送信するデータメッセージが無線信号到達範囲が重複する領域で意図的に衝突させて盗聴無線ノードによるデータメッセージの傍受を妨害する領域を漸次拡大する提案手法が, より広い領域で傍受を妨害することができることを示している.

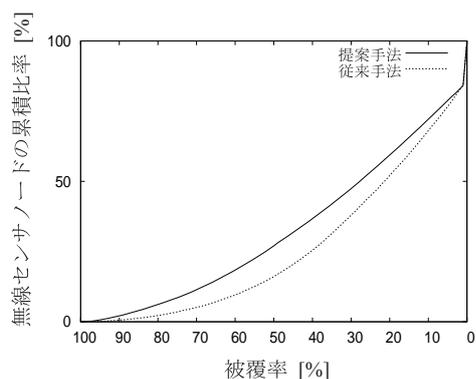


図 8 意図的衝突による傍受妨害領域の被覆率 (400 台).

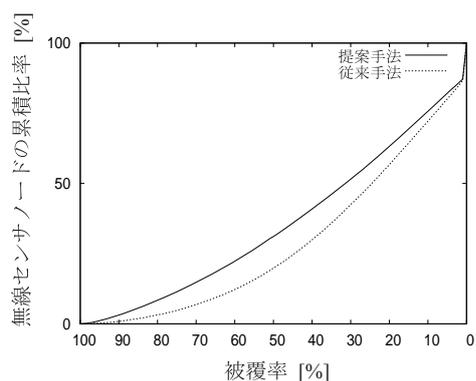


図 9 意図的衝突による傍受妨害領域の被覆率 (600 台).

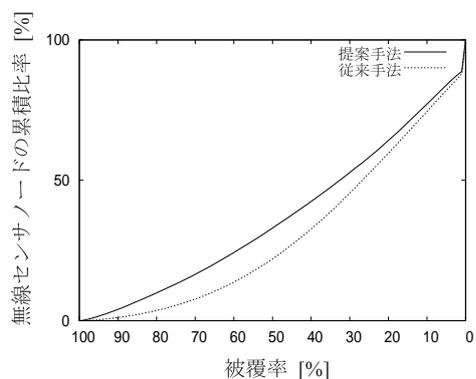


図 10 意図的衝突による傍受妨害領域の被覆率 (800 台).

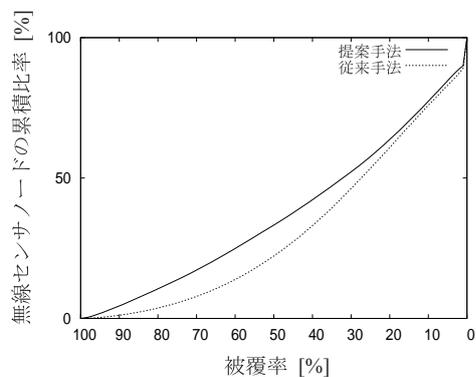


図 11 意図的衝突による傍受妨害領域の被覆率 (1,000 台).

5. まとめ

本論文では、無線センサネットワークにおいて、各無線センサノードが衝突を発生させることなくデータメッセージを転送し、かつ、相互の送信する無線信号が隣接無線ノードに対してノイズ無線信号となるように同一のスロットを割り当てることによって盗聴無線ノードがデータメッセージを傍受することを困難にするスロット割り当て手法を提案した。また、シミュレーション実験により、従来手法と比較して盗聴無線ノードによるデータメッセージの傍受をより困難にしていることが示された。本論文で提案したアルゴリズムは既に送信スロットを割り当てられた無線センサノードの転送するデータメッセージの傍受をできるだけ困難とするように局所的に最適化を目指した貪欲アルゴリズムであり、無線センサネットワーク全体としての性能を考慮していない。今後は、無線センサノードへの新たな送信スロット割当ての効果について再検討し、無線センサネットワーク全体の性能への寄与を高める手法を考案する。

参考文献

- [1] Bo, Y., Jianzhong, L. and Yingshu, L., “Distributed Data Aggregation Scheduling in Wireless Sensor Networks,” Proceedings of the 28th IEEE INFOCOM, pp. 2159–2161 (2009).
- [2] He, X. and Yener, A., “Two-Hop Secure Communication Using an Untrusted Relay: A Case for Cooperative Jamming,” Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (2008).
- [3] Liqi, S. and Abraham, F., “TDMA Scheduling with Optimized Energy Efficiency and Minimum Delay in Clustered Wireless Sensor Networks,” IEEE Transaction on Mobile Computing, vol. 9, no. 7, pp. 927–939 (2009).
- [4] Maurya, S., Gupta, V. and Jain, V.K., “LBRR: Load Balanced Ring Routing Protocol for Heterogeneous Sensor Networks with Sink Mobility,” Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference (2017).
- [5] Ozlem, I., Amitabha, G., Bhaskar, K. and Krishnakant, C., “Fast Data Collection in Tree-Based Wireless Sensor Networks,” IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 11, no. 1, pp. 86–99 (2012).
- [6] Rajendran, V., Obraczka, K. and Garcia-LunaAceves, J., “Energy-Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks,” Journal of Wireless Networks, vol. 12, pp. 63–78 (2006).
- [7] Shimada, I. and Higaki, H., “Intentional Collisions for Secure Ad-Hoc Networks,” Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems, pp. 183–188 (2016).
- [8] Wen-Zan, S., Renjie, H., Behrooz, S. and Richard, L., “TreeMAC: Localized TDMA MAC Protocol for Real-time High-data-rate Sensor Network,” Pervasive and Mobile Computing, vol. 5, pp. 750–765 (2009).
- [9] Yanwei, W., Xiang-Yang, L., YunHao, L. and Wei, L., “Energy-Efficient Wake-Up Scheduling for Data Collection and Aggregation,” IEEE Transaction on Parallel and Distributed System, vol. 21, no. 2, pp. 275–287 (2010).