

# センサーネットワークにおけるワームホールの検出

肖 劍華<sup>†</sup> 蓑原 隆<sup>‡</sup>

拓殖大学工学部情報工学科<sup>†‡</sup>

## 1. はじめに

無線通信装置を搭載したセンサー同士の相互通信中継によってネットワークを実現するアドホックセンサーネットワークは、短時間で構成可能で、拡張しやすく、地形や災害に影響されにくいなどの利点を持つことから、有線通信網を利用することが様々な理由で困難な状況を中心にその利用が広がっている。しかし、無線通信は通信の当事者以外にも開かれていることから、パケットの改竄や盗聴などのセキュリティ上の問題に対する脆弱性が懸念されている。

アドホックセンサーネットワークへの攻撃には様々なものがあるが、低コストな経路を見せることでパケットを本来の経路とは異なる攻撃ノードに誘導するワームホール攻撃<sup>[1][2]</sup>は、ルーティングプロトコルの正しい動作を利用しており、パケットの暗号化などの通常の防御方法では対応できない困難な問題になっている。

本研究では、位置情報から求めた送受信ノード間のパケット伝送距離と、無線通信方式による電波伝播距離の上限を比較することによって、異常なパケット伝播を判定してワームホールを検出する方法について、ノードに位置情報を与えるコストの最適化の検討を行う。

## 2. センサーネットワークのワームホール検出

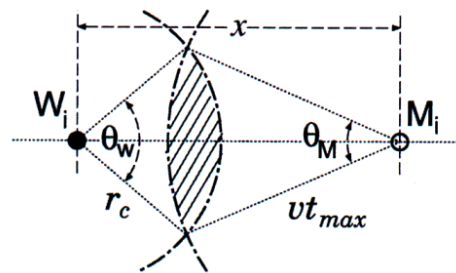
本研究では、センサーネットワークとして全てのノードがGPSのような何らかの位置計測機能を持つものを対象とする。ただし、移動ノードは消費電力などの観点から、常に正しい位置情報を持つわけではなく、一定時間間隔で位置測定するという状況を仮定する。

移動ノードは最終測定位置を自分から発信するすべての通信パケットの中に添付することで、受信ノードにおいて通信相手の位置情報と自分の位置情報でノード間距離を計算できるようにする。もしこの距離は無線通信距離より大きければ、この2つの通信ノードの間にワームホールが存在することがわかる。

## 3. 検出率の評価

移動ノードは位置は位置測定から時間が経過するにつれて不正確になっていので移動ノードが通信しても必ずワームホールを検出できるわけではない、そこで、2つの移動ノードがワームホールを使って通信したときのワームホールの検出率を求める。

測定間隔すなわち経過時間  $t$ 、移動速度  $v$  の最大値の積  $vt_{max}$  と表わすとすると、最終測定位置を中心として半径  $vt_{max}$  の円内に存在することになる。



図(1)  $M_i$  の移動範囲と  $W_i$  の関係

移動ノード  $M_i$  がワームホールノード  $W_i$  の通信範囲内で通信を行うには、図1のように、ワームホールノード  $W_i$  の通信範囲と移動ノード  $M_i$  の移動範囲、2つの円の重なる必要がある。 $M_i$  が位置測定後、最終測定位置を中心とし半径  $vt_{max}$  の円の中に一様に移動するとすると  $W_i$  を使って通信する確率は2つの円の重なる面積に比例する。面積  $Area(x)$  は

$$Area(x) = \begin{cases} \pi(vt_{max})^2 & (if\ vt_{max} < r_c, x < r_c - vt_{max}) \\ \pi r_c^2 & (if\ vt_{max} > r_c, x < vt_{max} - r_c) \\ \frac{1}{2}(vt_{max})^2 \{\theta_M - \sin \theta_M\} + \frac{1}{2}r_c^2 \{\theta_W - \sin \theta_W\} & (otherwise) \end{cases} \quad (1)$$

となる。ここで、

$$\theta_M = 2 \cos^{-1} \left( \frac{(vt_{max})^2 + x^2 - r_c^2}{2vt_{max} \cdot x} \right) \quad (2)$$

$$\theta_W = 2 \cos^{-1} \left( \frac{r_c^2 + x^2 - (vt_{max})^2}{2r_c \cdot x} \right) \quad (3)$$

である。

Wormhole Detection in Sensor Networks by using Location Information

<sup>†</sup>Jian Hua XIAO, Department of Computer Science, Faculty of Engineering, Takushoku University

<sup>‡</sup>Takashi MINOHARA, Department of Computer Science, Faculty of Engineering, Takushoku University

ワームホールで通信を行なった移動ノード  $M_i$  が最後に位置情報を得た位置を、ワームホールノードを中心とする極座標  $(x, \theta)$  で表すとすると、 $x, \theta$  は確率変数と考えられる。このとき、ノードが  $W_i$  の通信範囲に入る可能性のあるすべての点について積分したときに計算結果が 1 なるので、 $x, \theta$  についての確率密度関数  $f(x, \theta)$  は、

$$f(x, \theta) = \frac{\text{Area}(x)}{\int_0^{r_c + vt_{max}} 2\pi \text{Area}(x) dx} \quad (4)$$

となる。

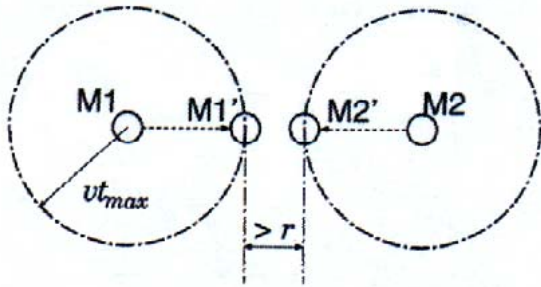


図 (2) センサーネットワークのワームホール検出

図2のように、2つのノード  $M1$  と  $M2$  の位置測定座標  $(x_1, \theta_1), (x_2, \theta_2)$  およびワームホールノード  $W1$  と  $W2$  間の距離  $L$  から  $M1$  と  $M2$  の距離  $l((x_1, \theta_1), (x_2, \theta_2), L)$  が求められる。

さらに移動によって最大  $vt_{max}$  近づくことから、距離  $l((x_1, \theta_1), (x_2, \theta_2), L)$  のときの検出可能性を示す係数を次のように表す。

$$C_d((x_1, \theta_1), (x_2, \theta_2), L) = \begin{cases} 1 & \text{if } l((x_1, \theta_1), (x_2, \theta_2), L) - 2vt_{max} > r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

以上から  $W1$  から  $(x_1, \theta_1)$  の位置と  $W2$  から  $(x_2, \theta_2)$  の位置ですべての測定可能位置で位置測定したノード  $M1$  と  $M2$  が、それぞれ  $W1$  と  $W2$  の通信範囲に移動して、通信を行った場合の検出率  $P(L)$  は、

$$P(L) = \int_0^R \int_0^{2\pi} \int_0^R \int_0^{2\pi} p((x_1, \theta_1), (x_2, \theta_2), L) dx_1 d\theta_1 dx_2 d\theta_2 \quad (6)$$

となる、ここで

$$p((x_1, \theta_1), (x_2, \theta_2), L) = C_d((x_1, \theta_1), (x_2, \theta_2), L) \cdot f(x_1, \theta_1) \cdot f(x_2, \theta_2)$$

$$R = r_c + vt_{max}$$

である。

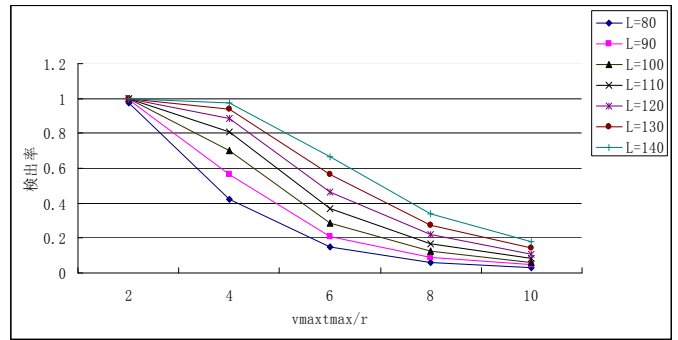


図 (3)  $r=10m$  の時、各ワームホール間距離  $L$  で、 $vt_{max}$  の変化と検出率の関係図

以上式を使って、80m から 140m まで 10m 間隔で 7 種類のワームホール長さ  $L$  について、各  $vt_{max}$  のときの検出率を求めた。図 3 が示した通り、例えば、長さ 120m のワームホールを検出するときに、検出率が 90% 以上を求めたいなら  $vt_{max}$  を 40m 以下に設定することが分かる。

#### 4. まとめ

本研究は、センサーネットワークの中に、ワームホール攻撃に対する位置情報を用いた検出方法について、位置測定コストと検出率の関係の評価方法を提案した。また検出までの時間要素を入れて評価を行うことは、今後の課題となっている。

#### 参考文献

- [1] I. Khalil, S. Bagchi, and N.B. Shroff, "Liteworp: alightweight countermeasure for the wormhole attack in mul-tihop wireless networks," International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN2005), pp. 612- 621, 2005.
- [2] Y.C. Hu, A. Perrig, and D.B. Johnson, "Packet leashes: Adefense against wormhole attacks in wireless ad hoc net-works," IEEE INFOCOM, pp.1976- 1986, March 2003.