

無線マルチホップネットワークにおける 故障ノード検出/通知手法

岡瀬 力[†] 梶垣 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

無線マルチホップネットワークでは、送信元ノードから送信先ノードまで、中継ノードを介してデータメッセージを配送する。故障中継無線ノードを検出するための手法としてウォッチドッグ手法がある [1]。ウォッチドッグ手法では中継ノードが次ホップノードが送信するデータを傍受することを活用して監視し、その故障を検出する。故障ノードを検出した場合には、故障通知メッセージ $Fnot$ を送信元ノードに配送する。図 1(a) に示すように、ノード N_i は次ホップノード N_{i+1} が N_{i+2} に送信するデータメッセージ m' を傍受する。 N_i は自身が送信したデータメッセージ m と m' を比較することで N_{i+1} の故障を検出する。また、 N_i は N_{i+1} が一定時間内に m を転送しないことによっても N_{i+1} の故障を検出する。 N_{i+1} の故障を検出した N_i は $Fnot(N_{i+1})$ を N_{i-1} へ送信する。しかし、この手法では $Fnot(N_{i+1})$ の誤送信を検出することができない問題がある。図 1(b) では、 N_{i+1} は、 N_i から受信した m を N_{i+2} に送信している。しかし、故障した N_i が誤って $Fnot(N_{i+1})$ を N_{i-1} に送信しても、この誤りを N_{i-1} が検出することができない。この場合、 N_{i-1} は N_i から受信した $Fnot(N_{i+1})$ が正しいか確かめることができない。その結果、送信元まで $Fnot(N_{i+1})$ が送信されるため、 N_i の故障動作を検出することができない。

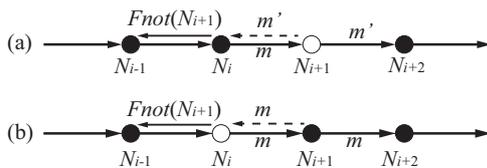


図 1: ウォッチドッグ手法.

2 提案手法

2.1 協調ウォッチドッグ手法

故障中継ノードが前ホップ中継ノードから受信したメッセージとは異なるメッセージを次ホップ中継ノードに送信したことを検出することに加えて、故障ノードが誤った故障通知メッセージを送信したことを検出することを可能にする協調ウォッチドッグ手法を提案する。協調ウォッチドッグ手法では、各中継ノード N_i に

対して監視ノード O_i を定める。このとき、 O_i は N_{i-1} 、 N_i 、 N_{i+1} と隣接することが必要である (図 2)。

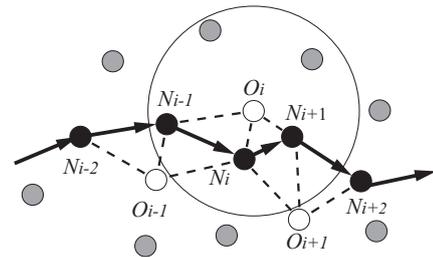


図 2: 協調ウォッチドッグ手法.

N_i と O_i は、 N_{i+1} のメッセージ転送を監視する。 N_i と O_i は、 N_{i+1} が N_{i+2} へ送信したメッセージを傍受することができる。そのため、 N_i は自身が N_{i+1} へ送信したメッセージと比較することによって、 O_i は自身が傍受した N_i が N_{i+1} へ送信したメッセージと比較することによって、 N_{i+1} が N_i から受信したものと異なるメッセージを N_{i+2} へ送信したことを検出する。 N_i と O_i は $Fnot(N_{i+1})$ を N_{i-1} へ送信する。

$Fnot(N_{i+1})$ の N_0 への無線マルチホップ配送は、次のように実現される。 $N_j (0 < j < i)$ は、 N_{j+1} と O_{j+1} から $Fnot(N_{i+1})$ を受信する。 $j = i - 1$ のときには、これらの受信順序は定まらないが、後から受信した $Fnot$ を N_{j-1} へ送信する。 $O_j (0 < j < i)$ は、 N_{j+1} が N_j へ送信した $Fnot(N_{i+1})$ と N_j が N_{j-1} へ送信した $Fnot(N_{i+1})$ とをこの順序で受信する。ここでは、 O_j は同一の $Fnot$ を受信するが、後から受信した $Fnot$ を N_{j-1} へ送信する。

次に、 N_{i+1} が故障していないにもかかわらず N_i が $Fnot(N_{i+1})$ を N_{i-1} へ送信する場合を考える。このとき、 O_i は N_i が N_{i-1} へ送信した $Fnot(N_{i+1})$ を傍受するが、監視している N_{i+1} が故障していないことも分かる。すなわち、 O_i は N_i が故障していることを検出する。そこで、 O_i は $Fnot(N_i)$ を N_{i-1} へ送信する。この結果、 N_{i-1} は、 N_i が送信した $Fnot(N_{i+1})$ と O_i が送信した $Fnot(N_i)$ とをこの順序で受信する。 N_{i-1} は、後から受信した $Fnot$ を N_{i-2} へ送信することから、 $Fnot(N_i)$ を送信する。一方、 O_{i-1} は、 N_i が送信した $Fnot(N_{i+1})$ と N_{i-1} が送信した $Fnot(N_i)$ とをこの順序で受信する。 O_{i-1} は、後から受信した $Fnot$ を N_{i-2} へ送信することから、 $Fnot(N_i)$ を送信する。 N_j と $O_j (0 < j < i - 1)$ は、 N_{j+1} と O_{j+1} から $Fnot(N_i)$ を受信することから、 $Fnot(N_i)$ が N_0 に無線マルチホップ配送される。 N_{i+1} が故障していないにもかかわらず O_i が $Fnot(N_{i+1})$ を N_{i-1} へ送信する場合も同様に、 N_i が O_i の故障を検出

Cooperative Watch-Dog for Failure Node Detection in Wireless Multihop Network

[†]Riki Okase [†]Hiroaki Higaki

[†]Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University

し, $Fnot(O_i)$ が N_0 に無線マルチホップ配送される.

2.2 拡張協調ウオッチドッグ手法

前節で提案した協調ウオッチドッグ手法では, 各中継ノード N_i について, N_{i-1}, N_i, N_{i+1} と隣接する監視ノード O_i が必要である. この制約条件を緩和するために, 図3に示す拡張協調ウオッチドッグ手法を提案する. ここでは, N_{i-1}, N_i, N_{i+1} と隣接する監視ノード O_i に換えて, O_{i-1}, N_i, O_{i+1} と隣接する接続ノード P_i を導入する (図3).

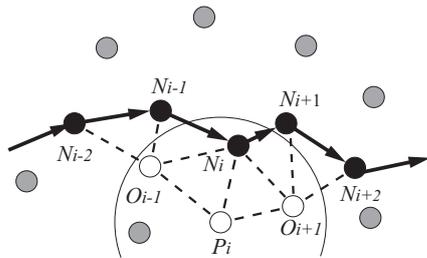


図3: 拡張協調ウオッチドッグ手法.

O_i が担っていた N_{i+1} によるメッセージ転送の監視は, O_{i+1} に委譲される. N_i と O_{i+1} は, N_{i+1} が N_{i+2} へ送信したメッセージを傍受することができる. そのため, N_i は自身が N_{i+1} へ送信したメッセージと比較することによって, O_{i+1} は自身が傍受した N_i が N_{i+1} へ送信したメッセージと比較することによって, N_{i+1} が N_i から受信したものと異なるメッセージを N_{i+2} へ送信したことを検出する. N_i と O_{i+1} は, $Fnot(N_{i+1})$ を N_{i-1} と P_i へそれぞれ送信する. P_i は, O_{i+1} から $Fnot(N_{i+1})$ を受信するとともに N_i が N_{i-1} へと送信した $Fnot(N_{i+1})$ を傍受する. これらの受信順序は定まらないが, 後述する誤故障通知メッセージの転送を回避するため, 後から受信した $Fnot$ を O_{i-1} へ送信する. O_{i-1} は, N_i から N_{i-1} へ送信された $Fnot(N_{i+1})$ を傍受するとともに, P_i が O_{i-1} へと送信した $Fnot(N_{i+1})$ を受信する. これらはこの順序で受信されるが, 後述する誤故障通知メッセージの転送を回避するため, 後から受信した $Fnot$ を N_{i-2} へ送信する. $Fnot(N_{i+1})$ の N_0 への無線マルチホップ配送は, 協調ウオッチドッグ手法と同様の方法で行なわれる.

次に, N_{i+1} が故障していないにも関わらず N_i が $Fnot(N_{i+1})$ を N_{i-1} へ送信する場合を考える. このとき, O_{i+1} は N_i が N_{i-1} へ送信した $Fnot(N_{i+1})$ を傍受するが, 監視している N_{i+1} が故障していないことも分かる. すなわち, O_{i+1} は N_i が故障していることを検出する. そこで, O_{i+1} は $Fnot(N_i)$ を P_i へ送信する. この結果, P_i は, N_i が送信した $Fnot(N_{i+1})$ と O_{i+1} が送信した $Fnot(N_i)$ とをこの順序で受信する. P_i は, 後から受信した $Fnot$ を O_{i-1} へ送信することから, $Fnot(N_i)$ を送信する. 一方, O_{i-1} は, P_i が送信した $Fnot(N_{i+1})$ と N_{i-1} が送信した $Fnot(N_i)$ とをこの順序で受信する. O_{i-1} は, 後から受信した $Fnot$ を N_{i-2} へ送信することから, $Fnot(N_i)$ を送信する. N_j と $O_j (0 < j < i-1)$ は, N_{j+1} と O_{j+1} から $Fnot(N_i)$ を受信することから, $Fnot(N_i)$ が N_0 に無線マルチホップ配送される. N_{i+1} が故障していないにも関わらず O_{i+1} が $Fnot(N_{i+1})$ を P_i へ送信する場合も同様に, N_i が O_{i+1} の故障を検出

し, $Fnot(O_{i+1})$ が N_0 に無線マルチホップ配送される.

このように, O_i ではなく P_i が N_i の隣接ノードである場合でも, O_i である場合と同様に故障ノードを検出し, $Fnot$ を N_0 に無線マルチホップ配送することができる. ここでは, P_i は O_{i-1}, O_{i+1} と隣接するとしたが, O_{i-1} ではなく N_{i-1} , O_{i+1} ではなく N_{i+1} と隣接するのであっても同様の故障ノードの検出と $Fnot$ の N_0 への無線マルチホップ配送を実現することができる. すなわち, P_i は, O_{i-1} または N_{i-1} , N_i , O_{i+1} または N_{i+1} という3つのノードと隣接すればよい.

3 評価

拡張協調ウオッチドッグ手法が協調ウオッチドッグ手法と比較して監視可能な経路検出率を改善していることをシミュレーション実験によって評価する. ここでは 300m 平方の正方形領域に無線信号到達距離が 10m の無線ノードを一様乱数によって配置し, 送信元ノードと送信先ノードをランダムに選択する. ただし, これらの間の距離は 150m 以上であることを条件とする. このとき, 協調ウオッチドッグ手法で経路検出率が大きく変化するノード数 2,000 以上 3,200 以下の範囲について, 両手法の経路検出率を求めたものを図4に示す. 経路検出率が収束するノード数に有意な改善を得ることはないものの, 各ノード数における経路検出率には有意な改善が得られた.

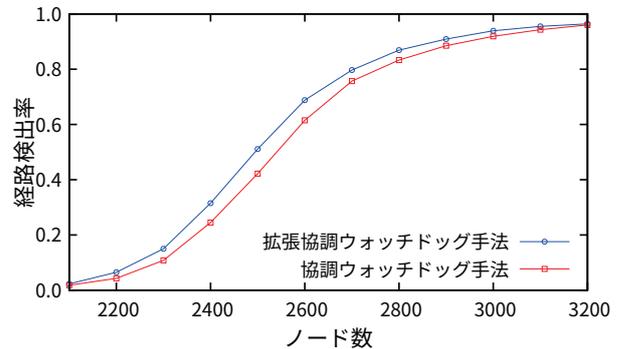


図4: 経路検出率.

4 まとめ

本論文では, 無線マルチホップネットワークにおいて, データメッセージの誤転送を検出, 通知するウオッチドッグ手法を拡張し, 故障無線ノードの誤検出と故障通知制御メッセージの誤転送を検出, 通知可能な協調ウオッチドッグ手法を提案した. また, 中継ノード故障を監視可能な無線マルチホップ配送経路の検出率を改善するために, 監視ノードの一部を中継ノードと隣接しない接続ノードに置き換える拡張協調ウオッチドッグ手法を提案した. シミュレーション実験の結果, 監視可能な経路の検出率が改善された.

参考文献

- [1] Martl, S., Giuli, T. J., Lai, K. and Baker, M., "Mitigating Routing Misbehavior in Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 255-265 (2000).