

軽量かつネットワーク分断にも対応可能な リンク故障可能性箇所検知プロトコルの提案

中村 玲^{†1} 西川 龍之介^{†1} 塚田 晃司^{†2}

和歌山大学システム工学研究科^{†1} 和歌山大学システム工学部^{†2}

1 はじめに

近年、センサの利用は様々な場面で広がっている。また、センサネットワークの研究において、データの効率的な回収方法や、耐故障性の向上といった仕組みについては数多くの手法が確立されている。しかし、故障可能性のあるリンクを検出し、通信障害を早期に、軽量で検知可能にする予防的機能に関してはあまり着目されていない。

そこで、本研究では観測データの回収を目的としたセンサネットワークにおいて、故障の前兆、例えばリンク間の通信品質に関する値（以下リンク情報値）の低下が観測された場合に、定期的に送信されていたノード間リンクの確認パケット（以下リンク確認パケット）をリンク情報値の低下が一定時間継続、あるいは復旧するまで連続で送信し、リンクの故障が発生しないか監視を行うプロトコルを提案する。さらにリンク間の故障が生じ、ネットワークが分断された際にも上述の動作が可能な仕組みも提案する。

2 関連研究

既存研究として、無線センサネットワークにおける故障の種類を判別を行う研究[1]が存在する。この研究では故障の原因を判別可能だが、故障機器の検出方法については想定されていない。また、ノードが故障した際に迂回路を形成し、不可能な場合は孤立ノード群で状況確認を行うセンサネットワークの提案をする研究[2]がある。こちらは森林内センサネットワークにおける故障検知を可能にしているが、故障の予防措置に関しては触れられていない。

上記の課題解決のために、森林内センサネットワーク内のリンク故障の前兆を検知し、故障の前兆解消までリンクの確認を行い続けるプロトコルを提案した[3]。こちらでは故障の前兆の検知を可能となったものの、過剰なパケット送信を行ってしまい、ネットワークの破綻を引き起こした。また、ネットワーク分断時には故障

の前兆検知に関する動作が不可能となっている。

3 提案プロトコル

本研究では、森林内山間部等の各種インフラが未整備であるような環境を想定する。また、センサはネットワーク密度が疎になるように設置されているものとする。経路情報収集の動作を行いセンサ間でネットワークを構築、センサデータをシンクノードに集積させ、回収元で受け取る。そのセンサネットワーク内において、全ての送受信の際にリンク情報値を監視するものとする。あるノード間のリンク情報値が低下し、故障の前兆が検知された場合、ネットワークの状態を遷移させ、故障の前兆検知後の動作を開始する。定期的に送信されていたリンク確認パケットの送信頻度を高め、そのリンクに関連したノードを全ノードに通知、故障前の対処を可能にする。研究[3]と比べての軽量化のための動作として、故障の前兆が検知された時点からシンクノードでタイマを起動し、リンク確認パケットの送信間隔を時間経過とともに3段階に分けて低下させる。さらに故障検知時、ネットワーク分断時の動作として、各ノード群で暫定的なシンクノードを設定し、そのシンクノードから従来の動作を開始することで、ネットワーク分断にも対応させる。

3.1 経路情報収集の動作

設定したシンクノードから経路設定用メッセージをセンサノードへ順番に送信し、ネットワークを構築する。これらの経路構築動作は研究[2]を参考としている。

3.2 ネットワークの状態の遷移

構築ネットワークには正常、故障の前兆検知、故障検知の3つの状態が存在する。正常時のリンク確認パケットの送信間隔をIntとする（図1①）。正常時のデータ送受信時にあるリンク間のリンク情報値が設定された閾値を下回っていた場合には、故障の前兆検知とし、以後故障の前兆検知状態の動作を行う。ノード間の通信が不通となった場合、これを故障検知とし、以後故障検知状態の動作を行う。

3.3 故障の前兆検知後の動作

故障の前兆検知に関する諸動作は研究[2]を参考とする。ノード間リンクにリンク情報値の低

Proposal of the light weight failure detection proposal enabled to predetect location of link failure in partitioned networks
Rei Nakamura^{†1}, Ryunosuke Nishikawa^{†1}, Koji Tsukada^{†2}
Graduate School of Systems Engineering Wakayama University^{†1}
Faculty of Systems Engineering Wakayama University^{†2}

下がみられた場合に、そのリンクに関連したノードを全ノードにブロードキャストし、リンク確認パケットの再送要請を行うメッセージ（以下再送要請メッセージ）をシンクノードへ送信する。

3.4 軽量化のための動作

故障の前兆検知後において、再送要請メッセージを受け取ったシンクノードはリンク確認パケットの送信頻度を制御するタイマ（以下制御タイマ）を起動する。制御タイマには予め3つの期間T1, T2, T3が設定されているものとし、シンクノードが再送要請メッセージを受け取った時点から制御タイマ時刻 $t=0$ とする（図1②）。

- (1) $0 < t < T1$ の時:シンクノードは再送要請メッセージを受信した直後にリンク確認パケットを送信する（図1③）。
- (2) $T1 \leq t < T2$ の時:シンクノードは再送要請メッセージを受信した後、前回のリンク確認パケット送信からカウントしてリンク確認パケットの送信間隔が $Int/6$ になるように送信を待機する（図1④）。
- (3) $T2 \leq t < T3$ の時:シンクノードは再送要請メッセージを受信した後、前回のリンク確認パケット送信からカウントしてリンク確認パケットの送信間隔が $Int/2$ になるように送信を待機する（図1⑤）。
- (4) $t \leq T3$ の時:再送要請メッセージの受信に関わらず、前回のリンク確認パケット送信からカウントしてリンク確認パケットの送信間隔を Int に戻す（図1⑥）。

以上の動作によりネットワーク上のパケット送信量を低減し、プロトコルの軽量化を実現する。

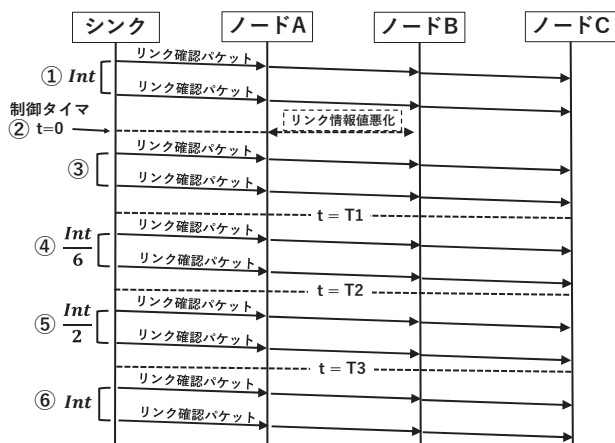


図1 リンク確認パケットの送信頻度の変化

3.5 故障検知時・ネットワーク分断時の動作

隣接ノードからのデータ・返答が一定時間途絶えた場合、リンク間の故障が発生したと判断し、故障検知の動作を行う。この動作は研究[2]

を参考としている。故障検知メッセージを受け取ったノードはホップ数とノード番号を格納したメッセージ（図2①，以下シンクメッセージ）を送信する。これを受け取ったノードのうち、自身のホップ数がシンクメッセージより小さい、またはホップ数は同じだがシンクメッセージよりノード番号が小さいノードはシンクメッセージ（図2②）を送信する。それ以外のノードは経路情報（図2③）を送信元に送信する。シンクメッセージを送信後、シンクメッセージを受信しなかったノードを暫定シンクノードと設定し、3.1で示した動作を行う。図2の場合、Gが暫定シンクノードとなっている。従来のシンクノードに繋がるネットワークでも同様の動作を行うことで、迂回路の探索が可能である。以上よりネットワーク分断時にもセンサネットワークとしての動作が可能で、故障の前兆検知動作も可能である。

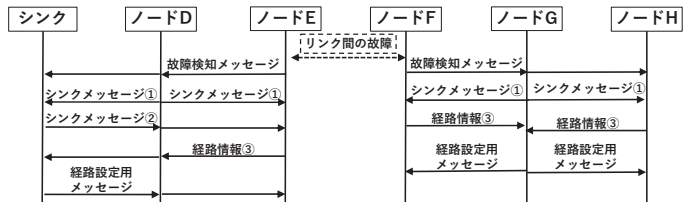


図2 故障検知時のシーケンス図

4 まとめ

本研究ではセンサネットワークのリンクに故障の前兆が見られた際に、その箇所の通知と監視を行い、ネットワーク分断時でも故障前の予防的措置を可能となるような、軽量のプロトコルを提案した。今後は実機実験を通してリンク情報値の閾値とT1, T2, T3の値を決定し、シミュレーションにより故障検知までの時間、ネットワークにおけるデータの総送信量を先行研究[2][3]と比較し評価する。

謝辞

本研究は、JSPS科研費15K00127, 19K11925の助成を受けたものです。

参考文献

- [1]A.R.M.Kamal et al. : Failure Detection in Wireless Sensor NetWorks : A Sequence-Based Dynamic Approach, ACM TOSN, vol.10, pp.514-543 (2014).
- [2]鈴木智文, 指吸未来, 岸田隆祐ほか: 停止故障発生時および通信不通時の原因箇所推定可能なセンサネットワークの提案, IPSJ 第80回全国大会講演論文集, No.1, pp.129-130 (2018)
- [3]中村玲, 西川龍之介, 塚田晃司: 動的なリンク確認処理によりリンク故障箇所を特定可能な故障検知プロトコルの提案, IPSJ 第81回全国大会講演論文集, No.1, p.207-208 (2019)