

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 20 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23700079

研究課題名（和文）

環境変動への適応性が高く電力消費の少ないセンサデータ収集機構の開発

研究課題名（英文）

Self-adaptive and energy-efficient data gathering for wireless sensor networks

研究代表者

谷口 義明 (TANIGUCHI YOSHIAKI)

大阪大学・サイバーメディアセンター・助教

研究者番号：50532579

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、センサネットワークにおける、環境変動への適応性が高く電力消費の少ないデータ収集を実現するため、生物の同期メカニズムをモデル化したパルス結合振動子モデルを応用したセンサネットワーク制御手法を提案した。パルス結合振動子モデルにおける位相ロッキング状態および逆相同期状態の 2 つの同期状態を応用した、センサネットワークのためのデータ収集方式の検討および評価を行った。シミュレーション評価の結果、提案手法を用いることにより、従来手法と比べて低い消費電力、高いデータ収集率を達成できることを示した。

研究成果の概要（英文）： We proposed self-organizing transmission scheduling mechanisms for periodically gathering sensor data at a base station in wireless sensor networks. In the proposed mechanisms, sensor nodes self-organize message transmission and sleep timings. To achieve self-organizing control of sensor networks, we apply phase-locking and anti-phase synchronization in a pulse-coupled oscillator model. Simulation experiments confirm that our mechanism significantly improves the data gathering ratio and energy-efficiency in comparison with the conventional mechanism.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 3,300,000 | 990,000 | 4,290,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：センサネットワーク、情報収集、省エネルギー、適応性、ネットワーク、同期、逆相同期、位相ロッキング

1. 研究開始当初の背景

近年、無線送受信機能を持つセンサ端末を多数配置してネットワークを構成することにより、大規模農場の監視、自然環境中の生体観測、火口の観測など環境情報を遠隔地から取得するセンサネットワーク技術が、大きな注目を集めている。電池で駆動するセンサ端末からなるセンサネットワークの長期運用の為には、省電力制御が大きな課題となる。また、センサ端末の追加、故障、電力枯渇、

電波伝搬状況の変化など環境変動への適応性も重要となる。

無線センサネットワークの自己組織型制御を実現するため、パルス結合振動子モデルを応用した制御手法が提案されている。パルス結合振動子モデルは、蛍の集団発光など、生物集団に見られる個体間の局所的な相互作用に基づく同期メカニズムを説明するモデルである。パルス結合振動子モデルを用いることにより、全ての振動子の位相が完全に同期する同相同期、振動子間で固定の位相差

をもって同期する位相ロッキング、振動子間で等間隔の位相差をもって同期する逆相同期、などさまざまな種類の同期を表現できる。

同相同期は無線センサネットワークにおける時刻同期や情報収集手法などいくつかの応用がある。逆相同期についても無線センサネットワークにおける情報収集手法への応用例がいくつか提案されている。例えば、DESYNC は、逆相同期を応用し、センサ端末間で自己組織型の時分割多重アクセス制御を実現する手法である。DESYNC では、センサ端末の使用するタイムスロットは、そのセンサ端末自身および近隣のセンサ端末の packet 送信タイミングに応じて自律的に調整される。DESYNC は、全てのセンサ端末が互いに通信可能である環境においては、センサ端末の初期状態によらず、情報収集を行うことができる。しかしながら、マルチホップネットワーク環境下においては、隠れ端末の関係にあるセンサ端末間で使用するタイムスロットが重なり、情報収集が行えない場合がある。

位相ロッキングのセンサネットワーク制御への応用例としては、全てのセンサ端末から任意のセンサ端末への周期的な情報収集、あるいは、情報発生源から全てのセンサ端末への周期的な情報拡散など、アプリケーションに応じた形態の通信を自己組織的に構成することのできる通信手法 WAVE がある。WAVE を用いて基地局への情報収集時の通信を行う場合、無線センサネットワークの周縁部から基地局に向かって基地局からのホップ数順にセンサ情報が発信、転送されるよう、センサ端末の packet 送信タイミングが調整される。packet 送信タイミングの調整は、近隣センサ端末の packet 送信タイミングや、自身と近隣センサ端末との相対的な位置関係に基づき自律的に行われ、packet 送信タイミング調整のための制御用 packet は不要である。packet 送信タイミングの調整後、センサ端末は、自身の通信に関わらない期間スリープを行うことで、消費電力を削減する。しかしながら、WAVE 提案論文では、位相ロッキングを利用してアプリケーションに応じた様々な形態の通信を自己組織的に構成することができることを述べており、具体的なセンサネットワークアプリケーション等を想定した通信方式は十分に検討されていない。

2. 研究の目的

本研究では、センサネットワークにおけるモニタリングアプリケーションのための自己組織型で、環境変動への適応性が高く、消費電力の少ない情報収集手法を開発する。

3. 研究の方法

提案手法では、packet の送信タイミングを自己組織的に調整するために、パルス結合振動子モデルにおける位相ロッキングと逆相同期の 2 種類の同期の仕組みを応用する。具体的には、無線センサネットワーク周縁部に位置するセンサ端末から基地局へ向かって、基地局からのホップ数順にセンサ端末がセンサ情報を発信、転送するよう、位相ロッキングを利用した手法である WAVE を用いた packet 送信タイミングの制御を行う。さらに、基地局からのホップ数の同じ近隣センサ端末間で同時に packet を送信することにより発生する packet ロスおよびセンサ情報収集率の低下を避けるために、逆相同期を利用した手法である DESYNC を用いた packet 送信タイミングの制御も行う。

提案手法では、センサ端末は各周期に 1 回、自身の持つセンサ情報を packet に含めてブロードキャスト送信する。このセンサ情報送信用の packet に制御情報を含めるため、packet 送信タイミング調整のための追加の制御 packet は不要である。提案手法の動作タイミングを図 1 に示す。なお、手法の詳細は、「主な発表論文等」の項目のうち、学会発表(4)(5)を特に参照されたい。

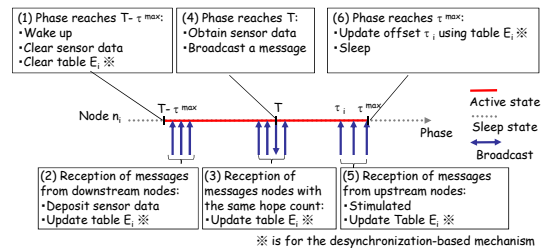


図 1：提案手法におけるメッセージ送受信タイミング

4. 研究成果

本章では得られた成果の一例を示す。詳細は「主な発表論文等」の項目を参照されたい。

提案手法の動作を確認するため図 2 に示すようなシミュレータを開発した。本シミュレータを用い、100 m × 100 m の領域に、10 台から 100 台のセンサ端末をランダムに配置、1 台の基地局を中央に配置し、センサ情報の収集周期を 1 秒とし、評価を行った。細かなパラメータは商用センサ端末や標準的な無線技術のパラメータを用いた。

評価指標としては、収集データあたりの消費電力を用いた。これは、1 周期の間に収集されたセンサ情報のサイズの合計と、1 周期の間にセンサネットワーク全体で無線通信モジュールが消費した電力の比である。

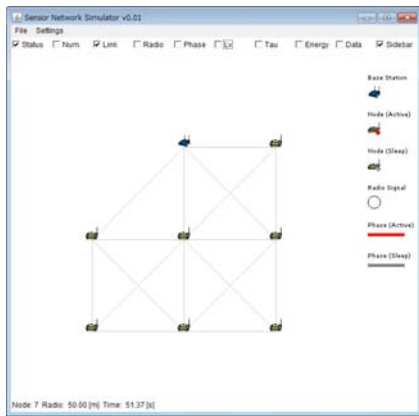


図 2: JAVA により開発したセンサネットワークシミュレータ

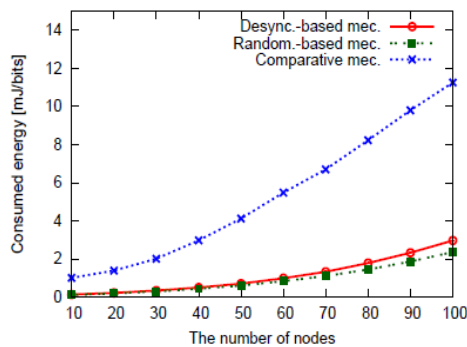


図 3: 収集データあたりの消費電力の比較。横軸はセンサ端末の数。青線は従来手法、赤線と緑線は提案手法により得られた結果。

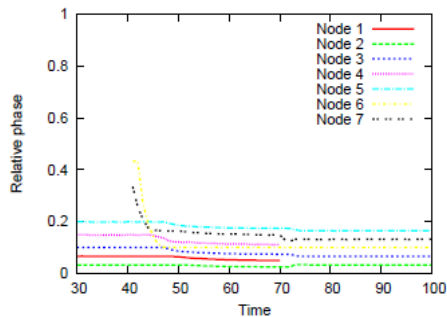


図 4: 各センサ端末の内部位相の変化。横軸は時刻。時刻 40 秒で 2 台のセンサ端末が追加され、時刻 70 秒で 2 台のセンサ端末が削除されている。提案手法では、センサ端末の追加、削除の変動に応じて位相が自己組織的に再調整される。

図 3 に、従来手法および提案手法を用いた場合の収集データあたりの消費電力を示す。図より、提案手法を用いることにより、既存手法と比べて、収集データあたりの消費電力が大きく削減されることが分かる。

また、センサ端末の追加や削除に対する提案手法の動作の評価を行った。図 4 に、センサ端末の追加や削除に対する各センサ端末内部の位相の変化を示す。図 4 より、提案手

法は、センサ端末の追加や削除などの変動に自律的に適応した位相の調整、すなわちパケット送信タイミングの調整が行えていることがわかる。

また、TDMA 型通信方式を用いて定常的にデータを収集/拡散する環境を想定し、トラフィック要求等の変動に対応する資源割り当て手法、ネットワーク性能の推定手法、などの検討もあわせて行った。得られた成果は国内外の学術集会で発表した。詳細は次章に示される主な発表論文等を参照されたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- (1) Yoshiaki Taniguchi, Akimitsu Kanzaki, Naoki Wakamiya, and Takahiro Hara, “An energy-efficient data gathering mechanism using traveling wave and spatial interpolation for wireless sensor networks,” *Journal of Information Processing*, vol. 20, no. 1, pp. 167-176, Jan. 2012. (査読有)

〔学会発表〕 (計 7 件)

- (1) 三根量輔, 長谷川剛, 谷口義明, 中野博隆, “干渉推定方式が IEEE 802.16j リレーネットワークの性能に与える影響,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 112, no. 464, pp. 343-348, 残波岬ロイヤルホテル, 沖縄, 2013 年 3 月 8 日. (査読無)
- (2) 北山智也, 長谷川剛, 谷口義明, 中野博隆, “IEEE 802.16j リレーネットワークにおけるトラフィック負荷に応じたタイムスロット割当の改善手法,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 112, no. 464, pp. 13-18, 残波岬ロイヤルホテル, 沖縄, 2013 年 3 月 7 日. (査読無)
- (3) Yoshiaki Taniguchi, “Self-organizing transmission scheduling mechanisms for wireless sensor networks,” *International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (ACM/IEEE SC 2012) (Exhibitions)*, Booth 1837 (Cybermedia Center, Osaka University), Salt Lake City, USA, Nov. 2012 年 11 月 12 日. (査読無)
- (4) Yoshiaki Taniguchi, Go Hasegawa, and Hiroataka Nakano, “Self-organizing transmission scheduling mechanisms using a pulse-coupled oscillator model for wireless sensor networks,” in *Proceedings of the 2nd International*

Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC 2012), pp.85-90, Klaipeda, Lithuania, 2012年7月10日。(査読有)

- (5) 谷口義明, 長谷川剛, 中野博隆, ``無線センサネットワークにおける位相ロッキングおよび逆相同期を利用した情報収集手法,`` 電子情報通信学会技術研究報告, AN2012-1, vol.112, no.30, pp.1-6, 豊橋科学技術大学, 愛知, 2012年5月17日。(査読無)
- (6) Yuuki Ise, Go Hasegawa, Yoshiaki Taniguchi, and Hirotaka Nakano, "Evaluation of IEEE 802.16j relay network performance considering obstruction of radio wave propagation by obstacles," in Proceedings of the 8th International Conference on Networking and Services (ICNS 2012), pp.63-68, Saint Martin, Netherlands Antilles, 2012年3月26日。(査読有)
- (7) 伊勢悠輝, 長谷川剛, 谷口義明, 中野博隆, "障害物を考慮した IEEE 802.16j ネットワークにおける重回帰分析に基づく性能推定手法," 電子情報通信学会技術研究報告, vol.111, no.469, pp.157-162, シーガイア, 宮崎, 2012年3月6日。(査読無)

[図書] (計0件)

該当なし

[産業財産権]

該当なし

[その他]

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 義明 (TANIGUCHI YOSHIAKI)
大阪大学・サイバーメディアセンター・助教
研究者番号: 50532579

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

以上