

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21700075

研究課題名(和文)：広域センサネットワークのためのセンサ端末配置法

研究課題名(英文)：Sensor node deployment for large-scale 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)：近年、センサネットワーク技術が大きな注目を集めている。センサネットワークの性能はセンサ端末の初期配置に大きく影響される。本研究では、大量のセンサ端末を一度に空中で散布する際に、センサ端末の様な初期配置を実現するためのセンサ端末散布法を提案した。提案手法では、空中落下中に自身の落下挙動を切替可能なセンサ端末を想定する。周囲センサ端末との通信結果に基づき落下挙動の切替えタイミングを適切に制御することにより、センサ端末を観測領域に均等に落下させる。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、カバレッジの高いセンサ端末配置を実現できることを示した。

研究成果の概要(英文)：Wireless sensor networks have attracted a great deal of attention. The performance of wireless sensor networks is greatly influenced by the initial physical placement of the sensor nodes. In this research, we proposed a novel deployment method for sensor nodes, when a large number of nodes is distributed from the air in a monitoring region that is inaccessible from the ground. In our deployment method, each sensor node is equipped with a parachute and a device to switch between its two falling behaviors in the air. After being dropped from midair, sensor nodes stochastically coordinate their falling behavior in order to distribute themselves uniformly in the monitoring region. Through simulation evaluations, we confirmed that our proposal can achieve a high uniformity in the placement of the nodes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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、センサ端末配置、空中散布、カバレッジ、落下挙動、一様分布

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、氷河、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、その応用の広さから注目を集めている。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、領域を確実に観測するためには、十分な数のセンサ端末により観測領域がカバーされていなければならない。これらセンサネットワークの性能、

すなわち、カバレッジ、コネクティビティ、寿命、ロバスト性はセンサ端末の物理的配置に大きく依存するため、これまでに数多くのセンサ端末配置手法が提案されている。

センサ端末配置法には大きく分けて3種類の手法がある。

- (1) ひとつは人やロボットによりひとつひとつ決められた場所にセンサ端末を配置する手法である。この手法は、高価なセンサ端末を小規模な観測領域を対象とする場合には有効であるが、設置コストが大きく、広大な観測領域を必要とするアプリケーションには不適である。
- (2) 全部あるいは一部のセンサ端末に移動機能を導入し、センサ端末自身が適切な場所に移動する手法は、環境に応じた柔軟なセンサ端末配置を実現できる。しかしながら、移動装置にかかるコスト、移動に必要なエネルギーを考慮しなければならない。また、観測領域中に崖、岩、湖などの障害物があれば必ずしも所望の位置にセンサ端末を移動可能とは限らない。
- (3) センサ端末を広大な屋外観測領域に設置する場合は、ヘリコプター等により空中から大量に散布する手法が有効であると考えられる。しかしながら、例えば空中の一点から大量のセンサ端末を散布する場合、風の影響を考えなければセンサ端末は二次元正規分布状に確率的に落下する。そのため、単純な散布では必ずしもセンサ端末を適切な分布で配置できるとは限らない。安価なセンサ端末であれば十分な数のセンサ端末を散布することで所望のコネクティビティ、カバレッジを達成することが可能であると考えられるが、散布するセンサ端末数に限りがある場合にセンサ端末が不均一に落下すれば、観測領域中にカバレッジホールが発生する、他のセンサ端末と互いに通信できない孤立端末が発生する、などの可能性がある。

本研究課題では、特に(3)の、空中からセンサ端末を散布するアプリケーションを対象としたセンサ端末配置の研究を行う。

2. 研究の目的

本研究課題では、前章で述べた研究背景に基づき、森林、氷河など比較的大規模な観測領域からの環境情報収集のためにヘリコプター等により大量のセンサ端末を一度に空中から散布するアプリケーションを対象として、カバレッジ等センサネットワーク性能の向上する初期配置を実現するためのセンサ端末散布法を提案する。

3. 研究の方法

本研究課題の核となるアイデアは図1に示す通りである。本研究では、端末の形状や補助装置を工夫することにより、センサ端末は落下時の挙動を切り替えることができるものとする。落下時の挙動としては、(1) 真つすぐに滑空する(滑空状態)、(2) 真下に落下する(落下状態)、の2つを実現できるとする。このような落下挙動の切り替えは、例えば、動力付きパラシュート(powered parachute、安価な玩具としても販売されている)等を用いることで安価に実現できると考えられる。センサ端末は落下中に周囲のセンサ端末と通信を行い、全体として一様に分布して落下するよう、自身の落下挙動を適切に切り替える。本研究では、センサ端末の挙動の切替え手法として、高価、高消費電力であるGPSを使うことなく、適切にセンサ端末の落下挙動を制御できる自律分散型手法を提案した。

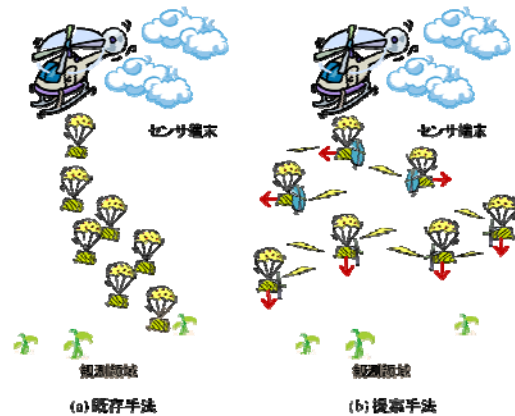


図1: センサ端末の空中散布(左: 既存手法、右: 提案手法)。提案手法では、センサ端末の落下方向を制御することにより観測領域に均一にセンサ端末を落下させる。

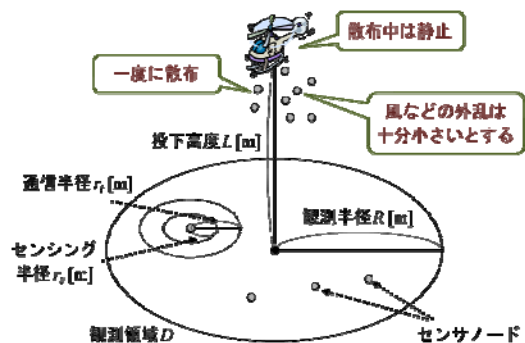


図2: 対象システムモデル。提案手法では、地上から L [m] 離れた地点から、半径 R [m] の円形の観測領域に大量のセンサ端末を一樣に散布する。

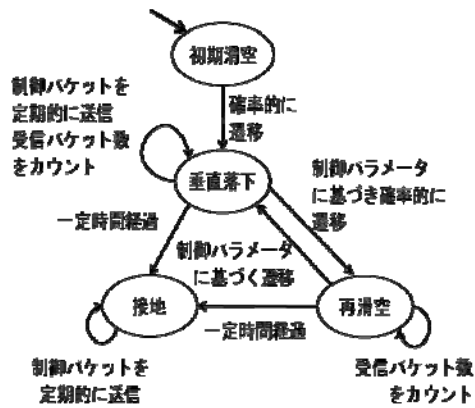


図 3：落下中のセンサ端末の落下挙動制御の状態遷移図。センサ端末は、予め与えられた確率分布および単位時間当たりに周囲センサ端末から受信したパケット数に基づき、自身の挙動を切り替える。

提案手法が対象とするシステムを図 2 に示す。また、提案手法の落下挙動制御の状態遷移図を図 3 に示す。提案手法では、センサ端末は図に示されるような状態遷移を行うことにより全体として、観測領域に一様に落下する。提案手法の詳細については本稿末尾に示す成果のうち、主に、雑誌論文(1)、学会発表(3)を参照されたい。

4. 研究成果

得られた研究結果について述べる。提案手法を評価するために、センサ端末落下シミュレーションプログラム(図 2)を開発し、評価に用いた。

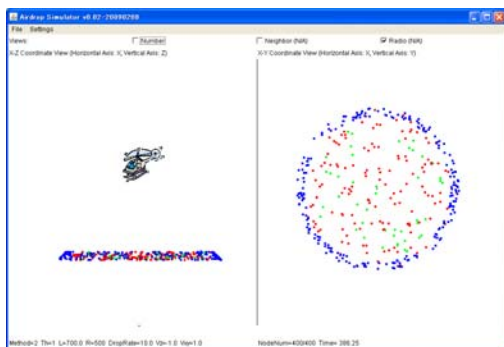


図 2：JAVA により開発したセンサ端末空中散布シミュレータ。垂直方向および水平方向でのセンサ端末の位置を点で表示している。センサ端末は周囲のセンサ端末と通信を行い、自身の状態を適切に切り替える。図中、センサ端末の状態を色で表している。

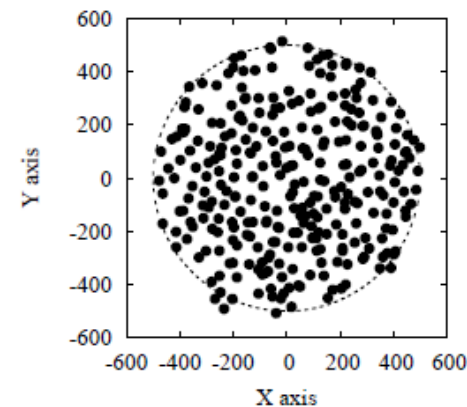
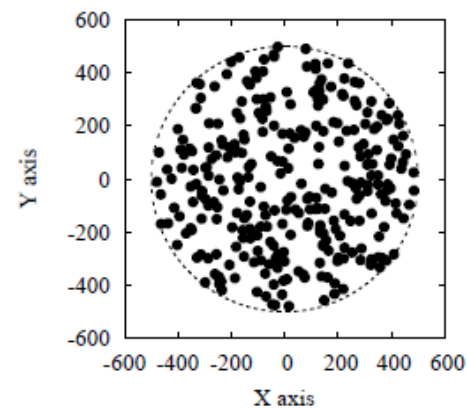
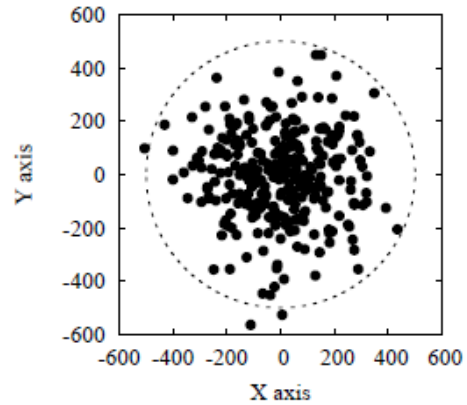


図 3：300 個のセンサ端末を空中から散布した場合の散布結果。点はセンサ端末を表す。上から、(1) 従来のセンサ端末を用いた場合、(2) 提案手法を用いるが通信を行わなかった場合、(3) 提案手法を用いた場合、を表す。

提案手法を用いた場合の主な結果を図 3、図 4 に示す。図 3 は、300 台のセンサ端末を空中から散布した場合の散布結果である。比較の対象として、落下挙動を切替え可能でない従来のセンサ端末を用いた場合および、提案手法を用いるが通信を行わない場合の散布結果も併せて示している。図より、提案手法を用いることにより、一様にセンサ端末が配置されることが示されている。

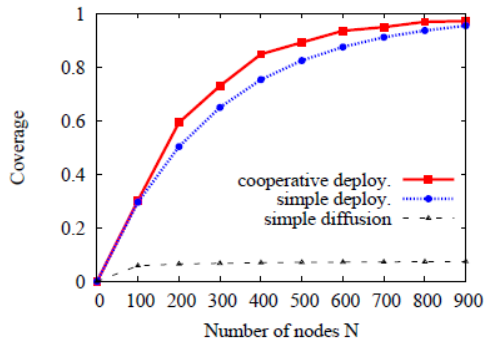


図4: センサ端末数を変えた時のカバレッジ。上から順に、提案手法を用いた場合、提案手法を用いるが通信を行わなかった場合、従来のセンサ端末を用いた場合、を表す。

図4はセンサ端末数(横軸)を変えた時のカバレッジ(縦軸)を表す。提案手法(図中、赤色および青色の線)を用いることで、従来のセンサ端末(図中、灰色の線)を用いる場合と比べて大幅にカバレッジを向上できている。また、通信を行う場合と行わない場合を比較すると、センサ端末数100~800台の間では、通信を行うことによりカバレッジが向上する。例えば、80パーセントのカバレッジを得るために通信を行わない場合は450台のセンサ端末が必要なのに対し、通信を行う場合には350台のセンサ端末で十分である。このように提案手法を用いることにより、より効率的なセンサ端末の初期配置が実現されることが示された。

なお、評価結果の詳細については本稿末尾に示す成果のうち、特に、雑誌論文(1)、学会発表(3)を参照されたい。また、詳述しないが、提案手法により一様分布状の端末配置を実現したネットワークを対象として、さらにネットワーク性能を高めるための研究も行った。詳細は次章に示される主な発表論文を参照されたい。

無線センサネットワークの研究は国内外を問わず盛んに行われており、その初期配置の重要性も広く認識されている。しかしながら、本研究課題で取り組んだように、空中散布時の端末間通信に着目し効率的な初期配置を実現することを考えている研究は我々の知る限り他にない。本研究課題による成果により、センサネットワーク技術の発展に寄与したい。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- (1) Yoshiaki Taniguchi, Tomoya Kitani, and Kenji Leibnitz, "A uniform airdrop

deployment method for large-scale wireless sensor networks," International Journal of Sensor Networks, vol.9, no.3-4, pp.182-191, 2011. (査読有)

- (2) Shoichi Takemori, Go Hasegawa, Yoshiaki Taniguchi, and Hiroataka Nakano, "Service area deployment of IEEE 802.16j wireless relay networks: service area coverage, energy consumption, and resource utilization efficiency," International Journal on Advances in Internet Technology, vol.3, no.1-2, pp.43-52, Sep. 2010. (査読有)

[学会発表] (計3件)

- (1) Gyeongyeon Kang, Yoshiaki Taniguchi, Go Hasegawa, and Hiroataka Nakano, "Extending the protocol interference model considering SINR for wireless mesh networks," in Proceedings of the 7th Advanced International Conference on Telecommunications (AICT 2011), pp.26-31, Saint Martin, Netherlands Antilles, 2011年3月21日. (査読有)
- (2) Shoichi Takemori, Go Hasegawa, Yoshiaki Taniguchi, and Hiroataka Nakano, "Improving coverage area quality using physical topology information in IEEE 802.16 mesh networks," in Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM 2009), pp.163-168, Sliema, Malta, 2009年10月13日. (査読有)
- (3) Yoshiaki Taniguchi, Tomoya Kitani, and Kenji Leibnitz, "An airdrop deployment method for sensor nodes with coordinated gliding and falling," in Proceedings of the Workshop on Sensor Networks for Earth and Space Science Applications (ESSA 2009) (ACM/IEEE IPSN 2009 Workshop), pp.41-48, San Francisco, USA, 2009年4月16日. (査読有)

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