

# 移動式WSNのためのノード間電波強度予測アルゴリズムの提案

Between nodes radio field strength prediction algorithm for mobile WSN

大塚 孝信      鳥居義高\*<sup>1</sup>      伊藤 孝行\*<sup>2</sup>  
Takanobu Otsuka\*<sup>1</sup>      Yoshitaka Torii      Takayuki Ito

\*<sup>1</sup>名古屋工業大学大学院 情報工学専攻

Department of Computer Science and Engineering, Nagoya Institute of Technology

\*<sup>2</sup>名古屋工業大学大学院 産業戦略工学専攻

Department of Techno-Business Administration, Nagoya Institute of Technology

Mobile wireless sensor network, the radio wave condition is changed by the influence of radio wave condition and buildings around which changes due to the movement. Therefore, it is necessary to determine an installation pattern in consideration of signal quality due to movement of the measurement nodes. However, even able to communicate on the theory, the case is often impossible communication outdoors. In this paper, by analyzing the environmental factors obtained at real field, we propose an algorithm to recommend WSN installation position of the mobile with simple parameters.

## 1. はじめに

近年、豪雨による河川の氾濫による土砂崩れや、家屋の浸水などの件数が増加している。広域浸水に関しては、河川の構造や、海拔及び、埋立地である箇所など、浸水を完全に防ぐ方法は困難である。現状では、浸水箇所に対しポンプ車を代表とする排水機器を稼働させるという対処のみ可能である。しかし、可能な限り迅速に排水作業を行うためには、浸水箇所全域の水位データによる浸水全水量の把握が必要である。そのために我々は、日本工営株式会社と共同で現場での設置を目的とした移動式アドホック簡易水位計の試作を行っている。

特に、移動式のワイアレスセンサネットワークでは、移動による周囲の環境要因によって通信信頼性が大きく左右される。そのため、固定式のワイアレスセンサネットワークとは異なり、移動により変化する周辺の電波状況や建築物、植物などの影響を定量化し、計測ノードの移動による電波品質を考慮したな設置パターンを決定する必要がある。

我々は、特に無線通信の信頼性に焦点を当て、実フィールドにおいて、種々の環境要因ごとに、通信モジュール同士の電波状況を測定することで、移動式のセンサネットワークに最適な設置パターンの提案を行い、設置場所の選定時間の短縮手法について提案している。本論文では、特に無線通信の信頼性に焦点を当て、実フィールドにて取得した、種々の環境要因を分析することで、移動式のセンサネットワークに最適な設置場所を推薦するアルゴリズムについて提案する。

本論文の構成を示す、まず、2章で本研究と関連する先行研究を紹介し、本研究の位置づけを示す。そして、3章で移動式センサネットワークの構成と課題について述べる。その後、4章において移動式WSNの電波強度予測アルゴリズムを提案し、5章において評価実験結果を示す。そして最後に、6章で本稿のまとめと今後の課題を示す。

## 2. 関連研究

ワイアレスセンサネットワーク (Wireless Sensor Network :WSN) は、近年、IoT(Internet of Things), M2M(Machine to Machine) の中核を成す技術であり、広く研究が行われている [Akyildiz02]. WSN を構成するノードは、温度、照度、加速度等のセンサデータを取得し、取得したデータを無線波を利用してパケットリレー方式で転送する“マルチホップ・アドホックネットワーク”を構成することができる [戸部 07][Kuorilehto05]. WSN は、ノードを配置するだけで自律的なネットワークを構成するために、利用現場での敷設作業を軽減することができる。また、センサデータを取得することで、現実世界の動態を捉えることができるため、対象物のトラッキングや自然環境のモニタリングが WSN における有望なアプリケーションとして広く研究されている。ワイアレスセンサネットワークは、多数の子機 (センシングノード) からの情報を集約するシンクノード (Sink mode) と、マルチホップでの情報の中継が可能なルータノード (Router node) から構成され、環境情報の観測や、スマートホーム等の分野で広く利用されはじめている。研究用途では、1998年にUCバークレー校で開発されたMOTEMOTE[MOTE]が有名ではあるが、近年ではIEEE802.15.4として規格化されている、Zigbeeネットワークを用いたセンサネットワークの研究が盛んである。しかし、日本国内において販売されている免許、工事認証ともに不要な通信モジュールは、諸外国と比較して出力が大幅に制限されており、通信距離の制約が大きい。

近年、個人で運用可能な環境情報取得装置は研究用途や家庭用として広く販売されている。農業用のワイアレスセンサシステムであるMEMSIC社のEkoシステム [MEMSIC] を用いた研究 [伊藤 10] も行われているが、ユニット単価が10万円程度と高く、大量に設置するには敷居が高い。更に、民生用の製品として、米デバイス社のVantageシリーズ [Davis] などがあり、通信装置別途で6万円と、比較的low価格であるが専用のアプリケーションでのみ動作可能なため、大規模なデータ収集には向いていない。また、実験的なWSNによる環境情報収集の例として、活火山に観測ノードを多数設置することで、噴火の予測などを目的としたデータ収集に関する研究 [Geoffrey06] も行われている。我々は、大規模に高密度

連絡先: 大塚 孝信, 名古屋工業大学, 愛知県名古屋市昭和区御器所町, otsuka.takanobu@nitech.ac.jp

の情報を収集可能なセンサネットワークデバイスとサーバアプリケーションを開発し、環境データの収集を行っている [大塚 14]。また、ワイアレスセンサネットワーク分野においては、消費電力の低減を目的としたセンサ配置の最適化に関する研究 [Dhananjay03] や、センサノードアプリケーションの構築にエージェント技術を適用した研究/citeagent も存在する。

さらに、運用面での管理容易化を狙い、目的に応じたノードのプログラムを用意しておくことで、用途に応じたセンサネットワークの構築の容易化についての研究 [Hillis00]、状況に応じたネットワークトポロジを自律的に構成する研究 [Fbk00] も存在している。しかし、WSN に一番求められていることは、ネットワークの安定である。すなわち、継続的なデータ収集を目的とし、固定式センサネットワークの配置を最適化することで、ネットワークの品質を一定に保つ研究が広く行われている。例えば、ノードの形成するトポロジの電波レベル (RSSI 値) を用いて、あらかじめ定義された空間においてノード配置を最適化する研究 [Romer04]、ノードをクラスタとして捉えることで、通信ルートを最適化する研究 [Younis06]、ノード間のマルチホップを行う中継局の位置を最適化することで、通信エラーを低減させる研究 [Hongyang08] などがある。また、複数のシンクノードを配置し、シンクノードの位置を最適化する研究 [宇谷 00] も行われている。しかし、どの研究も”閉じた環境”での最適化を目的とした研究であり、周囲環境が動的に変化する移動式の WSN の通信品質を維持するアプローチはとられていない。

特に、移動式のワイアレスセンサネットワークでは、固定式のワイアレスセンサネットワークとは異なり、移動により変化する周辺の電波状況や建築物などの影響を定量化し、計測ノードの移動による電波品質を考慮した設置パターンを決定する必要がある。我々は、無線通信の信頼性に焦点を当て、実フィールドにおいて、種々の環境要因ごとに、通信モジュール同士のパケットエラー率を測定することで、移動式のセンサネットワークに最適な設置パターンの提案を行うアルゴリズムについて提案する。

### 3. 移動式 WSN の開発と課題

近年、豪雨による河川の氾濫による土砂崩れや、家屋の浸水などの件数が増加している。広域浸水に関しては、河川の構造や、海拔及び、埋立地である箇所など、浸水を完全に防ぐ方法は困難である。現状では、浸水箇所に対しポンプ車を代表とする排水機器を稼働させるという対処のみ可能である。しかし、可能な限り迅速に排水作業を行うためには、浸水箇所全域の水位データによる浸水全水量の把握が必要である。そのために我々は、国土交通省 中部地方整備局、日本工営株式会社と共同で現場での設置を目的とした移動式アドホック簡易水位計の試作を行っている。移動式アドホック水位計とは、浸水地域の排水を行うポンプ車にシンクノードを搭載し、任意の箇所に設置された計測ノードからの水位情報を集約することで、浸水地域の水位状況を可視化することで、排水に要する所要時間の算出や、最も水位の高い箇所へポンプ車が移動することで排水に要する時間を短縮することを目的として開発を行っている。本システムの概要を 図 1 に示す。

本システムは、固定式の WSN と異なり、シンクノード、計測ノードが任意の場所に設置されるため、事前に配置位置を検討することが困難であり、任意の箇所に設置された計測ノードから親機への電波中継を行う中継ノードの配置が重要となる。すなわち、固定式 WSN とは異なり、電波品質に影響する

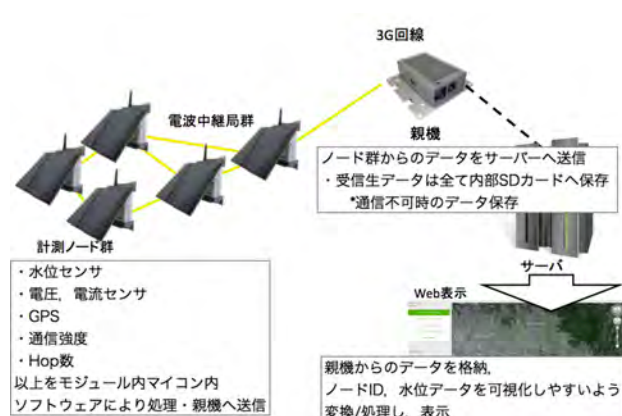


図 1: システム概要

外的要因が動的に変化する可能性が高く、固定式 WSN のように、事前に電波状況を測定し配置を最適化することは困難である。また、計測ノード、ルータノードを設置する作業が、災害現場に位置するため、オペレータの手間を軽減する必要がある。そのため、本研究では無線通信の信頼性に焦点を当て、実フィールドにおいて、種々の環境要因ごとに、通信モジュール同士のパケットエラー率を測定した。測定結果をもとに、環境要因が電波品質に与える影響をモデル化することで、移動式のセンサネットワークに最適な設置パターンの提案を行い、設置場所の選定時間の短縮手法について提案する。本研究では、実フィールドにて取得した環境要因を分析することで、移動式の WSN 設置位置を簡易的なパラメータで推薦するアルゴリズムについて提案する。

#### 3.1 実フィールドにおける電波減衰

本論文では、実フィールドにて取得したノード間の通信品質を用いて、樹木や建物が与える影響について定量化することで、移動式 WSN の設置位置推薦アルゴリズムについて提案する。本研究では、岐阜県海津郡海津町において取得した電波品質データを用いてアルゴリズムを構築した。地上実験時のアンテナ設置図を図 2 に示し、実験におけるノード間距離と RSSI 値及び PER 結果について表 1 に示す。本実験結果によれば、RSSI 値は 1km 程度で減衰し、 $-80\text{dBm}$  付近で横ばいとなっている。しかし、PER 値は 1.4km 付近を境に上昇し、通信距離のみではなく、樹木や建物といった周辺環境に依存していることがわかる。そのため我々は、通信距離だけではなく、周辺状況をパラメータとして扱うことで、移動式 WSN の設置位置推薦アルゴリズムを提案する。

### 4. 移動式 WSN における設置位置推薦アルゴリズムの提案

WSN の電波品質においては、ノード間の”見通し”が重要なパラメータとなる。見通しを確保するためには、アンテナ高を障害物を超える高さに配置することが望ましいが、センシングが必要な際に既存施設や仮設ポールに設置される移動式 WSN においては、最長でも 4m 程度の高さとなる。そのため我々は、ノード間の距離に加え、ノード間に存在する”建造物”、”樹木”を簡略化したパラメータによって定式化し、電波損失量を算出する。まずはじめに、以下のパラメータを設定

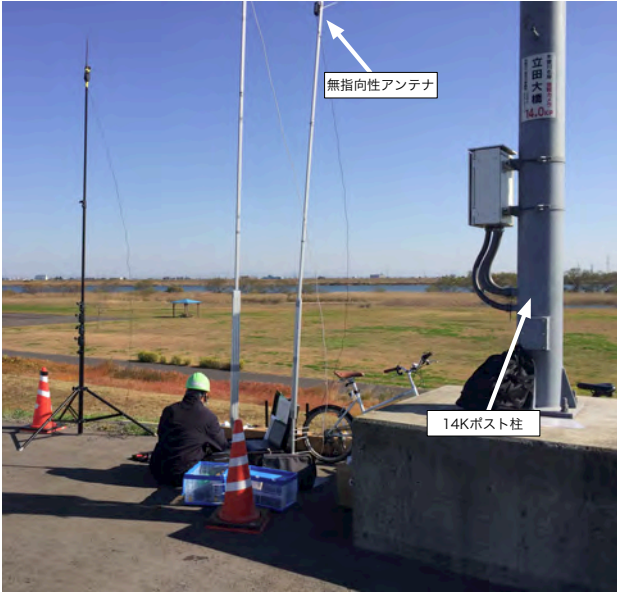


図 2: 地上試験におけるアンテナ設置図

表 1: 地上試験結果

ノード間距離	親機高さ	子機高さ	通信確立	RSSI	PER	備考
0K	4m	4m	可	-43.9	0.0%	
0.5K	4m	4m	可	-76.45	0.0%	
1K	4m	4m	可	-84.85	0.0%	
1.3K	4m	4m	可	-81.7	0.0%	
1.4K	4m	4m	可	-84.85	3.4%	
1.7K	4m	4m	否	-	-	樹木遮蔽
2.4K	4m	4m	否	-	-	樹木遮蔽
2.5K	4m	4m	可	-93.25	98.0%	
2.6K	4m	4m	否	-	-	樹木遮蔽
2.7K	4m	4m	否	-	-	樹木遮蔽
2.8K	4m	4m	可	-84.85	32.0%	
2.9K	4m	4m	可	-84.85	25.0%	通信限界
3.0K	4m	4m	否	-	-	

なる. また, 樹木密度のパラメータである  $T_d$  の  $\alpha$  は参考文献 [Mitsubishi] の値を用い, 建造物密度  $T_d$  の  $\beta$  については, 建築物の影響が電波品質に与える影響が大きいため二乗している. 本アルゴリズムにより, 簡易ではあるが, 電波強度の目安を算出することができる.

## 5. 評価実験

本章では, 本論文で提案するアルゴリズムを用いて算出した RSSI と, 静岡県沼津市で行った電波試験結果を比較することで, アルゴリズムの有効性を検証する. reffig:test に実験フィールドとシンクノード及びルータノードの位置を示す, また, 提案するアルゴリズムによって算出した結果と実測値を表 2 に示す.

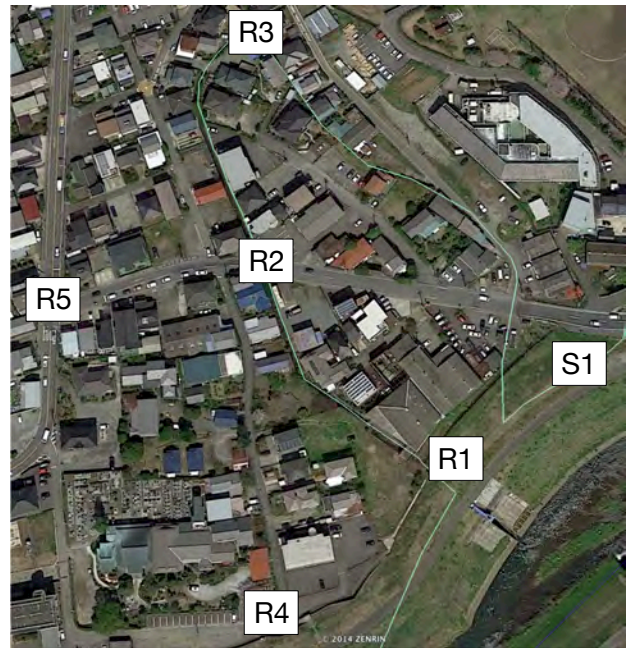


図 3: 実験フィールドにおける親機, 子機配置図

する

- $d$  = ノード間距離 (m)
- $h_a, h_b$  = 各ノードのアンテナ高さ (m)
- $T_d$  = 樹木密度 (5 段階評価)
- $S_d$  = 建造物密度 (5 段階評価)

樹木密度  $T_d$  および建造物密度  $S_d$  は (なし 1 - 多少ある程度 3- 密集 5) の 5 段階評価としている. まず, アンテナ高さが同一の場合のノード間距離による db の減衰率を式 (1) にて求める,

$$L[db] = 10 \log \left| \frac{d^2}{h_a h_b} \right| \quad (1)$$

$$L[db] = 2.08(T_d^\alpha + S_d^\beta) \quad (2)$$

次に, 建造物及び樹木密度による減衰率を式 (2) にて求める. 式 (1) と式 (2) の値を合算し 100 除法したものが RSSI と

表 2: 地上試験結果

ルータ番号	直線距離	$T_d$	$S_d$	計算値	実測値
R1	80m	1	1	-72.1	-70.9
R2	151m	1	3	-79.5	-81.7
R3	234m	2	3	-78.8	-81.7
R4	125m	1	2	-76.1	-78.9
R5	145m	2	4	-92.1	-96.1

## 6. まとめと今後の課題

本研究では, 移動式 WSN の設置位置推薦アルゴリズムについて提案した. 本アルゴリズムは簡易ではあるが, ノード間の樹木密度, 建造物密度, 及びノード間距離を用いることで RSSI の目安を算出することができた. 今後は, 樹木密度と建

造物密度を定量的に判断することで、より精度の良い設置位置推薦アルゴリズムを提案する。

## 参考文献

- [進士 92] 進士昌明. "無線通信の電波伝搬." 電子情報通信学会 2 (1992).
- [Otsuka15] 大塚孝信, 鳥居義高, 伊藤孝行, "移動型ワイアレスセンサネットワークの周囲環境変化に応じた信頼性確保のための設置位置推薦手法の提案". 第 177 回 情報処理学会 知能システム研究会.
- [Mitsubishi] 三菱電機 "SWL10-TR08-E アンテナ敷設マニュアル".2013
- [MOTe] 住友精密工業センサネットワーク事業部, 無線センサネットワーク MOTe, "http://www.xbow.jp/01products/index.html", 2014.11.18 閲覧.
- [伊藤 10] 伊藤昌毅. "センサネットワーク技術を活用した環境モニタリングの実現." 電気学会研究会資料. IIS, 次世代産業システム研究会, IEEE Japan. Vol. 2010. No. 66. 2010.
- [MEMSIC] MEMSIC .inc, Wireless Sensor Network, "Eko", <http://www.memsic.com/wireless-sensor-networks/>
- [Davis] Davis Instruments, "Whether Products", <http://www.davisnet.com/weather/>.
- [戸部 07] 戸部 義人, "無線センサネットワークの技術動向", 電子情報通信学会論文誌 B, Vol190-B, No.8, pp.711-719, 電子情報通信学会, 2007.
- [長 06] 長 建太, 大須賀 昭彦, 本位田 真一, "知的移動エージェントによるマルチパーパスワイヤレスセンサネットワークアプリケーション", 情報処理学会論文誌, Vol47, No.12, pp.3165-3178, 情報処理学会, 2006.
- [大塚 14] 大塚孝信, 鳥居義高, and 伊藤孝行. "気圧センサノードを用いた局地的異常気象検知アルゴリズムの提案." 情報処理学会研究報告. ICS.[知能と複雑系] 2014.4 (2014): 1-6.
- [Hill00] Hill,J.,Szewczyk, R., Woo, A., Hoiar,S, Culler,D.E., Kristofer,S, and Pister, J,: System Architecture Directions for Networked Sensors A, Architectural Support for Programming Languages and Operating System3, pp.93-104, 2000.
- [Fbk00] Fbk, C" L., Roman, G.-C. and Lu, C. "Rapid Development and Flexible Deployment of Adaptive Wireless Sensor Network Applications", Proc.25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Vbl, OO, pp.653-662 (ICDes,05), 2000.
- [Kuorilehto05] M. Kuorilehto, M. Hannikainen and T. D. Hamalainen: "A survey of application distribution in wireless sensor networks", EURASIP J. Wirel. Commun. Netw., 5, 5, pp. 774-788 (2005).
- [Akyildiz02] I.F. Akyildiz, W. Su\*, Y. Sankarasubramanian, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey", Computer Networks, Vol.38, pp.393-422, Elsevier Science B.V,(2002).
- [Dhananjay03] Dhananjay Lal, Arati Manjeshwar, Falk Herrmann, Elif Uysal-Biyikoglu, Abtin Keshavarzian, "Measurement and Characterization of Link Quality Metrics in Energy Constrained Wireless Sensor Networks", Proc of IEEE International Conference on Global Communications Conference, pp.446-452, (2003)
- [Geoffrey06] Geoffrey Werner-Allen, Konrad Lorincz, Matt Welsh, et.al, "Deploying a Wireless Sensor Network on an Active Volcano", IEEE INTERNET COMPUTING, March April, 2006, pp18-25, (2006).
- [宇谷 00] 宇谷 明秀, 山本 尚生, "複数の許容解を探索する Particle Swarm Optimization とその複数シンク無線センサネットワークにおけるシンクノード配置問題への適用", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J93-D, No.5, pp555-567, 電子情報通信学会,(2000).
- [TOCOS] 東京コスモス電機 ワイヤレス事業部, TWE-Strong, "http://tocos-wireless.com/jp/products/TWE-001STRONG.html"
- [三島市] 三島市洪水避難地図 (ハザードマップ), "http://www.city.mishima.shizuoka.jp/media/05082030\_pdf.2012926\_rad5B39B.pdf"
- [Romer04] Romer, Kay, and Friedemann Mattern. "The design space of wireless sensor networks." Wireless Communications, IEEE 11.6 (2004): 54-61.
- [Younis06] Younis, Ossama, Marwan Krunz, and Srinivasan Ramasubramanian. "Node clustering in wireless sensor networks: recent developments and deployment challenges." Network, IEEE 20.3 (2006): 20-25.
- [Hongyang08] Hongyang, C. H. E. N., et al. "An improved DV-Hop localization algorithm with reduced node location error for wireless sensor networks." IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences 91.8 (2008): 2232-2236.