

# Robot Wireless Sensor Networks における 通信に基づく移動型センサノードの配置手法の検討

○川畑 皓司(東京電機大) 鈴木 剛 (東京電機大)

## Study on deployment method of mobile sensor node based on communication in Robot Wireless Sensor Networks

○Koji KAWABATA(Tokyo Denki University), and Tsuyoshi SUZUKI(Tokyo Denki University)

Abstract: We have been studying information gathering system, Robot Wireless Sensor Network (RWSN) system, by using a rescue robot and wireless sensor networks in post-disaster environment where a communication is unstable. In this paper, a deployment strategy for Mobile Sensor Nodes (MSNs) in RWSN to maintain wireless communication connectivity while estimating the MSNs' conditions is proposed. The effect of the proposed method is confirmed by network simulation.

### 1. 緒言

近年、大規模な災害等による被害が頻発していることから、減災活動[1]の重要性が増している。減災活動では災害発生時の対応、および、発生後の早期の復旧復興のために、被災状況の迅速な情報収集が求められる。これまで、被災状況の情報収集には、ヘリや UAV 等による上空からの広範囲な観測、無線通信設備やインターネット等の既存インフラの利用、レスキュー活動従事者による直接的な情報収集活動などが行われている。さらに、最近では災害対応にロボット技術を応用し、レスキューロボット等の遠隔操作による情報収集や被災者救助支援のシステムなど、様々な種類のロボットが研究・開発されている[2]。ロボット技術を利用することで、広範囲による被災情報の収集やレスキュー活動従事者の活動負担軽減の他、閉所や狭所、水中等人が容易に立ち入れない環境での活動支援が可能である。

これらシステムにおいて、ロボット遠隔操作等を行う際の通信接続性および安定性の維持は重要である。特に、地下街や地下鉄駅構内のような地下空間では、内部状況の把握が困難であり、屋外に比べて通信が不安定な環境であることが多い。また、このような地下空間では、前述した上空からの観測など、これまでの情報収集手法の利用が困難である。さらに遠隔操作によるロボットの活用においては、四方が壁に囲まれた空間的特徴から、電波反射等の外乱による影響が屋外に比べて発生しやすい。そのため通信が不安定となり遠隔操作性の低下が発生する。

そこで我々は、このような地下空間における情報収集支援を目的として、Wireless Sensor Network(WSN)と遠隔操作ロボットを利用した被災地情報収集支援シス

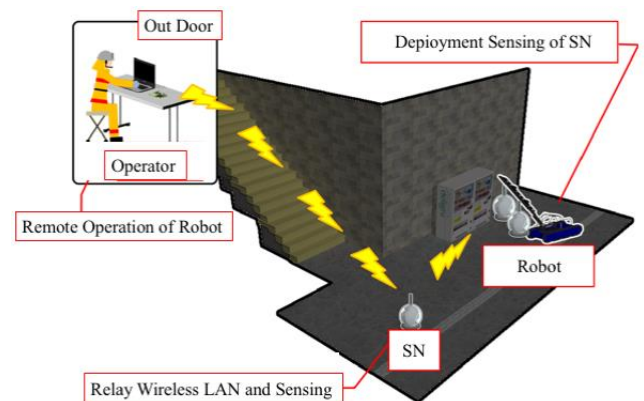


Fig.1 Robot Wireless Sensor Networks

テム Robot Wireless Sensor Networks(RWSN)を提案及び検討している(図 1)。

### 2. Robot Wireless Sensor Networks

Robot Wireless Sensor Networks(RWSN)とは遠隔操作ロボットと Wireless Sensor Network(WSN)を利用した情報収集支援システムである。WSN を介して災害対応ロボット等の無線遠隔操作を行い、小型無線中継センサ端末である Sensor Node(SN)を移動経路上に配置していくことで災害対応ロボットの遠隔操作範囲を拡大する。さらに災害対応ロボットと SN に搭載されているセンサやカメラ等から得られるデータを操作者端末に送信することで減災活動に必要な情報を得られる。RWSN ではロボットの遠隔操作によって任意の環境に一時的な情報通信インフラを構築できることから、災害発生時の情報収集手段として有効であると考えられる。

災害時の地下空間で RWSN を運用するために、環境状態の変化に伴う無線接続性の低下や SN の故障、バッテリー消耗による SN の動作停止などに起因するネット

ワーク分断を考慮する必要がある．無線接続性を維持するためには，SN の位置を SN 間の通信状態に対して適応的に調整する必要がある．またバッテリーにより自立駆動する各端末は，動作環境およびシステム内の状態による動作状況や通信状況等の変化，および，各端末の個体差などにより，それらの稼働時間がそれぞれ不均一になる．そのため各端末の動作状況や通信状況に伴う電力消費量を考慮し動作させることが，RWSN を安定に運用する上で求められる[3]．

3. 研究目的

RWSN の構成要素として，移動型無線中継端末 (MSN : Mobile Sensor Node)を用いる．MSN は SN 自身が移動することで，動作環境や稼働状態に応じて SN 位置を変更することにより，WSN の通信状態等を適応的に調整できる．本研究では，MSN 間の通信状況や動作状況と，それら状況により変化する各 MSN の電力消費量を考慮した MSN 配置調整手法を提案する．各 MSN は MSN 間の通信状態を計測しながら，自身の内部情報であるバッテリー残量の多い端末を優先的に移動させることにより各 MSN の稼働状況の均一化を図り，無線接続性を維持しながら長時間稼働を実現させる．

4. 提案システム

提案アルゴリズムを図 2 に示す．各 MSN は端末間の通信品質と自身の内部情報であるバッテリー残量を常時計測している．各 MSN は端末間の通信低下を判断するための通信閾値とバッテリー残量の低下を判断するバッテリー残量閾値を設定する．端末間で計測した通信品質が通信閾値以下の場合，MSN はまず自身のバッテリー残量を評価する．バッテリー残量が閾値より多い場合は隣接 MSN との相対情報(座標情報，方向)から移動方向を算出し MSN 間の通信状態が閾値以上になるまで移動する．バッテリー残量が閾値を下回っている場合は，隣接 MSN の残量と比較し，残量が多い MSN がバッテリー残量の比較対象であった MSN の相対情報から移動方向を決定し移動を行う．この処理を繰り返すことで，バッテリー残量が多い MSN が優先的に移動し無線通信接続性の維持を図る．

5. 計算機実験

5. 1 実験条件

無線通信時，MSN のバッテリー残量が配置位置調整によりどのように推移するかシミュレーションにて検証した．シミュレーション設定及び実験条件は表 1 に

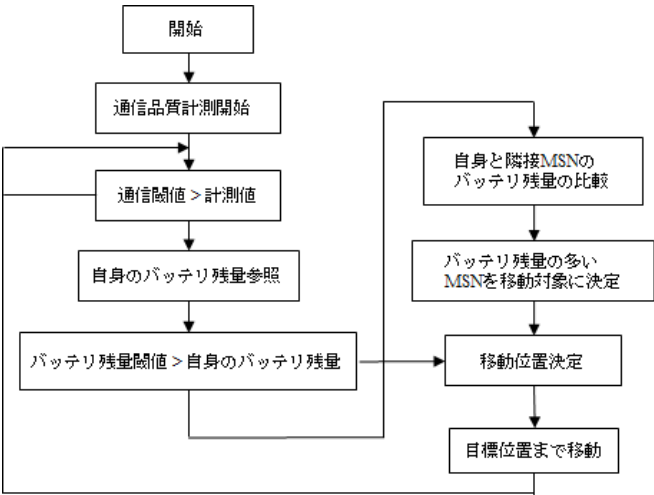


Fig.2 Proposed Algorithm

示す．2hop のマルチホップネットワークを構築するために 3 つのノードを用いる．本実験では，この 3 つのノードにおいて，操作者端末となるノードを sink，MSN となるノードをそれぞれ node1，node2 と表記する．初期配置位置は sink を原点とし直線状に node1 を 27.5[m]，node2 を 100[m]に配置する．本実験では無線通信のみのバッテリー残量を計測するため，node2 から node1 を中継して sink にトラフィック量 1[Mbps]を伝送する．トラフィック量を伝送する中で，node1，node2 のバッテリー残量を 1 秒間隔で 150step 計測する．次に，150step 時点でバッテリー残量が多いノードを別地点に再配置させ，同様の方法で再度計測する．またトラフィック量を伝送している中で，node2 から sink へ受信される合計パケット数から End to End のスループットを計測し，再配置することによる無線接続性の影響を調査する．

Table.1 Simulation setting and parameter

Parameter name	Values
Number of node	3
Time step	150
Traffic [Mbps]	1
Initial energy [J]	1000
Supply voltage [V]	10
Idle current [A]	0.25
Transmission current [A]	0.38
Received current [A]	0.31

5. 2 実験結果

各ノードのバッテリー残量の計測結果を図 3，初期配置と再配置した時の End to End のスループットを図 4 に示す．図 3(a)は初期配置の時の各ノードのバッテリー残量

の結果, 図 3(b)は再配置した時の各ノードのバッテリー残量の結果である。

図 3(a)の結果では, 初期配置時点では 2 つノードが step 毎にバッテリー残量に差が生じていることから, 電量消費量が各ノードで不均一なことが分かる. 150step 時に node1 を再配置した結果 (図 3(b)), 2 つのノードのバッテリー残量が同程度の低下傾向になったことが分かる. これらの結果から提案手法により端末位置を調整することで電力消費の均一化が行われた。

また, 図 4 の結果から, node1 が 27.5[m]に配置されている時では 0.473[Mbpa]であるが, node1 が 50[m]に再配置された時は 0.971[Mbpa]と, 再配置したことで End to End のスループットが増加したことが確認できる. このことから, MSN を適切な位置に調整することでスループットが増加し, 無線接続性が維持できることが示された。

### 5. 3 考察

実験結果より, バッテリー残量が多い端末位置を調整することにより, 各 MSN の電力消費の差が抑えられることを示した. シミュレーションでは, 位置調整後は各 MSN 間の距離が等しくなったことで, 無線通信時の総消費電力量が各ノードで均一になったと考えられる。

また, End to End のスループットが, 位置調整することで増加することを示した. 通信接続性が安定したことによりパケットロス率が低下し, node1 を経由して sink に受信されるパケット数も増加するためスループットは増加したと考えられる。

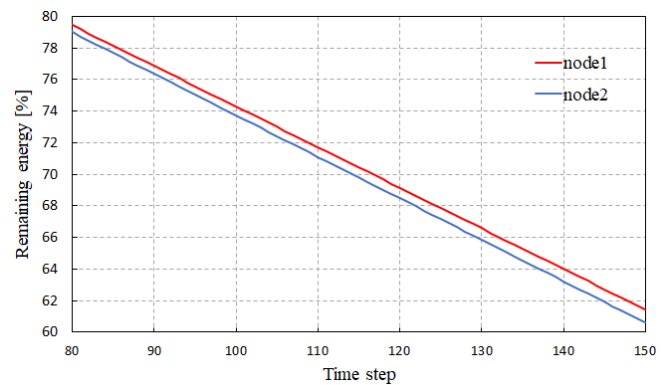
## 6. 結言

本稿では, 被災地情報収集支援システム RWSN において, 無線接続性の維持及び WSN の長時間の動作を実現させるため, 無線接続性を維持しつつ, バッテリー残量が多い MSN が優先的に移動する再配置制御手法を提案した. 本実験の結果より, 電力消費量に基づき MSN 位置を調整することで, 電力消費量を均一化し通信接続性を向上できた。

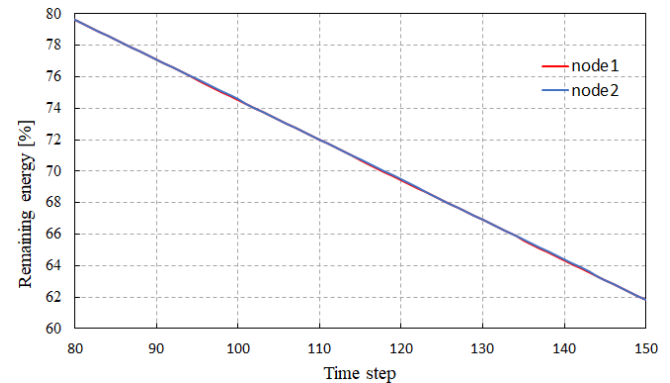
今後は, 移動制御も含めて MSN 状態の複数の評価指標に基づく位置調整手法を実装し, 長時間のシミュレーションによる評価を行う。

## 引用文献

- [1] 国土交通省, “最近の自然災害と防災・減災の取り組みについて”, 平成 27 年.
- [2] 浅間一, “災害時に活用可能なロボット技術の研究開発と運用システムの構築”, 日本ロボット学会誌,



(a) Initial placement



(b) Replacement

Fig.3 Experimental result of remaining energy of each

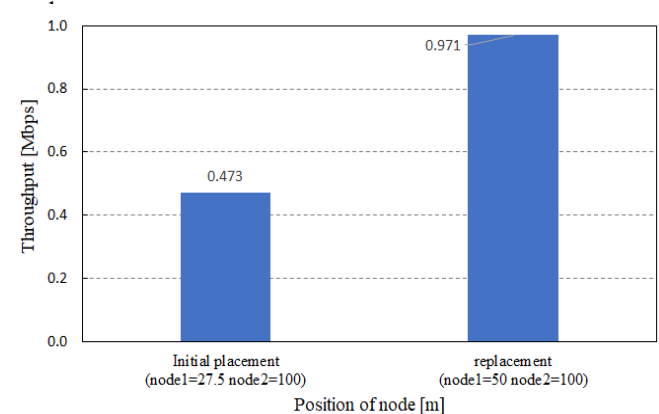


Fig.4 Experimental result of Throughput (End to End)

Vol.32, No.1, pp37~41, 2014.

- [3] M.S.Zahraie, A.Z.Farkhady, A.T.Haghighat, "Increasing Network Lifetime by Optimum Placement of Sensor in Wireless Sensor Networks", *International Conference on Computer Modelling and Simulation*, pp611-616, 2009.