

# センサアドホックネットワーク管理のための 動作推定方式の検討

寺島 美昭<sup>1</sup> 川島 佑毅<sup>1</sup> 河東 晴子<sup>1</sup> 平田 和史<sup>1</sup>

概要：近年、被災地に配置した複数のセンサが相互に地形や温度変化等の観測情報を相互補完する事により、観測精度の向上や、迅速な広域状況の把握が可能なセンサアドホックネットワーク実現の期待が高い。被災地では劣悪な電波伝搬による狭帯域性や、帯域変動がある通信となる。一方で利用目的をセンサ情報共有通信に限定しているため、他のトラフィックの影響を考慮せずに、センサ端末を意図的に配置して十分な帯域を確保する計画的な運用が可能である。本稿ではセンサ情報共有通信を実現するセンサ端末の動作状態や異常動作の検出を継続的に行うセンサアドホックネットワーク管理の課題を分析し、各センサ端末の発信トラフィックから端末動作を監視するネットワーク動作推定方式を提案する。

提案方式の実現性を確認するために、OLSR(Optimized Link State Routing) を用いたセンサアドホックネットワークを対象に適用実験を行った。ここではネットワークシミュレーションによりセンサ端末の発信トラフィックを定周期で記録し、この記録を観測するトラフィック情報に見立てて提案方式によるトラフィック解析と動作推定を試行した。この結果からセンサ端末の2秒周期と5秒周期の制御トラフィック動作を検出し、これらのタイミング比較から経路検索を行うフラットニングと、TC(Topology Control) パケットである事を推測した。また、センサ端末の発信トラフィックの時間変化の追跡と端末配置から、OLSRの特徴であるMPR(MultiPoint Relay)として動作するセンサ端末を特定した。この結果、ネットワーク動作推定方式の基本的な実現性が確認できた。

## A Study of Network Management Architecture for Sensor Ad-hoc Network

YOSHIKI TERASHIMA<sup>1</sup> YUUKI KAWASHIMA<sup>1</sup> HARUKO KAWAHIGASHI<sup>1</sup> KAZUFUMI HIRATA<sup>1</sup>

### 1. はじめに

近年、被災地に無線通信機能を搭載したセンサ(センサ端末)を配置し、相互に観測した地形や温度の変化に関する観測情報を交換する(センサ情報共有通信)、センサアドホックネットワーク実現の期待が高い。センサ情報共有通信を用いた観測情報の相互補完により、高精度の観測と、迅速な広域状況の把握を継続的に実行できる。しかし、被災地は予測できない地形や建物の倒壊がある未知の環境であるため、劣悪な電波伝搬による狭帯域性、また帯域変動が多発する通信環境となる。このため各センサ端末は、自律的に通信路を形成してセンサ情報共有を実行する。一方

で利用目的をセンサ情報共有通信に限定しているため、他のトラフィックの影響を考慮する必要がなく、センサ端末を意図的に配置して必要な帯域や通信路を確保する計画的な運用が可能である。このためセンサアドホックネットワーク運用では、最適な配置計画を立案するためのセンサ端末の動作状態の監視、故障端末を交換するための異常動作の検出などを継続的に行うネットワーク管理技術が重要となる。

本稿では被災地の状況把握を目的に配置されたセンサ端末間が継続的にセンサ情報共有通信を実現するネットワーク管理の課題を分析し、発信トラフィックを用いてセンサ端末動作を継続的に監視する、ネットワーク動作推定方式を提案する。

ネットワーク動作推定方式は、各センサ端末毎の発信ト

<sup>1</sup> 三菱電機(株) 情報技術総合研究所  
5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501, Japan

ラフィックを観測する機能 (観測端末) をネットワーク内に配置し、これらが記録するセンサ端末毎の送信情報量とタイミングの時間変化の情報から、センサ端末の動作状況を予測する方法である。ネットワーク管理のための制御トラフィックを最小限とする事により、センサ情報共有通信を行う通信帯域への悪影響を抑える事ができる。

2章では、対象とするセンサアドホックネットワークと管理の課題を述べ、3章では、ネットワーク動作推定方式を提案する。4章では、ネットワークシミュレータを用いて生成した各端末のトラフィック情報を観測情報に見立てた動作推定の実験と考察から実現性を検証する。最後に5章にてまとめを述べる。

## 2. システムと課題

図1は被災地に展開するセンサ端末が構成するセンサアドホックネットワークである。ここではセンサ端末Aとセンサ端末Bが、定周期でセンサ情報共有通信を行う動作を説明している。センサ端末は地形や建物の形状を異なる位置からレーザ等を用いて観測する事により、単独のセンサ観測よりも高い精度で位置を確認する。また、多くのセンサ端末が温度センサ等の観測結果を交換する事により、迅速に被災地全体の状況を把握できる。さらにセンサアドホックネットワーク内に存在する管理端末は、各センサ端末に対してセンサ情報共有通信を行う通信パラメータと、観測のためのセンサパラメータを遠隔で設定、変更できる。

観測者は救援活動の計画立案に必要な状況情報収集を目的に、センサ端末を含む通信設備一式を被災地に持ち込んで設置する。運用開始後は通信パラメータやセンサパラメータの調整、センサ端末の配置変更などのメンテナンスを繰り返しながら一定期間、観測を継続する。地形や建物の倒壊等による電波伝搬の環境変化やセンサ端末の配置計画の変更、故障端末の交換などがあるため、自律的に通信路を構成するアドホックネットワーク利用が適している。なお、本稿ではセンサ観測時は静止状態である事を前提とする。

このようなセンサ端末配置の変更、故障端末の交換、電波伝搬環境が変動する環境下で確実なセンサ観測を継続的に行うためには、管理端末がセンサアドホックネットワーク状況を把握して、適宜、制御するネットワーク管理が重要な役割を担う。ネットワーク管理技術は、通信帯域に余裕のある有線IP通信では広く実用化されている。例えばルータが記録する動作ログを用いて端末毎の輻輳や異常動作を検出し、さらにIP仕様に基づいて原因を詳細に解析するホワイトボックス的な管理方法(ホワイトボックス管理)が用いられている。これは図2に示す大規模なネットワークへの適用を主な目的として開発された技術であり、管理機能であるManagerが、各通信機器に配置したAgentから監視や制御のための情報を収

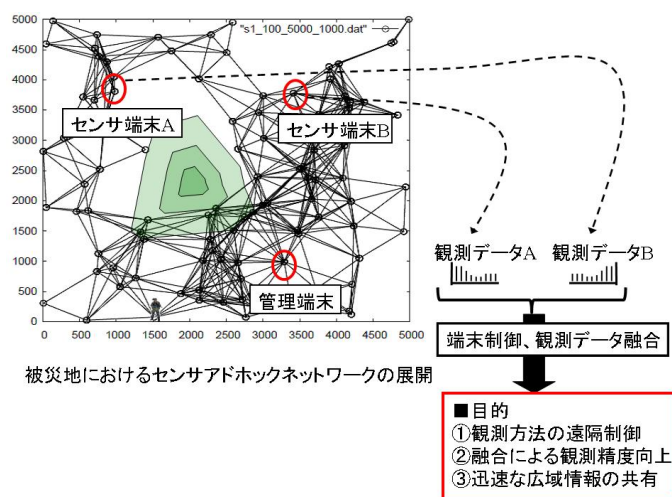


図1 センサネットワークの展開

集し設定する Manager/Agent モデルによる構成が代表的である。このため ITU-T(International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector)では、Manager と Agent 間の管理用通信の国際標準として、SNMP(Simple Network Management Protocol) を規定している。

一方、センサアドホックネットワークのような無線IP通信では、これらの管理用の制御トラフィックがセンサ情報共有通信の帯域を圧迫して、さらに通信性能の劣化や電力消費の増加による運用寿命低下の恐れが高い。このため我々は個々のセンサ端末に管理機能を組み込むのではなく、端末の発信トラフィックを外部から観測してネットワーク動作を推定する事により、管理トラフィックによる帯域圧迫を回避するブラックボックス管理を実現するネットワーク動作推定方式を検討した。この方式はIP仕様に基づく詳細な解析に踏み込まず、センサ端末の動作を外部から確認できる発信トラフィックから、センサ端末の配置や各端末の動作状態を推定により監視する方法である。本稿ではネットワーク動作推定方式を用いたブラックボックス管理の実現性を確認するため、この情報から動作推定が可能であるか予備的な実験を行った。

これまでに送信トラフィックからネットワーク動作を推定する研究には、大規模ネットワーク動作の大域的な把握を目的とする研究 [1] や、障害や DoS Attack を迅速、確実に検出する解析方法の研究 [2] がある。いずれも IP パケット・ヘッダを解析するホワイトボックス管理に属する方法であり、センサ情報共有通信の帯域圧迫の問題を解決するホワイトボックス管理に関する研究は見当たらない。

## 3. ネットワーク動作推定方式の提案

提案するネットワーク動作推定方式が実現するブラックボックス管理の概要を図3に示す。ここではセンサ端末

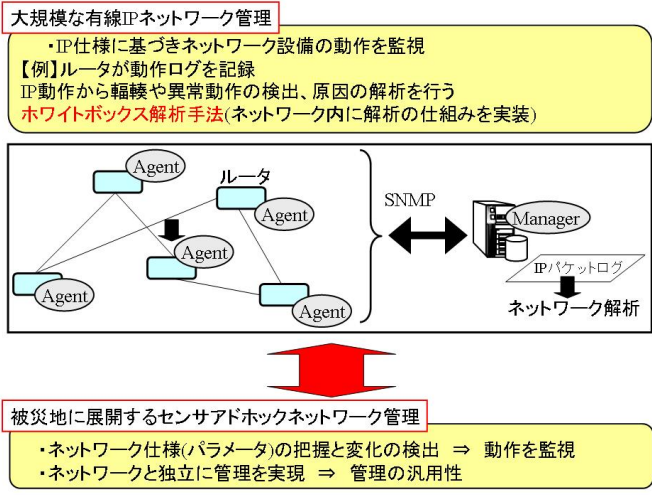


図 2 ネットワーク管理技術の比較

1~4 がセンサ情報共有通信を行っているセンサアドホックネットワークにおいて、これらの送信トラフィックの時間変化と情報量を「観測」して(共有通信トラフィック)、この情報から個々のセンサ端末のネットワーク動作を「推定」する管理動作を示している。監視端末が各センサ端末の共有通信トラフィック観測しており、この情報が持つ制御トラフィック、センサ情報共有トラフィックの情報量やタイミング等の特徴情報から、センサ端末の位置、センサ情報共有通信の送信、受信の役割、想定する展開範囲等の動作を推定してネットワーク管理を行う。

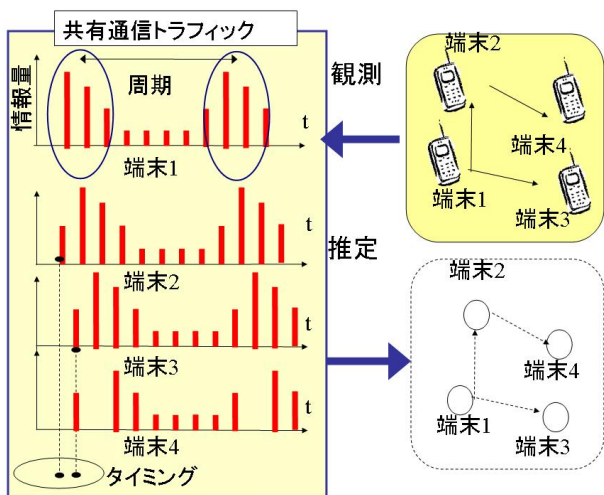


図 3 ネットワーク動作推定方式

センサアドホックネットワークは、利用目的、端末数を限定した計画的ネットワークであるため、1度確保したセンサ情報共有の帯域を保障するために、TDMA(Time Division Multiple Access)方式を採用している。例えば端末が Hello パケットを送信する場合、端末は常に Tx にて送信権を設定したスロットを用いて通信を行う仕様である。

この結果、図 4 に示すように提案方式は、ネットワーク

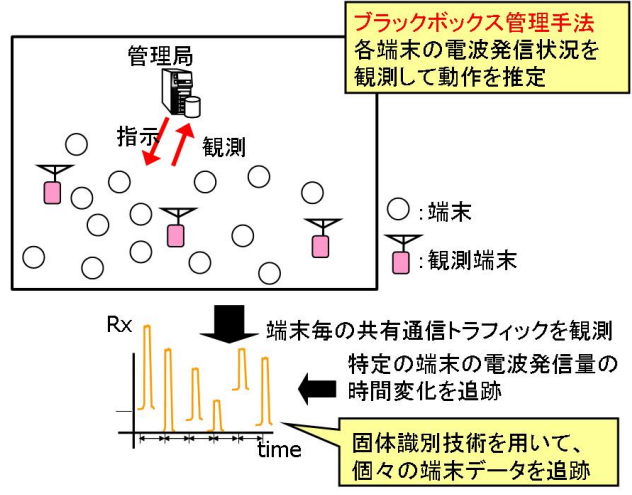


図 4 ブラックボックス管理方式

に配置された観測端末が共有通信トラフィックを観測して、管理局に送信して各センサ端末の動作を推定する構成にて実現する。ここで抽出する共有通信トラフィックが持つ特徴情報は以下である。

- 特徴情報 1 制御トラフィックの周期、情報量
- 特徴情報 2 端末毎の制御トラフィックの時間差
- 特徴情報 3 センサ情報共有通信の周期、情報量

特徴情報 1 の周期からはセンサ端末の隣接端末の検索状況が確認でき、また、情報量からはネットワークを構成するトポロジーの規模に関する設定と動作が解析できる。特徴情報 2 の時間差を追跡する事により、パケットが Relay する関係などルーティングに関する動作が推定できる。また特徴情報 3 からは、センサ情報共有通信仕様に関する情報を取得できる。提案方式は、これらセンサ端末の発信トラフィックの特徴情報解析から動作を推定するために、送信情報量から制御用とアプリケーション用のトラフィックを分離するフィルタ解析と、制御トラフィックについて周期を検出する自己相関解析から構成している。

トラフィック解析では、監視端末が特定センサ端末の共有通信トラフィックを連続的に追跡する必要がある。このため近年、研究が進められている発信電波から送信端末を一意に識別する個体識別技術 (SEI: Specification Emitter Identification)[3] を利用する。固体識別技術は研究段階の技術であるが、図 5 に示すように発信電波の微細な周波数成分の違いから、例えば同じ通信方式、同じ回路から構成されている端末であっても、端末個々の違いを解析して一意に違いを識別する。この技術を用いる事により一定時間観測した電波の発信元を追跡できるため、連続的に電波の発信状況の取得が可能となる。動作推定機能は、蓄積した各端末毎の共有通信トラフィック情報から、例えば隣接端末の検索中、通信中などの状況や、センサ情報共有の

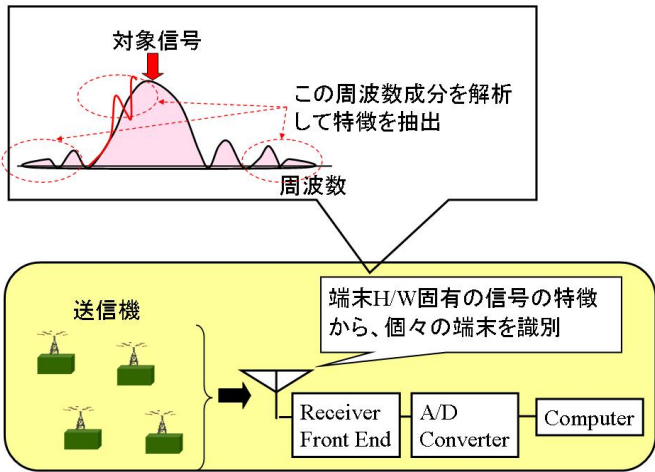


図 5 固体識別技術 (SEI: Specification Emitter Identification)

送信端末、受信端末であるか、またネットワーク規模などを推定する。

#### 4. 実験

##### 4.1 方法

図 6 に示すセンサアドホックネットワーク構成を用いてネットワーク動作推定方式の実現性を確認する実験を行った。ここではネットワークシミュレータ QualNet[4]を用いてセンサ端末毎の発信情報量を定周期で記録し、この情報をセンサ端末毎の共有通信トラフィックに見立てて提案方式を適用した。センサアドホックネットワークは 14 端末から構成しており、表 1 に示すように、送信センサ端末 1 が、センサ端末 6, 9, 12 の 3 つの端末に、送信情報量 400byte、1 秒周期で行う 4 つのセンサ情報共有通信 (通信 1~4) を時間差で実行している。

QualNet では特定タイミングのスロットの情報を一定周期観測した情報を連続的に蓄積して共有通信トラフィックとして用いた。表 2 はセンサ情報共有通信仕様である。アドホックネットワーク仕様は、MANET(Mobile Ad-hoc Network) にて規定される OLSR(Optimized Link State Routing) を用いている。TDMA は 200[slot/frame] から構成して各端末に 1 スロット 5[msec] を割り当てるスロットスケジューリングである。この結果、生成した各センサ端末の共有通信トラフィックを図 7 に示す。

表 1 TDMA スロットスケジューリング

通信	送信	受信	送信量 [byte]	周期 [sec]	開始 [sec]	終了 [sec]
通信 1	1	6	400	1	5	10
通信 2	1	6	400	1	60	65
通信 3	1	9	400	1	120	125
通信 4	1	12	400	1	180	185

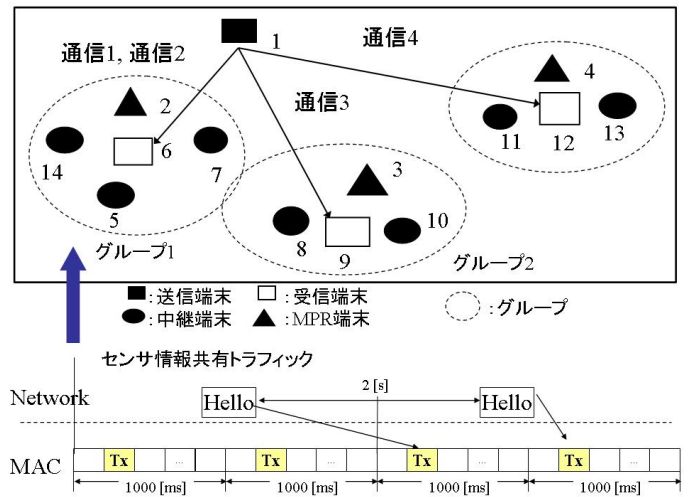


図 6 センサネットワーク実験モデル

表 2 センサ情報共有仕様

仕様	値	備考
ルーティング	OLSRv2	Hello:2[sec], TC:5[sec] に設定
プロトコル	TDMA	
スロット長	5[msec]	データ 4, ガード 0.5 x2
スロット割当	200[slot/frame]	200x5 =1000[ms/frame]. 1[slot/端末]

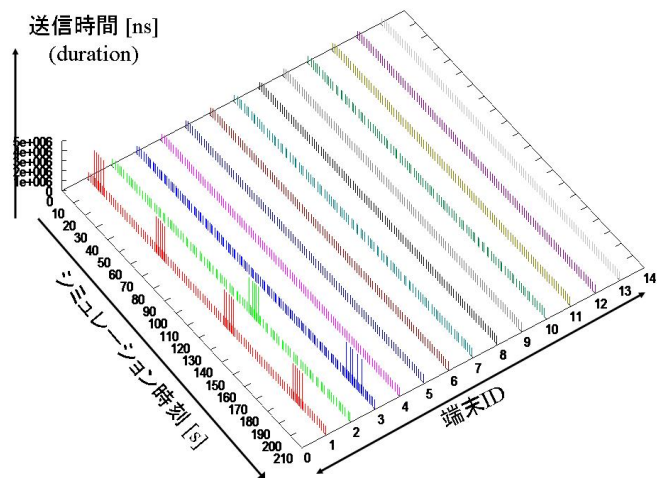


図 7 端末トラフィック観測情報 (想定)

Fig. 7 NC Communication Message Format

##### 4.2 トラフィック解析

図 7 に示す 14 端末の中から、センサ端末 1 とセンサ端末 2 の共有通信トラフィックを図 8(a) に示す。これらの共有通信トラフィックに対して、(b) に示すフィルタ解析、(c) に示す自己相関解析を行う手順で推定を実施した。観測される (a) 共有通信トラフィックは、制御とセンサ共有通信のトラフィックが混在しているため、(b) では双方の情報量の違いに注目して 80% 閾値のフィルタ解析を行って送信情報量が大きなセンサ情報共有トラフィックを除去し、制

御トラフィックのみを週出している。この結果に対して (c) では自己相関解析にて制御信号の周期を検出し、センサ端末 1 からは 2[sec] 周期の制御パケット、またセンサ端末 2 からは 2[sec] 周期と 5[sec] 周期の制御パケットの動作を検出した。

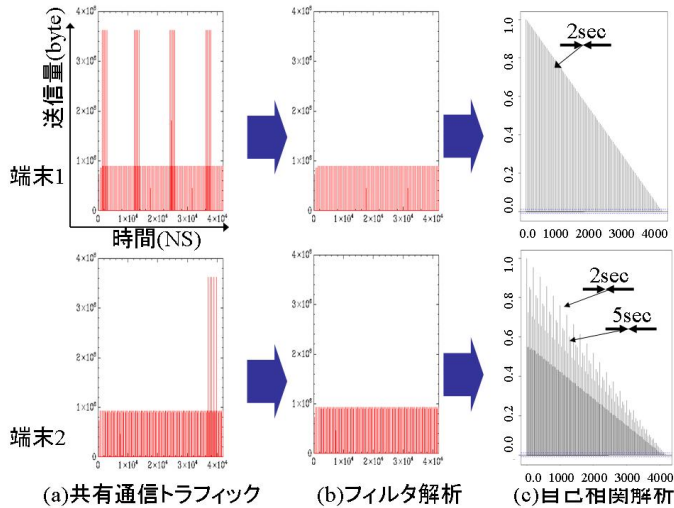


図 8 トラフィック解析手順

#### 4.3 動作推定

トラフィック解析により得られた周期情報に対して、センサ端末 1 とセンサ端末 2 の双方に共通に 2 秒周期が検出されていることから、全てのセンサ端末がプロアクティブに実行する経路検索を行うフラッティングと推定できる。また、センサ端末 2 のみに 5sec 周期の制御トラフィックが検出されていることから、この動作は TC(Topology Control) と推測される。このためセンサ端末 2 は、OLSR の特徴的な動作である MPR(Multipoint Relay) の役割を果たす端末であると推定できる。

次にセンサ端末配置と MPR センサ端末の関係を解析した。図 9 は、図 6 にて説明したセンサアドホックネットワークのグループ 1 とグループ 2 について、それぞれの自己相関分析の結果を端末配置のまま並べたものである。MPR センサ端末の動作を確認するために、端末をランダム配置ではなくルーティングが追跡しやすい  $3 \times 4$  の格子状に配置したトポロジモデルを用いて解析しやすくしている。このモデルにおいて送信端末から受信端末へセンサ情報共有通信を行った実験結果を図 9 と図 10 に示す。双方とも同じ格子型モデルであるが、図 9 の実験結果に対して図 10 は低出力で送信している。電波電波距離を下げて設定可能なリンク距離を小さくする事により、リンク構成が異なる設定となる。図 9 では端末 1, 2, 7, 9 の共通通信トラフィックが、周期 2[sec] と 5[sec] の制御トラフィックを示しており、これらの端末を MPR 動作と推定できる。これに対して図 10 では、端末 2, 6 が同様の結果を示してお

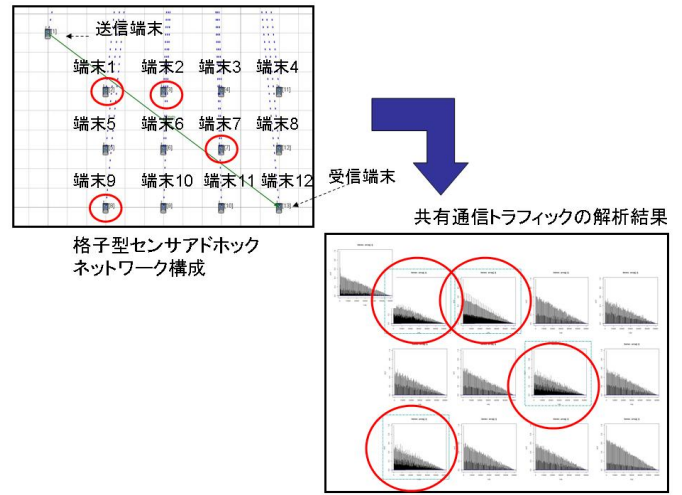


図 9 格子型ネットワーク

Fig. 9 NC Communication Message Format

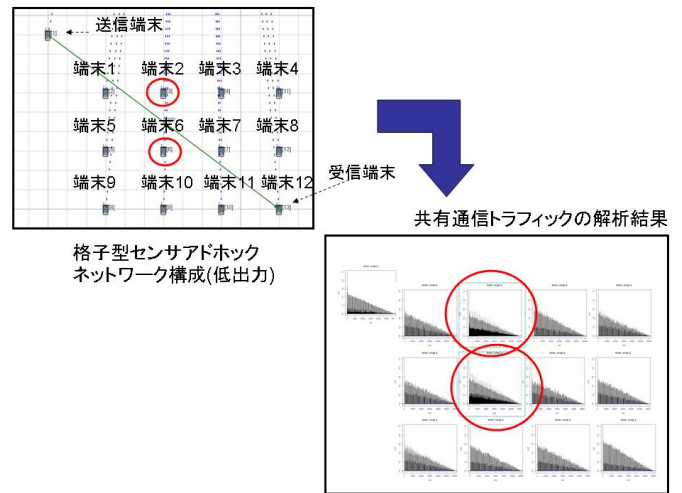


図 10 格子型ネットワーク (低出力)

り、これらを MPR 動作と推定できる。

#### 4.4 考察

実験からネットワーク動作推定方式の基本的な動作を確認した。しかし、複雑なセンサ端末配置構成や、制御とセンサ情報共有通信の送信量の違いの少ない小規模なセンサネットワークでは、フィルタ解析による双方のトラフィックの分離が難しい場合がある。

また今回の実験は共有通信トラフィックとして実測した情報ではなく、QualNet が計算した結果を用いているが、現実に観測する共有通信トラフィックは大幅な劣化がある。このため観測端末とセンサ端末の距離により品質も異なるため、自己相関解析による周期検出にも限界が考えられる。

## 5. おわりに

センサアドホックネットワークのブラックボックス管理の実現を目的に、各センサ端末の送信量の時間変化を追跡して動作を監視するネットワーク動作推定方式を提案し、ネットワークシミュレーションを用いた実験により基本的な実現性を確認した。

今後は推定精度向上のための解析アルゴリズムを開発するとともに、さらに複雑なセンサ端末配置やセンサ情報共有通信のタイプへの対応、また実際の運用を想定した観測トラフィック情報劣化の考慮など、実現に向けた推定方式の検討を推進する予定である。

### 参考文献

- [1] 田上敦士, 他, “コピキタスネットワークにおける大規模計測システムアーキテクチャ”, 電子情報通信学会論文誌, B Vol.J89-B No.10 pp.1885-1893, 2006
- [2] 石黒正揮, 他, “インターネット上の脅威分析を支援する空間および時間的な特徴量に基づく分析手法”, 情報処理学会論文誌, Vol. 48 No.9, 2007
- [3] Kyouwoong Kim, “Specific Emitter Identification for Cognitive Radio with Application to IEEE 802.11”, IEEE GLOBECOM 2008 Proceeding
- [4] <http://web.scalable-networks.com/content/qualnet>