

建造物内に構築されたセンサネットワークにおける 同期型センサ情報収集機構の設計および実装と評価

榎原俊太郎[†] 若宮 直紀[†] 村田 正幸[†]

[†] 大阪大学 大学院情報科学研究科 〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

E-mail: †{s-kasihira, wakamiya, murata}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし オフィスビルやマンションなどの建造物内において無線センサネットワークによる職住環境の管理制御などを行うためには、不安定な無線通信環境下で安定してセンサ情報を収集するためのセンサ情報収集機構が必要不可欠である。そこで、本稿では定期的に全てのセンサ端末からセンサ情報を収集するアプリケーションを対象に、電力効率がよく、通信環境変化に適応することのできる同期型センサ情報収集機構を提案している。提案システムは、有線接続で電力供給のある複数の親機と無線接続で電池で駆動する多数の子機からなり、子機から親機へ無線通信により定期的にセンサ情報を収集し、さらに親機からモニタ、制御用のホスト PC へ収集したセンサ情報を有線通信により転送する。子機は、過去の無線通信の成功頻度や受信電波強度から、より安定して通信可能な親機または子機を選択し、親機までの通信経路を確立する。また、単方向リンクの検出、回避やセンサ情報の発信タイミング制御を行うことにより、センサ情報収集の信頼性の向上を図る。実験による評価の結果、提案機構により、無線通信状態の不安定な建造物内において 70%以上のセンサからセンサ情報を定期的に収集可能であることを示した。

キーワード センサネットワーク, 情報収集, 同期

Design, implementation, and evaluation of a synchronization-based data gathering scheme for sensor networks in buildings

Shuntaro KASHIHARA[†], Naoki WAKAMIYA[†], and Masayuki MURATA[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

E-mail: †{s-kasihira, wakamiya, murata}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a data gathering scheme for a wireless sensor network constructed in a building. Due to shadowing and fading, radio communications in a building become unstable and unreliable. Our system consists of parent nodes, which have power supply and a wired connection to a monitoring PC, and child nodes, which operate on a battery and have the capability of radio communications. In our scheme, a sensor node chooses the next-hop node among a parent node, which collects sensor information from sensor nodes in its vicinity, and child nodes which provide a path to a parent node, in accordance with the stability of radio communications. We confirmed that stable data gathering with more than 70% gathering rate can be accomplished in a sensor network in the unstable environments.

Key words Sensor networks, Data gathering, Synchronization

1. はじめに

無線通信能力を備えた無線センサ端末の小型化、低価格化および標準化の進展により [1], 数百, 数千のセンサ端末を用いてネットワークを構成し、環境や物体などの状態に関する情報を収集するセンサネットワーク技術が多くの研究者、開発者の注

目を集めている。

数百, 数千のセンサ端末からなるセンサネットワークによる長期間の観測, 監視のためには, 自律分散型で電力効率のよいセンサ情報収集機構が必要である。周期的なセンサ情報収集においては, マルチホップ通信により送信電力を抑えた上で, センサ端末が同期したタイミングでセンサ情報を送受信できれば,

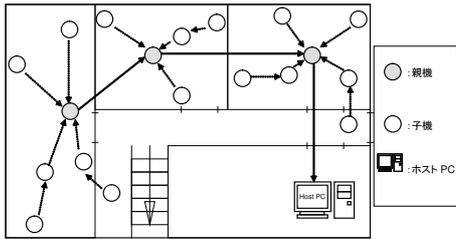


図 1 提案システムの構成

必要時以外は無線送受信機への電力供給を停止することができ、長期にわたってセンサネットワークを運用することができる [2]。しかしながら、現実的な環境においては、人や構造物、無線 LAN などの影響により、通信状態が不安定になり、安定したセンサ情報の収集が行えなくなる可能性がある。また、同じ送信電力で無線信号を発信したとしても、センサ端末の個体差や設置された環境の影響により、単方向リンクが発生し、同期の確立、維持が困難になる。そこで、本稿では、壁や天井による電波の反射や減衰の影響が大きい屋内において、安定したセンサ情報の収集を実現するための機構を提案する。

提案機構では、建造物内ではセンサ端末の設置場所によって壁面コンセントなどが利用可能なことを考慮し、センサネットワークは、電力供給があり有線通信可能な複数の親機と、小型で無線通信能力を有する電池駆動の多数の子機、およびセンサ情報の収集、管理、監視のためのホスト PC からなるものとする (図 1)。子機は、無線通信の安定度などに応じて、親機へのシングルホップ通信、または他の子機を介したマルチホップ通信によってセンサ情報を親機に伝える。スリープ制御による省電力化のため、同じ親機または子機をセンサ情報の送信先とする子機は送信先端末よりも少し早くセンサ情報を発信するが、無線通信の衝突や MAC 層での衝突回避による情報の欠落、通信遅延を抑制するため、電波強度にもとづいてセンサ情報発信のタイミングを分散させる。本稿では、提案手法の有効性、実用性を検証するため、実システムを構築し、実証実験を行った。

以降、2 章において、建造物内のセンサネットワークのための同期型センサ情報収集機構を提案し、3 章で実装システムの詳細を述べるとともに実装システムにおける実験結果にもとづく提案手法の有効性、実用性について論じ、4 章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 建造物内のセンサネットワークのための同期型センサ情報収集機構

2.1 概要

提案システム構成を図 1 に示す。提案機構では、親機はセンサ情報収集周期にあわせてビーコン信号を、それぞれの子機は自身の保持するタイマの位相に従って一定周期でセンサ情報を発信する。子機はセンサ情報発信の少し前に受信機の電源を入れ、受信したセンサ情報を自身のセンサによって取得したセンサ情報とあわせて送信するため、親機により近い子機とタイマを同期させ、少しだけ早くセンサ情報を発信することができればスリープ制御による省電力化を図ることができる。また、親

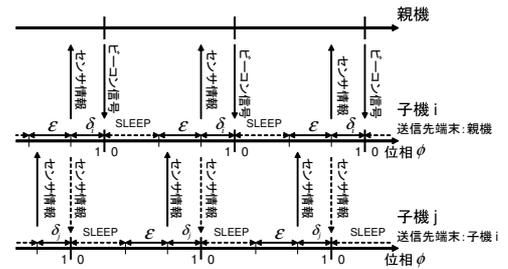


図 2 センサ情報発信タイミングの例

機に近いセンサ端末はビーコン信号の少し前にセンサ情報を発信するようタイマを調整する。その結果、親機により遠いセンサ端末から順に、子機間マルチホップ通信または親機へのシングルホップ通信によりセンサ情報が親機に収集される。なお、子機の送出するセンサ情報には送信先端末の情報が含まれており、無線通信範囲に位置するが送信先でないセンサ端末はこれを棄却し、転送しない。ただし、親機は電力供給があり、スリープの必要がないため、子機や他の親機を送信先とするセンサ情報も受信し、ホスト PC に転送する。

このようなセンサ情報送受信のタイミングが同期したセンサ情報収集を実現するため、子機は、無線通信の安定度などにもとづいてセンサ情報の送信先端末を適切に決定し、タイマ位相を調整しなければならない。センサネットワークに導入された子機は、一台、あるいは複数の親機のビーコン信号を受信すると、5 周期の観測にもとづいて親機との無線通信の安定度と受信電波強度から判断したコストを 2.2 節で述べる方法により算出し、記録する。

親機との通信が安定しておりコストが低ければ、親機を送信先端末とするシングルホップ通信を行うよう、ビーコンの送信周期、タイミングにあわせてタイマ位相を調整する。複数の親機からビーコン信号を受信した場合には、最もコストの低い親機を選択する。なお、ここでは簡単のため、位相が 0 から 1 に周期的に推移するタイマを想定し、タイマ位相が 1 になったときにビーコン信号を受信するように調整するものとする。一方、無線通信が十分に安定した親機が見つからなかった場合、または、親機への通信が親機から子機への単方向であった場合、子機は周囲の子機を介したマルチホップ通信を行うため、周囲の子機の発信する信号を 5 周期の間観測する。すでにセンサ情報の送信先の決定した子機からの信号を受信すると、その子機を介した親機への通信のコストを算出する。周囲の子機のうち、最もコストの低いものを送信先端末として選択し、送信先の子機がセンサ情報を発信するタイミングに合わせてタイマ位相を調整し、親機までの通信経路を確立する。

送信先端末の決定した子機は、タイマ位相が 1 になるより ϵ だけ早く受信機電源を入れ、親機からより遠い子機からのセンサ情報を受信する (図 2)。ここで、 ϵ は後述する子機間でのオフセット調整における最大分散幅である。次に、子機はタイマ位相が 1 になるよりオフセット δ だけ早くセンサ情報を発信する。この時、送信先端末の識別子、自身から親機までのコスト、およびビーコン信号を受信可能な親機の識別子もあわせて送信

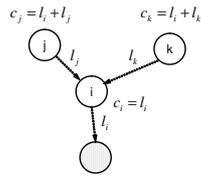


図 3 コストの計算例

する．同じ子機または親機を送信先端末として選択した子機間でセンサ情報の発信タイミングを分散させ、無線通信の衝突を抑えるため、2.3 節で述べる方法により受信電波強度にもとづいてオフセット δ にばらつきをもたせる．

センサ情報送信後も位相が 1 になるまで受信機電源を入れ続け、センサ情報送信先のセンサ端末の発信するセンサ情報を受信する．受信したセンサ情報に自身の送信したセンサ情報が含まれていない場合には、送信先端末から自身への単方向リンクが形成されている．自身の発信したセンサ情報が衝突によって失われている可能性があるため、子機は、連続 5 周期にわたって受信したセンサ情報に自身のセンサ情報が含まれていない場合、単方向リンクであると判断する．センサ端末の移動や故障、通信状態の変化による通信品質の劣化などにより送信先端末からの信号を 5 周期にわたって受信できない場合、また、コストが高くなった場合、あるいは、単方向リンクが形成されている場合など、親機までの経路の再構築が必要になると、子機は、状態を初期化し、再度周囲のセンサ端末との通信状態の観測を行い、コストを計算する．最もコストの低いセンサ端末をセンサ情報の新たな送信先端末として選択し、タイマ位相を調整する．

送信先端末の発信する信号を連続 5 周期受信できた場合には、同期が確立したものととしてスリープ制御を行い、センサ情報の送受信期間を除いて送受信機の電源を切ることで電力消費を抑える．例えば、20 秒に 1 回のセンサ情報収集を行う場合、 ϵ を 0.3 とすると、少なくとも 40% の時間がスリープ可能である．

2.2 コストの計算手法

子機は、親機までの通信の安定度、効率を測るため、受信電波強度と受信頻度からコストを算出する．提案手法では、周期的に安定したセンサ情報収集を行うため、受信電波強度が高いが受信頻度の低い経路の子機よりも、受信電波強度が低くとも安定して信号が受信可能な子機のコストが低くなるよう設定する．また、親機までのコストはセンサ端末間の 1 ホップごとのリンクコストを加算して算出する．例えば、図 3 において、子機 i と親機との間のリンクコストを l_i 、子機 j と子機 i の間のリンクコストを l_j 、子機 k と子機 i の間のリンクコストを l_k とすると、子機 i を介した通信のコスト c_i は l_i 、子機 j を介する場合のコストは $c_j = l_i + l_j$ 、子機 k を介する場合には $c_k = l_i + l_k$ となる．その結果、親機までのホップ数の大きい子機のコストが高くなるため、子機はよりホップ数が少なく、より通信の安定した子機をセンサ情報の送信先として選択するようになる．

低速通信向け MAC 層プロトコル IEEE 802.15.4 を用いて

数十台の子機からなる最大 4 ホップ程度のセンサネットワークを構築することを想定し、コストが 8 bit で表現できるよう計算式を定義する．子機 p を介した通信のコスト $C(S, R, C_p)$ は次式で与えられる．

$$C(S, R, C_p) = \text{Round}\left(\left(S + \left(1 - \frac{R - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}}\right)\right) \times 10\right) + C_p(1)$$

S は過去 5 周期のうちセンサ情報送信先からの信号を受信できなかった回数であり、リンクの安定度を表す． R_i は子機 i の受信した信号の受信電波強度、 R_{\max} 、 R_{\min} は予備実験から得られたハードウェアに依存した受信電波強度の測定範囲の上下限値をそれぞれ表す． C_p は子機 p のコストである．センサ情報の送信先の決定していない子機のコストは初期値 255 である．親機への直接通信のコストは $C_p = 0$ として式 (1) によって与え、コストが 20 未満である場合に子機は親機を送信先端末として選択する．安定度による成分を 10 の位、受信電波強度による成分を 1 の位とすることで、安定度が同程度のセンサ端末では、より受信電波強度の強いものの方がコストが小さくなる．

2.3 子機間の送信タイミングの分散

同一のセンサ端末を受信先として選択した子機間の無線通信の衝突による情報の欠落や衝突回避のための遅延を抑えるため、受信電波強度にもとづき、子機ごとにオフセット δ を変化させる．子機 i のオフセット δ_i は次式で与える．

$$\delta_i \leftarrow \frac{\epsilon}{R_{\max} - R_{\min}} \times (R_{\max} - R_i) \quad (2)$$

ϵ は送信タイミングの分散の範囲であり、 $0 < \delta_i < \epsilon$ である．受信電波強度が最大の子機はセンサ情報の送信先端末の直前に、受信電波強度の弱い子機はより早くセンサ情報を発信する．

2.4 親機間の送信タイミングの分散

親機の発信するビーコン信号の到達範囲が他の親機と重なる場合、同一の親機を送信先端末として選択した子機間でオフセットを分散させたとしても、異なる親機にセンサ情報を送信する子機間での衝突が発生する可能性がある．そこで親機間でビーコン信号の発信タイミングを ϵ だけずらす．

しかしながら、 N 台の親機からなるセンサネットワークにおいて、すべての親機間でビーコン信号を発信するタイミングを ϵ ずらした場合、すべての親機からセンサ情報を収集するためには ϵN の時間がかかる．また、 ϵN が 1 を超えると、センサ情報を収集し終わらないうちに新たなセンサ情報収集が開始されてしまう．ビーコン信号の到達範囲が重ならない親機間ではビーコン信号を発信するタイミングを調整する必要がないため、ビーコン信号の到達範囲があまり重ならないように親機を配置するとともに、無線通信範囲の重なる親機のビーコン信号の発信タイミングを制御することにより、効率的なセンサ情報収集を行う．

子機はセンサ情報とあわせてビーコン信号を受信可能な親機の情報を送信する．ホスト PC は、収集した親機に関する情報からビーコン信号の重なりを検出し、重なりを検出された親機間でビーコン信号がずつつれて発信されるよう、タイミングを親機に指示する．その結果、親機の数 N 、ビーコン信号の

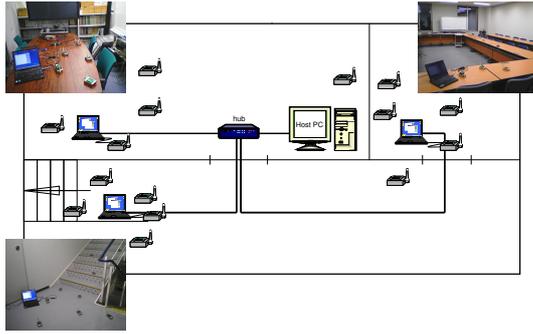


図 4 実験環境

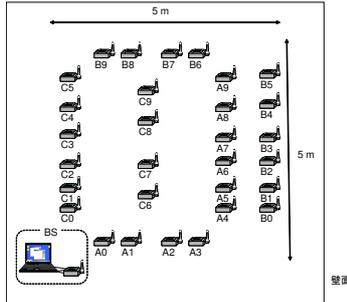


図 5 センサ端末の配置 (基本動作検証)

到達範囲の重なる親機の数 $N_o < N$ とすると、すべてのセンサ情報を収集するために必要な時間は ϵN_o となり、全ての親機間でタイミングをずらす場合と比較して $\frac{N_o}{N}$ 倍になる。

3. 実装と評価

提案機構の有効性、実用性を検証するため、実験システムを屋内環境 (図 4) に構築して実験を行った。実験システムは、一台の Host PC、センサ端末と制御用コンピュータからなる親機、および、センサ端末からなる子機によって構成した。センサ端末には沖電気工業製コピキタデバイス [7] を用いた。MAC 層プロトコルとして IEEE 802.15.4 (2.4GHz, non-beacon mode) を用いた。なお、再送は行わない。また、送信電力制御により、無線通信範囲を約 5m に抑えた。親機のセンサ端末は制御用コンピュータと RS-232C によって接続されており、ビーコン信号の発信タイミングの制御、子機から受信したセンサ情報の伝達を行う。制御用コンピュータはセンサ端末から受信したセンサ情報をイーサネットによる有線通信によって Host PC に転送する。Host PC は親機に対してビーコン信号を発信するタイミングを指示し、親機から受信したセンサ情報を記録する。

以降では、同期や子機間マルチホップなどの基本動作、子機の追加や削除への適応、通信環境が変化した場合の経路切り替え、ビーコン信号の到達範囲の重なる親機間のタイミング制御について動作検証を行った結果を示す。なお、ビーコン信号の発信間隔、すなわちセンサ情報の収集間隔は 20 秒、送信タイミングの分散の範囲 ϵ は 0.3 とした。

3.1 基本動作の検証

図 5 に示すように、1 台の親機と 30 台の子機を障害物の少ない会議室内の 5 m 四方の領域に床から約 80 cm の高さに配

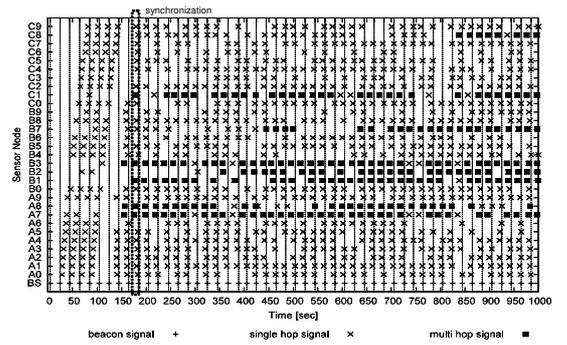


図 6 センサ情報発信タイミング (基本動作検証)

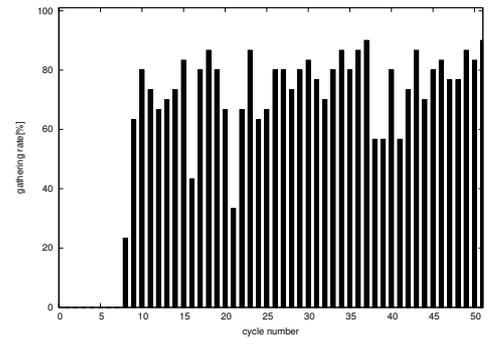


図 7 周期ごとのセンサ情報収集率 (基本動作検証)

置し、実験を行った結果を図 6 と図 7 に示す。図 6 中の点は親機、子機のセンサ情報の送信タイミングを表しており、BS は親機を、A0 から C9 は子機を表している。“x”は親機がシングルホップで直接子機からセンサ情報を受信したことを、“ ”はマルチホップで受信したことをそれぞれ表す。なお、親機へのマルチホップの経路を構築した子機の発信したセンサ情報を、通信環境の影響により親機がたまたま直接受信した場合も、シングルホップとして記しているが、経路が切り替えられたわけではない。

センサネットワークの導入初期段階では子機はそれぞれ自身のタイマ位相にもとづくタイミングでセンサ情報を送信しており、また子機 A8 など親機に直接電波の到達しないものも存在する。本実験においては、時刻 180 秒において、全ての子機が送信先端末を決定、タイマ同期を行い、適切なタイミングで親機に直接、または他の子機を介してセンサ情報を親機に送信している。ただし、無線通信環境は常に変化しているため、子機 C8 のように、親機からのビーコン信号を受信できなくなったため、状態を初期化し、新たにマルチホップの経路を確立するものも存在する。

図 7 に、親機がセンサ情報を受信できた子機の割合の推移を示す。ただし、ここでは、送信先端末の決定した子機からの受信のみを対象としている。センサ情報の収集間隔は 20 秒であるので、時刻 180 秒は 9 周期目に相当する。センサネットワークの導入初期には経路が確立されていないため、センサ情報の収集率は 0% であるが、時間の経過とともに、センサ情報の送信先センサ端末が決定し、同期が達成されるようになり、センサ情報収集率が向上している。図より、提案手法を用いること

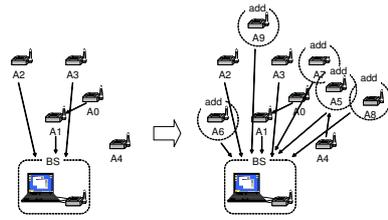


図 8 センサ端末の配置 (子機追加)

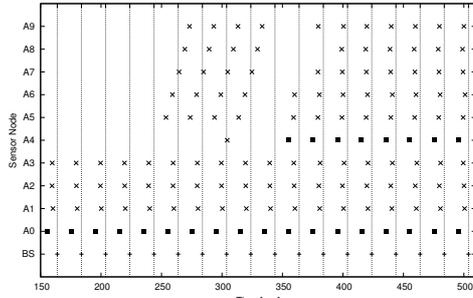


図 9 センサ情報発信タイミング (子機追加)

により、 1.2 台/m^2 の密度のセンサ配置において平均 77.7% のセンサ情報収集率が達成できることがわかる。図には示さないが、子機間のタイミング制御を行わない場合の平均センサ情報収集率は 42.4% であった。なお、図 7 において一時的な収集率の低下がみとめられるが、これは無線通信の衝突によりマルチホップで収集されていた情報が消失したためである。

3.2 子機の追加と削除

センサ端末の追加に対する提案機構の適応性について評価するため、障害物の多い居室において図 8 に示す配置で実験を行った。センサ端末は床から 0 cm ~ 100 cm の高さに設置した。図中、矢印はセンサネットワーク全体の同期確立後のセンサ情報の伝達経路を表す。実験におけるセンサ情報収集の様子を図 9 に示す。実験では、まず、子機 A0 から子機 A4 までを配置し、同期を確立させ、センサ情報の収集を行った。この時、子機 A4 は通信環境の影響によって、親機や他の子機に接続できず、センサネットワークから孤立していた。次に時刻 250 秒に子機 A5 から子機 A9 までを追加した。追加した子機は周囲のセンサ端末の発信する信号を観測した後、親機までの経路を確立し、時刻 400 秒あたりより、適切なタイミングでセンサ情報の送信を開始している。また、孤立していた子機 A4 は新たに追加された子機 A5 を経由することにより、親機までセンサ情報を送信することが可能となった。その結果、時刻 400 秒より適切にセンサ情報が収集されるようになった。

次に、図 10 に示す構成で子機を削除する実験を行った。実験結果を図 11 に示す。センサネットワーク全体の同期が確立され、センサ情報が適切に収集されるようになった後、時刻 230 秒に子機 A0 を取り除いた。子機 A0 は、子機 A5、子機 A6、さらに子機 A9 のセンサ情報を中継していたため、子機 A5 および子機 A6 は 5 回連続して子機 A0 の信号を受信できなくなったことから子機 A0 の消失を検出し、状態を初期化し、新

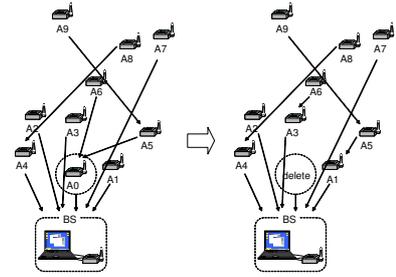


図 10 センサ端末の配置 (子機削除)

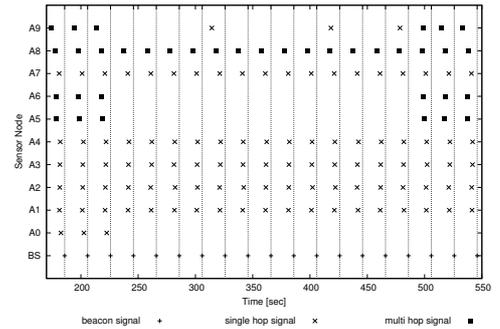


図 11 センサ情報発信タイミング (子機削除)

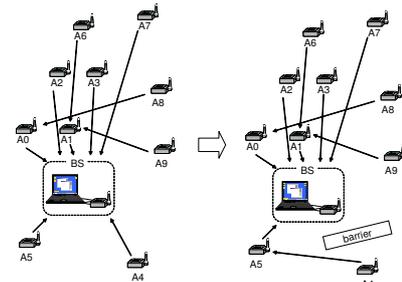


図 12 センサ端末の配置 (通信環境変化)

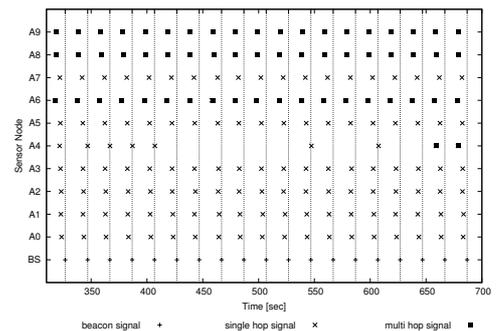


図 13 センサ情報発信タイミング (通信環境変化)

たな経路を探索した。また、子機 A9 は初期化により子機 A5 のコストが 255 になったため、状態を初期化し、新たな経路を探索した。その後、時刻 500 秒付近において、子機 A9 は再び子機 A5 を、子機 A5 は子機 A1 を、子機 A6 は子機 A3 を送信先端末として選択した。その結果、センサネットワーク全体の同期が再度確立され、適切にセンサ情報が収集されるようになった。

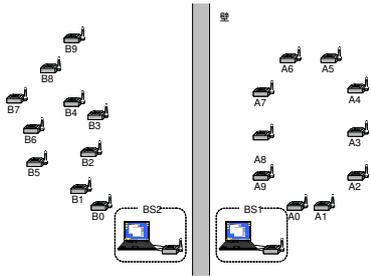


図 14 センサ端末の配置 (ビーコン信号到達範囲の重なり)

3.3 通信環境の変化

通信環境の変化に対する提案機構の適応性を検証するため、図 12 に示すように、同期の確立後に子機 A4 と親機の間には障害物を設置した。実験の結果を図 13 に示す。時刻 420 秒に障害物が設置されると、子機 A4 は親機のビーコン信号を受信できなくなるため、子機の削除の場合と同様に、通信断の検出の後、状態を初期化し、新たな経路を探索する。時刻 670 秒付近で子機 A4 は子機 A5 を経由してセンサ情報を送信することを決定し、同期が確立された。

3.4 親機間のビーコン信号到達範囲の重なり

壁をはさんで親機間でビーコン信号の到達範囲が重なるよう、図 14 に示すようにセンサ端末を配置した。親機 BS1 のセンサ情報受信の様子を図 15 に、親機 BS2 について図 16 に示す。両方の親機のビーコン信号を受信可能な子機も多数存在するが、子機 A0 から子機 A9 の大部分のセンサ情報は親機 BS1 に、子機 B0 から子機 B9 の大部分のセンサ情報は親機 BS2 に送信されている。親機 BS2 のビーコン信号は親機 BS1 のビーコン信号より 6 秒 (周期 $\times \epsilon = 20 \times 0.3$) だけ早く送信するようにホスト PC によって調整されている。その結果、図 15、図 16 に示されるように、親機間で子機のセンサ情報発信のタイミングが分散され、異なる親機間で子機の発する信号の衝突が回避されている。また、一方の親機が収集に失敗したセンサ情報が他方の親機によって収集されるため、平均センサ情報収集率は 91.5% と高い。

4. おわりに

本稿では、建造物内に構築されたセンサネットワークにおける周期的なセンサ情報収集のための機構を提案した。実システムを用いた実験により、ホスト PC、親機、子機からなるセンサネットワークにおいて、子機の追加、削除や障害物による通信環境の変化などが発生する環境において、良好にセンサ情報が収集可能であることを示した。また、親機を複数配置し、さらに親機間でビーコン信号の送信タイミングを分散させることで、センサ情報収集率を 91.5% まで向上できることを示した。

なお、今後は本稿では基本性能評価のため導入しなかった再送制御について、検討、評価を行う。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム (研究拠点形成費補助金) および文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A)(2)16200003 「メタ情報環境を実現するネットワーキン

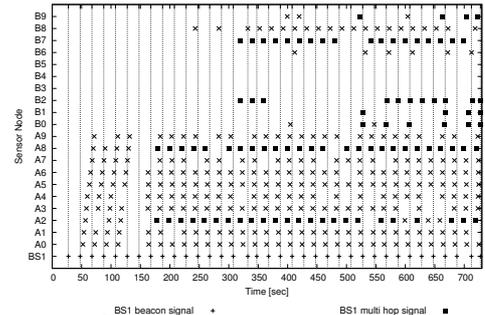


図 15 センサ情報発信タイミング (ビーコン信号到達範囲の重なり, 親機 BS1)

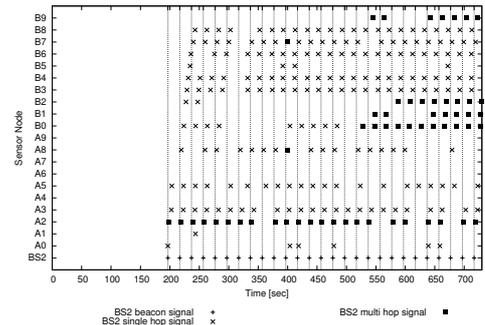


図 16 センサ情報発信タイミング (ビーコン信号到達範囲の重なり, 親機 BS2)

グ技術の確立」によっている。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: A survey," *Computer Networks (Elsevier) journal*, vol.38, pp.393-422, March 2002.
- [2] N. Wakamiya and M. Murata, "Scalable and robust scheme for data fusion in sensor networks," *Proceedings of International Workshop on Biologically Inspired Approaches to Advanced Information Technology (Bio-ADIT)*, pp.112-127, Jan. 2004.
- [3] R. E. Mirolo and S. H. Strogatz, "Synchronization of pulse-coupled biological oscillators," *Society for Industrial and Applied Mathematics Journal on Applied Mathematics*, vol.50, pp.1645-1662, Dec. 1990.
- [4] X. Guardiola, A. Diaz-Guilera, M. Llas, and C. Perez, "Synchronization, diversity, and topology of networks of integrate and fire oscillators," *The America Physical Society Physical Review E*, vol.62, pp.5565-5569, Oct. 2000.
- [5] M. B. H. Rhouma and H. Frigui, "Self-organization of pulse-coupled oscillators with application to clustering," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.23, pp.180-195, Feb. 2001.
- [6] I. Wokoma, I. Liabotis, O. Prnjat, L. Sacks, and I. Marshall, "A weakly coupled adaptive gossip protocol for application level active networks," *Proceedings of IEEE 3rd International Workshop on Policies for Distributed System and Networks - Policy 2002*, pp.244-247, June 2002.
- [7] "Ubiquitous Device." available at URL: <http://www.okitechno-c.co.jp/tech/wireless/zigbee.html>.