

平成21年5月29日現在

研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2007～2008
課題番号：19500073
研究課題名（和文） 災害時通信環境におけるインテリジェントセンシング・センサネットワークの研究
研究課題名（英文） Intelligent Sensing on Sensor Networks in Disaster Communications

研究代表者
藤原 孝洋 (FUJIWARA TAKAHIRO)
函館工業高等専門学校・情報工学科・教授
研究者番号：80435388

研究成果の概要：

本研究では、災害時に被害状況を検出するための情報収集ネットワークに関する知見を得ることを目的に、画像情報収集とセンサ情報収集に関する研究を行った。まず、様々な被災状況が想定される災害時の情報収集システムにおいて、センサネットワークによるセンサ情報と画像情報を融合することの有効性を確認した。その上で、その多様な属性の情報に対応するネットワークアーキテクチャを検討し、そのための管理方式と伝送制御方式を提案した。その提案方式に基づき、著しくサイズが異なる画像データとセンシングデータを伝送する伝送制御方式の特性を評価した。また、センサネットワークの通信量を軽減するルーティングプロトコルを検討し、その評価結果から、提案方式が従来方式に比べて通信量が約50%軽減されることを確認した。さらに、双方向の伝送遅延を短縮するMACプロトコルを提案し、伝送遅延がノードのスリープサイクルに依存せず、効率的にデータ伝送可能であることを確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：情報通信システム，災害情報通信，センサネットワーク，ルーティングプロトコル，MACプロトコル，画像情報伝送

1. 研究開始当初の背景

通信技術の進歩とユビキタスネットワーク等の新たな概念の出現とともに、情報通信サービスは人々の生活の中で「ライフライ

ン」として重要な位置を占めるようになった。特に、地震や異常気象による災害時に被害状況を迅速かつ正確に把握し、適切な救助活動を行うために、通信手段の確保は重要な課題である。

一方、センサネットワークの研究では、災害時に有効であるとの観点から様々な検討が行われ、電力消費を軽減するための研究等、数多く行われている。しかし、被害状況の検出とその被害情報が持つ特性を考慮したモニタリングシステムの検討は十分ではない。

また、災害時の被害検出に関して、様々な研究が行われている。例えば、画像を利用した方式では、その多くは航空写真や衛星写真を利用した大局的な被害把握を目的とする。被災現場の映像から被害状況を把握する研究も行われているが、個々の被害箇所の状況を正確に把握することは容易ではない。また、画像による多量の情報送信は、ネットワークの輻輳の原因となることが懸念される。

そこで、救助活動と連携するため、画像等による大局的な被害把握と、被害現場のセンサ等による個々の情報を迅速に収集し、多角的視点から被害を把握することができるシステム開発が課題である。

これらの観点から、被害箇所の状況を複数の画像とセンサからインテリジェントに状況を把握するセンシング技術、災害時においても通信が維持可能なロバストなセンサネットワークを活用した通信システムの構築、それらを統合したモニタリングシステムの研究が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、災害等の被害状況を把握するためのセンシング情報を的確に伝えるため、消費電力を軽減して低遅延で各種センサ情報を伝送する通信プロトコルを検討する。さらに、災害時の的確な被害把握のために画像情報を活用し、センサ情報を収集するネットワークで画像を配信するネットワークアーキテクチャについて検討する。

特に、情報量が多い画像情報を通信帯域幅が制約されたネットワークで伝送することによって、災害時の通信が輻輳した状態に対応するためのネットワーク環境の検討を行う。そこで、

- (a) センサネットワークの狭い伝送帯域幅で画像情報を含む被害情報を伝送するための通信方式の知見を得る
- (b) 多様なデータ属性の情報を伝送するためのネットワークアーキテクチャとその伝送方式について知見を得る
- (c) 画像情報とセンサ情報を活用したインテリジェントセンシングについて知見を得る

ことを研究目的とする。

3. 研究の方法

(1) 災害時情報収集システム^[1]

災害時の被災情報を収集する観点として、画像情報に基づく大局的被害把握と、個々の被災現場の状況から被害状況を詳細に把握する局所的被害把握について調査検討を行う。特に、航空写真や衛星写真からの画像を利用した被害検出では、被害の全容を大局的に把握し、救助活動の戦略策定に有効である。一方、センサネットワークは、個々の被災現場の情報を収集することが可能で、個別の救助活動と連携した効果が期待できる。このように、大局的な被災情報の収集と、個々の被害に関する局所的な被災情報を連携する情報収集システムについて検討する。また、センサネットワークを被災情報収集に如何に活用するかについて検討する。

(2) 通信量軽減経路探索方式：HCB_SF^[2,3]

① 概要

アドホックネットワークの分野で開発されているルーティングプロトコル(例えば、AODV, DSR)では、ルート構築やルート維持に複雑な仕組みが必要であるが、センサネットワークで使用するマイクロプロセッサの処理能力および資源は制約され、複雑な処理には適さない。一方、処理が簡単なブロードキャスト方式のフラディングでは、広範囲にデータが伝送され、ネットワーク全体で通信量が増加する。そこで、センサノードの情報を収集するノード(SI : Sink Node)を頂点とする階層型センサネットワークにおいて、SI からセンサノードに至るホップ数を利用したホップカウントベースのルーティング方式 (Hop-count Based Selective Flooding : HCB_SF) について検討する。HCB_SF では、SI からセンサノードまでのホップ数を各ノードに設定し、各ノードは受信したパケットに設定された送信元のホップカウント(HC)と自分のHCを比較し、自分の値が小さい場合のみフラディングによって転送する。

② 方式比較

フラディングはルート構築が不要で処理が単純だが、パケットが全方向に伝送されるため、通信量が大きくなり信頼性も低い。一方、ユニキャストは事前のルート構築が必要で、処理が複雑になるが、最少の通信量で済み、信頼性も高い。提案する HCB_SF は、HC を設定する手順が必要であるが、パケットを伝送する処理が単純で、SI 方向へ限定し

て伝送される。これによって、通信量の軽減が期待できる。

(3) 双方向伝送遅延軽減 MAC プロトコル：LUD-MAC^[4]

センサネットワークの消費電力を軽減することを目的とした MAC(Media Access Control)プロトコルとして、定期的にノードを休止させる Active/Sleep 方式を用いた MAC プロトコル SMAC (Sensor MAC)が提案されている。しかし、この手法では Sleep 状態の間に送受信ができないことに起因する伝送遅延、つまり、sleep latency が発生する。気象観測などのアプリケーションではセンサネットワークの伝送遅延の影響は小さいが、ターゲットの追跡や火災の検知のようなアプリケーションでは迅速な情報収集が求められるため、sleep latency を抑えることが重要である。sleep latency を軽減する MAC プロトコルとして DMAC が提案されている。DMAC では、センサノードから SI に伝送する方向(up-link 方向)の sleep latency は考慮されているが、SI からセンサノードへ伝送する方向(down-link 方向)の遅延は考慮されていない。そこで本研究では、up-link 方向と down-link 方向の 2 方向で伝送遅延を軽減するために、Active/Sleep サイクルのスケジューリングを工夫した MAC プロトコルを検討し、双方向の伝送遅延を短縮する MAC プロトコルとして LUD-MAC (Low-latency Up-link/Down-link transmissions MAC protocol)を提案し、その特性を評価する。

(4) 多様なデータ属性に対応する伝送制御方式^[5, 6]

様々なセンシングデバイスからのデータを伝送するセンサネットワークでは、緊急性やデータサイズ、データ収集タイミング等のデータ属性の違いに応じたネットワークアーキテクチャが検討されている。しかし、そのネットワークを共通化するための検討は十分には行われていない。そこで、データ属性の違いに関わらず、同じセンサネットワークで多様なデータ属性の情報を伝送するためのアーキテクチャとその制御方式について検討する。

観測対象の異なるノードからデータ収集を行うセンサネットワークを検討するには、特性の異なるノード、つまりデータ属性の異なるノードでデータ収集を行った場合にどのような影響が出るか検討する必要がある。そこで、データ属性の異なるノードが混在す

るセンサネットワークを想定したシミュレーションを行い、その結果からデータ属性が異なるノードを扱うセンサネットワークの特性について調査する。

例えば、火災監視システムを想定すると、このシステムでは、周辺一帯の温度や煙を検出する。また、火災が起きた際に、カメラによって火災現場の画像を取得できるとする。このようなセンサネットワークでは、各ノードのデータ属性として、温度情報は「定期的」に取得され、煙感知では「イベント」を通知することになる。画像情報を伝送すると、大容量のデータがネットワーク資源を占有することを考慮しなければならない。火の手が上がったことを迅速に通知するために、優先的に煙感知データを送信しなければならない。しかし、大きなデータが伝送されている状況では、通信量の増大とともにパケットが衝突する可能性が高くなり、スループットが低下する原因となる。

大きなデータは、通常、通信プロトコルによってフラグメンテーション処理で複数のパケットに分割される。結果として、大きいデータを扱うセンサネットワークでは、ネットワーク内のトラフィックが急増し、パケットの衝突率が高くなり、到達率が低下すると予想される。

そこで、各データ属性によって送信するパケットに優先度を設定し、その優先度に従って送信待ち時間を設定する。これによって、優先度の高いパケットを優先して送ることができる。

4. 研究成果

(1) 災害時情報収集システム

大規模災害時における被害情報の収集では、被害の全体を把握する観点と、個々の被害箇所の状況を把握する観点が重要である。特に建物内でセンサネットワークによって情報収集する場合、検出した情報の発生場所の特定が重要である。センサノードの位置検出の研究で目標としている 1m オーダの精度よりラフな精度で、どの部屋からの情報であるかを示すことが重要で、この点を考慮したルーティングプロトコルを検討すべきである。また、数年単位の長期運用を考えたとき、図 1 に示すように、センサノードを定期的にスリープし、そのデューティ比を 2/1000 程度に著しく低くするか、受信待機時の消費電力を通常の 1/10 程度の約 1mA まで下げてデューティ比を 1/100 程度にしなければならない。従って、長時間稼働を想定した検討と、緊急データ収集の要求を満たした伝送遅延を実現する通信プロトコルの検討が必要で

ある。この検討については、後続の通信プロトコルで取り上げる。

(2) HCB_SF

センサノードをランダムに配置したとき、そのノード密度に対して、センサノードからSIに到達するパケット到達率をHCB_SFとフラディング(FL)について評価した結果を図2に示す。正規化密度が3以下の密度が低いとき、周囲にノードが存在しない孤立ノードの割合が増加し、パケットが配信できないため到達率が低い。密度が6以上では、孤立ノードが低下し、到達率が增加することがわかる。SFとFLでは、どの条件でもSFの到達率が高いことが確認された。密度がさらに高くなると、通信量が増加し、パケットの衝突が増え、到達率が低下する。通信量の評価結果を図3に示す。この結果から、FL方式に比べて通信量が約50%軽減されることが確認された。しかし、通信が集中するシンクノード周辺では輻輳が発生するため、シンクノード周辺の通信量の軽減について検討が必要である。

(3) LUD-MAC

LUD-MACの各ノードは、消費電力を軽減するためにActive/Sleepの動作モードを有し、Active動作期間を2a秒(送/受信期間をそれぞれa秒)、周期をT秒とする。各ノードは、up-link/down-linkの2方向の伝送遅延を軽減するためにアクティブになるタイミングを同期させ、図4に示すようにSIへのホップ数に応じて、ホップ毎のActive期間のタイミングをa秒だけずらし、1周期Tのサイクルの中で2つのActive期間を設定する。Active期間のタイミングは、SIからのホップ数によって異なり、その間隔は最小のSleep期間d、ネットワーク全体の中での最大ホップ数L、ネットワーク中の任意ノードのホップ数k、各ノードの送信期間および受信期間aを用いて表される。k(hop)目の1周期は、第1のActive期間とsleep期間(長さ: $d+2(L-ka)$)、第2のActive期間とsleep期間(長さ: $d+2ka$)により構成される。SIからk(hop)離れたノードとそのSIとの間のup-link方向およびdown-link方向の伝送遅延の最大と最小は、以下の式で表される。

$$\text{最小} = ka \quad \text{最大} = ka + T \quad (1)$$

つまり、最小の伝送遅延は、送受信期間a、ホップ数kから、 $D = ka$ と表すことができる。また、最大の伝送遅延は、 $D = ka + T$ となる。格子モデルでノードを配置した場合の1ホップ当りの伝送遅延特性をコンピュータシ

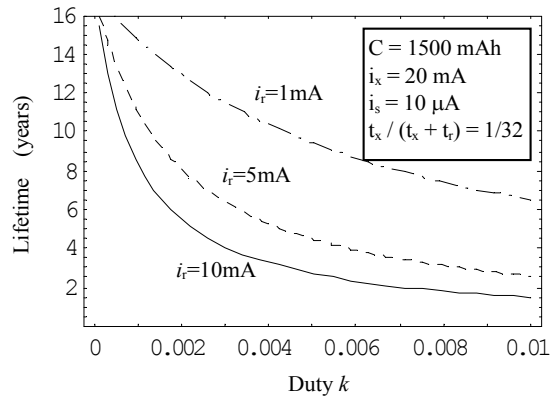


図1. センサノードの稼働時間推定

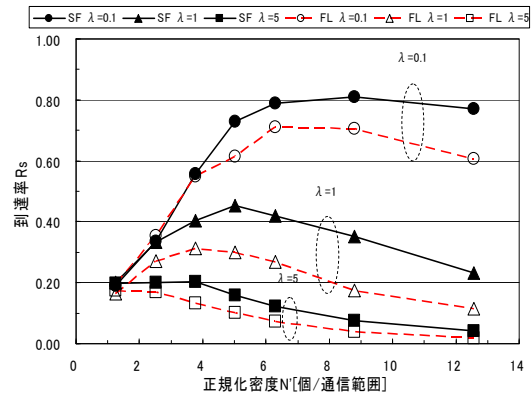


図2. ノード密度に対する到達率

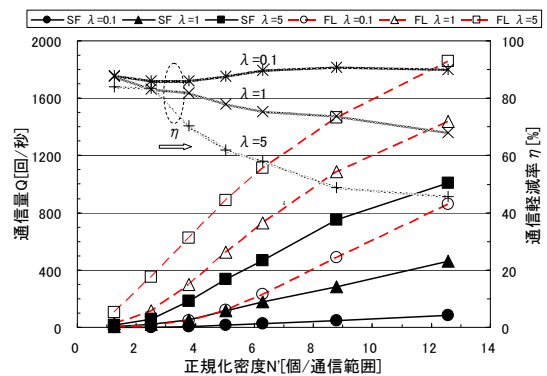


図3. 通信量と通信軽減率

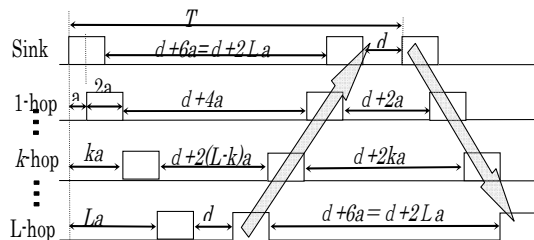


図4. LUD-MAC タイミングチャート

シミュレーションによって評価した結果を図 5 に示す。(a)は Uplink 方向の結果を、(b)は downlink 方向の結果をそれぞれ表す。Active 期間 $2a = 340 \text{ msec}$ と設定した場合、通信量が十分少ない状態では、Uplink, Downlink とも、1 ホップ当りの平均伝送遅延は約 600msec で、十分に短いことが確認された。

(4) データ属性に対応する伝送制御方式

データサイズがパケットの到達率に及ぼす影響をコンピュータシミュレーションで調べた結果を図 6 に示す。パケット生起率 $\lambda = 0.1$ では、パケット到達率が約 92%であるのに対し、50 倍のデータサイズを仮定した 5000Bytes のデータを送信する場合、到達率は 10%まで著しく低下する。これは、パケットサイズの大きいデータが発生するノードでは、フラグメンテーションによって伝送可能なパケットサイズに分割され、一度に複数のパケットが発生した状態と等価な通信状態となる。従って、パケットの衝突が多発し、パケット到達率が低下する。

そこで、伝送するデータの優先度によって最大送信待ち時間を制御する方式を検討し、その伝送制御方式に従ってシミュレーション評価した結果を図 7 に示す。優先順位が低く最大待ち時間が長いパケットと優先順位が高く、待ち時間が短いパケットでは、伝送遅延特性に明らかな相違が生じた。しかし、パケット到達率はこの制御では改善されなかった。図 6 で問題となった到達率の低下を改善するための伝送制御方式に関して見直しが必要である。

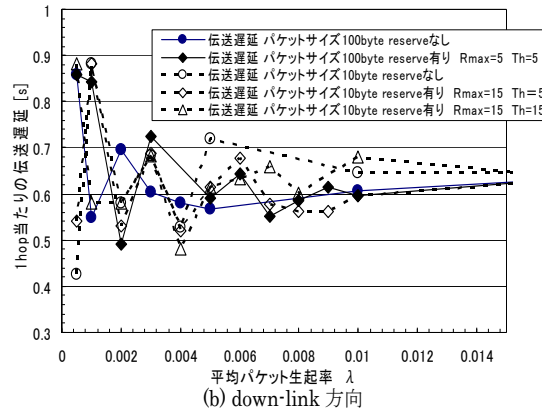
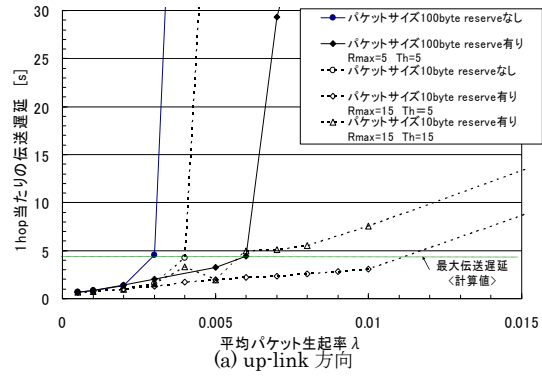


図 5. 伝送遅延特性

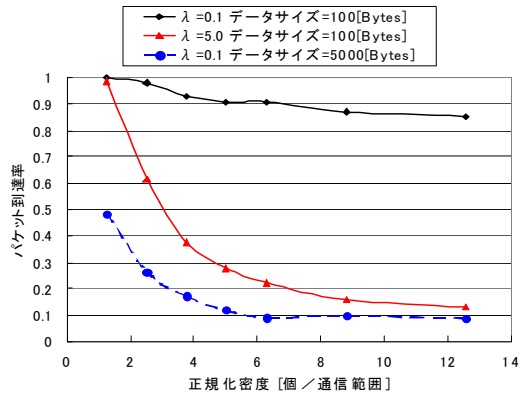


図 6. データサイズによる伝送遅延特性

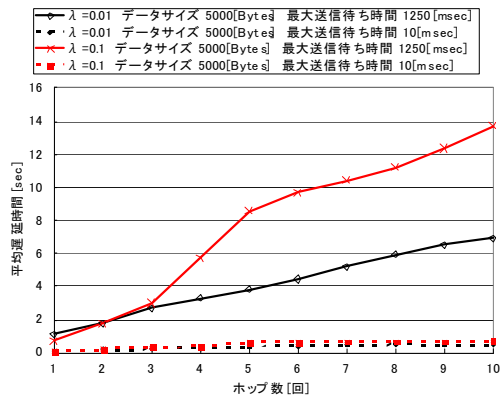


図 7. 最大待ち時間制御による伝送遅延特性

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 6 件)

- [1] Takahiro Fujiwara, Takashi Watanabe, "A Scheme for Damage Information Gathering Based on Micro Perspective in Sensor Networks," Proc. of IEEE AINA2008 Workshop: IWDENS2008, pp. 1095-1100, Okinawa, March 2008.
- [2] 森下淳一, 藤原孝洋, "センサネットワークにおける省電力化を考慮したルーティング手法の一検討," 平成 19 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, Oct. 2007.
- [3] 森下淳一, 藤原孝洋, 渡辺尚, "センサネットワークにおける経路方向を限定したフラッディング方式の評価," 電子情報通信学会信学技報, AN2008-22, pp. 43-48, July 2008.
- [4] 大内健一, 藤原孝洋, "双方向遅延を考慮したセンサネットワーク MAC プロトコルの一検討," 平成 19 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, Oct. 2007.
- [5] 太田衣美, 藤原孝洋, "ミドルウェアを利用したセンサネットワーク管理方式の一検討," 平成 20 年度電気・情報関連学会北海道支部連合大会, Oct. 2008.
- [6] 太田衣美, 藤原孝洋, 上原秀幸, "センサネットワークにおけるデータ属性を考慮したデータ伝送制御方式の提案," 電子情報通信学会信学技報, USN2008-79, pp. 101-104, Jan. 2009.

[その他]

<http://www.hakodate-ct.ac.jp/~tkfujiwr/tfujiwara/achievements.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤原 孝洋 (FUJIWARA TAKAHIRO)
函館工業高等専門学校・情報工学科・教授
研究者番号: 80435388

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

渡辺 尚 (WATANABE TAKASHI)
静岡大学・創造科学技術大学院・教授
研究者番号: 90212050