

防災利用を目的としたマルチホップ無線LANシステム

Multi-Hop Wireless LAN System for Disaster Mitigation

奥出耕平¹・中川路傑¹・野口拓²・川合誠³

Kouhei Okude, Suguru Nakakawaji, Taku Noguchi and Makoto Kawai

¹立命館大学大学院 理工学研究科 博士課程前期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Graduate Student, Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

²立命館大学助教 情報理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Assistant Professor, College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

³立命館大学教授 情報理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

Communication networks are the essential infrastructure for the recent information society as well as electricity, gas and water. Various countermeasures are taken to cope with the disaster damage in public communication networks but they are not enough for specific purposes such as cultural heritage protection. For those purposes this paper presents a multi-hop wireless LAN system which forms an ad-hoc network with wireless bridges. The system collects image and voice data from remote cameras and various sensed data from sensors connected with ZigBee networks. This paper shows the system configuration and data transmission performances focusing on the multi-hop, UDP/TCP and multi-flow conditions.

Key Words : *Ad hoc networks, Wireless networks, Sensor networks*

1. はじめに

情報社会の進展に伴い、通信ネットワークは、電気、ガス、水道等とともに、必須のインフラストラクチャとなっている。公衆ネットワークにおいて各種の災害対策が行われているが、文化遺産防災等の特定用途に対しては、公衆ネットワークのみでは、災害時の設備の被災やトラヒック集中による輻輳によって十分に対応できないため、独自の災害用ネットワークが検討されている。このような災害用ネットワークを実現する技術のひとつとして、アドホックネットワークが挙げられる。アドホックネットワークはネットワークインフラの存在しない環境でも利用可能であり、アクセスポイントを介さず、端末同士が直接接続して通信を行う。また、複数の端末間を中継することにより、無線通信範囲外への通信も可能である。

文化遺産防災においては、文化遺産そのものおよび周辺の環境を常時監視し、変化をできるだけ早期に感知し、対策および行動に反映させる必要があり、このためには、多数のセンサーおよびカメラを設置することが望まれる。アドホックネットワークは、このようなセンサーやカメラを含めた端末自身をノードとして構成するもので、インフラネットワークに依存しないため、比較的低コストでかつ災害に対してロバストな大規模情報収集ネットワークを構成することが可能である。これまで、文化遺産の立地する環境に関するデータ収集や、Webカメラによる文化遺産や災害時の交通状況・避難経路の監視などの防災利用を想定した情報収集型アドホックネットワークの検討が行われている¹⁾²⁾。これまでの検討では、PDAを中継ノードとして、映像等のファイル情報を収集するネットワークをレイヤ2およびTCPを利用して構成している。また、経路制御として予め経路を指定する静的経路制御を適用し、屋内での実験結果が示されている。今回、我々は、無

線ブリッジ³⁾を中継ノードとする屋外利用可能なマルチホップ無線LANシステムを構築した。本システムは既存のネットワークインフラに依存することなく、自律的にネットワークを形成する機能を有している。本システムは、エンド端末として遠隔操作可能な無線LAN対応ネットワークカメラを用い、遠隔地の映像監視サーバから、これらの機器の制御及び映像、音声の入手が可能である。今回、本ネットワークを利用する上で重要となる中継距離、ホップ数、TCP/UDP転送特性、マルチフロー特性等について実験評価を行った。

本論文では、このマルチホップ無線LANシステムの構成、機能および特性評価結果を示す。2章では本システムの構成と機能について述べ、3章では本システムの特性を示し、4章でまとめとする。

2. システムの構成と機能

マルチホップ無線LANシステムのシステム構成を図1に示す。本システムは、監視サーバ部、無線ブリッジ部、エンド端末から構成される。各部の構成と機能を以下に述べる。

(1) 監視サーバ部

監視サーバは、エンド端末のネットワークカメラから送信される映像を監視することができる。動作検知

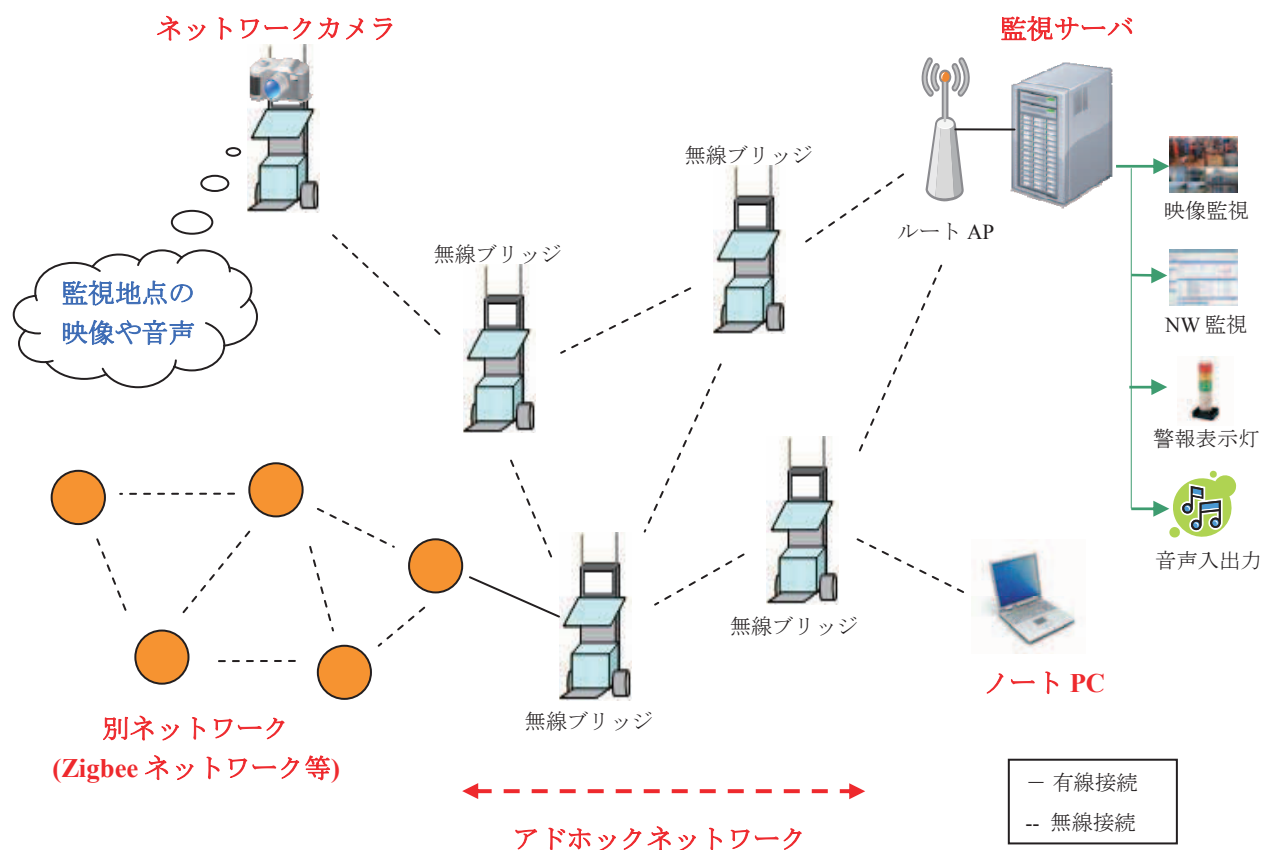


図1 システム構成

表1 ルートAP及び無線ブリッジの仕様

周波数帯	2.4GHz ISMバンド
無線通信規格	IEEE802.11b/g 準拠
変調方式	OFDM-64QAM (54Mbps、48Mbps)、OFDM-16QAM (36Mbps、24Mbps)、OFDM-QPSK (18Mbps、12Mbps)、OFDM-BPSK (9Mbps、6Mbps)、DSSS-CCK (11Mbps、5.5Mbps)、DSSS-QPSK (2Mbps)、DSSS-BPSK (1Mbps)
送信出力	2mW/MHz
有線I/F	10/100BASE-T

の設定により、設定された閾値を超える被写体の動きを検知することで、録画および警報表示灯の制御を行う。また、カメラの遠隔制御（パン、チルト、ズーム、録画）機能も有している。監視サーバ、ネットワークカメラは共に音声入出力端子を持ち、ネットワークを通しての音声のやり取りも可能である。

また、監視サーバはネットワーク監視機能を有している。各機器の死活状況を監視し、応答がない機器を検出した際には、警報表示灯の制御を行う。

監視サーバはルータAPとイーサネットにより有線接続される。

(2) 無線ブリッジ部

無線ブリッジ部は、ルータAPと複数の無線ブリッジから構成される。使用したルータAPおよび無線ブリッジの仕様を表1に示す³⁾。無線ブリッジは、屋外実験に対応できるように移動式カートに収容している。本カートは、開閉式のソーラパネルを有し、予め充電したバッテリーとの併用で、日照条件下の昼間帯において、5時間程度の連続使用を可能としている。また、隣接無線ブリッジとの接続用にコリニアアンテナを搭載している。無線ブリッジは自律的に互いに接続し、経路を作成する。経路作成はテーブル駆動型プロトコルによる。無線ブリッジの一つにデータが渡されると、接続された無線ブリッジ間を中継し、目的地へデータを届ける。このとき無線ブリッジは、ホップ数が最小になるような経路を自律的に選択する。無線ブリッジ間の通信はレイヤ2レベルで行われるため、上位プロトコルを選ばない。

(3) エンド端末

エンド端末として、上記サーバ部と組み合わせて使用するネットワークカメラ、汎用ノートPC、Zigbee等の別ネットワーク等を接続することができる。今回使用したネットワークカメラの主要性能を表2に示す。

表2 ネットワークカメラの主要性能

画像圧縮方式	JPEG（動画表示はMotion JPEGによる）
解像度	640×480ドット、320×240ドット、160×120ドット
カメラ部	ズーム 10倍デジタルズーム
画角	パン（左右） ±60°（リモート操作） チルト（上下） +20° ～ -（下向き）45°（リモート操作）

また、無線ブリッジのLANインターフェースを利用してLAN/シリアル変換を行い、ZigBee準拠モジュールZB24SK-Z2511-01⁴⁾との接続性について確認した。

3. システム特性

マルチホップ無線LANシステムを利用するにあたってのシステム特性の取得のため、ネットワーク性能評価実験を行った。

(1) 距離特性

距離特性の把握のため、距離別の配送率を測定した。無線ブリッジ(WB)同士間、無線ブリッジ-ネットワークカメラ(CA)間、無線ブリッジ-汎用ノートPC(PC)間の距離を見通し距離で50m～150mと変化させ、pingの応答の有無によって配送率を測定した。ping回数は100回、pingサイズは32バイト、ビットレートは54Mbpsで固定している。

結果を図2に示す。実験結果より、端末間距離が100～130m付近になると、急激に配送率が劣化することがわかった。通信で使用しているIEEE802.11gの通信可能距離を超えたのが配送率劣化の原因と考えられる。また、機器によって距離が異なるのは、それぞれの機器のアンテナ性能の違いによるものと考えられる。

(2) マルチホップ特性

トランスポートプロトコルとしてUDP(User Datagram Protocol)およびTCP(Transmission Control Protocol)を使用した際の中継ホップ数の影響について測定を行った。UDPは信頼性より音声や映像の実時間ストリーミ

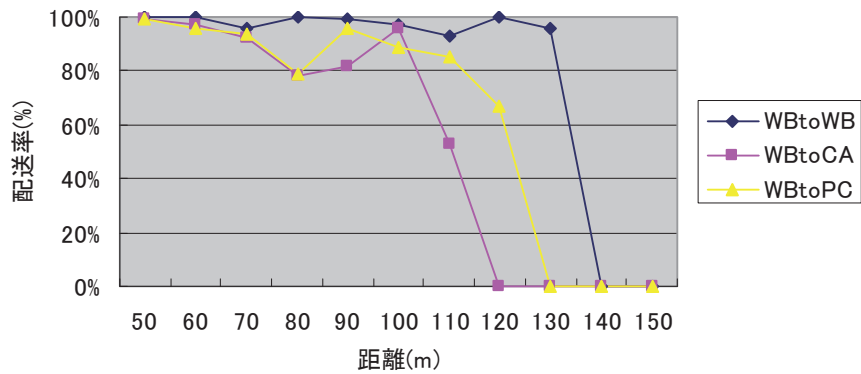


図2 距離別配送率

ングを重視するプロトコルで、TCPはファイル等の高信頼伝送を重視したプロトコルである。測定は無線ブリッジ1~4機を中継、汎用ノートPCを末端として70m間隔で直鎖状に配置する。汎用ノートPC間でパケットを往復させ、往復成功率、往復時間(RTT)を測定することで配送率、スループットを測定した。なお、ここで測定するスループットはアプリケーション層レベルでのものである。また、パケットサイズはフラグメント数が1~10、15、20となるように設定し、ビットレートは54Mbpsで固定している。試行回数は300回とした。UDPについてはパケット配送率とスループット、TCPについてはスループットを測定した。なお、TCPの場合は、再送制御によりほぼ100%の配送率が達成されている。

UDPによる配送率の実験結果を図3に示す。

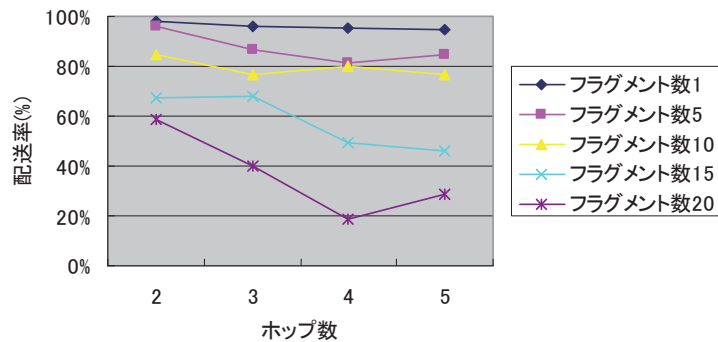


図3 マルチホップにおける配送率

フラグメント数が配送率に大きく影響し、フラグメント数が小さい場合はホップ数の影響はあまり見えないが、フラグメント数が大きくなるに従ってホップ数の影響が顕著となっている。無線ブリッジでは、データはフレーム単位で処理される。パケットのフラグメント数が増えるとフレーム数が増え、それらのフレームのうち1つでもロスするとパケットロスとなるため、フラグメント数が増えるに従って、配送率が低下したものと考えられる。

スループットについての実験結果を図4、図5に示す。UDPにおけるホップ数の増加に伴うスループットの低下は、中継によるオーバーヘッドによるものと考えられる。TCPにおいては、コネクション確立処理、確認応答処理など、ホップ数に依存しない処理時間が大きいいため、ホップ数による影響は見かけ上現れなかった。また、TCPはフラグメントの増加とともにスループットも向上している。これは、確認応答処理にかかる時間がフラグメント数ではなくパケット数に影響されるためと考えられる。

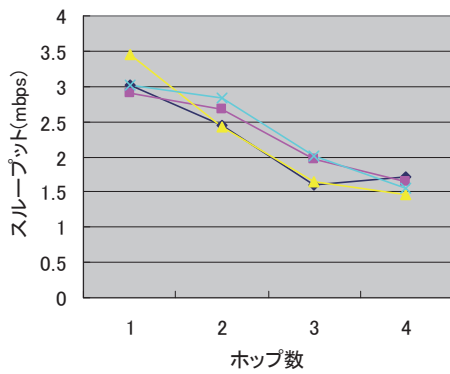


図4 UDPスループット

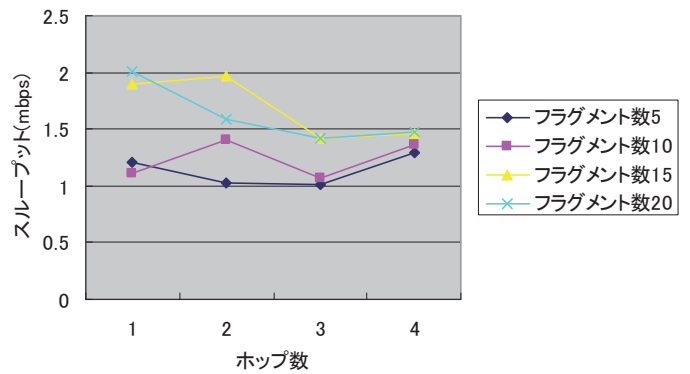


図5 TCPスループット

(3) マルチフロー特性

無線ブリッジによるアドホックネットワークに、ノートPC複数台、あるいは複数のネットワークを接続するケースを想定し、マルチフローによるスループットを測定した。無線ブリッジを1機中央に配置し、その周囲にフロー数が1、2、3となるように、汎用ノートPCを2機、4機、6機と設置する。各フローに同一パケットを流し、フロー毎のスループットを測定する。なお、スループットはアプリケーション層レベルのものである。また、ビットレートは54Mbpsで固定している。試行回数は300回とした。

結果を図6に示す。フロー数が増加するに従って、各フロー毎のスループットはほぼ均等に低下している。これは無線ブリッジが持つCSMA/CA機能⁵⁾によるものである。CSMA/CAはアクセス競合を回避するためのアクセス制御方式で、電波上に信号が流れていないかを確認してから送信する。これにより、マルチフロー時はスループットが低下するが、パケット衝突を抑制することができる。マルチフロー時の各フローの配送率平均を表3に示す。表3では、配送率はフロー数にあまり依存することなく高い値が得られている。

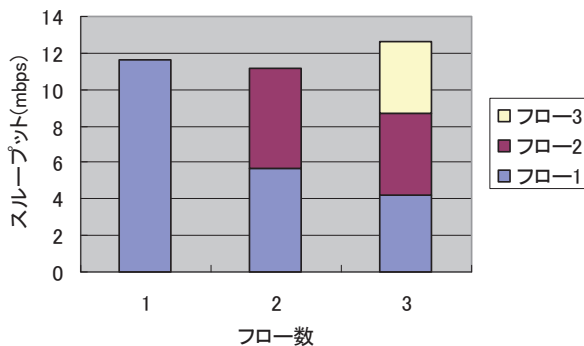


表3 マルチフローにおける配送率

フロー数	配送率
1	95%
2	89%
3	89%

図6 マルチフローにおけるスループット (同一パケット)

次に、各フローの packet size が異なるケースを想定し、フロー数を2と固定して、フラグメント数の異なる packet をそれぞれのフローに流し、フロー毎のスループットを測定した。

結果を図7に示す。図7によると、フラグメント数が10、20の場合、10、30の場合、いずれの場合も各フローのスループットはほぼ同じであることが確認できる。これは、フラグメントされた複数のフレームを packet として扱うのはエンド端末のみであり、無線ブリッジはレイヤー2レベルの処理を行うため、フラグメント数は、スループットに影響しないものと考えられる。フラグメント数が10と20、10と30の間でのスループットに若干の差が発生しているが、これはフラグメント数が大きい packet はフレーム数が多くなり、フレームを連続で送信できるため、送信効率がよくなったためと考えられる。

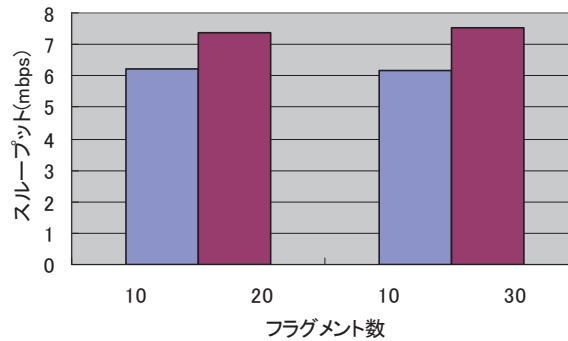


図7 マルチフローにおけるスループット (サイズの異なるパケット)

4. まとめ

本論文では、災害によるネットワークインフラの障害時においても稼働性を維持し、ネットワークインフラを補完する代替ネットワークとして、アドホックネットワークを取り上げ、アドホックネットワークを利用した情報収集型ネットワークとして、マルチホップ無線LANシステムを構築した。本システムとカメラを接続することにより、映像監視システムの実現性を確認した。また、ZigBeeネットワークとの接続性を確認することにより、センサー情報を収集するネットワークへの拡張性についても確認した。

本ネットワークの中継特性、UDP、TCPデータ転送特性を評価した結果、UDPマルチホップ環境においては、ホップ数の増加にしたがってスループットの低下が見られたが、TCPにおいては、その影響が少ないことがわかった。TCPを使用する場合、安定性を強化するため、ホップ数を増やし、端末間距離を短くするのが有効であると考えられる。また、TCPはフラグメント数に比例してスループットの上昇が見られたため、パケットロス率の許容出来る範囲で、パケットサイズを大きくするのが有効であると言える。

また、マルチフロー環境においては、フロー数の増加によるスループットの低下は見られたものの、これは本システムが持つCSMA/CAによるものであり、これによって、フロー数に関わらず高い配送率が見込めることがわかった。また、無線ブリッジのCSMA/CAによる回線の分配は全フローに対して平等であり、これはフロー毎のパケットフラグメント数が異なっても同様である。

以上により、今回構築したマルチホップ無線LANシステムは、災害に対してロバストなネットワークとして、防災情報収集のための汎用性および拡張性の高い基幹ネットワークとして利用できるという点で、文化遺産防災への利用可能性を有することを確認した。

謝辞：実験の実施にあたりご協力いただいた川畑佑介氏、西岡大志氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 牧野淳, 野口拓, 川合誠：アドホックネットワークを利用した防災情報システム, 歴史都市防災論文集, pp. 191-194, 2007.
- 2) 牧野淳, 野口拓, 川合誠：無線データリンクレベルマルチホップネットワークの特性, B-21-30, 2008年電子情報通信学会総合大会, 2008.
- 3) 浅見 重幸, 小野寺 浩司, 倉田 康生, 西堀 正人：マルチホップ無線ブリッジの開発, 日本無線技術, No.51, pp. 33 - 36, 2006.
- 4) http://www.nec-eng.co.jp/pro/zigbee/zigbee_module.html.
- 5) LAN/MAN Committee of the IEEE Computer Society: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Standard for Information technology - Part 11, 2007.