

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 25 日現在

機関番号：14101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700075

研究課題名(和文) OFDM協力中継通信を用いたマルチホップネットワークシステムの研究開発

研究課題名(英文) Development of OFDM cooperative communication for wireless multi-hop networks

研究代表者

内藤 克浩 (NAITO, KATSUHIRO)

三重大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80378314

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：提案したOFDM協調通信方式では、複数端末からの同一OFDM信号がガードインターバル内で受信した場合には、正常に復調ができるOFDMの特徴を活用することにより、高い性能を実現可能である。本研究では、提案するOFDM協調通信方式を利用するマルチホップ通信方式の提案を行ってきた。結果では、複数の異なる送信端末からの同一OFDM信号を同時に受信することにより、ルートダイバシティ効果によるパケット配信率の改善が可能であった。また、数値例では、既存技術であるCSMA/CAと比較して、高いパケット配信率と低遅延配送を両立可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Our proposed Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) cooperative communication scheme achieves high performance by utilizing features of OFDM whereby receivers can jointly demodulate multiple copies of the same OFDM signal, as long as they are received within the Guard Interval (GI) period. In this research, we have developed the OFDM cooperative communication scheme to support a new cooperative multi-hop communication for wireless networks. The results show that receivers can simultaneously receive some of the same OFDM signals from different transmitters, and that this improves the packet delivery ratio by means of route diversity. The numerical results show that both packet delivery ratio and delivery delay can be improved as compared to conventional Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) schemes.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：OFDM 協調通信 マルチホップ アドホック IEEE 802.11a 経路制御 アクセス制御

1. 研究開始当初の背景

マルチホップ通信技術に関する研究は多数行われており、既存研究では経路制御プロトコルにより選択される特定の端末がデータパケットの中継を行う方式が主に議論されていた。マルチホップ通信では端末の移動が想定されているため、中継処理を受け持つ端末が通信範囲外に移動した場合、一時的に通信が途絶えるとともに、経路の再探索が必要となる。また、端末間の無線通信状態はフェージング及びシャドウイングなどの響により時々刻々と変化している。既存の研究では複数の経路を活用するものが提案されているが、バックアップ経路を準備する場合、経路切替による通信の一時中断が発生する。また、複数経路を同時に利用する場合、無線資源の浪費が問題となることが知られている。本研究では、OFDM の特徴に着目することにより、協力中継を行う新たなマルチホップ通信技術の開発を行うことで、上記の課題を克服することを目指した。

2. 研究の目的

本研究では、同一の OFDM 信号が複数端末から送信されたとしても、受信端末により受信された各信号の到来時間差が、ガードインターバル長内であれば、経路ダイバシティ効果により 1 波受信の場合よりも高精度に復調可能であるという OFDM 伝送方式の特徴に着目する。そして、複数端末から同一データパケットを同時中継することにより、新たな無線帯域を必要とすることなく、種々の利点(信号受信品質改善、伝送遅延改善、信頼性改善など)を獲得可能な新たなマルチホップ協力中継通信方式の開発を行う。本方式を採用することにより、通信経路に関与している端末の一部が移動したとしても、他端末がデータパケット中継処理を継続して行うことにより、信頼性の高い通信サービスをアプリケーションに提供可能となる。

3. 研究の方法

本研究課題では、図 1 で示す協調通信方式について、大きく分けて以下の観点で研究を実施した。

(1) OFDM 協調通信の基礎検討

OFDM 協調通信では、複数の端末が同一 OFDM シンボルを同時に送信するシステムである。各 OFDM シンボルは独立の伝送路を経由して受信端末に到達することから、各伝送路の影響を受けた OFDM シンボルの合成波を受信した場合の性能を予め明ら

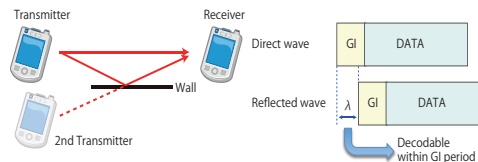


図 1：OFDM 協調通信方式

かにする必要がある。そこで、matlab を用いた OFDM 信号レベルの変復調特性を明らかにした。

(2) OFDM 協調通信のブロードキャスト性能の評価

課題(1)で得られた基礎伝送特性をネットワークシミュレータ QualNet に導入することにより、ネットワークレベルの特性を明らかにした。本課題では、マルチホップネットワーク用経路制御プロトコルなどでも頻繁に利用されるブロードキャスト通信時の特性改善効果について、ネットワークレベルで評価を実施した。

(3) OFDM 協調通信のマルチキャスト性能評価

マルチホップネットワークにおけるマルチキャスト通信では、送信元端末からメンバー端末までの配送木が構築され、配送木上でパケットの再転送が行われる。マルチキャストでは、このパケット再転送がほぼ同時に行われるため、特に隠れ端末問題が発生している場合には大きな特性劣化につながる。提案方式は、このような相互の信号が干渉となるような状況においても、受信時の到来遅延差がガードインターバル時間であれば、干渉なしに復調が可能となり大きな特性改善を得られることが期待される。そこで、提案方式を QualNet 上に実装することにより、評価を実施した。

4. 研究成果

(1) OFDM 協調通信の基礎検討

OFDM 協調通信の基礎検討として、一般的な OFDM 信号を想定した基礎検討を実施した。図 2 は表 1 の諸元において、OFDM 協調通信を実施する端末数を増加させた場合のビット誤り率特性を示し、端末数を増加させたことによる受信電力相当の改善が見込まれることが確認される。

次に、より実用的な想定として、無線 LAN で利用されている IEEE 802. 11a に準拠した方式に提案方式を適用した場合の特性を検討した。IEEE 802. 11a では、図 3 に示すフレーム構

表1：諸元(OFDM 一般)

Simulator	Matlab 6.5
Number of FFT points	64
Number of Subcarriers	52
Number of pilot subcarriers	14
Bandwidth	20 [Mhz]
Modulation scheme	16QAM
Symbol period	2.6 [μ s]
GI period	0.52 [μ s]
Channel model	Rayleigh fading
Number of multi-path	5

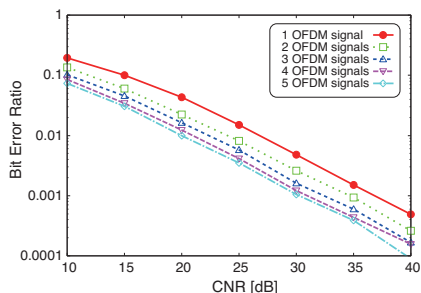


図2：ビット誤り率(OFDM 一般)

成を利用しており、図4に示すプリアンブルを用いて信号検出、タイミング推定、周波数オフセット推定を行っており、提案方式適用による影響を明らかにする必要がある。

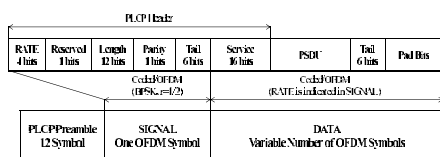


図3：IEEE802.11a のフレームフォーマット

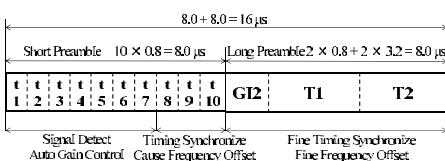


図4：IEEE802.11a のプリアンブル

IEEE 802.11a に提案方式を適用した場合の特性について、表2の諸元においてシミュレーションを実施した。図5は信号検出率を示し、提案方式を適用することにより、協調通信の効果により、より低いCNRの場合でも信号検出率が改善可能であることが判明した。また、図6はビット誤り率を示し、協調通信を行う端末数が増加することにより、より低いビット誤り率を実現可能であることを示した。これらの基礎検討から、提案方式を商用利用されている IEEE 802.11a 及び g 準拠

表2 諸元(IEEE 802.11a 準拠)

Simulator	Matlab 7.5.0
Communication device	IEEE802.11a
Modulation scheme	QPSK
Number of FFT points	64
Number of Subcarriers	52
Number of pilot subcarriers	4
Guard Interval	16 (0.8 [μ s])
Noise model	AWGN
Channel model	Rayleigh fading
Number of Multi-path	10
Detection Threshold	0.3
Maximum Delay (D_{max})	0 - 15 (0 - 0.75 [μ s])
Number of Relay Node	1 - 5
Carrier Frequency Error	± 20 [ppm]

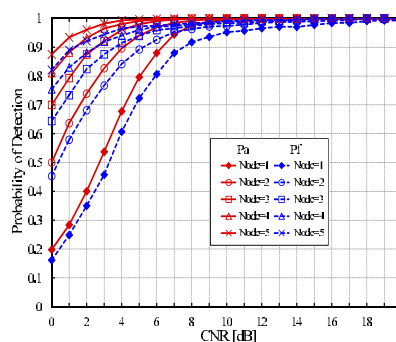


図5：信号検出率

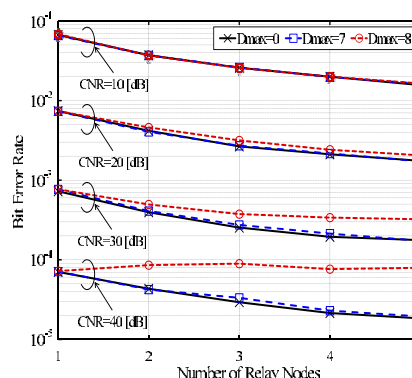


図6：ビット誤り率 (IEEE 802.11a)

の機器で利用した場合にも、大きな特性改善効果を見込まれることを明らかにした。

(2) OFDM 協調通信のブロードキャスト性能

Matlab を用いて検討した OFDM 協調通信の物理通信特性をネットワークシミュレータ Qualnet 上に実装し、ブロードキャスト時の性能を評価した。表3はシミュレーション諸元であり、マルチキャストルーティングプロトコルで頻りに利用されるフラディング時の通信性能を明らかにした。図7は送信元端末を変化させた場合の packets 受信率を示し、図8は packets 配送遅延を示す。結果よ

り、提案方式を利用することにより、低遅延、高配信率のフラッディングを実現可能であることを明らかにした。フラッディングは高度道路交通システムにおける通信でも利用が検討されており、提案方式はマルチホップ通信の通信効率を改善することが可能であることが判明した。

表 3：諸元 (ブロードキャスト)

Simulator	QualNet 5.01[10]
Simulation time	150 [s]
Simulation trial	100 [times]
Number of nodes	100 [nodes]
Node movement	Random waypoint Pause time : 5 [s] Speed : 0.1 - 2 [m/s]
Node position	Random
Simulation area	1000 x 1000 [m]
Transmission interval	1 [s]
Packet size	512 [Bytes]
Communication device	IEEE 802.11a
Transmission rates	6 [Mbps]
Transmission power	19 [dBm]
Channel frequency	5 [GHz]
Antenna gain	0 [dB]
Antenna type	Omni directional
Antenna height	1.5 [m]
Propagation path loss model	Free Space
Wireless environment	Rayleigh fading

(3)OFDM 協調通信のマルチキャスト性能

マルチホップネットワークにおけるマルチキャスト配送はフラッディングと同様に、同一パケットが繰り返し転送される。また、フラッディングは1回のパケット送信などを想定していることも多いが、マルチキャスト配送では、定期的にパケットが送信されることから、パケット衝突の影響を大きく受ける。そこで、提案方式をマルチキャストルーティングプロトコルである ODMRP と併用した場合の特性を QualNet を利用して明らかにした。表 4 はシミュレーション諸元であり、マルチキャストグループに送信する端末数を変化させた場合の特性を評価した。図 9 はパケット配信率を示し、図 10 はパケット配信遅延を示す。結果より、提案方式は高配信率と低配信遅延の両立を実現していることが確認できる。

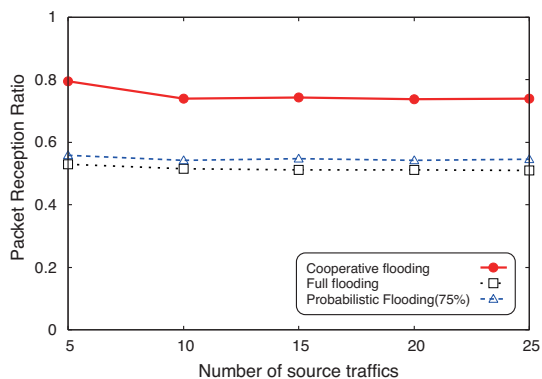


図 7：パケット受信率

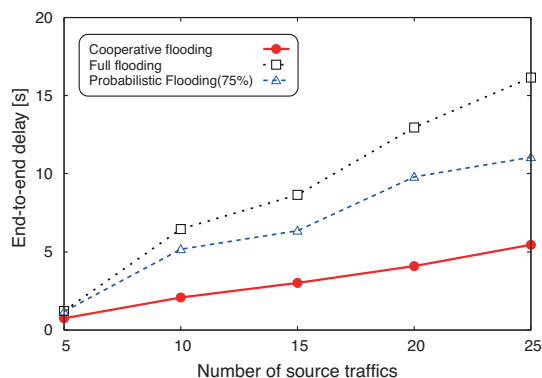


図 8：パケット配送遅延

表 4：諸元 (マルチキャスト)

Simulator	QualNet 5.01
Simulation time	300 [s]
Simulation trial	100 [times]
Number of nodes	100 [nodes]
Number of multicast members	10 - 99 [nodes]
Node position	Random
Simulation area	1250 x 1250 [m]
Transmission rate	256, 512 [kbps]
Packet size	1000 [Bytes]
Communication device	IEEE 802.11g
Transmission rates	54 [Mbps]
Transmission power	16 [dBm]
Channel frequency	2.4 [GHz]
Antenna gain	0 [dB]
Antenna type	Omni directional
Antenna height	1.5 [m]
Propagation path loss model	Free Space
Wireless environment	AWGN

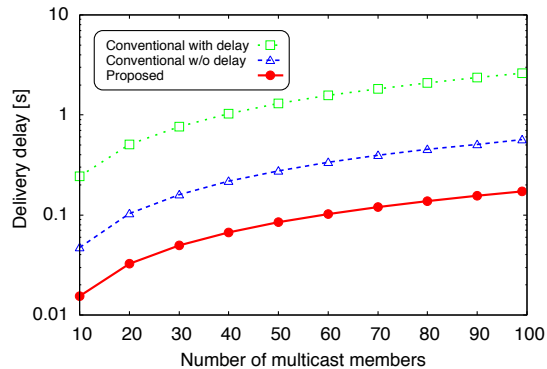


図 9：パケット配信率

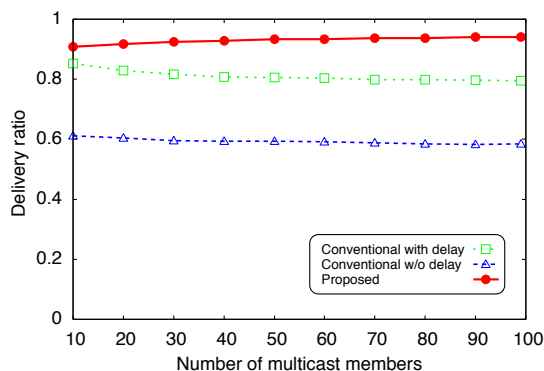


図 10 : パケット配信遅延

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 19 件)

- ① Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, "Proposal of ad-hoc multicasting based on OFDM cooperative communication," ICNC 2014, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, Feb. 2014. (査読あり)
- ② Katsuhiro Naito, Kazuma Kamienoo, Hidekazu Suzuki, Akira Watanabe, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, "End-to-end IP mobility platform in application layer for iOS and Android OS," CCNC 2014, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, Jan. 2014. (査読あり)
- ③ Yosuke Mukai, Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, "Characterization of the OFDM cooperative communication on the assumption IEEE802.11a," ICMU 2014, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, Jan. 2014. (査読あり)
- ④ Hidekazu Suzuki, Katsuhiro Naito, Kazuma Kamienoo, Tatsuya Hirose, and Akira Watanabe, "NTMobile: New End-to-End Communication Architecture in IPv4 and IPv6 Networks," Mobicom 2013, Vol.1, pp.1-3, CD-ROM, Sept. 2013. (査読あり)
- ⑤ Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, "Testbed Implementation of Cloud Based Energy Management System with ZigBee Sensor Networks," IMETI 2013, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, July 2013. (査読あり)
- ⑥ Katsuhiro Naito, Atsushi Ono, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, "Road Side Unit Coverage Extension with OFDM Cooperative Transmission," IMETI 2013, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, July 2013. (査読あり)
- ⑦ 内藤 克浩, 上醉尾 一真, 西尾 拓也, 水谷 智大, 鈴木 秀和, 渡邊 晃, 森 香津夫, 小林 英雄, "NTMobile における移動透過性の実現と実装," 情報処理学会論文誌, 54(1), pp.380-393, 2013 年 1 月. (査読あり)
- ⑧ Katsuhiro Naito, Kazuma Kamienoo, Takuya Nishio, Hidekazu Suzuki, Akira Watanabe, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, "Proposal of Seamless IP Mobility Schemes: Network Traversal with Mobility (NTMobile)," Globecom 2012, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, Dec. 2012. (査読あり)
- ⑨ Takuya Nishio, Katsuhiro Naito, Hidekazu Suzuki, Akira Watanabe, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, "Mobility Management and Implementation of Node Addresses in NTMobile," APWCS 2012, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, Aug. 2012. (査読あり)
- ⑩ Katsuhiro Naito, Yusuke Hiei, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, "Multi-rate routing protocol based on bottle-neck link throughput for mesh networks," CITSA 2012, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, July 2012. (査読あり)
- ⑪ Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, "OFDM cooperative flooding mechanisms for Multi-hop networks," CITSA 2012, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, July 2012. (査読あり)
- ⑫ Yosuke Iwasaki, Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, "Implementation of Energy Saving Mechanisms for Sensor Networks with SunSPOT devices," ICMU 2012, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, May. 2012. (査読あり)
- ⑬ Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, "Resource Allocation Based on TCP Performance in Base Station Diversity Systems," IEICE TRANSACTIONS on Communications, Vol.E94-B, No.8, pp.2357-2365, Aug 2011. (査読あり)
- ⑭ Yosuke Iwasaki, Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, "Implementation of energy efficient routing protocol in field sensor networks with Sun

- SPOT devices,” APWCS 2011, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, Aug. 2011. (査読あり)
- ⑮ Atsushi Ono, Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, “Roadside to Vehicle Communication System with OFDM Cooperative Transmission,” APWCS 2011, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, Aug. 2011. (査読あり)
- ⑯ Katsuhiro Naito, Makoto Nishide, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, “Failure estimation technique for optical access networks based on ONU information and topology information,” CITSA 2011, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, July. 2011. (査読あり)
- ⑰ Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, “Evaluation of reliable multicast delivery systems with base station diversity and forward error correction,” CITSA 2011, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, July. 2011. (査読あり)
- ⑱ Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, “Proposal of traffic aware routing based on neighborhood communication for ad-hoc networks,” CITSA 2011, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, July. 2011. (査読あり)
- ⑲ Katsuhiro Naito, Michitaka Fujii, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, “Multicast routing protocol for ad-hoc networks with route aggregation and transmission power control,” CITSA 2011, Vol.1, pp.1-6, CD-ROM, July. 2011. (査読あり)

[学会発表] (計 9 件)

- ① 内藤 克浩, 萩野 智幸, 森 香津夫, 小林 英雄, “OFDM 協調通信を用いるマルチホップマルチキャスト方式,” IPSJ MBL 研究会, 23 May 2013, 沖縄県
- ② 間部 文彰, 内藤 克浩, 萩野 智幸, 森 香津夫, 小林 英雄, “照度情報を用いたセンサネットワークデバイスのグルーピング手法の開発,” IPSJ MBL 研究会, 23 May 2013, 沖縄県
- ③ 内藤 克浩, 萩野 智幸, 森 香津夫, 小林 英雄, “OFDM 協調通信を用いるマルチホップフラッディング方

式,” IPSJ MBL 研究会, 22 May 2012, 沖縄県

- ④ 日榮 祐介, 森 香津夫, 内藤 克浩, 小林 英雄, “メッシュネットワーク用のエンド間スループットとボトルネックリンクを考慮する複数伝送レートを用いる経路制御プロトコル,” IEICE USN 研究会, 19 Jan. 2012, 三重県
- ⑤ 新家 晃, 森 香津夫, 内藤 克浩, 小林 英雄, “センサネットワークにおける省電力化のための経路制御およびアクセス制御,” IEICE USN 研究会, 19 Jan. 2012, 三重県
- ⑥ 岩崎 陽介, 森 香津夫, 内藤 克浩, 小林 英雄, “SunSPOT を用いたセンサネットワーク用の省電力機構の実装,” IEICE USN 研究会, 19 Jan. 2012, 三重県
- ⑦ 小野 敦, 森 香津夫, 内藤 克浩, 小林 英雄, “OFDM 協調基地局送信を行う路車間ネットワークにおける TCP 特性に関する一検討,” IEICE USN 研究会, 19 Jan. 2012, 三重県
- ⑧ 内藤 克浩, 西尾 拓也, 水谷 智大, 鈴木 秀和, 渡邊 晃, 森 香津夫, 小林 英雄, “NTMobile における移動透過性の実現と実装,” DICO2011, 8 July 2011, 京都府
- ⑨ 西尾 拓也, 内藤 克浩, 水谷 智大, 鈴木 秀和, 渡邊 晃, 森 香津夫, 小林 英雄, “NTMobile における端末アドレスの移動管理と実装,” DICO2011, 8 July 2011, 京都府

6. 研究組織

(1)研究代表者

内藤 克浩 (NAITO KATSUHIRO)
三重大学・大学院工学研究科
助教
研究者番号 : 80378314

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし