

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560399

研究課題名（和文）屋内ブロードバンドマルチメディア無線伝送方式の解明

研究課題名（英文）Performance and System Analyses on Indoor Broadband Multimedia Wireless Communication System

研究代表者

竹内 勉 (TAKEUCHI TSUTOMU)

京都産業大学・コンピュータ理工学部・教授

研究者番号：2015974

研究成果の概要：屋内ブロードマルチメディア無線環境における伝送方式の解明を電波伝搬特性の実測と計算機シミュレーションによる伝送特性の解明を行い，MIMO 伝送方式における問題点の明確化と MIMO 方式を組合わせた簡易で高機能なマルチホップ伝送方式を開発した。

交付額

(金額単位：円)

年度	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：通信方式（無線、移動）

## 1. 研究開始当初の背景

近年のブロードバンド通信の発展は、あらゆる通信の IP 化と高速化を進め、有線、無線を問わず 100Mb/s を超える通信速度を前提としたネットワークの構築が必須の状況となりつつある。無線 LAN はこれまで大きな発展を遂げ、MIMO 方式による空間多重化方式を実用化するに至った。しかしながら、アレイアンテナと狭帯域伝搬特性を組み合わせるこれらの方式では遅延分散の小さい屋内伝搬特性を利用した高速伝送を実現しているとは言い難く、将来の伝送速度高速化において信号処理のオーバーヘッドは益々増大し、スループット低下を招く懸念がある。

一方で、将来の無線 LAN オフィスにおける

様々な条件での無線伝送において、広く高所に設置された複数のアクセスポイントを中心としたピコセル的な環境に端末同士が直接通信するアドホックな形態が同時に出現し、これらのシステム間での干渉を起こすなどの問題が予測され、システム設計において十分な検討が必要となることが予測される。

## 2. 研究の目的

将来の更なるブロードバンドマルチメディア無線通信を屋内において実現するにはピコセル的な環境での超高速伝送の実現と、アドホック通信による短距離間での超高速通信などが渾然一体となって共存する無線通信環境を解明する必要がある。言い換えれば、従来

から存在する多重遅延波による干渉と異形態からの干渉を考慮した通信方式を検討する必要がある。そこで、本研究では、屋内のブロードバンドマルチメディア無線通信環境を前提とした無線伝搬特性を詳細に測定することでこれらの干渉特性も含めた伝搬特性を解明し、それに基づく無線伝送特性を計算機シミュレーションで検討することでデジタル伝送特性を明らかにしてより高速な無線伝送方式の開発を検討する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 屋内ブロードバンドマルチメディア無線通信環境の測定

屋内ブロードバンドマルチメディア無線通信環境を解明するために基地局⇄端末間の伝搬特性をUWBチャネルサウンダを用いて送受信アンテナ高を基準として取得し、これを基に屋内ピコセル環境とアドホック環境間の伝搬特性を明らかにする。また、アンテナ指向性を考慮した測定や到来方向測定を実施する。これにはMIMO伝搬特性測定技術の開発を行う。

#### (2) 屋内ブロードバンドマルチメディア無線通信環境の伝搬特性のデータベース化

上記(1)の測定結果をデータベース化し、デジタル伝送特性の検討の基礎パラメータを算出する。また、これまで構築してきた無線LAN環境シミュレータ（クラスタコンピュータ）を用いてデジタル伝送特性の検討を行う。

#### (3) 屋内ブロードバンドマルチメディア無線通信に適したデジタル信号伝送方式の検討

屋内ブロードバンドマルチメディア無線通信環境の測定結果を基にデジタル信号伝送方式の検討を以下のように行う。

- ① ピコセル環境におけるデジタル伝送方式：OFDM化MIMO多重化方式にこれまで検討してきた低複雑化を実現できる符号合成ダイバーシチ方式の検討を行う。
- ② アドホック環境におけるデジタル伝送方式：アドホック環境では直接的な通信が可能のため、①と同様の伝送

方式を用いて更に高速な方式を目指して検討を行う。ただし、アドホック環境下での伝搬特性は十分に把握していないため、①よりも高速化できるとは限らないが、屋内では伝搬距離が短く、伝搬特性に影響する人体や反射物がアンテナと同じ高さで多数存在することからMIMO多重化方式の適用がより有効であろうと期待される。

①の検討結果を基にピコセル環境とアドホック環境の共存する屋内ブロードバンドマルチメディア環境を構築するには両環境間での干渉の軽減が必要で、これを可能にする伝送方式、干渉軽減方式の検討が必要である。これにはアドホック環境においてマルチホップ型のセンサーネットワークで検討されているバーチャルMIMO方式前提に検討する。これは単一の端末で干渉回避して通信行うのではなく、自分の周りで支援してくれる他の端末を利用してMIMO多重化を行うものである。

#### (3) デジタル信号伝送方式のハードウェア化の検討

屋内ブロードバンドマルチメディア無線通信に適した小型低消費電力を実現する低複雑さの信号処理方式をハードウェア化するための検討を行う。検討は符号合成型ダイバーシチ方式の回路化をFPGA評価ボードを用いて行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 屋内MIMO伝搬測定によるブロードマルチメディア無線通信環境の検討

屋内ブロードバンドマルチメディア無線環境の測定は諸般の事情からMIMO測定を中心とした測定を行い、その測定結果の解析、及び測定結果に基づくデジタル伝送シミュレーションを実施した。

##### ① 屋内MIMO電波伝搬特性の測定

屋内MIMO電波伝搬特性測定装置を既設の高遅延時間分解能を有するチャネルサウンダを改造することで開発した。開発した装置は送受信アンテナ4個ずつを持つ4×4構成のMIMOチャネル測定を行えるもので、中心周波数7GHzで帯域幅4GHz、遅延時間分解能0.5nsである。MIMOアンテナは広帯域無指向性アンテナ（垂直偏波）を2λ間隔で直線状に並べ

たものを送受信共に同じものを用い、アンテナスイッチによって切換え、16 通り全ての送受信アンテナの組合せを測定することで MIMO 伝搬チャネル特性を取得した。また、アンテナアレイの方向を送受信点を結ぶ直線に対して双方共に平行、直交、その両方の組合せの 4 通りについて測定した。測定場所は京都産業大学 第 2 実験室棟 第 70 実験室（大きさ  $9.4\text{m} \times 13.5\text{m} \times 3\text{m}$ ）で、全ての什器類はそのままとし、パソコン、実験台などの存在する一般的な実験室である。

測定は送受信アンテナ高共に  $1.5\text{m}$  として実験台の通路上で送受信アンテナが相互に見通しとなるアドホック環境と送信アンテナ高を  $2\text{m}$  に変えて部屋中央で固定したピコセル環境の 2 つで行った。

## ② MIMO 伝送方式による伝送容量改善効果の検討

①の測定結果に基づいて MIMO 伝送方式による伝送容量改善効果の検討を行った。検討ではアンテナ相互の組合せによる伝搬チャネル行列を求めて OFDM 変復調方式を仮定して MIMO 伝送容量を算出した。その結果、アドホック環境で詳細に行った測定結果から、(a) 通信路容量の伝搬距離への依存は比較的小さく、従来から言われるように反射物などのローカルな多重波環境に依存すること、(b)測定結果に基づくデジタル伝送特性のシミュレーション結果から誤り率特性と伝送容量との相関は高いが多重波伝搬特性によっては相関が低くなる点が存在することも明らかになり、そのようなときには伝搬チャネル行列の第 4 固有値と良い相関を示すことが明らかになった。以上①、②の詳細については雑誌論文④を参照のこと。

本研究では以上のように MIMO 伝搬特性の測定から屋内ブロードバンドマルチメディア環境の伝搬特性測定を行ったが、当初の目標であるピコセル環境とアドホック環境の干渉特性の検討は残念ながら諸般の事情から十分に実施できなかった。今後、本研究で行った測定結果の解析を進め明らかにして行きたい。

## (2) 屋内ブロードマルチメディア通信に適したデジタル信号伝送方式の検討

### ① 屋内ブロードバンドマルチメディア無線伝送に適用可能な通信方式の検討

屋内ブロードバンドマルチメディア無線伝送に適した通信方式としてはアドホック的な環境で且つ見通し外伝搬路となることを考慮するとマルチホップ型仮想

MIMO 伝送方式の利用が可能と考えられる。MIMO 伝送方式としては空間分割多重(SDM)型あるいは時空間符号(STBC)型のいずれかを適用する方式が一般的であるが、マルチホップを考慮すると STBC 型との親和性が良いと考えられる。しかし STBC 型には SDM 型に比べ、欠点も多いため、これを克服する方式として以下の②の検討を行った。また、より実際の協力型 MIMO 方式を検討するため③の検討を行った。

### ② TSTD 技術に基づく双方向協力通信による仮想 MIMO 伝送方式

STBC 型 MIMO 伝送方式は STBC 符号化により送信アンテナから直交した信号を送信する必要がある送信ダイバーシチ方式を実現しているが、原理的に同期検波と最大比合成ダイバーシチしか利用できない欠点を有するため本研究では時間切換え送信ダイバーシチ (TSTD, Time Switched Time Diversity) 技術を適用し問題の解決を図った。その結果、(a)各種変復調方式の適用とダイバーシチ合成法の選択が自由となり、システムの設計が容易となった、(b)TSTD の適用により遅延検波が適用可能となるために通信路推定が不要となりシステムの複雑さによる消費電力増大の問題を解決できる、(c)一方、TSTD の適用により生じる周波数利用率半減の問題をネットワークによる全二重通信の特徴を活かし独創的な双方向通信方式により克服し、(d)TSTD に加えて通常用いられる最大比合成(MRC)に代わって符号合成方式によるダイバーシチ合成技術を適用して回路規模の削減並びに再送処理を行わずに高伝送品質を実現した。詳細については雑誌論文①、②、⑥、⑦参照のこと。

### ③ 適応型協力通信による仮想 MIMO 伝送方式

STBC 型仮想 MIMO 伝送システムではいかなる場合においても協力端末が存在することを前提としてその優れた伝送性能が理論的に確認されてきた。しかしながら実際の環境においては協力端末の存在、位置などは確率的、限定的であるためより実際に近い状況を仮定した伝送システムの検討が必要である。本研究では、より実際の協力端末を仮定して適応的に協力して仮想 MIMO 伝送を行う適応協力通信による仮想 MIMO 伝送方式の検討を行った。

適応アルゴリズムとしては、(a)情報伝送に先立って利用可能な協力端末を探索する、(b)利用可能な端末が存在し且つ有効範囲に存在するときは STBC による協力通信を行い高品質通信を実現する、(c)利用可

能な協力端末が存在しない或いは存在しても有効範囲外に存在するときは送受信端末間での直接通信を行い最低保障レベルの通信を実現する、を仮定した。この提案方式の実現において重要なことは協力端末の位置の正確な把握と有効範囲の設定である。端末位置の把握についてはMIMO 伝搬測定結果から信号強度に基づく位置推定法を、有効範囲の設定については計算機シミュレーションにより検討を行った。

その結果、送受信端末が直接通信を行う場合に比べて、常に伝送品質が改善され得ることを確認することが出来た。但し、協力端末が3台以上存在する複雑な事例についての考察は今後の検討課題である。詳しくは学会発表①、②を参照のこと。

## 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)

[雑誌論文] (計 7件)

- ① 津坂昌宏、周虹、アドホック無線ネットワークにおける双方向協力中継方式、電子情報通信学会技術研究報告、CAS2008-102, 2009年、査読無。
- ② 津坂昌宏、周虹、アドホック無線ネットワークにおける双方向協力中継方式の提案、電子情報通信学会技術研究報告、CS2008-25, 2008年、査読無。
- ③ 池内雅典、周虹、OFDM 移動通信における簡易遅延時間推定法と適応伝送への応用、電子情報通信学会技術研究報告、RCS2008-74, 2008年、査読無。
- ④ 則川久志、竹内勉、屋内 MIMO 伝搬特性測定に基づく MIMO-OFDM 伝搬特性検討の試み、信学技報、A・P2007、AP2007-178、2008年、査読無。
- ⑤ Hong Zhou, Code Combining Diversity Reception and Its Application to Broadband wireless, Proc. of IEEE 4th International Conference on WiMob, pp. 678-683, 2008, 査読有。
- ⑥ 津坂昌宏、周虹、マルチホップ無線通信における符号合成を用いたTSTD型複数端末協力中継方式、電子情報通信学会技術研究報告、RCS2007-129, 2007年、査読無。
- ⑦ 津坂昌宏、周虹、マルチホップ無線通信における符号合成を用いたTSTD型複数端末協力中継方式、電子情報通信学会技術研究報告、RCS2007、RCS2007-129、2007年、査読無。

[学会発表] (計 3件)

- ① 宗近弘明、適応協力中継方式を用いたア

ドホックマルチホップ無線通信に関する一検討(1) 通信方式、電子情報通信学会 2009 総合大会、2009年3月18日、松山市。(電子情報通信学会 2009 総合大会予稿集、講演番号 B-21-6、査読有)

- ② 星野 光、適応協力中継方式を用いたアドホックマルチホップ無線通信に関する一検討(2) プロトコル、電子情報通信学会 2009 総合大会、2009年3月18日、松山市。(電子情報通信学会 2009 総合大会予稿集、講演番号 B-21-7、査読有)

- ③ 則川久志、屋内 MIMO 伝搬特性の測定と MIMO-OFDM 伝送特性の検討、電子情報通信学会 2008 総合大会、2008年3月18日、北九州市。(電子情報通信学会 2008 総合大会予稿集、講演番号 B-1-227、査読有)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

竹内 勉 (TAKEUCHI TSUTOMU)

京都産業大学・コンピュータ理工学部

・教授

研究者番号：2015974

### (2) 研究分担者

周 虹 (SHUU KOU)

大阪工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80268226

### (3) 連携研究者