

氏名	アズラン ビン アブド アジズ AZLAN BIN ABD AZIZ
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博第820号
学位授与の日付	平成24年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文題目	Cooperative Relaying Techniques for Wireless Networks (無線ネットワーク用の協調中継技術に関する研究)

論文審査委員	主査	教授	岩波保則
		教授	田坂修二
		教授	王建青

論文内容の要旨

一般に MIMO(Multiple-Input Multiple Output)無線通信路で時空間符号を用いることの利点は、伝送品質の向上とシステムスループットの増加である。しかし、無線通信システムによっては、機器サイズなどの制限により、複数のアンテナを使用できなく、これらの利点を実現できない場合もある。近年、無線協調リレーネットワークは、通信範囲を拡張すると同時に誤り率特性を改善でき、伝送品質の向上とシステムスループットの増加を実現できるとして注目されている。この技術は、受信機に同一の情報を複数経路で送ることにより、通信路フェージングへの対策にもなる。この無線協調リレーネットワークで特性改善を実現するためには、リレーにおける中継アルゴリズムが極めて重要である。リレーでは、ソースから受信した情報を効果的に利用し、ソースと協調してデスティネーションと通信する必要がある。リレーでの判定結果は、無線協調リレーネットワーク全体の動作に影響する。その他に無線協調リレーネットワークの性能に大きな影響を与える要素として、デスティネーションにおける信号合成技術がある。従来から良く知られたものとして最大比合成(MRC)法がある。しかし従来の最大比合成法は、ソースとリレー間の回線品質を考慮していないので、無線協調リレーネットワークにおいては最適ではない。リレーで起こる判定誤りは、マルチホップリレーネットワークの主な劣化要因となる。リレーでの中継が正しく行われない場合、リレーでの判定誤りはデスティネーションでの重大な性能劣化を

引き起こす。この問題は通常、誤り伝搬と呼ばれる。

本論文では、無線協調リレーネットワークにおいて、新しいリレー技術を提案することにより、大幅な特性改善を簡易なリレー方式で実現する。本論文の成果は、次の3つに分類できる。第1の成果は、デスティネーションにおける新しい信号合成方式で、リレーでの判定誤りを考慮した最尤判定基準に基づくものである。この判定誤りは、ガウスQ関数を用いたシンボル誤り率として表現される。この誤り率をデスティネーションでの判定に使用することで、誤りを含むリレーからの信号に対し正確な遷移確率を計算できる。提案する最尤判定法は、様々なネットワークモデルに対し、従来法よりも優れた特性を示すことを確認した。さらにこの方式を、複数リレーや多値変調を用いた場合にも拡張し、判定誤りを含むリレーを用いて任意の多値変調信号をリレーした場合の簡易で高性能な最尤判定法を導出した。第2の成果は、リレーにおける中継プロトコルに関するものである。これは従来の軟値リレー方式のさらなる改善である。すなわち誤り訂正符号化を用いてシンボル毎に判定を行うシンボルベースの軟値リレー(Symbol-based Soft Forwarding, SSF)プロトコルの提案を行ない、軟値情報をリレーする簡易で統一的な方法を示した。特に、リレーは通常のリピーターとして動作することで、不必要な計算負荷を避けて大幅な特性改善を得る。このプロトコルでは、リレーにおける復号誤りを避けるために、信号点の期待値が計算されて送信される。第3の成果は、リレーでの誤り伝搬を防ぐため、信頼性に基づく閾値を利用したリレー方式を開発したことである。最適な閾値を検討し、各種のネットワーク条件下でその性能を調べた。この閾値を用いたリレー方式を採用することで、従来方式に比べ誤り率特性を大幅に改善し、かつリレーを簡易な構成で実現した。この方式は、デスティネーションにおいてソースとリレー間の通信路値を知る必要がなく、誤り率特性とシステム構成の簡易さの間での良好なトレードオフを実現していると言える。

論文審査結果の要旨

近年、無線協調リレー（中継器）ネットワークは、通信範囲を拡張すると同時に誤り率特性を改善でき、伝送品質の向上とシステムのスループットの増加を実現できるとして注目されている。この無線協調リレーネットワークで特性改善を実現するためには、リレーにおける中継アルゴリズムが極めて重要である。リレーでは、ソース（情報源の送信機）から受信した情報を効果的に利用し、ソースと協調してデスティネーション（目的の受信機）と通信する必要がある。リレーでの判定結果は、無線協調リレーネットワーク全体の動作に影響する。リレーでの中継が正しく行われない場合、リレーでの判定誤りはデスティネーションでの重大な性能劣化を引き起こす。その他に無線協調リレーネットワークの性能に大きな影響を与える要素として、デスティネーションにおける信号合成技術がある。しかし従来の最大比合成法は、ソースとリレー間の回線品質を考慮していないので、最適ではない。本論文では、無線協調リレーネットワークにおいて、新しいリレー方式及び信号合成方式を提案することにより、大幅な特性改善を簡易なリレー技術で実現する。本論文の成果は、3つに分類でき、それぞれ第3章、4章、5章で述べられている。

第3章では、第1の成果を述べているが、これはデスティネーションにおける新しい信号合成方式で、リレーでの判定誤りを考慮した最尤判定基準に基づくものである。この判定誤りは、ガウスQ関数を用いたシンボル誤り率として表現される。この誤り率をデスティネーションでの判定に使用することで、誤りを含みリレーからの信号に対し正確な遷移確率を計算できる。提案する最尤判定法は、様々なネットワークモデルに対し、従来法よりも優れた特性を示すことを確認した。さらにこの方式を、複数リレーや多値変調を用いた場合にも拡張し、判定誤りを含みリレーを用いて任意の多値変調信号をリレーした場合の簡易で高性能な最尤判定法を導出した。

第4章では、第2の成果を述べているが、これはリレーにおける中継プロトコルに関するものである。これは従来の軟値リレー方式のさらなる改善である。すなわち誤り訂正符号化を用いてシンボル毎に判定を行うシンボルベースの軟値リレー(Symbol-based Soft Forwarding, SSF)プロトコルの提案を行ない、軟値情報をリレーする簡易で統一的な方法を示した。特に、リレーは通常のリピーターとして動作することで、不必要な計算負荷を避けて大幅な特性改善を得る。このプロトコルでは、リレーにおける復号誤りを避けるために、信号点の期待値が計算されて送信される。

第5章では、第3の成果を述べているが、これはリレーでの誤り伝搬を防ぐため、信頼性に基づく閾値を利用したリレー方式を開発したことである。最適な閾値を検討し、各種のネットワーク条件下でその性能を調べた。この閾値を用いたリレー方式を採用することで、従来方式に比べ誤り率特性を大幅に改善し、かつリレーを簡易な構成で実現した。この方式は、デスティネーションにおいてソースとリレー間の通信路値を知る必要がなく、誤り率特性とシステム構成の簡易さの間での良好なトレードオフを実現していると言える。

以上のように、本論文では、無線協調リレーネットワーク伝送における新たなリレー方式と受信信号合成方式を提案し、通信範囲を拡張し伝送品質を大きく向上させた。その成果は学術論文としてフルペーパー3編、国際会議論文5編として公表され、無線ネットワークの高信頼化に大きく貢献している。よって本論文は、博士（工学）の学位論文に値するものと認める。