

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 情報学 )	氏名	中尾 正悟
論文題目	Study of Uplink Control Channel for LTE and LTE-Advanced ( LTEとLTE-Advancedにおける上り制御チャンネルに関する研究 )		
(論文内容の要旨)			
<p>第3.9世代あるいは第4世代移動通信システムとも称される LTE (Long Term Evolution)及びそれを更に高度化したLTE-Advancedでは、下り伝送方式には OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)が採用されているが、上り伝送方式には、無線端末の省電力化を目的として、SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)方式が採用されている。OFDMAについては、様々な無線通信システムにおいて採用実績があり、比較的実用化に向けた課題は少ないが、SC-FDMAは LTE で独自に採用された方式であり、実用化に向けて克服すべき多くの課題が存在していた。</p> <p>とりわけ、制御チャンネルに対する所望品質の要求条件はデータチャンネルに対する要求条件よりも厳しく、上り制御チャンネルの性能改善及び最適化に関する研究が必要とされていた。すなわち、LTE 及び LTE-Advanced の上り制御チャンネルは、下りデータに対するハイブリッドARQ (HARQ)の制御に用いられる応答信号(ACK信号又はNACK信号)の伝送に用いられるが、従来の上り制御チャンネルの構成には以下の課題があった。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1) 端末の高速移動時に、応答信号の伝送品質が劣化する</li><li>2) 端末の送信タイミング制御誤差の影響で、応答信号の伝送品質が劣化する</li><li>3) 上り制御チャンネルのマルチアンテナ化により制御チャンネルオーバーヘッドが増大する</li></ol> <p>本論文はLTE及びLTE-Advancedの実用化に向けて上記課題に対する解決策を提案するものである。特に符号設計やコンスタレーション制御に関する検討を中心に研究成果を取りまとめており、全6章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、過去から現在までのセルラーネットワークの進化について、端末側の進化、ネットワーク側の進化の双方に触れながら紹介している。また、本論文の対象となるLTE及びLTE-Advancedの概要を示すとともに、論文で扱う課題を明確化している。</p> <p>第2章では、従来の2重拡散に基づいた上り制御チャンネルの符号設計手法の問題点を検討し、拡散に用いられる2つの拡散符号間に発生する符号間干渉を、相補的に低減する手法、いわゆる Staggered Structure を提案し、上り制御チャンネルの高速フェージングに対する耐性を劇的に改善可能なことを解析的に示している。更に、計算機シミュレーションにより、提案手法を用いることで端末が350km/hで高速移動時にも、応答信号の誤り率を0.1%以下に抑えられることを確認している。</p> <p>第3章では、下りデータの目標誤り率が10%程度であり、上り制御チャンネルには NACK よりも ACK 情報の方が多く含まれるために、ACK と NACK の伝送品質が異なるという問題が発生することを指摘し、その性能ギャップを解決するためにコンスタレーションを拡散符号に応じて変化させるという手法を提案している。この手法により、符号間干渉が大きい条件下であってもACK情報とNACK情報の性能ギャップを改善でき、NACKの誤り率も0.1%以下に抑えられることを、計算機シミュレーションによって確認している。</p>			

第4章では、前章で提案したコンスタレーション制御手法が、基地局側における上り応答信号有無の検出精度向上にも役立つことを解析的に示し、計算機シミュレーションによってその効果を定量的に確認している。その結果、送信側でコンスタレーション制御を行い、受信側で等化处理後の信号を上り応答信号有無の検出に用いることで、符号間干渉が大きい状況下であっても、上り応答信号有無の検出精度が所望値を満たすことを示している。

第5章では、上り制御チャネルのマルチアンテナ化 (Spatial Orthogonal Resource Transmit Diversity) によって生じる、制御リソースオーバーヘッドの増加を抑えるため、複数のアンテナ間で一部のリソースを共用する検討を行い、さらに、リソース共用に起因する伝送性能劣化を低減するコンスタレーション制御手法も併せて提案している。計算機シミュレーション評価の結果、提案手法により、制御チャネルのオーバーヘッドを25%削減しつつ、マルチアンテナ化の利得減少を1dB以下に抑えられることを示している。

第6章は結論であり、本論文で得られた主要な成果について要約するとともに、今後の課題について触れている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は第3.9世代あるいは第4世代セルラー方式とも称されるLTE及びその高度化システムLTE-Advancedの上り制御チャネルの性能改善及びオーバーヘッド削減等の最適化に関する研究成果を取りまとめたものであり、得られた主な研究成果は次の通りである。

(1) LTE上り制御チャネルの符号設計にあたって、用いられる2つの拡散符号間に発生する符号間干渉を、相補的に低減する手法、いわゆるStaggered Structureを提案し、上り制御チャネルの高速フェージングに対する耐性を劇的に向上させ、端末が350km/hで高速移動中であっても、制御チャネルのビット誤り率特性が0.1%以下になることを確認した。

(2) 従来の上り制御チャネルの構成では、ACK情報とNACK情報の伝送品質に差が発生することを指摘し、その解決策としてコンスタレーションを回転させる手法を提案した。本提案手法を用いることによりACK情報とNACK情報で伝送品質の差が無くなることを計算機シミュレーションにより確認した。

(3) 端末が上り応答信号を送信したか否かを検出する、上り応答信号有無の検出に対する符号間干渉の影響を解析的に検証し、従来の上り応答信号有無の検出手法の問題点を指摘した。更に、前述のコンスタレーションを回転させる手法と併せて、等化処理後の受信信号を上り応答信号有無検出に用いることで、その精度を大幅に向上できることを示した。

(4) 上り制御チャネルのマルチアンテナ化に伴うオーバーヘッド増加に対し、一部のリソースを複数種類の制御信号間で共用する手法を提案し、かつ、コンスタレーションを回転させる制御と組み合わせることによって、オーバーヘッドを25%削減しつつ、伝送性能劣化を1dB以下に抑えられることを示した。

以上要するに本論文は、LTE及びLTE-Advancedの上り制御チャネルについて、性能改善及びオーバーヘッド削減等の最適化の観点から検討を行い、その物理チャネル設計に際して有用となるいくつかの知見を与えたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年2月23日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。