

次世代携帯電話システム(LTE)の通信方式について

周波数軸変調方式(OFDM)と時間軸変調方式(SC-OFDM)

三重大学大学院 工学研究科 研究科長 小林 英雄

Hideo Kobayashi
Dean, Graduate School of Engineering,
Mie University



はじめに

1980年代に開始された携帯電話サービスは急速な発展を遂げており、今日では私たちの生活に不可欠な存在となっている。現在、CDMA方式を採用した第3世代システムが提供されているが、伝送速度を更に高速化した3.9世代システムであるLTE(Long Term Evolution)が既にヨーロッパの一部都市でサービスが開始されており、日本では本年12月から商用サービスが開始される予定である。また、LTEを更に発展させ、伝送速度1Gbps(ピーク速度)を実現する第4世代システム(LTE Advance)の標準化作業も2015年頃のサービス導入を目指して進められている。

LTEシステムでは、通信方式として下り回線にOFDM方式、上り回線にSC-OFDM(Single Carrier-OFDM)方式の採用が決定されている。本稿では、第1図に示す(a)周波数軸変調のOFDM方式と(b)時間軸変調のSC-OFDM方式の2方式がLTEシステムで採用された背景について紹介する。

OFDM通信方式

OFDM方式は、古くは多重搬送波通信方式と呼ばれ有線・無線通信の分野で実用化された実績を持つ。但し、その当時はデジタル信号処理技術の未発達のため主にアナログ素子を利用して実現されていた。近年、OFDM方式が注目されている背景としては、FFT/IFFT等のデジタル信号処理技術の飛躍的な発展によるところが大きい。

OFDM方式は、互いに直交する複数の狭帯域サブキャリアを利用したFDM方式の一形態と言える。OFDM方式は、特にサブキャリア間隔を直交関係を満足しつつ最小に取った場合に相当し、従来のガードバンドを必要とするFDM方式と比較して周波数利用効率に優れている。一方、OFDM方式は、従来の時間軸変調を用いたシングルキャリア(SC)方式と異なり情報データを周波数軸上で変調することを特徴としている。

第1図(a)に示すように、 n サブキャリア目の周波数軸

上で変調された情報データを $A(n)$ 、周波数軸上のフェージング特性と相加雑音を $H(n)$ 及び $W(n)$ とすると、③における受信信号は $R(n)=H(n)A(n)+W(n)$ となる。また、フェージング回線における伝送特性は狭帯域サブキャリアの帯域幅内では一定と見なせ、フェージングによるサブキャリアごとの振幅・位相変動を1タップの周波数軸等化により補償可能となる。従って、サブキャリアごとの伝送路特性 $H(n)$ を推定することにより、④に示すように周波数軸上で変調された情報データ $A(n)$ をフェージング環境下においても簡易に精度よく等化・復調することが可能となる。これらOFDM方式の有する優れた長が、LTEシステムの基地局から携帯端末方向の下り回線でOFDM方式が採用された理由である。

一方、OFDM方式の欠点としては、第1図(a)に示すように周波数軸上でランダムデータ情報を変調した信号をIFFTにより時間軸信号に変換することから、①における時間軸信号の振幅変動(PAPR: Peak to Averaged Power Ratio)が従来のSC方式と比較して格段に大きくなるという問題がある。PAPR問題は、非線形増幅器の電力の利用効率の低下につながり、特に低コスト・低消費電力での運用が要求されるバッテリー運用の携帯端末から基地局方向の上り回線でのOFDM方式の利用を制限している。以上が、LTEシステムの携帯端末から基地局方向の上り回線でOFDM方式の採用を断念した理由である。

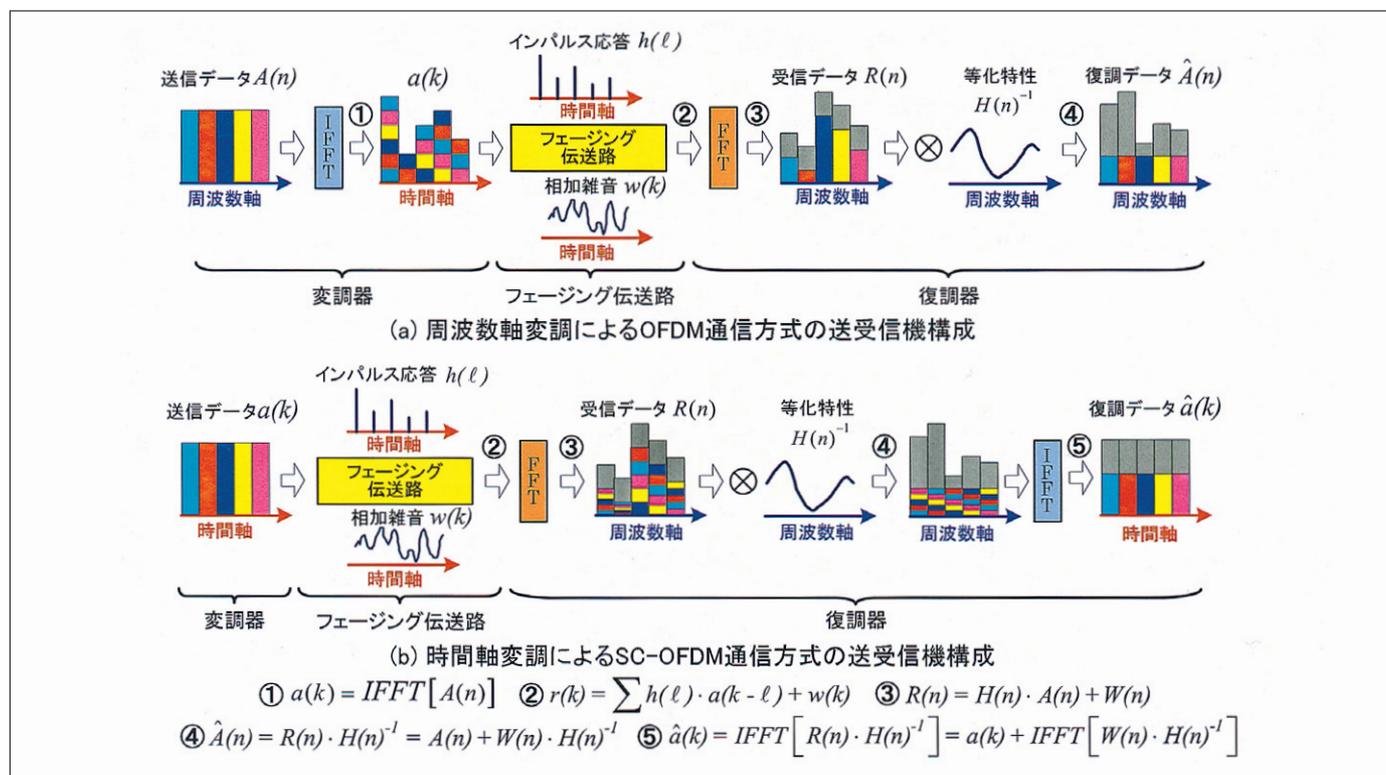
SC-OFDM通信方式

従来のSC方式のPAPR特性は、OFDM方式と比較して格段に優れているが、情報データは時間軸上で変調されることから、フェージング補償は複数のタップ付きトランスバーサル(TR)フィルタを用いた時間軸等化器が利用されていた。しかしながら、大きな遅延時間を有するフェージング回線で高速度・高品質のデータ通信を実現するためには、TR等化器のタップ数が多く必要となり装置化が困難となっていた。これらSC方式のフェージング回線での問題点を解決する方式として周波数軸等化を前提としたSC-OFDM方式が提案されている。

第1図(b)に示すように、SC-OFDM方式の変調器は従来のSC方式と同じであり、情報データは時間軸上で変調される。これにより、送信側でのPAPR問題を解決している。復調器では、②の受信時間軸信号をFFTにより周波数軸信号に一旦変換する。この場合、第1図(b)の③に示すように周波数軸上での情報データは帯域幅に亘って拡散される。ランダム化された周波数軸信号は、OFDM方式の場合と同様に1タップの周波数軸等化により、④に示すようにフェージングによる位相・振幅特性を補償する。周波数軸上で等化された信号④は、IFFTにより元の時間軸信号に戻すことにより、⑤に示すように時間軸上での情報データを復調することが可能となる。SC-OFDM方式では、周波数軸の等化特性に従って変動した雑音成分は、IFFTによりシンボル時間長に亘って拡

散されることにより、第1図(b)の⑤に示すようにほぼ一定の振幅レベルとなる。これは、第1図(a)の④に示すように、伝送路特性 $H(n)$ が落ち込んでいる部分が等化特性 $H(n)^{-1}$ により雑音成分を過度に増幅し、誤り率特性が著しく劣化するOFDM方式と大きく異なる点である。また、SC-OFDM方式では、③に示すようにFFTにより周波数軸上で情報データが拡散され、⑤でIFFTにより逆拡散されることから周波数ダイバーシティ利得が得られ、最小二乗基準最適(MMSE)等化方式を採用することにより誤り率特性を改善可能としている。

SC-OFDM方式は、PAPR特性に優れたSC方式と周波数軸等化が可能なOFDM方式の両者の優れた特長を併せ持つ方式であり、LTEシステムの携帯端末から基地局方向の上り回線でSC-OFDM方式が採用された理由である。



第1図 周波数軸変調と時間軸変調を用いたOFDM方式とSC-OFDM方式の比較

■ おわりに

第1世代から第3世代までの携帯電話システムの通信方式は、FDMA、TDMA、CDMA方式と変化してきたが、システムの整合性や装置構成の観点から上り回線と下り回線の通信方式は同じ方式が採用されてきた。しかしながら、次世代携帯電話システムであるLTEでは、上で述べたような理由から下り回線では周波数軸変調のOFDM方式が、上り回線では時間軸変調であるSC-OFDM方式の異なる2つの通信方式が採用される結果となっている。

現在、PAPR問題を解決するOFDM方式についての検討が積極的に行われている。これは、将来の移動通信システムでは、システムの整合性の観点から上下回線に同

一の通信方式であるOFDM方式が採用されることが理想的であると考えられているためである。

【参考文献】
 [1] 小林: OFDM通信方式の基礎と応用技術 トリケップス社

小林 英雄 (こばやし ひでお) 氏 略歴

- 昭和52年 東北大学大学院工学研究科修士課程修了
- 昭和52年 国際電信電話(株)(現KDDI)入社
- 昭和63年 国際海事衛星通信機構出向
- 平成6年 国際電信電話(株)研究所主幹研究員
- 平成9年 NEC UK技術コンサルタント
- 平成10年 三重大学工学部教授
- 平成19年 三重大学理事・副学長
- 平成21年 三重大学大学院工学研究科長