

# LTEにおける周波数誤差とサンプリング周波数誤差の検知に関する検討

石川 清貴† 和田 知久†

† 琉球大学大学院理工学研究科 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地

E-mail: †kiyo@lsi.ie.u-ryukyu.ac.jp, ††wada@ie.u-ryukyu.co.jp

**あらまし** 第3.9世代携帯電話であるLTE(Long Term Evolution)において、高速大容量データ通信を可能にするためにOFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access)が採用されている。OFDMAは受信系における周波数誤差や復調系でのサンプリング周波数誤差によって、サブキャリア間の干渉を生じやすいという課題がある。そこで同期信号を用いて周波数誤差及びサンプリング周波数誤差の検知を行う手法を提案した。提案手法の有効性を評価するためにLTE規格に準拠したFDDフレーム及びTDDフレームにおいてシミュレーションを行った。その結果、FDDフレームは周波数誤差-46~46[%]、サンプリング周波数誤差-42000~42000[ppm]、TDDフレームは周波数誤差-16~16[%]、サンプリング周波数誤差-26000~28000[ppm]、の範囲で検知可能であることを確認できた。

**キーワード** LTE(Long Term Evolution), OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access), 周波数誤差, サンプリング周波数誤差

## Algorithm of Radio Frequency Error and Sampling Frequency Error Detection for Long Term Evolution

Kiyotaka ISHIKAWA† and Tomohisa WADA†

† Department of Information Engineering, University of the Ryukyus Senbaru 1, Nishihara, Okinawa,  
903-0213 Japan

E-mail: †kiyo@lsi.ie.u-ryukyu.ac.jp, ††wada@ie.u-ryukyu.co.jp

**Abstract** OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) is a multi-carrier modulation scheme to realize the high speed data communication and large capacity data communication for LTE(Long Term Evolution). A well-known problem of OFDM is its inter-subcarrier interference caused by radio frequency error in received and sampling frequency error in demodulation. In this letter, we proposed an algorithm of radio frequency and sampling frequency error detection based on Synchronization Signals. Simulation results show that the proposed algorithm can detect the radio frequency error ranging from -46~46[%] and sampling frequency error ranging from -42000~42000[ppm] for FDD case, but -16~16[%] and -26000~28000[ppm] respectively for TDD case.

**Key words** LTE(Long Term Evolution), OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access), Radio Frequency Error, Sampling Frequency Error

### 1. まえがき

3.9世代携帯電話に位置づけられているLTE(Long Term Evolution)とは、3GPP(Third Generation Partnership Project)で策定された無線規格である。LTEでは、高速大容量データ通信を可能にするため、下り(基地局→端末)通信においてOFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access)が用いられている。OFDMAでは、多数の直交サブキャリアを分割し複数のユーザで共有させ、伝送効率のよいサブチャンネルを各々に割り当てることにより、周波数帯域の利用効

率を改善することができる。

しかし、OFDMAは、狭帯域の多数の変調サブキャリアを周波数多重しているため、受信時における周波数誤差や復調系でのサンプリング周波数誤差によってサブキャリア間の干渉を生じやすいという課題がある。今回、OFDMA信号のサブキャリア間の干渉を防ぐため、同期信号を用いての周波数誤差とサンプリング周波数誤差の検知法を提案し、その性能評価を行なった。

本稿では、2章においてLTE規格の簡単な仕様概要を示す。3章では誤差検知法について説明する。4章ではシミュレーションによる結果を示し、5章でまとめを行なう。

表 1 LTE システム概要

System Bandwidth(MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Effective Bandwidth(MHz)	1.08	2.7	4.5	9.0	13.5	18.0
Guard Bandwidth(MHz)	0.32	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0
Subframe	1.0 [ms]					
Tone Spacing	15kHz					
Sampling Rate (MHz)	1.92	3.84	7.68	15.36	23.04	30.72
FFT Size	128	256	512	1024	1536	2048
Subcarrier Number	72	180	300	600	900	1200
CP Length (us)	Normal	1st:5.21, 2nd-7th:4.69				
	Extended	16.6				

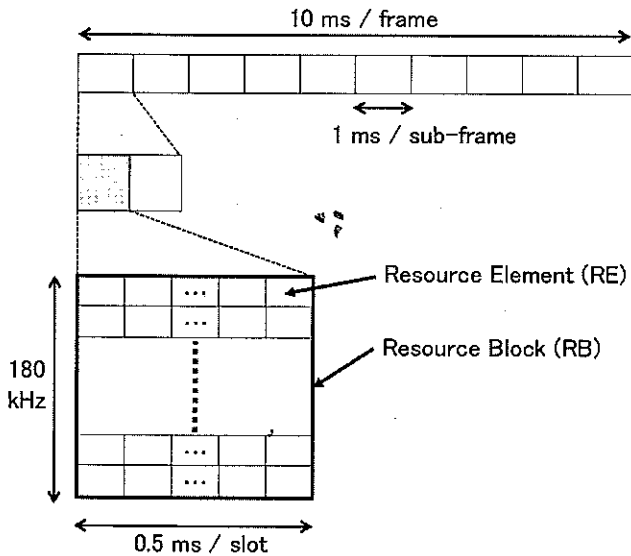


図 1 LTE フレーム構造

## 2. LTE 規格概要

### 2.1 LTE システム概要

LTE のシステム概要を表 1 に示す。LTE には、OFDMA シンボル間で生じる遅延拡散による影響を防ぐための時間間隔である CP(Cyclic Prefix) が設けられている。CP は長さにより Normal と Extended に分けられている。

### 2.2 フレーム構造

LTE では FDD と TDD の 2 種類のフレームが規格化されている。基本となる LTE のフレーム構成を図 1 に示す。1 フレームを 10ms とし、1 個 1ms のサブフレーム 10 個により構成されている。サブフレームは 0.5ms の 2 Slot から構成されている。時間軸 1 Slot(0.5ms) と周波数軸 (180kHz) に分割されたブロックを RB(Resource Block) と呼び、1 OFDMA シンボルと 1 サブキャリアにより構成される格子を RE(Resource Element) と呼ぶ。また、CP 長により RB に含まれるサブキャリアの本数と OFDMA シンボルが異なる。

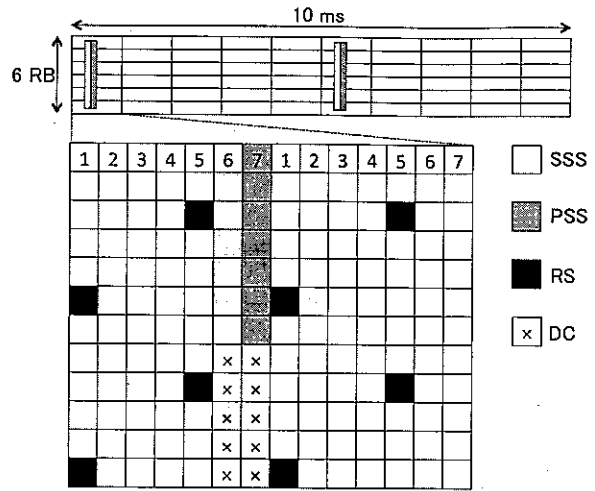


図 2 PSS と SSS のフレーム構造 (FDD)

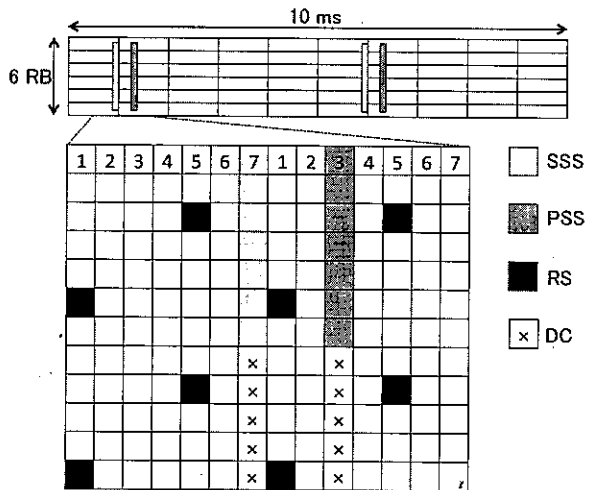


図 3 PSS と SSS のフレーム構造 (TDD)

### 2.3 同期信号

同期信号とは、端末が起動直後に受信する信号である。この信号により周波数及び時間の同期を行う。同期信号には PSS(Primary Synchronization Signal) と SSS(Secondary Synchronization Signal) が存在する。これらの信号は、セルの物理層識別や CP 長を端末に伝え、FDD か TDD のどちらの方式を使うかを端末に知らせる。

PSS と SSS の配置を FDD は図 2 に TDD は図 3 に示す。FDD は Slot 0 と Slot 10 の 6 番目と 7 番目に配置されており、TDD は Slot 1 と Slot 11 の 7 番目と Slot 2 と Slot 12 の 3 番目に配置されている。使用するサブキャリアの本数は DC キャリアを除いた 62 本である。

#### 2.3.1 Primary Synchronization Signal

基地局は固有のセル ID を保持しており、 $N_{ID}^{cell}$  と表記される。さらにこの値は PHY Layer Cell Identity Group( $N_{ID}^{(1)}$ ) と PHY Layer Identity( $N_{ID}^{(2)}$ ) により構成され、504 パターン存在する。表 2 参照。PSS を受信することで基地局は  $N_{ID}^{(2)}$  を識別できる。

表 2 PHY Layer Cell Identity

PHY Layer Cell Identity Group $N_{ID}^{(1)}$	PHY Layer Cell Identity $N_{ID}^{(2)}$	PHY Layer Cell Identity $N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)}$
0	0	0
	1	1
	2	2
1	0	3
	1	4
	2	5
:	:	:
	:	:
	:	:
167	0	501
	1	502
	2	503

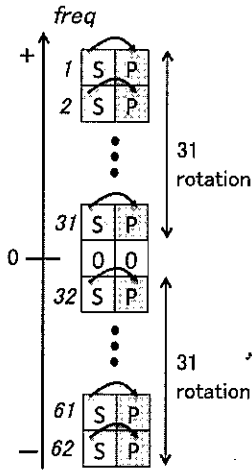


図 4 回転量 (FDD)

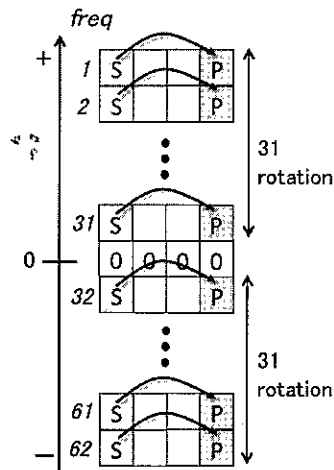


図 5 回転量 (TDD)

### 2.3.2 Secondary Synchronization Signal

SSSを受信することで端末は  $N_{ID}^{(1)}$  を識別することができる。すなわち PSS と SSS を受信して  $N_{ID}^{cell}$  を判別できる。

## 3. 誤差検知法

### 3.1 検知手法

図 4 と図 5 に示す通り、受信後の PSS と SSS に含まれる循環シフトの回転量を用いて、周波数誤差及びサンプリング周波数誤差の検知を行う。高周波数側と低周波数側の回転量の平均値を算出する。

$$HighAvg = \frac{S_1 P_1^* + S_2 P_2^* + \dots + S_{31} P_{31}^*}{31} \quad (1)$$

$$LowAvg = \frac{S_{32} P_{32}^* + S_{33} P_{33}^* + \dots + S_{62} P_{62}^*}{31}$$

各シンボルの低周波数側と高周波数側の中央からのキャリア番号を図 6 に示す。この場合、周波数誤差はキャリア番号に関係なくすべてのキャリアの回転を発生させる。一方、サンプリ

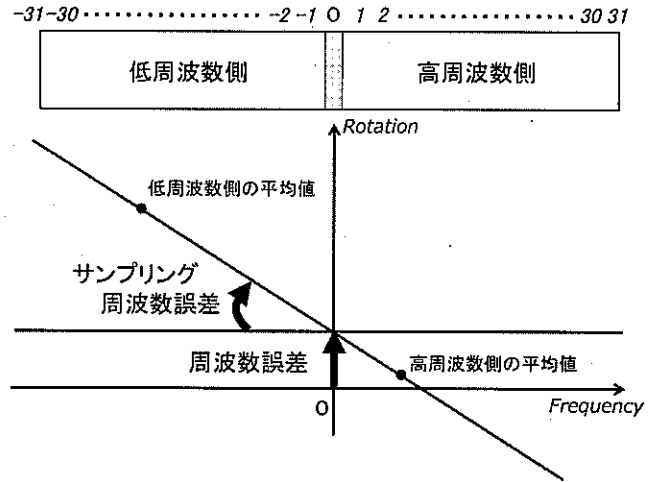


図 6 周波数誤差とサンプリング周波数誤差の関係

ング周波数誤差はキャリア番号に比例して回転を発生させる。つまり、切片により周波数誤差、傾きによりサンプリング周波数誤差が求まる。

そこで、シンボルの低周波数側と高周波数側の平均回転量を用いて、周波数誤差とサンプリング周波数誤差を検出する。

### 3.2 式の導出

周波数誤差を  $\alpha$ 、サンプリング周波数誤差を  $\beta$  とし、 $x$  を回転シンボル長、低周波数側のキャリア番号を  $n$ 、高周波数側のキャリア番号を  $m$  とすると、各平均値は以下ようになる。

$$\begin{aligned} LowAvg &= Ae^{j2\pi(\Delta f)x(1-\beta)} \\ &= Ae^{j2\pi n(\frac{\Delta f}{n f_0})x(1-\beta)} \\ &= Ae^{j2\pi n(\frac{\alpha}{n})(1-\beta)} \cong Ae^{j2\pi n(\frac{\alpha}{n} - \beta)} \\ &= A \cos 2\pi n(\frac{\alpha}{n} - \beta) + j A \sin 2\pi n(\frac{\alpha}{n} - \beta) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} HighAvg &= Ae^{j2\pi(\Delta f)x(1-\beta)} \\ &= Ae^{j2\pi m(\frac{\Delta f}{m f_0})x(1-\beta)} \\ &= Ae^{j2\pi m(\frac{\alpha}{m})(1-\beta)} \cong Ae^{j2\pi m(\frac{\alpha}{m} - \beta)} \\ &= A \cos 2\pi m(\frac{\alpha}{m} - \beta) + j A \sin 2\pi m(\frac{\alpha}{m} - \beta) \end{aligned}$$

上式を用い、回転量の合計値を求める。

$$\tan 2\pi n(\frac{\alpha}{n} - \beta) = \frac{\text{imag}(LowAvg)}{\text{real}(LowAvg)} = LowSum \quad (3)$$

$$\tan 2\pi m(\frac{\alpha}{m} - \beta) = \frac{\text{imag}(HighAvg)}{\text{real}(HighAvg)} = HighSum$$

テイラー展開により、回転量の合計値が近似可能である。

$$2\pi n(\frac{\alpha}{n} - \beta) \cong LowSum \quad (4)$$

$$2\pi m(\frac{\alpha}{m} - \beta) \cong HighSum$$

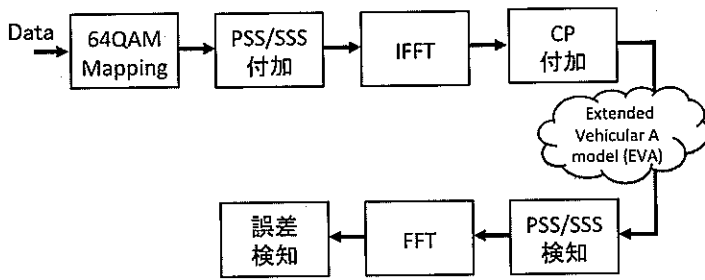


図7 シミュレーションブロック図

表3 シミュレーションパラメータ

変調方式	64QAM
フレーム構造	FDD
FFT サイズ	1024
CP 長	Nomal (1st:5.21,2nd-7th:4.69 (us))
チャンネルモデル	Extended Vehicular A model (EVA)
最大ドップラー周波数	70Hz

表4 Extended Vehicular A model (EVA)

遅延時間 (ns)	パワー (dB)
0	0
30	-1.5
150	-1.4
310	-3.6
370	-0.6
710	-9.1
1090	-7.0
1730	-12.0
2510	-16.9

よって、周波数誤差  $\alpha$ 、サンプリング周波数誤差  $\beta$  が求まる。

$$\alpha = \frac{m \cdot \text{LowSum} - n \cdot \text{HighSum}}{2\pi(m - n)} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{\text{LowSum} - \text{HighSum}}{2\pi(m - n)}$$

#### 4. シミュレーション評価

LTE 規格に準じた送信系及びそれに対応した受信系を MATLAB を用いて作成し評価した。シミュレーションの流れを図7に示す。また、設定した各種パラメータを表3に示し、チャンネルモデルの環境を表4に示す。チャンネルモデルは、3GPP TS 36.104 v9.3.0 に記されたチャンネルモデルである Extended Vehicular A model (EVA) を使用した。[2]

##### 4.1 シミュレーション結果

各シミュレーション結果は、横軸が誤差の値であり縦軸が検出した誤差の値である。傾きが正のグラフとなり、誤差の値を0に近づける処理を行えば、誤差を修正できる。つまり、傾きが正のグラフとなれば、正確に検知できていなくとも誤差修正が可能であるといえる。

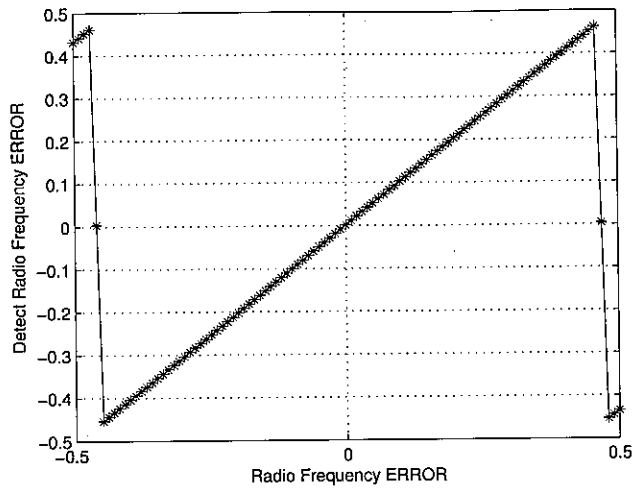


図8 周波数誤差-50~50%(FDD)

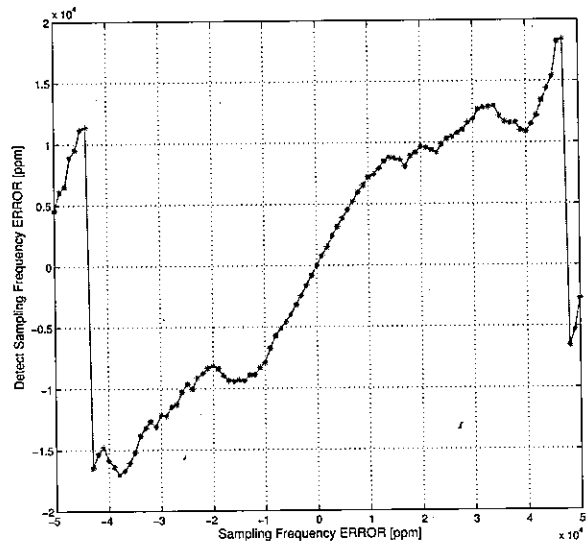


図9 サンプリング周波数誤差-50000~50000[ppm](FDD)

FDD フレームの場合は、図8より周波数誤差の検知幅は-46~46%、図9よりサンプリング周波数誤差の検知幅は-42000~42000[ppm] の範囲であった。TDD フレームの場合は、図10より周波数誤差の検知幅は-16~16%、図11よりサンプリング周波数誤差の検知幅は-26000~28000[ppm] の範囲であった。

これらの結果により、FDD と比較して TDD の検知幅が狭いことがわかる。これは PSS と SSS の配置が関係しており、FDD は PSS と SSS の位置が隣接しているため、より正確な誤差検知が可能になったと考えられる。

#### 5. まとめ

本研究では、LTE の通信時における周波数誤差とサンプリング周波数誤差の検知法を提案した。PSS と SSS の循環シフトの差異の平均値を用いて誤差を推定し、誤差修正が可能である事を示した。

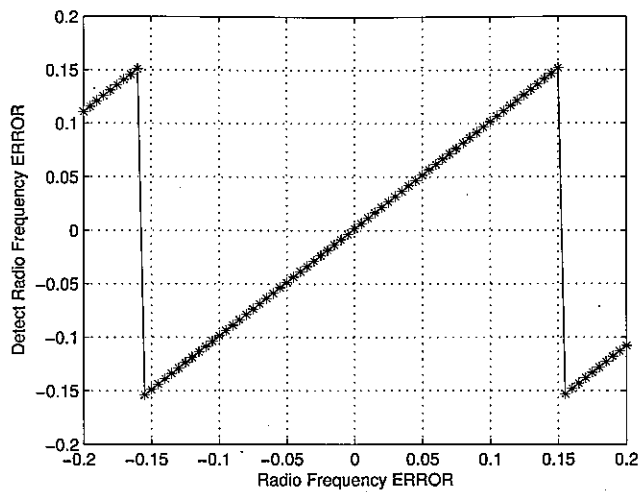


図 10 周波数誤差-20~20[%](TDD)

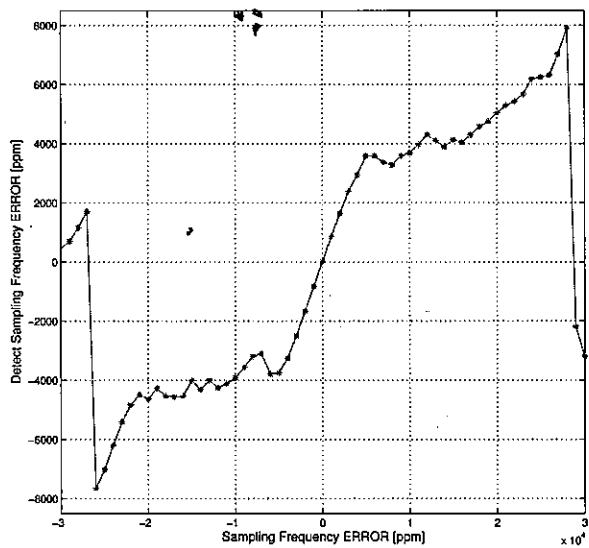


図 11 サンプリング周波数誤差-30000~30000[ppm](TDD)

今回のシミュレーション評価では、FDD 及び TDD フレームの周波数誤差は-46~46[%],-16~16[%]、サンプリング周波数誤差は-42000~42000[ppm],-26000~28000[ppm] の範囲で、検知できたことを確認できた。

#### 文 献

- [1] Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker, LTE-The UMTS Long Term Evolution, Wiley, 2009
- [2] 3GPP, 3GPP TS 36.104 v9.3.0, 3GPP, 2009
- [3] Kiyotaka Ishikawa, Tomohisa Wada, Radio and Sampling Frequency Error Detection Algorithm for Extended Global Platform (XGP), University of the Ryukyus, 2009