

# 次世代PHS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

読に  
研  
や  
す

石川 清貴† 和田 知久†

† 琉球大学工学部情報工学科 〒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 次世代 PHS(Personal Handyphone System) 通信において、高速大容量データ通信を可能にするために OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 伝送方式が使用されている。OFDM 伝送方式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易いという課題がある。本研究では、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、その性能評価を行った。シミュレーションにより、周波数誤差は-2~2[%]、サンプリング周波数誤差は-200~200[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 次世代 PHS(Personal Handyphone System), OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing), 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 Next Generation PHS

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** OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) is a multi-carrier modulation scheme to realize the high speed data communication and large capacity data communication for Next Generation PHS(Personal Handyphone System). 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 error and sampling frequency error detection. Through simulations, we can detect -2~2[%] errors in radio frequency error and -200~200[ppm] errors in sampling frequency error.

**Key words** Next Generation PHS(Personal Handyphone System), OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing), Radio Frequency Error, Sampling Frequency Error

### 1. ま え が き

次世代 PHS はモバイル通信における高速大容量データ通信が可能な次世代無線アクセスシステムである。次世代 PHS は現在の PHS を発展させたシステムであり、上りと下りで同じ周波数を時間に分けて使用する TDD(Time Division Duplex)方式を引き継いでいる。現在の PHS との違いは、データを多数の搬送波に乗せる OFDM 伝送方式を採用している点である。OFDM 伝送方式を使用する事により、多数のサブキャリアを複数のユーザーで共用することが可能となる。

しかし、OFDM 伝送方式は、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易いという課題がある。今回、OFDM 信号のサブキャリア間の干渉を防ぐため、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、その性能評価を行なった。本稿では、2章において次世代 PHS における送受信系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、提案手法の評価を行なう。5章でまとめを行なう。

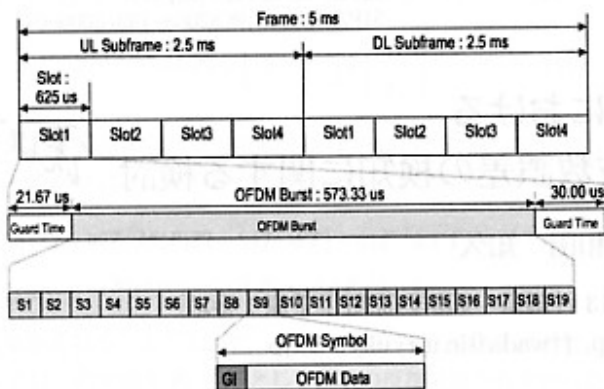


図1 OFDM バーストの構造

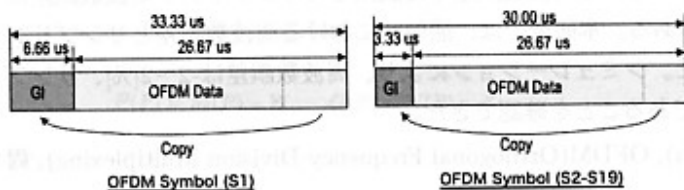


図2 OFDM シンボルの構造

## 2. 次世代 PHS システム概要

### 2.1 OFDM バーストの構造

次世代 PHS では、TDD 方式により 5ms を 2.5ms ずつ上りと下りに分けて利用し、それをさらに 4 つのスロットに分割している。19 の OFDM シンボルを含む OFDM バースト長を 1 スロット 573.33us とし、OFDM バースト間のガードタイムを 51.67us と定義する。OFDM バーストの構造を図 1 に示す。

### 2.2 OFDM シンボルの構造

OFDM バーストには 2 種類の OFDM シンボルがあり、1 種類目 (S1) のシンボル長を 33.33us、2 種類目 (S2-S19) のシンボル長を 30.00us とし、各データ長を 26.67us とする。

OFDM シンボルはガードインターバルとデータ部で構成されている。ガードインターバルとは、OFDM 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。1 種類目 (S1) のガードインターバル長を OFDM シンボル長の 1/4 の 6.66us とし、2 種類目 (S2-S19) を 1/8 の 3.33us とする。OFDM シンボルの構造を図 2 に示す。

### 2.3 フレーム構成

次世代 PHS では TDMA (Time Division Multiple Access) と OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) の双方からなるフレーム構成を用いている。フレーム構成を図 3 に示す。時間軸 (TDMA slot 625us) と周波数軸 (900kHz) に分割されたブロックのことを PRU (Physical Resource Unit) と呼ぶ。上りと下りともに 36 個に分けられ、周波数軸で 9 つの SCH (Sub Channel) に分割される。どれか 1 つの SCH が制御用チャンネルの CCH (Common Control Channel) となり、残りの SCH は個別用チャンネルの ICH (Individual

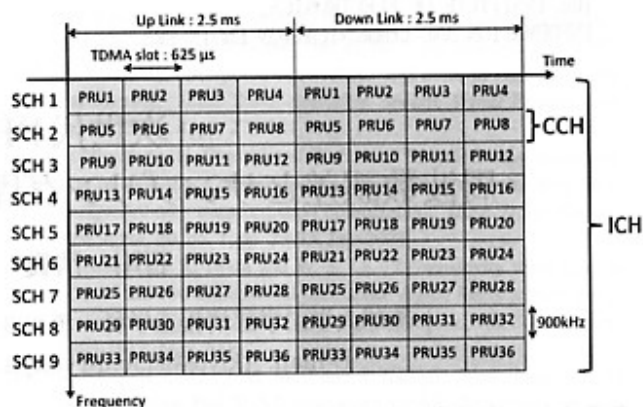


図3 フレーム構成

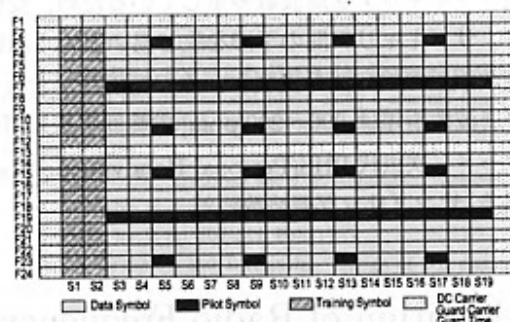


図4 CCH の PRU 構成

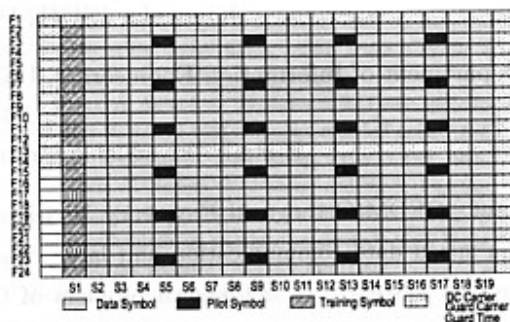


図5 ICH の PRU 構成

Channel) となる。

### 2.4 CCH, ICH の PRU 構成

CCH と ICH で PRU 構成が異なる。各々の PRU 構成を図 4 と図 5 に示す。両方の PRU ともに 24 のサブキャリアで構成されており、1 つのサブキャリアは 19 の OFDM シンボルを含んでいる。19 の OFDM シンボルはデータシンボル、パイロットシンボル、タイミングシンボルに分けられる。CCH は全てのユーザに対しての通信で使用するため、ノイズに強い PRU 構成となっている。ICH は個別ユーザに対して大量の情報を送付するため、パイロットシンボルが CCH と比べ少ない。

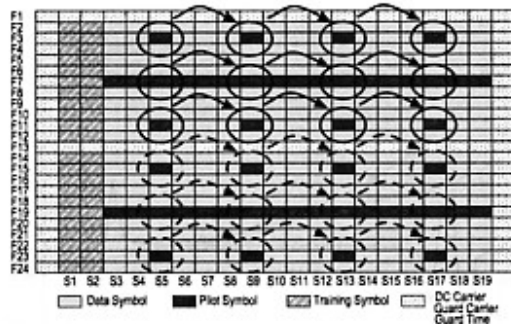


図6 パイロット回転 (CCH)

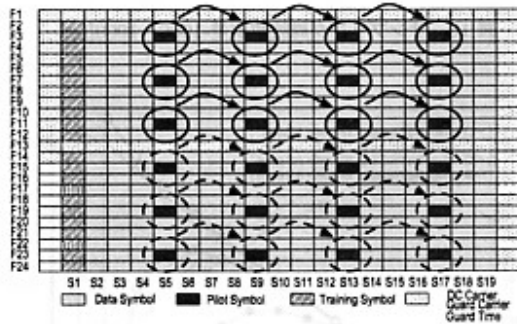


図7 パイロット回転 (ICH)

### 3. 誤差検知法

#### 3.1 検知手法

周波数誤差とサンプリング周波数誤差を検出するために、ICH, CCH の PRU のパイロットシンボルの回転量を用いる。図6と図7を参照。低周波側のサブキャリア (F3, F7, F11) に含まれるパイロットシンボル (S5, S9, S13, S17) の回転量平均と、高周波側のサブキャリア (F15, F19, F23) に含まれるパイロットシンボル (S5, S9, S13, S17) の回転量の平均を計算する。

$$LowRotMean = \frac{p(F3, S5) * p(F3, S9) + \dots + p(F11, S13) * p(F11, S17)}{9} \quad (1)$$

$$HighRotMean = \frac{p(F15, S5) * p(F15, S9) + \dots + p(F23, S13) * p(F23, S17)}{9} \quad (2)$$

各 SCH 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8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、いずれかの SCH を選び、その SCH 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。

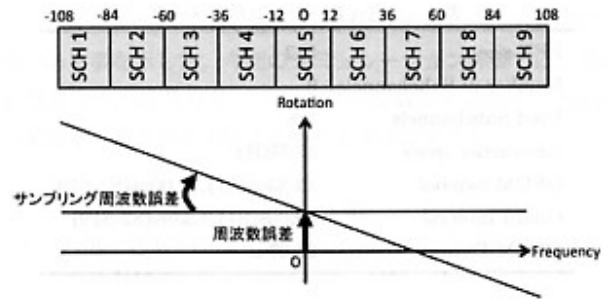


図8 周波数誤差とサンプリング周波数誤差の関係

#### 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、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。各平均値とも以下ようになる。

$$\begin{aligned} LowRotMean &= Ae^{j2\pi(\Delta f)(1+\frac{1}{8})(1-\beta)} T \\ &= Ae^{j2\pi n(\frac{\Delta f}{f_0})\frac{9}{8}(1-\beta)} \\ &= Ae^{j\frac{9}{4}\pi n(\frac{\alpha}{n}-\beta)} \cong Ae^{j\frac{9}{4}\pi n(\frac{\alpha}{n}-\beta)} \\ &= A \cos \frac{9}{4}\pi n(\frac{\alpha}{n}-\beta) + j A \sin \frac{9}{4}\pi n(\frac{\alpha}{n}-\beta) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} HighRotMean &= Ae^{j2\pi(\Delta f)(1+\frac{1}{8})(1-\beta)} \\ &= Ae^{j2\pi m(\frac{\Delta f}{f_0})\frac{9}{8}(1-\beta)} \\ &= Ae^{j\frac{9}{4}\pi m(\frac{\alpha}{m}-\beta)} \cong Ae^{j\frac{9}{4}\pi m(\frac{\alpha}{m}-\beta)} \\ &= A \cos \frac{9}{4}\pi m(\frac{\alpha}{m}-\beta) + j A \sin \frac{9}{4}\pi m(\frac{\alpha}{m}-\beta) \end{aligned} \quad (4)$$

上式を用い、回転量の合計値を求める。

$$\tan \frac{9}{4}\pi n(\frac{\alpha}{n}-\beta) = \frac{\text{imag}(LowRotMean)}{\text{real}(LowRotMean)} = LowSum \quad (5)$$

$$\tan \frac{9}{4}\pi m(\frac{\alpha}{m}-\beta) = \frac{\text{imag}(HighRotMean)}{\text{real}(HighRotMean)} = HighSum \quad (6)$$

テイラー展開により、回転量の合計値が近似可能である。

$$\frac{9}{4}\pi n(\frac{\alpha}{n}-\beta) \cong Lowsum \quad (7)$$

$$\frac{9}{4}\pi m(\frac{\alpha}{m}-\beta) \cong Highsum \quad (8)$$

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。

$$\alpha = \frac{m \cdot Lowsum - n \cdot Highsum}{\frac{9}{4}\pi(m-n)} \quad (9)$$

$$\beta = \frac{Lowsum - Highsum}{\frac{9}{4}\pi(m-n)} \quad (10)$$

表1 シミュレーションパラメータ

FFT size	512
Number of Subchannels	9
Used Subchannels	2ch
Sub-carrier space	37.5KHz
OFDM Symbol	33.33us(S1),30.00us(S2-S19)
Guard Interval	6.66us(S1),3.33us(S2-S19)
OFDM Data	26.67us

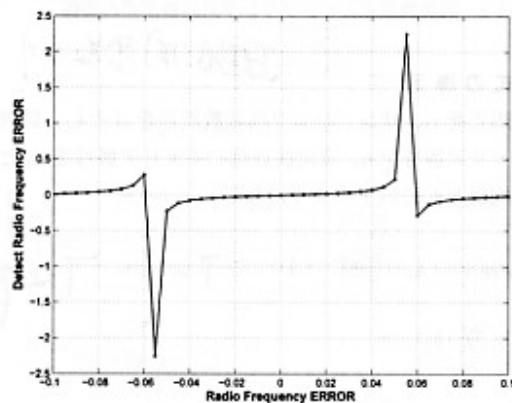


図9 周波数誤差-10~10[%]

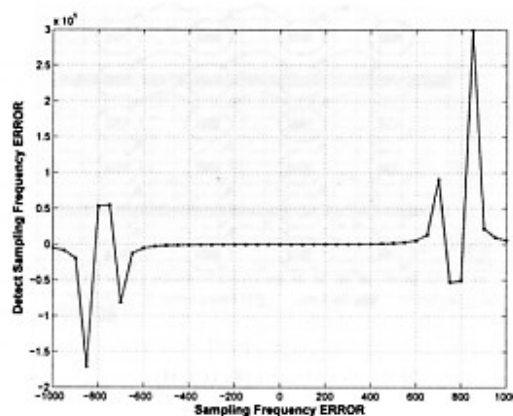


図10 サンプリング周波数誤差-1000~1000[ppm]

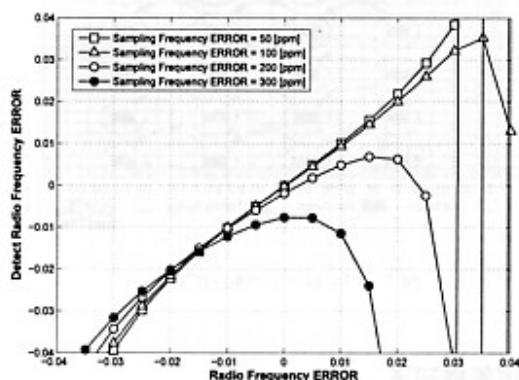


図11 周波数誤差-2~2[%]、サンプリング周波数誤差50,100,200,300[ppm]

## 4. シミュレーション評価

### 4.1 シミュレーション環境及びパラメータ

次世代 PHS 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。設定した各種パラメータを表1に示す。

### 4.2 シミュレーション結果

シミュレーションでは以下の項目に対し評価を行った。

- 周波数誤差, サンプリング周波数誤差の検知限界
- 相互影響の場合の検知限界
- 相互影響及び遅延波, 雑音を含んだ場合の検知限界

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、誤差をなくすることができる。つまり、傾きが正のグラフとなれば、正確に検知できなくとも誤差修正が可能であるといえる。これより、誤差修正が可能な範囲を検知可能領域とする。

#### 4.2.1 周波数誤差、サンプリング周波数誤差の検知限界

図9は周波数誤差のみ、図10はサンプリング周波数誤差のみを与えた場合のシミュレーションである。これらにより、周波数誤差のみが存在した場合の検知可能領域は-5.5~5.5[%]であり、サンプリング周波数誤差のみが存在した場合の検知可能領域は-700~700[ppm]であることが確認できた。

#### 4.2.2 相互影響の場合の検知限界

周波数誤差とサンプリング周波数誤差は互いに影響を及ぼし合う。この項では、周波数誤差とサンプリング周波数誤差が同

時に存在する場合のシミュレーションを行なった。図11に、サンプリング周波数誤差を50,100,200,300と与えた場合の、周波数誤差のシミュレーション結果を示す。サンプリング周波数誤差の値を増やす事により、周波数誤差の検知可能領域が狭くなる。サンプリング周波数誤差が0~200[ppm]の範囲ならば、周波数誤差-2~2[%]で検知可能領域となった。

次に、周波数誤差を-2,0,2[%]と与えた場合のサンプリング周波数誤差のシミュレーションを行なった。結果を図12に示す。これにより、サンプリング周波数誤差は-200~200[ppm]の範囲で検知可能領域となった。

これらの結果により、周波数誤差-2~2[%]及びサンプリング周波数誤差-200~200[ppm]の範囲ならば、相互に影響を及ぼした場合でも検知可能領域となることが確認できた。

#### 4.2.3 相互影響及び遅延波, 雑音を含んだ場合の検知限界

周波数誤差-2~2[%]及びサンプリング周波数誤差-200~200[ppm]の範囲で、遅延波と雑音を付加しシミュレーションを行なった。ガードインターバル長の0.9倍の遅延波1波(2.997us, DUR=0)を含んだ信号に、雑音(CNR=20,10,5)を付加した。図13はサンプリング周波数誤差200[ppm]を与えた周波数誤差-2~2[%]の範囲のシミュレーション結果で、図14は周波数誤差2[%]を与えたサンプリング周波数誤差-200~200[ppm]の範囲のシミュレーション結果である。

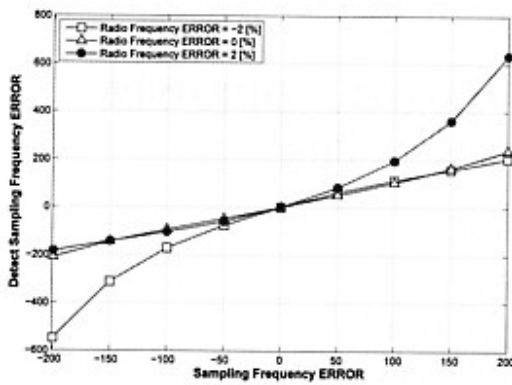


図 12 サンプル周波数誤差-200~200[ppm]、周波数誤差-2,0,2[%]

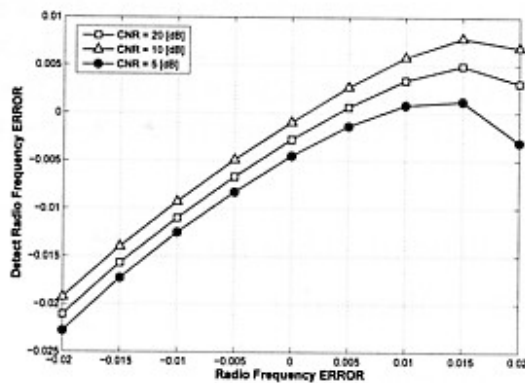


図 13 周波数誤差-2~2[%], サンプル周波数誤差 200[ppm], 遅延波, 雑音

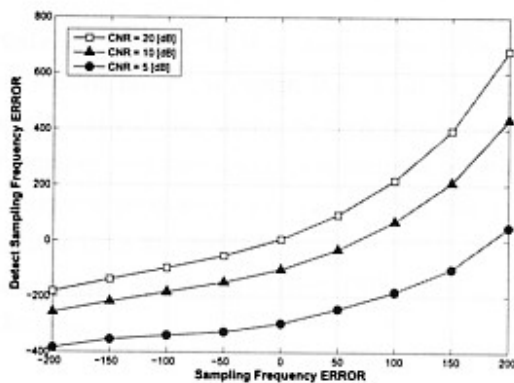


図 14 周波数誤差 2[%], サンプル周波数誤差-200~200[ppm], 遅延波, 雑音

これらの結果より、周波数誤差-2~2[%]及びサンプル周波数誤差-200~200[ppm]の範囲では、遅延波(2.997us, DUR=0)と雑音(CNR=20,10,5)を付加した場合でも検知可能領域となることが確認できた。

## 5. まとめ

本研究では、次世代 PHS の通信時における周波数誤差とサンプル周波数誤差の検知法を提案した。PRU のパイロット

シンボル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ことを示した。今回のシミュレーション評価では、周波数誤差-2~2[%]及びサンプル周波数誤差-200~200[ppm]の範囲で、誤差修正可能であることが確認できた。

## 文 献

- [1] PHS Mou Group, "Next Generation PHS Specifications(Revision3)", Tokyo, 2007
- [2] 伊丹 誠, "デジタル放送/移動通信のための OFDM 変調技術", 株式会社トリケップス, 東京, 1991
- [3] 河内 健, "デジタル通信システムのための MATLAB プログラム事例解説", 株式会社トリケップス, 東京, 2000

① 遅延波  
② 周波数誤差