# マルチキャリアパケット通信に関する研究

043432008 大矢 貴文 小川研究室

# 1 はじめに

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) や MC-SS(Multi-Carrier Spread-Spectrum) で特徴づけら れるマルチキャリア通信システムは,広帯域マルチメディ ア通信を行う上で有望視されている.マルチキャリア通信 では,受信側でシンボル同期と呼ばれる FFT のタイミング を同期させる必要がある. IEEE802.11 a,g 等の OFDM パ ケット通信では,パケットの先端に設けた既知のプリアンブ ルシンボルを用いてシンボル同期が行われる.既知のプリ アンブルシンボルパターンと受信シンボルパターンとの時 間的相関を用いて,シンボル同期タイミングを得ている[1]. そのため、シンボル同期を行うための回路を別に設ける必 要がある.そこで,OFDM 復調用の FFT を用いて,シン ボル同期をおこなう方式が提案されている [2].この方式は, OFDM 復調用の FFT を用いてシンボル同期をおこなうた め,システム構成が簡略化できると考えられる.また,簡易 なランダムアクセス方式である Pure (Unslotted) ALOHA に MC-SS 方式を適用した MC-SS Unslotted ALOHA が 提案されている [3]. この方式は, 簡易なシステムでありな がら,良好なスループット特性を示している。

本研究では,マルチキャリア通信のシンボル同期方式と, MC-SS ALOHA 方式に関する課題として,以下に示すものについて研究を行った.

- 1. シンボル同期方式のマルチパス環境下における特性解 析および特性改善
- 2. シンボル同期方式を OFDM に適用した場合の特性評価
- 3. シンボル同期方式の簡易化の検討
- 4. MC-SS Unslotted ALOHA のスループット特性の解析 による評価
- 5. MC-SS ALOHA に適したアクセス制御方式の検討 本稿では,このうち,1. について述べる.

# 2 システムモデル

#### 2.1 送信回路

マルチキャリア変調されたパケットは,図1に示す回路 により生成される.プリアンブルの付加は,プリアンブル 系列 $d_p$ によって行われる.まず, $d_p$ をS/P変換した系列  $D_p(n)$ を,サブキャリアに一対一でマッピングする.そし て,このシンボルパターンを繰り返し付加する.その後,iシンボル目の入力データ系列 $d_i$ に拡散符号系列c(n)を乗 積しそれぞれのサブキャリアへとマッピングし,データ部 分のシンボルを生成する.そして,プリアンブルの付加さ れたパケットとして伝送路へと送信される.データ部分は BPSKを想定し, $d_i = \{1, -1\}$ とする.ここで,プリアン ブルのシンボル長は,累算回路(Accumulator)において累 算する回数により決める.

## 2.2 受信回路

受信回路においては、シンボル同期回路により、シンボ ル同期タイミングを検出する.そしてシンボル同期回路か ら得た同期タイミングに基づき、データ部分の復調を行う。 同期検波時における、初期位相は既知のプリアンプルを利



MAX V

÷

図 2: シンボル同期回路

用して得ることが可能である.データ部の復調は,MC-SS の場合,FFT 出力に拡散符号系列を乗積し,それらを足し あわせて復調を行う.MC-SS では,周波数ダイバシチ効果 により,OFDM 変調方式より低 C/N 環境下においても良 好な BER 特性を示す.このため,低 C/N においても正確 にシンボル同期を行う必要がある.

### 2.3 シンボル同期回路

シンボル同期回路を図 2 に示す.シンボル同期回路では, 受信信号はローカルに発生した直交搬送波によって直交復 調される.直交復調されたベースバンド信号は任意のタイ ミングで直列-並列変換され,FFT 回路に入力される.そ の後,移相器バンクにより,全てのタイミングのFFT 出力 を得て,図3で示す相関回路により相関値を算出する.相 関回路では,I-ch,Q-chを別々に処理する.まずそれぞれ プリアンブル系列の共役複素数を乗積する.その後,それ らを足しあわせ,累算回路に入力する.累算回路で所定回 数累算を行った後,その相関値の中で最大値を持つタイミ ングを同期タイミングとして検出する.なお,1シンボル 期間でシンボル同期を行う場合は累算0回と定義する.2 波のマルチパス環境下において,タイミング $k_0$ の相関値  $F_{k_0}$ は次式のように表される.

$$F_{k_0}(n) = \left| \sum_{m=0}^{M} \left[ \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\frac{2\pi}{N}nk_0} + \rho \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\frac{2\pi}{N}(k_0-\tau)} \right] \right|$$



図 3: 相関回路

$$= \begin{cases} (M+1)N & (k_0 = 0) \\ \rho(M+1)N & (k_0 = \tau) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$
(1)

ただし, N はサブキャリア数を表し, ρ は先行波と遅延波 の振幅比, τ は遅延波の遅延時間であり, M は累算回数で ある.この相関値の値より,先行波および遅延波のタイミ ングの相関値の確率分布はライス分布,それ以外のタイミ ングの相関値の確率分布はレイリー分布に従うことから, 誤検出確率を解析的に求めることが可能である.

### 3 特性評価

#### 3.1 数值例

ここでは,誤検出確率により特性を評価する.誤検出と は,正しいタイミング(先行波のタイミング)以外のタイミ ングを検出した場合に相当し,遅延波のタイミングを検出 した場合も誤検出となる.図4に2波のマルチポス環境下 を想定し,DUR= $1/\rho^2=5$ [dB]とした場合のC/Nに対する 誤検出確率を示す.実線が解析結果であり,がシミュレー ション結果である.累算2回では,3シンボル分のFFT出 力を用いてシンボル同期を行うため,約4.7[dB]の利得が あることがわかる.同様に,累算4回では約7[dB],累算 6回では約8.5[dB]の利得があることがわかる.プリアン プル長が長くなる問題点はあるが,累算をおこなうことに より,マルチパス環境下においても大幅な特性の向上を実 現することが可能である.

つぎに,2波のマルチパス環境下を想定し,DUR=5[dB] とし,遅延波のタイミングも正しいとした場合のC/Nに 対する誤検出確率を図5に示す.図5の結果は,遅延波が 存在しない環境下での特性とほぼ一致している.したがっ て,マルチパス環境下においても良好な特性を有している ことがわかる.

# 4 まとめ

マルチパス環境下においてシンボル同期方式の特性評価 を行った.その結果として,本シンボル同期方式がマルチ パス環境下においても良好な特性を有していることを示し た.したがって,移動体かを含むマルチキャリアパケット 通信において,本シンボル同期方式は有望な方式であると 考えられる.



図 4: マルチパス環境下における C/N に対する誤検出確率



図 5: マルチパス環境下における C/N に対する誤検出確率 (遅延波のタイミングも正しいとした場合)

#### 参考文献

- K.W.Yip, Y.C.Wu, and T.S.Ng, "Timing-synchronization analysis for IEEE 802.11a wireless LANs in frequencynonselective rician fading environments," IEEE Trans. Wireless Commun., vol.3, no.2, pp.387-394, Mar.2004.
- [2] S.Goto, and A. Ogawa, "A symbol synchronizer for multicarrier spread-spectrum systems," IEICE Trans. Fund., vol.E-85-A, no.12, pp.2881-2885, Dec. 2002.
- [3] K.Adachi, and A.Ogawa, "Performance characterization for MC-SS packet communications", ISSSTA2004, pp310-315,Aug.2004

#### 研究業績 (本人発表分)

- IEICE ワイドバンドシステム研究会 2004.6
- 平成 16 年度電気関係学会東海支部連合大会 2004.9
- International Symposium on Information Theory and its Applications(ISITA2004) 2004.10
- 第 27 回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2004)
  2004.12
- 2005 年電子情報通信学会総合大会 2005.3
- IEICE ワイドバンドシステム研究会 2005.6
- 平成 17 年度電気関係学会東海支部連合大会 (奨励賞受賞) 2005.9
- IEICE ワイドバンドシステム研究会 2005.10
- 第28回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2005) 2005.11