

プリアンブルレス OFDM における位相オフセット補正に関する検討

A Phase Offset Compensation Method for Preambleless OFDM

奥井 寛樹
Hiroki OKUI

鈴木 誠
Makoto SUZUKI

石田 繁巳
Shigemi ISHIDA

森川 博之
Hiroyuki MORIKAWA

東京大学 先端科学技術研究センター / Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

1. はじめに

FA (Factory Automation) 用制御ネットワークは、 $250\mu\text{s}$ 程度の短い制御周期内において多数の端末が送受信を完了する必要があり、その無線化に向けてはプリアンブルの削減によるフレーム利用効率向上が有効である。筆者らは、送信等化及び累乘法 [1] による NDA (Non-Data-Aided) 位相オフセット補正手法を用いた上りプリアンブルレス OFDM システムを提案し、実装評価を行っている [2]。本稿では、本 NDA 位相オフセット補正手法の DA (Data-Aided) 手法 [3][4] に対する有効性を示す。加えて、本手法が有効な条件を同期誤差精度及び信号対雑音比の観点から明らかにする。

2. 累乘法による NDA 位相オフセット補正の有効性検討

プリアンブルを用いたコヒーレント復調を行う従来の OFDM では、CP (Cyclic Prefix) を用いているためにタイミング同期精度の要求が低い。OFDM では遅延波による ISI (Inter-Symbol Interference) を回避するために、GI (Guard Interval) として CP が挿入されている。そのため、図 1 に示すように前シンボルの遅延波及び次シンボルとの ISI が無い範囲 (図 1 の A) を FFT 開始点とすれば、特性劣化なく復調することが可能である。

これに対して、送信等化を用いたプリアンブルレス OFDM では、タイミング同期精度の要求が高くなる [5]。受信機で等化を行わない場合には、ISI が無い範囲 (図 1 の A) においても STO (Symbol Timing Offset) に比例した累進位相回転 (Progressive Phase Rotation: PPR) が生じ (図 1 の b 下)、位相雑音耐力の低下及びシンボル判定誤りに伴う特性劣化が生じるためである。

PPR を復調時に補正することで、タイミング同期精度の要求を緩和することができる。PPR 補正手法には、パイロットサブキャリア (以下パイロットとする) を用いた DA [3][4] と、累乘法を用いた NDA [2][6] の 2 種類がある。

タイミング同期精度が低い場合には、NDA は DA より有効である。DA を用いて 802.11a と同等の諸元を持つプリアンブルレス OFDM を復調するには、(最大 STO/50 ns) \times 2 本のパイロットが必要になる [3]。これに対して、NDA は M 次 PSK を用いている場合は (最大 STO/50 ns) \times $2M$ 本のデータサブキャリアにより補正が可能であり、パイロットは必要ない。上りプリアンブルレス OFDM システムでは下りプリアンブルレス OFDM の復調時に得られたタイミングを元に上り TDMA の信号送出タイミングを決定するため、残留標準化周波数オフセット及び下り上り信号送出間隔が大きい場合に大きな STO が生じる。このため、DA を用いる場合

には多くのパイロットを挿入する必要が生じる。

しかしながら、タイミング同期精度が高い場合には、NDA の DA に対する有効性は小さくなる。特に、以下の 2 つの理由により、低 SNR 時には NDA より DA の方が有効である。累乘法を用いて M 次 PSK の位相オフセットを推定する場合、位相分枝を正確に決定できる位相範囲が DA に比べて $1/M$ になる。また、PPR 補正では位相アンラップが必要となるが、NDA における位相連結回数は DA の M 倍であり、位相連結誤りが生じる確率も M 倍に増加する。

3. 有効条件の評価

MATLAB シミュレーションにより、CNR 及び STO をパラメータとして PER 特性の評価を行った。諸元は 802.11a に従い表 1 とした。DA のパイロット数には 4, 8, 12 を選択し、各パイロットに対し [4] の手法に加え位相アンラップ及び線形回帰を行うことで PPR を補正した。NDA では全てのデータサブキャリアを用いて PPR 補正を行った。図 2 では CNR=15 dB における STO 依存性、図 3 では STO=0 における CNR 依存性を評価した。図 2 より、DA を用いて NDA と同等の STO 耐性を実現するにはパイロットが 12 本必要であるが、ISI が生じる STO > 2 では DA の方が特性が良い。また図 3 より、CNR < 10 dB では DA の方が特性が良いが、劣化は軽微である。

表 1 諸元

チャンネルモデル	HIPERLAN2C
搬送波周波数	5.31 GHz
標準化周波数	20 MHz
サブキャリア数	52 (/64)
GI	0.8 μs
変調方式	QPSK/OFDM
符号化率	1/2
復号法	硬判定ビタビ復号

4. おわりに

本稿では、プリアンブルレス OFDM の実現に向けて、累乘法を用いた NDA 位相オフセット補正手法はタイミングオフセット耐性が高く、低 SNR でも有効であることを示した。

参考文献

- [1] A. Viterbi et al., "Nonlinear estimation of psk-modulated carrier phase with application to burst digital transmission," IEEE Trans. Info. Theory, 1983.
- [2] H. Okui et al., "Demo: Preambleless tdd/tdma ofdm System for Real-Time Wireless Control Networks," Proc. ACM SenSys, 2012.
- [3] B. Yang et al., "Timing recovery for ofdm transmission," IEEE J. Select. Areas Commun., 2000.
- [4] A.I. Bo et al., "Symbol synchronization technique in cofdm systems," IEEE Trans. Broadcasting, 2004.
- [5] L. Da-wei et al., "Impact of timing error on ber performance of tdd pre-equalized ofdm systems," Proc. IEEE Symp. PIMRC, 2004.
- [6] D. Lee et al., "A new symbol timing recovery algorithm for ofdm systems," IEEE Trans. Consumer Elec., 1997.

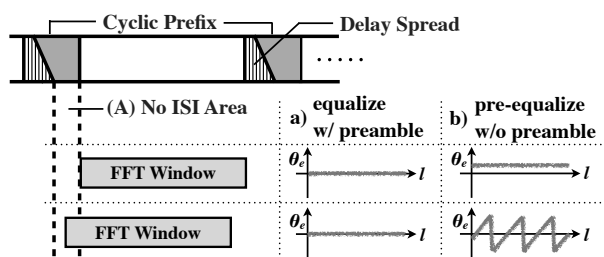


図 1 タイミングオフセットと位相オフセットの関係

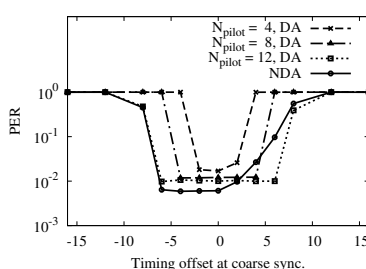


図 2 STO 対 PER

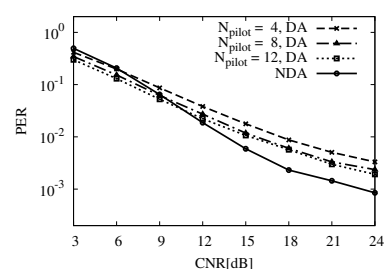


図 3 CNR 対 PER