

OPEN STM Tips

DOCSIS 3.1 OFDM物理チャンネル仕様

1. 背景・目的

DOCSIS3.1は、DOCSISの下り伝送容量を10Gbps、上りを2Gbpsまで拡張する目的で策定された技術規格である。

本Tipsでは、DOCSIS3.1から導入されたOFDM物理チャンネル仕様に関する技術文献の抜粋・抄訳により、OFDM変調方式の理解を促進する事を目的とする。

2. 対象読者

CATV事業者、システムインテグレーター、CATVシステム設計者

3. 参考文献・関連文書

文献名：“A Closer Look at DOCSIS3.1’s OFDM PHY Link Channel”

書籍名：[Broadband Library Spring 2021](#) P20~21

執筆者：Ron Hranac, Technical Editor, Broadband Library

4. その他

本Tips中の図表番号につき、参考文献・関連文書からの抜粋には原文の番号をそのまま流用、一方で独自に作成した図表には”Tips-*”の形式で番号を付与した。

5. 最終更新日

2021年10月26日

OPEN STM Tips

DOCSIS 3.1 OFDM物理チャンネル仕様

6. 詳細

DOCSIS3.1の下りOFDM(直交周波数分割多重)信号は、最小24MHz幅から最大192MHz幅のチャンネル幅で、4096QAM(オプションとして8192QAMと16384QAM)までの様々な変調次数をサポートする。

スペアナ上で見た場合、OFDM包絡線は一見、従来の6MHz幅のSC-QAM(単一搬送波直交振幅変調)包絡線の幅が広がったように見える。

スペアナのRBWとビデオフィルターを調整後に平滑化すると、OFDM信号の包絡線の上部に立つ複数の小さな突起を観察できる(Figure1)。

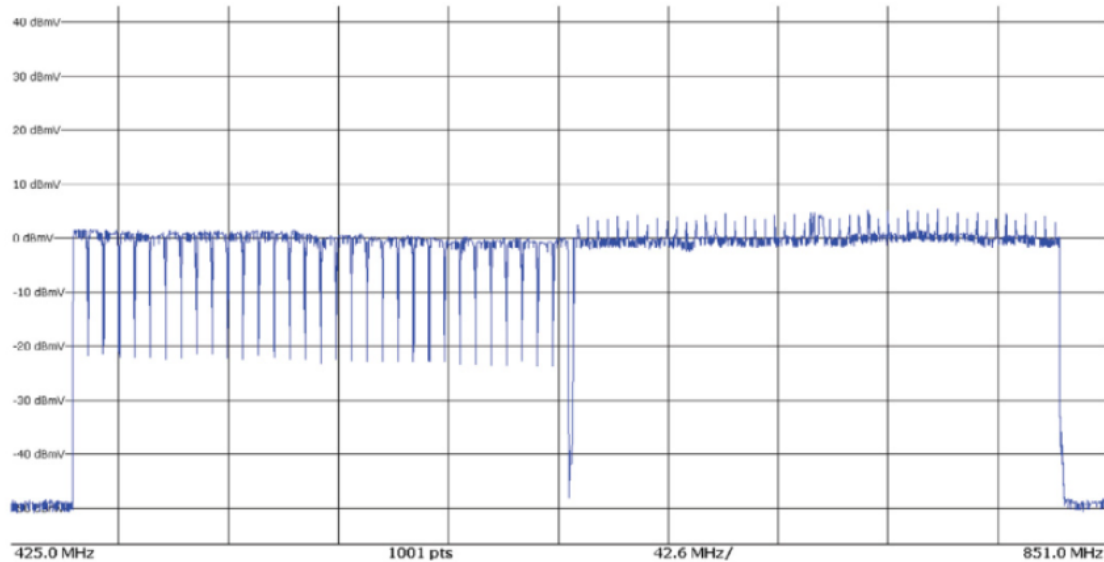


Figure 1. Spectrum analyzer screen shot showing 6 MHz-wide SC-QAM signals (left half of display) and a 192 MHz-wide OFDM signal (right half of display). The “spikes” sticking up above the top of the OFDM signal are continuous pilots.

Figure1の左半分は6MHz幅のSC-QAM信号が多数並んだもの、右半分は192MHz幅の単一OFDM信号である。

OFDM信号の包絡線上の各突起は連続パイロット(Continuous Pilot)と呼ばれ、OFDM伝送方式における周波数・位相のトラッキング目的に使われる。連続パイロットはOFDM信号を通して配信され、単一OFDM信号中では各々常に同じ周波数上に定在し、他の副搬送波(subcarrier)に比較すると信号レベルが6dB高い。

単一OFDM信号中には16から128の連続パイロットを任意の周波数上に配置できる。

連続パイロットは疑似乱数を入力としてBPSK(二位相偏移変調)変調したものであり、実データは運ばない。

Figure1では散乱パイロット(Scattered Pilot)が見えない点に留意されたい。散乱パイロットは異なる周波数位置・シンボル上に発生し、周波数X軸の正の方向に副搬送波単位でシンボル毎にシフトする。この結果散乱パイロットは全副搬送波上を128シンボル周期で回訪する。散乱パイロットも連続パイロット同様に6dBの信号ブーストがなされている。散乱パイロットはチャンネル周波数応答特性の自律的な把握&補正(Equalization)用途に使われる。連続パイロット同様、散乱パイロットもデータを運ばない疑似乱数を入力としたBPSK変調信号である。

Figure1の連続パイロットを目を凝らして見ると、OFDM信号の中心近くに小さなパイロットの塊が存在するが、これが物理層リンクチャンネル即ちPLC(PHY Link Channel)の配置状態である。

OPEN STM Tips

DOCSIS 3.1 OFDM物理チャンネル仕様

PLCは400kHz幅、雑音・歪耐性に優れた16QAM変調信号であり、スペースに応じて8又は16の副搬送波を伴う。PLCは6MHz幅のPLCバンドの中心に配置される。PLCバンドは通常データ伝送用副搬送波と特定パターンの連続パイロット群により構成される (Figure2)。

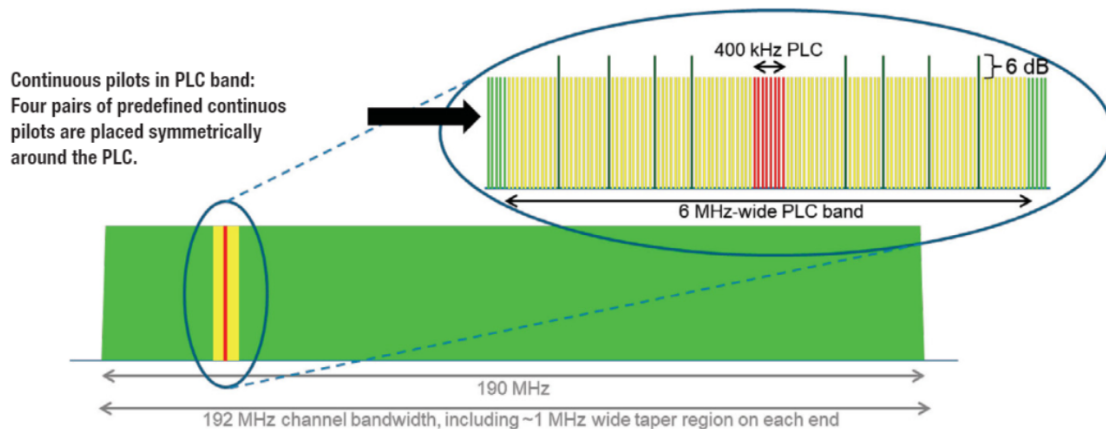


Figure 2. A graphic illustrating details in the 6 MHz-wide PLC band (yellow) and 400 kHz-wide PLC (red). Note the special pattern of eight continuous pilots surrounding the PLC. These are used by cable modems to determine where the PLC is located within the OFDM signal.

PLCを取り巻く特定パターンの連続パイロット群は、OFDM信号中のPLCの配置場所(周波数)をCMが特定するために使われる。Figure2ではPLCの左右に各々4、合計8つの連続パイロットが対称形に配置されている。

性質上PLCは、OFDMチャンネル中で最も雑音・歪等の影響を受けにくい周波数帯域に配置する事が望ましい。PLC周波数はCATV事業者が任意の位置に割り当てる事ができる。

多くのCATV事業者がPLCをCMTSのデフォルト設定のまま運用しているが、時によってはこの安易なデフォルト設定が思わぬ通信の不安定を生じる場合がある。というのはPLCが雑音・歪により過度の影響を受けると、DOCSIS3.1CMはPLCが配信するデータを受信・デコードできなくなり、3.1モードで動作不能となる。このためPLCは、飛び込みの可能性の少ない周波数に配置すべきであり、少なくとも地デジやLTE帯域の中に配置すべきではない。

PLCはOFDMチャンネル中ではある意味最も重要な帯域であり、伝送が阻害されるとCMがDOCSIS3.1の物理パラメータ(下り変調プロファイルとOFDMチャンネル情報)を取得できずに通信不能となるので要注意である。

CM動作の安定性向上を目指すのであれば、PLCの各指標(PLC中心周波数とPLCバンド内の連続パイロットの状態等)を定常的に監視する運用方式を検討すべきである。

OPEN STM Tips

DOCSIS 3.1 OFDM物理チャンネル仕様

✓ PLC Level -2.5 dBmV	✓ PLC MER 40.7 dB	✓ PLC CWE Corr 0.0	✓ PLC CWE Uncorr 0.0
✓ NCP CWE Corr 0.0	✓ NCP CWE Uncorr 0.0	✗ A CWE Corr 2.0e-2	✓ A CWE Uncorr 0.0
✓ Level (Avg) -3.3 dBmV	✓ Level (Max) -2.7 dBmV	✓ Level (Min) -5.2 dBmV	⚠ ICFR 5.5 dB
✓ MER (Avg) 41.3 dB	✓ MER (Std Dev) 0.7 dB	✓ MER PCTL (2) 39.5 dB	✓ Echo -39.5 dBc

- PLC level: -2.5 dBmV
- PLC MER: 40.7 dB
- PLC correctable codeword errors: 0
- PLC uncorrectable codeword errors: 0

Figure 3. DOCSIS 3.1 field meter measurement of a 96 MHz-wide OFDM signal. The measured PLC parameters are in the top row.

Figure3はDOCSIS3.1準拠OFDM信号用フィールドメーターの表示例であり、PLCを含む96MHz幅OFDM信号を解析している。

Figure3では受信レベルが-2.5dBmV(規格上は-15dBmV以上)、MER (Modulation Error Ratio) が40.7dB(規格上は15dB以上)、collectable/uncollectable errors が0である。

OFDM運用では、**PLCのuncollectable errors**が常に0となる状態を目指すべきである。

以上