

ケーブル モデムの価値を向上させる 16-QAM の実装

目次

[概要](#)

[利点](#)

[目標と事前設定](#)

[ゼロスパンでのアップストリーム搬送波](#)

[16-QAM の設定に関する考慮事項](#)

[アップストリーム バースト](#)

[変調プロファイル](#)

[16-QAM アップグレードの成功を最大にする手順](#)

[提案事項と推奨事項](#)

[その他の要点](#)

[要約](#)

[最終的な注意事項](#)

[補足](#)

[ダウンストリーム 256-QAM](#)

[マイクロリフレクション](#)

[付録](#)

[参考資料](#)

[関連情報](#)

概要

データオーバーケーブル サービス インターフェイス仕様 (DOCSIS) 1.x Radio Frequency Interface Specification は、次の 2 種類のケーブル ネットワーク アップストリーム変調フォーマットをサポートしています。4 位相偏移変調 (QPSK) と直交振幅変調 16 (16-QAM)。どちらも cable modem (CM; ケーブル モデム) から cable modem termination system (CMTS; ケーブル モデム ターミネーション システム) ヘデータを伝送するのに使用される変調方式です。DOCSIS ケーブル モデムの大部分の導入においては、まず QPSK から開始され、そのまま QPSK の使用が継続されますが、その理由の一部としては、過酷な状況となることが多いアップストリームの無線周波数 (RF) 環境でのこの変調フォーマットの堅牢性が挙げられます。ただし、QPSK から 16-QAM へ切り替えることで、未加工のアップストリーム データ スループットを少なくとも 2 倍にすることが可能です。表 1 は、DOCSIS 1.x のアップストリーム チャネル パラメータとデータ スループットを要約しています。

表 1 : DOCSIS 1.x のアップストリーム データ伝送

チャネル RF 帯域幅	シンボル レート	QPSK 未加工データ レート	QPSK 公称データ レート	16-QAM 未加工データ レート	16-QAM 公称データ レート
-------------	----------	-----------------	----------------	-------------------	------------------

MHz	Msym/秒	Mbps	Mbps	Mbps	Mbps
0.2	0.16	0.32	~0.3	0.64	~0.6
0.4	0.32	0.64	~0.6	1.28	~1.1
0.8	0.64	1.28	~1.1	2.56	~2.2
1.6	1.28	2.56	~2.2	5.12	~4.4
3.2	2.56	5.12	~4.4	10.24	~9.0

このドキュメントは、16-QAM の実行に関する一般的な誤解や現実を取り上げ、アップストリームパスに 16-QAM を使用することで既存のケーブル モデム展開の価値を高めることに焦点を当てています。また、QPSK から 16-QAM への移行に関する、現場で実証済みのガイドラインも含まれています。

このドキュメントは、変調プロファイルを取り上げる前に、目標と事前設定を説明しています。変調プロファイルのセクションは、一部のパラメータを、さらには 16-QAM 用にこれらを最適化する方法を取り上げています。最後にいくつかの推奨事項と考慮事項を説明して、このドキュメントを終了します。

今日、16-QAM のインストールはそれほど多く導入されていないと思われていますが、その理由を次に示します。

1. CMTS では 16-QAM を処理できない。
2. Outside プラントのノイズが多すぎてサポートできない。
3. 必要な作業と準備が多すぎる。
4. スループットが不要である。
5. QPSK はピアツーピア サービスの自然な「ボトルネック」として使用される。
6. パケットをさらに多く許可すると CMTS の CPU に過負荷が発生する可能性がある。

実際には、16-QAM が数年間に渡り使用されているケーブル システムはかなりの数存在します。DOCSIS 準拠の hybrid fiber-coaxial (HFC; 光ファイバ/同軸ハイブリッド) ケーブル ネットワークは、16-QAM で正常に動作します。この場合、ベイで入力を維持するには若干の配慮が必要であり、メンテナンスとトラブルシューティングの実行ではさらに若干の注意が必要になりますが、いずれにせよどちらも実行する必要がある操作です。

DOCSIS は、どの変調方式を使用しているか、アップストリーム carrier-to-interference ratio (CNR; 搬送波対雑音比)、搬送波対入力比、および搬送波対干渉比が少なくとも 25 dB となる必要があると規定しています。QPSK は、さらに低い CNR でも確実に稼働できますが、実際の値は、ケーブル モデムのベンダーの設計はもちろんのこと、障害の種類や使用する forward error correction (FEC; 前方誤り訂正) の量によっても異なります。16-QAM は、QPSK と同じ bit error rate (BER; ビット エラー率) を実現するのに約 7 dB 超の CNR を必要とします。ケーブル ネットワークのアップストリームがノイズ、入力、および干渉に対して DOCSIS 指定の 25 dB を満たすかこれを超える場合、少なくともこれらの特定のチャンネル内障害に関しては、十分な余裕を持って確実に 16-QAM が動作できます。

今日、お客様が使用するサービスに対しては、理解、管理、促進、および課金が必要です。「パイプ」が大きくなって、お客様がそのパイプを使用する場合、適切な課金が導入される必要があります。さらに多くのパケットの処理が必要な場合、CMTS の CPU 使用率が増える可能性があることは事実です。これが CPU とメモリのアップグレードの実行が必要であることの理由で、結果的に増分のキャッシュフローを改善することになり、大多数の場合はアップグレードのコストを相殺します。

利点

ケーブル ネットワークのアップストリームパスにおける 16-QAM の使用には、次のように多くの利点があります。

- 次のようなサービスに対するお客様の要求を充足するのに必要な高いスループット。Voice over IP (VoIP) Service Level Agreement (SLA; サービス レベル契約) Kazaa や Napster などの Peer-to-peer (P2P; ピアツーピア) サービス
- 16-QAM では、少なくとも 2 倍となる高いデータ スループットが可能であるため ([表 1](#) を参照)、アップストリームパスに対するさらに多くの顧客の登録。16-QAM はスペクトル効率も優れています。「パイプ」を大きくするたびに、コリジョンと「ブロッキング」の可能性が低くなり、より高いオーバー サブスクリプションが可能になります。
- 最大の利点は、追加的なハードウェア コストが発生しない点です。CPE と CMTS (DOCSIS 認定または有資格の場合) は、ソフトウェアまたは簡単な設定修正によって QPSK から 16-QAM へ変更可能です。CMTS の CPU またはメモリのアップグレードの選択は可能であり、これを実行することが推奨されますが、16-QAM のサポートは必ずしも必須というわけではありません。

目標と事前設定

このセクションは、目標と一部の事前設定について説明しています。通常と同様に、設定を確認することで後で発生する問題を回避することが可能になります。16-QAM の導入に成功するには、次の重要な領域に対する注意が必要です。

- CMTS の設定
- 16-QAM 向けに最適化された変調プロファイル
- ケーブル ネットワーク全体 (ヘッドエンド、配信ネットワーク、およびサブスクリバ ドロップ) が DOCSIS 準拠であること
- アップストリームの中心周波数の選択
- ネットワーク メンテナンスとサブスクリバ ドロップのインストール方法

16-QAM の信頼性の高い動作を実現する方法は、プラントを確実に DOCSIS 準拠にすることです。

物理レイヤの問題以外に、正しい CMTS 設定を理解して実装する必要もあります。発生する問題の約 60 % は物理プラントが原因である可能性があり、20 % は設定やハードウェアの問題が原因の可能性もあります。

Cisco 最新 IOS® ソフトウェアコードを実行することは絶対必要です。Cisco IOS ソフトウェア EC Train は DOCSIS 1.0 認定であり、Cisco IOS ソフトウェア BC Train は DOCSIS 1.1 認定です。また、必ず Cisco MC16C、MC16E、MC16S、MC28C などの比較的新しい CMTS ラインカードか、最新世代のカードである MC16U/X、MC28U/X、および MC5x20S/U を使用するよう to してください。

ケーブル ネットワークのメンテナンスには、スペクトル アナライザ、スイープ機器、プロトコル アナライザなど、適切なツールを使用します。[図 1](#) は、一般的に入手可能なケーブル テスト機器を示しています。

図 1：ケーブル テスト機器

さまざまな測定に使用されるツールの能力と機能はそれぞれ異なります。HP/Agilent のスペクト

ルアナライザは、CATV 業界で広く使用されています。スペクトルアナライザは、信号振幅、CNR、および入力と common path distortion (CPD; 共通パス歪み) などの障害の周波数領域測定に使用されます。大部分の振幅測定は、広いダイナミックレンジを簡単に表示するために、対数目盛を使用して実行されます。周波数領域のスペクトル分析では、これが非常に便利です。

スイープ機器は、稼働している周波数範囲全体におけるケーブル ネットワークの周波数応答 (信号振幅特性対周波数) の特性を示すために使用されます。また、アンプと他のアクティブなデバイスのアライメントにも使用されます。

もう 1 つの重要なテスト機器は、DOCSIS プロトコルアナライザです。Cisco では、uBR シリーズ ルータにケーブル モニタと呼ばれる機能を組み込んでいます。CMTS コマンドが設定され、Ethereal が稼働する PC にトラフィックがルーティングされると、DOCSIS ヘッダーのデコードおよびパケットに関する情報の提供が可能になります。Ethereal は、複数のプラットフォームで使用できる無償のオープン ソース sniffer プログラムであり、www.wireshark.org にあります。[Sigtek は、スタンドアロンの DOCSIS プロトコルアナライザを製造していますが、これは非常に強力で、Ethereal が組み込まれています。Sigtek のプロトコルアナライザは、アップストリームコンステレーション表示や modulation error ratio \(MER; 変調誤差比 \) などの、物理レイヤ測定機能を搭載しています。](#)

デジタルの長所は、機能するかどうかははっきりしているところです。forward error correction (FEC; 前方誤り訂正) が余裕を提供しますが、理論上、これはおよそ 2 ~ 3 dB に過ぎません。QPSK は確実な動作に約 14 dB の最小 CNR を必要としており、16-QAM は約 21 dB の最小 CNR を必要としています。DOCSIS Radio Frequency Interface Specification は、すべての変調方式に対し、最小 25 dB のアップストリーム CNR を推奨しています。Cisco の最新世代のラインカードは、入力取り消しなどの高度な physical sublayer (PHY; 物理サブレイヤ) テクノロジーを備えています。[図 2](#) はスペクトルアナライザの表示で、すべてのサブスクライバドロップ接続上でのハイパスフィルタを装着したノード内におけるケーブル ネットワークの 5 ~ 40 MHz アップストリームを示しています。ノイズフロアでは入力や他の障害はほとんど発生しませんが、これはアップストリームに到達する大部分の「ジャンク」はドロップにより発生するという、業界での認識を裏付けるものです。

図 2 : ハイパスフィルタによるアップストリームスペクトル

[図 3](#) は、入力の問題が発生しているケーブル ネットワークでのアップストリームスペクトルのさらに典型的な例です。28 MHz に近い、高レベルの干渉信号に注意してください。

図 3 : 入力でのノイズが多いアップストリーム

大部分のシステムでは、20 MHz 未満の低い周波数ノイズ (特に 5 ~ 15 MHz の範囲) が示されます。アップストリームのデジタル変調された搬送波の送信を回避する必要がある周波数の一部を次に示します。

- 20 MHz 未満 : 低周波数の電気ノイズと入力
- 27 MHz : CB (市民バンド) 無線
- 28 MHz : 10 m アマチュア無線帯域
- >38 MHz : アンプダイプレックスフィルタによるグループ遅延の問題
- 潜在的な CPD による、6 MHz 単位での増分 (つまり、6 MHz、12 MHz、18 MHz、24 MHz、30 MHz、36 MHz、42 MHz)

次のような効果的な予防保守の実践によって、16-QAM の配備に影響する可能性があるケーブル ネットワークの問題が最小になります。

- フォワードアンプとリバースアンプのアライメントのスイープ
- ダウンストリーム信号漏出を Federal Communications Commission 20 μ V/m 要件よりずっと

と低く保存します注: 多くのケーブル事業者は信頼できる双方向の操作のためにより適する 5 $\mu\text{V}/\text{m}$ を見つけました。

- サブスクライバ ドロップ インストールの品質管理
- 問題となる単方向ドロップでのハイパスフィルタの使用 (該当する場合)

また、アップストリーム CNR、CMTS フラップ リスト、CMTS signal-to-noise ratio (SNR; 信号対雑音比) の推定値、および CMTS の修正可能な FEC エラーおよび修正不可能な FEC エラーに対する監視は、ネットワーク パフォーマンスが低下する状況を判断するのに便利な方法です。

「[付録](#)」には、ケーブル ネットワーク DOCSIS 準拠のチェックリストが収録されています。

[ゼロスパンでのアップストリーム搬送波](#)

使用する価値のあるもう 1 つのスペクトル アナライザ モードは、ゼロスパン モードです。このモードは、振幅対周波数ではなく、振幅対時間で表示されるタイム ドメイン モードです。このモードは、本質的にバースト状態であるデータトラフィックを表示する際に非常に役に立ちます。[図 4](#) は、ケーブル モデムからアップストリームトラフィックを監視している状態での、ゼロスパン (タイム ドメイン) のスペクトル アナライザを示しています。

図 4: スペクトル アナライザでのゼロスパンの表示

[図 4](#) には、モデム リクエストとインパルス ノイズとともに、データ パケットが表示されています。ゼロスパンは、[図 5](#) で示されているように、平均的なデジタル電力レベルを計測し、ノイズと入力を観察する場合に非常に便利です。

図 5: アップストリーム側でデジタル変調された搬送波の振幅のゼロスパン測定

これは、タイミングの悪さやヘッドエンド スプリッタやコンバイナの切り分けが不十分であるためにパケット同士の衝突が起きている (ある CMTS アップストリーム ポート宛てのパケットが他のアップストリームへ「漏出」する場合) かどうかを調べるためにも使用できます。このドキュメントの「[参考資料](#)」セクションに掲載された文献のリストを参照してください。

[16-QAM の設定に関する考慮事項](#)

3.2 MHz での 16-QAM の稼働に対する事前手順の 1 つは、適切なミニスロットのサイズを設定することです。Cisco IOS ソフトウェア リリース 12.2(15)BC1 コードは、チャンネル幅に従ってミニスロットのサイズを自動的に設定します。各ティックが 6.25 マイクロ秒 (μs) であるところで、3.2 MHz 等号 2 は、1.6 等号 4 匹のティック、等チェックします。以前のコードでは、デフォルトで 8 ティックに設定されています。

DOCSIS によると、ミニスロットは 32 シンボル以上である必要があります。シンボルは、データ ビット/サイクルまたはデータ ビット/ヘルツ (Hz) のグループと考えることができます。3.2 MHz の幅のチャンネルのシンボル レートは、2.56 Msym/秒になります。2 匹のティック (2 つの $\times 6.25 \mu\text{s}$) の使用によって、2.56 32 のシンボルと等しい秒 $\times 12.5 \mu\text{s}$ と等しいミニスロットで終わります/Msym。16-QAM を 4 ビット/シンボルによって使用している場合、32 のシンボル $\times 4$ ビット/16 バイト/ミニスロットと等しいシンボル $\times 1/8$ で終わります。

できるだけ小さなミニスロットを使用することで、より細かい単位でパケットをミニスロットに「切り分ける」ことができ、ミニスロットの切り上げエラーが少なくなります。アップストリームで送信される最小のパケットは、16 バイトの要求です。ミニスロットあたりのバイトを 16 以下に維持することがより効率的です。16 バイトより長いミニスロットは、16 バイトの要求を送信する際にケーブル上で時間を浪費することになり、これらの要求のコリジョンが発生する可能性が高くなります。小さなミニスロットの唯一の欠点は、非常に大きなパケットの連結を許可し

ようとする場合です。DOCSIS には、最大バーストに連結できるミニスロットは 255 だけであると規定されています。大きな連結パケットをサポートするためには、(これを意図している場合は)ミニスロットの変更が必要になることがあります。データスループットについての詳細は、『[DOCSIS におけるデータのスループットについて](#)』を参照してください。

次の出力例は、現在のアップストリーム設定を変更し、確認する方法を示しています。太字は、ティック、シンボル、およびバイト単位でのミニスロットのサイズを示しています。

```
cmts(config-if)#cable upstream 0 minislot-size ? 128 Minislot size in time ticks 16 Minislot
size in time ticks 2 Minislot size in time ticks 32 Minislot size in time ticks 4 Minislot size
in time ticks 64 Minislot size in time ticks 8 Minislot size in time ticks cmts(config-if)#cable
upstream 0 minislot-size 2 cmts#show controllers cable 3/0 upstream 0 Cable3/0 Upstream 0 is up
Frequency 33.008 MHz, Channel Width 3.200 MHz, 16-QAM Symbol Rate 2.560 Msps Spectrum Group is
overridden BroadCom SNR_estimate for good packets - 25.0 dB Nominal Input Power Level 0 dBmV, Tx
Timing Offset 2399 Ranging Backoff automatic (Start 0, End 3) Ranging Insertion Interval
automatic (60 ms) Tx Backoff Start 0, Tx Backoff End 4 Modulation Profile Group 4 Concatenation
is enabled Fragmentation is enabled part_id=0x3137, rev_id=0x03, rev2_id=0xFF nb_agc_thr=0x0000,
nb_agc_nom=0x0000 Range Load Reg Size=0x58 Request Load Reg Size=0x0E Minislot Size in number of
Timebase Ticks is = 2 Minislot Size in Symbols = 32 Bandwidth Requests = 0x1B0E Piggyback
Requests = 0xF98 Invalid BW Requests= 0x0 Minislots Requested= 0x10FB8 Minislots Granted =
0x10FB8 Minislot Size in Bytes = 16 Map Advance (Dynamic) : 1654 usecs UCD Count = 3374 DES Ctrl
Reg#0 = C000C043, Reg#1 = 0
```

アップストリームバースト

変調プロファイルを理解するには、アップストリームバーストを理解する必要があります。 [図 6](#) は、アップストリームバーストの様相を表しています。

図 6 : アップストリームバーストパラメータ

注: Unique Word (UW; ユニークワード) は、プリアンプルの最後の 1 ~ 4 バイトですが、これは CMTS での変調と UW 設定によって異なります。

アップストリームバーストはプリアンプルとともに開始され、あるガードタイムで終了します。プリアンプルは、CMTS と CM が同期するための方法です。Broadcom のアップストリームレシーバチップ (Broadcom 3137 など) を使用している CMTS は、追加の同期用に、プリアンプルの最後にユニークワードと呼ばれる特別なバイトシーケンスが含まれることを必要としています。バーストの最後のガードタイム帯域は、複数のバーストが相互に重複しないようにするために使用されます。プリアンプルとガードタイム帯域の間の実際のデータは、イーサネットフレームと DOCSIS オーバーヘッドによって構成されますが、これらは各 codeword (CW; コードワード) に追加された FEC バイトが含まれる FEC コードワードに分けられています。全体のパケットが、ミニスロットに分けられます。

CM アップストリームバーストは、すべて同一というわけではありません。バーストは、要求の実行、オンライン状態になるための初期メンテナンスの実行、約 20 秒ごとのステーションメンテナンスの実行、短いデータパケットの送信、長いデータパケットの送信などを試行している CM である可能性があります。このようなバーストの種類は、Interval Usage Code (IUC) として知られ、バーストごとに設定が異なります。次の項では、一部の变調プロファイル情報について説明します。プリアンプルと変調プロファイルの詳細については、『[アップストリーム変調プロファイルについて](#)』を参照してください。

変調プロファイル

show cable modulation-profile コマンドを使用して変調プロファイルを表示すると、12.2(11)BC2 などの以前の Cisco IOS ソフトウェア リリースでは次の情報が表示される可能性があります。

Mod	IUC	Type	Preamb length	Diff enco	FEC T	FEC CW	Scrambl seed	Max B	Guard time	Last CW	Scram	Preamb offset
1	Request	qpsk	64	no	0x0	0x10	0x152	0	8	no	yes	952
1	Initial	qpsk	128	no	0x5	0x22	0x152	0	48	no	yes	896
1	Station	qpsk	128	no	0x5	0x22	0x152	0	48	no	yes	896
1	Short	qpsk	72	no	0x5	0x4B	0x152	6	8	no	yes	944
1	Long	qpsk	80	no	0x8	0xDC	0x152	0	8	no	yes	936

この情報は、グローバルコンフィギュレーションに入力された順序と同じ順序ではなく、10進数で入力されていても、一部のエントリは16進数で表示されています。

次の手順に従って、CMTSの変調プロファイルを作成します。

1. グローバルコンフィギュレーションで、**cable modulation-profile 3 mix** コマンドを発行します。ショートグラントとロンググラントに16-QAMが使用され、CMメンテナンスにQPSKが使用される混在のプロファイルのために、mixキーワードがCiscoから提供されません。
2. 適切なケーブルインターフェイスの下で、**cable upstream 0 modulation-profile 3** コマンドを発行して、アップストリームポートにプロファイルを割り当てます。
3. **show run** コマンドを発行して、入力されたようにプロファイルを表示します。

```

cab modulation-prof 3 request 0 16 0 8 qpsk scram 152 no-diff 64 fixed uw16
cab modulation-prof 3 initial 5 34 0 48 qpsk scram 152 no-diff 128 fixed uw16
cab modulation-prof 3 station 5 34 0 48 qpsk scram 152 no-diff 128 fixed uw16
cab modulation-prof 3 short 7 76 7 8 16qam scram 152 no-diff 144 short uw16 cab
modulation-prof 3 long 9 232 0 8 16qam scram 152 no-diff 160 short uw16

```
4. 手順3からの出力をグローバルコンフィギュレーションにコピーアンドペーストします。
5. 次の変更を行います。8から16へUWを変更。16-QAMを使用するショートとロングのIUCでこの変更が必要です。ショートIUCで最大バーストとFEC CWを増やし、これをスルーポート向けに最適化。ショートIUCとロングIUCの最後のCWがfixedではなくshortであることを確認。注: これらの変更は、Cisco IOS ソフトウェア リリース 12.2(15)BC1 コード以降でのデフォルトの変調プロファイルにすでに組み込まれています。

動的な変調の変更を意図していて、QPSKに戻る必要がある場合に、プラントが「ノイズが多い」状態になるのであれば、次のケーブル変調プロファイル2を使用します。

```

cab modulation-prof 2 request 0 16 0 8 qpsk scram 152 no-diff 64 fixed uw16
cab modulation-prof 2 initial 5 34 0 48 qpsk scram 152 no-diff 128 fixed uw16
cab modulation-prof 2 station 5 34 0 48 qpsk scram 152 no-diff 128 fixed uw16
cab modulation-prof 2 short 4 76 12 8 qpsk scram 152 no-diff 72 short uw8 cab modulation-prof
2 long 9 232 0 8 qpsk scram 152 no-diff 80 short uw8

```

このプロファイルは、TCP 確認応答などの小さなアップストリームパケットのスルーポート用に最適化されています。3.2 MHz チャネル幅を使用している場合にはミニスロットが2ティックに設定されているため、ミニスロットあたりのバイトは8バイトになります。最大バーストは、ショートIUC用に12ミニスロットに設定され、合計は96バイトに維持されます。

あるお客様で使用中の、Cisco フラップリストでエントリを追跡しているプロファイルを次に示します。

```

cab modulation-prof 5 req 0 16 0 8 16qam scramb 152 no-diff 128 fixed uw16 cab modulation-
prof 5 initial 5 34 0 48 qpsk scramb 152 no-diff 128 fixed uw16 cab modulation-prof 5 station 5
34 0 48 16qam scramb 152 no-diff 256 fixed uw16 cab modulation-prof 5 short 7 76 7 8 16qam
scramb 152 no-diff 144 short uw16 cab modulation-prof 5 long 9 232 0 8 16qam scramb 152 no-diff
160 short uw16

```

CM FEC や SNR ごとのカウンタは存在しませんが、CM ごとのフラップは存在します。廃棄されたパケットの原因となる問題が存在する場合、ステーションメンテナンスに16-QAMを使用すると、モデムによるフラップが可能になります。モデムごとに情報を追跡するために、フラップリストが使用されます。MC16x および MC28C では、モデムごとの SNR や FEC が報告された

ないため、フラップ リストの使用が便利な場合があります。

注: 新しいラインカード (MC16X/U、MC28X/U、MC5x20S/U) は、 **show cable modem phy** コマンドと **show interface cable slot/port sid sid-number count ver** コマンドを使用すると、それぞれ CM SNR ごとのカウンタと FEC ごとのカウンタを提供します。

CM をオンライン状態に維持するレベルはステーション メンテナンス中に実行され、各 CM ベンダーが QPSK 用または 16-QAM 用に異なるプリアンブルを実装している可能性があります。ステーション メンテナンス パーストを 16-QAM に変更することによって、CM は、3 dB 高い伝送を行って、それに続いて 3 dB 優れた SNR が達成しているように表示される可能性があります。SNR はすべての CM で平均化されるため、この達成は主観的です。

DOCSIS 要件によると、QPSK を使用するケーブル モデムの最大のアップストリーム伝送パワーは +58 dBmV であり、16-QAM を使用するケーブル モデムでは +55 dBmV の最大パワーでの伝送のみが必要なことに留意してください。これにより、モデムと CMTS の間の合計のアップストリーム減衰が 55 dB よりも高いケーブル システムでは、影響が発生する可能性があります。! **show cable modem** コマンド内の ! は、限度となったためにプラント減衰を削減する必要があることを意味しています。通常、過剰なアップストリーム減衰は、サブスクライバ ドロップの問題またはネットワークのアライメント不良に関連しています。 **cable upstream 0 power-adjust continue 6** コマンドを発行することで、過剰なアップストリーム減衰の問題が修正されるまでの間、モデムのオンライン状態の維持を実現することが保証される可能性があります。

また、以前の CM の一部においては、16-QAM は初期メンテナンスに適切ではありません。初期メンテナンスが 16-QAM の場合、CM がオンライン状態に戻らないことがあります。これらが物理的に接続されている場合は、このことでも DHCP サーバで時間が浪費されます。

次は、さらに堅牢で、混合しているプロファイルのためにお客様が使用している別のプロファイルです。

```
cab modulation-prof 3 request 0 16 0 8 qpsk scram 152 no-diff 64 fixed uw16
cab modulation-prof 3 initial 5 34 0 48 qpsk scram 152 no-diff 128 fixed uw16
cab modulation-prof 3 station 5 34 0 48 qpsk scram 152 no-diff 128 fixed uw16
cab modulation-prof 3 short 7 76 7 8 16qam scram 152 no-diff 144 short uw16
cab modulation-prof 3 long 10 153 0 8 16qam scram 152 no-diff 200 short uw16
```

プリアンブルはロング IUC でより長くなっており、CW サイズは縮小されてより高い割合の FEC カバレッジが提供されます。使用される計算式を次に示します。

$$2 \times 10 / (2 \times 10 + 153) = 11.5\%$$

HFC プラントのノイズが多すぎる場合、新しい Cisco のラインカード (MC16X/U、MC28X/U、および MC5x20S/U) を使用してみます。これらのカードは、入力取り消し、digital signal processing (DSP; デジタル シグナル プロセッサ) フロントエンド、および適応型イコライゼーションなどの高度な PHY フロントエンドを搭載しています。高度な PHY 機能についての詳細は、『[ケーブル経由での高速データのための高度な PHY レイヤ テクノロジー](#)』を参照してください。

16-QAM アップグレードの成功を最大にする手順

次の手順に従って、16-QAM アップグレードの成功を最大にします。

1. 最新の Network Processing Engine (NPE; ネットワーク処理エンジン) で CMTS をアップグレードします。
2. 設定を変更して、アップストリームで 16-QAM をサポートします。

3. 必要に応じて、MC16S、28U、または 5x20U カードを取り付けます。
4. Cisco IOS ソフトウェアを EC から BC コードへ変更して、DOCSIS 1.1 コードを実行します。このコード変更に関する検討事項の一部を次に示します。DOCSIS 1.1 で導入された追加機能と高性能によって、さらには Cisco IOS ソフトウェア リリース 12.2 のすべての新機能によって、5 ~ 15 % の CPU ヒット率が実現可能です。一部の CM にとっては、短縮された最後の CW は適切ではなく、init (rc) の後に失敗します。DHCP 要求は、ショート IUC を使用します。EC コードは、固定された最後の CW をショートとロングの IUC に使用し、BC コードは短くなります。

次の手順を使用して、16-QAM アップグレードを準備できます。

1. 16-QAM が必要な各 uBR に、**show running interface config**、**show controllers**、および **show cable modem** を発行します。
2. 16-QAM が必要なアップストリーム ポートを識別します。
3. スペクトル アナライザを使用して、アップストリームの搬送波対雑音比、搬送波対入力比、および搬送波対干渉比が少なくとも 25 dB であることを確認します。**show controllers cable slot/port upstream upstream-port** コマンドで表示されるような、CMTS SNR の推測値に基づいて準備を行うことには注意が必要ですが、その理由はこの値はアップストリームを受信するハードウェアによって提供される推測値に過ぎないからです。SNR だけに依存する必要がある場合は 25 以上の SNR が適切ですが、このことは SNR 推測値において明らかではないインパルス ノイズや他の障害が発生しないという意味ではありません。解像度域幅を 3 MHz に設定したゼロスパン モードでスペクトル アナライザを使用して、搬送波の下でのすべての入力をキャプチャし、10 ミリ秒のスweep レートを使用してインパルス ノイズをキャプチャします。
4. 次の推奨されるプロファイルを使用します。

```
cab modulation-prof 4 request 0 16 0 8 qpsk
scram 152 no-diff 64 fixed uw16
cab modulation-prof 4 initial 5 34 0 48 qpsk scram 152 no-diff 128 fixed uw16
cab modulation-prof 4 station 5 34 0 48 qpsk scram 152 no-diff 128 fixed uw16
cab modulation-prof 4 short 7 76 7 8 16qam scram 152 no-diff 144 short uw16
cab modulation-prof 4 long 9 232 0 8 16qam scram 152 no-diff 160 short uw16
```
5. 3.2 MHz チャンネル幅を使用している場合は、2 のミニスロットを使用します。**cable upstream 0 minislot 2** コマンドを発行します。
6. 修正可能な FEC エラーおよび修正不可能な FEC エラーには、**show cable hop** コマンドを監視します。FEC と SNR についての詳細は、『[データ品質とスループットを保証する手段としてのアップストリーム FEC エラーと SNR](#)』を参照してください。
7. 可能であれば、**cable modem remote-query** を設定し、アップグレード前後の CM の送信レベルを確認して、変化していないことを確認します。一部の CM ではレベルが上下します。これはモデム ベンダーの問題です。また、CNR および SNR の数値も監視します。

提案事項と推奨事項

次の提案事項と推奨事項は、さまざまな環境での 16-QAM アップグレードの成功を増強します。

- 電気ノイズおよび短波無線入力による、27 MHz (CB)、28 MHz (10 m アマチュア無線)、約 20 MHz 未満など、既知の入力「ホット スポット」を回避します。
- グループ遅延が大きな問題となる可能性がある (通常は約 35 ~ 38 MHz を超える) ダイプレックス フィルタ ロールオフ領域からは、搬送波を十分に離します。図 7: アップストリーム グループ遅延 16-QAM は特にグループ遅延の傾向があり、シンボル間における干渉の原因となります。周波数応答がフラットであっても、グループ遅延が問題となる場合があります。

図7、Holtzman から、Inc. Cable Scope® は、比較的平らな周波数応答（第2トレース）を示しますが、およそ 10 MHz 以下でおよびおよそ 35 MHz（第4トレース）の上で低下させたグループ遅延に注意します。グループ遅延の可能性が最小限となるように使用する周波数を選択しますが、一般的には 20 ~ 35 MHz の範囲の周波数が良好に機能します。グループ遅延は単位時間で定義され、通常は nanoseconds (ns; ナノ秒) です。グループ遅延のないシステム、ネットワーク、またはコンポーネントでは、すべての周波数がシステム、ネットワーク、またはコンポーネント経路で均等な遅延時間で伝送されます。つまり、システム、ネットワーク、またはコンポーネント内にグループ遅延が発生しない場合、定義された帯域幅内部におけるすべての周波数は、同じ時間をかけてシステム、ネットワーク、またはコンポーネントを通過します。グループ遅延が発生する場合、一部の周波数における信号はその他の周波数における信号とは若干異なるタイミングで到達します。このことは、幅広いチャネルではグループ遅延の差異が発生する傾向があることも意味しています。ケーブルネットワークのグループ遅延が一定量を超えると、シンボル間での干渉が発生し、ビットエラー率が悪化します。DOCSIS Radio Frequency Interface Specification では、アップストリームで 200 ns/MHz を超えないことが指定されていますが、16-QAM の場合はチャンネル内のグループ遅延合計を 100 ns 以下に維持することが推奨されます。ケーブルネットワーク内での周波数応答の問題も、グループ遅延の問題の原因となります。CATV 事業者がフラットな周波数応答を維持する最善の方法は、定期的にネットワークをスイープすることです。通常、アップストリームのグループ遅延の測定には、前述の Cable Scope などの特殊な機器が必要です。Cable Scope は、アップストリームのインパルス応答、「振幅対周波数」（周波数応答）、位相対周波数、およびグループ遅延対周波数を表示します。詳細については、<http://www.holtzmaninc.com> を参照してください。DOCSIS 1.1 は、CM でプレイコライゼーションを使用して、振幅リップルとグループ遅延の問題の緩和に役立つ可能性があります。新しいラインカード（MC16X/U、MC28X/U、および MC5x20S/U）は、CMTS でのイコライゼーションに役立つ可能性があります。

- MC16C または 28C カードを使用している場合、16-QAM の静的な変調プロファイルを使用します。しきい値を変更できないため（ホップするタイミングおよびホップのトリガー）、動的な変調の変更を C カードに適用することは最適ではない場合があります。16-QAM を使用し続けるか、該当する場合はスペクトルグループを定義し、MC16S、MC16X/U、MC28X/U、または MC5x20S/U ラインカードを使用します。
- 可能な場合、スペクトル帯域および動的な変調機能を備えた MC16S カードを使用します。高度なスペクトル管理機能をアクティブにし、アップストリーム（US）ポートに割り当てます。3.2 MHz 幅のチャンネルを 2 つ設定します（例：20 ~ 23.2 MHz と 23.22 ~ 26.42 MHz）。適切なスペクトルホッピングには、アルゴリズムが帯域間に約 20 kHz を必要としています（`spectrum-group 1 band 2000000 23200000` コマンドを発行します）。動的な変調をアクティブにし、アップストリームポートに割り当てます（`cable upstream 0 modulation-profile 3 2` コマンドを発行します）。チャンネル幅の変更が必要ではないことを保証します（`cable upstream 0 channel width 3200000 3200000` コマンドを発行します）。
- 次のデフォルト設定を使用します。Hop priority of Frequency、Modulation、および Channel Width は、まず周波数をホッピングした後に必要に応じて変調を変更することで、可能な限り高いスループットを実現します。チャンネル幅が 3200000 3200000 に設定されているため、チャンネルはこの幅に留まります。30 秒のホップ間隔は、1 番目の変更から 30 秒経過するまでは 2 番目のアップストリーム変更が発生しないことを保証します。Hop Threshold（デフォルトで 100 % に設定）はステーションメンテナンスを追跡するため、これはアップストリームの状態に関する優れたインジケータではありません。100 % のデフォルト値は、アップストリームの変更が発生する前に、すべての CM はステーションメンテナンスを失う必要があることを意味します。このパラメータを使用する代わりに、アップストリームでは CNR および FEC エラーを監視するのが適切です。CNR しきい値は、25 dB、15 dB、1 % の修正

可能な FEC、1% の修正不可能な FEC です。設定を詳細に検査して、しきい値を変更することが有意義な場合があります。1 番目の CNR しきい値を若干低く設定し (22 dB など)、2 番目のしきい値を約 12 dB に設定できます。チャンネル幅を変更しているわけではないため、この例では 2 番目の CNR しきい値は何も変えません。これは、8 dB のように非常に低く設定できます。また、修正可能な FEC しきい値を必要に応じて 3% に設定することもできます。 `cable upstream 0 threshold cnr-profile1 22 cnr-profile2 8 corr-Fec 3 uncorr-Fec 1` コマンドを発行します。

- MC16S、MC16X/U、MC28X/U、または MC5x20S/U カードが使用される場合、追加的な利点として、Cisco Broadband Troubleshooter (CBT) ツールを使用して、アップストリームスペクトルをリモートで表示することが挙げられます。CMTS ではノイズフロアを表示するためのコマンドもあります (`show controllers cable slot/port upstream upstream-port spectrum 5 42 1` コマンド)。
- CMTS によって報告される SNR に変更が発生したかどうかを表示するには、20 MHz 未満のノイズを外部的にフィルタすることが効果的な場合があります。Arcom および Eagle Comtronics は、このようなフィルタを製造しています。低い周波数でのノイズが、意図されたアップストリームデータ周波数の上部に干渉する高調波や、アップストリームの 70 MHz の内部 intermediate frequency (IF; 中間周波数) に干渉する高調波を発生させる可能性があります。このことは、35 MHz での過剰な信号によってオーバードライブされたレガシーラインカードで観測されました。また、amplitude modulation (AM; 振幅変調) ブロードキャスト無線 (0.5 ~ 1.6 MHz) も、すべてのアップストリーム周波数が歪む結果となる、ノードにおけるアップストリームレーザークリッピングの原因となることが観測されています。したがって、ノードのアップストリームレーザーへの入力で、全スペクトラムを確認します。

その他の要点

- マイクロリフレクションのトラブルシューティングを行う場合は特に、アップストリーム周波数応答をより詳細に表示するために、スweep機器にアップストリームスweepポイントが推奨されることがあります。
- DOCSIS コンフィギュレーションファイルに、Minimum Upstream Guaranteed Rate が設定されていないことを確認してください。最新の BC コードでは、アップストリームの Admission Control がデフォルトでオンになっており、100% に設定されている可能性があります。一部のモデムはオンラインの状態にならず、reject(c) を送信する可能性があります。Admission Control を 1000% にするか、オフにするか、あるいは DOCSIS コンフィギュレーションファイルでアップストリーム最小レートを削除します。
- ダウンストリームレートを 84 kbps 未満にする場合、`downstream rate-limit token bucket shaping max delay 256` コマンドを発行します。デフォルトの遅延である 128 は 84 kbps よりも大きいダウンストリーム速度に最適化されています。このコマンドは VXR には適切ですが、uBR10k には適切ではありません。

要約

数多くの機能が用意されていて、16-QAM のアップグレードをサポートし、サービスの可用性をできる限り高く維持します。これらの機能と利点のいくつかを次に示します。

- S および U のカード : 「look before you leap」、CNR 追跡、およびリモートのアナライザ表示

- 動的な変調の変更：16-QAM 用のバックアップ計画
- 調整可能なしきい値：意図しないホッピングなし
- NPE-400 または G1：CPU 内での PPS 拡張
- MC28U カード：G1 プロセッサ オンボード、入力取り消し、DSP、S カードの各機能
- BC コード：連結、フラグメンテーション、およびピギーバックを含む DOCSIS 1.1 コード

最終的な注意事項

16-QAM のインストールで遭遇するもう 1 つの問題は、マイクロリフレクションに関連した問題です。マイクロリフレクションは、特に適応型イコライゼーションのない DOCSIS 1.0 環境で、16-QAM を配備しようとする一部のケーブルシステムにおいて深刻な問題であることがわかっています。マイクロリフレクションの主な原因の一部を次に示します。

- 欠陥があるか、欠損したケーブル末端のターミネータ（および、ターミネータの中心導体のゆるんだ押さえネジ）。
- ケーブル末端のいわゆる自己終端型タップ（たとえば、4 dB 2 ポート、8 dB 4 ポートなど）。
- 低い値のタップの未使用ポートにおけるターミネータの欠如：17 dB 以下の値のタップで未使用のポートをすべて終端することにより、パフォーマンスが著しく改善することが確認されています。
- 特にハードライン コネクタ内のゆるい押さえネジなど、ゆるいコネクタや不適切に取り付けられたコネクタ。
- 損傷した、または欠陥のある受動回線機器

スプリッタでの不十分な分離、未使用のスプリッタまたは DC ポートでのターミネータの欠如、ケーブルやコネクタの損傷など、廃棄に関する通常の原因ももちろん問題となります。

[図 8](#) は Holtzman, Inc. の Cable Scope からのものです。この図は、アップストリームの周波数応答（この特定の例では、約 724 ns のエコーまたはマイクロリフレクションが原因）で振幅リップルがグループ遅延リップルを引き起こす仕組みも示しています。一番上のトレースはインパルス応答であり、メインのインパルスの右側にエコーは約 724 ns と表示されています。2 番目のトレースは、エコーで引き起こされる振幅リップルを示しており、4 番目のトレースは結果として発生するグループ遅延リップルを示しています。

マイクロリフレクションについての詳細は、「[補足](#)」の項を参照してください。

図 8：振幅とグループ遅延リップル

補足

ダウンストリーム 256-QAM

ダウンストリームで 256-QAM を実行する場合は、デジタル変調された搬送波の平均出力レベルが同じ周波数上のアナログ TV チャンネルのレベルより 6 ~ 10 dB 低くなるようにします。多くの CATV 事業者が 64-QAM 信号を -10 dBc に設定し、256-QAM を -5 ~ -6 dBc に設定しています。コンステレーション、MER、および FEC BER の前後に対して、圧縮、スイープトランスミッタの干渉、レーザー クリッピング、およびその他の障害の兆候を確認してみます。高レベルの変調では、ピーク対平均の出力比がより高くなり、場合によっては断続的なダウンストリームのレーザー クリッピングの原因となる可能性があります。複数の 256-QAM 信号が存在する場合、レーザー トランスミッタに対するアナログの TV チャンネル レベルをわずかに減少させる必要がある場合があります。

図 9 は、MER が 34 dB の 256-QAM コンステレーションを示しています。256-QAM を実行している場合、約 31 dB 未満の MER が懸念の原因となります。

図 9 : 256-QAM コンステレーション

DOCSIS Radio Frequency Interface Specification によると、ケーブル モデムへのデジタル変調された搬送波の入力レベルは、-15 ~ +15 dBmV の範囲であり (-5 ~ +5 dBmV がほぼ最適値であることがわかっています)、合計入力レベル (全ダウンストリーム信号) は、30 dBmV 未満である必要があります。たとえば、それぞれが +10 dBmV の 100 のアナログ チャンネルがある場合、次の合計レベルに等しくなります。

$$10 + 10 \cdot \log(100) = 30 \text{ dBmV}$$

インパルス ノイズはダウンストリームにおける問題であり、ダウンストリーム インターリービングがデフォルト設定の 32 から 64 に増加する可能性があります。これによって、要求と認可のサイクルの遅延がさらに大きくなるため、アップストリームのモデムあたりの速度に若干影響する可能性があります。

マイクロリフレクション

この項は、*Communications Technology* 誌の Ron Hranac による 2004 年 3 月付けのコラムからのもので (PBI Media, LLC 提供)。

へのまたはよのキャリアにがらくた比率を処理しやすい 25~30 dB 得る反転をクリーンアップしました。入力とインパルス ノイズは管理されています。フォワードとリバースの振幅のバランスは取れています。ケーブル モデムのアップストリームのデジタル変調された搬送波を 20 ~ 35 MHz 範囲の中心周波数に移動したため、ダイプレックス フィルタに関連したグループ遅延は問題ではありません。データ フォークが、cable modem termination system (CMTS; ケーブル モデム ターミネーション システム) の変調プロファイルを微調整しています。次に、スイッチをプルし、quadrature phase shift keying (QPSK; 4 位相偏移変調) から 16-quadrature amplitude modulation (QAM; 直交振幅変調) にジャンプを作成しました。大部分は比較的正常に動作していますが、一部のシステムでのモデムでは問題が発生しています。潜在的な問題の 1 つを次に示します。マイクロリフレクション、反射、またはエコーとも呼ばれていますが、これらには十分に注意する必要があります。原因を発見して修正すると、モデムは正常に動作し、お客様はより満足することになります。ここで、基本的な伝送ラインの理論について考えてみましょう。理想的には、信号元、伝送メディア、および負荷には、同じ特性インピーダンスが必要です。この条件が満たされると、信号元からのすべての入射エネルギーは、負荷で吸収されます (伝送メディア内の減衰によって失われるエネルギーは除きます)。実際のケーブル ネットワークでは、インピーダンスは単に公称に過ぎません。インピーダンスの mismatches は、コネクタ、アンプの入出力、受動デバイスの入出力、さらにはケーブル自体など、すべてにおいて発生します。インピーダンスの mismatches が存在する部分がどこであっても、入射エネルギーの一部は信号元

に反射されます。反射エネルギーによって入射エネルギーとのインタラクションが発生し、スイープレシーバの表示に見られる場合がある、よく知られた定在波リップルとして表面化する定在波が生成されます。タイムドメインでのロングエコー（つまり、影響を受けるデータのシンボル期間を超える量によって相殺される入射信号からのロングエコー）は、周波数領域においてさらに間隔が狭い振幅リップルを意味します。見方を変えてみると、振幅リップルのピーク間隔が広い場合、インピーダンスの mismatches が起こりやすい状態です。リップルのピーク間隔が狭い場合、障害は発生しにくくなります。エコーは振幅リップルの原因となるだけでなく、位相リップルの原因にもなります。グループ遅延（16-QAM に大きな損害をもたらす可能性がある障害）は、周波数に関しては、位相の変更のレートとして定義されます。密集した（間隔の狭い）振幅リップルは、密集した位相リップルを生成しますが、これが大きなグループ遅延リップルを引き起こす場合があります。この現象は、一般的にロングエコーの場合はより状況が悪くなります。現場での経験上、実際のエコーの原因を探することは難しくはありません。補足すると、アップストリーム周波数での同軸ケーブルの減衰が低下するほど、一般的にはダウンストリームよりも反射が悪化することになります。Outside プラントで認識されている、より一般的な問題の一部を次に示します。

- ケーブル末端のターミネータの損傷または欠如。
- 指向性カプラ、スプリッタ、または複数出力アンプの未使用のポートでのシャーシターミネータの損傷または欠如。
- 中心導体押さえネジのゆるみ。
- 終端されていない未使用のタップポート。これは、より低い値のタップで特に深刻であることがわかっています。
- 終端されていない未使用のドロップ受動ポート。
- フィーダケーブル末端のいわゆる自己終端型タップ（4 dB 2ポート、8 dB 4ポート、および 10/11 dB 8ポート）の使用。これら特定のタップは実際にはスプリッタであり、すべてのFポートが適切に終端されない限り、回線は終端されません。
- ねじれたり、損傷のあるケーブル（これには反射および入力の原因となる亀裂の入ったケーブルが含まれます）。
- 欠陥のある、または損傷した能動回路または受動回路（水による損傷、浸水、コールドはんだ接合、腐食、ゆるんだ回路基板のネジ、またはハードウェアなど）。
- ドロップに直接接続されたケーブル対応型TVとVCR（大部分のケーブル対応型デバイスではリターンロスが貧弱）。
- 特にデータ専用サービスに使用される一部のトラッ

プとフィルタでは、アップストリームでの貧弱なリターンロスが見つっています。

これらの追跡方法を次に示します。シェルフ内で長い間使用していないスイープ機器を考えてみます。「新たにアップグレードされた HFC プラントには、ノードの後にカスケード接続された <ここには台数を挿入> 台のアンプしかないため、スイープは不要になりました」というのは事実でしょうか。この判断は再検討する必要があります。古いスイープ機器を見直して、そのファームウェアを最新バージョンに更新する必要があります。問題を見つけるための 1 つの方法は、アップストリームのスイープ時に、可能な最高のスイープ解像度 (スイープポイントの最大値) を使用することです。Calan の 3010H/R (<http://sunrisetelecom.com/broadband/>) は最大 401 のデータポイントをサポートしており、Acterna の SDA-

5000 (http://www.acterna.com/global/Products/Cable/index_gbl.html) は 250 kHz の最大スイープ解像度を提供しています。スイープ解像度が高いほど、より間隔の狭い振幅リプルを技術者が確認できます。これが可能になっていると、より詳細な解像度で動作する場合にスイープの更新に若干長い時間がかかりますが、マイクロリフレクションのトラブルシューティングに確実に役立ちます。さらに踏み込んだ処理を行う必要がある場合には、Holtzman, Inc. の Cable

Scope (<http://www.holtzmaninc.com/cscope.htm>) がインパルス応答 (エコーのタイムオフセットの表示に最適)、振幅対周波数応答、位相対周波数、およびグループ遅延対周波数を表示する機能を備えています。Cisco の John Downey は、反射関連のスイープ応答の問題に対してトラブルシューティングを行う場合の次のヒントを提供しています。

- レジスティブなテストポイントは、より容易にスイープ応答内で定在波を表示できるため、より効率的なトラブルシューティングを促進します。
- $D = 492 \times V_p / F$ の数式を使用して、インピーダンスの mismatch 箇所までの概算距離を計算します。D はテストポイントから障害箇所までの距離 (フィート)、 V_p はケーブルの伝搬 (強硬なケーブルのための一般的に ~ 0.87) の速度です; および F はスイープトレース上での連続した定在波ピーク間の周波数デルタ (MHz) です。
- Corning-Gilbert (<http://www.corning.com/corninggilbert/>) と Signal Vision (<http://www.signalvision.com/>) が提供する特化されたテストプローブは、housing-to-F アダプタを使用するよりも適切です。

マイクロリフレクションの影響の緩和に役立つ可能性があるもう 1 つのツールは、適応型イコライゼーションです。DOCSIS 1.1 は 8 タップの適応型イコライゼーションをサポートしており、DOCSIS 2.0 は 24 タップの適応

型イコライゼーションをサポートしています。 DOCSIS 1.1 および 2.0 指定の適応型イコライゼーションは、モデム自体のプレイコライゼーションを使用して実行されるため、残念ながら DOCSIS 1.0 モデムの大規模なインストールベースにはどちらも利点はありません。一般的に、DOCSIS 1.0 モデムは適応型イコライゼーションをサポートしていません。

付録

表 2、3、4、および 5 は、ケーブル ネットワーク DOCSIS 準拠のチェックリストとして使用できます。

表 2：ヘッドエンド (ダウンストリーム) CMTS またはアップコンバータ出力

テストの実行 (はい/いいえ)	パラメータ	パラメータ値	測定された値またはコメント
	CMTS ダウンストリーム IF 出力	+42 dBmV ¹	
	アップコンバータの入力でデジタル変調された搬送波の振幅	+25 ~ +35 dBmV ²	
	アップコンバータの出力でデジタル変調された搬送波の振幅	+50 ~ +61 dBmV	
	デジタル変調された搬送波の中心周波数	91 ~ 857 MHz	
	搬送波対雑音比	>= 35 dB	
	MER ³	64-QAM : 最小 27 dB 256-QAM : 最小 31 dB	
	プレ FEC BER ⁴		
	ポスト FEC BER ⁵	<= 10 ⁻⁸	
	振幅リップル (チャンネル内の平準性)	3 dB ⁶	
	コンステレー	ゲイン圧縮、位相ノイズ	

	シヨンの評価	、 in-phase and quadrature (I-Q) の不均衡、コヒーレンス干渉、過剰なノイズ、およびクリッピングの形跡を探します。	
--	--------	---------------------------------------------------------------------------	--

- ほとんどの DOCSIS 対応 Cisco CMTS ラインカードはダウンストリーム IF 出力で +42 dBmV (±2 dB) 平均電力レベルを提供するために規定されます。
- 大部分の外部アップコンバータへの公称平均電力レベルの入力範囲。アップコンバータの製造業者の仕様を調べて、推奨される入力レベルを確認してください。注: CMTS IF 出力とアップコンバータ入力との間のインライン減衰器 (パッド) が必要になる場合があります。
- ダウンストリームの MER は DOCSIS パラメータではありません。掲載された値は、良好な技術的手法を示す最小値です。ヘッドエンドで測定された MER は、一般的に 34 ~ 36 dB 以上の範囲です。
- DOCSIS は最小のプレ FEC BER を指定していません。理想的には、CMTS やアップコンバータ出力にはプレ FEC ビット エラーは存在しないはずで
- 理想的には、CMTS やアップコンバータ出力にはポスト FEC ビット エラーは存在しないはずで
- DOCSIS 1.0 は、このパラメータに 0.5 dB を指定していますが、 DOCSIS 1.1 では 3 dB に緩和されています。

表 3 : ヘッドエンド (ダウンストリーム) レーザートランスミッタまたは最初のアンプ入力

テストの実行 (はい/いいえ)	パラメータ	パラメータ値	測定された値またはコメント
	アナログの TV チャネルの可視搬送波の振幅に関連した、デジタル変調された搬送波の平均出力レベル	- 10 ~ - 6 dBc	
	デジタル変調された搬送波の中心周波数	91 ~ 857 MHz	
	搬送波対雑音比	>= 35 dB	
	MER ¹	64-QAM : 最小 27 dB 256-QAM : 最小 31 dB	
	プレ FEC BER ²		
	ポスト FEC BER ³	<= 10 ⁻⁸	
	振幅リップル (チャネル内の平準性)	3 dB ⁴	
	コンステレーションの評価	ゲイン圧縮、位相ノイズ、I-Q の不均衡、コヒーレンス干渉	

		、過剰なノイズ、およびクリッピングの形跡を探します。	
--	--	----------------------------	--

1. ダウンストリームの MER は DOCSIS パラメータではありません。掲載された値は、良好な技術的手法を示す最小値です。ヘッドエンドで測定された MER は、一般的に 34 ~ 36 dB 以上の範囲です。
2. DOCSIS は最小のプレ FEC BER を指定していません。理想的には、ダウンストリームのレーザーまたは最初のアンプ入力にはプレ FEC ビットエラーは存在しないはずですが。
3. 理想的には、ダウンストリームのレーザーまたは最初のアンプ入力にはポスト FEC ビットエラーは存在しないはずですが。
4. DOCSIS 1.0 は、このパラメータに 0.5 dB を指定していますが、DOCSIS 1.1 では 3 dB に緩和されています。

表 4：ケーブル モデムへのダウンストリームの入力

テストの 実行 (はい/いいえ)	パラメータ	パラメータ値	測定された値またはコメント
	デジタル変調された搬送波の中心周波数	91 ~ 857 MHz	
	アナログの TV チャネルの可視搬送波の振幅に関連した、デジタル変調された搬送波の平均出力レベル	-10 ~ -6 dBc	
	デジタル変調された搬送波の平均電力レベル	-15 ~ +15 dBmV	
	搬送波対雑音比	>= 35 dB	
	合計のダウンストリーム RF 入力レベル ¹	< +30 dBmV	
	MER ²	64-QAM：最小 27 dB 256-QAM：最小 31 dB	
	プレ FEC BER ³		
	ポスト FEC BER	<= 10 ⁻⁸	
	コンステレーションの評価	ゲイン圧縮、位相ノイズ、I-Q の不均衡、コヒーレンス干渉、過剰なノイズ、およびクリッピングの形跡を探します。	
	振幅リップル (チャネル内の平準性)	3 dB ⁴	

	ハム変調	5% (- 26 dBc)	
	最大のアナログの TV チャンネルの可視搬送波レベル	+17 dBmV	
	最小のアナログの TV チャンネルの可視搬送波レベル	-5 dBmV	
	CMTS から最も遠い ケーブル モデムへの伝送遅延 ⁵	0.800 ミリ秒未満	
	信号レベルのスロープ (50 ~ 750 MHz)	16 dB	
	グループ遅延リップル ⁶	75 ns	

1. 40 ~ 900 MHz 周波数範囲でのすべてのダウンストリーム信号の合計出力
2. ダウンストリームの MER は DOCSIS パラメータではありません。掲載された値は、良好な技術的手法を示す最小値です。
3. DOCSIS はプリ FEC ビット エラー率の値を指定していません。
4. DOCSIS 1.0 は、このパラメータに 0.5 dB を指定していますが、DOCSIS 1.1 では 3 dB に緩和されています。
5. 伝送遅延が予測される場合があります。
6. チャンネル内グループ遅延は、Avantron の AT2000RQ または AT2500RQ を使用して測定できることがあり、最新のファームウェアとソフトウェアを入手する必要があります。
[Sunrise Telecom - Cable TV \(CATV\) Products](#) を参照してください。

表 5 : CMTS のアップストリーム入力

テストの実行 (はい / いいえ)	パラメータ	パラメータ値	測定された値またはコメント
	デジタル変調された搬送波の帯域幅	200、400、800、1600 または 3200 kHz	
	デジタル変調された搬送波のシンボルレート	0.16、0.32、0.64、1.28、または 2.56 Msym/秒	
	デジタル変調された搬送波の中心周波数	5 ~ 42 MHz スペクトラム内である必要があります。	
	デジタル変調された搬送波の振幅 ¹	- 16 ~ +26 dBmV (シンボルレートによる)	
	合計 5 ~ 42 MHz RF スペクトル出力	<= +35 dBmV	

	搬送波対雑音比	$\geq 25 \text{ dB}^2$	
	搬送波対干渉比	$\geq 25 \text{ dB}^2$	
	搬送波対受信電力比	$\geq 25 \text{ dB}^2$	
	ハム変調	7% (- 23 dBc)	
	振幅リップル	0.5 dB/MHz	
	グループ遅延リップル ³	200 ns/MHz	
	最も遠いケーブルモデムから CMTS への伝送遅延 ⁴	0.800 ミリ秒未満	

1. Cisco uBRs のデフォルト値は 0 dBmV です。
2. CMTS アップストリーム入力ポートで測定。掲載された値はチャンネル内の値です。
3. アップストリームグループ遅延は、[Holtzman, Inc. の Cable Scope](#) などの機器を使用して測定できます。
4. 伝送遅延が予測される場合があります。

参考資料

このドキュメントで取り上げた他の参考資料を補足する参考資料の一部を次に示します。

- [リターンパスのアベイラビリティおよびスループットを増加させる方法](#)

Cisco の Ron Hranac は、16-QAM に関して *Communications Technology* 誌に次の 2 つのコラムを寄稿しています。

- [16-QAM Success Story](#)
- [More on 16-QAM](#)

Holtzman, Inc. の Tom Williams は、アップストリーム障害に関して優れた記事をいくつか執筆しています。グループ遅延について (いろいろな事柄の中でも特に) 詳細に説明し、想定されているアップストリームの DOCSIS パラメータの一部は適切ではないと述べてます。

- [Tackling Upstream Data Impairments: Optimize Network Performance Today, Part 1](#)
- [Tackling Upstream Data Impairments - Part 2 Measuring Linear Distortion](#)

関連情報

- [ケーブルラインカードのためのアップストリーム変調プロファイル](#)
- [CMTS における RF または設定の問題の特定](#)
- [リターンパスのアベイラビリティおよびスループットを増加させる方法](#)
- [データ品質とスループットを保証する手段としてのアップストリーム FEC エラーと SNR](#)
- [スペクトルアナライザを使用した、DOCSIS ダウンストリームシグナルの出力測定値の取得](#)
- [ブロードバンドケーブルに関するサポートページ](#)
- [テクニカルサポートとドキュメント - Cisco Systems](#)