

DOCSIS 3.1: Beste Vorgehensweisen für eine maximale Leistung

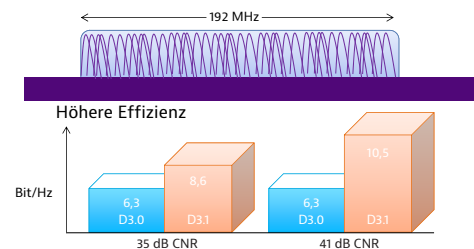
DOCSIS 3.1 ändert die Funktionsweise von DOCSIS grundlegend. Die Datenkapazität wird um bis zu 50 % vergrößert und die Datenrate auf bis zu 10 Gbit/s im Downstream und bis 2 Gbit/s im Upstream erhöht. Damit tritt die neue Technologie in Konkurrenz zur Glasfaser.

Kein Wunder, dass die Service-Provider diese Entwicklung genau beobachten. Im vergangenen Jahr hat DOCSIS 3.1 die Laborphase hinter sich gelassen und wurde mit Erfolg im praktischen Einsatz getestet. Anfang 2016 wurden fünf neue DOCSIS-3.1-Kabelmodems zertifiziert und Service-Provider auf der ganzen Welt haben mit den ersten Installationen begonnen.

Aber was macht DOCSIS 3.1 so einzigartig und wie werden sich die Testabläufe ändern? Dieses Dokument erläutert die beiden Haupttechnologien dieser neuesten Version, nämlich das orthogonale Frequenzmultiplexverfahren (OFDM) und den Low Density Parity Check (LDPC). Ebenfalls werden die besten Vorgehensweisen beim Testen von DOCSIS 3.1 beschrieben, damit dessen Leistungspotenzial in vollem Umfang ausgeschöpft werden kann.

Das orthogonale Frequenzmultiplexverfahren (OFDM)

Das OFDM lässt sich am besten im Vergleich zu DOCSIS 3.0 beschreiben. DOCSIS 3.0 nutzt einen einzelnen Träger mit einer Kanalbreite von 6 MHz (Europa: 8 MHz). Die Modulation basiert auf einem einzelnen QAM-Träger (SC-QAM, Single Carrier QAM) und die Symbole müssen den gleichen Träger sequenziell durchlaufen. Bei einer Störung auf einem Träger wird die Modulation verringert, damit die Daten weiter fließen können – und zwar nicht nur für diesen einen Träger, sondern für alle Träger in der Kabelinstallation. Das bedeutet, dass die Modulationen für die schwächste Stelle im Leitungsnetz optimiert werden müssen.



6,3	Max. Bit/Hz DOCSIS 3.0
10,5	Max. Bit/Hz D3.1 4096 QAM
8,5	Typ. Bit/Hz DOCSIS 3.1 (bei Mix aus 256, 1024, 2048, 4096 QAM)
35 %	Höhere Effizienz DOCSIS 3.1 mehr Bit/Hz als DOCSIS 3.0

Abbildung 1: OFDM setzt völlig neue Maßstäbe, da dieses Verfahren bei gleichem Signal-/Rauschabstand (SNR) mehr Bit/Hz ermöglicht.

Demgegenüber bietet OFDM Kanalbreiten von 24 MHz bis 192 MHz. Innerhalb dieser Kanalbreiten unterstützt OFDM über die gesamte Bandbreite bis zu 8000 Unterträger bei 25 kHz oder 50 kHz. Alle Unterträger werden über die Bandbreite zeitlich synchronisiert und kommunizieren miteinander, um Symbole zu bilden. Diese Symbole tragen Codewörter und sind über mehrere Unterträger und Zeitschlitze (Slots) verteilt.

Der größte Vorteil besteht darin, dass die Symbole nicht länger an spezifische Frequenzen gebunden sind, sondern stattdessen über die gesamte Bandbreite hinweg verschiedenen Frequenzen zugewiesen werden. Daraus ergeben sich einige beeindruckende Möglichkeiten. Wenn jetzt ein Unterträger gestört ist, kann OFDM diesen Träger einfach ausschließen und die beiden benachbarten Unterträger nutzen. Damit werden alle Symbole über die gesamte Bandbreite mit optimaler Leistung weiter übertragen.

Da das OFDM für ein festgelegtes Zeitintervall moduliert wird, kann diese Technologie die Unterträger formen, indem sie deren Phasenbeziehung steuert. Wenn ein Unterträger einen Maximalwert (Peak) erreicht, ist es möglich, den benachbarten Träger auf null zu setzen. Auf diese Weise werden Interferenzen verringert und höhere Modulationen erzielt.

Gerade bei den Modulationen bewirkt das OFDM eine deutliche Steigerung der Netzwerkleistung. Anstatt für das gesamte Kabelnetz nur eine einzige Modulation zu nutzen, lässt das OFDM für jeden Unterträger verschiedene Modulationen zu. Es ist möglich, mehrere Profile zu erstellen, die festlegen, welche Modulation auf jedem einzelnen Unterträger zu verwenden ist.

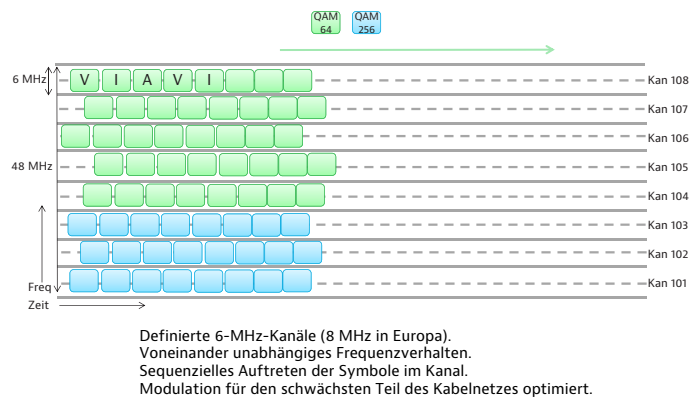


Abbildung 2: Modulation – SC QAM

Im Folgenden wird dieses Prinzip an einem einzelnen Unterträger erläutert. Jedes Profil hat eine eigene Modulation, wie z. B. 64 QAM, 1024 QAM, 2048 QAM oder 4096 QAM. Nun ist OFDM in der Lage, das Profil mit der höchsten QAM zu nutzen, die der betreffende Unterträger in den einzelnen Abschnitten des HFC-Kabelnetzes noch unterstützt. Das kann in einem Abschnitt 4096 QAM sein. In einem anderen Teil ist es vielleicht nur 1024 QAM. Im nächsten Abschnitt treten möglicherweise zu viele Interferenzen auf, so dass das spezifische Profil einen Teil des Spektrums ausschließt. Im nächsten Spektrumbereich gibt es keine Interferenzen. Daher kommt ein Profil mit 2048 QAM zum Einsatz. OFDM bietet diese Flexibilität, da dieses Verfahren die Bit-Belegung der Profile variabel steuern kann.

Der oben an einem einzigen Unterträger beschriebene Vorgang ist auf alle 8.000 Unterträger anwendbar. Die Profile steuern die Unterträger, um die Leistung des einzelnen Unterträgers zu einem ganz bestimmten Zeitpunkt zu maximieren.

Wie bereits erwähnt, sind alle Unterträger miteinander verbunden, um Symbole zu bilden, die Codewörter übertragen. Den Codewörtern sind auf jedem Symbol bestimmte Unterträger zugewiesen und deren Modulation wird von einem Profil gesteuert. Jedes Profil ist durch einen Buchstaben, wie A, B, C oder D, gekennzeichnet. Die Leistung jedes einzelnen Unterträgers wird nicht nur optimiert, sondern darüber hinaus wissen alle 8.000 Unterträger, was die jeweils anderen Unterträger machen.

Anstatt die Modulationen also nur für die schwächste Stelle im Kabelnetz zu optimieren, können sie nun für den Teil optimiert werden, der zu einem beliebigen Zeitpunkt die beste Leistung zur Verfügung stellt. Damit ist DOCSIS 3.1 viel effizienter als die Vorgängerversion. Während DOCSIS 3.0 maximal 6,3 Bit/Hz erreicht, unterstützt DOCSIS 3.1 bei 4096 QAM bis zu 10,5 Bit/Hz. In einer typischen Situation, in der mehrere QAM zur gleichen Zeit genutzt werden, gewährleistet DOCSIS 3.1 noch 8,5 Bit/Hz und ist damit 35 % effizienter, ohne dass am HFC-Kabelnetz Änderungen vorgenommen werden müssen.

Low Density Parity Check (LDPC)

Die mit OFDM gemachten Fortschritte wären ohne eine Form der Fehlerkorrektur unmöglich gewesen. DOCSIS 3.0 hat noch die Reed-Solomon-Vorwärtskorrektur angewendet und die Bitfehlerrate (BER) gemessen. Diese ist bei Systemen mit nur einem Träger relevant. OFDM nutzt jedoch mehrere Träger. Da OFDM die Daten auf mehrere Unterträger und auf jedem Symbol über potenziell unterschiedliche Unterträger verteilt, hat die BER keine Aussagekraft mehr.

Deshalb setzt DOCSIS 3.1 auf die LDPC-Prüfung. LDPC erfasst die gesamte Bandbreite und sucht nach Codewort-Fehlern anstatt nach Bitfehlern. Wenn Codewort-Fehler korrigierbar sind, nimmt LDPC automatisch entsprechende Anpassungen vor, sodass höhere Modulationen realisierbar sind. Damit verringern sich Übertragungswiederholungen deutlich und die Unterträger funktionieren mit optimaler Leistung. LDPC ist so konzipiert, dass die Daten bei ihren theoretischen Grenzwerten übertragen werden.

Aber LDPC hat auch einen Nachteil. Beim Ausführen von Echtzeitanpassungen zur Korrektur von Codewörtern stößt LDPC beim Leistungspegel und Modulationsfehlerverhältnis (MER) an bestimmte Grenzen. In diesem Fall weist LDPC mit einer Warnung auf den bevorstehenden Ausfall hin. Überschreitet LDPC diese Grenze, können die Codewörter nicht mehr korrigiert werden und die Qualität des Kundenerlebnisses (QoE) beginnt zu sinken. Um einen solchen Zustand zu verhindern, gewinnt das Testen an Bedeutung.

Tests zur Gewährleistung einer maximalen Leistung

Um exakte Tests ausführen zu können, muss man die einzelnen, aufeinander aufbauenden Bausteine des OFDM verstehen. Das Fundament bildet der PHY Link Channel (PLC), der Daten zur Decodierung des OFDM-Signals enthält. Ohne den PLC kann das Modem den OFDM-Träger weder finden, noch wissen, wie dieser zu decodieren ist. Eine Ebene höher folgt der NCP (Next Codeword Pointer), der dem Modem mitteilt, welche Codewörter vorhanden sind und welches Profil auf die einzelnen Codewörter anzuwenden ist. Als nächstes kommt das Profil A als Startprofil, das jedes DOCSIS-3.1-Modem unterstützen muss, um die höheren QAM der anderen Profile zu realisieren.

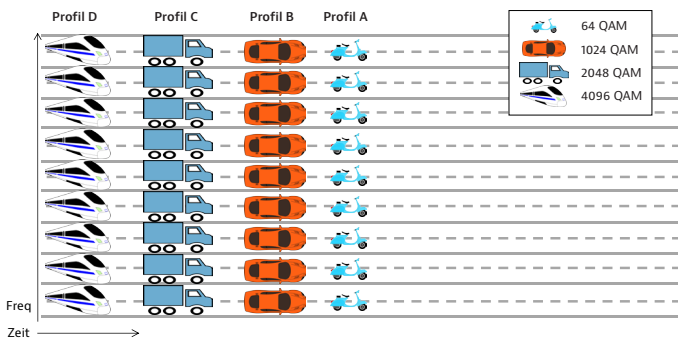


Abbildung 3: Elementare Darstellung des Profilkonzepts. Zur Vereinfachung wird davon ausgegangen, dass die Profile bei allen Unterträgern die gleiche Modulation verwenden.

Ab Profil B werden die Leistungspegel, das MER-Verhältnis und die Rauschpegel auf Einhaltung der OFDM-Anforderungen getestet. Nach diesem Test kann dann Profil B oder ein höheres Profil genutzt werden, um höhere QAM und eine bessere Effizienz zu erreichen. Profile über A, B, C und D liegen im Ermessen des Herstellers des Cable Modem Termination System (CMTS) und des Kabelmodems (CM). Prinzipiell ist die Zahl der nutzbaren Profile jedoch nicht begrenzt.

Beim Testen des PLC muss dieser fest eingestellt sein und es dürfen keine nicht korrigierbaren Codewort-Fehler (CWE) vorhanden sein. Sein Leistungspegel und das MER-Verhältnis müssen gut im Toleranzbereich liegen, damit er zuverlässig decodiert werden kann. Der DOCSIS-3.1-Standard schränkt den PLC dahingehend ein, dass er die binäre Phasenumtastung (BPSK) bzw. 16 QAM als Modulation nutzen muss.

Wenn der PLC dann einwandfrei funktioniert, muss der NCP ebenfalls fest eingestellt sein und darf keine nicht korrigierbaren CWE aufweisen. Sollten in dieser Phase Nachrichten verloren gehen, kommt es zu Übertragungswiederholungen oder im schlimmsten Fall zum Totalausfall der Kommunikation. Der DOCSIS-3.1-Standard erlaubt dem NCP, die Quadratur-Phasenumtastung (QPSK) bei 16 QAM oder 64 QAM zu nutzen.

Da Profil A das Startprofil ist, kann ihm ein Mix aus niedrigeren QAM, wie QAM 64 oder QAM 16, zugewiesen werden, sodass alle DOCSIS-3.1-Modems auch in den leistungsschwächsten Abschnitten des Kabelnetzes noch kommunizieren können. Diese niedrigeren Modulationsraten erlauben ein niedrigeres MER-Verhältnis und niedrigere Leistungspegel. Genau wie die beiden Bausteine davor, muss Profil A fest eingestellt sein und darf keine nicht korrigierbaren CWE aufweisen. Sollten nicht korrigierbare CWE auftreten, schaltet das Modem auf DOCSIS 3.0 zurück und alle Effizienzvorteile gehen verloren. Profil A kann auch bei höheren Modulationen betrieben werden. Das würde aber dazu führen, dass korrigierbare CWE auftreten. Dies ist solange tolerierbar, bis diese CWE nicht mehr korrigierbar werden.

DOCSIS 3.1: Beste Vorgehensweisen für eine maximale Leistung

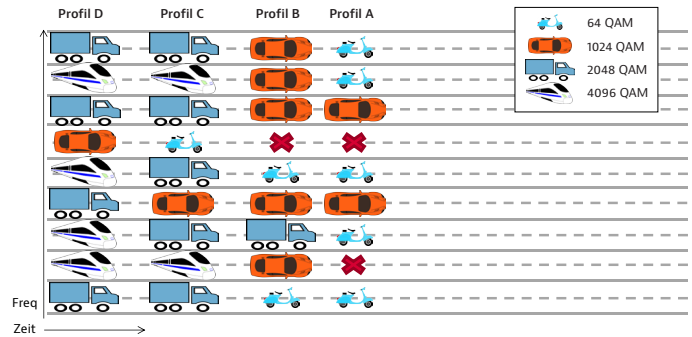


Abbildung 4: Realistische Darstellung des Profilkonzepts. OFDM erlaubt, spezifische Unterträger auszuschließen, sowie jedem Profil, die Modulation an den einzelnen Unterträgern zu variieren. Es ist also möglich, die Gesamtleistung der Träger zu optimieren, da jedes Profil eigene Ausschlüsse vornehmen kann.

Nachdem diese drei Bausteine gut im Toleranzbereich liegen, ist es an der Zeit, sich die Gesamtleistung eines OFDM-Trägers genauer anzusehen. Ein Fehler, den der Techniker machen kann, besteht darin, die Leistungspegel über den gesamten, 192 MHz breiten Träger zu messen. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass die Gesamtleistung eines OFDM-Trägers der Gesamtleistung eines 6 MHz breiten Trägers plus der Kanalbandbreite entspricht. Aus diesem Grund weicht die Leistung eines OFDM-Trägers erheblich von der Leistung eines einzelnen 6-MHz-Trägers ab. Um die Leistungspegel exakt anpassen zu können, müssen die Leistungspegel im Vergleich zur Leistung eines 6-MHz-Trägers gemessen und auf diesen bezogen (referenziert) werden.

Auch weist das OFDM einige Besonderheiten auf. Aufgrund von Flankenabfällen im Schutzband sind die ersten und letzten 6 MHz eines OFDM-Trägers etwa 0,8 dB schwächer als die anderen Träger. Das muss berücksichtigt werden, wenn ein konventionelles Messgerät verwendet wird oder wenn die Leistung in den einzelnen 6-MHz-Blöcken des OFDM ermittelt werden soll. Zudem ist der PLC-Träger etwa 0,8 dB stärker als die anderen Träger, da er die zusätzlichen Pilotträger und Datenmuster enthält. Zu guter Letzt weist die Gesamtwelligkeit in Bezug auf einen 6-MHz-Träger beim OFDM, bedingt durch die Flankenabfälle am oberen und unteren Ende sowie durch PLC-Schwankungen, eine Varianz von 1,6 dB auf.

Damit das OFDM also mit maximaler Leistung betrieben werden kann, muss der mittlere Leistungspegel im Toleranzbereich liegen, ein gutes MER-Verhältnis vorhanden und der Rauschpegel möglichst niedrig sein. Rauschen beeinträchtigt das OFDM erheblich und kann die Nutzung von Profilen mit höheren Modulationen verhindern.

Wenn OFDM gut funktioniert, sind höhere Profile möglich. Hierbei ist zu beachten, dass die Profile jeweils fest eingestellt sein müssen. Die höheren Profile dürfen tolerierbare Mengen von nicht korrigierbaren CWE enthalten, da es dort nicht so kritisch ist, wie bei den unteren Bausteinen. Allerdings können nicht korrigierbare CWE die Leistung der höheren Profile einschränken. Wenn Profil C beispielsweise einige nicht korrigierbare CWE aufweist, sind die höheren Profile, wie Profil D, nicht in der Lage, über die von Profil C verwendete Modulation hinauszugehen. Damit diese höheren Modulationen realisierbar sind, muss das HFC-Kabelnetz störungsfrei sein, um nicht korrigierbare CWE zu verhindern.

Fazit

DOCSIS 3.1 löst ein Dilemma, mit dem die Service-Provider seit Jahren konfrontiert sind: „Geben wir Geld aus, um das Kabelnetz komplett zu modernisieren, oder begnügen wir uns mit schrittweisen Verbesserungen an der vorhandenen Installation?“ Mit OFDM und LDPC können die Service-Provider mit einem geringen Modernisierungsaufwand am Kabelnetz deutliche Leistungssteigerungen erzielen.

Schon mit sehr wenigen Optimierungen an der Installation ist es möglich, eine um mindestens 35 % höhere Effizienz zu realisieren, sodass die Service-Provider sofort von einer höheren Datenrate und einem größeren Durchsatz profitieren. Diese Technologie verschafft den Anwendern auch mehr Zeit für schrittweise Verbesserungen am Kabelnetz, um das Leistungspotenzial von DOCSIS 3.1 immer umfassender auszuschöpfen.

Allerdings müssen die Service-Provider ihre DOCSIS-3.1-Installation sorgfältig implementieren und testen. Mängel in diesem Bereich können dazu führen, dass die neue Technologie keine Vorteile gegenüber DOCSIS 3.0 bietet. Die in diesem Dokument beschriebenen besten Vorgehensweisen stellen sicher, dass DOCSIS 3.1 eine maximale Leistung zur Verfügung stellt, weniger Techniker in den Reparatereinsatz geschickt werden müssen und die Kunden von einer höheren Erlebnisqualität (QoE) profitieren.



Kontakt +49 7121 86 2222

Sie finden das nächstgelegene
Viavi-Vertriebsbüro auf
viavisolutions.com/contacts

© 2016 Viavi Solutions Inc.
Die in diesem Dokument enthaltenen Produktspezifikationen und Produktbeschreibungen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden.
docsis31-wp-maa-nse-de
30179936 000 0316