

Workshop Finecom 14. Januar 2014 in Biel

Erhöhung der Datenraten mit DOCSIS 3.0

HELLTEC ENGINEERING AG

Thomas Metzger, Leiter Technik

# Erhöhung der Übertragungskapazität

- Für die Erhöhung der Datenkapazität pro User gibt es verschiedene Methoden:
  - Physikalische Zellverkleinerung >>> mehr Nodes
  - Logische Zellverkleinerung >>> weniger Node pro Sender im DS, weniger RX pro US Port im US
  - Mehr Frequenzen im DS und US >>> Channel Bonding
  - Bessere spektrale Nutzung der Frequenzen >>> effizientere Modulationsverfahren

# Effizienz der verschiedenen Methoden

- Physikalische Zellverkleinerung:
  - Verdopplung der Nodes = Verdopplung der Kapazität
- Logische Zellverkleinerung:
  - Halbierung der Node pro Sender = Verdopplung der Kapazität
  - Halbierung der RW RX pro US Port = Verdopplung der Kapazität
- Mehr Frequenzen:
  - Verdopplung der Frequenzen = Verdopplung der Kapazität

# Effizienz der verschiedenen Methoden

- Bessere spektrale Nutzung der Frequenzen im DS:
  - Nettobitraten in Mb/s bei Euro-DOCSIS 3.0

Anzahl Kanäle	64-QAM	256-QAM
1	38	52
4	152	208
6	228	312
8	304	416
10	380	520
12	456	624
14	532	728
16	608	832
18	684	936
20	760	1040
22	836	1144
24	912	1248

- Die Nettobitrate kann bei 256-QAM gegenüber 64-QAM um 36% gesteigert werden

# Effizienz der verschiedenen Methoden

- Bessere spektrale Nutzung der Frequenzen im US:
  - Nettobitraten in Mb/s bei (Euro)-DOCSIS 3.0

Anzahl Kanäle	QPSK	8-QAM	16-QAM	32-QAM	64-QAM
1	9.6	14.5	19.3	24.1	29.0
2	19	29	39	48	58
3	29	44	58	72	87
4	38	58	77	96	116
5	48	73	97	121	145
6	58	87	116	145	174
7	67	102	135	169	203
8	77	116	154	193	232
9	86	131	174	217	261
10	96	145	193	241	290
11	106	160	212	265	319
12	115	174	232	289	348

- Steigerung der Nettobitrate bei Verwendung von 64-QAM:
  - 200% gegenüber QPSK
  - 50% gegenüber 16-QAM

# Effizienz der verschiedenen Methoden

- Der Wechsel der Modulationsart von QPSK auf QAM-64 ist die effizienteste und kostengünstigste Methode für eine Erhöhung der Übertragungskapazität im US
- Das „Channel Bonding“ ist die effizienteste und kostengünstigste Methode für eine Erhöhung der Übertragungskapazität im DS
- Sowohl physikalische wie logische Zellverkleinerungen sind für den Kabelnetzbetreiber mit Investitionen verbunden
- Wechsel der Modulationsart sowie das Channel Bonding sind kurzfristige Methoden zur Steigerung der Übertragungskapazität, während Zellverkleinerungen mittel-/langfristig wirksam sind

# Anwendung der verschiedenen Methoden

- Die Anwendung der verschiedenen Methoden zur Erhöhung der Übertragungskapazität sind unter zwei Gesichtspunkten zu betrachten:
  - Maximale Linespeed (150 Mb/s Abo, 400 Mb/s Abo)
    - Beispiel 350 Mb/s im DS: bedingt 8 Kanäle und 256-QAM
    - Beispiel 50 Mb/s im US: bedingt 3 gebündelte Kanäle mit 16-QAM oder 2 gebündelte Kanäle mit 64-QAM
  - Verfügbarkeit der maximalen Linespeed (in %)
    - Ist abhängig von Zellgrösse, Anzahl Kanälen, Modulationsverfahren, Penetration, Gleichzeitigkeitsfaktor, Anteil der einzelnen Abotypen pro Zelle, CMTS Fabrikat, CM Fabrikat)
    - Die vielen Variablen zeigen die Komplexität der Definition der Anzahl Kanäle und des Modulationsverfahrens

# Anforderung an die DOCSIS Übertragung

- Die Anforderungen an eine hohe Verfügbarkeit der DOCSIS-Übertragung sind mehrschichtig
- Die wichtigsten Parameter sind:
  - Einhaltung minimaler Rauschabstand (CNR oder C/N)
  - Einhaltung minimaler Ingressabstand (C/J = „Carrier-to-Junk“)
  - Einhaltung minimale Modulation Error Rate (MER)
  - Einhaltung des Modempegelbereichs im DS und US
  - Einhaltung einer Obergrenze bezüglich BER, Packet Loss, Latency und Jitter
- Die einzelnen Parameter stehen zudem in gegenseitiger Abhängigkeit (Beispiel C/N, BER, MER, Packet Loss)



# Anforderung an die DOCSIS Übertragung

- Im DS entsprechen die Anforderungen an die Qualität des Übertragungskanals den Anforderungen für analoge Kanäle

*Table B-2 - Assumed Downstream RF Channel Transmission Characteristics*

Parameter	Value
Frequency range	Cable system downstream operating range is from 47 MHz to 862 MHz. However, the operating range for data communication is from 108 to 862 MHz and the values in this table only apply to this frequency range. The use of frequencies between 108 and 136 MHz may be forbidden due to national regulation with regard to interference with aeronautical navigation frequencies.
RF channel spacing (design bandwidth)	7/8 MHz, 8 MHz channels are used for data communication
Transit delay from head-end to most distant customer	≤ 0.800 ms (typically much less)
Carrier-to-noise ratio in an 8 MHz band (analog video level)	Not less than 44 dB <sup>1</sup>
Carrier-to-interference ratio for total power (discrete and broadband ingress signals)	Not less than 52 dB within the design bandwidth
Composite triple beat distortion for analog modulated carriers	Not greater than -57 dBc within the design bandwidth <sup>2</sup>
Composite second-order distortion for analog modulated carriers	Not greater than -57 dBc within the design bandwidth <sup>2</sup>
Cross-modulation level	Under consideration
Amplitude ripple	2.5 dB in 8 MHz
Group delay ripple in the spectrum occupied by the CMTS	100 ns over frequency range 0.5 – 4.43 MHz
Micro-reflections bound for dominant echo	-10 dBc @ ≤ 0.5 μs -15 dBc @ ≤ 1.0 μs -20 dBc @ ≤ 1.5 μs

# Anforderung an die DOCSIS Übertragung

- Im US fordert die DOCSIS 3.0-Spezifikation für alle Modulationsarten ein minimales CNR von 25 dB

*Table 5–2 - Assumed Upstream RF Channel Transmission Characteristics*

Parameter	Value
Frequency range	5 to 42 MHz edge to edge or 5 to 85 MHz edge to edge
Transit delay from head-end to most distant customer	≤ 0.800 ms (typically much less)
Carrier-to-interference plus ingress (the sum of noise, distortion, common-path distortion and cross modulation and the sum of discrete and broadband ingress signals, impulse noise excluded) ratio	Not less than 25 dB <sup>1</sup>
Carrier hum modulation	Not greater than -23 dBc (7.0%)
Burst noise	Not longer than 10 μs at a 1 KHz average rate for most cases <sup>2,3</sup>
Amplitude ripple across upstream operating frequency range	0.5 dB/MHz
Group delay ripple across upstream operating frequency range	200 ns/MHz
Micro-reflections – single echo	-10 dBc @ ≤ 0.5 μs -20 dBc @ ≤ 1.0 μs -30 dBc @ > 1.0 μs
Seasonal and diurnal reverse gain (loss) variation	Not greater than 14 dB min to max
Table Notes: Note 1 Ingress avoidance or tolerance techniques may be used to ensure operation in the presence of time-varying discrete ingress signals that could be as high as 10 dBc. The ratios are guaranteed only within the digital carrier channels. Note 2 Amplitude and frequency characteristics sufficiently strong to partially or wholly mask the data carrier. Note 3 Impulse noise levels more prevalent at lower frequencies (<15 MHz).	

# Anforderung an die DOCSIS Übertragung

- Zu diesen 25 dB CNR der Spezifikation sollten mindestens 5 dB Betriebsreserve eingerechnet werden, was 30 dB ergibt. Zu empfehlen sind jedoch 35 dB
- Je höher der effektive CNR, desto besser sind die Werte für MER, BER und Packet Loss
- Der von der CMTS zur Verfügung gestellte SNR Wert (auch S/N) entspricht am ehesten einem mit einem Messgerät gemessenen MER Wert. Das Messverfahren ist jedoch nicht publik, soll aber ein Mittelwert über 10'000 empfangene Symbole sein (Cisco).
- Der SNR Wert kann überhöht angezeigt werden, da unkorrigierbare Symbole nicht berücksichtigt werden

# Der Rückwegsystempegel

- Der Rückwegsystempegel ist ein planerischer Wert, anhand dessen der Rückweg in einem HFC-Netz geplant und gepegelt wird
- Der Rückwegsystempegel ist die **Referenz** für die Pegelung der aufgeschalteten Dienste wie DOCSIS
- Wichtige Betriebsparameter wie der OMI (optischer Modulationsindex) eines Lasersenders beziehen sich auf den festgelegten Rückwegsystempegel (10% OMI @70 dBuV)
- Der Wertebereich des Rückwegsystempegels liegt in der Praxis bei 70-80 dBuV
- Viele optische RW-Sender benötigen min. 70 dBuV für 10% OMI

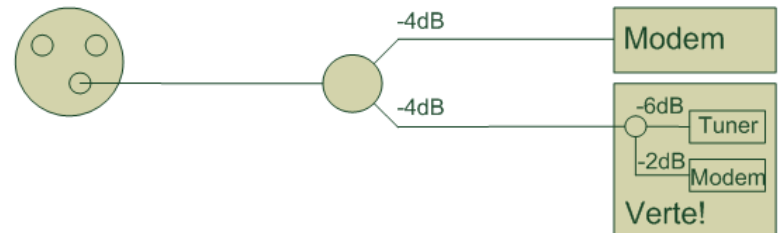
# Rückwegsystempegel und max. Sendepiegel CM

- Je höher der Rückwegsystempegel, desto höher der erforderliche Ausgangspegel der CM (bei konstanter RW-Dämpfung)
- Je höher das Modulationsverfahren, desto geringer die max. Sendeleistung des CM (QPSK auf 64 QAM >>> -4 dB)
- Je mehr gebündelte Kanäle („Channel Bonding“), desto geringer die max. Leistung des CM (1 auf 3 oder 4 Kanäle >>> -6 dB)

Maximaler Sendepiegel DOCSIS Modem [dBuV] (gemäss DOCSIS Spezifikationen)	DOCSIS 2.0	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.0	DOCSIS 2.0	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.0	DOCSIS 2.0	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.0
		1 CH	2 CH	3/4 CH		1 CH	2 CH	3/4 CH		1 CH	2 CH	3/4 CH
@QPSK	118	121	118	115	118	121	118	115	118	121	118	115
@8-QAM	115	118	115	112	115	118	115	112	115	118	115	112
@16-QAM	115	118	115	112	115	118	115	112	115	118	115	112
@32-QAM	114	117	114	111	114	117	114	111	114	117	114	111
@64-QAM	114	117	114	111	114	117	114	111	114	117	114	111
@S-CDMA	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113

# Rückwegsystempegel und max. Sendepiegel CM

- Durch die Versorgung mehrerer Endgeräte ab einer Dose (z.B. Verte!Box + CM) erhöht sich die Rückwegdämpfung und damit der Pegelbedarf zusätzlich (+6 dB!)



- Fazit: Während die Rückwegdämpfung im Fall Verte!Box + CM um 6 dB steigt, verringert sich der maximale Sendepiegel des CM um 10 dB beim Wechsel QPSK auf 64QAM und Channel Bonding 1 auf 4 Kanäle. Dies ergibt ein Pegeldefizit von 16 dB gegenüber Zustand mit DOCSIS 2.0 CM / ohne Verte!Box

# Rückwegsystempegel und max. Sendepiegel CM

- Dieses Pegeldefizit kann nur teilweise kompensiert werden:
  - Durch die generell höheren Ausgangspegel bei DOCSIS 3.0 CM gegenüber DOCSIS 2.0 CM ergibt sich ein Gewinn um +3 dB
  - Absenkung des Rückwegsystempegels auf 70 dBuV (Beispiel: Absenkung von heute 76 dBuV auf neu 70 dBuV ergibt einen Gewinn von +6 dB)
- Der maximale Gewinn beträgt im vorliegenden Beispiel total +9 dB, womit sich ein effektiver Pegelverlust von  $16-9 = 7$  dB ergibt.
- Somit ist die Absenkung des Rückwegsystempegels auf ein Minimum von 70 dBuV ein effektives Mittel, um die maximale Sendeleistung der CM einzuhalten.  $<70$  dBuV ist nicht möglich, da sonst der notwendige OMI der Laser von 10% nicht erreicht wird.

# Rückwegsystempegel und max. Sendepiegel CM

- Mit der Absenkung des Rückwegsystempegels nimmt auch der CNR Wert ab, abhängig von der Zellgrösse (Anzahl Verstärker)

RW Systempegel	OMI	$\lambda$ / RX	Amp pro Node	CNR VN	RX pro US Port	CNR TOTAL	CNR Verlust
76.0	10.0	1	2.0	52.5	1	52.5	
76.0	10.0	1	4.0	51.8	1	51.8	
76.0	10.0	1	8.0	50.6	1	50.6	
76.0	10.0	1	16.0	49.0	1	49.0	
76.0	10.0	1	32.0	46.8	1	46.8	
70.0	10.0	1	2.0	50.6	1	50.6	1.8
70.0	10.0	1	4.0	49.0	1	49.0	2.8
70.0	10.0	1	8.0	46.9	1	46.9	3.8
70.0	10.0	1	16.0	44.4	1	44.4	4.6
70.0	10.0	1	32.0	41.6	1	41.6	5.2

Werte beziehen sich auf 0 dBm optische Eingangsleistung am Rückwegempfänger



# Rückwegsystempegel und max. Sendepiegel CM

- Ebenfalls einen Einfluss auf den CNR hat die Zusammenschaltung von Rückwegempfängern auf ein US Port der CMTS

RX pro US Port	CNR Verlust
2	3.0
4	6.0
6	7.8
8	9.0
10	10.0
12	10.8
14	11.5
16	12.0

- Beispiel: bei 16 Verstärkern pro Node und 4 RX pro US Port ergibt sich bei 70 dBuV ein CNR-Wert von  $44.4 - 6 = 38.4$  dB
- Bei vernünftigen Zellgrößen und RX pro US-Port ergeben sich auch bei 70 dBuV Rückwegsystempegel gute CNR-Werte !

# Rückwegsystempegel und max. Sendepiegel CM

- Um dem maximalen Sendepiegel von 111 dBuV eines DOCSIS 3.0 CM bei 4 gebündelten Kanälen und 64-QAM Modulation Rechnung zu tragen, darf bei einem Systempegel von 70 dBuV die Dämpfung zwischen CM und Eingang des ersten Rückwegverstärkers nicht mehr als 41 dB betragen
- Bedingungen HVA: max. Dämpfung = 35.5 dB + 2fach Verteiler + Verte!Box):
  - Liegenschaft über 17 dB Tap-Abgang erschlossen
  - Zuleitungskabel 2 dB
  - 3 kaskadierte 3-Loch-Anschlussdosen (17er > 17er > 11er Stichdosen)
  - Hybride Settop Box und Kabelmodem werden von derselben Anschlussdose versorgt, deshalb symmetrischer Verteiler auf Datenanschluss der Dose (3.5 dB Dämpfung)
  - Hybride Settop Box („Verte!“ Box) mit einem HF-Anschluss, deshalb interner Verteiler 2 dB/6 dB für Modem-/DVB-C-Tuner-Eingang (2 dB Dämpfung Abgang für Modem)

# Höhere Datenraten DOCSIS 3.0 - Praktische Umsetzung

- Die Basis für höhere Datenraten bildet ein korrekt eingepegelt HFC-Netz – vor allem im Rückweg:
  - Reduktion des Rückwegsystempegels (Ziel: 70 dBuV), um die maximal erforderliche Sendeleistung der CM zu senken
  - Sicherstellung, dass der geplante OMI-Wert der Rückweg-Sender (Standardwert 10%) eingehalten wird
  - Korrekte Pegelung von RW-Empfänger, Node, Netzverstärker und allfällige Hausverstärker
  - Sicherstellung, dass der in der CMTS eingestellte „Target Level Offset“-Wert der US Ports dem geplanten Rückwegpegel am US-Port entspricht (abhängig vom Ausgangspegel RW-Empfänger und der Dämpfung bis zum US-Port)

# Höhere Datenraten DOCSIS 3.0 - Praktische Umsetzung

- Anpassung/Sanierung von HVA, welche eine zu hohe Rückwegdämpfung aufweisen (CM Pegel > 110 dBuV)
- Eventuell Einsatz von aktiven Anschlussdosen-Aufsteckverteilern
- Ebenfalls muss sichergestellt werden, dass der Ingress an den US-Ports einen gewissen Grenzwert nicht überschreitet
- Für einen zuverlässigen Betrieb ist eine tägliche Überwachung des Ingress unerlässlich (Mittel: QMC, PathTrak, Verstärker/Node mit der Möglichkeit von Ingressmonitoring)
- Ingress sollte proaktiv beseitigt werden, bevor dieser die Übertragung stört
- Bekannte Ingressquellen sollten systematisch beseitigt werden (z.B. geschraubte oder korrodierte Stecker, schlechte Kontaktierungen, schlechte Montagequalität, altes Netzmaterial, etc)

Helltec Engineering AG  
Buzibachring 1  
CH-6023 Rothenburg

Tel +41 (0)41 289 12 22  
Fax +41 (0)41 289 12 29  
email [info@helltec.ch](mailto:info@helltec.ch)  
web [www.helltec.ch](http://www.helltec.ch)

