

日付：2006年07月21日

提出元：NTT

題名：VDSL2 システムおよび FTTR システムの UPBO 仕様について

1. はじめに

標記についての提案を行う。

2. 期待速度の仮定

UPBO は、距離 (VTU-0~VTU-R 間) の異なる回線相互間に、距離 l_{ref} [m] 以下で、等レベル遠端漏話環境を提供するための機能である。このため、遠端漏話環境下では有効に作用するが、反面、距離 l_{ref} [m] 以下で、VTU-R からの送信 PSD レベルを減衰させるため、PSD フルレベル送信時に対して、(上り) 装置単体性能、即ち、AWGN 環境下での (距離-速度) 特性が劣化すると想定される。

従って、ここでは、UPBO 適用時の装置単体の期待伝送速度を仮定し、その条件を満たす UPBO 仕様 (= 送信 PSD の最大減衰量) を考察する。

●仮定期待速度：雑音として AWGN (-140 [dBm/Hz]) を考え、この時、US0, US1, US2, US3 のバンド内の全サブキャリアにおいて、12 [bit/サブキャリア] のアロケーションが可能となることを期待する。

●仮定装置劣化：装置実装に伴う劣化として (注1), US0→0 [dB], US1→3 [dB], US2→3 [dB], US3→6 [dB] を見込む。結果として、US0→12 [bit/サブキャリア], US1→11 [bit/サブキャリア], US2→11 [bit/サブキャリア], US3→10 [bit/サブキャリア] を期待していることになる。

(注1) VDSL 装置の自己内部雑音は、-140~-130 [dBm/Hz] とされており、これを勘案したマージンと考えてもよい (最大 10 [dB] 程度までは考慮の範囲内)。

3. 期待速度を満足する最大距離

付録Aから、期待速度を満足する (12bit アロケートする) ために必要となる受信点での PSD レベル (ノミナル値) は、以下となる。

- US0 : $r_0 = -91 + 0 = -91$ [dBm/Hz]
- US1 : $r_1 = -91 + 3 = -88$ [dBm/Hz]
- US2 : $r_2 = -91 + 3 = -88$ [dBm/Hz]
- US3 : $r_3 = -91 + 6 = -85$ [dBm/Hz]

また、各バンドの最大周波数のサブキャリアは以下となる。

- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| • US0 : #31=0.1336875 [MHz] | その周波数での線路損失 $L_0=0.0108275$ [dB/m] |
| • US1 : #1204=5.19225 [MHz] | その周波数での線路損失 $L_1=0.0624019$ [dB/m] |
| • US2 : #2781=11.9930625 [MHz] | その周波数での線路損失 $L_2=0.0999735$ [dB/m] |
| • US3 : #6955=29.9934375 [MHz] | その周波数での線路損失 $L_3=0.17348$ [dB/m] |

従って、期待速度を満足する各バンドの最大距離は以下となる。

- US0 : $X_0 = \{(-38) - r_0\} / L_0 = 4895$ [m]
- US1 : $X_1 = \{(-53) - r_1\} / L_1 = 561$ [m]
- US2 : $X_2 = \{(-54) - r_2\} / L_2 = 340$ [m]
- US3 : $X_3 = \{(-60) - r_3\} / L_3 = 144$ [m]

4. 結果の考察

上記から、 l_{ref} 値として、まずは、以下の値が導かれた。

- US0 : $l_{ref1}=4895$ [m]
- US1 : $l_{ref2}=561$ [m]
- US2 : $l_{ref3}=340$ [m]
- US3 : $l_{ref3}=144$ [m]

ここで、 $l_{ref1}=4895$ [m]については、約 5[km]となることから、実質、UPBO 不適用としてよいと考えられる。

また、 $l_{ref2}=561$ [m]、 $l_{ref3}=340$ [m]については、付録Cに示した、G. 993. 1 AnnexF の構内系 VDSL (US1, US2 とともに -60 [dBm/Hz]) の UPBO と同一距離で、同一の送信 PSD レベルとなる、 $l_{ref2}=497$ [m]、 $l_{ref3}=291$ [m] に近いことから、この際、“同一距離で、同一の送信 PSD レベルとなる”条件を採用してはいかがかと提案する。これは、US1 $\rightarrow 7$ [dB] の、US2 $\rightarrow 8$ [dB] の装置劣化を見込んだ場合とも考えられる。

同様に、 $l_{ref3}=144$ [m] も、装置劣化 US3 $\rightarrow 9$ [dB] で、再考して、 $l_{ref3}=127$ [m] で、いかがかと提案する。

5. l_{ref} 値の提案

l_{ref} 値として以下を提案する。

- US0 : UPBO 適用せず。
- US1 : $l_{ref2}=495$ [m]
- US2 : $l_{ref3}=290$ [m]
- US3 : $l_{ref3}=125$ [m]

PSD マスク式は以下のとおり。尚、 l_{min} については、付録B参照。

$$\begin{aligned} PSD-US1(f, d_r) &= \min \left[-49.5, \max \left\{ -49.5 + k_1 (l_{min1} - l_{ref1}) \sqrt{f}, -49.5 + k_1 (d_r - l_{ref1}) \sqrt{f} \right\} \right] \text{ [dBm/Hz]} \\ PSD-US2(f, d_r) &= \min \left[-50.5, \max \left\{ -50.5 + k_2 (l_{min2} - l_{ref2}) \sqrt{f}, -50.5 + k_2 (d_r - l_{ref2}) \sqrt{f} \right\} \right] \text{ [dBm/Hz]} \\ PSD-US3(f, d_r) &= \min \left[-56.5, \max \left\{ -56.5 + k_3 (l_{min3} - l_{ref3}) \sqrt{f}, -50.5 + k_3 (d_r - l_{ref3}) \sqrt{f} \right\} \right] \text{ [dBm/Hz]} \end{aligned}$$

where

f (Hz),

d_r (m), VT-OとVT-R間の線路距離

$k_1 = 2.719 * 10^{-5}$ [dB/(m \sqrt{Hz})], 0.4mmCCPケーブルの4.475MHz点での損失係数

$k_2 = 2.853 * 10^{-5}$ [dB/(m \sqrt{Hz})], 0.4mmCCPケーブルの10.25MHz点での損失係数

$k_3 = 3.084 * 10^{-5}$ [dB/(m \sqrt{Hz})], 0.4mmCCPケーブルの24.05MHz点での損失係数

$l_{ref1} = 495$ (m), この線路距離以上ではフル出力(US1)

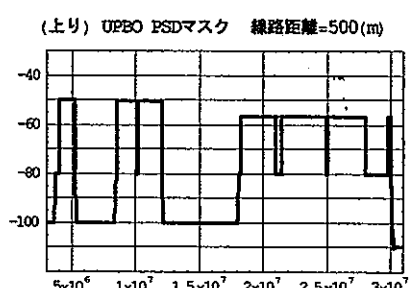
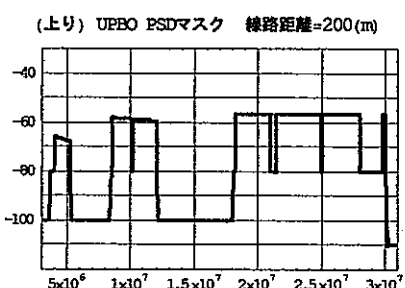
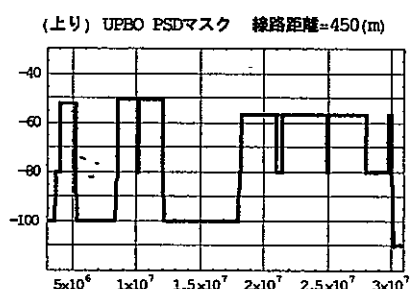
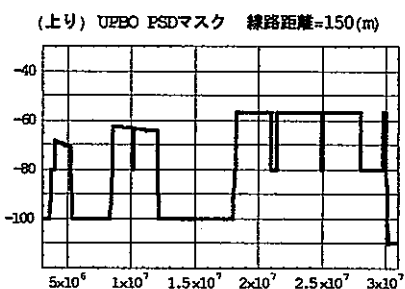
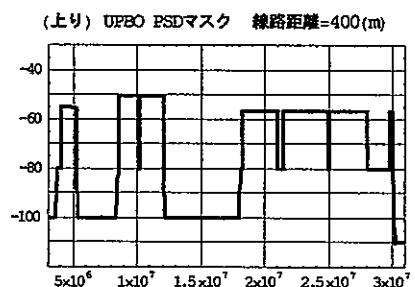
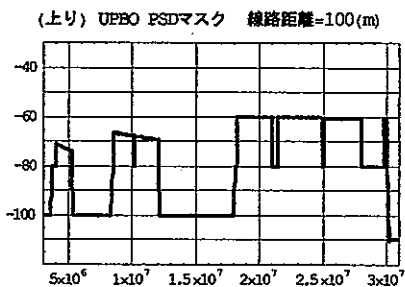
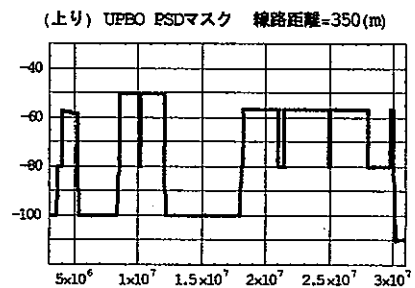
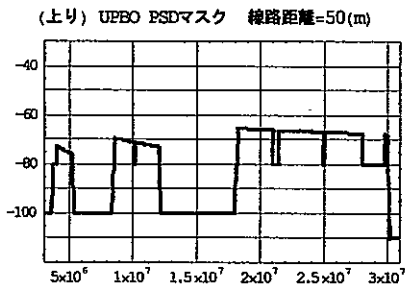
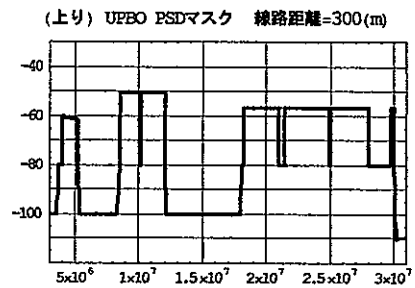
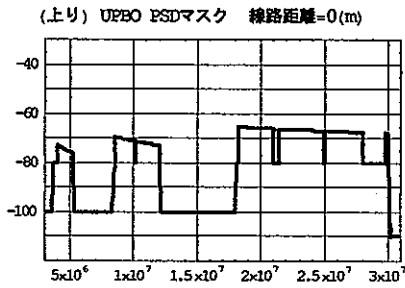
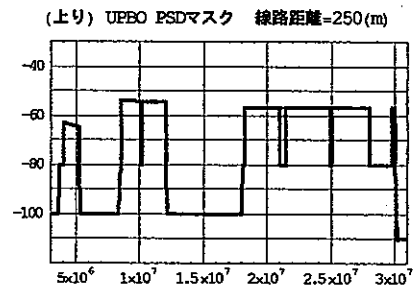
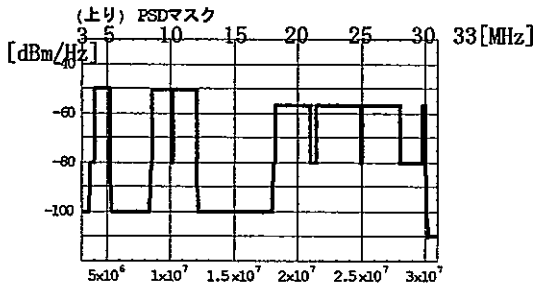
$l_{ref2} = 290$ (m), この線路距離以上ではフル出力(US2)

$l_{ref3} = 125$ (m), この線路距離以上ではフル出力(US3)

$l_{min1} = 66$ (m), この線路距離以下ではUPBO減衰一定(US1)

$l_{min2} = 63$ (m), この線路距離以下ではUPBO減衰一定(US2)

$l_{min3} = 58$ (m), この線路距離以下ではUPBO減衰一定(US3)



参考図 UPBO適用時のPSDマスク (上り)

付録A ビットプロケ-シヨノ可能受信点信号PSDレベル

$$b \leq \log_2 \left(1 + \frac{10^{S/10-3}}{10^{N/10-3}} \frac{1}{10^{17/10}} \right) \quad (\text{bit})$$

但し S: 信号レベル(+)の値 [dBm/Hz]

N: 雑音 (ここでは -140 [dBm/Hz] と -130 [dBm/Hz] を仮定する)

$$P = 9.75 - C + M = 9.75 - 3 + 6 = 12.75 \text{ [dB]}$$

N = -140 [dBm/Hz] の場合

$$b \leq \log_2 \left(1 + \frac{10^{S/10-3}}{10^{-17}} \cdot \frac{1}{10^{12.75}} \right) = \log_2 \left(1 + \frac{10^{S/10-3}}{10^{-15.725}} \right)$$

$$2^b \leq 1 + 10^{S/10+12.725}$$

$$10^{S/10+12.725} \geq 2^b - 1$$

$$S/10 + 12.725 \geq \log(2^b - 1)$$

$$\therefore S \geq 10 \log(2^b - 1) - 127.25 \quad (\text{dBm/Hz})$$

よて

$$b \geq 1 \text{ (bit)}$$

- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15

$$S \geq -127 \quad (\text{dBm/Hz})$$

N = -140 (dBm/Hz) の時

N = -130 (dBm/Hz) の時

- 117 (dBm/Hz)
- 112
- 108
- 105
- 102
- 99
- 96
- 93
- 90
- 87
- 84
- 81
- 78
- 75
- 72

付録 B UPBO 関連定数について

(1) K について

線路損失 $L = -20 \log |H(f, d)| \approx K d \sqrt{f}$ (dB) で近似する前提で、^(注1)
 US0 ~ US3 のバンド中心周波数を f_{oi} (Hz) と置くと

$$K_i = \frac{-20 \log |H(f_{oi}, d)|}{d \sqrt{f_{oi}}} \quad [\text{dB}/(\text{cm} \cdot \sqrt{\text{Hz}})]$$

で与えられる。

(注1) 古典的手法で、G.993.1, G.993.2 で採用。

US0	0.025875 ~ 0.138 (MHz)	$f_{o0} = 0.0819375$ (MHz)	$L = 0.981708$ (dB/100m)
US1	3.75 ~ 5.2 (MHz)	$f_{o1} = 4.475$ (MHz)	$L = 5.75217$ (dB/100m)
US2	8.5 ~ 12 (MHz)	$f_{o2} = 10.25$ (MHz)	$L = 9.13387$ (dB/100m)
US3	18.1 ~ 30 (MHz)	$f_{o3} = 24.05$ (MHz)	$L = 15.1259$ (dB/100m)

よって

$$K_0 = 3.430 \times 10^{-5} \quad [\text{dB}/(\text{cm} \cdot \sqrt{\text{Hz}})]$$

$$K_1 = 2.719 \times 10^{-5} \quad [\text{dB}/(\text{cm} \cdot \sqrt{\text{Hz}})]$$

$$K_2 = 2.853 \times 10^{-5} \quad [\text{dB}/(\text{cm} \cdot \sqrt{\text{Hz}})]$$

$$K_3 = 3.084 \times 10^{-5} \quad [\text{dB}/(\text{cm} \cdot \sqrt{\text{Hz}})]$$

精内系 VDSL 用の
 G.993.1 Annex F, G.993.2 Annex C 記載値

(2) L_{min} について

精内系 VDSL 用 G.993.1 Annex F, G.993.2 Annex C には未記載だが、XDSL 規格に記載されている(しよよい)。ため、適用は可能。

G.993.2 §7.2.1.3.2 において、UPBO 減衰量は、 $K'd = 1.8$ の値を用いる。

$K'd \leq 1.8$ 但し K' in dB/m $\sqrt{\text{MHz}}$, d in m

において、UPBO 減衰量は、 $K'd = 1.8$ の値を用いる。

ここで、線路損失

$$L = K d \sqrt{f} = K' d \sqrt{f} = \frac{K'}{10^3} d \sqrt{10^6 f}$$

in Hz in MHz = \tilde{K} = f

とすることができる。

$$\kappa'd = 10^3 \kappa d \leq 1.8$$

$$\therefore d \leq \frac{1.8 \times 10^{-3}}{\kappa}$$

∴ ∴

$$l_{\min j} \cong \frac{1.8 \times 10^{-3}}{\kappa_j}$$

∴ ∴ ∴

$$l_{\min 0} = 52 \text{ (m)}$$

$$l_{\min 1} = 66 \text{ (m)}$$

$$l_{\min 2} = 63 \text{ (m)}$$

$$l_{\min 3} = 58 \text{ (m)}$$

∴ ∴ ∴.

7.2.1.3.2 Power back-off PSD mask

The VTU-R shall explicitly estimate the electrical length of its loop, kl , and use this value to calculate the UPBO PSD mask, UPBOMASK, at the beginning of initialization. The VTU-R shall then adapt its transmit signal to conform strictly to the mask UPBOMASK(kl, f) during initialization and Showtime, while remaining below the PSDMASK_{us} limit determined by the VTU-O as described in §7.2.1.3.1, and within the limit imposed by the upstream PSD ceiling (CDMAXMASK_{us}, MAXMASK_{us}). UPBOMASK is calculated as:

$$\begin{aligned} \text{UPBOMASK}(kl_0, f) &= \text{UPBOPSD}(f) + \text{LOSS}(kl_0, f) + 3.5 \quad [\text{dBm/Hz}], \quad \text{where} \\ \text{LOSS}(kl_0, f) &= kl_0 \sqrt{f} \quad [\text{dB}], \quad \text{and} \\ \text{UPBOPSD}(f) &= -a - b\sqrt{f} \quad [\text{dBm/Hz}], \end{aligned}$$

with f expressed in MHz.

UPBOPSD(f) is a function of frequency but is independent of length and type of loop. The values of a and b , which may differ for each upstream band, are obtained from the CO MIB as specified in ITU-T Recommendation G.997.1 [4] and shall be provided to the VTU-R during initialization (see §12.3.3.2.1.1). Specific values may depend on the geographic region (Annex A.2.3, Annex B.2.6, and Annex C.2.1.4).

If the estimated value of kl is smaller than 1.8, the modem shall be allowed to perform power back-off as if kl were equal to 1.8. The estimate of the electrical length should be sufficiently accurate to avoid spectrum management problems and additional performance loss.

17 151

付録 C G.993.1 Annex F (構内系 VDSL) の UPBO 規定

(1) G.993.1 Annex F で、

US1: PSDマズレベル(-56.5 dBm/Hz) で $l_{ref1} = 375(m)$

US2: " $l_{ref2} = 225(m)$

と規定している。付録 B の l_{min} は採用していない。

この時点の l_{ref} の決め方の尺度は、装置単体性能 (AWGN時の距離対伝達特性) を、種々ならない l_{ref} の最大値で決めるを旨とした。結果として、最低送信 PSD レベルとして $-80(dBm/Hz)$ [=114dBm/Hz] 以上程度を目標とした。

(2) さて、今回、PSD レベルが増加し

US1: PSDマズレベル (-49.5 dBm/Hz)

US2: " (-50.5 dBm/Hz)

となった。

これに伴い、例之は"上記(1)と同一の距離で同一の送信 PSD レベルとするために

a) US1

$$-56.5 + K_1(d_r - 375)\sqrt{f} = -49.5 + K_1(d_r - l_{ref1})$$

$$K_1(l_{ref1} - 375)\sqrt{f} = 7$$

f として US1 中心の $f_{01} = 4.475(MHz)$ を考えよ (付録 B),

$$l_{ref1} = \frac{7}{K_1\sqrt{f_{01}}} + 375 \approx 497(m)$$

b) US2

$$-56.5 + K_2(d_r - 225)\sqrt{f} = -50.5 + K_2(d_r - l_{ref2})$$

$$K_2(l_{ref2} - 225)\sqrt{f} = 6$$

f として US2 中心の $f_{02} = 10.25(MHz)$ を考えよ,

$$l_{ref2} = \frac{6}{K_2\sqrt{f_{02}}} + 225 \approx 291(m)$$

F.1.2.5. Upstream power back off (UPBO) PSD masks

As defined in the § 6.3.2, the VTU-R shall explicitly estimate the electrical length of its line, kl_0 , and use this value to calculate the transmit PSD mask $TxPSD(kl_0, f)$. The VTU-R shall then adapt its transmit signal to conform to the mask $TxPSD(kl_0, f)$ given below. $TxPSD(kl_0, f)$ given below is maximum PSD limitation, and is defined as 3.5 dB above the nominal PSD.

$$TxPSD(kl_0, f) = \min\left\{PSDREF(f) + kl_0\sqrt{f}, PSD_0(f)\right\} [\text{dBm/Hz}]$$

where $PSD_0(f)$ is the VTU-R transmit mask in dBm/Hz defined in Table F-2/G.993.1, and $kl_0\sqrt{f}$ is an approximation of the loop attenuation in dB. Assuming electrical length kl_0 to be $k \cdot l_0$, l_0 and k represent physical loop length and attenuation coefficient, respectively.

The reference PSD, $PSDREF(f)$, is a function of frequency but is independent of loop length, type of cable, and noise models. $PSDREF(f)$ shall be as given below.

$$PSDREF(f) = \begin{cases} \text{Band US1: } -56.5 - 10.20 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}: 3.75 \cdot 10^6 < f < 5.2 \cdot 10^6 \\ \text{Band US2: } -56.5 - 6.419 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}: 8.5 \cdot 10^6 < f < 12 \cdot 10^6 \end{cases} [\text{dBm/Hz}]$$

where f in Hz.

The values of k , k_1 and k_2 , which are used to define the above values of $10.20 \cdot 10^{-3}$ ($= k_1 l_{\text{ref1}}$) and $6.419 \cdot 10^{-3}$ ($= k_2 l_{\text{ref2}}$) in $PSDREF(f)$ are calculated at the center frequencies of Band US1 and Band US2, $4.475 \cdot 10^6$ Hz and $10.25 \cdot 10^6$ Hz respectively, by assuming 0.4 mm PE cable defined in the § F.3.1 (also see Table F-7), and are given below. $PSDREF(f)$ also assumes $l_{\text{ref1}} = 375\text{m}$ and $l_{\text{ref2}} = 225\text{m}$.

$$k = \begin{cases} \text{Band US1: } k_1 = 2.719 * 10^{-5} : 3.75 * 10^6 < f < 5.2 * 10^6 \\ \text{Band US2: } k_2 = 2.853 * 10^{-5} : 8.5 * 10^6 < f < 12 * 10^6 \end{cases} \text{ [dB/(m}\sqrt{\text{Hz)}}]$$

where f in Hz, and l_{ref1}, l_{ref2} in m.

The VTU-R transmit PSD with power back-off, $TxPSD(kl_0, f)$, shall be measured with a 10 kHz resolution bandwidth, and with using 0.4 mm PE cable defined in the § F.3.1 (abbreviated by TP), where the loop lengths l_0 are parameters to check the conformance of $TxPSD(kl_0, f)$. The equation below gives the VTU-R transmit PSD mask with power back-off for a test loop length of l_0 m for conformance purpose.

$$TxPSD(kl_0, f) = \begin{cases} \min[-56.5 + k_1(l_0 - l_{ref1})\sqrt{f}, -56.5] : 3.75 * 10^6 < f < 5.2 * 10^6 \\ \min[-56.5 + k_2(l_0 - l_{ref2})\sqrt{f}, -56.5] : 8.5 * 10^6 < f < 12 * 10^6 \end{cases} \text{ [dBm/Hz]}$$

where f in Hz, l_0 in m, and $k_1 = 2.719 * 10^{-5}, k_2 = 2.853 * 10^{-5}, l_{ref1} = 375\text{m}, l_{ref2} = 225\text{m}$.