

2015年前期 無線通信システム

第10回 適応符号化変調

阪口 啓 sakaguchi@mobile.ee.

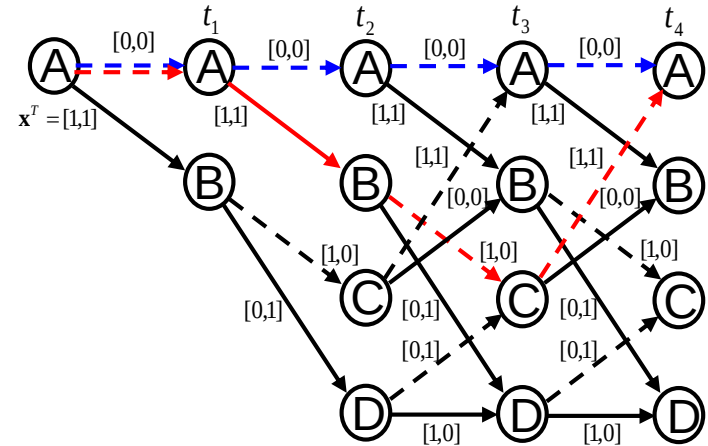
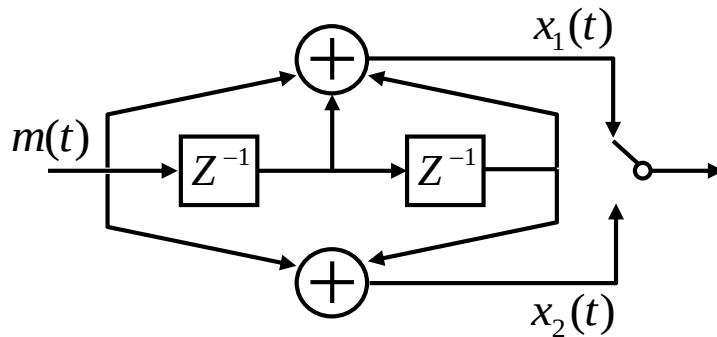
2015年6月24日

講義スケジュール(後半)

	日付	教科書	内容
第9回	6月17日	4.6	誤り訂正符号
第10回	6月24日		適応符号化変調
第11回	7月 1日	4.3	符号間干渉と適応等化器
第12回	7月 8日		MATLAB演習
第13回	7月15日	3.6、4.5	スペクトル拡散と符号分割多重(CDMA)
第14回	7月22日	3.7	直交周波数分割多重(OFDM)

復習

■ 畳込み符号とビタビ復号



■ 復号後誤り率特性

$$P_e < \sum_{d=d_{\min}}^{\infty} 2^{d-d_{\min}} P_2(d)$$

$$\text{硬判定: } P_2(d) = \sum_{k=d_c+1}^d \binom{d}{k} P_e^k (1-P_e)^{d-k}$$

$$\text{軟判定: } P_2(d) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma d})$$

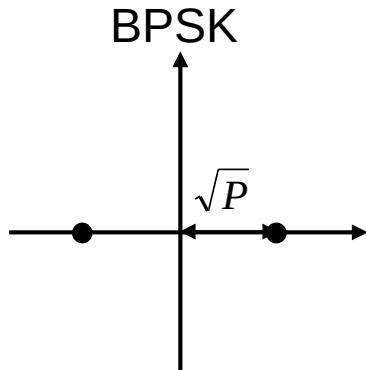
■ インターリーバと時間ダイバーシチ

$$\text{時間ダイバーシチによるバースト誤りの回避} \quad P_2(d) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\sum_{i=1}^d \gamma_i}\right)$$

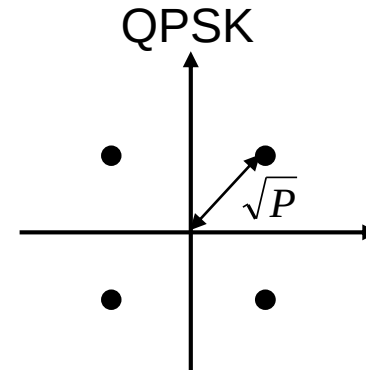
講義内容

- 多値変調とスループット
- フェーシングとスループット
- 適応変調
- 適応符号化変調

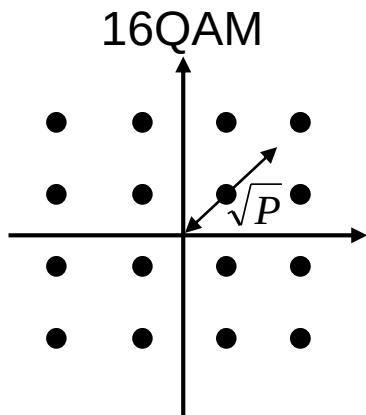
多値変調



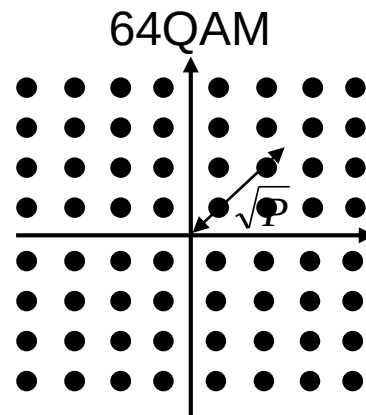
$$\log_2 M_{\text{ary}} = 1$$



$$\log_2 M_{\text{ary}} = 2$$



$$\log_2 M_{\text{ary}} = 4$$



$$\log_2 M_{\text{ary}} = 6$$

ビット誤り率特性

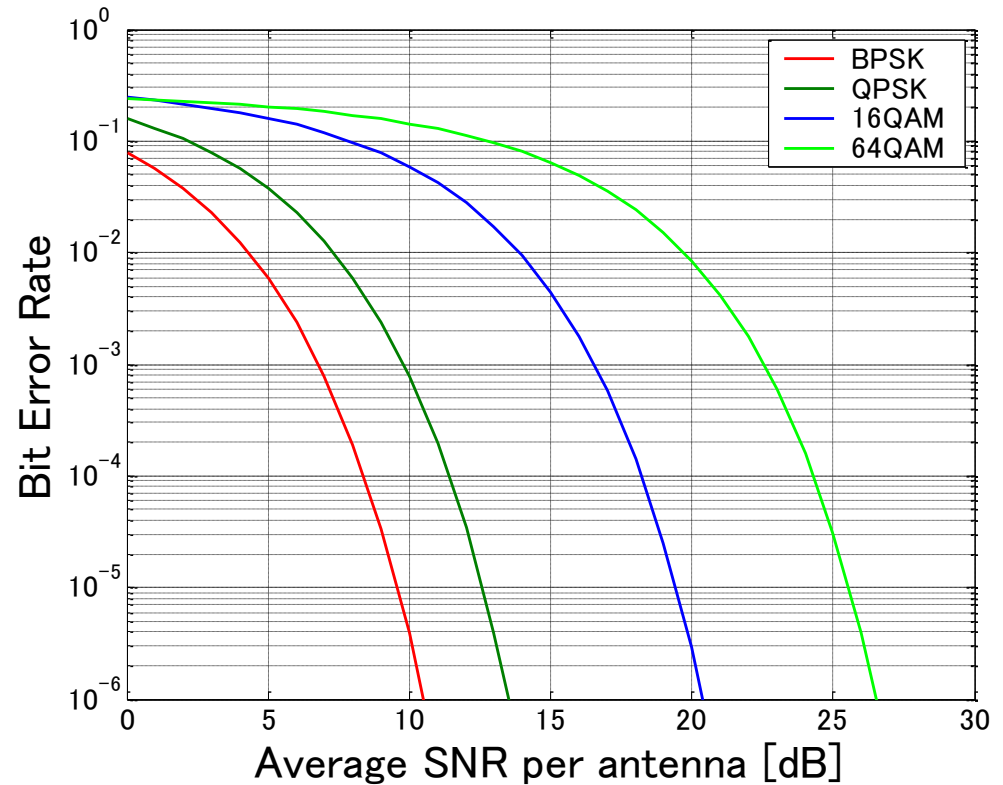
BPSK変調

$$P_{\text{eb}}(\gamma) = \frac{1}{2} \text{erfc}(\sqrt{\gamma}) \quad \gamma = \frac{P|h|^2}{\sigma^2}$$

QAM変調

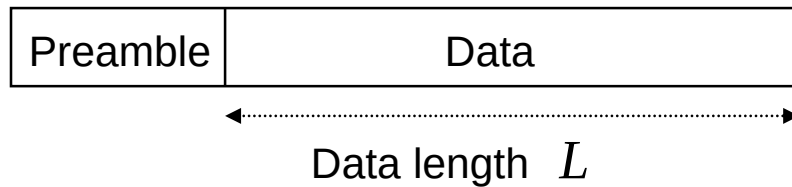
$$P_{\text{eb}}(\gamma) = \frac{2}{\log_2 M^{\text{ary}}} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M^{\text{ary}}}} \right) \cdot \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{3\gamma}{2(M^{\text{ary}} - 1)}} \right)$$

QAM変調のビット誤り率



スループット特性

フレーム構成



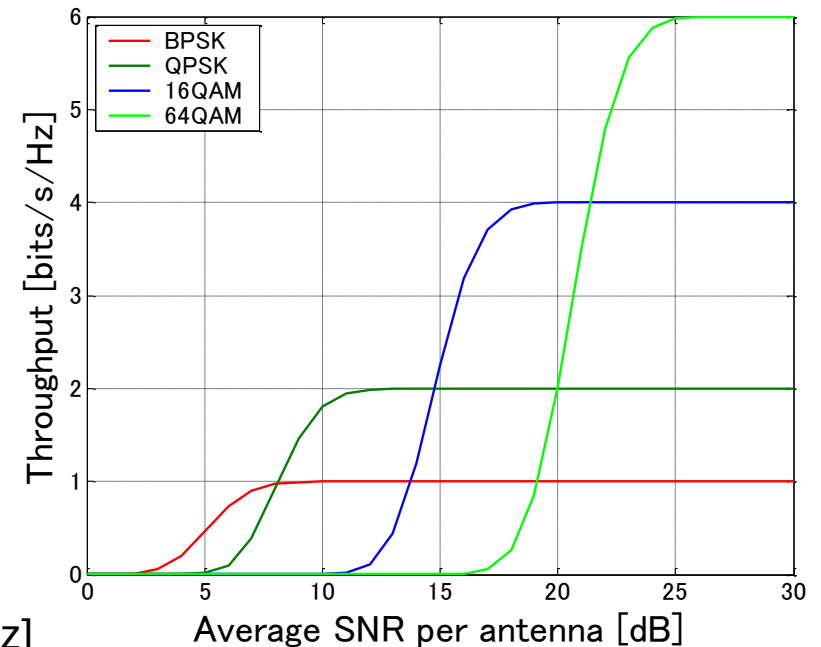
パケット誤り率

$$P_{ep}(\gamma) = 1 - (1 - P_{eb}(\gamma))^L$$

スループット

$$TP(\gamma) = \log_2 M_{ary} (1 - P_{eb}(\gamma))^L \quad [\text{bits/s/Hz}]$$

QAM変調のスループット特性



フェージング伝搬路における誤り率

ビット誤り率 (BPSK変調)

$$P_{\text{eb}}(\gamma) = \frac{1}{2} \text{erfc}(\sqrt{\gamma}) \quad \gamma = \frac{P|h|^2}{\sigma^2}$$

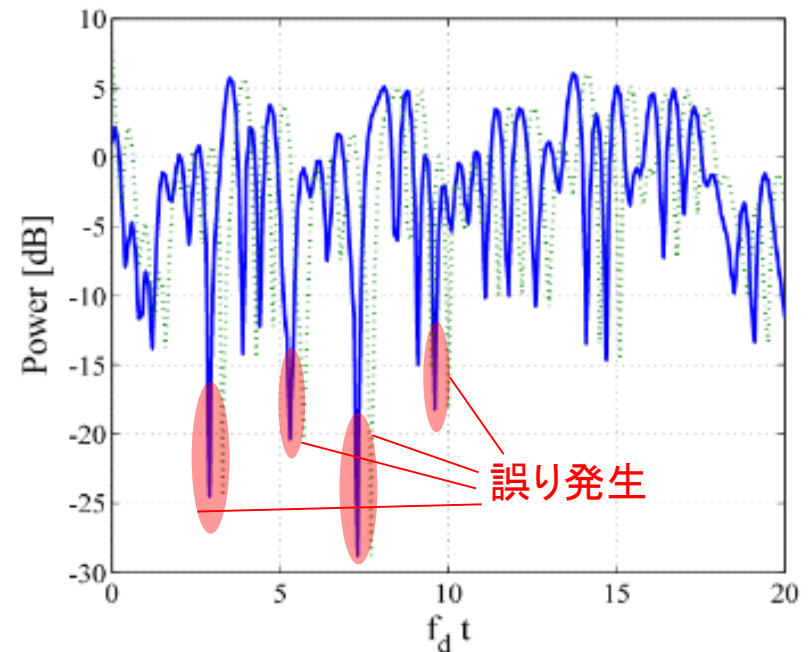
レイリーフェージングチャネル

$$f(\gamma) = \frac{1}{\bar{\gamma}} \exp\left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right) \quad \bar{\gamma} = \text{E}\left[\frac{P|h(t)|^2}{\sigma^2}\right]$$

平均誤り率特性

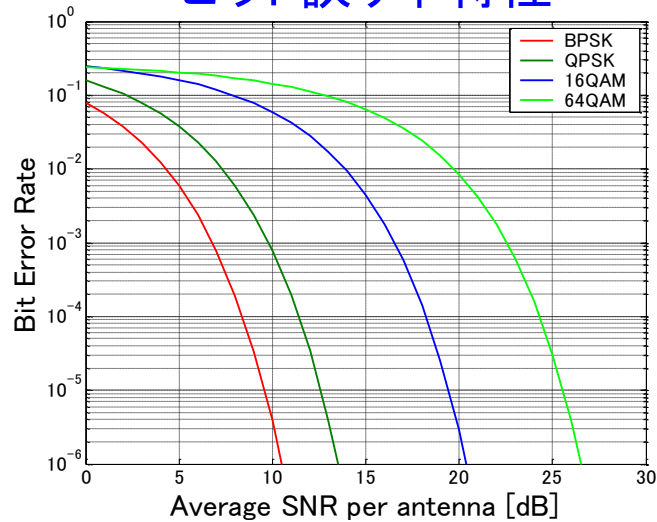
$$\bar{P}_{\text{eb}}(\bar{\gamma}) = \int P_{\text{eb}}(\gamma) f(\gamma) d\gamma = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{\gamma}}{1 + \bar{\gamma}}}\right)$$

フェージング変動特性

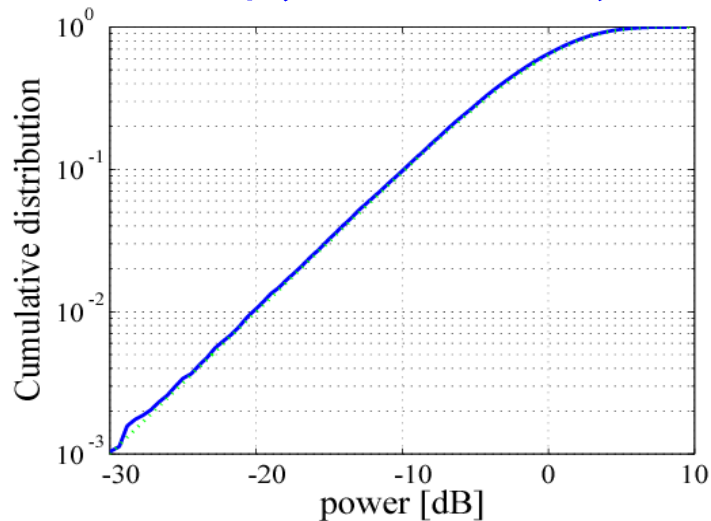


フェージング伝搬路における誤り率

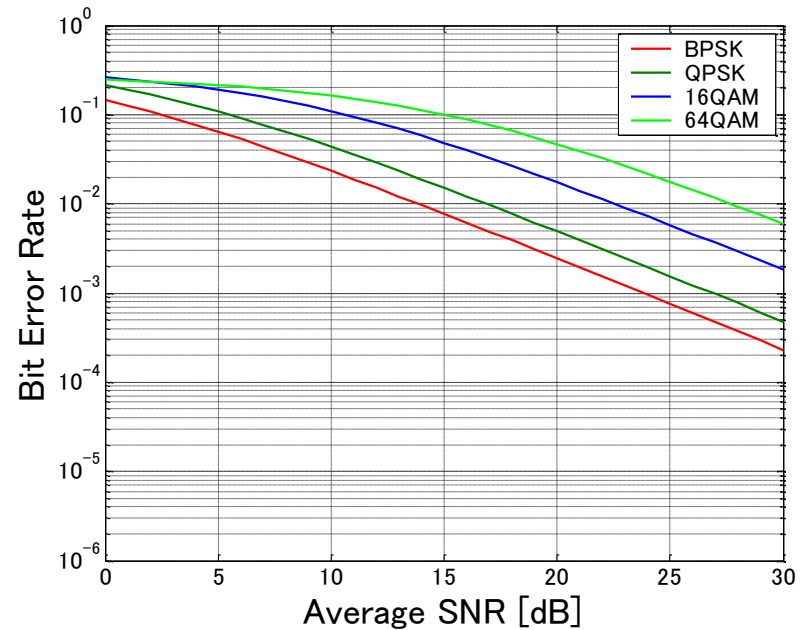
ビット誤り率特性



レイリーフェージング

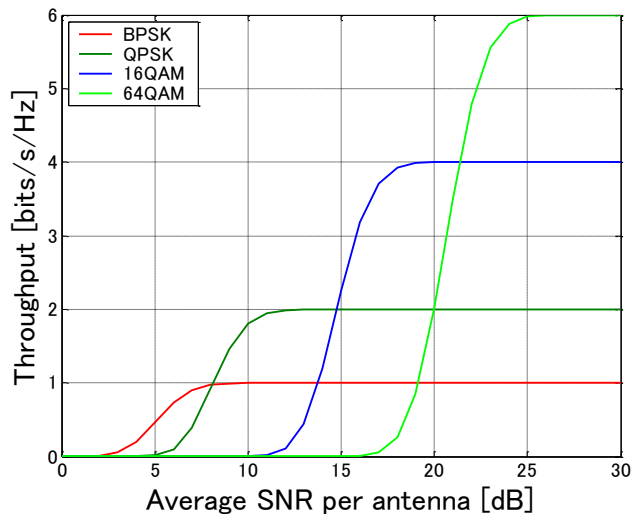


平均ビット誤り率特性

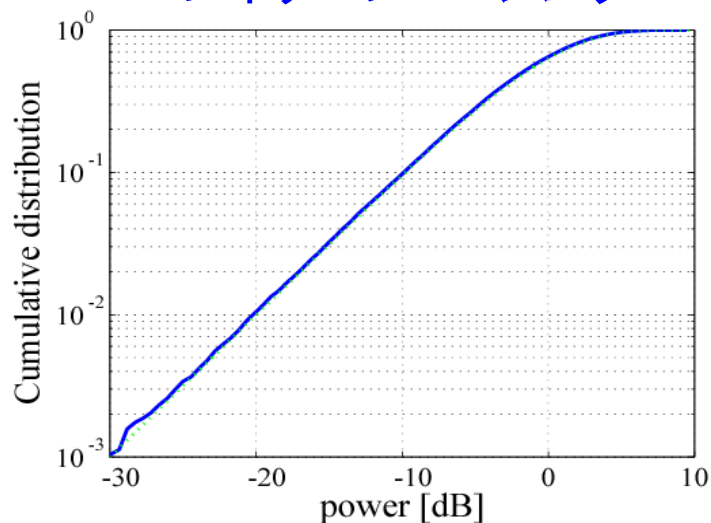


フェージング伝搬路におけるスループット

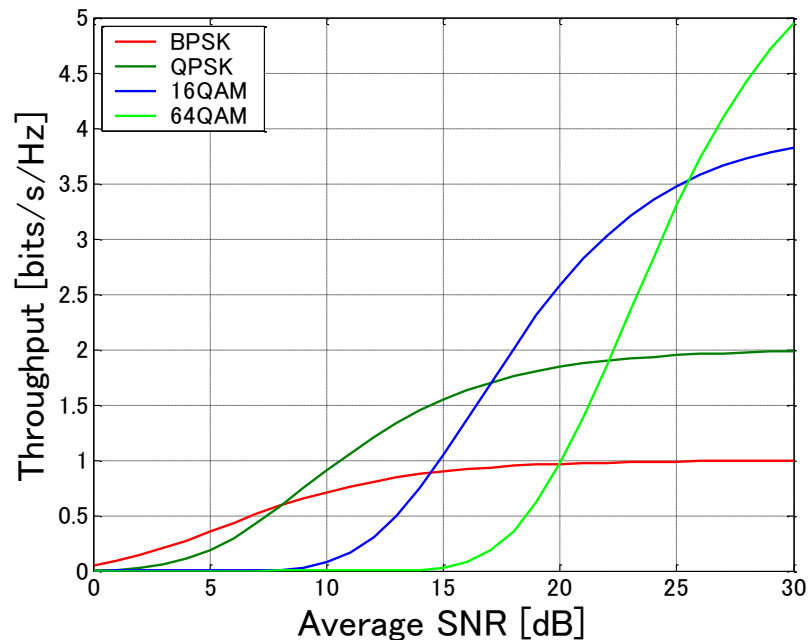
スループット特性



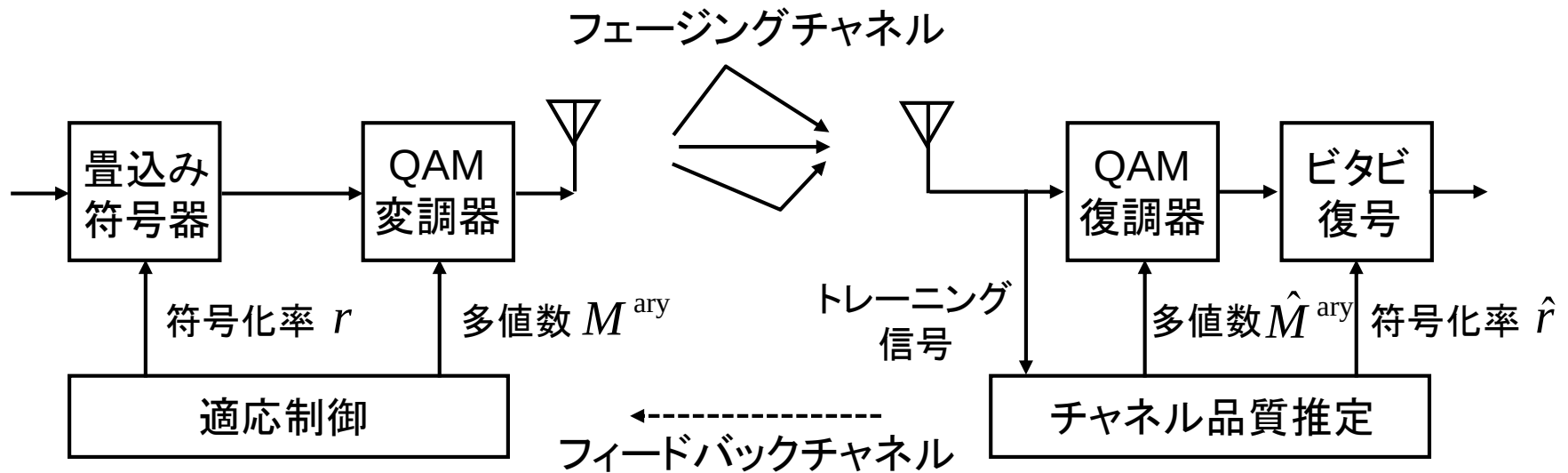
レイリーフェージング



平均スループット特性



適応通信システムの構成



適応制御

フェージング変動に追従して(フィードバック情報に基づいて)畳込み符号器の符号化率とQAM変調器の変調多値数を変化させ送信レートを最適化する仕組み

チャンネル品質推定

トレーニング信号を用いて計算されたフェージング伝搬路の瞬時SNRから最適な送信レート(変調多値数・符号化率)を算出しフィードバックチャネルを介して送信機に通知する仕組み

適応変調

SNRの推定

$$\gamma(t) = \frac{P|\hat{h}(t)|^2}{\sigma^2}$$

スループットの推定

$$TP(\gamma, M^{\text{ary}}) = \log_2 M^{\text{ary}} (1 - P_{\text{eb}}(\gamma))^L$$

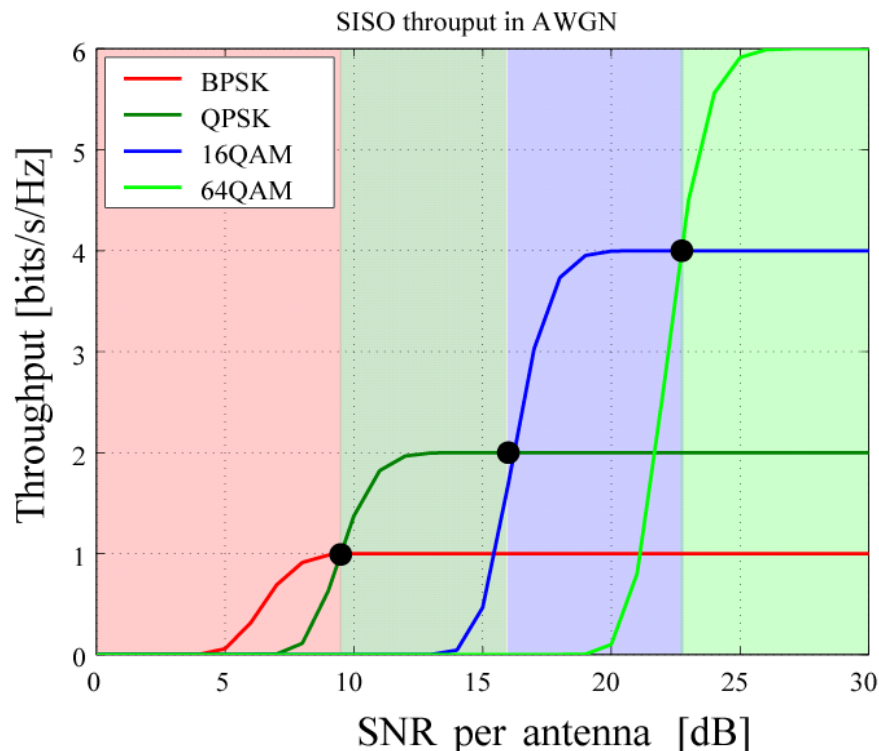
$$\text{BPSK} \quad P_{\text{eb}}(\gamma) = \frac{1}{2} \text{erfc}(\sqrt{\gamma})$$

$$\text{QAM} \quad P_{\text{eb}}(\gamma) = \frac{2}{\log_2 M^{\text{ary}}} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M^{\text{ary}}}} \right) \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{3\gamma}{2(M^{\text{ary}} - 1)}} \right)$$

変調多値数の決定 最適な変調多値数

$$\hat{M}^{\text{ary}} = \arg \max_{M^{\text{ary}}} TP(\gamma, M^{\text{ary}})$$

適応変調テーブル



適応変調のスループット特性

平均スループット特性

$$\overline{TP}(\bar{\gamma}, M^{\text{ary}}) = \int f(\gamma) TP(\gamma, M^{\text{ary}}) d\gamma$$

レイリーフェージングチャネル

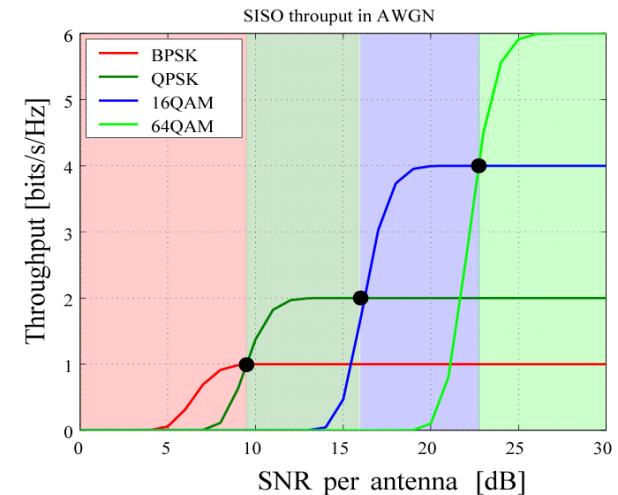
$$f(\gamma) = \frac{1}{\bar{\gamma}} \exp\left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right) \quad \bar{\gamma} = \mathbb{E}\left[\frac{P|h(t)|^2}{\sigma^2}\right]$$

適応変調の平均スループット特性

$$\begin{aligned} \overline{TP}(\bar{\gamma}) &= \int_0^{\gamma_1} f(\gamma) TP(\gamma, 2) d\gamma + \dots \\ &+ \int_{\gamma_3}^{\infty} f(\gamma) TP(\gamma, 64) d\gamma \end{aligned}$$

$$\gamma_1 = 10^{9.5/10} \quad \gamma_2 = 10^{16/10} \quad \gamma_3 = 10^{22.5/10}$$

適応変調テーブル

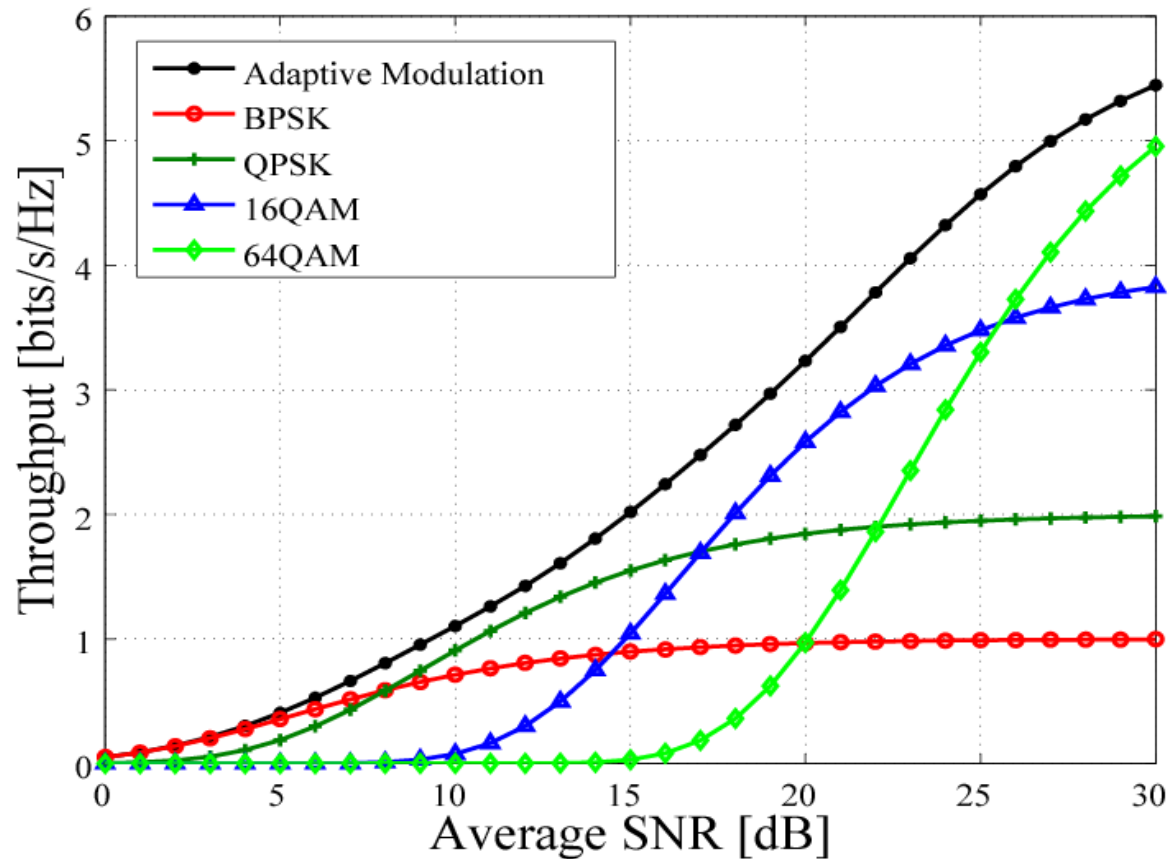


適応変調のSNR閾値

Inst. SNR	Modulation
- 9.5dB	BSPK
9.5dB – 16dB	QPSK
16dB – 22.5dB	16QAM
22.5dB	64QAM

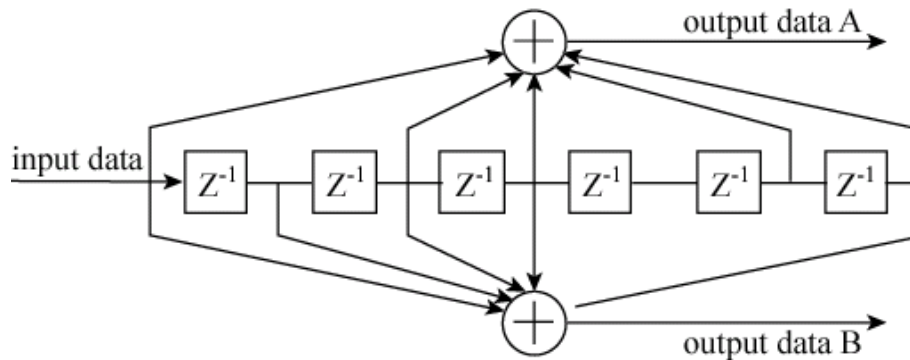
レイリーフェージング伝搬路における適応変調

適応変調と固定変調のスループット特性



畳込み符号とパンクチュア

畳込み符号(拘束長7)



Input data

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Encoded data with puncture 2/3 3/4

A

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

B

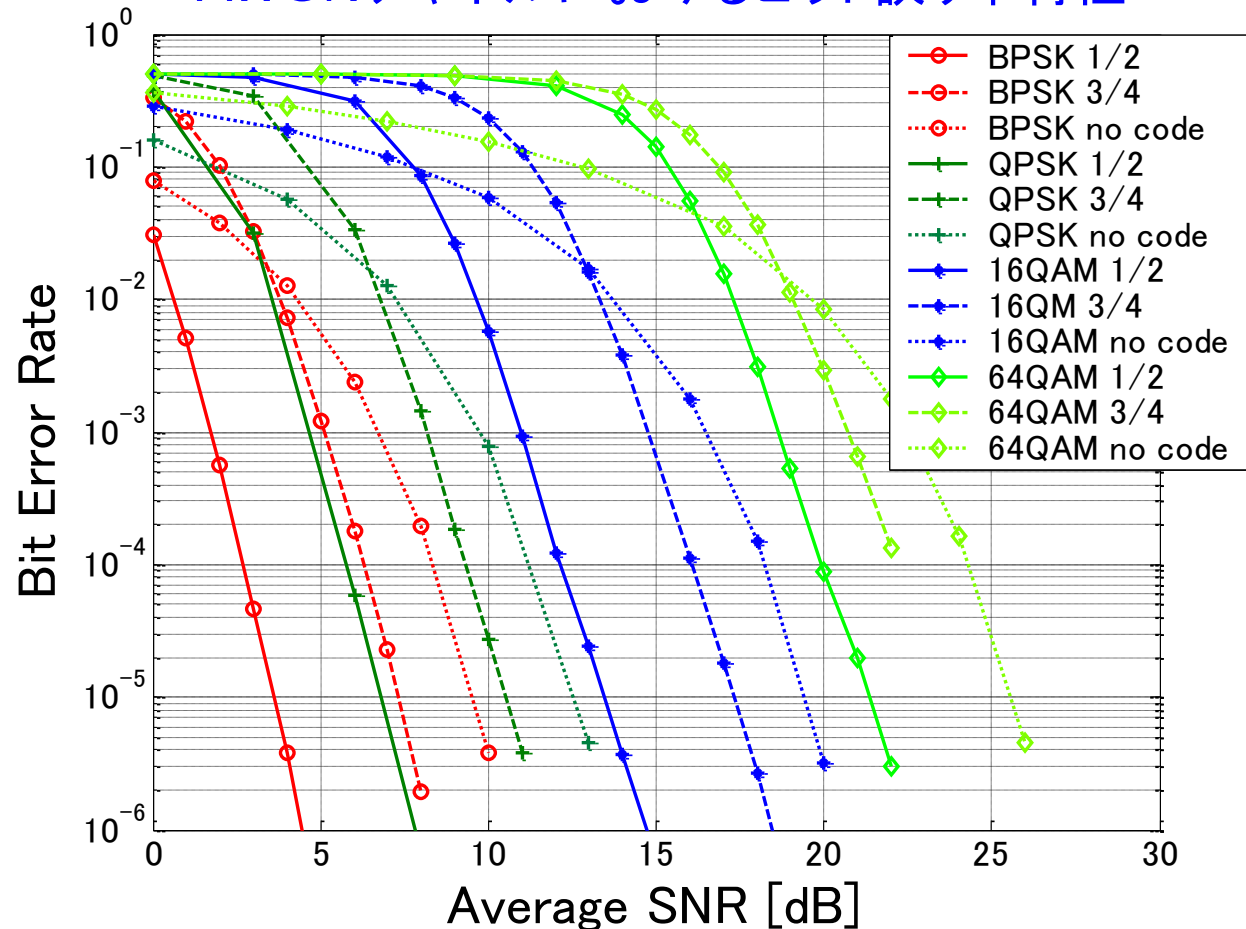
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

パンクチュア行列

R=1/2		R=2/3		R=3/4		R=4/5		R=5/6	
P	d _{free}	P	d _{free}	P	d _{free}	P	d _{free}	P	d _{free}
1	10	10	6	110	5	1111	4	11010	4
1		11		101		1000		10101	

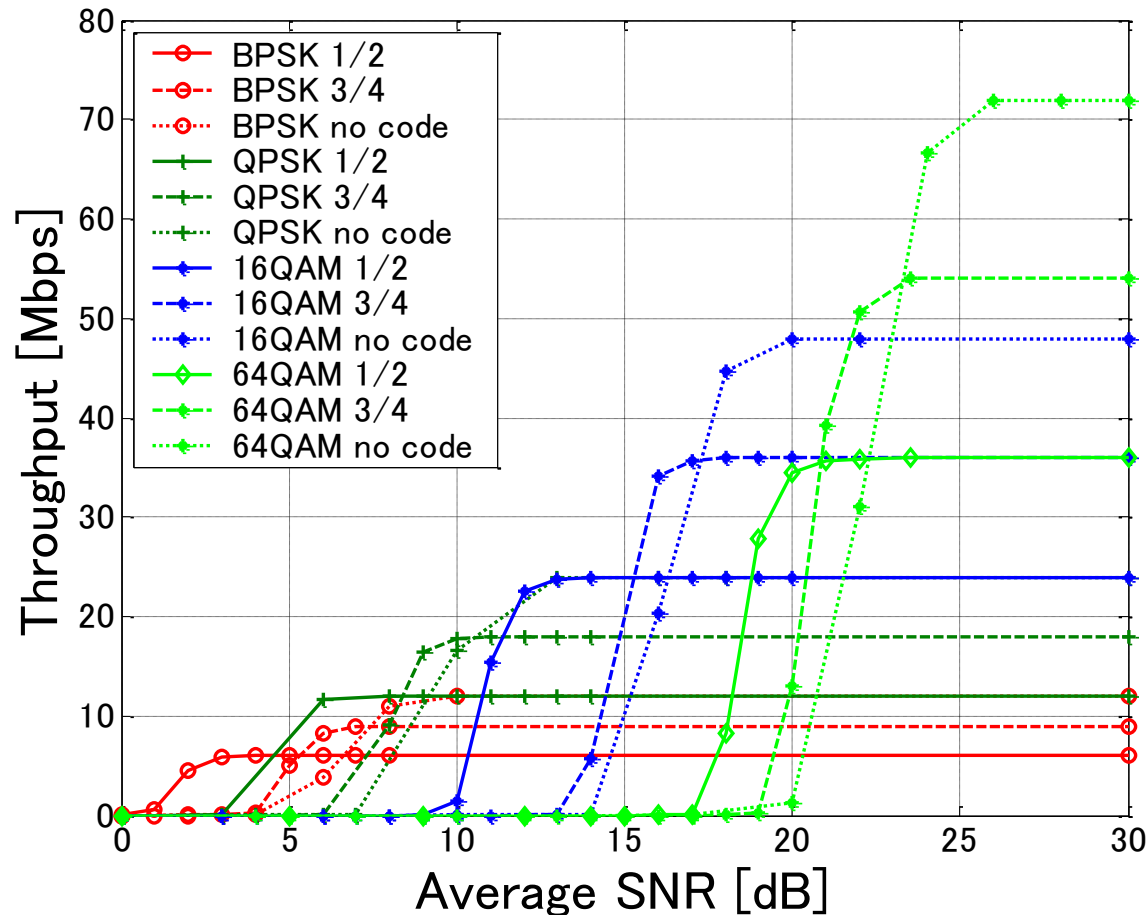
畳込み符号の誤り率特性

AWGNチャネルにおけるビット誤り率特性



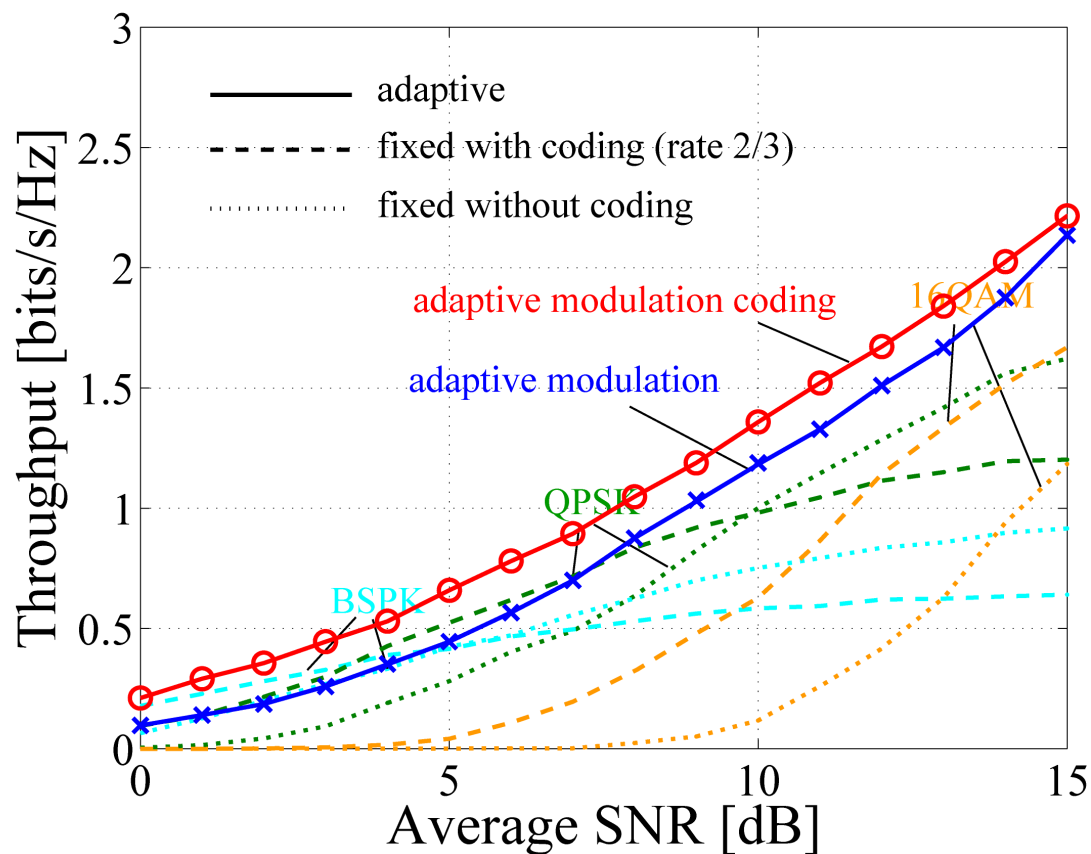
畳込み符号のスループット特性

AWGNチャネルにおけるスループット特性



フェージング伝搬路における適応符号化変調

レイリーフェージング伝搬路における特性



まとめ

■ スループット

$$TP(\gamma, M^{\text{ary}}) = \log_2 M^{\text{ary}} (1 - P_{\text{eb}}(\gamma))^L$$

■ 適応変調

$$\hat{M}^{\text{ary}} = \arg \max_{M^{\text{ary}}} TP(\gamma, M^{\text{ary}})$$

■ 適応変調のスループット特性

$$\overline{TP}(\bar{\gamma}) = \int_0^{\gamma_1} f(\gamma) TP(\gamma, 2) d\gamma + \cdots + \int_{\gamma_3}^{\infty} f(\gamma) TP(\gamma, 64) d\gamma$$

適応変調テーブル

