February 1991
pp. 117—121

研　　究

Ⅳ-4　陸上移動通信におけるトレリス符号化変調の誤り率特性

神　尾　享　秀*

(1990年8月20日受理)

Ⅳ-4　BER PERFORMANCE OF TRELLIS CODING MODULATION IN LAND MOBILE COMMUNICATIONS

By

Yukiyoshi KAMIO

1.　ま　え　が　き

周波数の有効利用を図る技術の一つとして，多値 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) などの多値変調方式の採用が有効である．しかし，陸上移動通信において，このような変調方式を適用する場合，フェージングにより誤り率特性が大幅に劣化する．

このような場合に，フェージングひずみ補償を行った多値変調方式[1][2]が提案されている．一方，多値化に伴う信号間距離の減少による特性劣化をさけるため，従来の誤り訂正符号と異なり，変調方式と一体となった符号化多値変調方式が知られている[3]．また，陸上移動通信において特徴的であるバースト的な誤りを分散し，誤り訂正効果を高めるためのインタリーブ方式が知られている[4]．さらに，陸上移動通信においては，受信レベルの変動幅が大きいため，復号時に受信レベルの情報を利用することにより特性向上が可能である[5]．

このような回線において，トレリス符号化変調方式とインタリーブを組み合わせた方式が検討されている[6]．

本論文では，多値 QAM において，フェージングひずみ補償，符号化多値変調及び受信レベルによる重みづけなどを組合せ，フェージング対策を行ったシステムについて計算機シミュレーションにより誤り率特性，同一チャネル干渉特性について検討を行った．

その結果，陸上移動通信において，符号化多値変調方式の適用は有効であり，特に高品質伝送が必要となるデータ伝送系において有効であることがわかった．

*　通信技術部　通信方式研究室

2.　陸上移動通信への符号化多値変調方式の適用

2.1　符号化多値変調

ディジタル通信における回線品質改善技術の一つとして，誤り訂正符号が知られている．しかし，多値変調方式においては，多値化に伴う信号間距離の減少により，通常の誤り訂正符号の効果は小さい．このような場合の特性改善技術として，変調方式と一体化となった符号化多値変調方式が知られている．その中でも多く用いられているものに，トレリス符号化変調がある[7]．この方式は，簡単で利得が大きいことより，有線回線のデータ伝送用に実用化されており，固定マイクロ通信，移動体衛星通信への実用化をめざした検討も行われている[8][9]．

2.2　陸上移動通信系への適用

符号化変調のフェージング回線への適用は，種々のものが検討されている．

ディジタル陸上移動通信ではフェージングの影響により，バースト的な誤りとなる．この場合の対策技術の一つとして，バースト誤りを分散させる，インタリーブがある．インタリーブを行なう場合には，ユークリッド距離を大きくするよりも，ハミング距離により符号化を考える方が利得がある方式もある[6]．しかし，ダイバーシチなどの組合せにより，静特性に近い変動では，静特性の特性がよいものが有効であると考えられる．

本論文では，基本特性把握のため，よく用いられているトレリス符号化変調方式を用いた．

有線系の通信では，受信レベル変動は少なく，AGC による補正で十分であり，受信レベルによる重みづけは

行っていない．一方，移動体衛星通信への適用においてSide Information を用いる方法が検討されている[9]．

また，陸上移動通信では受信レベルの変動が激しく，雑音レベルを一定とし，復号するためには，受信レベルに応じて重みづけする必要がある．ビタビ復号においては，雑音レベルを一定にすることにより最尤受信することが可能となる．

文献(1)における陸上移動通信用 16 QAM 方式は，各受信シンボルでの振幅，位相を推定，補償しているため，このときの振幅推定データを用いることにより，受信レベルを得ることができる．

3. シミュレーションの構成

陸上移動通信での符号化変調方式の効果を調べるために計算機シミュレーションによりその特性評価を行った．

3.1 16 QAM

16 QAM では，入力データは 4 ビットごとにグレー符号化され，16点の一つとして変調される．フェージングひずみ測定用に既知シンボル（パイロットシンボル）を16シンボル中に 1 シンボル挿入している．送受信フィルタはロールオフフィルタ（ロールオフ率 $\sqrt{0.5}$）を用いた．変調速度は 16 ksymbol/s であり，情報伝送速度は 60 kbit/s となる．

また，フェージング対策として，既知シンボルを挿入し，フェージングひずみを補償する方式[1] を採用している．この方式は，定期的に挿入された既知シンボル（パイロットシンボル）を用いて，フェージングひずみ推定・補償部でフェージングの位相，振幅ひずみを測定する．データシンボルでのひずみは，三つのパイロットシンボルを用いて，二次の内挿により推定し，振幅，位相ひずみを補償するものである．さらに，準同期検波を行い，グレイ符号化絶対位相検波をしているため，差動符号化を行うなどの，位相不確定性を考慮するする必要が無い．なお，詳細については本特集号の Ⅳ-1 を参照されたい．

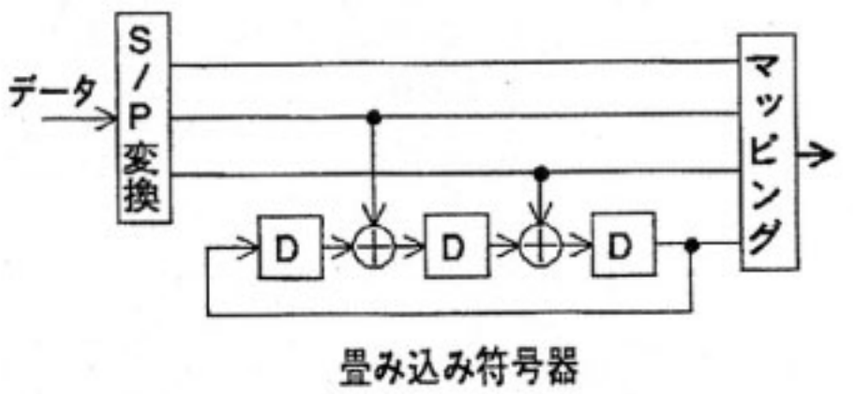
3.2 トレリス符号化 32 QAM

ここでは，トレリス符号化変調を用いており，16 QAM と同じ周波数利用率とするため，4 ビットデータにより一つの信号点を生成している．このため，伝送系は，符号化部の冗長度とあわせて，32 QAM となる．

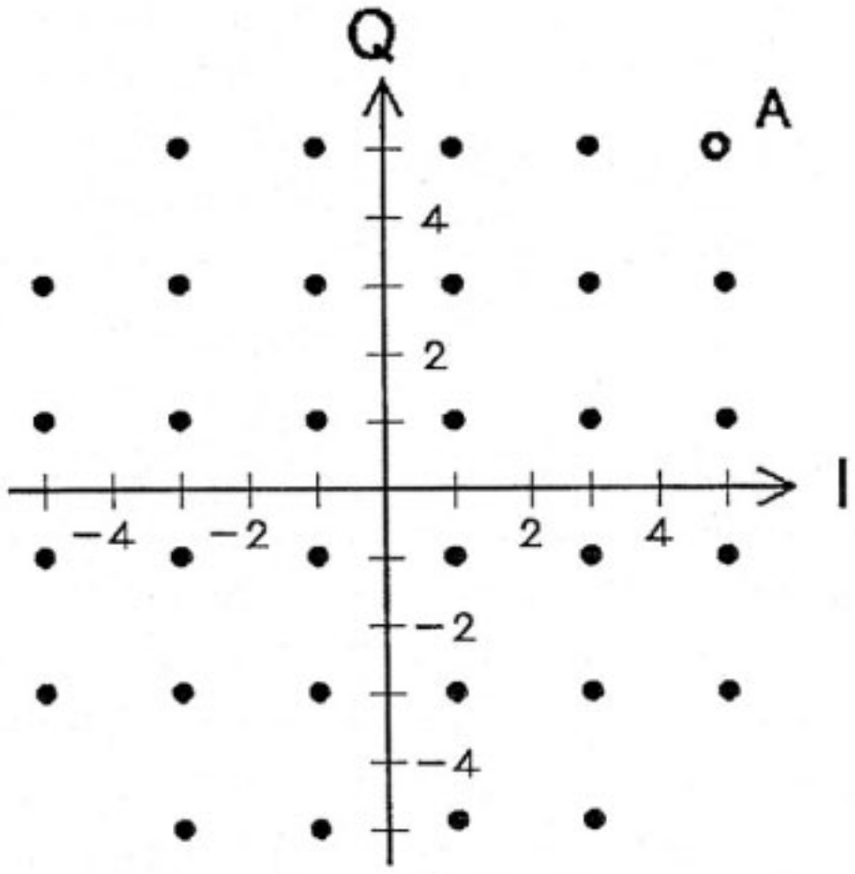
符号化の状態数により訂正能力に差がある．状態数が多くなると利得は上がるが，復号の複雑さは，指数関数的に増加する．このため，本論文では状態数による復号の複雑さ，利得の大きさを考慮し，状態数 8 の場合について検討する．

第 1 図に，状態数 8 の場合の符号化部[10] を示す．また，第 2 図に信号点配置を示す．ただし，点 $A(5+j5)$ は，32 QAM でのフェージングひずみ測定のためのパイロットシンボルである．

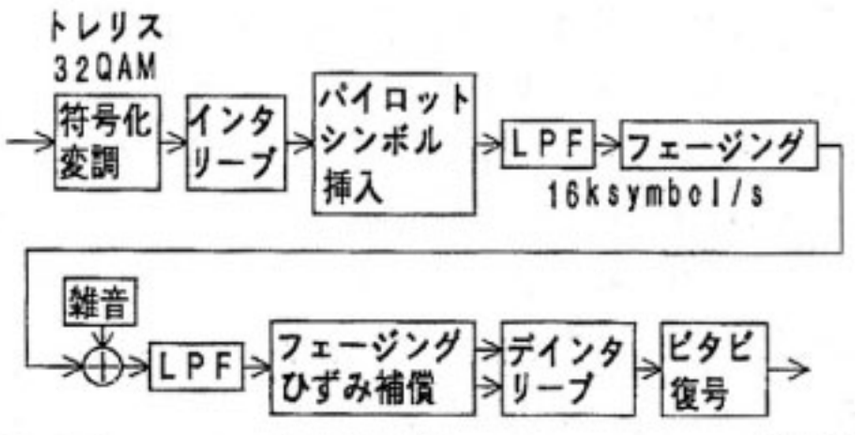
第 3 図にシミュレーションの構成図を示す．フェージングひずみ補償方式，伝送系のパラメータは QAM の場合と同じである．入力データは，符号化部で符号化され，インタリーブを行った後，変調される．変調データは，フェージングがかけられ，受信フィルタを通り，フェージング補償部でフェージングひずみを補償した後，デインタリーブされ，ビタビ復号により元のデータ系列に戻される．



第 1 図　状態数 8 の場合の符号化部



第 2 図　信号点配置



第 3 図　トレリス符号化変調のシミュレーション構成図

バースト誤り対策としては，インタリーブを行っている．符号化変調方式を用いているため，変調信号をインタリーブし，行－列変換する方式を用いている[11]．また，受信レベルでの重みづけを行うため，受信信号及びフェージングひずみ補償部の振幅補償値をデインタリーブしている．ただし，基本特性把握のため，フレーム同期は完全としており，インタリーブのフレーム同期用信号は挿入していない．

4. フェージング条件下の特性

4.1 インタリーブの組合せ

ここでは，符号化の状態数 8，インタリーブサイズ 1024シンボル（16 ksymbol/s の伝送で，約 125 msec の処理遅延）について検討を行う．

第 4 図に，E_b/N_0=20 dB において，行（n），列（m）の組合せによる f_d（最大ドップラ周波数）に対する BER (Bit Error Rate) 特性を示す．

（n, m）の組合せにより大きな差があり，インタリーブ（n, m）=(128, 8), (256, 4) のとき，良い特性であることがわかる．

4.2 E_b/N_0 特性

第 5 図に，インタリーブ（128, 8）の場合の E_b/N_0 特性を示す．f_d により特性に差があることがわかる．誤り率が大きいところでは，f_d にはあまり依存しないが 16 QAM の場合より特性が劣化している．一方，E_b/N_0 が大きい場合には，バースト誤りが少なくなるため，f_d に依存しなくなってくることがわかる．

第 6 図に，BER=10^{-2}, 10^{-3} における，グレイ符号化絶対位相検波 16 QAM のシミュレーション値に対する利得を示す．f_d が小さい場合には（256, 4）のインタリーブがわずかに性能がよい．しかし，全体的には，（128, 8）の特性が良いことがわかる．BER=10^{-3} では，$f_d > 10$ Hz で 5.0 dB 以上の利得があり，データ伝送などへの応用に特に有効であると思われる．

低ビットレートの音声コーデック，データ伝送においては，より高品質な回線が求められる．このため，わずかな電力増加で，高品質な回線が得られれば，音声，非音声の特性差が少なくなり，同一伝送系で両者を伝送することが可能である．

5. 同一チャネル干渉特性

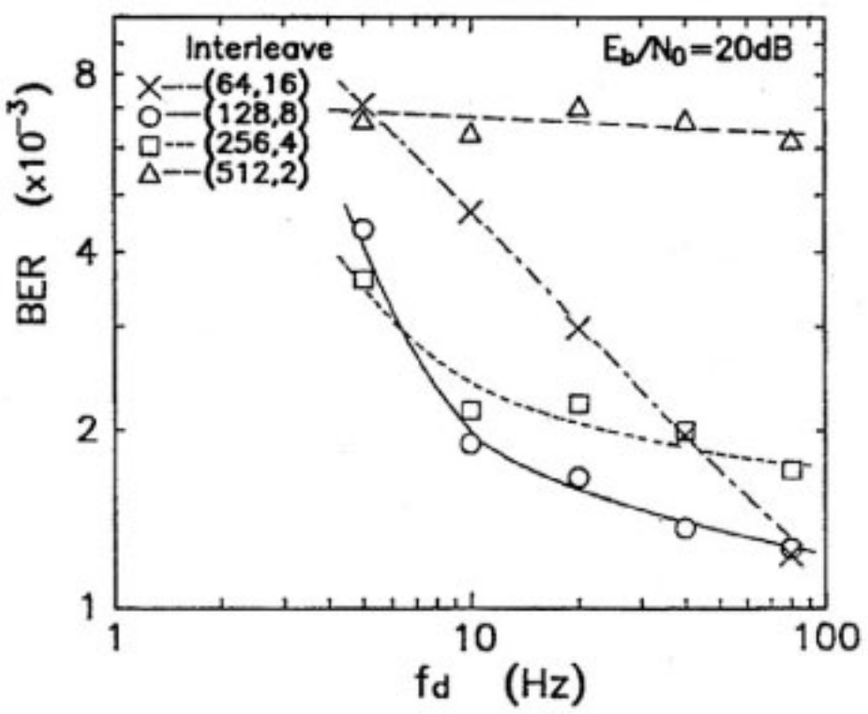
同一チャネル特性の把握は，セルラー方式のシステムにおける回線設計に重要である．ここでは，同一チャネル干渉の限界値を，E_b/N_0=60 dB における BER=10^{-2} を与える C/I_c とする．また，インタリーブのパラメータは誤り率特性の場合と同じとする．

第 7 図に，BER=10^{-2} 及び，BER=10^{-3} においての f_d に対する C/I_c 特性を示す．

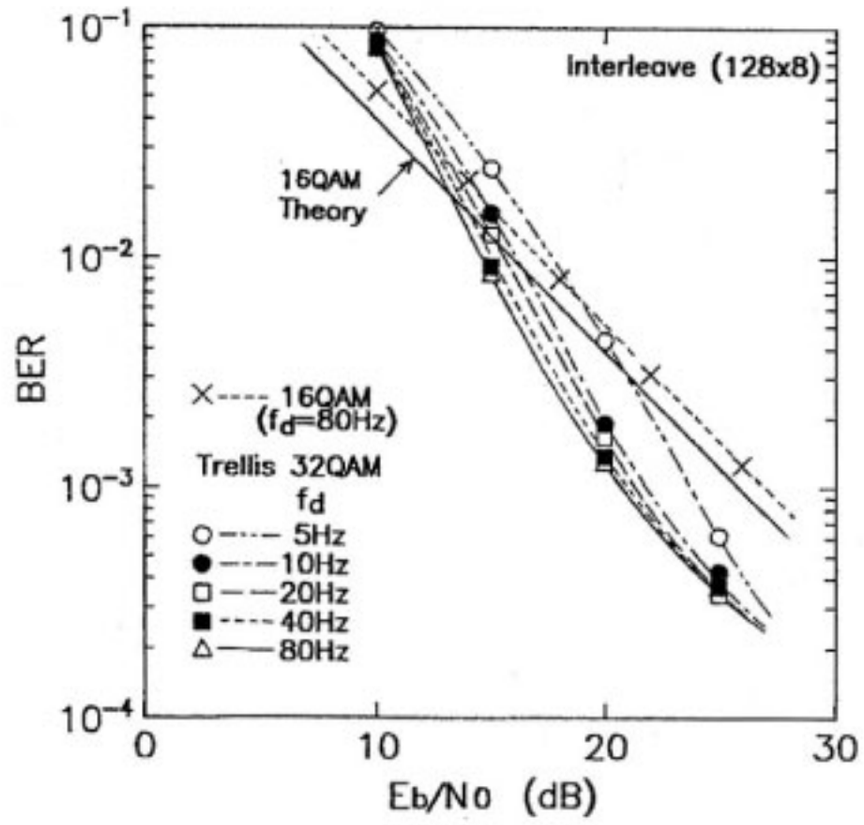
E_b/N_0 特性より約 6 dB 劣化している．これは，同一チャネル干渉はフェージング下では平均的には，雑音と見なせるので C/I_c 特性は，E_s/N_0 特性（E_s：シンボル当たりのエネルギー）とほぼ等しくなるためである．

トレリス 32 QAM では，BER=10^{-2} での C/I_c は，f_d が小さい場合，16 QAM より劣化している．このため，音声伝送を中心とした通信での小ゾーン方式には，ゾーン繰り返し，周波数の再利用率の点から適用が難しい．

ただし，BER=10^{-3} では大きな利得があるため，高能率音声 codec，データ伝送などを行う場合には，有効である．



第 4 図　E_b/N_0=20 dB における行(n)，列(m)の組合せによる最大ドップラー周波数に対する BER 特性



第 5 図　インタリーブ（128, 8）の場合の E_b/N_0 特性

6. むすび

陸上移動通信において，多値 QAM を適用する場合の特性改善方式の一つとして，トレリス符号化 32 QAM を適用する場合について検討を行った．

インタリーブ，フェージング推定・補償部の振幅補償値を用いる方法について計算機シミュレーションにより特性検討を行い，以下のことが分かった．

(1) 行—列変換のインタリーブでは行数 8 が良い（符号化の状態数 8 の場合）

(2) システム全体の性能としては，(128, 8) のインタリーブを用いるのが良い．ただし，f_d が小さいときの特性を良くするためには，(256, 4) のインタリーブが良い．

(3) トレリス符号化変調は，データ伝送系の適用に向く．音声を含めたディジタル化に対応するためには，BER が大きいところでの特性を向上する必要がある．

(4) トレリス符号化 32 QAM では，セルラー方式に適用するためには，BER=10^{-2} での条件を満たさない．しかし，データ伝送を考慮すると，同一チャネル干渉の基準をより誤り率の小さいところとする必要がある．

今までは，BER=10^{-2} 程度で動作する音声 codec が求められていた．音声 codec も高能率，高品質の場合は 10^{-3} 以下の回線品質が必要であり，データ伝送との品質との差も小さくなりこれに対応したほうがよい．

BER=10^{-3} での特性改善により，高能率，高品質な音声 codec による伝送，データ伝送には，十分な改善効果がある．

今後の検討課題としては，陸上移動通信において最適な符号の検討，装置化による実験での検証，フレーム同期も含めた特性，AGC との兼ね合いについての検討などが必要である．

また，誤り率が大きい領域での特性改善，インタリーブのフレーム同期特性について検討する必要がある．

参考文献

(1) 三瓶政一，“陸上移動通信用 16QAM のフェージングひずみ補償方式”，信学論（B-Ⅱ），**J72B-Ⅱ**，1，pp.7-15，1989年1月．

(2) P.M. Martin, A. Batman, J.P. McGeehan, and J.D. Marvil : “The implementation of a 16-QAM mobile data system using TTIB-based fading correction techniques”, Proc. 38th, IEEE Vehcular Technology Conference, pp.71-76 ,June 1988.

(3) 笠原正雄，“符号化変調とその将来”，信学技報，**IT89-64**，1989年11月．

(4) 大久保，今井，“誤り訂正符号の交錯法”，信学論(A)，**J64-A**，5，pp.363-370，1981年5月．

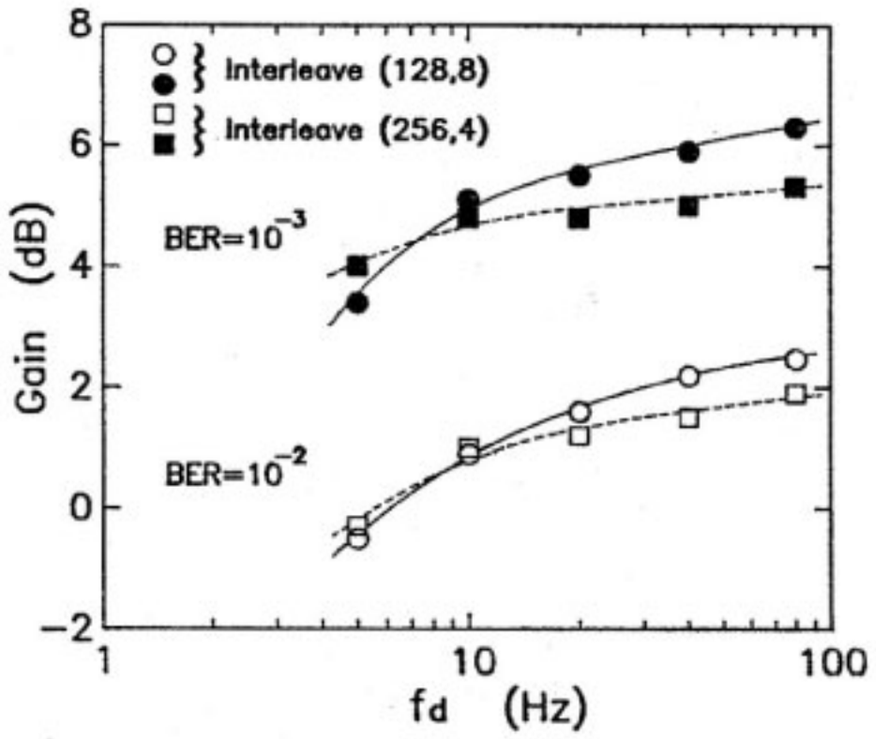
(5) 山口，時田，今井，“フェージング受信波の包絡線レベルに基づく軟判定ビタビ復号法の検討”，信学論(B-I)，**J72B-I**，1，pp.35-42，1989年1月．

(6) S.G. Wilson and Y.S. Leung, “Trellis-coded Phase Modulation on Rayleigh Channels”, Proc. IEEE International Conference on Communications, pp.21.3.1-21.3.5, July 1987.

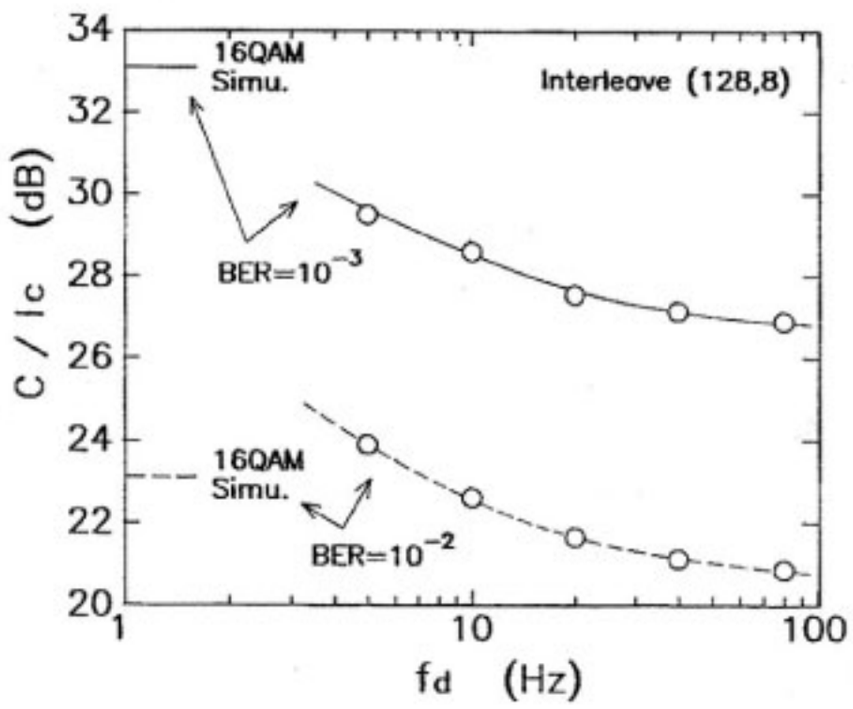
(7) G. Ungerboeck, “Channel coding with multilevel/phase signals”, IEEE Trans., **IT-28**, pp. 55-67, Jan. 1982.

(8) 中村，相河，高梨，“トレリス符号化 256 QAM 変復調方式の検討”，信学技報，**IT88-94**，1989年1月．

(9) M.K. Simon and D. Divsalar, “The Performance of Trellis Coded Multilevel DPSK on a Fading Mobile Satellite Channel”, IEEE



第6図　グレイ符号化絶対位相検波16 QAM に対する利得



第7図　トレリス32 QAM の f_d に対する C/I_C 特性

Trans., **VT-37**, 2, pp.78-91, May 1988.

(10) G. Ungerboeck, "Trellis-Coded Modulation with Redundant Signal Sets Part II : State of Art", IEEE Commun. Magazine,**25**, 2, pp.12-21, Feb. 1987.

(11) 神尾, "インタリーブの評価", 信学論 (A), **J76-A**, 8pp.8, 43-844, 1984年8月.