

## フェージング通信路における不均一誤り訂正符号に関する基本特性

山崎 悟史<sup>†</sup> デービッド アサノ<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 信州大学大学院 工学系研究科 情報工学専攻 〒380-8553 長野市若里 4-17-1

E-mail: <sup>†</sup> t05a688@amail.shinshu-u.ac.jp

**あらまし** どの情報にも均一な符号を施すのではなく、情報の重要度に応じた誤り訂正を施すことで、システム全体として高い信頼性、性能が期待できる。本報では、このような不均一誤り訂正符号を用いた情報伝送システムを提案し、フェージング通信路における基本特性を探求した。計算機シミュレーションによる特性評価によって、システムの有効性を示した。特に、どの信号点配置もライスパラメータ値が5~7程度で、良好な特性が得られることを示した。

**キーワード** 不均一誤り訂正符号, フェージング通信路, ライスパラメータ

## Performance Evaluation of Unequal Error Correcting Codes in Fading Channels

Satoshi YAMAZAKI<sup>†</sup> and David ASANO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Department of Information Engineering, Shinshu University Nagano-shi,380-8553 Japan

E-mail: <sup>†</sup> t05a688@amail.shinshu-u.ac.jp

**Abstract** High system reliability and performance can be expected by using error correction corresponding to the degree of importance of information. In this paper, we propose a communication system with Unequal Error Correcting Codes, and evaluate the basic performance of the system in fading channels. The effectiveness of the proposed scheme was shown by performance evaluation using computer simulations. Specifically, for every signal constellation excellent performance was obtained with Rice parameter values of about 5-7.

**Keyword** Unequal Error Correcting Codes, Fading Channels, Rician Parameter

### 1. まえがき

通信の主目的は、情報源からの情報を如何に効率的で、かつ正確に受信側に送ることである。伝送という観点からは、情報源からの情報ビットを均一に取り扱いがちだが、情報源によってその情報ビットは異なる性質を有する場合がある。この場合、情報の性質を考慮にいれて伝送を行うことが望ましい場合がある。具体的には、重要度の高い情報には十分な誤り訂正を行い、重要度の低い情報には簡単な誤り訂正を行うことにより、どの情報にも均一な符号化を施した場合に比べ、全体として効率的が良く、システム全体として高い信頼性、性能が期待できる。この概念が、本研究で扱う不均一誤り訂正符号である[8]。例えば、人同士の会話の中でも誤り訂正は行われており、雑音のせいで聞き取れない単語があっても、会話の前後関係から会話の内容を大抵は理解することが出来る。つまり、重要度の高い情報の誤りが少なくなることで、重要度の低い情報がある程度欠損しても人間同士の意思疎通にはあまり支障がないということになる。本研究で扱う不均一誤り訂正符号は、既に AWGN 通信路の評価は行

われている[1]。本報では、移動体通信環境を考慮して、フェージング通信路としてより広汎なモデルであるライスフェージング通信路を想定し、基本特性を明らかにする。

### 2. 従来方式

不均一誤り訂正を行うためには、異なる重要度を有する情報ビットに対して不均一誤り率特性を提供することが要求される。不均一誤り率特性を作り出すにあたって、いくつかの提案がなされている[4-6]。これらの提案では、多レベル符号や符号化変調を行い、また、何らかの変化をもたらせた信号点配置を併用することが多い。一例として、情報ビットが2グループに分けられる場合のシステム構成を fig.1 に示す[4]。情報源から出力された重要度の高いビットグループと重要度の低いビットグループに対して、それぞれ異なった符号化を適用する。重要度の高いビットグループに対して特性のより良い符号(符号化1)、重要度の低いビットグループに対して特性のより良い符号(符号化2)を用いる。受信側では、符号器1と符号器2に対応す

る復号器 1, 復号器 2 を各々用意する. fig.1 の構成では, 符号器 1 と符号器 2 からの出力を用いて信号点配置マッピングを行うので, 以下の関係を満たさなければならない.

$$m_1 + r_1 = m_2 + r_2 \quad (1)$$

ただし,  $m_1, m_2$  はそれぞれ重要度の高い情報ビットと重要度の低い情報ビットを表し,  $r_1, r_2$  はそれぞれ符号器 1 と符号器 2 で付加された冗長ビットを表す.

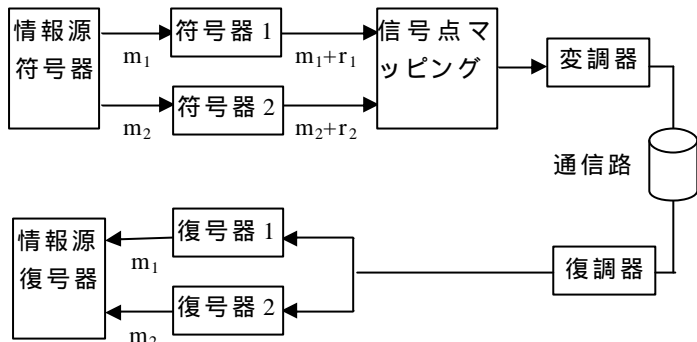


fig.1 従来方式におけるシステム構成

### 3. 提案方式

#### 3.1. システム構成

本研究にて提案するシステム構成を fig.2 に示す. 符号器および変調器が, それぞれ M 個並列に並べられた一般的な構成である. 2 つの重要度をもつ情報を用いる場合は 2 つの符号器および変調器を並列に配置し切り替える事になる. 入力信号は 0,1 のランダムなビット列とし, 入力信号の情報の重要度は N ビット毎に変化するものとする. 本研究では, どのような情報が, 重要度が高いか低いかといった点については考慮しない. つまり, 通信システムを評価する上で, あるビット列 N を重要度が高いと解釈する. また, それぞれの重要度の情報が偏って発生した場合, 均一な誤り訂正を施したものに近づくため, それぞれの重要度の情報は同確率で発生するものとする. 符号器では, 畳み込み符号を用いて符号化する. 符号化率は, 情報の重要度が高いものほど低く設定し, 誤りが起こりにくくする. 受信側では, 同一通信路から送信された信号を受信し, 各復号器および復調器で並列に処理される. またこの流れと並列に符号器推定処理を行う. 手順としては, 受信した信号と変調に用いる各信号点との最小距離を算出し, その最小距離をなす信号点番号を決定し, どのレベルの重要度をもつ送信信号, 受信信号なのか推定する. この符号器推定処理を符号器切替速度 N ビット毎に行う. その結果, 最も適切な符号器の出力を N ビット毎にまとめて採用する.

#### 3.2. 従来方式と提案方式の相違点

従来方式と提案方式の主な相違点を述べる. まず,

従来方式ではビットごとの重要さに着目し, ブロック符号を用いてビットごとに異なった誤り訂正を施していた. それらは, たいてい高, 低の 2 段階の誤り訂正を行うものであり, 重要度の高いビットと低いビットは規則正しく切り替わるか, それぞれパラレルなデータ列を前提としているものが多かった. 一方, 提案方式では 1 つの情報系列の中にいろいろな重要度の部分が含まれている情報系列 N ビットを考え, その重要度に応じて誤り訂正能力の異なる符号器を用いて符号化することによって, 重要度に応じた誤り訂正を行う. また, 重要度に関して 3 レベルまで評価している. 次に, 提案方式では各符号器に対してそれぞれ変調器を用意しスイッチにより切り替えるため, 信号点配置へのマッピングにおける制約がない. つまり, 従来方式における式(1)の関係が満たされなくても良い.

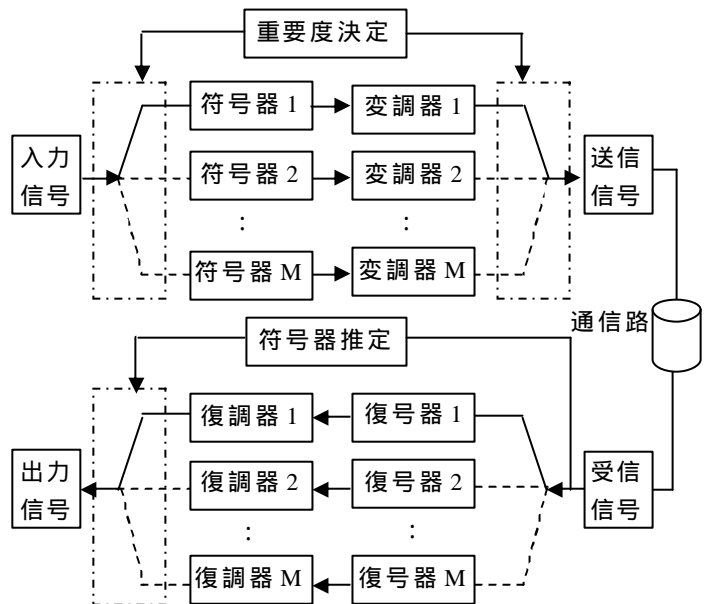


fig.2 提案方式におけるシステム構成

#### 3.3. 信号点配置

本システムを評価するにあたり信号点配置として, 2RING, 3RING, TRAP の 3 タイプを考案した. その配置を fig.3 の(a)~(c)に示す.

##### (a) 2RING 型

信号点配置はエネルギーの異なった 2 重の QPSK が配置されたものである. よって, 重要度のレベルは, 高または低の 2 通りである. また, 符号間の距離を大きくするために, 各 QPSK の位相を  $\pi/4$  ずらしている.

##### (b) 3RING 型

2RING 型に対して, さらに重要度を 1 つ加えたものである. すなわち, 信号点配置はエネルギーの異なった 3 重の QPSK と考えることができる. よって, 重要度のレベルは, 高, 中, 低の 3 通りである. また 2RING

型同様，各 QPSK の位相を  $\pi/4$  ずらしている．

(c) TRAP 型

同一 RING 上に位相の変化量が異なる信号点を 4 点ずつ配置したものである．2 レベルの位相差をもつので，重要度のレベルは，高または低の 2 通りである．ここで信号点のエネルギーは重要度によって変わらないため，2RING に比べると低レベルに用いる信号点配置のエネルギーは大きくなり，高レベルに用いる信号点配置のエネルギーは小さくなる．その代わりに，(a)，(b)の配置に比べ重要度の異なる 2 つの信号点群の距離を離すことが出来る．

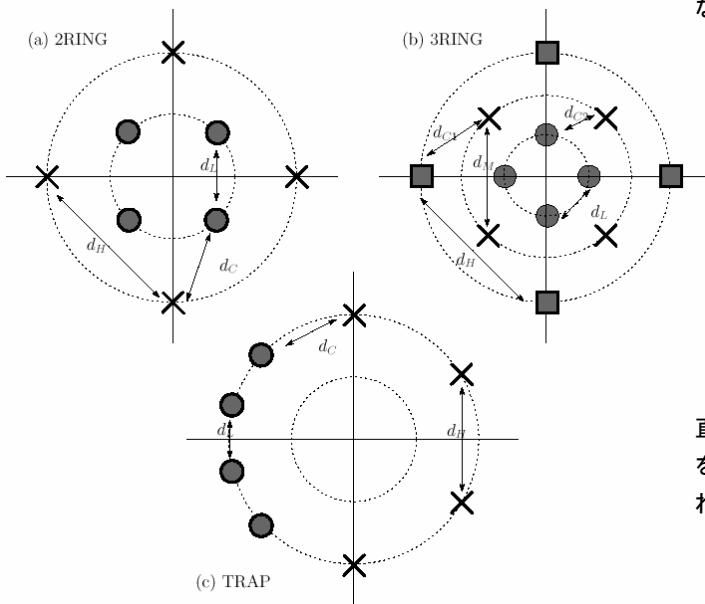


fig.3 提案方式における信号点配置

3.4. 符号器推定のアルゴリズム

3.1 で述べたように，受信側では，受信信号から送信側で用いられた符号器の推定と復号化を並行して処理する．例として，2RING 信号点配置における，符号器推定処理を以下に示す．

- (Step1) 送信信号 (or 受信信号) から各々の信号点番号(0~8)までの距離を計算する．
- (Step2) 送信信号 (or 受信信号) と重要度信号 (0~7) との最小距離を計算する．
- (Step3) 送信信号と最小距離をなす重要度信号の番号 ( ) を決定する．同様に，受信信号と最小距離をなす重要度信号の番号 ( ) を決定する．
- (Step4) 4 なら，内側の RING (重要度低) に対する送信信号と推定する． 5 なら，外側の RING (重要度高) に対する送信信号と推定する．同様に，受信側 ( ) についても同様である．上記一連の符号器推定

処理を符号器切替速度 N ビット毎に繰り返す．その結果，最も適切な符号器の出力を N ビット毎にまとめて採用する．

4. 計算機シミュレーション

4.1. 想定環境

従来の諸研究[4-6]は，通信路として AWGN 通信路を評価していた．一方，本研究では，移動体通信環境を考慮して，ライスフェージング通信路を想定する．想定環境を fig.4 に示す[7]．送信局から単一周波数の搬送波が送信され，移動する受信局に 1 波の直接波と素波 n が到来する状況を示している．この素波が多数重なり合い，多重波としての影響を考慮する．

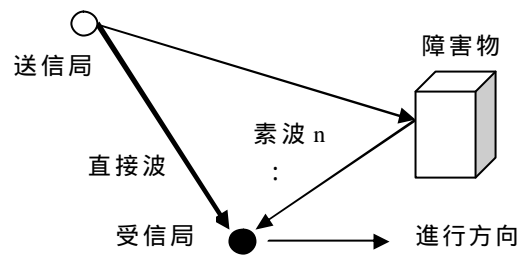


fig.4 想定環境

直接波の電力  $A^2/2$  と多重散乱波の平均電力  $s^2$  の比をライスパラメータ (K 因子) といい，式(2)で定義される．評価指標として，本パラメータを用いる．

$$K = \frac{A^2}{2s^2} \tag{2}$$

4.2. シミュレーションモデル

3 章にて述べた提案方式に従い，計算機シミュレーションによって特性評価を行う．重要度が 2 段階のシミュレーションモデルを fig.5 に示す．通信路にてフェージングを受けると，局所的な誤りが発生するため誤り訂正符号の効果十分に期待できない場合がある．そのため，マトリックスインターバを用いることでビット誤り率の改善を図る．重要度が最も低い情報に対しては，符号化を行わないものとする．重要度の高い情報は出来るだけ誤りが少なく，重要度の低い情報はある程度の誤りが発生しても問題がない，という観点から，符号化を行わないことで伝送速度の向上を狙っている．それぞれの重要度に用いる符号器および変調器に送られた送信信号は同一通信路を用いるため，変調された信号は，重要度決定のスイッチにより送信信号となる．

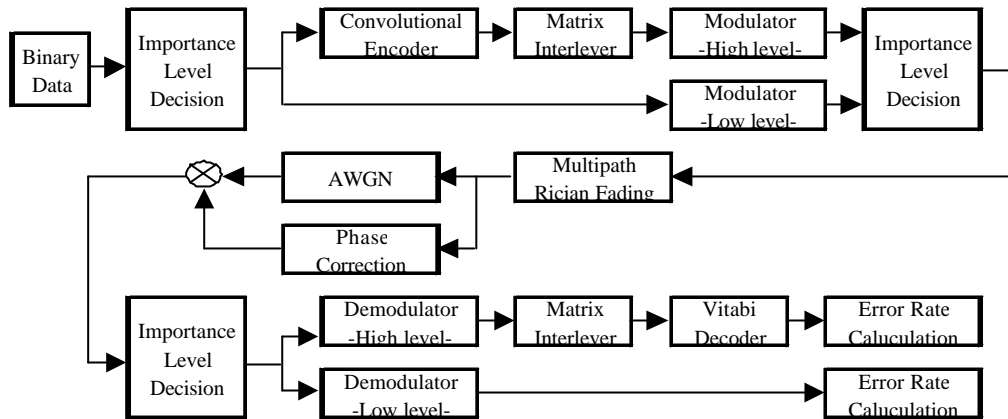


fig.5 シミュレーションモデル

#### 4.3. 制約事項

伝送路として、フェージング通信路を想定した場合、フェージングの影響により搬送波は位相と振幅という2つの要素に影響を受ける。しかし、本報では通信路前後において、位相の補償を仮定する。つまり、フェージングによる影響は信号点の振幅にのみ影響を与える。具体的には、信号がフェージングの影響を受ける前後で位相を比較し、フェージングによりずれた位相分を補正する仕組みとした。

#### 4.4. 評価方法

シミュレーション緒元を table1 に示す。提案した3つの信号点配置(2RING, 3RING, TRAP)に対して、送信局(移動体)の速度をパラメータとした場合の  $E_b/N_0$  に対するビット誤り率(BER)特性評価する。速度は、0.1 km/h, 10 km/h, 50 km/h の3通りを考慮し、K 因子を  $K=0, 5, 7$  と変化させ、ライスフェージング通信路における特性を探る。

受信局の速度	0.1km/h, 10km/h, 50km/h
マトリックスインタリーブサイズ	1024 (32*32)
信号点配置	2RING, 3RING, TRAP
重要度	2(2RING, TRAP), 3 (3RING)
符号化	畳み込み符号化 (重要度高 or 重要度中のみ)
符号化率	1/2
拘束長	2
通信路	ライスフェージング通信路
ライスパラメータ	$K=0, 5, 7$
通信路における雑音電力	送信点の信号電力の平均値
復号化	硬判定のビタビ復号化 (重要度高 or 重要度中のみ)
トレースバック長	10 (拘束長の5倍)

table1 シミュレーション緒元

### 5. 特性評価

2RING 型, 3RING 型, TRAP 型の信号点配置を用いた場合の測定結果を fig.6~14 に示す。横軸は BER(ビット誤り率)を示す。各々上からライスパラメータ  $K=0, 5, 7$  の場合である。図中にて High: 重要度高, Middle: 重要度中, Low: 重要度低を示す。

#### 5.1. 全信号点配置に共通な特性

受信局の速度に関わらず、より重要度が高い情報にはより十分な誤り訂正が実現されている。これは、どの情報にも均一な符号化を施した場合に比べ、全体として効率的が良く、システム全体として高い信頼性、性能が期待できる。受信局の速度が大きくなるにつれ、時間の経過に伴いフェージングの影響を受け、振幅と位相のひずみの変化が大きくなる為、BER 特性も低下している。しかし、 $K=0, 5, 7$  と  $K$  の値を上げるにつれ、直接波がレイリー波と比較して支配的になるため、レイリー波が信号点に与える振幅と位相のひずみが小さくなり、全信号点配置において、 $K=5~7$  程度で良好な特性を示している。

#### 5.2. RING 型配置における特性

全体的に、2RING 型と 3RING 型は、似たような特性を示している。今回評価した各符号器のビット誤り率判定においては、TRAP 型より RING 型の方が良い特性を示している。特に  $K=0$  の時など顕著である。RING 型のような信号点配置は、フェージングの影響のうち、主に位相変化の影響を受けられるが、今回通信路前後において、位相の補償を仮定したためにこのような特性が得られていると思われる。

#### 5.3. TRAP 型配置における特性

$K=0$  すなわちレイリーフェージングモデルでは、軽

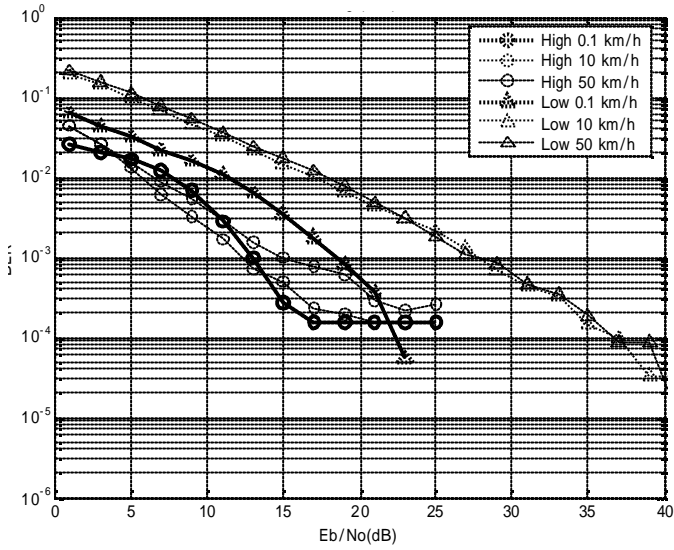


fig.6 2RING(K=0)

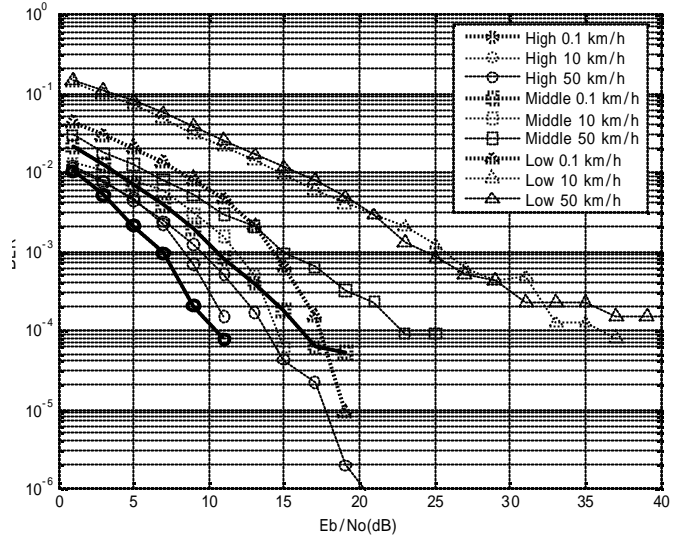


fig.9 3RING(K=0)

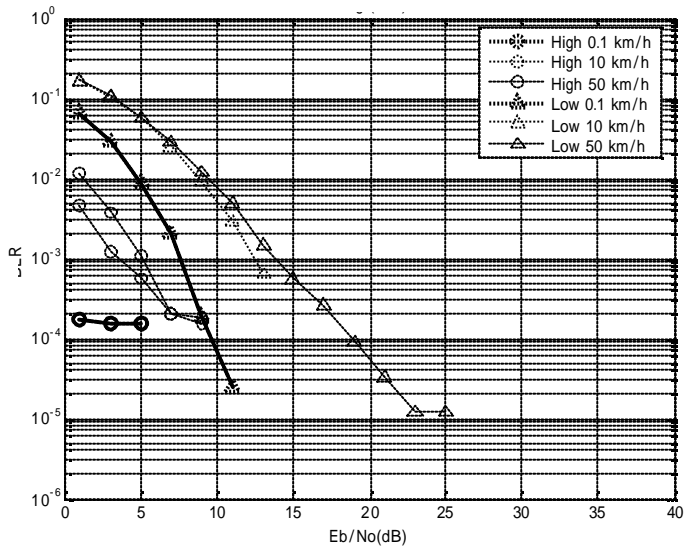


fig.7 2RING(K=5)

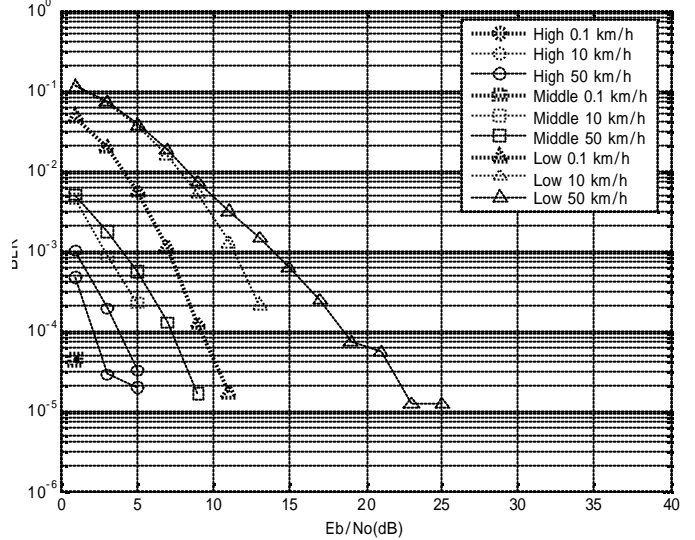


fig.10 3RING(K=5)

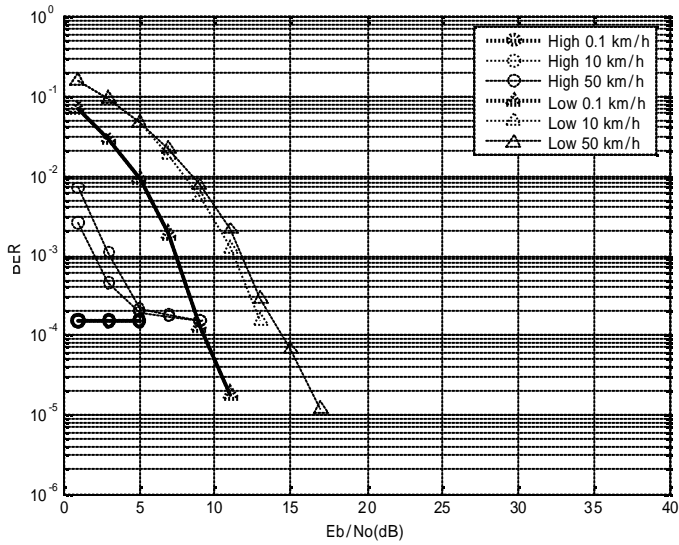


fig.8 2RING(K=7)

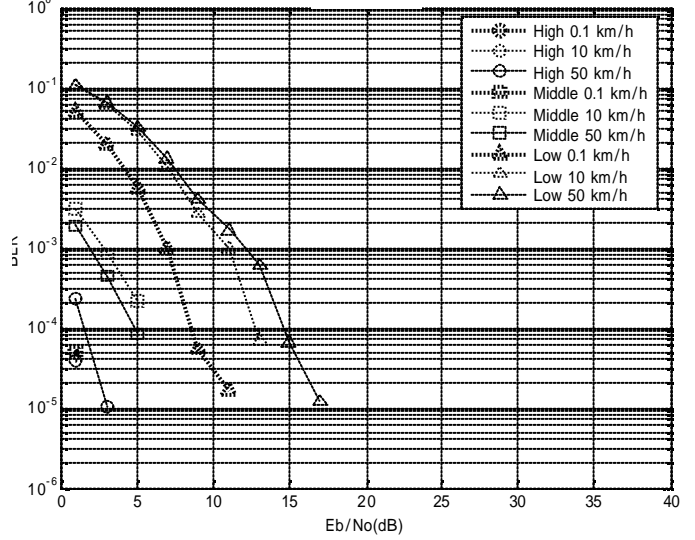


fig.11 3RING(K=7)

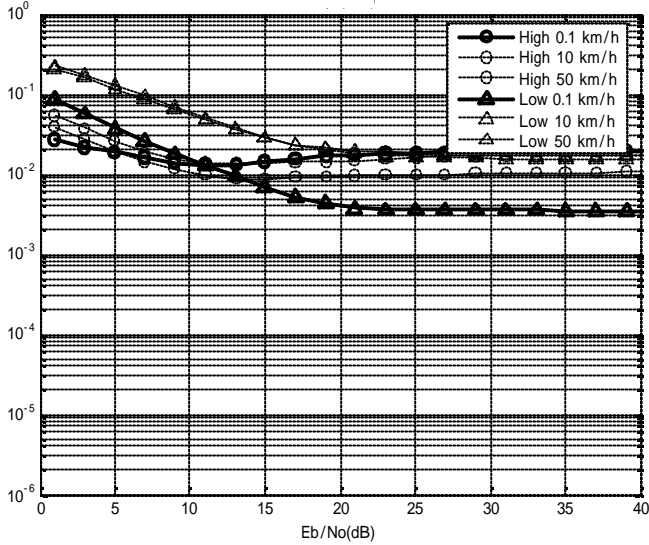


fig.12 TRAP(K=0)

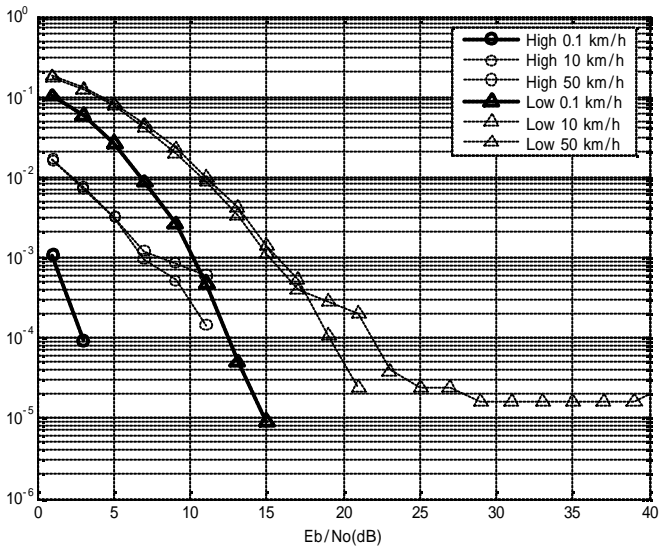


fig.13 TRAP(K=5)

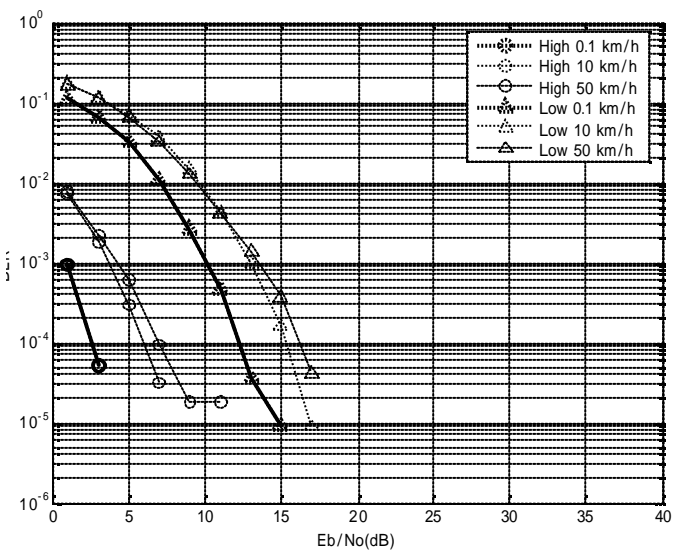


fig.14 TRAP(K=7)

減困難な誤り(エラーフロア)が発生し、許容できない程度に達している。これは、TRAP 型の信号点配置が影響していると思われる。しかし3つの信号点配置の中で、K 変化による改善効果が最も確認できている。

## 6. むすび

情報の重要度に応じた誤り訂正を施すことで、システム全体として高い信頼性、性能向上を目的に、不均一誤り訂正符号を用いた情報伝送システムを提案した。計算機シミュレーションによって、その有効性を示した。得られた主な結論は以下のとおりである。

- AWGN 通信路同様、フェージング通信路においても、重要度に応じた誤り訂正を受けている。
- より重要度が高いと判断された情報は、符号化されている為、情報速度が下がるが、強い訂正能力を有す。
- 特に、どの信号点配置もライスパラメータ値が 5 ~ 7 程度で、良好な特性を示している。

今後の課題は、受信側で適応等化器を導入して、位相補正の仮定を外すことである。

## 文 献

- [1] David K. Asano and Ryuji Kohno, "Serial Unequal Error-Protection Codes based on Trellis-Coded Modulation", IEEE Trans. on Commun. vol.45, pp633-636, June 1997.
- [2] 檀原 正寛, David K. Asano, "フェージング通信路における不均一誤り訂正符号に関する一検討", 情報理論とその応用学会 シンポジウム SITA2004, 2004.12
- [3] T.Sasaki, R.Kohno and H.Imai, "Variable Error Controlling Schemes for Intelligent Error Controlling Systems", IEICE Trans. Fundamentals. vol.E77-A, No.8, pp.1281-1288, Aug.1994
- [4] L.-F.Weil, "Coded modulation with unequal error protection", IEEE Trans. Commun, vol.41, pp.1439-1449, Oct.1993
- [5] A. R. Calderbank and N. Seshadri, "Multilevel codes for unequal error protection", IEEE Trans. Inform. Theory, vol.39, pp.1234-1248, July.1993
- [6] M. C. Lih, C. C. Lin and S. Lin, "Computer search for binary cyclic UEP codes of odd length up to 65 ", IEEE Trans. Inform. Theory, vol.36, pp.924-935, July.1990
- [7] 高畑 文雄 編者, "デジタル無線通信入門", 培風館, 2002
- [8] 李 還幫, "ブロック符号化変調技術", トリケップス, 1999