

# 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 Unequal Error Correcting Codes in Fading Channels

檀原 正寛\*

Masahiro Danbara

アサノ デービッド\*

David Asano

## Abstract—

In this paper, unequal error correcting codes based on Trellis Coded Modulation are examined in fading channels. A different encoder for each level of importance is used to achieve unequal error correction. Several signal constellations are examined with respect to bit error probability and importance level estimation error probability. Results are given for two and three levels of importance. It is found that unequal error protection can be implemented, but the channel fading must be compensated for in order to estimate the importance level.

**Keywords—** Fading Channels, Channel Coding, Unequal Error Correcting Codes

## 1 はじめに

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、全体としては効率が良く信頼性の高い符号化が行える可能性がある。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。

本稿で検討を行う不均一誤り訂正符号であるが、既に AWGN 通信路での有効性は示されている [1]。本稿では、移動体通信においても不均一誤り訂正符号を用いることで効率の良い符号化が行いえるのではないかと考え、いくつかの信号点配置を用い、複数の符号器を並列に用いる場合を考え、各符号器での誤りと符号器判定での誤りという点から、フェージング通信路での検討を行う。

## 2 システム概要

### 2.1 システムモデル

図 1 に、システムの構成を示す。入力データは 0,1 のランダムなビット列とする。入力データの情報の重要度は、N ビット毎に変化するものとし、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。符号器に入力されたデータは

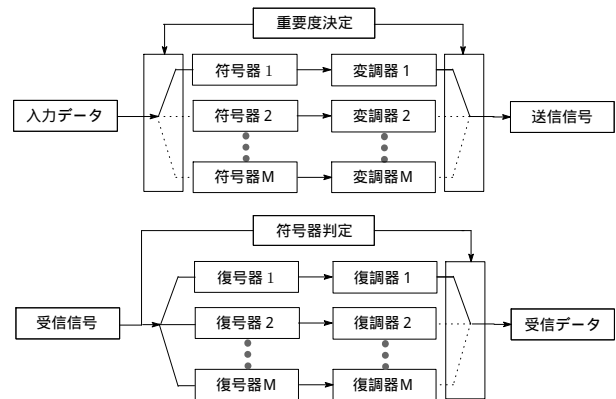


図 1: システム構成

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。また、図 1 のシステムでは M 個の並列に並べられた符号器および変調器を入力データの情報の重要度により切り替える事になっているが、2 つの重要度の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。

受信側では、同一通信路から送られて来た信号を受信し、受信信号は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判定処理を行うが、符号器判定では受信した信号と変調に用いる各信号点との距離を計算し、N ビット毎に符号器の推定を行う。その結果、最もそれらしい符号器の出力を N ビット毎にまとめて採用する。なお、復号器ではビタビ復号法を用いて復号する。

### 2.2 信号点配置

検討をするにあたり、不均一誤り訂正符号を用いた通信に使う信号点配置を 2RING、3RING、TRAP と呼ぶ事とし、その配置を図 2(a) ~ (c) に示す。ここで、各符号器での誤り率と符号器判定での誤り率は、これらの信号点配置により大きく影響を受ける。それぞれの重要度に用いる信号点配置で、その信号点距離をそれぞれ  $d_L, d_M, d_H$  とすると、これらの値は符号器での誤り率に影響を与え、重要度によって用いる信号点同士の距離を  $d_C$  とすると、 $d_C$  は符号器判定における誤り率に影響を与える。

\*〒 380-8553 長野市若里 4-17-1 信州大学工学部情報工学科  
4-17-1 Wakasato, Nagano, 380-8553 Japan. Department of  
Information Engineering Shinshu University

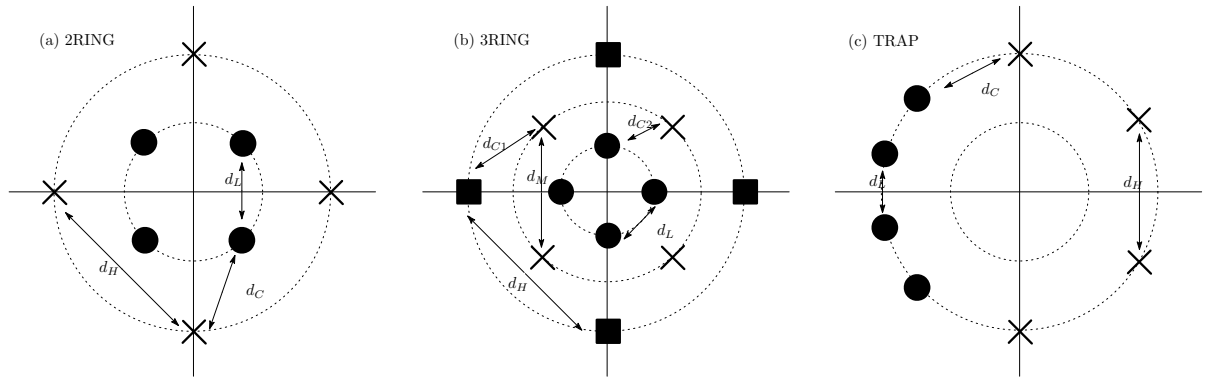


図 2: 信号点配置

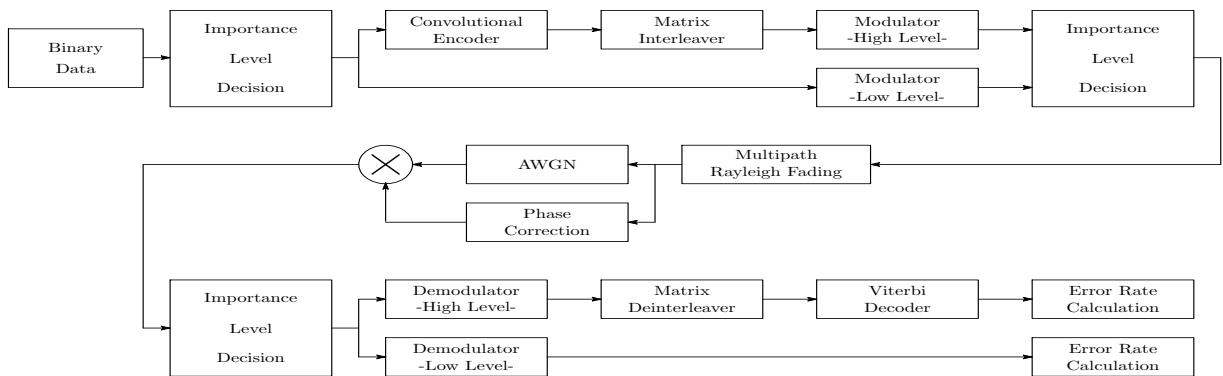


図 3: シミュレーションモデル

まず (a) に示す 2RING 型についての説明をする。この信号点配置はエネルギーの異なった 2 重の QPSK と考えることができる。また、2 つの QPSK の位相は符号間の距離を大きくするために  $\pi/4$  ずらしてある。次に (b) に示す 3RING 型であるが考え方は 2RING と同様である。最後に、(c) は同一 RING 上に位相の変化量の異なる信号点を 4 点ずつ配置したものである。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。

### 3 性能評価方法

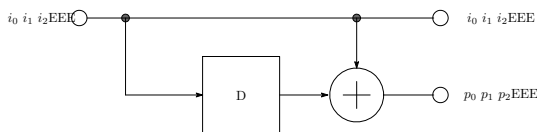


図 4: 畳み込み符号器

符号器を図 3、図 4 に示す。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 つのパラメータに影響を受ける。RING 型に用いている位相変調においては、フェージング環境下で位相を補償する必要がある。この点について今回の検討では、位相の補償は出来ているものとする。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、図 3 に示すように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補正する仕組みとした。

図 3 の符号器で用いる畳み込み符号器には、図 4 に示す 1 段のシフトレジスタを用いた最も単純な符号器を用いる。符号器は、図 4 に示すように  $i_0, i_1, i_2, \dots$  という入力に対して、 $(i_0 p_0), (i_1 p_1), (i_2 p_2), \dots$  という出力を得る符号化率  $1/2$ 、拘束長 2 の畳み込み符号器である。重要度が高い情報または中間的な情報についてはこの符号化を用いる。なお、誤り率を改善するため、符号を用いたビット列にはインタリーブを用いる。インタリーブは、 $32 \times 32$  のマトリックスインタリーブを用いる。また、最も重要度の低い情報については符号化は行わない。復号器にはビタビ復号を用いる。

AWGN 通信路で加える雑音は、2 つないし 3 つの重

要度に使う信号点の平均電力に対する雑音比率を考え、ガウス雑音は情報ビット当りのSNRを考える。つまり、符号化率 1/2 で符号化したビット列に含まれる情報ビットを 1/T とすると、符号化しないビット列に含まれる情報ビットは 2/T となる。情報ビット当りの SNR を等しくすることで、両者を公平に評価する。またフェージング通信路には、レイリーフェージングを考える。

通信路で加える雑音の電力であるが、RING 型では RING によって電力が異なるため、その平均電力を雑音の電力として考える。以上の条件の下、各符号器での誤りと符号器判定による誤りを独立なものとして、Matlab を用いて計算機シミュレーションを行い、誤り率特性を求めると。

## 4 性能評価

### 4.1 各符号器での性能評価

図5、図6、図7に2RING型と3RING型、TRAP型の各符号器でのビット誤り率を示す。図中のLow、Middle、Highは、重要度が高、中、低のビット列に用いる符号器を示す。本稿で検討する不均一誤り訂正符号を用いた通信モデルでは、重要度によって符号器を切り替えるので、誤り率もそれに従い変化する。図には比較のために誤り訂正を行わない場合のBPSKの誤り率も示してある。なお、速度は0.1km/h、10km/h、50km/hの3通りの場合においてシミュレーションを行った。0.1km/hの誤り率はAWGN通信路での誤り率に近い値となっている。

図5の2RINGのビット誤り率を見ると、インタリーブを用いていないBPSKと重要度の低いRINGの誤り率では、SNRが30dB以上になるとそれ以上SNRが大きくなって誤り率は改善されないことがわかる。また、SNRが30dB程度までは重要度に関係なく10km/hと50km/hではほぼ同じ性能を示している。図6に示す3RINGのビット誤り率についても同様のことが言える。平均電力を2RINGと同じに設定してあるので、重要度が低いRINGの性能は2RINGと比べ悪くなっている。

図7に示すTRAPのビット誤り率を見てみると、重要度が高、低両方において性能がかなり悪いことがわかる。特に速度が10km/h、50km/hになった場合、誤り率はSNRの値が増してもほとんど改善されないことがわかる。また、符号化とインタリーブを用いた重要度が高いものについても速度が増すと誤り率が改善されなくなる。

### 4.2 符号器判定の性能評価

図8、図9にSNRに対する符号器判定の誤り率及び符号器切替速度Nに対する符号器判定誤り率を示す。各

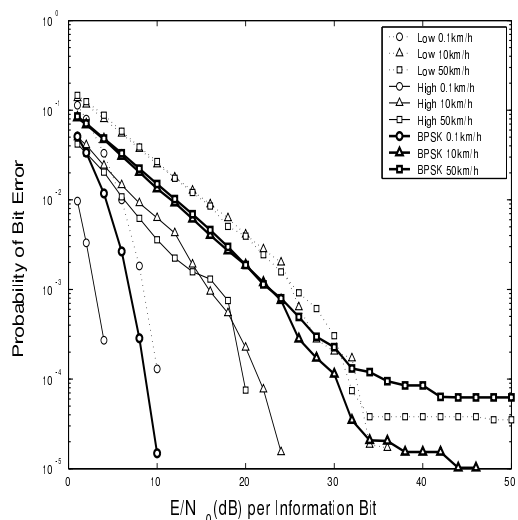


図 5: 2RING のビット誤り率 E: エネルギーの平均

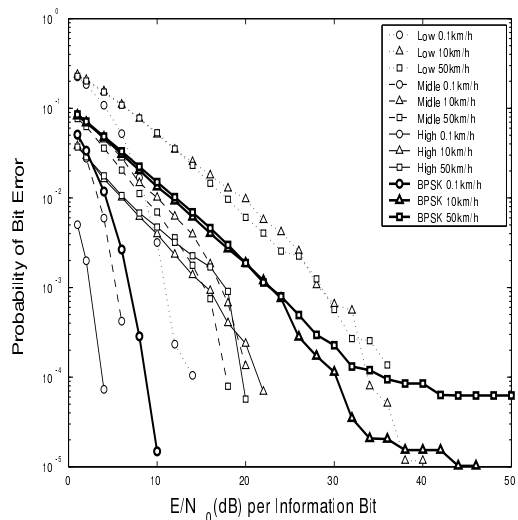


図 6: 3RING のビット誤り率

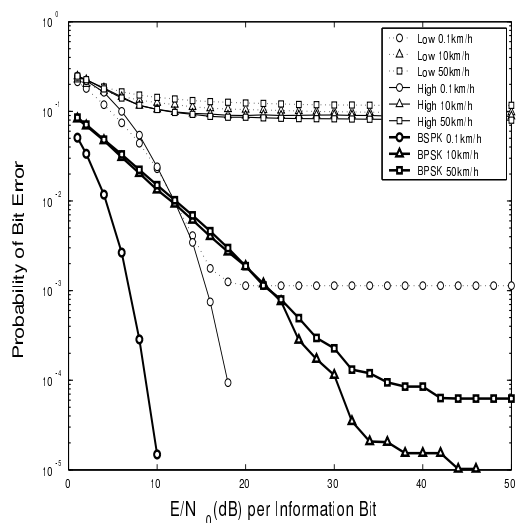


図 7: Trap のビット誤り率

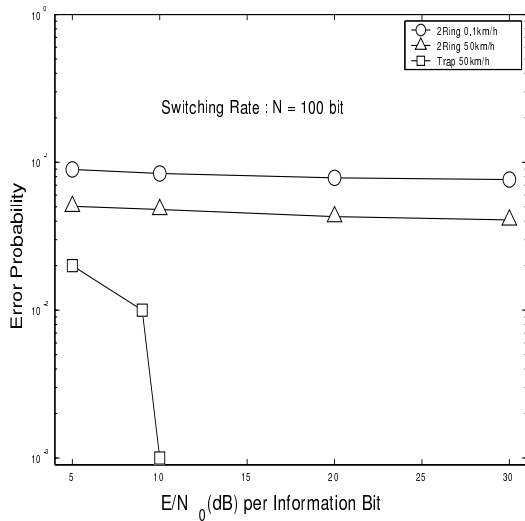


図 8: SNR に対する符号器判定誤り率

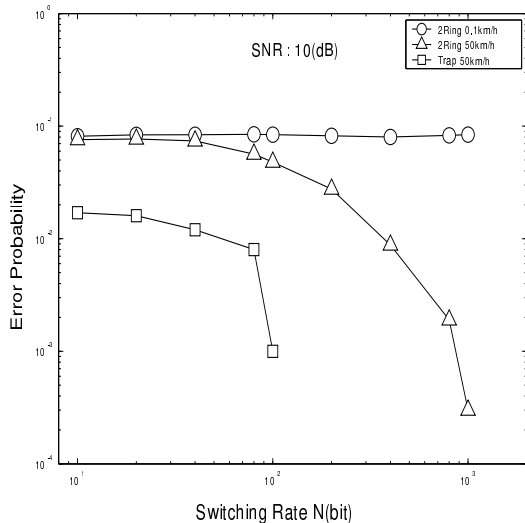


図 9: 符号器切替速度 N に対する符号器判定誤り率

符号での誤り率は RING 型の信号点配置が良い性能を示したが、符号器判定では TRAP 型の信号点配置が良い性能を示した。

フェージング通信路では一定周期毎に電力が大きく落ち込む部分が生じるため、RING 型の信号点配置を用いた場合、外側の RING に配置された信号が内側の RING の範囲に入ってきてしまい、符号器の判定が困難になったためと思われる。そのため 2RING 型の符号器判定誤り率は SNR が増してもほとんど改善されない事がわかる。符号器の切替速度 N を大きくすると、符号器判定誤り率は低くなるが、SNR との関係性はあまりないものと考えられる。さらに、RING 型の信号点配置を用いた場合には、速度が遅い場合の方が性能が悪くなっているが、速度が遅いとフェージング速度が遅くなるため、電力が大きく落ち込む部分の影響を多くの信号点を受けて

しまうためと思われる。

TRAP 型の信号点配置を用いた場合の符号器判定誤り率は、SNR が増すと改善されることが図 8 からわかる。また、図 9 は頻りに符号器を切り替えた場合には符号器判定の誤りが生じるが、符号器切替速度を遅くしていくと符号器判定誤りは改善されることを示している。

以上の事から、本稿では各信号点との距離を計算し符号器判定を行ったわけだが、この方法を用いて符号器判定を行う場合、符号器判定の誤りを減らすためには、重要度の低いビット列と高いビット列を表す 2 つの信号点群の距離を十分に離す必要がある。

また、符号器判定での誤りを改善するために、受信側で信号の電力制御を行うなど符号器判定方法の検討や、TRAP 型のような 2 つの信号点群が離れた配置を利用し、各符号器ではより強い符号化を用いることで各符号器での誤りを改善するという符号器の検討をして行く必要がある。

## 5 まとめ

本稿では、不均一誤り訂正符号といくつかの信号点配置を用いて、フェージング通信路での検討を行った。RING 型では重要度を 2 つ又は 3 つに分けた場合を考えた。TRAP 型では、符号器での誤り率は AWGN 通信路でのものに比べ悪くなった。また、符号器判定における誤りは、RING 型では悪く、TRAP 型が良い性能を示した。このことから、フェージング通信路においては、各符号器での誤りを減らすには位相変調の様な RING 型が有効であり、符号器判定での誤りを減らすには TRAP 型の様な信号点群同士の距離が十分に保てる配置が有効であると言える。ただ、ビット誤り率を減らす信号点配置を用いると符号器判定誤り率が高くなり、信号点群同士の距離を離すことで符号器判定誤り率を低くするとビット誤り率が高くなるというトレードオフの関係にあり、今後更なる検討が必要である。

## 参考文献

- [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] 江藤良純・金子敏信監修, "誤り訂正符号とその応用", 映像情報メディア学会, 1996
- [3] 高畑文雄編著, "デジタル無線通信入門", 培風館, 2002