

G2 搬送波位相誤差のターボ符号への影響

廣井 満†

山岸 邦彦††

中島 繁雄†

佐藤 栄一†

†新潟工科大学

††東京電力株式会社

1. はじめに

近年、強力な誤り訂正符号の1つとしてターボ符号^[1]が注目され、移動体通信、衛星通信などの無線通信システムへの適用がはかられつつある。これらの無線システムでは通常、信号対雑音電力比に対して良好なビット誤り率を有するPSK同期検波が用いられている。本稿では、誤り訂正符号としてターボ符号を用いるPSK同期検波方式において、搬送波同期回路で得られる再生搬送波の位相誤差が、ターボ符号の復号ビット誤り率にどのように影響するかを検討した結果を報告する。位相誤差は、復調器入力の変調量、搬送波同期回路の位相、周波数追従誤差及び回路の不完全性などにより発生する。

2. 再生搬送波の位相誤差と同期検波出力の関係

図1に2相/4相/8相のPSK変調波の信号点配置と再生搬送波位相の関係を示す。なお、再生搬送波位相を示した図において、実線は $\Delta\theta = 0$ 、破線は $\Delta\theta$ を有する場合である。2相PSKは、1系列のベースバンド変調信号を搬送波に乗算することにより生成され、受信側の再生搬送波は図1(a)のRef a-1となる。4相PSKは、2系列のベースバンド変調信号で生成され、4つの信号点を識別するために図のRef b-1とRef b-2が用いられる。8相PSKでは、3系列のベースバンド信号に対して図1(c)のRef c-1、Ref c-2、Ref c-3が用いられる。

再生搬送波の位相が $\Delta\theta$ ずれると、2相PSKでは検波出力は $\cos\Delta\theta$ 低下する。4相PSKでは、一方の出力が $\cos(\pi/4 + \Delta\theta)$ と減少し、他方の出力が $\cos(\pi/4 - \Delta\theta)$ と増加する。8相PSKでは、最小出力値が信号点に依存して $\sin(\pi/8 + \Delta\theta)$ と $\sin(\pi/8 - \Delta\theta)$ となる。

3. シミュレーション条件

図2に対象とした伝送路モデルを示す。図2において、再生搬送波は送信側のPSK変調器の搬送波を分岐して用いている(カンニング搬送波)。この再生搬送波の位相は図2に示す位相器により故意に位相誤差を発生している。したがって、再生搬送波には雑音による位相ジッタが含まれてない。これは、定常的な位相誤差のみによるビット誤り率の劣化を評価するためである。

また、ターボ符号については状態数4、生成多項式 $(1+D^2)/(1+D+D^2)$ の要素符号器を対象とし、符号化率は1/2, 1/3、インタリーブサイズは1024bitsのランダムインタリーブ、復号法にはLog-Mapアルゴリズムを用いている。本稿で用いたシミュレーション条件を表1にまとめて示す。

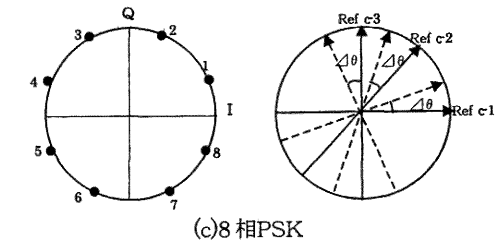
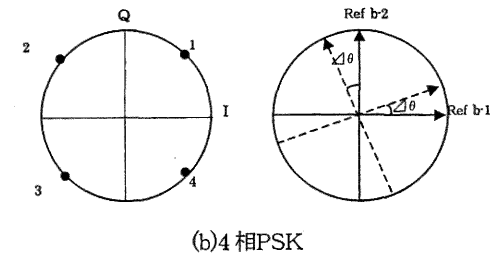
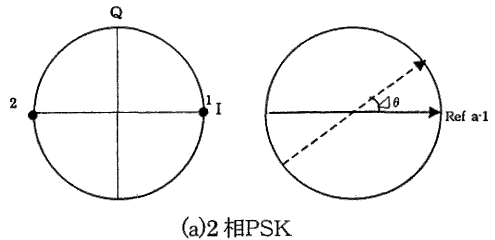


図1 2相/4相/8相PSKの信号点配置と位相誤差 $\Delta\theta$ を有する再生搬送波の関係

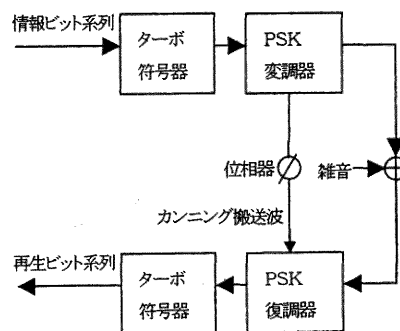


図2 伝送路モデル

4.結果と考察

再生搬送波の位相誤差と、ターボ符号の復号後のBERの関係を示すため、図2の伝送路モデルでシミュレーションを行った。

図3は2相PSKを対象に、ターボ符号を用いた場合(符号化率1/2、1/3)と、誤り訂正を用いない場合の位相誤差 $\Delta\theta$ によるBER劣化特性を示したものである。図より、位相誤差 20° 以下では誤り訂正を用いない場合とターボ符号を用いた場合とではBERの劣化の差は小さいが、 $\Delta\theta$ が位相 20° 以上になると、ターボ符号を用いた場合が、誤り訂正無しの場合に比較してBER劣化が急激に大きくなっている。この理由は、ターボ符号では受信信号の信号対雑音電力比の変化に対してBERが大きく変化するためと思われる。また、符号化率1/2、1/3の各ターボ符号でのBER劣化曲線はほぼ同一となった。

図4は、2相/4相/8相PSKの各々に対してターボ符号を用いた場合のBER劣化特性を示したものである。図より、2相PSKのBER劣化曲線は $\Delta\theta$ が約 20° より急激に立ち上がり、4相PSKでは $\Delta\theta$ が約 10° 、8相PSKでは $\Delta\theta$ が約 5° であることが分かる。これは、信号点を識別するための位相余裕が2相PSKでは 90° 、4相PSKでは 45° 、8相PSKでは 22.5° と小さくなるためである。また、BER劣化曲線の傾きは相数の増加に伴って大きくなっている。

5.まとめ

ターボ符号を用いた2相/4相/8相PSK同期検波において、再生搬送波の位相誤差によるBER劣化特性をシミュレーションにより検討し、以下のことを明らかにした。

- ①誤り訂正無しの場合に比較して、ターボ符号を用いた場合には同一の位相誤差に対するBER劣化が大きくなる。
- ②ターボ符号の符号化率1/3におけるBER劣化曲線は、符号化率1/2のBER劣化曲線とほぼ同一となった。
- ③2相/4相/8相PSKと相数が増加するに伴って、同一の位相誤差に対するBER劣化が大きくなり、許容位相誤差への設計要求条件が厳しくなる。

今後は、再生搬送波に位相ジッタを有する場合について検討する予定である。

参考文献

[1] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes(1)," in Proc., IEF⁹ Int. conf. on Communications(Geneva, Switzerland, 1993), pp.1 064-1070

表1 シミュレーション条件

伝送路	AWGN 回線
変復調方式	2相、4相、8相PSK同期検波
ターボ符号	符号化率1/2、1/3、状態数4、RSC 生成多項式: $(1+D^2)(1+D+D^2)$
インタリーブ	サイズ1024bits ランダムインタリーブ
ターボ復号	Log-Map アルゴリズム

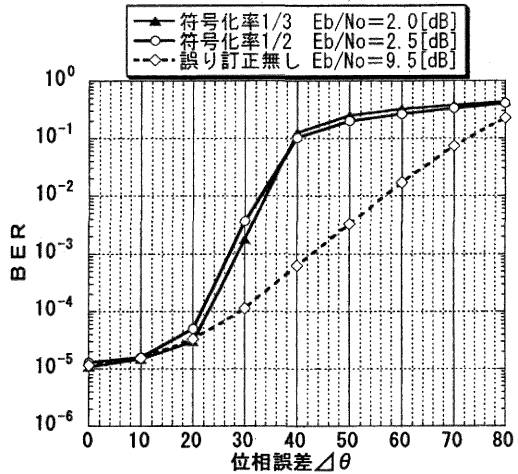


図3 2相PSKの再生搬送波の位相誤差によるBER特性(ターボ符号有無)

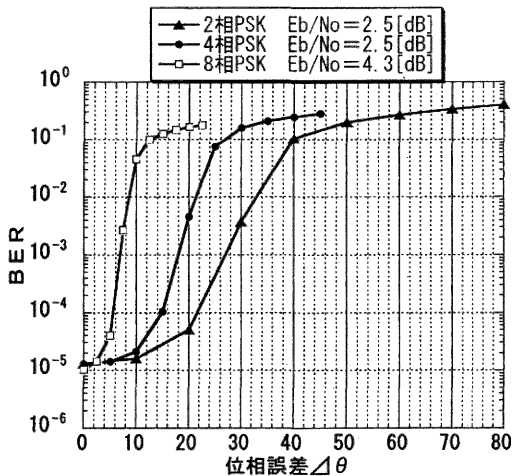


図4 ターボ符号(符号化率1/2)を用いた2相/4相/8相PSKの再生搬送波の位相誤差によるBER特性