

# OOKFSK 交代通信方式の改善

李 勅\*・宮垣 嘉也\*\*

\*岡山理科大学大学院工学研究科博士課程システム科学専攻

\*\*岡山理科大学工学部情報工学科

(1992年9月30日 受理)

## 1. ま え が き

陸上移動通信でデジタル信号を高速伝送するさい、マルチパス伝搬によって符号間干渉 (ISI) が生じ、ビット誤り率 (BER) 特性が大きく劣化する。その対策の一つとして耐マルチパス変復調方式があり<sup>1)~6)</sup>、交代通信方式もその一例である<sup>10)</sup>。筆者らはある種の簡便な交代通信方式として OOKFSK を提案したが<sup>7)~9)</sup>、実用的な領域において良い特性 ( $BER < 10^{-2}$ ) が得られなかった。本報告では、この OOKFSK の改良としての2種類の方式 (識別スレシヨルドの改善と識別タイミングの改善) を新たに提案し、その原理と方式の構成を提示し、最後にこの2種類の方式の伝送誤り率特性を報告する。

## 2. 識別スレシヨルドの識別

従来の OOKFSK 交代方式では、判定スレシヨルドレベルが ISI のない場合 (非選択性フェージング) の仮想的な受信レベルから設定していた。(図1 (a))。即ち、半固定スレシヨルド方式である。しかし、実際の ISI のある場合には、フェージングによる減衰のみならず符号間干渉によっても受信した信号のレベルは変化している。それゆえに、筆者ら

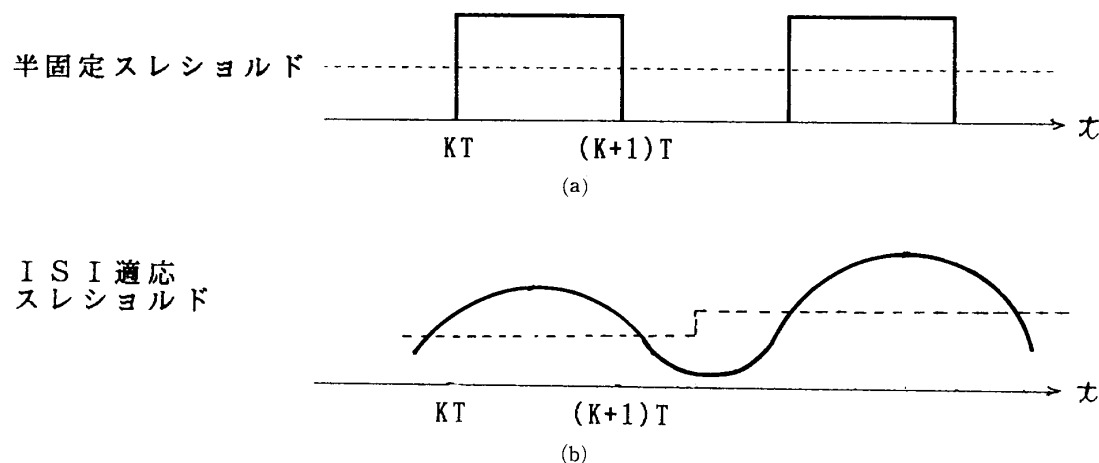


図1 (a) 非選択性の仮想レベルから設定される識別レベル  
(b) 符号間干渉を受けた実際のレベルに適応して設定される識別スレシヨルド

は、スレシヨルド値を ISI のある実際の場合のレベルから設定 (図 1 (b)), 即ち, ISI に適応したスレシヨルド値を取る方式をとりあげ, その BER 特性を検討した。

具体的計算方法はすでにある OOKFSK<sup>9)</sup>に準拠するが, この ISI 適応識別スレシヨルド

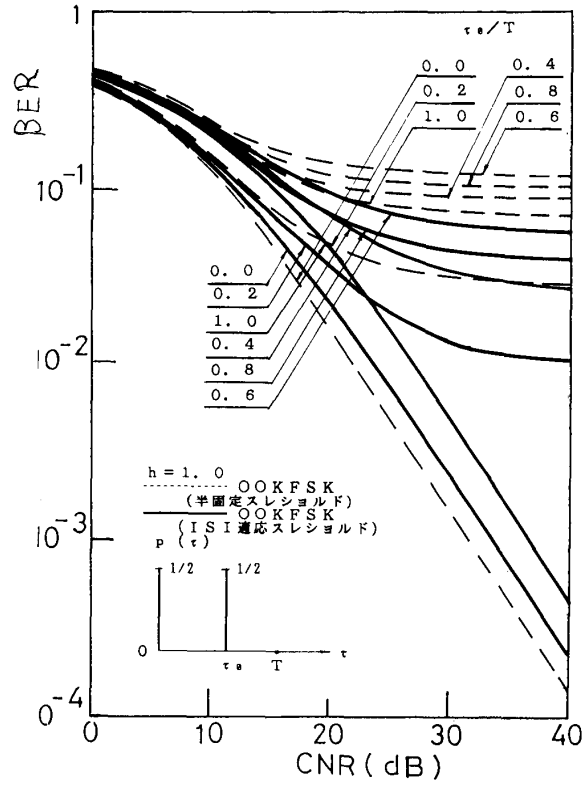


図 2 識別スレシヨルドの改善による BER の改善 (2 波モデル)

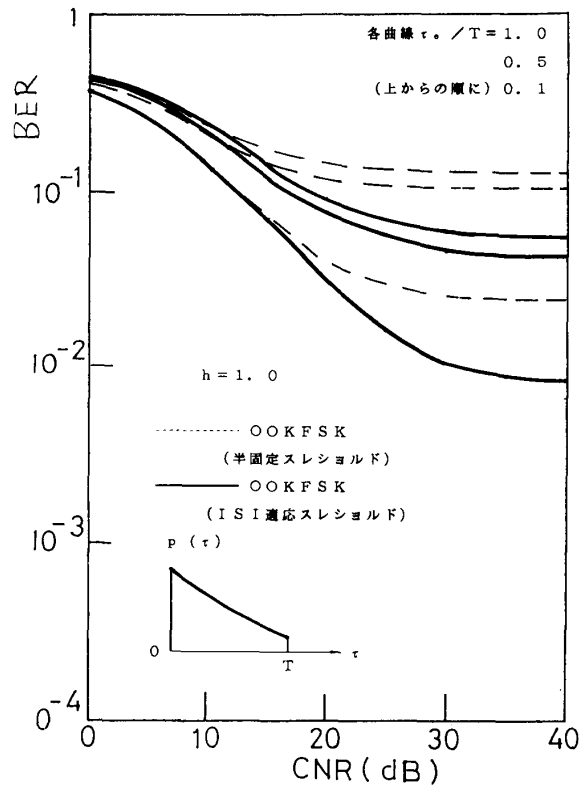


図 3 識別スレシヨルドの改善による BER の改善 (連続遅延モデル)

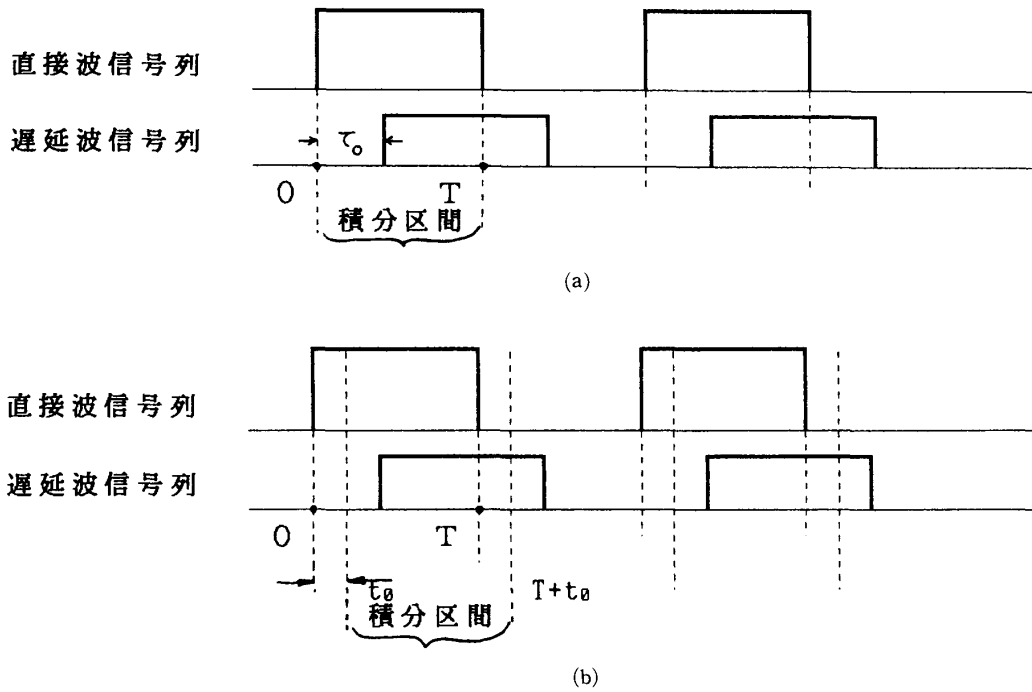


図4 (a) 直接波信号に同期した識別タイミング  
 (b)  $t_0 = \tau_0/2$  だけずらした識別タイミング

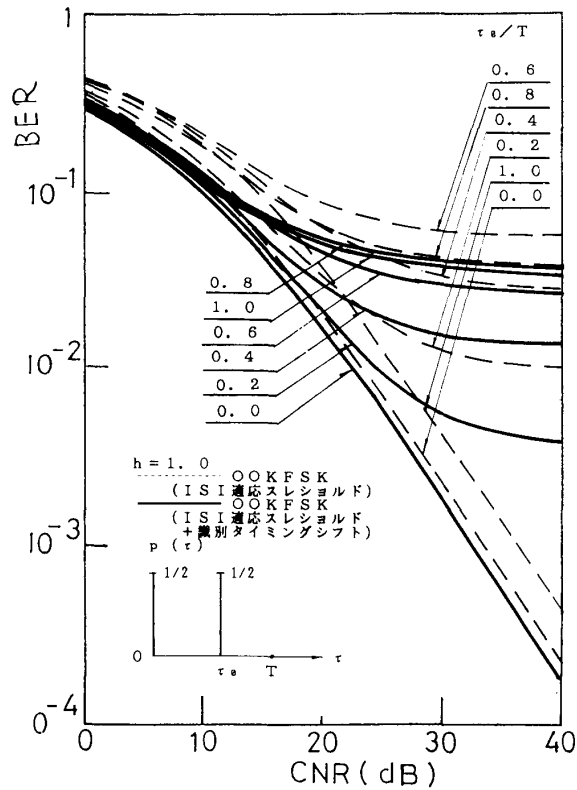


図5 識別タイミングの改善による BER の改善 ( $h = 1$ )

の場合のD関数は付録に示すようになる。

図2, 図3にBERの計算結果を示す。図中のhはFSK変調指数である。実用的なh=1.0の場合を示す。遅延プロフィールは図2が2波モデル, 図3が連続モデルである。改善効果が顕著に現れている。

### 3. 識別タイミングの改善

図4(a)のように信号パターンに対して, 従来の受信機ではk番目の信号の識別は $kT \sim (k+1)T$ の間で整合フィルタによる積分を行う。しかし, 遅延波も信号であるので, 信号列に対する積分区間としては $kT \sim (k+1)T$ が最適時点ではないことは明かである。そこで, 2波モデルを対象として, 筆者らは遅延信号の遅延時間が $\tau_0$ のとき, 識別タイミング時刻を $t_0 = \tau_0/2$ だけずらす, 即ち,  $kT + t_0 \sim (k+1)T + t_0$ で入力を積分するものとする(図4(b))。これは, 実際の電子回路の動作にも合っている。

この場合のBERの具体的計算方法はやはりすでにあるOOKFSK<sup>9)</sup>に準ずる。ただし, 識別タイミングの変更により, D関数はかなり複雑になる(先行, 現行, 後続の3つのシンボルにわたる積分を要する)のでD関数の表示はここでは省略する。

図5, 図6に計算されたBER特性を示す。図5はh=1.0, 図6はh=2.0の場合である。改善効果は変調指数hと遅延時間 $\tau_0$ によって異なる。

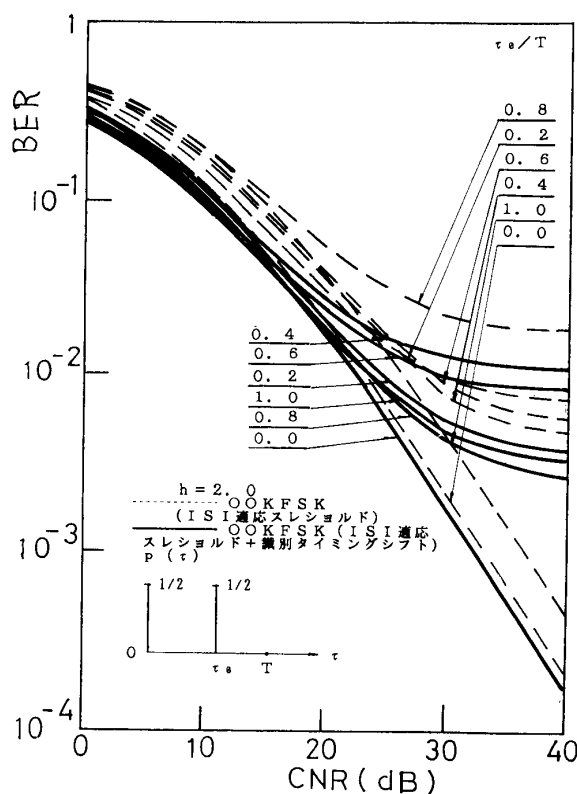


図6 識別タイミングの改善によるBERの改善(h=2)

#### 4. む す び

以上、2種類の改善策は、いずれも受信誤り率を $10^{-2}$ 以下に下げることができなかったが、ISIがある場合のOOKFSK受信機のon-offの識別スレシヨル値の適応的な設定は、回路システム上容易に実用化でき、BER特性の改善に有効であることが分かった。今後は、この方向で実用化をめざして一層の改善をはかるつもりである。

#### 参考文献

- 1) 吉田, 池上: 多重波フェージングに強い変調方式, SAT 86-22.
- 2) 高井: 耐多重波変調方式の一提案, 信学会, SAT 86-23.
- 3) 原, 森永: 可変サンプルタイミングを用いた耐周波数選択性フェージング変調方式に関する一考案, 信学会, SAT 88-18.
- 4) 李 勳, 小西, 宮垣: "3周波交代FSK方式の耐マルチパス特性", 平2電関関西支連大, S 7-4.
- 5) 李 勳, 小西, 宮垣: "3周波交代FSK方式の耐マルチパス特性(ダイバーシティ受信の場合)", 平2電関中支連大, 111701.
- 6) 李 勳, 小西, 宮垣: "3周波交代FSK方式の耐マルチパス特性", 岡山理科大学紀要, 第26号, A pp. 239-258 (1991-03).
- 7) 李 勳, 小西, 宮垣: "OOKFSK方式の耐マルチパス特性", 平3電関関西支連大, G 7-16.
- 8) 李 勳, 小西, 宮垣: "OOKFSK方式の耐マルチパス特性(ダイバーシティ受信の場合)", 平3電関中支連大, 071012.
- 9) 李 勳, 小西, 宮垣: "OOKFSK方式の耐マルチパス特性", 岡山理科大学紀要, 第27号, A pp. 227-239 (1992-03).
- 10) Turin. G. L: Commutation signaling-An antimultipath technique, IEEE, SAC-2, 4, pp. 548-562 (July 1984).

#### 付録: ISI適応識別スレシヨルドの場合のD関数

P 1 を計算するためのD関数 (以下  $X = \tau / T$ )

$$\begin{aligned}
 D_{f_0}^{\text{off } f_0}(\tau) &= \int_{-\tau}^0 0 * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j\pi h/T*(t+\tau)} dt \\
 &+ \int_0^{T-\tau} \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T*t} * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j\pi h/T*(t+\tau)} dt \\
 &= 2E e^{j\pi hX} \{1 - X\}
 \end{aligned}$$
  

$$\begin{aligned}
 D_{f_1}^{\text{off } f_0}(\tau) &= \int_{-\tau}^0 0 * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T*(t+\tau)} dt \\
 &+ \int_0^{T-\tau} \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T*t} * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T*(t+\tau)} dt \\
 &= 2E e^{-j\pi hX} \left\{ j \frac{1}{2\pi h} (e^{-j2\pi h(1-X)} - 1) \right\}
 \end{aligned}$$

P 2 を計算するためのD関数

$$\begin{aligned}
 D_{f_1 f_0}(\tau) &= \int_{-\tau}^0 \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j\pi h/T * t} * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j\pi h/T * (t+\tau)} dt \\
 &+ \int_0^{T-\tau} \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T * t} * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j\pi h/T * (t+\tau)} dt \\
 &= 2E e^{j\pi h\tau} \left\{ -j \frac{1}{2\pi h} (1 - e^{-j2\pi hX}) + 1 - X \right\}
 \end{aligned}$$

---


$$\begin{aligned}
 D_{f_0 f_1}(\tau) &= \int_{-\tau}^0 \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j\pi h/T * t} * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j\pi h/T * (t+\tau)} dt \\
 &+ \int_0^{T-\tau} \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T * t} * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j\pi h/T * (t+\tau)} dt \\
 &= 2E e^{j\pi h\tau} \left\{ -j \frac{1}{2\pi h} (1 - e^{-j2\pi hX}) + 1 - X \right\}
 \end{aligned}$$

P 3 を計算するためのD関数

$$\begin{aligned}
 D_{f_0 \text{ off}}(\tau) &= \int_{-\tau}^0 \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T * t} * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T * (t+\tau)} dt \\
 &+ \int_0^{T-\tau} 0 * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T * (t+\tau)} dt \\
 &= 2E \left\{ \frac{1}{\pi h} \text{SIN}(\pi h X) \right\}
 \end{aligned}$$

---


$$\begin{aligned}
 D_{f_0 f_1}(\tau) &= \int_{-\tau}^0 \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T * t} * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T * (t+\tau)} dt \\
 &+ \int_0^{T-\tau} \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j\pi h/T * t} * \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{-j\pi h/T * (t+\tau)} dt \\
 &= 2E \left\{ \frac{1}{\pi h} \text{SIN}(\pi h X) + e^{-j\pi h\tau} * (1 - X) \right\}
 \end{aligned}$$

# Improvement of OOKFSK Antimultipath Communication System

QING LI\*, Yoshiya MIYAGAKI\*\*

*\*Graduate School, Okayama University of Science  
Ridaicho 1-1, Okayama 700, Japan*

*\*\*Faculty of Enginceering, Okayama University of Science  
(Received September 30, 1992)*

This paper discusses two method for the improvement of OOKFSK communication system pastly proposed as a simple antimultipath digital modem system. The ISI-adaptively setting of OOK threshold is effective to the BER reduction but the offest of sampling timing on matched filter is not so effective.