

# 周波数弁別器を利用した変調方式の自動判別に関する一検討

## Automatic Modulation Scheme Identification using a Frequency Discriminator

大原 真生\*  
Mao Ohara

アサノ デービッド\*  
David Asano

**Abstract**— In this paper, an automatic modulation identification method based on frequency discrimination is proposed. To test the proposed method PSK and FSK are considered. Using computer simulations, the performance of the proposed method is evaluated. The proposed method was found to be able to distinguish PSK and FSK well even in the presence of noise.

**Keywords**— automatic identification, frequency discrimination

### 1 はじめに

ここ数年、携帯電話をはじめとするモバイル端末が爆発的に普及し、我々の生活に身近なものになってきた。インターネットへの接続が可能になったことによって、モバイル端末は情報端末として幅広く指示されている。携帯電話を例にとってみると、アナログ通信で始まった第1世代から、通話品質を改善したデジタル通信の第2世代の普及が成熟し、現在の第3世代では更なる音声品質の改善と国際ローミングなどの通話だけでなく、テレビ電話やアプリケーションの搭載によってマルチメディア端末としての役割にも重点が置かれるようになってきた。これらの目覚ましいモバイル端末の進化には、それに使用される集積回路の小型化、高性能化が大きく貢献しているのは間違いない。しかし、各開発企業の競争によってさらなる高性能な端末が登場し、それによってモバイル端末が肥大化してきているのもまた事実である。

本研究室ではこれまで、ハードウェアによらない、ソフトウェアによる自動復調方式の研究、いわゆるソフトウェアラジオの研究を行ってきた。ソフトウェアによる様々な変調方式の復調が可能になれば端末の小型化やコストの削減に貢献できると期待される。最終的にはより多くの変調方式を判別、復調できる方法をソフトウェアの観点から研究を行い、DSP (Digital Signal Processor) などのデジタルプロセッサに搭載してその性能を評価することを目標としている。

本稿ではその一端として、周波数弁別器による位相変調 (PSK) と周波数変調 (FSK) の自動判別の性能について検討する。弁別器は周波数を振幅に変換するもので

あり、その時々々の周波数に比例した出力を得ることができる。この方法を用いて各変調方式に雑音を加えた場合、どの程度判別できるのか検討する。また判別した信号を同変調器で復調し、その性能を評価する。

### 2 システムの概要

#### 2.1 システムの概要

本研究で提案する周波数弁別器を使った判別装置を図1に示す。

受信側では送信側から周波数変調 (FSK) 信号、または位相変調 (PSK) 信号を受信する。受信信号は下記のように表わされる。

$$\text{FSK} \quad Y(t) = \cos(2\pi(f_1 \pm f_2)t) + n(t) \quad (1)$$

$$\text{PSK} \quad Y(t) = \cos(2\pi ft + \phi) + n(t) \quad (2)$$

これらの信号をリミタに通すことで、振幅の変動が弁別器の出力に影響を及ぼさないようにする。

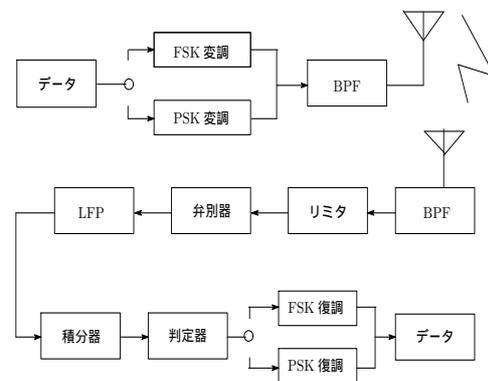


図 1: システム構成

弁別器では受信信号の周波数を振幅に変換する。こうすることによってその時々々の周波数に比例した出力を得る。

#### 2.2 周波数弁別器

周波数弁別器の内部の構成を図2に示す。

弁別器内部では受信信号を二つに分け、それぞれ二つのバンドパスフィルタ (BPF) に通す。その後、それぞれの出力の絶対値の差を求め、それを出力とする。二

\*〒 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

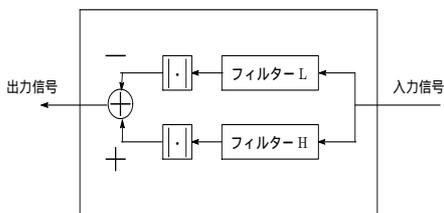


図 2: 弁別器の内部構成

つの BPF の周波数特性は図 3 のようになっている。ここを通った信号のうち、フィルター H では高い周波数の周波数成分が、フィルター L では低い周波数の周波数成分が出力される。このため、信号の周波数に比例した出力が得られる。

弁別器としての特性は図 4 で表わされる。BPF の  $f_L$  と  $f_H$  の間は直線になっているため、入力信号の周波数と弁別器の出力が比例関係となることがわかる。そのため入力信号の周波数はこの二つの BPF の間に収まるように設計する必要がある。2 値の FSK では  $f_L$ 、 $f_H$  のピークに周波数をあわせ、送信信号としている。また PSK では  $f_L$ 、 $f_H$  の中間周波数  $f_0$  を信号の送信周波数としている。

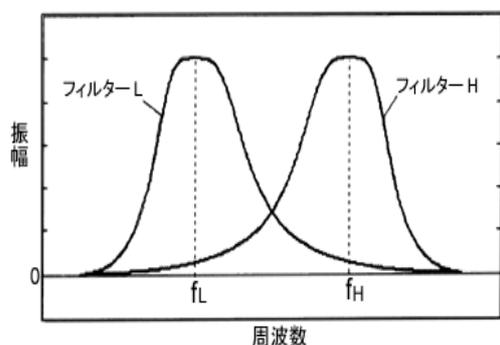


図 3: 周波数特性

### 2.3 変調波の判別方法

弁別器通過後の信号はローパスフィルタ (LPF) に通し高周波成分を取り除く。図 5、図 6 送信信号と LPF を通ったあとの信号の図である。図から解るように、FSK の場合は高周波成分と低周波成分が振幅として取り出されているため、各サンプルの値が大きい。また PSK では弁別器特性の中間周波数  $f_0$  が周波数成分として取り出されているため、各サンプルの値が小さい。そこで一定のビット長ごとに積分器で積分を行う。図 7 は、誤り率 (SNR) における各ビット長の積分の値を表わしたものである。SNR が低い部分では PSK、FSK は雑音の影

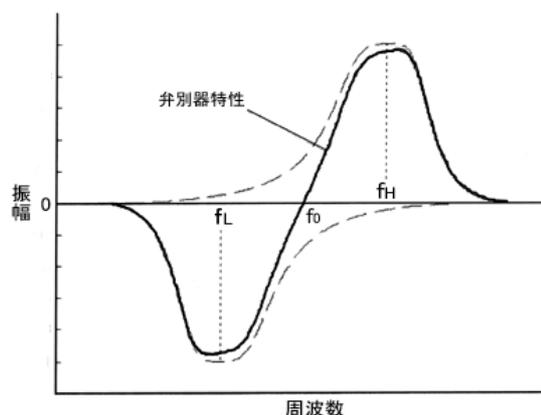


図 4: 弁別器の特性

響により一定の値に収束するが、SNR の高い部分では周波数成分の振幅の影響が顕著に現われる。このことから、判別器では PSK と FSK の収束付近に閾値をとり、信号の判定を行う。

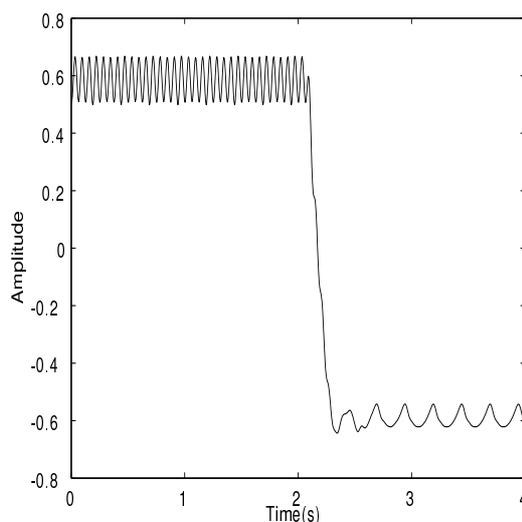


図 5: 積分器通過後の FSK

### 2.4 復調方法

判別器を通り変調の判定をされた信号は復調器に通される。FSK 信号が通された場合、図 5 から解るようにビットの変化とともに信号の電力が正負の値を取る。そこで 1 ビットあたりの総サンプル数の値の総和をとり、それが正であれば 1、負であれば 0 をそのビットの出力とする。PSK 信号において弁別器を通った信号の出力はビットの 0 と 1 が変わるときに信号の電力が正負に大きな値をとるが、元の信号の電力よりもはるかに微量であり、またその反応がビット情報の 0 か 1 が判定する手立てがないため、今回は復調処理は行わない。

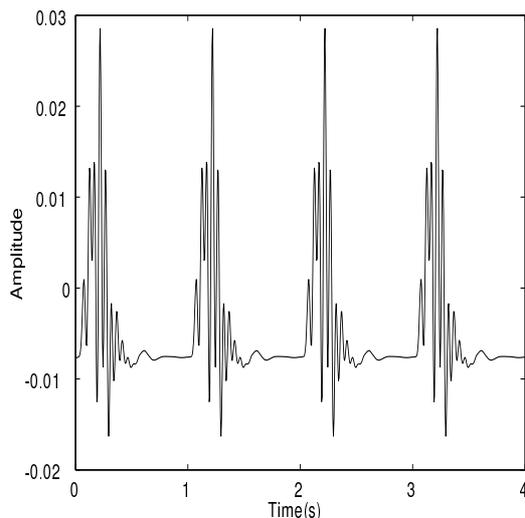


図 6: 積分器通過後の PSK

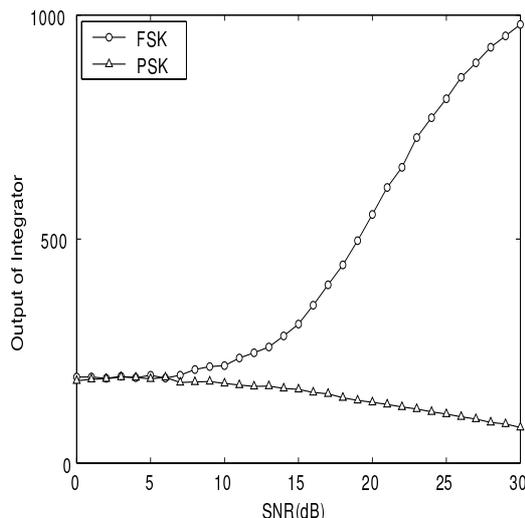


図 7: サンプルの各値の総和

### 3 シミュレーション方法

シミュレーションの回路は図 1 である。シミュレーションはすべて C 言語で行うデジタル回路とする。

まず、送信側で情報ビットとして 0 と 1 のランダムな数値を発生させ、それを PSK または FSK へ変調する。その際、受信側で使う弁別器の BPF の周波数通過帯域は解っているものとするので、送信側の PSK 変調は図 4 より中心周波数  $f_0$  とする。FSK 変調は高周波  $f_H$  と低周波  $f_L$  との変調指数が 0.3 になるように周波数を定める。それぞれの変調信号の 1 ビットあたりのサンプリング数は 200 個とする。また判別の際に一定のビットごと判定器にかけるが、このビット長を 10 ビットとする。すなわち、10 ビットの情報信号を判定器に通し受信信号の判定材料とする。

通信路ではノイズの影響を考慮して、ガウス雑音を送信信号に加える。このガウス雑音の加える値を大きくしていき、変調信号の判別にどのような影響が出るかを判定の誤り率 (SNR) として求める。

### 4 性能評価

図 8 にシミュレーションから得られた各変調方式の判定誤り率を示す。周波数弁別器を用いた判別では、SNR が大きい時は変調信号の判別性能は非常によい結果が示され、SNR が小さいときに判別が難しくなることがわかる。しかしながら、性能の判別が悪くなるとはいっても SNR の値が負の場合なので、一般的に性能は良いといえる。

次に、FSK 信号の復調処理を行った結果のビット誤り率を図 9 に示す。これによると SNR が大きくなるに

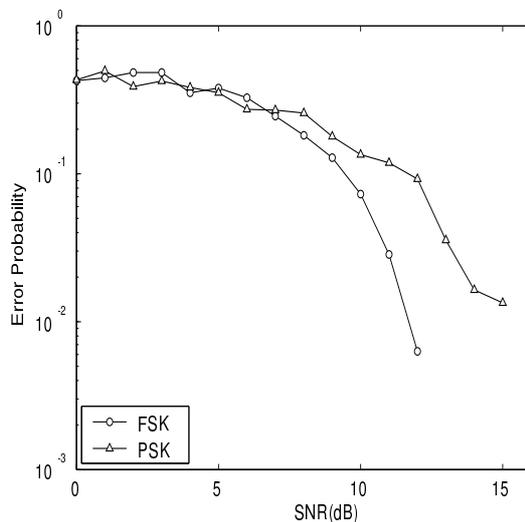


図 8: FSK、PSK 変調信号を送信した場合の判定誤り率

つれ誤り率が下がっていくので弁別器を通った信号の周波数が振幅として反映されるため周波数検波による復調処理がある程度可能であることがわかる。

### 5 まとめ

本稿では周波数弁別器を用いた変調方式の自動判別に関する一検討を行った。0 と 1 のランダムな値をとる情報ビットから PSK、FSK 信号を発生させ、それに加えるガウス雑音の値を大きくしていき、判別にどのような変化が現れるかシミュレーションを行った。

結果として、SNR が大きい場合に非常によい結果が出た。このことから閾値判別方法は、SNR が小さい場合の判別能力が落ちてしまうということを考えても、全体として判別能力はよいものだと考えられる。

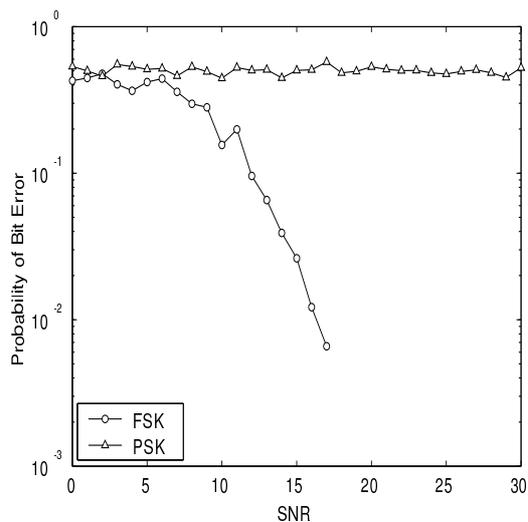


図 9: FSK 変調信号を送信した場合の判定誤り率

また、復調の処理では FSK のサンプルの値の和をとる方法は有効であるといえる。しかしながら LPF を通しているため、その影響により SNR が大きくても必ず一定値以上の誤りが発生してしまう。PSK の場合は周波数弁別器を通した時点でビットごとの信号の特徴がつかみづらいため、復調は困難である。このことから、周波数弁別器は変調信号の判定のみに使い、復調処理は弁別器を通さない別の回路で行ったほうがよいと考えられる。

## 6 今後の課題

2 値の PSK、FSK の判別ではよい判定結果が出たので、他の判別方法と性能を比べ、評価を行う必要がある。また、ビット長、サンプリング数を変えてどのように性能が変化するかも考慮しなくてはならない。復調においては、復調用のシステムを構成した上で弁別器と同時に動作させ性能評価をする。最終的にソフトウェアラジオとして機能させることを考え DSP に実装させたときの処理時間の計測などを行う必要がある。

## 参考文献

- [1] 瀬角 龍博、アサノ デービッド、”周波数ホッピング方式におけるリミター弁別器に関する研究”
- [2] 浅野 貴年、アサノ デービッド、”DSP を用いたソフトウェアラジオに関する研究”