

## AM ラジオ信号に重畳した周期性ノイズ除去法に関する検討

玉城 太志<sup>†</sup> 和田 知久<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 琉球大学大学院理工学研究科 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地

E-mail: †{taishi,wada}@ie.u-ryukyu.ac.jp

あらまし 一般的に通信に関するノイズは、機器から漏れた電磁波を他の機器が拾うことにより発生する。ノイズは様々な場所で頻繁に起こるため、ノイズの種類によって効率が良いノイズ除去法を選択する必要がある。LMS アルゴリズムは、自乗した平均誤差を最急降下法に基づいて最小にするアルゴリズムである。正弦波及び余弦波を用いて、LMS アルゴリズムによって値を適応させノイズ成分を予測し周期的なノイズ成分を除去する手法がすでに提案されている。本稿では、その手法を AM ラジオ受信機に取り入れ、ハイブリットカーに搭載されるモーター等から発生する周期性雑音を想定し、受信機に与える影響をハーモニックインターフェアレンスキャンセラー (HIC) での除去性能を検討する。本評価は、周期性ノイズとランダムノイズを付加した変調信号を適応フィルタに通過させた結果を示し、様々な出力結果と比較を行い誤差率を測定する。HIC を導入した AM 受信機が周期性雑音に対して有効であることを確認する。

キーワード LMS アルゴリズム, AM ラジオ受信機, ノイズキャンセラー

## Investigation on Harmonic Interference Canceler (HIC) for AM radio receiver

Taishi TAMASHIRO<sup>†</sup> and Tomohisa WADA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Engineering, Graduate school of Engineering and Science University of the Ryukyus 1 Senbaru, Nishihara, Nakagami, Okinawa, 903-0213 Japan

E-mail: †{taishi,wada}@ie.u-ryukyu.ac.jp

**Abstract** Generally, Communication noise is generated by devices pick up the electromagnetic wave leaking from the other device. For that occur frequently in various places, we need to select an efficient noise cancellation method according to the type of noise. LMS algorithm is a technique that minimizes the mean squared error based on the steepest decent method. Method to remove period noise components adapted to predict the value of the LMS algorithm has been proposed. This paper attempts to the AM radio receiver built into the Harmonic Interference Canceler (HIC). Assume the impact on the receiver by the periodic noise generated by the motor, which is mounted on a hybrid car. Then, examining the removing performance of HIC. This evaluation shows the results that modulation signal is added to the periodic noise and random noise, passed through the adaptive filter. As a final target, AM receiver introduced the HIC examine enabled for periodicity noise

**Key words** LMS Algorithm, AM radio receiver, Noise Canceler

### 1. まえがき

振幅変調 (Amplitude Modulation) とは、搬送波の振幅に情報を担わせる方法として知られており、ラジオ放送でよく使用されている。AM ラジオは、コストの安さや信号を簡単に作成することができるため、現在では一般的に知られている機器である。しかし欠点として、AM ラジオは低い周波数帯域であるため、電波の伝送中に様々な原因により振幅に影響を受けやすく、ノイズ等の耐性が弱いことが知られている。

ほとんどの車両には、AM ラジオ受信機が搭載されている。車の走行中の場合、ノイズが多く発生するが、ある程度は既存のノイズキャンセリング法によって除去することが可能である。ハイブリットカーは、モーターとエンジンの二つの動力機関が搭載されている車両であり、近年、ハイブリットカーの需要が高まっている。ハイブリットカーにも、従来の車と同様に受信機が搭載されている。しかし、モーターから周期的なノイズが発生しているため、AM ラジオ受信機に影響を与えてしまう。モーターから発生するノイズは、周波数 0~30MHz の広帯域まで影響し

,AM ラジオで使用される周波数帯域 526kHz ~ 1600kHz の電波は,発生する高調波ノイズにより正確に受信することができない.そこで,ハイブリットカーでも AM ラジオをうまく聴取するための有効な周期性ノイズの除去方法が必要となる.

ノイズキャンセリングの手法は,すでにイヤホンやヘッドホン,携帯電話などに組み込まれており,身近な技術である.主なノイズキャンセリングの方法として,二つのセンサーを用いて入力する音とノイズ源を分けて搾取しノイズ成分のみを除去する方法,ノイズ源から信号を搾取し逆位相によりノイズを軽減する方法などが挙げられる.これらは,ノイズ成分がわかっている状態であるならば,理想的な結果を得ることができるが,実際には入力信号とノイズを別々に採取することは困難である.

HIC は,一つのセンサーから入力信号とノイズ成分を搾取し,適応フィルターを通過させてノイズ成分の推測を行い,推測したノイズ成分だけを除去し,音声信号だけを出力させる手法である.本研究は,AM 受信機に HIC を導入し,モーターによって引き起こされる周期性ノイズを除去することが目的とする.

本稿の構成は以下のようになっている.2章では基本理論を説明する.3章では LMS アルゴリズムを用いた適応フィルターにおける周期的雑音の除去の手法について述べる.4章では適応フィルターを取り入れた AM ラジオ受信機のシステムの解説をする.5章では実験環境の説明及び実験評価を示す.最後に,6章では実験結果による考察と今後の課題について述べる.

## 2. 基本理論

### 2.1 フーリエ級数

フーリエ級数 [1] は,複雑な周期関数や周期信号を単純な形の周期性を持つ三角関数の和によって表す方法である.このフーリエ級数を用いて,周期的なノイズを三角関数で和で表す.  $f(x)$  は,実数  $x$  を変数とする周期  $2\pi$  の周期関数とすると,以下の式となる.

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} f(t) \cos(nt) dt, (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} f(t) \sin(nt) dt, (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

ここで,  $a_n$  は  $f$  のフーリエ余弦係数,  $b_n$  は  $f$  のフーリエ制限係数である.これらを用いて書かれた関数が以下の式 (3) となる.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)) \quad (3)$$

これをフーリエ級数という.フーリエ級数を用いてノイズとなる  $f(x)$  を求める.  $f(x)$  を求めるためには,フーリエ級数の係数部分となる.  $a_n$  と  $b_n$  を算出する必要がある.それらを憶測するために,LMS アルゴリズムを利用する.

### 2.2 LMS アルゴリズム

LMS アルゴリズム [2] は,自乗した平均誤差を最急降下法に基づいて最小にするアルゴリズムである.未知システムからの出力  $y(n)$  と適応フィルタで推定した出力  $\hat{y}(n)$  の差を最小にすることにより,推定される出力  $y(n)$  に近づけていく.また,この時の差分を入力誤差といい  $e(n)$  とする.逐次パラメータを更

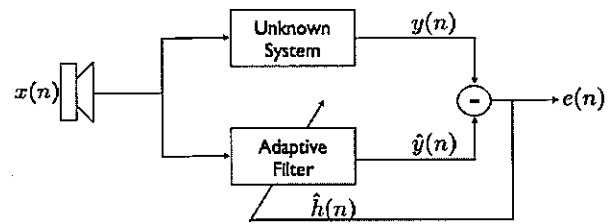


図1 LMS アルゴリズム

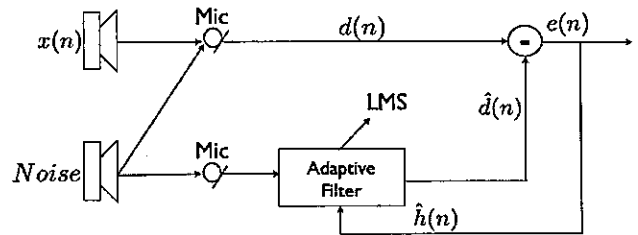


図2 二つのセンサーによるノイズキャンセリングモデル

新するために,時間的に変動するデータに対して有効である.パラメータの更新には,瞬時推定値  $\hat{h}(n)$  及び入力誤差  $e(n)$  を用いる.以下に,LMS アルゴリズムのブロック図と未知システムからの出力  $y(n)$ , 適応フィルタからの出力  $\hat{h}(n)$ , 入力誤差  $e(n)$ , タップ更新式  $\hat{h}(n+1)$  を記述する.

$$y(n) = \sum_{i=1}^{N-1} h_i(n)x(n-i) \quad (4)$$

$$\hat{y}(n) = \sum_{i=1}^{N-1} \hat{h}_i(n)x(n-i) \quad (5)$$

$$e(n) = y(n) - \hat{y}(n) \quad (6)$$

$$\hat{h}_i(n+1) = \hat{h}_i(n) + 2\mu e(n)x(n-i) \quad (7)$$

## 3. ハーモニックインターフェアレンスキャンセラ

### 3.1 導入システム

既存のノイズキャンセリング手法では,二つのセンサーを用いる方法がある.入力音信号とノイズ成分をそれぞれのセンサーから搾取し,ノイズ成分した方から逆位相の波形を順次生成し,出力に合成することでノイズキャンセルが成り立つ.図2に既存のノイズキャンセルのモデルを示す.

既存の手法では,ノイズ成分だけを搾取できる環境を考えているため,ノイズ成分だけを搾取しなければ理想的な結果を得ることは困難である.AM ラジオにこの手法を取り入れる場合,様々な要因でノイズが発生するため,事前にノイズ成分を搾取するのは難しく,あまり有効ではないと考えられる.そこで,1つのセンサーのみでノイズキャンセルを行う手法を用いる.周期性ノイズを含んだ変調信号を適応フィルターに通し,ノイズ

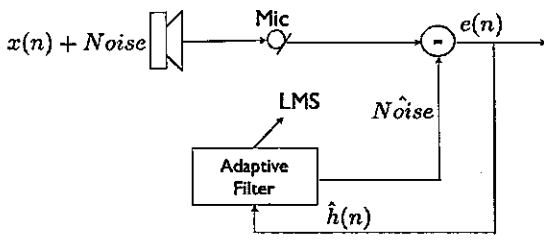


図3 シングルセンサーノイズキャンセリングモデル

成分の推測を行えば、前もってノイズ成分を把握することなく、ノイズ除去が可能となる。図3にシングルセンサーノイズキャンセリングモデルを示す。

### 3.2 アルゴリズム

入力である音データとノイズ成分を  $d(n)$ 、エラーを  $e(n)$ 、フィルタ係数を  $hn_i(n), hhn_i(n)$ 、出力される推定音声  $y(n)$  とする。整数倍の制限波と余弦波を Harmonics Sin Signal と Harmonics Cos Signal でそれぞれ出力する。出力された正弦波を  $y(n)$ 、余弦波を  $z(n)$  とし、次のように表される。この時、 $f_s$  は周波数である。

$$y(n) = \sin(i\omega_0 t) = \sin\left(\frac{2i\pi f_0 n}{f_s}\right) \quad (8)$$

$$z(n) = \cos(i\omega_0 t) = \cos\left(\frac{2i\pi f_0 n}{f_s}\right) \quad (9)$$

$(i = 1, 2, \dots, N)$

ここで、推定音声を入力音データに近似させるために、前述のLMSアルゴリズムを用いる。 $y(n)$  は推定音声であり、エラーを用いたフィルタ係数と正弦波  $y(n)$ 、余弦波  $z(n)$  の和とし、推定音声  $y(n)$  が出力される。

$$y(n) = \sum_{i=1}^{N-1} y(n) + \sum_{i=1}^{N-1} z(n) \quad (10)$$

$$= \sum_{i=0}^N a_i(n) \sin\left(\frac{2i\pi f_0 n}{f_s}\right) + \sum_{i=0}^N b_i(n) \cos\left(\frac{2i\pi f_0 n}{f_s}\right)$$

エラー  $e(n)$  は、入力音データ  $d(n)$  と推定音声  $y(n)$  の差を求められる。この時のエラーの値を極力最小に近づけて推測するがLMSアルゴリズムである。エラー  $e(n)$  を以下に示す。

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (11)$$

また、LMSアルゴリズムで用いるフィルタ係数は、エラーの値を用いて逐次更新され、次のように表される。図4は、アルゴリズムのブロック図を示す。

$$hn_i(n+1) = hn_i(n) + 2\mu e(n) in \left(\frac{2i\pi f_0 n}{f_s}\right) \quad (12)$$

$$hnn_i(n+1) = hnn_i(n) + 2\mu e(n) in \left(\frac{2i\pi f_0 n}{f_s}\right) \quad (13)$$

$$(i = 1, 2, \dots, N)$$

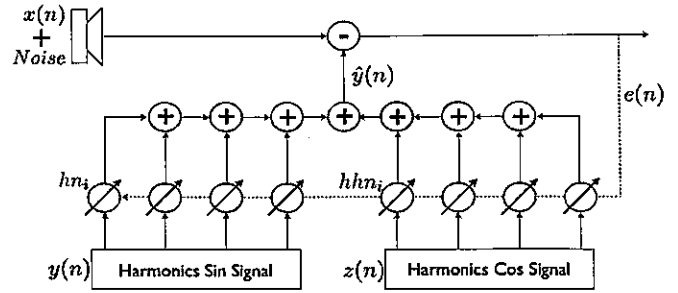


図4 アルゴリズム

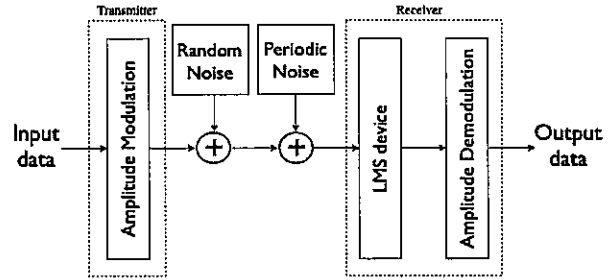


図5 導入システムのブロック図

## 4. 実装構造

### 4.1 導入システム

本節では、LMS デバイスを導入した AM 変調・復調システムを設計する。入力信号に対して搬送波を乗せ変調を行い、信号にはランダムノイズと周期性ノイズを付加する。周期性ノイズは、正弦波と余弦波を合成した値を用いる。ノイズ付加変調信号は適応フィルタを用いて周期的ノイズを推測し、入力信号と推測した音との差分を出力させるように設定する。図5に実装構造のブロック図を表す。

### 4.2 シミュレーション

周期性ノイズ ( $f_0=4$ ) とランダムノイズ (30dB) を付加した変調信号を搬送波周波数 500kHz、周期信号の数 25、試行回数 100 回の条件下で測定したスペクトル図を図6に示す。図の結果から変調信号は 500kHz 付近に表れているが、等間隔に並んだノイズが変調信号に影響を与えているのが図から見て取れる。図7は、LMS デバイスを通過させずに復調をした場合の音声波形を示す。

LMS デバイスを通過させた場合の変調信号のスペクトル図を図8に示す。図6で見られた周期的なノイズが除去され、変調信号のみが表示されている。LMS デバイス内での適応フィルタにより、推測された誤差の波形を図9に示す。周期性雑音の除去を行った変調信号を復調し、音声データとして出力した結果が図10となる。図7の音声波形から図9に示す波形を減算することにより、元の音声波形が算出される。元の周期性ノイズと推測されたノイズ成分を比較すると、ほぼ同じようなノイズが推測されている。入力信号・出力信号の誤差率比較については5章の実験結果で説明する。

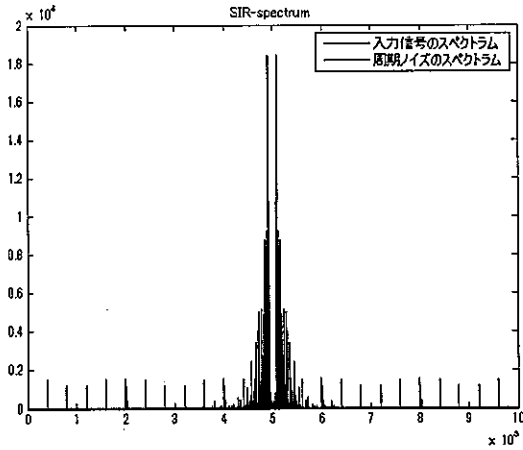


図 6 周期ノイズを付加した変調信号スペクトル図

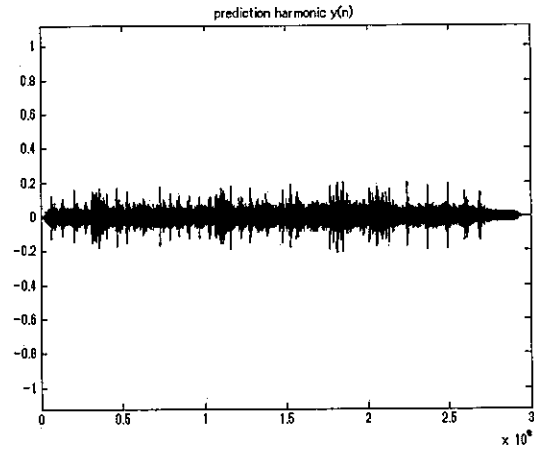


図 9 ノイズキャンセルされた波形

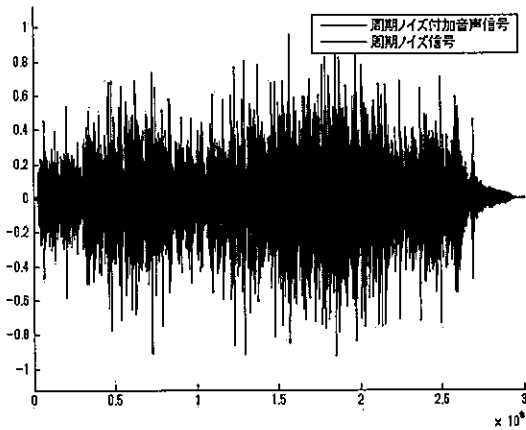


図 7 周期ノイズを付加した音声信号

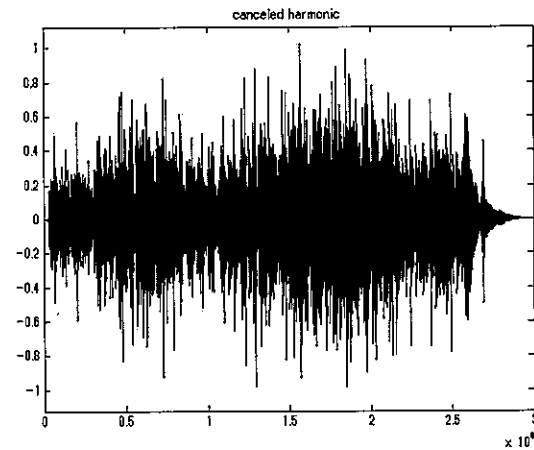


図 10 適応フィルターを通過させた変調信号を復調した音声信号

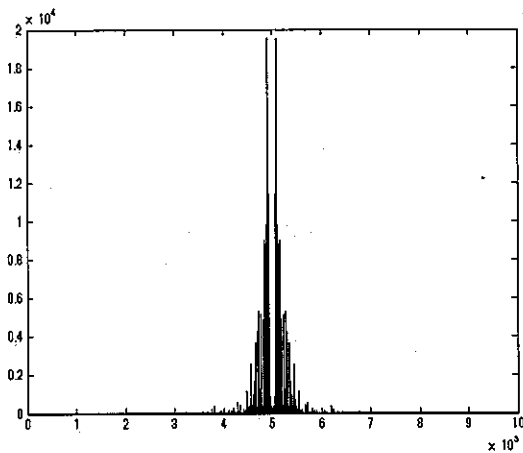


図 8 適応フィルターを通過させた変調信号のスペクトル図

## 5. 実験

### 5.1 評価方法

ハーモニックインターフェアレンスキャンセルの評価には、平均二乗誤差 (Mean Square Error : MSE) を用いる。式 (15) は、適応フィルターを通過させた振幅変調信号を復調した信号を

$S_1$ 、何も付加せずに出した信号を  $S_2$  とする。 $S_1$  から  $S_2$  の差分の MSE を算出し、 $S_2$  の MSE と比較し誤差率を求めている。実験結果では、誤差率から正答率を求め評価を行っている。

$$ER = \frac{\sum_{i=1}^N |S_1(i) - S_2(i)|^2}{\sum_{i=1}^N |S_2(i)|^2} \quad (14)$$

### 5.2 実験条件

System parameters	Values
Frequency band	2000 kHz
Carrier frequency	500 kHz
Periodicity noise level ( $f_0$ )	0.5, 1, 2, 4, 8
SNR	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 [dB]
Number of taps	12, 25, 50, 100, 200
Number of periodic signals	12, 25, 50, 100, 200
Number of trials	100
Step size ( $\mu$ )	0.0025
Data	Amplitude Modulation

### 5.3 実験結果

本章では、第 4 章でのシュミレーションに基づいて様々な条件

での結果を出力し、正答率の算出を行う。

図 11 は、ノイズ付加を行わずに出力した結果と、周期ノイズとランダムノイズを付加した変調信号を適応フィルタを通過させた出力結果の正答率を示す。図から、周期性ノイズとランダムノイズの付加が少ない場合、正答率が高く算出され、付加が多くなると正答率が低くなることが見て取れる。図 12 は、ランダムノイズのみを付加した出力結果と、周期ノイズとランダムノイズを付加した変調信号を適応フィルタを通過させた出力結果の正答率を示す。図 11 と図 12 は、ほぼ同じような結果を示しているが、ランダムノイズが含まれたことにより図 12 の方が正答率が低下している。周期性ノイズレベルが 0.5, SNR が 0dB の条件下の場合、正答率が上昇している。これは、ランダムノイズと周期性ノイズの影響が強すぎると、正常に正答率を算出することができなくため、図のような結果が示されていると考えられる。

図 13 は、ランダムノイズを付加した出力結果と周期性ノイズを付加していない状態の変調信号に対して適応フィルタを通過させた出力結果を比較している。周期性ノイズが含まれていない変調信号のノイズ除去を行う場合、正答率にどのような影響があるかを確認する。それぞれの条件下では、周期性ノイズレベルによってタップ数が設定されており、周期性ノイズレベルによりタップ数が変わる。図の出力結果では、周期間隔でレベルごとにほぼ並行な正答率となっている。また図 14 では、ランダムノイズのみの出力結果と周期ノイズとランダムノイズを含んだ出力結果を適応フィルタに通して比較した実験結果を示している。図から、適応フィルタによりタップ数の数だけ、多くノイズ除去を行うと、正答率が減少するのがわかる。この結果から、適応フィルタでの周期性ノイズの除去を行うことにより、元データに対して影響があることを示している。

結果から、変調された信号に付加される周期性ノイズを適応フィルタにより、多少誤差があるが除去を行うことができた。しかし、ランダムノイズの量や周期性ノイズの周期間隔による影響や、適応フィルタの除去による音質変化も見られた。

## 6. まとめ

本研究では、LMS アルゴリズムを用いた適応フィルタを AM ラジオ受信機に搭載し、周期性雑音に対しての有効性を示した。実験結果から、影響力の強いランダムノイズや周期性ノイズが付加されてない限り、周期性ノイズの除去が可能であることが確認できた。今後の課題として、実際のモーターの周期性ノイズを用いて、適応フィルタによる推測を行い、比較を行う予定である。

## 文 献

- [1] S. Haykin, "Adaptive Filter Theory", Third Edition Prentice, Hall, 1996. P365-372
- [2] Mohammad Reza Asharif, and Ryota Higa, Rui Chen, "Smart Acoustic Room", Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, 日本音響学会秋季研究発表会講演論文, University of the Ryukyus, p601-602, 2004. September. p4-5

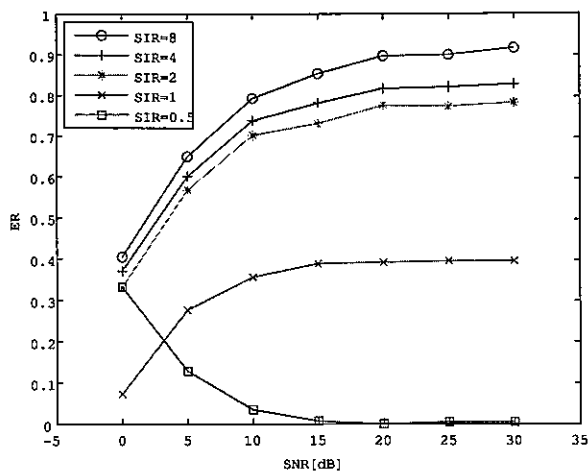


図 11 付加なしの出力結果とランダムノイズと周期ノイズの含んだ変調信号を適応フィルタを通過させた信号との比較

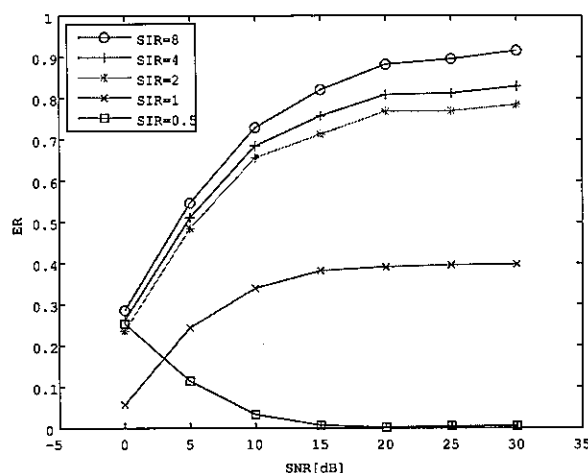


図 12 ランダムノイズを付加した出力結果とランダム・周期ノイズの含んだ変調信号を適応フィルタを通過させた信号との比較

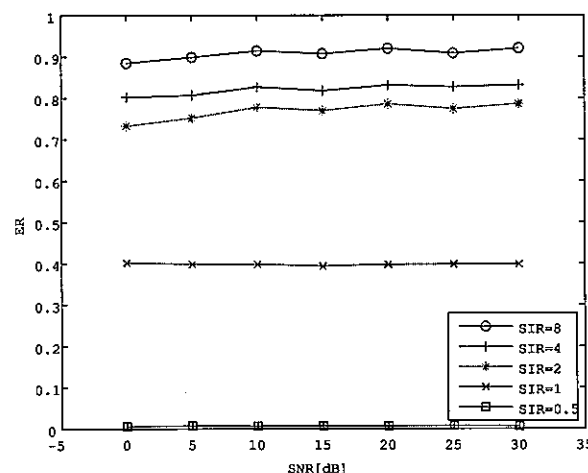


図 13 ランダムノイズのみを付加した出力結果とランダム・周期ノイズを付加した変調信号を適応フィルタに通した出力結果との比較

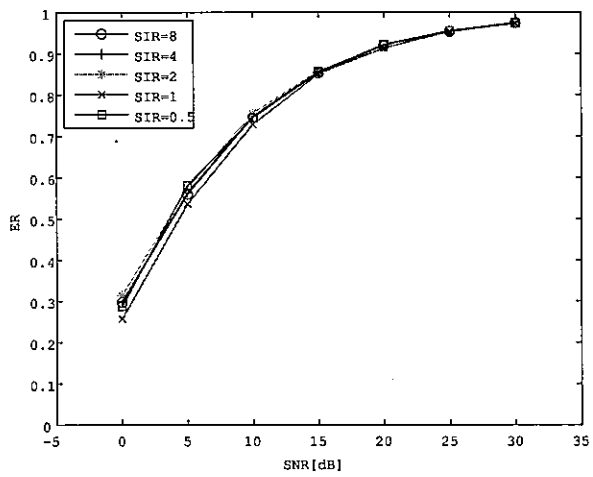


図 14 ランダムノイズを付加した変調信号を適応フィルタに通した出力結果とランダム・周期ノイズを付加した変調信号を適応フィルタに通した出力結果との比較