非線形歪を考慮した変調信号波形整形フィルタの研究

1. はじめに

りイヤレス通信では不要波の受信・送信を阻止し、 雑音の除去をするためにフィルタが用いられる.こ のため,送信側にある変調器と受信側にある復 調器にはローパスフィルタが配置されている. また, 送・受信全体としてのローパスフィルタでは符号間干 渉による波形ひずみを抑える波形整形機能も 求められる.したがって,送信側と受信側に配 置されるローパスフィルタには、所要伝送帯域を低減 できること、送・受信全体としてナイキストの第1 基準を満足する特性を持つことの両面が要求 される.従来、送・受信全体のフィルタ特性として Raised Cosine Filter の特性がよく用いられ、 送信側と受信側にフィルタ特性を均等に配分する ことによって最適伝送系を実現する[1,2].しか し,フィルタリングをした後に電力増幅器の非線形特 性によりスペクトルが広がり,フィルタリングの効果が低 減する.このように、増幅する際に、増幅器の 電力効率を高めるために、非線形領域での増幅 を行うとフィルタリング効果が低下する.一方, スペ クトルを狭めるために電力増幅器をバックオフして使 用すると電力効率が低下す問題点がある.

そこで本研究では電力増幅器の高効率動作 を目指して,非線形動作時に適した波形整形法 を明らかにすべく検討を行った.

2. Root Raised Cosine フィルタ(RRC)の構成と原理

Fig.1 は全体のフィルタ特性を $H(\omega)$ としたと

日大生産工	(院)	○高田	有也
日大生産工		田中	將義

きの符号間干渉をおさえる最適伝送系モデルを 示したものである. このような送・受信ローパス フィルタを Root Raised Cosine フィルタ(RRC)と呼ぶ. RRC フィルタはロールオフ係数αの値(0~1)によって 周波数応答, インパルス応答が変化する. インパルス 応答は次式で与えられる.

$$h(t) = \frac{1}{1 - 16\frac{\alpha^2 t^2}{T^2}} \left[\frac{\sin(1 - \alpha) \frac{\pi}{T}}{\frac{\pi}{T}} + \frac{4\alpha}{\pi} \cos\left((1 + \alpha) \frac{\pi}{T}\right) \right]$$
(1)

Fig.2 に示したようにαを大きくすると、 (ν パ M応答の振動が小さくなる.これは符号間干 渉の観点からは有利であるが所定の伝送速度 に必要な帯域幅が広くなる.

Fig.3 にディジタル処理で RRC フィルタを実現する 構成を示す.入力した信号を Delay によって一 つずつ遅延し, Gain によって重み付けをする. それを足し合わせ出力する. Gain での重み付 けにはインハ[°] ルス応答をサンプリングした値を使う.

(2)式は RRC フィルタのインパルス応答をサンプリング したものである.nはサンプル点,Nは(3)式であ らわされ(T s はシンボル周期, Tsam はサンプリング 周期)である.今回は N=4 とした. Fig.4 に n が 25 のときの Gain による重み付けの係数を 示す.



A Study on Modulated Wave Shaping Taking Account of Nonlinear Distortion Yuya TAKADA and Masayoshi TANAKA



Fig.1 符号間干渉を抑える RRC フィルタの伝送モデル



Fig.2 RRC フィルタのインパルス応答



Fig.3 RRC フィルタのディジタル化の構成



Fig.4 段数 n=25 のときの重み付けの係数

3. システムの構成

フィルタリングと非線形増幅を受けた変調波の伝送特性評価に用いたシステム構成を Fig.5~9 に示

す. Fig.8 を例にとると、 ランダムなディジタル信号 を入力し QPSK 変調を行った後にフィルタリングを 行い、非線形動作増幅器 (Cubic Polynomial) により増幅する. その後、雑音を加え、再度 フィルタリングを行い復調して出力する.



4. フィルタリングの特性評価

4.1 線形動作と非線形動作の比較

Fig.1 と **Fig.**2 は線形動作時, **Fig.**3 と **Fig.**4 は非線形動作時の伝送モデルである.線形時と 非線形時のシステムにおいてアイハ[®] ターンと **BER** 特性 の比較を行った.

4.2 フィルタリングの有無の比較

Fig.6 はフィルタがないときの, Fig. 8 は RRC フィルタを使用したときの伝送モデルである. フィルタ リングにより所要伝送帯域を低減できることや 符号間干渉による波形ひずみを抑える役割を 検討するためにBER特性, アイパターンムを比較 した.

4.3 非線形増幅後のフィルタリング

通常, Fig.8 の伝送システムが用いられるが, 欠 点としてフィルタによって所要の伝送帯域が狭め られるが非線形増幅により再びスペクトラムが広 がる.その様子をFig.10に示す. Fig.9では, 非線形増幅後にRRCフィルタによりスペクトラムの 整形を行う構成である.



Fig.10 フィルタリング後の非線形増幅によるスペクトラ ムの広がり

5. 検討結果

5.1 線形と非線形の比較

Fig.11 はそれぞれ線形のモデルと非線形のモ デルのフィルタリングを行った時のアイパターンである. フィルタリングにより, アイパターンが変化しているが, 標本点のアイの開きは確保されている. フィルタリン グなしの時の線形のモデルと非線形のモデルの BER 特性を示したものが Fig.12 である.

一方, 74 ルタリングを行った時の線形動作と非 線形動作時の特性を Fig.13 に示す. Fig.12 では特性に違いは見られないが Fig.13 では 非線形増幅により特性が劣化していることが 分かる.



Fig. 11 線形, 非線形のアイパ・ターン (フィルタリング あり)



 Fig.12
 線形,非線形の BER 特性の比較

 (フィルタリングなし)



Fig.13 線形, 非線形の BER 特性の比較 (フィルタリングあり)

5.2 フィルタリングの影響

フィルタリングの伝送特性に及ぼす影響を示した ものが, Fig.14 に示すBER特性である. フィ ルタを入れるとスペクトラムが狭くなる結果, BER 特性が劣化する.



Fig.14 フィルタの有無の BER 特性

5.3 非線形増幅後のフィルタリング

Fig.15 はモデル4とモデル5のアイパターンである. 差異は小さいと言える. Fig.16 はモデル4と モデル5のBER特性である. 非線形増幅後に フィルタリングを行った場合, フィルタリングを行った後 に非線形増幅した場合に比べて, BER特性 が僅かに良くなっている. モデル2とモデル5の アイパターンを Fig17 に, BER特性を Fig.18 に 示す. ほぼ同等の特性となった. すなわち, 非線形増幅後にフィルタリングを行っても伝送特性 の劣化は少ないことが分かる.



Fig.15 フィルタリングを行った後に非線形増幅 した場合と非線形増幅後にフィルタリングを行っ た場合のアイパターン



Fig.16 フィルタリングを行った後に非線形増幅 した場合と非線形増幅後にフィルタリングを行った 場合の **BER** 特性



Fig.17 非線形増幅した場合と非線形増幅 後にフィルタリングを行った場合のアイパターン



 Fig.18
 非線形増幅した場合と非線形増幅

 後にフィルタリングを行った場合のBER 特性

6. まとめ

本検討では、線形動作と非線形動作時の QPSK 伝送特性の比較,波形歪を抑え,帯域削 減を実現するフィルタリングの有無の違いによる伝 送特性を比較検討した.その結果、非線形増 幅後にフィルタリングを行うことで、スペクトルと電力 の両方を有効利用できる可能性のあることを 明らかにした.非線形増幅後のフィルタリングは、 送信電力の損失を伴うために、低損失でフィレタ リングを行う必要があり、今後は、この実現方 法を検討していく.

参考文献

- [1] 高畑文雄, ディジタル無線通信入門, 培風館
- [2] 谷萩隆嗣, 情報通信とディジタル信号処理, コロナ社