

空間合成法を用いた送信波帯域制限の検討

日大生産工（院） 高田 有也
日大生産工 田中 将義

1. はじめに

ワ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、送信側の変調後、および受信側の復調前に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FDM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(RCC)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している^[1,2]。

一方、電力増幅器(HPA)の効率を良くするためには増幅器の入出力特性が非線形領域での増幅が望ましいが、スペクトル幅が広がり、フィルタリング効果が低減する欠点がある。

そこで本研究では電力増幅器の高効率動作と同時に送信波形の帯域制限を実現する方法として空間合成法の検討を行った。

2. システム構成と原理

Fig.1 に従来使われている通信のシステム構成を示す。まず、デジタル信号を変調し、その後フィルタによって送信波形を整形し、線形動作増幅器によって増幅し、受信側のフィルタで再度フィ

ルタリングを行い復調して出力する。

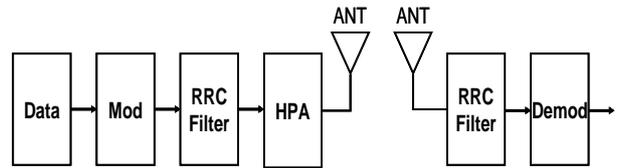


Fig.1 従来の通信システムの構成

フィルタにはデジタル処理化した RCC フィルタが用いられる。Fig.2 に RCC フィルタの構成を示す。入力信号を Delay によって 1 つずつ遅延し、Gain によりそれぞれ重み付けを行う。これらをすべて足し合わせて出力する。RCC 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。

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

デジタル処理では、重み付けにはインパルス応答をサンプルリングした値を用いる。(2)式は RCC フィルタのインパルス応答をサンプルリングしたものである。n はサンプル点、N は(3)式で与えられる (Ts はシンボル周期、Tsam はサンプル周期)今回は $\alpha=0.3$ 、N=4 とした。Fig.3 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 Band Limiting of Transmission Wave with Spatially Superposition

Yuya TAKADA and Masayoshi TANAKA

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

$$N = \frac{T_s}{T_{sam}} \quad (3)$$

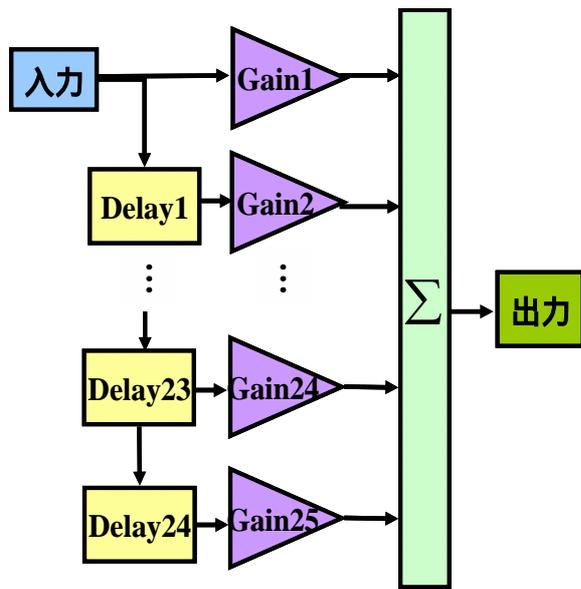


Fig.2 デレイ外信号処理による
RCCフィルタの構成

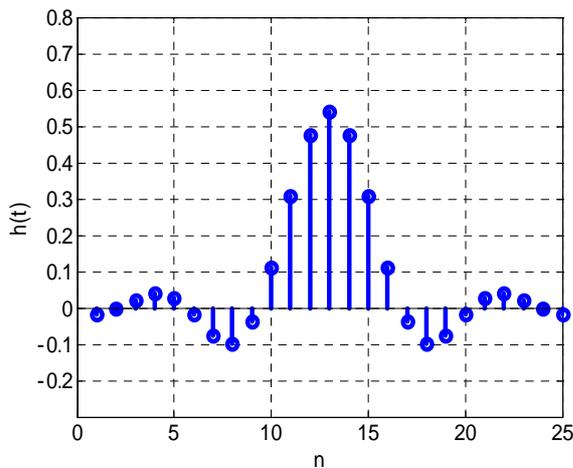


Fig.3 RRCフィルタのインパルス応答

3. 空間合成法の構成

Fig.4 に今回提案するシステム構成を示す。入力信号を Delay よって遅延し Gain で重み付けをすることまでは Fig.2 と同様であるが、中央の 5 つ、Gain11 から Gain15 までの出力を足し合わせて Amp1 に接続する。また、それ以外の 20 個の Gain を足し合わせ別の電力増幅器 Amp2 に接続し、2 つの電力増幅器で増幅しそれぞれにアンテナを接続し空間で電力合成する。

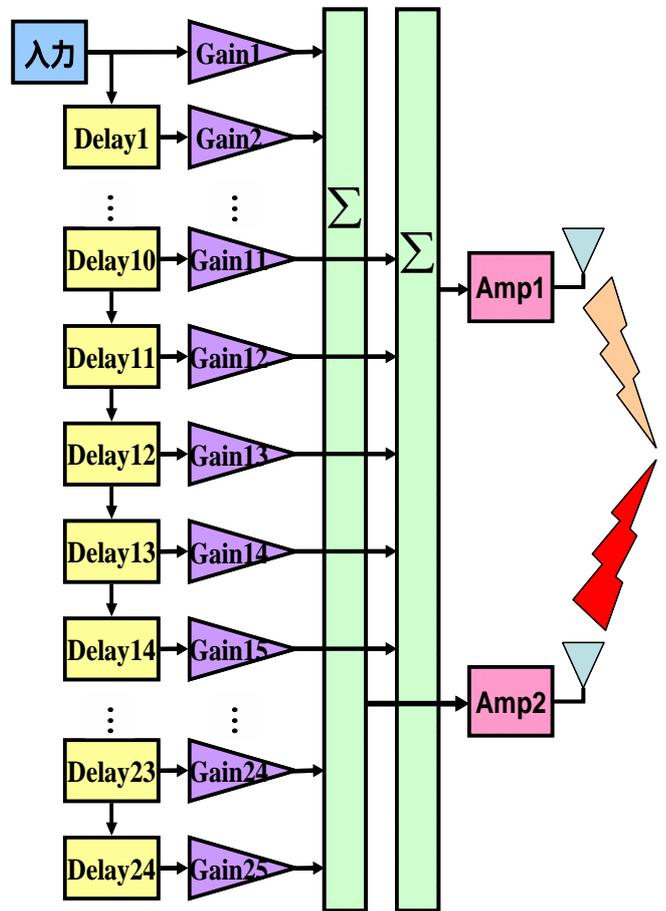


Fig.4 空間合成による
送信波帯域制限システムの構成

4. 特性評価

本研究では特性評価として Gain による重み付け後の PAPR(Peak to Average Power

Ratio)の測定 ,周波数特性 ,BER 特性の測定 ,さらに電力効率 と消費電力比の比較を行った .

4.1 PAPR の評価

PAPR は平均電力に対する最大電力の比であり $x(t)$ を信号波とした時 ,以下の式で与えられる .

$$PAPR = 10 \log \left[\frac{\max \left\{ |x(t)|^2 \right\}}{\text{mean} \left\{ |x(t)|^2 \right\}} \right] \quad [dB] \quad (4)$$

表1は従来方式である電力増幅器を1つ使用した場合と今回提案する空間合成のPAPRの比較である .電力増幅器を1つ使用した場合は平均電力と最大電力の差が大きいため約4.2[dB]と大きくなっている .一方 ,本方式の中心 5 つの増幅器をまとめている Amp1 の PAPR は ,平均電力と最大電力の差は小さく 2.1[dB]と増幅器 1 つ使用の場合と比べて 2[dB]以上小さくなっている .また ,その他の出力を足し合わせている Amp2 の PAPR は 6.4[dB]と大きい平均電力が小さい . よって本方式の電力の多くは Amp1 で増幅されることがわかる .

表1 PAPR の比較

	RMS	PAPR[dB]
従来方式	1	4.2
本方式 Amp1	0.97	2.1
本方式 Amp2	0.25	6.5

4.2 スペクトラムの比較

Fig.5 に周波数特性を示す .まず ,従来の方では線形増幅のスペクトラムはきれいにフィルタリングの効果が出ている .非線形領域で電力を増幅させたときのスペクトラムは非線形歪みの影

響を受けて広がってしまっているのがわかる .また ,今回提案した増幅器 2 つ使用し空間合成をしたスペクトラムは ,サイドローブを下げるために Amp2 には 20 個の Gain を足し合わせた後 ,別の重み(0.68)をしている .

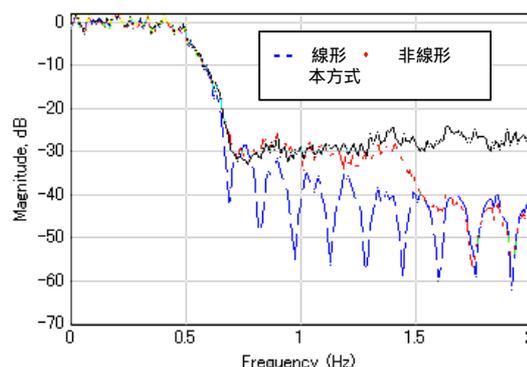


Fig.5 スペクトラムの比較

4.3 BER 特性の比較

Fig.6 は従来方式の線形増幅のときと非線形増幅のとき ,そして本方式のビット誤り率 (BER)特性を比較したものである .図より両者の差異は認められない .

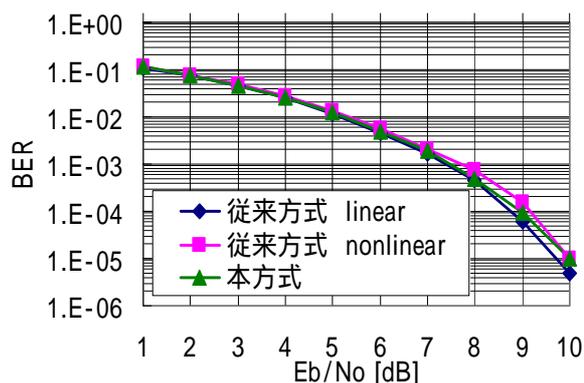


Fig.6 BER 特性の比較

4.4 消費電力の比較

電力増幅器 (HPA)の消費電力は以下の式で与えられる .

$$P_{dc} = \frac{P_{out}}{\eta} \quad (5)$$

は電力効率である。従来の方式と本方式では同一特性の電力増幅器を仮定した。例えば Fig.7 のような入出力特性，電力効率特性の電力増幅器を使用すると仮定して，Fig.5 のように従来方式と本方式の π 外 π のサイドローレベルを同じレベルにしたときの消費電力を比べてみる。表 2 は入力バックワ，電力効率，消費電力比である。電力効率は Fig.7 から求め，消費電力比は従来方式の消費電力を 1 としたときの比率である。

Fig.5 のように同じ π 外 π のとき，従来の方式では-8.9[dB]の入力バックワが必要となる。一方，本方式では-6.3[dB]でよい。そのため電力効率は従来では 17[%]，本方式では 25[%]と 8[%]の差が出る。消費電力は(5)式を利用して，従来の方式を 1 とすると本方式では 0.69 と従来の 7 割以下の低消費電力化となる。

また，従来方式の線形動作と比べてみたものが表 3 である。線形動作をするためには-15[dB]の入力バックワが必要であり，効率もわずか 5[%]である。消費電力を比べてみると従来の線形動作を 1 とすれば本方式では 0.2 と 2 割の低消費電力化が実現できる。

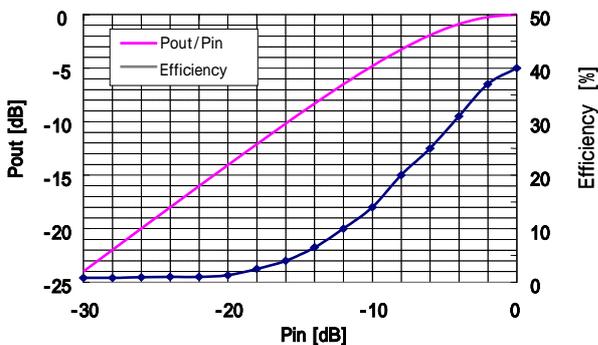


Fig.7 増幅器の入出力特性と電力効率

表 2 非線形動作時の消費電力比較

	入力BO [dB]	効率 [%]	消費電力比
非線形	-8.9	17	1
Amp1	-6.3	25	0.69

表 3 線形動作と非線形動作時の消費電力比較

	入力BO [dB]	効率 [%]	消費電力比
線形	-15.1	5	1
Amp1	-6.3	25	0.2

5. まとめ

本検討では電力増幅器を 2 つ使用しそれぞれ増幅した電波を空間で合成し波形の帯域制限する方法を提案した。その結果，2 つの増幅器の消費電力は少なく済み，非線形動作で π 外 π を同じにした場合，消費電力は従来方式の 7 割以下となること，線形動作と比べると 2 割の消費電力となることを明らかにした。また，BER 特性にも問題がないことを明らかにした。今後はさらなる π 外 π の改善と消費電力の低減をし，BER 特性に影響のない方法を検討していく。

参考文献

- [1] 高畑文雄，デジタル無線通信入門，培風館
- [2] 谷萩隆嗣，情報通信とデジタル信号処理，コト社
- [3] 高田，田中”非線形歪を考慮した変調信号波形整形フィルタの研究”，第 39 回日本大学生産工学部学術講演会，P13 2-4，2006