

# プレフィルタリングによるアンテナの群遅延歪み補償

趙 海燕<sup>†</sup> 藤元美俊<sup>†</sup> 堀 俊和<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 福井大学 大学院工学研究科 〒910-8507 福井市文京 3-9-1

E-mail: <sup>†</sup> chou@wireless.fuis.fukui-u.ac.jp

**あらまし** 高速無線通信で扱う信号は広帯域であるため、アンテナ利得の周波数特性および群遅延特性によって時間領域での信号波形に歪みが生じる。筆者らは、これまでに利得の周波数特性による波形歪みについて検討してきた。本報告では、アンテナから信号を送信する前に、アンテナの群遅延特性を考慮して入力信号を整形することで、群遅延特性による波形歪みを補償するシステムを提案する。計算機シミュレーションを通して、提案システムによるアンテナからの出力信号波形歪みの補償効果を示す。

**キーワード** 高速無線通信 群遅延歪み 位相特性 トランスバーサルフィルタ

## Compensation of Group Delay Distortion of Antenna by Pre-filtering

Haiyan ZHAO<sup>†</sup> Mitoshi FUJIMOTO<sup>†</sup> Toshikazu HORI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Engineering, University of Fukui, 3-9-1, Bunkyo, Fukui, 910-5807 Japan

E-mail: <sup>†</sup> chou@wireless.fuis.fukui-u.ac.jp

**Abstract** High speed wireless communication system attracts much attention in recent years. An antenna which has wideband characteristics is required for the system because very wide frequency band is utilized in the high speed communication system. However, it is difficult to obtain the antenna which has uniform characteristics in broad frequency band. Thus, the communication quality tends to become worse because of distortion of the gain characteristics in frequency and the group delay characteristics of the antenna.

To compensate the gain characteristics of the antenna, a pre-filtering has been proposed by the authors [1]. In this paper, the compensation method for the distortion due to the group delay is proposed, and the numerical results show that the proposed method composed of the transversal filter is effective.

**Keyword** High speed communication Group delay distortion Phase characteristics Transversal filter

# 1. まえがき

近年、無線通信システムにおける大容量化、高信頼化、高品質化に対する要求が顕著である。ウルトラワイドバンド(UWB:UltraWideBand)無線通信は時間幅の短いパルスを用いて通信を行い、3.1~10.6GHzの極めて広い周波数帯域を利用し、Gbit/sの速度で伝送することができる。そのため、UWBは大容量、高速通信を支える技術として注目されている。

UWB通信方式では広帯域な信号を取り扱うため、送受信に用いるアンテナにも、広帯域な周波数特性を持つことが求められる。しかし、広帯域特性を持つアンテナの実現は困難であり、アンテナの周波数特性および群遅延特性によって、入力信号がアンテナから放射される際に歪んで出力される現象が起こる。その結果、時間領域での信号波形に歪みが生じ、伝送品質の劣化を招くことになる。

筆者らはこれまでに、アンテナ利得の周波数特性による波形歪みの補償方法について報告している[1]。本報告では、アンテナの群遅延特性の補償方法について検討する。補償フィルタを組み込むことにより、あらかじめアンテナへの入力信号を整形することで、アンテナから放射される出力信号の歪みを減少させるシステム(以下、プレフィルタリングと呼ぶ。)を提案する。また、計算機シミュレーションを通して、提案システムの補償効果を示す。

## 2. プレフィルタリングによる群遅延歪み補償

### 2.1. アンテナの群遅延特性による波形歪み

UWB通信方式としては、1ns以下の非常に短いインパルス状のパルス信号列を送受信するインパルス無線(Impulse Radio)方式を考える。このパルスの時刻、位相等によって情報を伝送し、広帯域な通信を行う。その場合、アンテナの位相の周波数特性、すなわち群遅延特性が伝送品質に大きく影響する。

群遅延は式(1)に示すように位相特性を周波数で微分し、符号を反転して得られる量であり、位相特性の変化を表す。

$$\tau_g(\omega) = -\frac{d\theta(\omega)}{d\omega} \quad \omega: \text{角周波数} \quad \theta(\omega): \text{位相特性} \quad (1)$$

アンテナの位相特性が周波数に対して線形に変化する場合、群遅延特性は一定である。よって、時間領域では全ての周波数成分に対してある一定の遅延が発生するだけであり、信号波形に歪み

は生じない。しかし、アンテナの位相特性が非線形に変化する場合、周波数の成分によって伝送信号の遅延量が異なることから時間軸上での波形が歪むことになる[2]。

図1にアンテナの群遅延特性が非線形に変化する場合の、波形歪みの概念を示す。

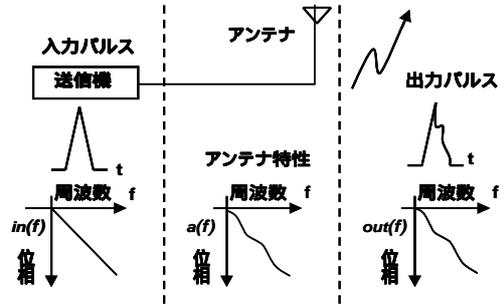


図1 アンテナ送信パルスの群遅延特性歪み

送信機出力パルスの位相を  $\theta_{in}(f)$ 、アンテナの位相特性を  $\theta_a(f)$  とする。この時、アンテナ送信パルスの位相特性  $\theta_{out}(f)$  は、式(2)で示されるようにアンテナの群遅延特性の影響を受け歪む。

$$\theta_{out}(f) = \theta_{in}(f) + \theta_a(f) \quad (2)$$

### 2.2. 歪み補償システムの提案

ここで、歪みを補償する方法として、アンテナの群遅延特性を考慮して、アンテナから信号を送信する前に、補償フィルタを組み込むことにより、アンテナから出力される信号の位相特性を補償する。図2にプレフィルタリングによる群遅延特性歪み補償システムを示す。

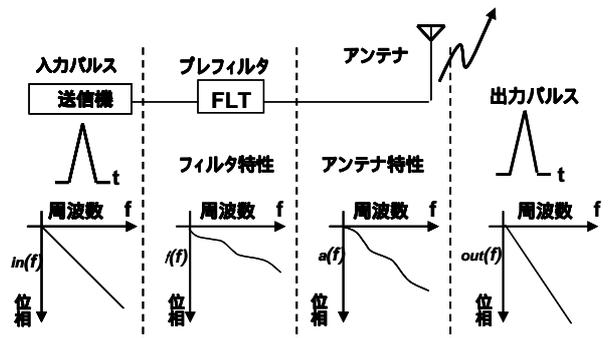


図2 プレフィルタリングを用いた群遅延歪み補償システム

フィルタの位相特性を  $\theta_f(f)$  とすると、フィルタを組み込んだ時のアンテナ送信パルスの位相特性  $\theta_{out}(f)$  は式(3)となる。

$$\theta_{out}(f) = \theta_{in}(f) + \theta_f(f) + \theta_a(f) \quad (3)$$

## 2.3 プレフィルタの設計法

フィルタの位相特性  $\theta_f(f)$  を単にアンテナの位相特性  $\theta_a(f)$  の逆特性とすると、式 (1) に示す群遅延時間が負になり実現することができない。

そこで実現可能な特性とするために、フィルタの位相特性  $\theta_f(f)$  を式 (4) より決定する。

$$\theta_f(f) + \theta_a(f) = \tau_c f \quad \tau_c: \text{定数} \quad (4)$$

すなわち、図 3 に示すようにフィルタの位相特性  $\theta_f(f)$  とアンテナの位相特性  $\theta_a(f)$  の合計が位相直線となるように  $\theta_f(f)$  を決定する。

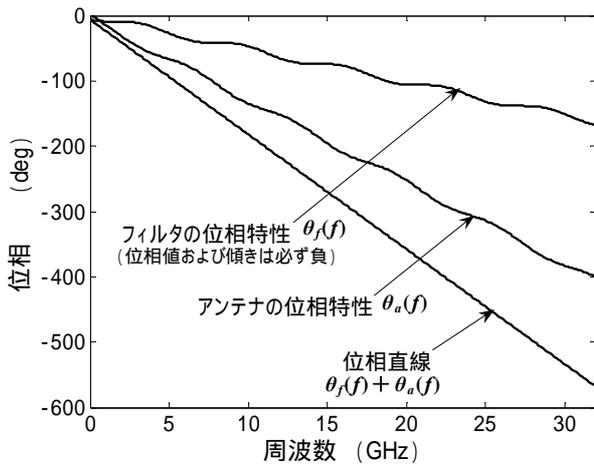


図 3 フィルタ位相特性の設計

ただし、

- 1) 群遅延が必ず正となるように位相の傾きを負にする。
- 2) 相遅延が必ず正となるように位相値を負にする。

という二つ条件を満足し、かつ直線の傾きが最小となるように  $\theta_f(f)$  を決定する。

フィルタを組み込む時のアンテナ送信パルスの位相特性  $\theta_{out}(f)$  は、(3)式および(4)式より、

$$\begin{aligned} \theta_{out}(f) &= \theta_{in}(f) + (\tau_c f - \theta_a(f)) + \theta_a(f) \\ &= \theta_{in}(f) + \tau_c(f) \end{aligned} \quad (5)$$

となり、プレフィルタリングを行うことにより、アンテナ送信パルスの位相特性を線形位相特性に補償できる。

## 3. シミュレーションモデル

### 3.1. フィルタの構成

プレフィルタの構成は、トランスバーサルフィルタとする。式 (6) に示すようにフィルタ位相特性を逆フーリエ変換したものをフィルタの重み係数  $w(t)$  とする。

$$w(t) = \mathcal{F}^{-1}\{\theta_f(f)\} \quad (6)$$

ここで、アンテナのインパルス応答を  $h_a(t)$  とするとアンテナから送信される出力パルス  $z_{out}(t)$  は、入力信号  $x(t)$  と  $w(t)$  の畳み込みに更に  $h_a(t)$  を畳み込んだ信号となり、次式で表される [1][3]。

$$z_{out}(t) = \sum_{m=0}^T \sum_{n=0}^T x(n)w_f(m-n)h_a(t-m) \quad (7)$$

### 3.2. 群遅延モデル

計算機シミュレーションで用いた群遅延特性モデルを式 (8) に示す。ここでは群遅延が正弦波状に変動するとした [2]。

$$\tau(f) = A \sin(2\pi f n / BW + \varphi) + T_a \quad 0 \leq f \leq BW \quad (8)$$

$f$ : 周波数

$BW$ : 帯域幅

$A$ : 群遅延変動幅

$n$ : 帯域内の群遅延変動回数

$T_a$ : 平均遅延時間

$\varphi$ : 初期位相

シミュレーションでは、アンテナの群遅延特性を既知として、平均遅延  $T_a$  は 1 ns, 初期位相  $\varphi$  は 0 から  $2\pi$  の範囲でランダムに変化するとした。帯域内の群遅延変動回数  $n$ , 群遅延変動幅  $A$  をパラメータとして変化させ、その特性を評価した。

### 3.3. フィルタの MSE 評価

プレフィルタは平均二乗誤差 (MSE: Mean Square Error) を用いて評価を行う。すなわち、アンテナから放射した出力パルスが入力パルスとどの程度が似ているかを評価指標とする。

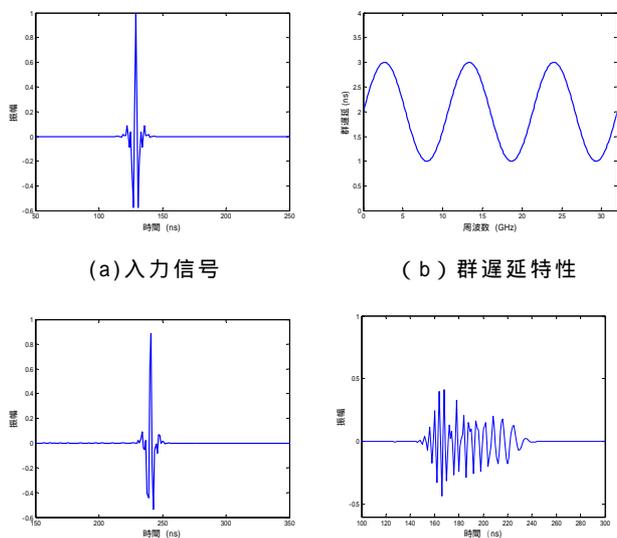
MSE が小さければ小さいほど、波形歪みが少なく、MSE=0 の場合送信機出力波形とアンテナ送信波形が同じであることを示す。

## 4. シミュレーションによる補償効果の検討

### 4.1. 補償効果の確認

図 4 にプレフィルタの有無による出力波形の違いを示す。群遅延特性を図 4 (b) に示すように群遅延変動幅  $A=1\text{ns}$ , 帯域内の群遅延変動回数  $n=3$  とした場合、フィルタがない場合の出力パルス波形図 4 (d) と入力パルス波形図 4 (a) を比べると、波形が崩れてしまい、大きく歪んでいることが分かる。フィルタがある場合の出力パルス波形 (図 4 (c)) は少々の波形歪みが見られるが、入力波形とほぼ同じであることが確認できる。また、

波形の評価に用いる MSE の値は、フィルタがない場合、 $MSE=0.021$  であり、フィルタがある場合、 $MSE=0.0031$  であった。明らかに改善されていることがわかる。



(a)入力信号

(b)群遅延特性

(c)フィルタあり出力信号

(d)フィルタなし出力信号

図 4 フィルタ有無による出力波形

#### 4.2 . 帯域内の群遅延変動回数の影響

帯域内の群遅延変動回数  $n$  を 0.5 から 25 まで変化させ、群遅延変動幅  $A$  を 0.5ns, 0.75ns, 1ns の 3 通りで変化させた時の MSE の変化を図 5 に示す。群遅延変動幅  $A$  は最大 1 ns, 平均遅延時間 1 ns とし、フィルタがある場合とフィルタがない場合について示している。

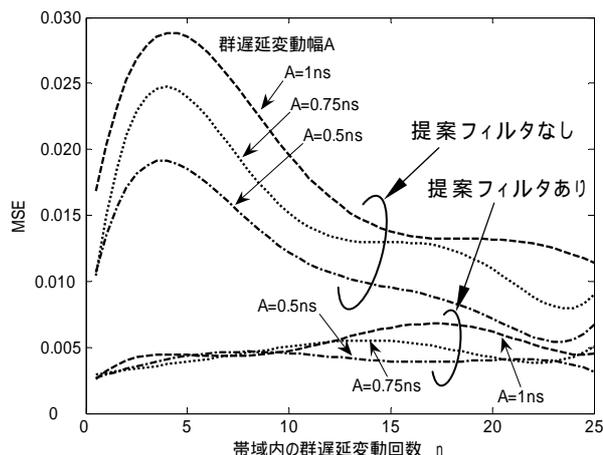


図 5 フィルタによる補償効果

図 5 より、フィルタがない場合、帯域内の群遅延変動回数  $n$  が大きくなるにつれて MSE の値が小さくなり、波形歪みが小さくなることがわかる。

ただし、 $n$  が 3~6 の範囲では MSE の値が大きく、波形歪みが大きい。これは群遅延のうち振動回数の小さい成分が波形歪みに大きな影響を与えるためである。

一方、提案するプレフィルタを用いると、群遅延振動回数が大きくなれば MSE が若干大きくなるが、それでもフィルタがない場合に比べると MSE を大きく低減できている。また、フィルタの補償効果は群遅延振動回数、及び群遅延変動幅にあまり依存しないことがわかる。

以上より、提案方式によりアンテナから放射される出力信号と本来の送信機からの出力信号との誤差を低減でき、群遅延歪み補償の効果が得られることがわかる。

#### 5 . むすび

本報告では、アンテナの群遅延特性を考慮し、アンテナから信号を送信する前に、プレフィルタを組み込むことにより、アンテナから出力される信号波形の歪みを補償するシステムを提案した。提案システムでは、フィルタの位相特性とアンテナの位相特性の合計が位相直線となり、かつ位相直線の傾きが最小となるように決定する。

計算機シミュレーションを通して、その補償効果を検討した。プレフィルタを挿入する場合と挿入しない場合について、出力波形歪みを比較した。その結果、提案フィルタにより、波形歪みを低減できることが確認できた。また、フィルタの補償効果は群遅延振動回数及び群遅延変動幅にあまり依存しないことがわかった。以上より、提案プレフィルタの有効性を確認できた。

#### 謝辞

本研究は財団法人国際コミュニケーション基金の研究助成を受け実施した。関係各位に感謝する。

また、本研究を進めるにあたりご協力頂いた白鳥裕介氏に感謝する。

#### 文 献

- [1] 白鳥, 藤元, 堀, “プレフィルタリングによるアンテナの周波数特性歪みの補償,” 信学技報, AP2004-338, Mar. 2005.
- [2] 竹丸, 藤井, 神谷, 鈴木, “アンテナの位相特性を考慮した UWB 通信方式の検討,” 信学技報, AP2003-229, Dec. 2003.
- [3] 谷口慶治, 信号処理の基礎, 共立出版, 2001.