

# 一种无芯 RFID 标签极点提取的研究\*

陈 民, 邹传云

(西南科技大学 信息工程学院, 四川 绵阳 621010)

**摘要:** 为了提高极点提取的精度, 提出了一种利用小波包变换的软阈值法去噪的改进算法, 同时, 利用矩阵束法提取极点。实验结果表明, 在信噪比为 6 dB 的条件下, 仍然可以精确地提取极点并重构瞬态信号, 为无芯 RFID 标签的研究提供了重要参考。

**关键词:** 小波包分析; 矩阵束法; 极点

中图分类号: TN911.7

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)19-0051-03

## Study on extracting the poles of chipless RFID tag

Chen Min, Zou Chuanyun

(School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

**Abstract:** In order to raise the accuracy of the poles extraction, an improved algorithm based on the soft threshold denoising method of wavelet packet transform is proposed in this paper. In addition, the poles are acquired with the help of matrix pencil method. The experimental results show that poles still can be accurately extracted, and transient signal is reconstructed available in 6 dB of SNR conditions. It can supply important reference value for chipless RFID tag.

**Key words:** wavelet packet analysis; matrix pencil method; pole

无芯 RFID 标签指的是一种不含有硅芯片的射频卡, 与现有的有芯片 RFID 标签相比, 无芯标签更有可能降低其成本, 主要潜在优势在于花费 0.1 美分即可将其直接印在产品上, 有利于其占领市场份额。依据目标结构的自然谐振特性, 将它对超宽带电磁脉冲的散射场通过奇点展开法映射成极点和留数, 探讨无芯标签结构和极点与留数的关系, 已经成为无芯 RFID 技术的研究热点<sup>[1]</sup>。

奇点展开法 SEM(Singularity Expansion Method)<sup>[2]</sup>指出目标的后时瞬态响应可由一系列衰减的复指数信号之和来逼近, 启发人们运用极点的概念来表征目标的特征。极点作为目标的固有属性, 只与目标本身结构有关, 与外界因素无关, 改变其结构即可操作极点的大小和数目。对于 RFID 标签类的有限尺寸散射体, 极点提供了嵌入在标签中的对象数据, 该数据可由对散射场进行分析获取, 最终实现对目标的识别。

长期以来, 人们对极点提取的研究从未间断, 相继提出了 Prony 法、KT 法、矩阵预测法、矩阵束法 MPM

(Matrix Pencil Method)<sup>[3]</sup>等, 其中以矩阵束法的应用最为广泛。为了进一步改善低信噪比条件下 MPM 方法极点提取的精度, 本文对现有的矩阵束法进行了改进。首先, 利用快速小波包变换对含有噪声的瞬态响应数据进行处理; 然后, 将得到的数据用矩阵束法提取极点, 对现有的矩阵束算法进行了改进; 最后, 通过仿真分析及波形的重构, 验证改进算法的有效性。

### 1 改进的算法

近年来, 由于小波理论不断发展, 在实际工程问题中, 小波的应用也越来越广泛。小波包分析是小波变换的推广, 它对小波变换没有细分的高频部分进行进一步分解, 具有更为精确的局部分析能力, 从而提高了时频分辨率。将小波包分析应用于图像以及瞬态信号去噪处理是当前的研究热门。下面从数字滤波器的角度出发, 阐述小波包变换的概念。

#### 1.1 小波包变换的原理

小波包分析是从小波分析延伸出来的一种对信号进行更加细致的分析和重构的方法。在高分辨率分析中, 按照不同的尺度因子  $j$  把 Hilbert 空间  $L^2(R)$  分解为

《微型机与应用》2011 年第 30 卷第 19 期

\* 基金项目: 国家自然科学基金(61075030)

## 网络与通信 Network and Communication

所有子空间  $W_j(j \in Z)$  的正交和。其中  $W_j$  为小波函数  $\varphi(t)$  的闭包(小波子空间),小波包变换弥补了小波变换不能分解  $W_j$  的缺陷,现在按照二进制分式进行频率的细分。把尺度子空间  $V_j$  和小波子空间  $W_j$  用一个新的子空间  $U_j$  来统一表征。若令  $U_j^0=V_j, U_j^0=W_j$ ,则 Hilbert 空间的正交分解  $V_{j+1}=V_j+W_j$  可用  $U_j^n$  分解统一为:  $U_{j+1}^0=U_j^0+U_j^0$ 。

定义子空间  $U_j^n$  是函数  $U_n(t)$  的闭包空间,而  $U_j^{2n}$  是函数  $U_{2n}(t)$  的闭包空间,并令  $U_n(t)$  满足式(1)和式(2):

$$U_{2n}(t) = \sqrt{2} \sum_k L(k) U_n(2t-k) \quad (1)$$

$$U_{2n+1}(t) = \sqrt{2} \sum_k H(k) U_n(2t-k) \quad (2)$$

当  $n=0$  时,  $U_0(t)$  和  $U_1(t)$  分别对应多分辨率分析中的尺度函数和小波基函数。下面给出小波包变换的分解重构方法:

$$d_k^{2n,j-1} = \sum_{i \in Z} d_i^{n,j} L_{i-2k} \quad (3)$$

$$d_k^{2n+1,j-1} = \sum_{i \in Z} d_i^{n,j} H_{i-2k} \quad (4)$$

$$d_k^{n,j-1} = \sum_{i \in Z} d_i^{2n,j} L_{k-2i} + \sum_{i \in Z} d_i^{2n+1,j} H_{k-2i} \quad (5)$$

对于小波包变换以及去噪原理,参考文献[4-5]有详细的阐述。快速小波包变换是著名的 Mallat 算法的延伸和推广,可以减少计算量,提高计算精度。对信号分解时,小波包不但对高频细节进行分解,而且也对低频逼近也进行分解,因此,小波包分解的树形结构图是完整的。同样,信号的重构的树形结构图也是对应的。当然,在工程应用中,完整的小波包分解是不必要的,依照具体情况分解和重构。这样,小波包分析在应用中就有很大的灵活性。

### 1.2 算法的描述

在小波包分析领域,随着分辨率尺度  $j$  的增加,噪声系数的幅值快速衰减,而真实信号的特征越来越明显,系数基本不变,而噪声相对越弱。根据这一特征,可先将信号进行小波包分解,再设计一个门限阈值,将低于该门限的小波包系数进行相关处理,然后将处理后的小波包系数重构回原始数据,从而使信号中的随机噪声得到有效抑制。

本文针对瞬态信号的提取,首先利用小波包分析对瞬态信号去噪处理,然后将得到的数据构造汉克尔矩阵,运用矩阵束法提取极点。为了进一步提高极点的有效性和精确度,本文采取对小波包去噪后的数据进行 5 次重复极点提取,将 5 次结果的平均值作为最终极点。图 1 即为极点提取的改进算法流程图。

在小波包去噪方法的研究中,本文将采取软门限法,其关键在于估计阈值和最优小波基的选取。根据本文研究的对象是瞬态信号,本文以 Birge-massart 准则作为阈值估计准则,采用软阈值法进行量化处理,选取

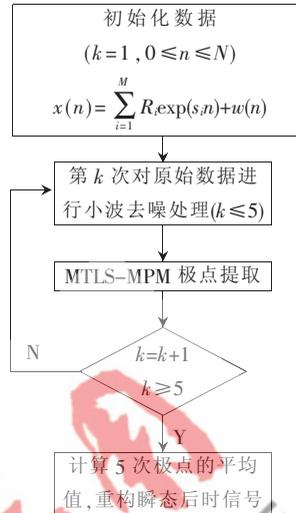


图 1 改进算法流程图

db4 为最优小波基。

### 2 改进算法的仿真与分析

为了验证新算法的优越性,以参考文献[6]中细直导体为对象,对其进行极点提取仿真实验。由于极点和留数一般都是以共轭形式存在的,因此取参考文献[6]中前 6 个极点为理论值,如表 1 所示。表 1 中的极点都是归一化数据  $sL/c$  ( $L$  为导体长度 1 m,  $c$  代表光速),然后在计算机中模拟信噪比为 6 dB 的目标回波的后时瞬态响应,如图 2 所示。其中,假设噪声为高斯白噪声。在算法仿真中,信号时域采样间隔为  $\Delta t = 10^{-13}$  s,时域信号长度为  $5 \times 10^{-11}$  s,故采样点为 500。

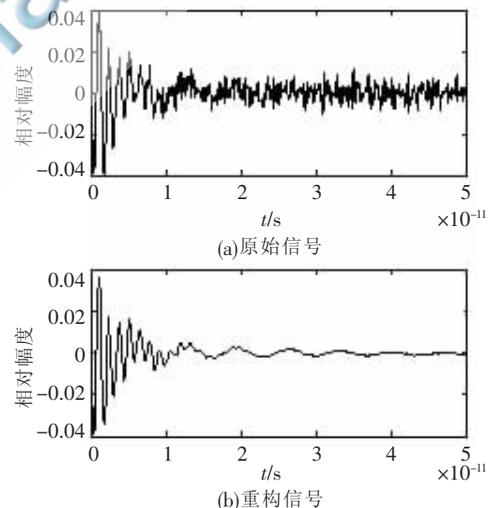


图 2 原始信号和重构信号

为了更加直观地体现改进算法的先进性,本文同时将 MTLs-MPM 法<sup>[3]</sup>对同一目标进行极点提取。表 1 清晰地列出了两算法得到的极点数据。

从表 1 可知,改进算法的极点估计值比 MTLs-MPM 法的极点估计值更接近理论值。经过相关计算,前者的极点相对于理论值均方误差为 0.081 3,后者为 0.161 0。而图 2 中的原始信号和重构信号则更直观地展现了改进

表 1 极点估计值与理论值比较

理论值	MTLS-MPM	改进的算法
-0.114 2+2.685 7i	-0.112 1+2.672 1i	-0.113 9+2.675 3i
-0.212 3+2.864 5i	-0.192 3+2.737 8i	-0.202 3+2.821 3i
-0.321 5+3.609 6i	-0.298 7+3.587 6i	-0.301 2+3.597 8i
-0.405 9+7.923 0i	-0.392 1+7.872 9i	-0.397 8+7.901 3i
-0.588 2+14.859 5i	-0.579 9+14.786 1i	-0.585 1+14.800 1i
-0.635 6+16.407 6i	-0.620 9+16.386 7i	-0.621 9+16.391 4i

算法提取极点的精度。

在本算法验证的过程中,目标回波后瞬态信号是由已知的理论极点值模拟仿真得到,因此故极点数目是确定的。然而,在实际的应用中,极点的数目是无法预先知道的,只可能事先根据经验推测得到。如果极点数目取值过大或取值过小都会引起误差。另外,实际信号中的噪声是未知的,所以本文提出的算法要想实际应用,还需解决这些问题。

因此,结构不同的无芯 RFID 标签所对应的极点和留数也是异样的,这相当于有芯 RFID 标签的唯一标识符,具有异同性。如果将有用数据嵌入其中,使调制的散射回波具有规律性,从而得到预期的散射场,利用本文极点提取的算法,可获得准确的极点,最终读写器成功识别标签。现在的关键点是研究轻量级高效的极点提取算法和无芯标签结构的设计。这含有巨大潜在的商机,值得进一步研究。

本文提出了基于小波包变换理论和矩阵束法理论的目标极点提取算法,该算法的有效性在计算机仿真结果中得到验证。虽然小波包分析可以有效地去噪,运用现有的极点数目判别准则确定 M 有一定的帮助,但在实际应用过程中,极点数目确定环节还有待于进一步改进,这也是接下来的研究重点。从重构信号波形图、极点估计值与理论值的趋近度比较角度看,该算法均优于传

统的 TLS-MPM 算法。另外,在信噪比为 6 dB 的情况下,本文提出的算法依然能精确地估计出信号的极点值并进行波形重构,并对随机高斯噪声具有很好的抑制作用,这对于无芯 RFID 技术的研究有一定的参考价值。

参考文献

- [1] BALBIN I, KARMAKAR C N. Phase-encoded chipless RFID transponder for large-scale low-cost applications[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2009,19(8):509-511.
- [2] MUKHERJEE S. Chipless radio frequency identification by remote measurement of complex impedance [C]. European Microwave Conference Munich, 2007,1007-1010.
- [3] 伍光新. 谐振区雷达目标特征提取与目标识别研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008:47-50.
- [4] 唐晓初. 小波分析及其应用[M]. 重庆:重庆大学出版社,2006.
- [5] Chen Xiaojing, Wu Di. An effective signal algorithm combining optimal wavelet packet basic and translation-invariant algorithm[J]. IEEE Congress on Image and Signal Processing, 2008,4(13): 275-279.
- [6] MOONEY J E, RIGGS L S. Robust target identification in white Gaussian noise for ultra wide-band radar systems[C]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1998, 46(12):1823-1827.

(收稿日期:2011-05-09)

作者简介:

陈民,男,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:RFID 标签与天线。

邹传云,男,1960年生,博士生导师,主要研究方向:超宽带通信,光通信,射频识别。