

小波函数在识别 PCB 串扰信号频率中的应用

丁爱萍¹, 金建刚², 孙士保³

(1 黄河水利职业技术学院 信息工程系, 河南 开封 475000; 2 华北水利水电学院 信息工程学院, 河南 郑州 450011;
3 河南科技大学 电子信息工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘 要: 提出了一种新的 PCB 串扰信号频率识别方法, 以帮助 PCB 设计工程师根据串扰信号的频率特征查找串扰信号来源. 原理是应用小波函数的奇异性识别能力从被干扰信号来识别串扰信号的上升或下降沿, 从而根据它们直接确定串扰信号的频率. 仿真结果表明, 此方法确定的串扰信号频率与实际结果是一致的.

关键词: 串扰; PCB; 小波函数; 应用

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)07-0146-03

Applications of Wavelet Functions in Recognising PCB Crosstalk Signal Frequency

DING Ai-ping¹, JIN Jian-gang², SUN Shi-bao³

(1 Department of Information Engineering, Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng 475000, China;

2 Department of Information Engineering, North China University of
Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450011, China;

3 Electronic Information Engineering College, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: For the sake of assisting PCB designer to find the source of crosstalk signal according to the frequency characteristics of crosstalk signal, a new method of recognizing PCB crosstalk signal frequency is put forward. It's principium is applying singular recognizability of wavelet function to recognize rising edge (or falling edge) of crosstalk signal from interfered signal, then confirming frequency of crosstalk signal directly according to rising edge (or falling edge) of crosstalk signal. The results of simulator show that the crosstalk signal frequency obtained from this method is consistent to practical frequency.

Key words: crosstalk; PCB; wavelet functions; applications

1 引言

随着数字电路的工作频率日趋提高, 印刷电路板(PCB)的串扰问题日益成为数字电路设计工程师面临的巨大挑战. 由此开展的许多研究致力于仿真不同布线之间的串扰现象, 以求识别串扰源或至少将串扰信号在正式布线前减少到可以接受的水平^[1-2]. 然而, 这种仿真方法是基于在一定的物理范围内对干扰强度进行预设并仿真所有落入该范围内的布线, 如果某一干扰源处于仿真范围之外但仍

然具有足够的干扰强度(这并非罕见), 现有的仿真方法就无能为力了.

串扰信号频率在串扰现象中表演了重要的角色, 根据串扰信号的频率 PCB 设计工程师有可能推断出串扰干扰源. 文中提出一种基于小波函数的串扰信号频率分析方法. 它的优点是可以直接分析被干扰的信号奇异性从而推断出串扰信号的频率; 另外, 它仅仅对被干扰的信号进行分析, 没有几何尺寸的约束.

收稿日期: 2009-06-29; 修回日期: 2009-09-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(60474022); 河南省重点科技攻关项目(082102210076)

2 干扰信号的仿真

用 PROTEL 软件来仿真和产生串扰信号. 用 PROTEL 自带的例子模块, “4 Port Serial Interface. ddb”, 作为被测试设备 (EUT, the Equipment Under Test). 模块的节点, TXA 和 TXB, 其参数如表 1 所示, 是一对相互耦合的平行线, 线宽 0.254mm, 线距 0.5mm, 耦合长度 43.183mm, 采用默认的 PCB 设置, 如表 2 所示的脉冲信号驱动. 将 PROTEL 的信号完整性仿真器 (Signal Integrity simulator) “选项”

中的 LIMPS 参数设为 10000, 其他保持默认值. 进行仿真, 图 1 所示的 10MHz 干扰信号从节点 U1.17 沿着 TXA 线传播, 耦合到从节点 U1.19 沿着 TXB 线传播的 1MHz 信号上, 形成了如图 2 所示的 TXB 线 U2.13 节点畸变了的波形.

表 1 TXA 和 TXB 节点参数

Net name	Length	Average Imp. /Ω	Including Pin
TXA	110.6	297.5	U1.17 (out), U2.2
TXB	124.0	297.23	U1.19 (out), U2.12, U2.13

表 2 节点 RTSA 和 TXA 上的驱动脉冲

Net name	Node name	Signal property	Pulse frequency	Pulse start time	Pulse stop time	Pulse time step	Simulation time
TXA	U1.17	Aggressor	10MHz	10ns	60ns	200/s	4 μs
TXB	U1.19	Victim	1MHz	100ns	600ns	200/s	4 μs

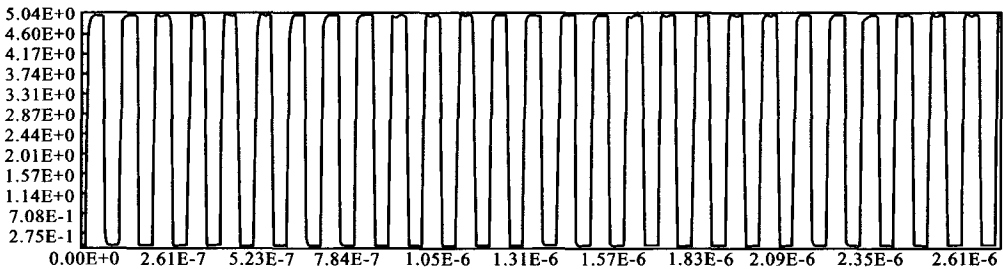


图 1 10MHz 串扰信号

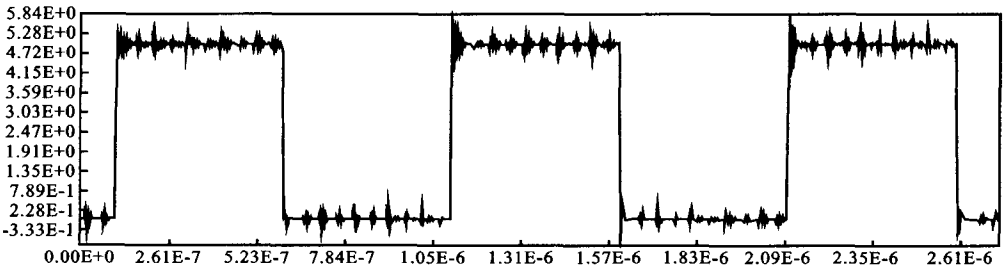


图 2 1MHz 的被串扰信号干扰后的原始信号

3 串扰信号奇异性识别及其频率评估

如图 2 所示, 串扰消耗在被干扰的信号上引起系列毛刺. 这些毛刺严格与串扰信号的上升和下降沿对齐. 考虑到在串扰问题中, 大多数串扰信号源是脉冲信号, 其快速的上升和下降沿通过耦合在被干扰的信号上产生毛刺, 串扰信号源的频率分析识别问题可以简化为串扰信号的上升和下降沿判别. 这意味着如果能够知道串扰信号引起的毛刺的时间位置, 也就知道了串扰信号脉冲的上升和下降的时间. 通过计算两个相邻的上升或者下降沿的时间间隔, 获得了串扰信号的频率, 进而可以推定串扰信号源.

除了串扰信号以外, 还有其他因素诸如电路噪声和信号本身反射也可在被干扰信号上产生毛刺.

这些毛刺与串扰引起的毛刺混淆, 在串扰信号频率分析时应该予以排除.

从数学的观点来看, 信号上的毛刺是信号的奇异点是能够被数学手段来识别的. 例如, Yin^[3]用单边移动平均法来发现函数的突变点位置; Müller^[4]用 Boundary Kernels 方法评估函数的突变位置及其突变的大小. 而小波分析是另一种研究被污染的信号上的诸如非连续点和毛刺等突变的理想工具. 通过观察小波变换系数可以观察信号奇异点的位置和幅度. 而离散小波变换的最大模数直接与表征信号奇异性的 Lipschitz regularity 关联^[5].

所谓小波是一种函数 $\Psi \in L^2(R)$, 它的平均值

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) dt = 0$$

且被归一化为 $\|\Psi\| = 1$ 及被居中于 $t = 0$. Ψ 被 s 沿 Y 轴方向及被 u 沿 X 方向变换, 得到一系列时间分度的时基函数:

$$\Psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-u}{s}\right)$$

这些时基依然满足条件 $\|\Psi_{u,s}\| = 1$.

函数在空间 $f \in L^2(R)$ 对时间变量 u 和刻度变量 s 的小波变换是

$$\begin{aligned} W_f(u, s) &= \langle f, \Psi_{u,s} \rangle \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-u}{s}\right) dt \end{aligned} \quad (1)$$

在式(1)中令 $s = s_0^j$ 和 $u = ks_0^j u_0$, 则离散小波变换是

$$\begin{aligned} W_f(j, k) &= \langle f, \Psi_{j,k} \rangle \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi_{j,k}(t) dt \end{aligned} \quad (2)$$

其中

$$\begin{aligned} \Psi_{j,k}(t) &= \frac{1}{\sqrt{s_0^j}} \Psi\left(\frac{t - ks_0^j u_0}{s_0^j}\right) \\ &= s_0^{-j/2} \Psi(s_0^{-j} t - ku_0) \end{aligned}$$

小波变换的一个重要特性就是其识别信号的奇异性能力. 由于信号和噪声在小波空间有着不同的奇异性, 当小波的刻度变化, 两者的小波变换系数都随之变化, 但变化方向相反^[6]. 通常使用以下定义的 Lipschitz 指数 α 来衡量信号的奇异性:

一个函数 $f(x)$ 在区间 (a, b) 具有 Lipschitz α 的条件是, 存在一个常数 $K > 0$, 对于 $-1 \leq \alpha \leq 1$, 使得

$$|W_f(2^j, x)| \leq k \cdot (2^j)^\alpha \quad (3)$$

上述方程可被写成

$$|W_{2^j} f(x)| \leq k \cdot (2^j)^\alpha \quad (4)$$

进而被写成

$$\log_2 |W_{2^j} f(x)| \leq \log_2 k + \alpha j \quad (5)$$

其中 W_f 是小波变换系数, j 是小波变换的刻度. 根据式(5), 对于连续方程, Lipschitz 指数 α ($0 \leq \alpha \leq 1$) 为正值, 所以当 j 增加, 小波系数随着增加. 对于

噪声, Lipschitz 指数 α ($-1 \leq \alpha \leq 0$) 为负数, 当 j 增加, 小波系数随着减少.

上述小波变换的奇异性识别能力在文中被用于串扰信号的频率识别, 其算法如下:

① 进行 J 刻度的离散小波变换, 如式(2)所示.

② 根据式(5), 将那些随着 j 增加而减少的小波系数置零.

③ 将对应 k 点时刻的小波系数相加, 从而获得一条新的包含系列毛刺的小波系数曲线 $F(k)$:

$$F(k) = \sum_{j=1}^{j=J} W_f(j, k) \quad (6)$$

④ 计算 $F(k)$ 中毛刺的时间间隔. 由于串扰脉冲的上升和下降沿都会在被干扰信号上引起毛刺, 在周期性地连续分布的三个毛刺最大值中的第一和第三毛刺的间隔, 是真正的串扰信号的时间周期.

⑤ 串扰信号的时间周期的倒数, 就是扰信号的频率.

4 仿真结果

在研究实例中, 将上述方法用于以 Protel 仿真产生的串扰信号. 如第 2 节所述, 图 1 所示 10MHz 串扰信号从节点 U1.17 沿着 TXA 线传播, 偶合到从节点 U1.19 沿着 TXB 线传播的 1MHz 信号上, 形成了如图 2 所示的 TXB 线 U2.13 节点畸变了的波形. 在该畸变了的波形以 J 刻度做离散的小波变换, 并且将所有伴随着 j 增加而变小的小波变换噪声系数置零, 然后将剩余的系数沿 Y 方向求和, 得到如式(3)所示的系数曲线 $F(k)$.

从图 3 可以看出, 噪声干扰被有效消除. 也可以看出, 被干扰的信号本身上升和下降以及其反射也造成了毛刺, 尤其是其自身反射与信号的上升或下降沿相加, 加大了这一时刻的幅度, 但并不影响串扰信号在被干扰信号上的毛刺位置. 根据图 3 计算串扰信号的时间周期, 得出串扰信号的频率为 10.050251MHz, 与真实的干扰频率 10MHz 较好地相符.

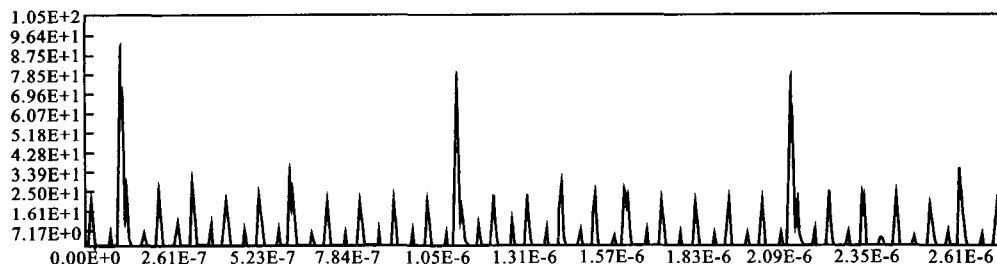


图 3 小波奇异性识别揭示了串扰脉冲的上升和下降沿

(下转第 152 页)

换,然后提取瞬时特征的过程,包括信号产生、AD 采样、HT(希尔伯特)变换,和瞬时参数提取^[1]四个部分,其中 HT 变换用 31 抽头的折叠 FIR 滤波器实现。

验证希尔伯特滤波器的功能,信号产生采用 QPSK 调制,瞬时参数的提取采用用户自定义函数模块实现,数据来源于经过自己设计的 31 抽头希尔伯特变换器得到的解析信号,其仿真结果如图 9 所示。波形自上到下依次为:基带信号、瞬时频率、瞬时相位、瞬时幅度。由仿真波形可以看出,利用文中设计的希尔伯特变换器能够为瞬时参数提取提供有效的解析信号,能够将 QPSK 的瞬时跳变信息及时的捕捉,为后面的信号调制识别做好了参数提取的准备。

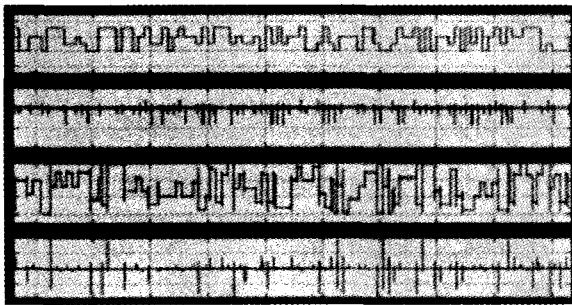


图 9 SIMULINK 瞬时参数仿真波形

7 结束语

文中提出了基于实时信号调制识别的前端信号

处理的希尔伯特滤波器方案,利用希尔伯特系数的对称性特点优化了硬件架构,提升了信号处理的速度,并且在优化性能和功能实现上都给出了仿真结果。仿真结果表明,经过优化后的希尔伯特滤波器能够用于实时信号调制识别的硬件系统之中。

参考文献:

- [1] Asoke K Nandi, Azzouz E E. Algorithms for automatic modulation recognition of communication signals[J]. IEEE Transaction on communication, 1998,46(4):431-436.
- [2] 刘军.一种高速 FIR 滤波器的设计及实现[J].微电子学与计算机,2004,21(7):1-2.
- [3] 袁菁,高勇. FIR 滤波器的高速实现[J]. 数据采集与处理, 2006,21(1):1-3.
- [4] Richard G Lyons. 数字信号处理[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社,2006.
- [5] Uwe Meyer-Baese. 数字信号处理的 FPGA 实现[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社,2006.

作者简介:

赵晓迪 男,(1984-),硕士研究生.研究方向为通信信号识别及系统集成。

冯全源 男,教授,博士生导师.研究方向为智能天线和自适应信息处理。

(上接第 148 页)

5 结束语

文中提出一种基于小波变换的串扰信号频率识别方法,以协助 PCB 设计工程师根据干扰频率寻找干扰源。并且通过对一组 PCB 仿真的串扰结果的应用演示了这种方法。借助于小波变换的卓越的可以区别有用信号和噪声的信号奇异性识别能力,从被畸变了信号上成功截取了串扰信号的频率信息,其结果与实际接近。这种方法的优点是仅需对被干扰的信号分析,没有几何尺寸上的限制。

参考文献:

- [1] Parker B H. Cross-talk in the interconnection bus for a high-speed digital circuits logic circuit[J]. Int. J. Electronics, 2005(76):265-269.
- [2] 李伟,刘辛酉. PCB 设计管理系统的项目分配设计[J]. 微电子学与计算机,2008,25(5):222-224.

- [3] Yin Y Q. Detection of the number, locations and magnitudes of jumps[J]. Comm. Statistics. Stochastic Models, 2008(4):445-455.
- [4] Müller H G. Change-points in nonparametric regression analysis[J]. The Annals of Statistics, 2006, 20(2):737-761.
- [5] Charles K Chui. An introduction to wavelets[M]. USA: Academic Press, Inc, 2006.
- [6] Jiaxiang Xie, Xiaoying Zhang, Shisheng Huang. Forcing process electronic signal wavelet de-noise[J]. Transactions of The China Welding Institution, 2007,21(2):193-202.

作者简介:

丁爱萍 女,(1966-),硕士,副教授.研究方向为通信技术。

金建刚 男,(1970-),硕士,讲师.研究方向为移动通信技术。

孙士保 男,(1970-),博士后,副教授.研究方向为知识发现与知识工程。