

# 浅谈自适应滤波器的 FPGA 实现

何锐

(湖南文理学院物电系, 湖南 常德 415000)

**摘要:** 自适应滤波器作为智能天线技术中的核心部分。它的性能就显得非常重要, 随着现场可编程门阵列 (FPGA) 的出现将电路板级产品集成为芯片级产品, 提高了可靠性, 并能对自适应滤波器设计进行在线修改。本文简单介绍了自适应滤波器和 FPGA 设计方法, 分析了基于 FPGA 的自适应滤波器的设计。

**关键词:** 自适应滤波器; 智能天线; FPGA; 在线

## 1 自适应滤波器概述

1.1 自适应滤波。自适应滤波是在部分信号特征未知的条件下, 根据某种最佳准则, 从已知的部分信号特征决定的初始条件出发, 按某种自适应算法进行递推, 在完成一定次数的递推之后, 以统计逼近的方式收敛于最佳解。

1.2 自适应滤波器结构。自适应滤波器结构与它的算法有着紧密的联系, 这是因为自适应滤波器不但要估计滤波器所能实现期望信号的输出, 又要不断估计滤波参数, 使其朝有利于目标方向的调整, 并保证滤波器的稳定可靠工作。

为此, 结构的选取不仅会影响到计算复杂度 (即每次迭代的算术操作数), 还会对达到期望性能标准所需的迭代次数 (自适应收敛的时间) 产生影响。另外, 不同的结构还有特定的应用场合, 需要根据实际环境来选择相应的结构和算法。自适应滤波器根据其冲击响应的形式一般分为有限冲击响应自适应滤波器 (FIR)、自适应格型滤波器和无限冲击响应自适应滤波器 (IIR) 三种结构。

## 2 FPGA 设计流程

FPGA 器件具有集成度高、体积小、可通过用户编程实现专门应用的功能。它允许电路设计者利用基于计算机的开发平台, 经过设计输入、仿真、测试和校验, 直至达到满意的效果。使用 FPGA 器件不但大大缩短系统的研制周期, 减少资金的投入, 采用 FPGA 器件还可以将原来的电路板级产品集成为芯片级产品, 从而降低了功耗, 提高了可靠性, 同时还可以很方便地对设计进行在线修改。下边对其设计流程做简单介绍:

可编程逻辑器件的设计是利用 EDA 开发软件和编程工具对器件开发的过程。

高密度复杂可编程逻辑器件的设计。它主要包括设计准备、设计输入、功能仿真、设计处理、时序仿真和器件编程测试等六个步骤。

(1) 设计准备。在系统设计之前, 首先要进行方案论证、系统设计和器件选择等准备工作。一般采用自上而下的设计方法, 也可采用传统的自下而上的设计方法。

(2) 设计输入。设计输入将所设计的系统或电路以开发软件要求的某种形式表示出来, 并送入计算机的过程称为设计输入。设计输入通常有以下集中形式: a. 原理图输入方式; b. 硬件描述语言输入方式; c. 波形输入方式。

(3) 功能仿真。功能仿真也叫做前仿真。用户所设计的电路必须在编译之前进行逻辑功能验证, 此时的仿真没有延时信息, 对于初步的功能检测非常方便。仿真中如发现错误, 则返回设计输入中修改逻辑设计。

(4) 设计处理。设计处理是器件设计中的核心环节。在设计处理过程中, 编译软件将对设计输入文件进行逻辑化简、综合优化和适配, 最后产生编程用的编程文件。主要有: a. 语法检查和设计规则

检查; b. 逻辑优化和综合; c. 适配和分割; d. 布局和布线。

(5) 时序仿真。时序仿真又称后仿真或延时仿真。由于不同器件的内部延时不一样, 不同的布局布线方案也给延时造成不同的影响, 因此在设计处理以后, 对系统和各模块进行时序仿真, 分析其时序关系, 估计设计的性能以及检查和消除竞争冒险等是非常有必要的。

(6) 器件编程测试。时序仿真完成后, 软件就可产生供器件编程使用的数据文件。

## 3 自适应滤波器的 FPGA 设计

自适应滤波器的 FPGA 设计是利用算法选取的最佳自适应参数 (阶数、步长系数),

实现从算法模型到电路模型的转换并下载到芯片的过程。一般地, 数字滤波器的 FPGA 实现是用 VHDL 硬件描述语言通过编写底层代码实现的。

经过研究实践证明用 FPGA 来实现自适应滤波器, 最理想的算法是最小均方 LMS 算法。

3.1 算法描述。输出信号  $\hat{y}(n)$ 、输出误差  $e(n)$  的计算公式为:  $\hat{y}(n) = \sum_{k=0}^{M-1} x(n-k) \hat{w}_k(n)$ ,  $e(n) = d(n) - \hat{y}(n)$ 。

其中,  $x(n)$  表示第  $n$  个时刻输入信号向量,  $M$  为滤波器的阶数,  $d(n)$  表示第  $n$  个时刻的输入期待响应,  $\hat{y}(n)$ 、 $e(n)$  分别表示第  $n$  个时刻的输出信号与输出误差,  $\hat{w}_k(n)$  表示  $n$  时刻系数向量。权系数是不断更新的, 权系数的更新使用下式:

$$\hat{w}_k(n+1) = \hat{w}_k(n) + \mu e(n) x_k(n)$$

式中  $\mu$  表示收敛因子, 自适应滤波器收敛的条件是  $0 < \mu < \frac{1}{2\lambda_{\max}}$ 。

其中  $\lambda_{\max}$  是输入信号的自相关矩阵此时, 权系数的更新可以表示为  $w(n+1) = w(n) + 2\mu e(n) x(n)$ 。

权系数可以非常方便的更新, 但是有一个问题: 对当前的权系数进行更新, 必须知道当前时刻的误差信号  $e(n)$ , 显然必须在输出信号  $\hat{y}(n)$  与误差信号  $e(n)$  计算完毕后才能进行权系数的更新; 换言之, 权系数的更新与滤波  $\hat{y}(n)$  的计算不能同步进行。如果能够实现权系数的更新与滤波同步进行, 那么在滤波的同时权系数也被更新了, 这样, 自适应滤波器的滤波速度将提高将近一倍, 为了实现这一点, 必须对 LMS 算法进行改进。权系数的更新之所以不能与滤波同步自适应算法还能成立, 权系数更新与  $\hat{y}(n)$  的计算就能够同步进行了。改进后的权系数更新方程为:  $\hat{w}_k(n+1) = \hat{w}_k(n) + 2\mu e(n-1) x_k(n-1)$ 。

3.2 硬件设计。由 LMS 算法的递推式可以看出, LMS 自适应滤波器可由延时单元、加法器与乘

法器组成。其中第一个式子就是 FIR 横向滤波器的表达式, 这可以由抽头延迟线构成; 第二个式子是误差产生模块, 用减法器就可以实现; 第三个式子是实现误差更新, 可由加法器、延迟模块与乘法器实现。由此, 可以得到 LMS 自适应 FIR 滤波器的抽象模型和电路结构图。

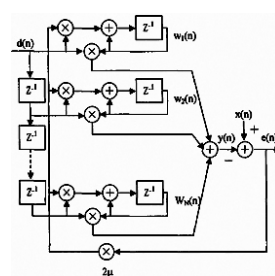


图1 FIR滤波器模型

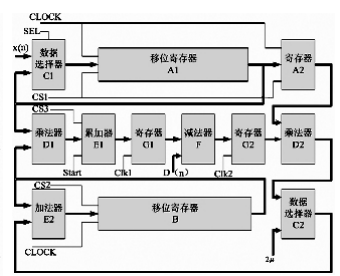


图2 电路结构图

这里设计一个8阶自适应滤波器, 如图2所示。在图中, 我们可以看到A1、B、C1、D1、E1、G1用于计算输出信号  $\hat{y}(n)$  (即滤波器的追踪部分), 由于在运算过程中, 累加器的内容不断变化, 等运算完毕以后, 才等于输出信号  $\hat{y}(n)$ 。要保存  $\hat{y}(n)$  的值, 必须提供一个寄存器, 它就是图2中的寄存器G1。F用于产生输出误差  $e(n)$ , 并将误差锁存在寄存器G2中, 以供更新权系数只用; A1、A2、B、C2、D2、E2用于更新权系数 (即滤波器的训练部分), 更新过程中采用的误差为上一次计算所产生的并保存在寄存器G2中的误差  $e(n-1)$ 。从图2中可以看出,  $x(n-1)$  与  $e(n-1)$  相乘用的是乘法器, 但是二者的乘积与  $2\mu$  相乘, 使用一个数据选择器来实现。这是因为  $2\mu$  为收敛因子的两倍, 通常数值远小于1, 只要满足收敛条件, 它的值大一点或者小一点对滤波效果影响并不是很明显。

最后就可以通过移位运算来代替乘法运算, 从而大大减少电路所耗的硬件资源; 不仅如此, 由于这样实现起来电路的延时远小于一个乘法器的延时, 用数据选择器代替乘法器可以很大程度上提高滤波器的最高采样频率。当移位寄存器A1和寄存器A2用于存放输入数据  $x(n)$ , 移位寄存器B中存放的是权系数。当采样的输入信号  $x(n)$  准备好以后, 应发出一个准备好的信号READY给滤波电路的控制电路, 它就可以开始滤波了。

小结: 自适应滤波器设计是信号处理中的一个非常重要组成部分。在实际应用中, 由于没有充足的信息来设计固定系数的数字滤波器, 因此设计规则则在滤波器正常运行时改变, 为此我们应当认真研究自适应滤波器。由于本人水平有限, 文章中如有问题, 敬请指正。

## 参考文献

- [1] 何永泰. DA 自适应数字滤波器在 FPGA 中实现的改进研究[J]. 云南师范大学学报, 2007.
- [2] 陈艳. 一种改进的自适应滤波 (下转 83 页)

# 浅析快速 IPv6 切换技术

张 峰

(铁通济宁分公司 北京交通大学山东铁通工程硕士班, 山东 济宁 272200)

**摘 要:** 随着移动技术的发展, 移动 IP 已经与无线网络同样重要, 尤其在将来 3G 网络的建设中, 移动 IPv6 将成为移动运营商必须要做出选择的一项重要技术。对快速移动 IPv6 切换技术——FMIPv6 的协议和切换机制进行了分析。

**关键词:** 移动技术; 3G; IPv6; FMIPv6

## 1 引言

移动 IPv6 快速切换技术是对移动 IPv6 协议的改进, 可以加快 IPv6 移动主机的切换过程, 减少已有通信连接的中断的时间, 保证通信流的实时传输。它通过提前注册以及在新的外地网络切换未完成时通过前一个网络保持通信的方法, 实现快速切换, 从而对实时业务提供支持。

## 2 FMIPv6 协议描述

接入路由器 AR 是指网络和移动主机之间的最后一个路由器。从讨论快速切换的观点, 旧接入路由器 oAR 是指移动主机当前连接的接入路由器, 新接入路由器 nAR 是指移动主机将要移动到的接入路由器。通过在接入路由器之间和接入路由器与移动主机之间加入一些新消息, 可以实现快速的切换。

快速切换可以很容易地在移动主机移动到新接入路由器之前, 为其配置新的转交地址。当移动主机连接到新接入路由器时, 就可以立刻使用该转交地址。在此之前, 需要进行的准备工作包括新转交地址配置、重复地址检测和邻居发现等。

当不能从新接入路由器获得有效的转交地址时, 快速切换也允许移动主机不获得新转交地址而切换到新的网络。

移动 IPv6 快速切换技术协议可以描述为:

(1) 路由器请求代理消息 RtSolPr (Router Solicitation for Proxy), 当移动主机预测到自己要进行切换时, 发送该消息到旧接入路由器。该消息通知旧接入路由器本移动主机将要进行切换, 并且请求进行切换所需要的信息。

(2) 代理路由通告消息 (PrRtAdv, Proxy Router Advertisement), 该消息从旧接入路由器发送到移动主机, 作为对 RtSolPr 消息的响应, 或者是当进行切换所需信息就绪时, 将其发送到移动主机。这条消息指示移动主机将要移动, 它提供了新接入路由器使用的前缀或者地址信息。如果是移动决定的切换, 它提供是否移动到新接入路由器的信息。如果是网络决定的切换, 它提供移动主机将要移动的指示和将要使用的新接入路由器的信息。在网络决定的切换中, 如果 PrRtAdv 消息没有被成功确认可能会导致数据分组的丢失。

(3) 切换发起消息 HI (Handover Initiate), 该消息从旧接入路由器发送到新接入路由器。HI 消息指示旧接入路由器正在向新接入路由器进行快速切换。

(4) 切换确认消息 (HACK, Handover ACKnowledgement), 该消息从新接入路由器发送到旧接入路由器, 作为对 HI 消息的确认。该消息指示在新的路由器中哪个新转交地址将使用, 同时, 这条消息还被用来指示隧道的建立。

(5) 切换到第三方消息 (HTT, Handover To The Third), HTT 是 HI 或是 HACK 消息在一种特殊情况下 (即当要将一个双向隧道移向第三个接

入路由器时) 的形式。

(6) 快速绑定更新消息 (F-BU, Fast Binding update), 该消息从移动主机发送到旧接入路由器, 表明移动主机新转交地址的绑定已经有效, 指示旧接入路由器将发送到移动主机旧转交地址的数据分组转发到移动主机的新转交地址。

(7) 快速绑定确认消息 F-BACK, Fast Binding ACKnowledgement, 该消息从旧接入路由器发送到移动主机。F-BACK 消息指示 F-BU 消息是否成功, 否定的确认指示新的转交地址不合法或者 F-BU 由于其他的原因而失败。

(8) 快速邻居通告消息 F-NA (Fast Neighbor Advertisement), 该消息从移动主机发送到新接入路由器, 通告它的到达。该消息同时触发一个路由器通告作为响应, 指示新转交地址的 F-BU 是成功, 还是要继续使用旧的转交地址。

## 3 快速切换机制研究

快速切换可以分为两种机制: 预先切换和基于隧道的切换。

### 3.1 预先切换

预先切换是指当移动主机和 oAR 还保持着第二层的连接时, 就发起第三层的切换。根据切换过程中的哪一方有关于切换的预测信息, 预先切换可以分为两种不同的情况。

(1) 网络发起切换: 在这种情况下, 当移动主机和 oAR 还保持第二层的连接时, oAR 预测移动主机将会移动到一个新的网络, 并且启动与移动主机和 nAR 之间的第三层切换信令交互。

(2) 移动发起切换: 在移动主机发起的切换中, 移动主机预测自己会移动到的新网络的有关信息, 并且启动与 oAR 的信令交互来实现第三层的切换。

### 预先切换的过程:

在预先切换中, 当移动主机与 oAR 还保持第二层的连接时, 如果 oAR 或者是移动主机有关于主机将要移动到的新网络的预测信息时, 切换将会被启动。对于移动发起的切换, 移动主机发出一个 RtSolPr 消息给 oAR。oAR 回送一个 PrRtAdv 消息作为应答。在 PrRtAdv 消息中包含了移动主机所需要的第三层信息。

为了获得移动主机在新网络上使用的转交地址, 形成 PrRtAdv 消息, oAR 需要和 riAR 进行信令交互。oAR 发出一个 HI 消息给 nAR, HI 消息中包含移动主机在 oAR 所在的网络上使用的转交地址, 如果使用 IPv6 的无状态地址自动配置, HI 消息中还包含 oAR 为移动主机生成的新转交地址。nAR 收到 HI 消息后, 如果其中包含移动主机的新转交地址, riAR 将检验其是否可用; 如果 HI 消息中没有新转交地址, nAR 将分配一个可用的转交地址。然后, nAR 发送一个 HACK 消息给 oAR, 告诉 oAR 移动主机新的转交地址或者指示新的转交地址是否可用。

移动主机收到 oAR 发送来的 PrRtAdv 消息后, 向 oAR 发出一个 F-BU 消息。oAR 收到 F-BU 消息后, 建立一个 oAR 和 nAR 之间的隧道, 然后, 回应一个 F-Back 消息, F-Back 消息将发送到 oAR 所在的网络, 并且还要通过隧道发送到新的网络, 这样无论移动主机是否移动, 都可以收到这条消息。

当移动主机到达新的网络, 并且已经与之建立起第二层的连接时, 它发出一条 F-NA 消息。nAR 可以在第二层连接就绪时, 就向移动主机转发数据分组, 或者是当它收到一个 F-NA 消息后, 才向移动主机转发数据分组。oAR 负责转发以移动主机旧转交地址为目的的数据分组。如果 nAR 发送给 oAR 的 HACK 消息指示移动主机新的转交地址是可用的, oAR 将数据分组转发到移动主机新的转交地址。如果 HACK 消息指示新的转交地址不可用, oAR 将建立到 nAR 的隧道, 通过隧道转发数据分组到 nAR。

### 3.2 基于隧道的切换

基于隧道的切换是指当移动主机与 nAR 的第二层连接已经建立时, 还不启动第三层的切换并获得新的转交地址, 而是在两个网络的 AR 之间建立隧道, 移动主机可以通过隧道从前一个网络接收数据。

在基于隧道的切换中, 移动主机移动到了新的网络并且建立了第二层的连接后, 并不发生第三层的切换。oAR 和 nAR 通过在二层之间进行第二层的切换, 使用切换消息中提供的信息建立双向边隧道 (BET), 通过隧道转发数据分组。这种方法对于实时的数据传输将很有意义, 因为不用改变移动主机的转交地址而继续保持与通信对端的通信, 这样可以减少数据分组的丢失。如果移动主机快速移动, 使用基于隧道的切换可以使移动主机不用进行移动 IP 的信令操作而可以在多个网络之间移动。

## 参考文献

- [1] 徐贵宝. 移动 IPv6 及其在 3G 网络中的应用[J]. 现代电信科技, 2004.
- [2] 吴滨. 移动 IPv6 网络中的切换策略研究[J]. 无线电工程, 2003.
- [3] 付爱英. IPv6 隧道技术及分析[J]. 计算机与现代化, 2006.

责任编辑: 鲁艳

(上接 52 页) 器的原理与 FPGA 实现[J]. 电子工程师, 2004.

- [3] 余胜泉. 自适应 LMS 滤波器在 FPGA 中的实现[J]. 微计算机信息, 2006.
- [4] 黄建亮. 基于 FPGA 的自适应滤波器设计与实现[J]. 西安电子科技大学, 2006.

责任编辑: 鲁艳