

一种改进的 DVB-S2 系统 DAGC 算法

陈 舟, 张玉龙, 曹嘉麟, 吴 川, 曾晓洋

(复旦大学专用集成电路与系统国家重点实验室, 上海 201203)

摘 要: 提出一种应用于 DVB-S2 系统的数字自动增益控制(DAGC)算法, 通过调整接收符号的幅度使其收敛于参考星座点从而获得良好的解调性能。与传统算法相比, 该算法能较好地工作在系统所要求的信噪比条件下, 可同时支持含导频模式和无导频模式, 硬件实现复杂度低。

关键词: DVB-S2 系统; 数字自动增益控制; 无导频模式

Improved DAGC Algorithm for DVB-S2 System

CHEN Zhou, ZHANG Yu-long, CAO Jia-lin, WU Chuan, ZENG Xiao-yang

(State Key Lab of ASIC & System, Fudan University, Shanghai 201203, China)

【Abstract】 In order to make level of the incoming symbols approach the reference constellations, an improved Digital Automatic Gain Control (DAGC) algorithm for DVB-S2 system is proposed to enable better demodulator performance. Compared with traditional algorithm, it possesses many advantages, such as supporting much low signal-to-noise ratio and compatible of both with pilot and without pilot modes as well as much lower complexity.

【Key words】 DVB-S2 system; Digital Automatic Gain Control(DAGC); no pilot mode

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.02.086

1 概述

DVB-S2 是欧洲电信标准协会提出的第 2 代卫星数字视频广播标准^[1]。在 DVB-S2 系统接收机的设计中, 解调性能关键取决于符号定时恢复、载波频率和相位偏移恢复、数字自动增益控制(Digital Automatic Gain Control, DAGC)和均衡。DAGC 是一个重要的子系统, 它调整传入符号的幅度以收敛于参考星座点, 可以为之后的均衡模块提供接收符号的期望值, 并满足前向纠错译码模块对信号幅度的要求。

本文针对 DVB-S2 系统的特点, 基于对新的代价函数和星座图的潜在属性的分析, 提出一种改进的 DAGC 算法, 该算法保留了传统算法的优点, 并支持含导频模式和无导频模式, 收敛速度快, 实现复杂度明显低于传统的算法。

2 信号模型及传统算法

DVB-S2 系统的物理层信号由普通的帧序列组成, 每个帧由长度为 90 比特的帧头和经过前向纠错编码(FEC)的帧体组成, 如图 1 所示。帧头的前 26 个符号(帧起始位置(Start Of Frame, SOF))是固定的, 16 进制序列表示为 18D2E82。每个导频段由 36 个导频符号组成, 采用特定的调制方式。在含导频模式下, 经过前向纠错编码的帧体每相隔 16 个子块插入一段导频段。在无导频模式下, 经过前向纠错编码的帧体中不含导频段。

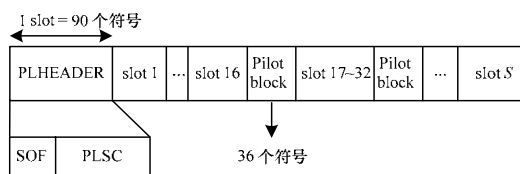


图 1 DVB-S2 物理层帧结构

在 DVB-S2 系统中, DAGC 模块位于载波频率和相位偏移恢复模块之后, 它需要良好地工作在大范围的信噪比(SNR)

下, 最低可低至 -2.35 dB。文献[2]给出了适用于 16QAM 调制方式的复杂的判决导向向量跟踪(DD-VT)和非直接判决导向(NDD)DAGC 算法。前者在误判决率低于 10^{-2} 的情况下是无偏估计, 后者则不适用于信噪比低于 10 dB 的情况, 无法应用于 DVB-S2 系统。文献[3]提出了一种修改的基于含导频模式的数据辅助序列跟踪(DA-VT)算法, 可以工作在系统要求的信噪比范围下。该算法如下:

$$s(k) = A_k z(k), A_k = |\alpha_k| \quad (1)$$

$$\alpha_{k+1} = \begin{cases} \alpha_k - \gamma_{\text{DAGC}} [\alpha_k z^p(k) - c^p(k)] c^p(k)^* & k \in \text{pilot symbols} \\ \alpha_k & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $z(k)$ 为经过 DAGC 前收到的第 k 个符号; A_k 为第 k 个 DAGC 因子; $s(k)$ 为经 DAGC 后的第 k 个符号; α_k 为第 k 个 DAGC 复数增益因子; γ_{DAGC} 是 DAGC 迭代步长; $c^p(k)$ 是第 k 个导频符号。在上述算法中, 模块在接收到导频符号时逐步修正增益因子, 在接收到非导频符号时保持增益因子不变, 最终它可以使输出符号收敛到参考星座点, 但收敛速度较慢。文献[4]采取变步长策略, 即 γ_{DAGC} 可以分段, 更好地实现了残余抖动和收敛速度之间的折中。这样的变步长策略常被应用于均衡器的设计^[5]。不过, 上述 DAGC 算法存在一些缺陷。首先, 为了保证 DAGC 的准确性, 步长需要足够小。其次, DAGC 迭代只在接收到导频符号时进行, 而导频符号只占有所有符号的很小一部分, 因此, 需要很长时间才能收敛, 在等待收敛的过程中会产生很多不准确的数据符号。此外, 式(2)中的大量复数乘法运算会导致较高的硬件实现复杂度和较大的功耗。同时, 该算法几乎无法工作在无导频模式下。

基金项目: 陈 舟(1984 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 数字电视解调算法; 张玉龙、曹嘉麟, 硕士研究生; 吴 川, 博士研究生; 曾晓洋, 教授、博士生导师

收稿日期: 2010-06-30

E-mail: westeast1984@163.com

3 改进的 DAGC 算法

为了找到一种同时支持 DVB-S2 系统含导频和无导频 2 种模式的帧结构的 DAGC 算法, 需要找到含导频模式和无导频模式之间的共同点。同时, 如果该算法可以对导频符号和非导频符号都进行迭代, 迭代速度也可以提高。

由于 DAGC 工作在载波频率和相位偏移恢复模块之后, 可以合理地假定剩余载波频率和相位偏移很小, 在一个物理层帧的持续时间中对其不予考虑。据此, 提出如下代价函数:

$$J = [\text{Re}(\hat{s}(k)) - \text{Re}(s(k))]^2 + [\text{Im}(\hat{s}(k)) - \text{Im}(s(k))]^2 \quad (3)$$

其中, $\text{Re}()$ 和 $\text{Im}()$ 各自代表一个复数符号的实部和虚部; $s(k)$ 为经过 DAGC 后的第 k 个符号; $\hat{s}(k)$ 则是 $s(k)$ 的期望值。

DAGC 本质上是关于从 $z(k)$ 到 $s(k)$ 的增益, 定义如下:

$$s(k) = \alpha z(k) \quad (4)$$

增益因子 α 为正实数, 将式(4)代入式(3), 得到:

$$J(\alpha) = [\text{Re}(\hat{s}(k)) - \text{Re}(\alpha z(k))]^2 + [\text{Im}(\hat{s}(k)) - \text{Im}(\alpha z(k))]^2 \quad (5)$$

对 J 求梯度的表达式如下:

$$\nabla J = \frac{\partial J(\alpha)}{\partial \alpha} = -2[\text{Re}(\hat{s}(k)) - \text{Re}(\alpha z(k))]\text{Re}(z(k)) - 2[\text{Im}(\hat{s}(k)) - \text{Im}(\alpha z(k))]\text{Im}(z(k)) \quad (6)$$

如果 sgn 代表实数的正负符号, 则采用下列的先验假设信息:

$$\text{sgn}(\text{Re}(z(k))) = \text{sgn}(\text{Re}(\hat{s}(k))) = \text{sgn}(\text{Re}(\alpha z(k))) \quad (7)$$

$$\text{sgn}(\text{Im}(z(k))) = \text{sgn}(\text{Im}(\hat{s}(k))) = \text{sgn}(\text{Im}(\alpha z(k))) \quad (8)$$

可以将式(6)中方括号外的部分化简为它们各自的符号, 进一步舍去系数可以得到:

$$\nabla J = -[|\text{Re}(\hat{s}(k))| - \alpha |\text{Re}(z(k))|] - [|\text{Im}(\hat{s}(k))| - \alpha |\text{Im}(z(k))|] \quad (9)$$

采用文献[6]中的最陡递减算法, α 的递归迭代公式如下:

$$\alpha_{k+1} = \alpha_k - \mu \nabla J = \alpha_k + \mu [|\text{Re}(\hat{s}(k))| - \alpha_k |\text{Re}(z(k))| + [|\text{Im}(\hat{s}(k))| - \alpha_k |\text{Im}(z(k))|] \quad (10)$$

其中, μ 代表步长; α 的初始值为 1; $|\text{Re}(\hat{s}(k))|$ 和 $|\text{Im}(\hat{s}(k))|$ 的值是已知确定的, 例如在 QPSK 调制方式下, $|\text{Re}(\hat{s}(k))|$ 和 $|\text{Im}(\hat{s}(k))|$ 都等于 $\sqrt{2}/2$ 。该算法对应的硬件结构见图 2。

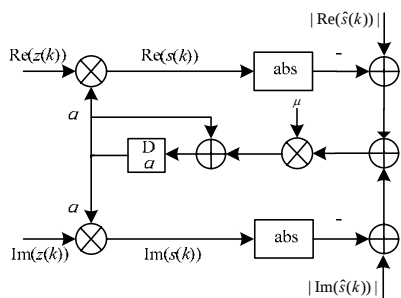


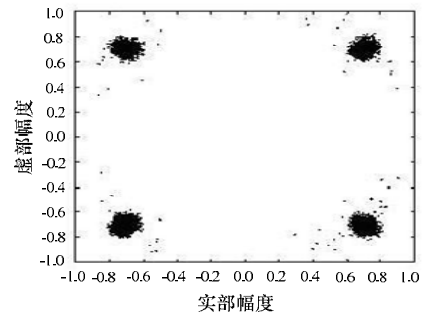
图 2 改进的 DAGC 算法硬件结构

改进算法在迭代计算增益因子时不含复数乘法运算, 仅含 2 次实数乘法运算, 可以有效降低硬件实现复杂度和功耗。从整体上看, 对于导频符号以及非导频符号, $|\text{Re}(\hat{s}(k))|$ 和 $|\text{Im}(\hat{s}(k))|$ 这 2 个期望值大小是一致的, 即它是含导频模式和无导频模式具有的共同特征, 所以, 这一迭代过程可以在整个物理帧上持续进行。相比传统算法, 改进算法的收敛速度大幅提高, 可以使用很小的步长 (10^{-7} 或更小) 来保证收敛准确度, 并且同时支持含导频模式和无导频模式, 应用效果更好。

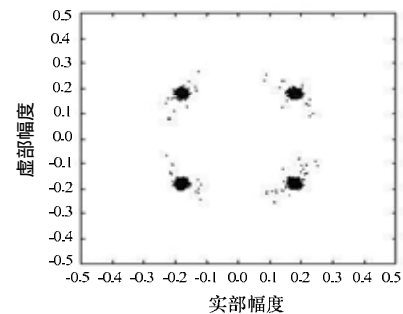
4 算法仿真结果和性能比较

本文选取 QPSK 调制方式对提出的 DAGC 算法的性能进

行了广泛的软件仿真, 如前所述, 该算法也支持无导频模式, 但因为传统的算法不支持, 所以采用含导频模式进行对比, 可以清楚地体现新算法的优越性。传输信道采用加性高斯白噪声(AWGN), 信噪比为 20 dB, 传输符号率为 25 Mb/s, 载波频偏设为 5 MHz, 在经过符号定时恢复、载波频率和相位偏移恢复之后, 理想的接收符号星座图如图 3(a)所示, 信号幅度为 $\sqrt{2}/2$ 。实际接收符号的星座图见图 3(b), 信号的幅度在 0.2 以下, 对于解码器来说相对损失了 2 bit 有效信息。



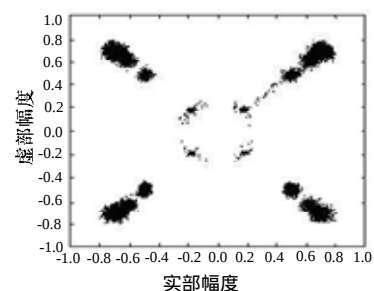
(a)理想的接收符号星座图



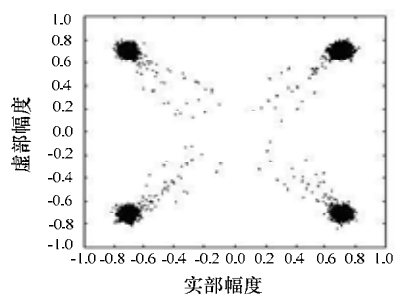
(b)实际的接收符号星座图

图 3 理想接收信号分布与实际信号分布

上述接收符号在经过传统 DAGC 算法处理和本文提出的 DAGC 算法处理后的星座图分别如图 4(a)、图 4(b)所示。



(a)传统 DAGC 算法处理后的接收符号星座图



(b)本文 DAGC 算法处理后的接收符号星座图

图 4 DAGC 处理后的信号星座图

从图 4 可以看到, 随着迭代的进行, 接收符号的幅度逐渐从 0.2 收敛到 $\sqrt{2}/2$, 并且本文提出的算法收敛速度更快, 在迭代过程中损失的符号更少。

图 5 给出传统算法和本文的算法的收敛过程曲线。可以看到在使用传统的算法时, 由于在非导频符号段不进行迭代, 因此迭代过程中有许多停滞阶段。本文算法同时支持导频模式和无导频模式, 因此增益因子的收敛更快, 结果更准确。

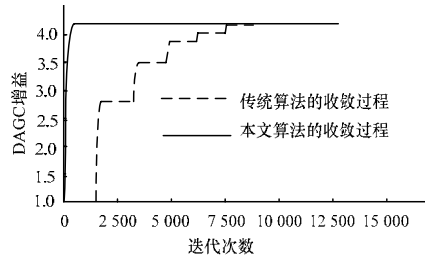


图 5 收敛过程曲线比较

传统算法和本文算法的性能比较结果如表 1 所示, 包括每次迭代的实数乘法运算个数(复数乘法可折算成实数乘法)、收敛过程所需的符号个数、对无导频模式是否支持。可以看到实数乘法次数大大降低, 由此带来的低复杂度和低功耗对 DVB-S2 系统具有一定吸引力。

表 1 算法性能比较

算法	乘法个数	收敛所需符号数	无导频模式
传统算法	8	8 500	不支持
本文算法	2	300	支持

5 结束语

本文提出了一种应用于 DVB-S2 系统的 DAGC 算法。该

算法在传统算法基础上, 通过引入新的代价函数推导出新的收敛迭代, 加快了收敛速度, 可以支持无导频模式, 具有低复杂度和低功耗等特点。理论分析和仿真结果证明它可以有效应用于物理层具有规则星座图的数字通信系统的自动增益控制。

参考文献

[1] ETSI. EN 302 307, Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and Other Broadband Satellite Applications[Z]. 2004-01.

[2] De Gaudenzi R, Luise M. Analysis and Design of an All-digital Demodulator for Trellis Coded 16-QAM Transmission over a Nonlinear Satellite Channel[J]. IEEE Trans. on Communication, 1995, 43(234): 659-668.

[3] Casini E, de Gaudenzi R, Ginesi A. DVB-S2 Modem Algorithms Design and Performance over Typical Satellite Channels[J]. International Journal of Satellite Communications and Networks, 2004, 22(3): 281-318.

[4] Oh Cheon-in, Choi Seung-hyun, Jang Dae-ig, et al. Enhanced Automatic Gain Control Using the Hybrid Gamma Parameter in the DVB-S2 System[C]//Proc. of ICAC'T'06. [S. l.]: IEEE Press, 2006.

[5] 赵菊敏, 李灯熬, 李鸿燕, 等. 基于均衡器输出信号功率的盲均衡算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(24): 261-262.

[6] Haykin S. Adaptive Filter Theory[M]. Englewood Cliffs, USA: Prentice Hall, 1991.

编辑 张正兴

(上接第 241 页)

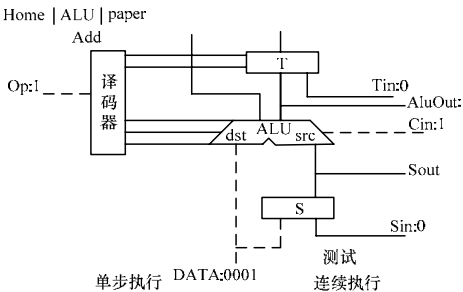


图 4 单步执行第 1 步

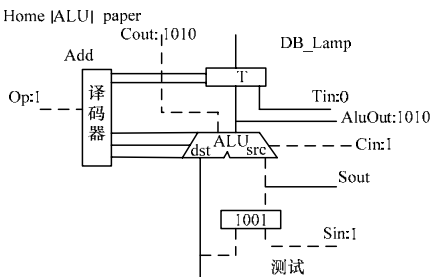


图 5 单步执行第 2 步

图 4 中操作命令 Op 为 1, 说明执行的是不带进位加法运算; Sin 为 0, 代表 DATA 为目的操作数 dst, Cin 为 1, 代表有进位, Tin 为 0, 表明 T 寄存器无效。图 5 第 2 步的激励信号与第 1 步的区别是 Sin 为 1, 代表 DATA 为源操作数 src; 输出信号 Cout 和 AluOut 与第 1 步的区别是显示了运算结果, 其值为第 1 次的输入 Data 与第 2 次的输入 Data 之和。

6 结束语

本文设计实现了基于 WSRF 的 FPGA 网络实验资源服务, 很好地解决了远程教学实验平台中间状态的管理问题。WSRF 规范定义了有状态资源, 采用 WSRF 规范来设计服务能够很好地维护、存取和管理客户和服务之间互操作的状态。采用该方法设计服务配合实现远程教学非常有效, 学生可以在实验室外的任何地方使用实验设备, 较好地提供了实验时间和空间的自由。

参考文献

[1] Zhao Hui, Xiao Tiejun. An Innovate Remote Experiment System for FPGA-based Curriculum[C]//Proceedings of 2008 IEEE Int'l Symposium on IT in Medicine and Education. [S. l.]: IEEE Press, 2008.

[2] Fujii N, Koike N. A New Remote Laboratory for Hardware Experiment with Shared Resources and Service Management[C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Information Technology and Applications. [S. l.]: IEEE Press, 2005.

[3] Wale M, Medany E I. FPGA Remote Laboratory for Hardware E-Learning Courses[C]//Proc. of IEEE Region 8 International Conference on Computation Technologies in Electrical and Electronics Engineering. [S. l.]: IEEE Press, 2008.

[4] Harward J. iLab: A Scalable Architecture for Sharing Online Experiment[C]//Proc. of International Conference on Engineering Education. [S. l.]: IEEE Press, 2004.

[5] 易 明, 金 海. 基于 WSRF 的 Web 服务资源的设计[J]. 计算机工程, 2006, 32(23): 262-264.

编辑 张正兴