

增强位率 1553 总线应用研究

邹强, 史志钊

(中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471009)

摘要: 随着作战飞机挂载数和携带悬挂物武器种类不断增加, 针对目前机载航电系统和武器系统中 MIL-STD-1553B 总线传输速率不高、远程终端数量有限等问题, 介绍了一种新型增强位率 (EBR) 1553 总线。本文首先从总线的拓扑结构、硬件结构、传输特性以及总线传输模式等方面进行了阐述和分析, 然后介绍了目前 EBR-1553 总线的应用领域, 最后提出了基于 FPGA IP 核的 EBR-1553 总线硬件实现方式。

关键词: 机载航电系统; 远程终端; 增强位率 1553; IP 核

中图分类号: V243 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)07-0073-05

Application and Research of EBR-1553 Data Bus

ZOU Qiang, SHI Zhi-zhao

(Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, AVIC, Luoyang 471009, China)

Abstract: Considering the gradual increasing of store stations and available types of stores, and the low transfer velocity and limited remote terminal numbers of traditional MIL-STD-1553B Multiplex Data Bus in airborne avionics system and weapon system, a new data bus named enhanced bit rate 1553 (EBR-1553) data bus was introduced. This paper expatiated EBR-1553 data bus from the topology architecture, hardware configuration, transfer characteristics and bus transfer model. Then the applied field of EBR-1553 was addressed. Finally, the method of EBR-1553 data bus hardware implementation based on FPGA IP core was proposed.

Key words: airborne avionic system; remote terminal (RT); enhanced bit rate 1553 (EBR-1553); IP core

0 引言

随着航空电子系统复杂性的增加, 机载武器的智能化程度也越来越高, 发射前需要装订的参数以及发射控制逻辑的实现也越来越复杂^[1], 作为现阶段机载航电系统和武器系统标准数据总线的 MIL-STD-1553B 总线, 在面向未来的应用中, 其 1 Mbs 的传输速率已成为制约其应用和发展的瓶颈。于是不断有总线速率升级计划推出, 而增强位率 1553 总线 (Enhanced Bit Rate 1553, EBR-1553) 就是其中颇具前途的一种。

1 EBR-1553 总线

美国 SAE 组织在制定一种小型任务悬挂物接口 (Miniature Munitions Store Interface, MMSI) 时遇到了一个难题^[2], 即在考察 Ethernet、FC、HDLC 等多种总线后

发现没有一种是适合 MMSI 接口的。经过深入研究, 考虑到 1553B 总线在 MIL-STD-1760 接口中的广泛应用和工程技术人员的适应性, 最后决定以 1553B 总线为逻辑基础, 重新定义一种总线作为 MMSI 的数据传输通道, 这就是增强位率 EBR-1553 数据总线。^[3]

1.1 拓扑结构与组成

EBR-1553 摒弃了传统 1553B 的总线形式拓扑结构, 采用星型总线拓扑, 实时性更高, 每个 RT 不再挂接到总线, 而是总线控制器 (BC) 通过逻辑集线器 (logic HUB) 和所有的远程终端 (RT) 分别独立连接, 其星型拓扑结构如图 1 所示。

总线监控功能由总线监视器 (Bus Monitor, BM) 实现, EBR-1553 的总线监视器有两种形式: 一种是复合总线监视器 (composite BM, cBM); 另一种是终端监视器 (Terminal Monitor, TM)。cBM 用来监视所有的总线分支上的总线活动, 而 TM 则用来监视某一具体总线分支上 RT 与 BC 间的通信情况, 如图 2 所示。

逻辑集线器是一个硬件和/或软件集合, 提供了从 BC 到和来自每个 RT 的逻辑通讯, 通过收发器由指令

字中的 RT 地址位确认。该集线器结构是一个主动星型配置,其主动功能限制了来自远程终端的响应,因此 BC 在一定时间内仅能接收来自一个 RT 的通讯。

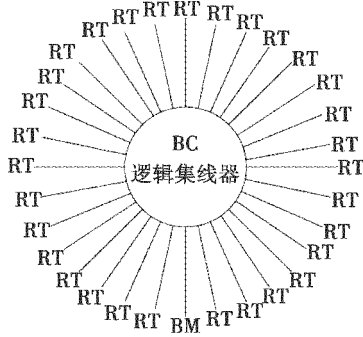


图 1 星型拓扑结构

Fig. 1 Star topology architecture

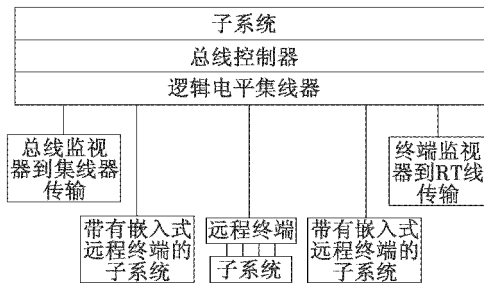


图 2 带有子系统和监视器的总线结构

Fig. 2 Data bus with subsystems and monitors

1.2 硬件特性

1.2.1 数据总线特性

EBR-1553 总线采用屏蔽双绞导线,电缆的屏蔽最少应提供 95% 的覆盖范围,传输线两端使用 $120 \pm 10\% \Omega$ 匹配电阻端接。

1.2.2 总线收发器

EBR-1553 总线速率提高到 MIL-STD-1553 总线的 10 倍,不能继续沿用原先 MIL-STD-1553 总线收发器。采用标准的 RS485 总线收发器比 MIL-STD-1553 总线收发器成本更低廉,更具有经济吸引力,而且更适用于 EBR-1553 总线的星型拓扑结构连接。

1.3 传输特性

EBR-1553 总线同传统 1553B 总线一样采用曼彻斯特 II 型双相不归零码,每个数据字采用 20 位,包括 3 位同步位、1 位校验位和 16 位数据位,字格式包括命令字、状态字和数据字,传输速率提高到 10 Mbps。

消息格式共有 8 种,与传统 1553B 消息格式相比减少了 RT 到 RT 传输消息和 RT 到 RT 广播消息,其余消息格式与 1553B 总线相同。

1.4 总线运行模式

EBR-1553 总线的基本运行方式为命令响应式,即由 BC 向 RT 发出命令字,RT 响应 BC 命令字并以状态

字回复,数据字根据具体情况或不出现或作为消息的一部分跟随命令字或状态字传输。EBR-1553 总线的具体运行模式包括 3 种,如图 3 所示。

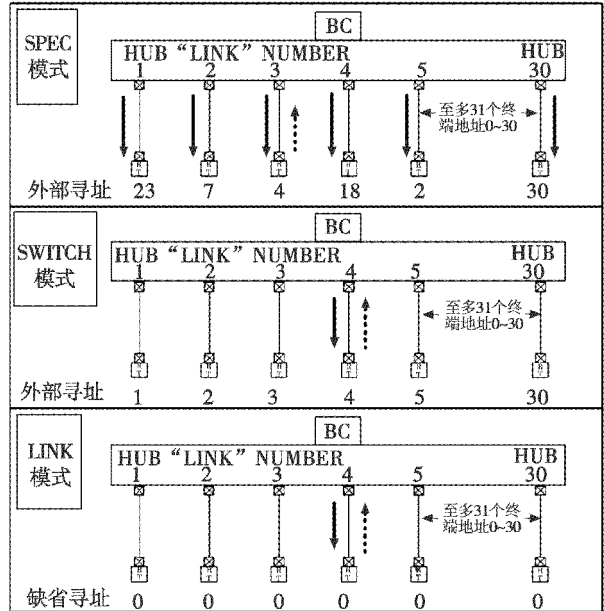


图 3 EBR-1553 总线运行模式

Fig. 3 EBR-1553 operating mode

1) SPEC 模式。在这种模式下,EBR-1553 总线模仿 1553B 总线工作。BC 通过 HUB 同时向所有的 RT 发送命令字,由于从 HUB 到 RT 的物理连接与 RT 地址没有对应关系,因此 HUB 将监视所有传输线。在 SPEC 模式下,每个 RT 的地址分配通过外部机构实现,每个 RT 只对发往自己地址或广播的命令字做出响应。

2) SWITCH 模式。在这种模式下,从 HUB 到 RT 的物理连接与 RT 地址存在对应关系,因此由 BC 发出的命令字只沿着与命令字中目标 RT 地址相对应的传输线传送,HUB 也只需监视与目标 RT 地址对应的传输线上的响应信息。在 SWITCH 模式下,每个 RT 的地址分配通过外部机构实现。

3) LINK 模式。在 LINK 模式下,没有外部机构实现 RT 地址分配,所有 RT 的地址都默认为 0,所有 RT 将响应带有 0 号地址的命令字,从 HUB 到 RT 的物理连接与 RT 所在的位置存在对应关系,BC 的命令字只在与目标 RT 位置相连的传输线上发送。

2 EBR-1553 总线的优势

1) 传输速率快。EBR-1553 总线的传输速率为 10 Mbps,是 1553B 总线的 10 倍,因此它比 1553B 总线更适合对数据传输和对数据刷新有较高要求的应用领域。

2) 成本低廉。EBR-1553 总线采用了标准的 RS485 总线的收发器,价格远远低于 1553B 总线收发器,因此是一种低成本的总线。

3) 可携带更多远程终端。通常情况 EBR-1553 总线可携带 31 个 RT, 当需要更多 RT 时, 通过扩展寻址可达到 247 个, 图 4 为扩展远程终端的 MMSI 接口框图。

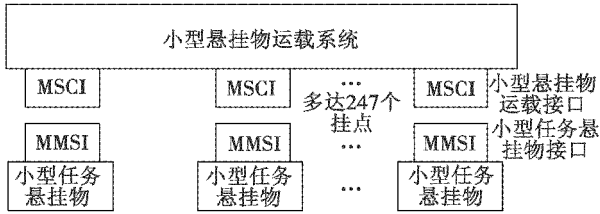


图 4 MMSI 接口框图

Fig. 4 MMSI interface

4) 软件移植代价小。EBR-1553 总线采用了与 1553B 总线相同的通信规则, 因此对许多 1553B 软件开发者来说并不陌生, 许多为 1553B 开发的软件只需通过少许修改甚至不加修改就可以应用到 EBR-1553 总线上, 大大减少了软件移植的风险和费用。

3 EBR-1553 总线的应用

3.1 EBR-1553 总线的应用领域

EBR-1553 总线的应用领域主要有两个: 一个是机载武器控制系统; 另一个是低空飞行器系统。

1) 随着军工技术的进步, 单枚航空弹药威力在不断增强, 而体积则在不断减小, 所以出现了飞机挂点一个运载撒布装置携带多枚航空弹药的运载方式。与以往不同的是, 这些小型航空弹药被称为灵巧型弹药, 即在投射前被装订数据信息, 在投射后能自主攻击目标的弹药, 如图 5 所示^[4]。

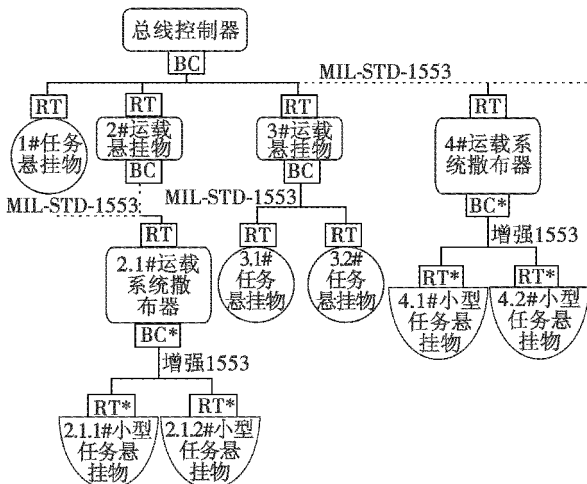


图 5 EBR-1553 运载悬挂物网络示意图

Fig. 5 EBR-1553 carriage store network

为适应航空武器的这种新发展, 美军规范了 MMSI 接口标准, 在弹药装订数据时将先由撒布器 (投射装置) 通过 MIL-STD-1760 总线接收载机送来的数据信息, 再由 MMSI 接口中的 EBR-1553 总线将数据分配给

各枚灵巧弹药, 从而最终完成灵巧弹药的数据装订。目前美军应用 EBR-1553 总线的军事项目有 JDAM 和一种低成本的制导火箭弹, 如图 6 所示。

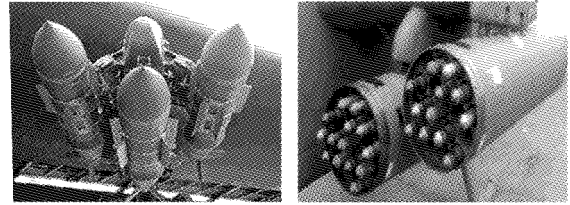


图 6 美军 JDAM 导弹和低成本制导火箭弹

Fig. 6 U. S. JDAM missile and low cost guidance rocket

2) EBR-1553 总线的另一应用领域是低空飞行器, 如无人机和巡航导弹等。低空飞行控制通常包括传感器、制动器、控制器和动力管理系统, 这些系统要求约 1000 Hz 的典型刷新率, 对于 MIL-STD-1553 来说太快了, 而 EBR-1553 总线却以其高速率低成本的特点填补了 1553B 总线的缺憾, 极有希望成为该领域的主导数据总线。

3.2 EBR-1553 总线扩展应用

EBR-1553 总线通过支持点对点通讯的 CAN 总线接口能够提供更大的扩展寻址能力, 远程终端地址范围能够从 31 扩展到 255。通过给远程终端分配一个 3 位的段地址和一个 5 位的 RT 地址来实现。图 7 为 MMSI 的 EBR-1553 扩展寻址拓扑图^[5]。

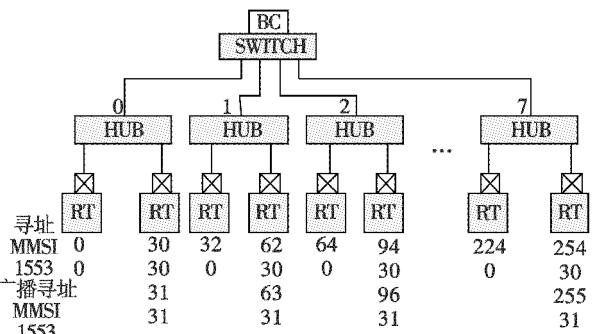


图 7 MMSI 扩展寻址 EBR-1553 拓扑图

Fig. 7 Diagrams of topology with MMSI serial address extensions

4 EBR-1553 总线实现

目前, 随着 FPGA 技术的发展完善, FPGA 提供多种形式架构, 以及丰富的 I/O 引脚可供使用, 同时还可提供丰富的片上存储资源。基于 IP 核的 FPGA 设计体现了先进的现代航空电子设计方法, 这项技术具有多种优势, 如废弃组件管理、降低设计风险、提高集成度、减小体积、降低功耗和提高故障平均间隔时间 (MTBF) 等。传统 1553B 的 IP 核已经实现, 而 EBR-1553 总线与传统 1553B 总线协议处理基本一致, 完全可以进行移植, 需要提高工作频率, 同时增加 BC HUB 等逻辑功能。

4.1 方案设计

采用基于 FPGA IP 核实现 EBR-1553 总线接口硬件方案, FPGA 器件选用 Xilinx 公司的 XC3S2000, 处理器选用 ARM7 系列 LPC2458, RS-485 收发器选用半双工、传输速率为 20 Mbps 的 HI-4853。硬件结构原理框图如图 8 所示, 处理器接口实现 ARM 处理器与 FPGA 通信, 共享 RAM 由 FPGA 内部 RAM 资源实现, EBR-1553 IP 核实现 1553 数据总线的协议处理。

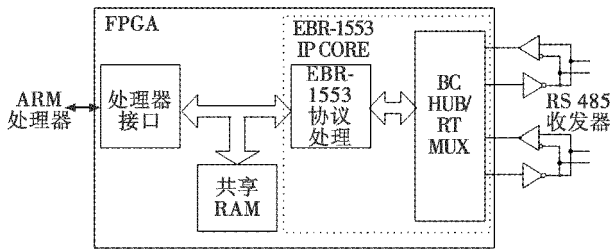


图 8 EBR-1553 硬件结构框图

Fig. 8 EBR-1553 hardware architecture

4.2 IP 核协议逻辑设计

IP 核协议逻辑部分主要完成错误检出、曼彻斯特编解码以及 1553 协议处理等功能, 利用 FPGA 丰富的片上资源实现共享 RAM 和部分用户自定义逻辑, IP 核协议处理逻辑功能如图 9 所示。

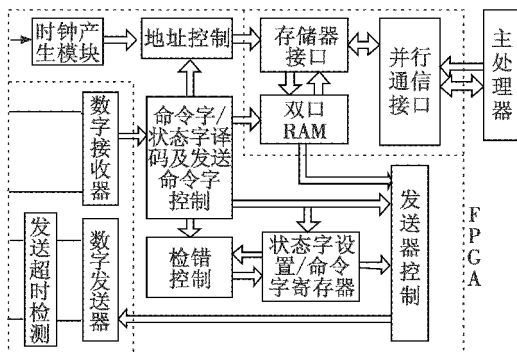


图 9 IP 核逻辑功能框图

Fig. 9 IP core logic function

数字发送器模块负责接收 16 位的 1553B 数据(指令字和状态字), 并以 10 Mbps 曼彻斯特 II 编码串行数据发送到总线上。该部分为曼彻斯特码编码, 它是将单极性不归零码转换为单极性的曼彻斯特码, 而且实现对同步头的编码, 以及奇偶位的产生, 并对数据进行并/串转换。

数字接收器即为曼彻斯特码解码, 将单极性曼彻斯特码转换为单极性不归零码, 接收曼彻斯特 II 编码的串行数据, 实现同步时钟的提取, 同步头检出, 数据检出, 曼彻斯特 II 码错误检出, 奇偶检测, 位/字计数以及数据的串/并转换功能。

EBR-1553 禁止发送时间大于 80 μ s 的消息, 发送

超时检测模块对发送的消息进行计时, 并由计时产生的结果来控制发送信号。它的核心是一个数字计数器, 对驱动器的输出进行监控和定时, 一旦它检测到正在发送的消息大于 80 μ s, 就立即停止发送, 产生发送超时信号用于系统复位。

命令字/状态字译码及发送命令字控制模块, 根据工作模式及输入的各信号来设置输出的控制信号以及决定是否要继续接收来自总线上的信号等功能。当工作在 BC 方式时, 需要对接收到的 RT 返回状态字进行译码以确定系统传输是否正常, 并且在部分消息格式下还包括对 RT 返回的数据字接收。

地址控制模块包括地址变换和地址选择两部分, 地址变换部分接收地址加载信号、数据字计数值, 以及来自数字收发器的收发准备好信号进行地址信号的变换, 地址选择部分实现 RAM 的读写地址。

检错控制模块分为字计数、RT 响应超时检测和中断信号产生, 用于检测发送/接收数据字过程是否正确, 判断是否发送/接收规定个数的数据字, 在 BC 发送命令字以及数据字后判断 RT 是否在规定时间内返回状态字, 并根据系统中检测到的错误状态来进行中断位的置位。

发送器控制模块选择要送入数字发送器的所有信号和数据, BC 方式下, 主要是选择何时输出命令字、何时向 RT 传输数据字, 同时产生对应的同步头类型等信号, RT 方式下, 接收来自状态字设置模块的信号选择何时输出状态字、何时向 BC 传输数据字, 同时产生对应的同步头类型等信号。

状态字设置及状态字寄存器部分的功能是在 RT 接收完 BC 发送的数据字后设置并锁存状态字以确定是否输出状态字。根据接收来自命令字译码部分的控制信号对状态字的相应位置位, 同时锁存状态字。

并行通信接口通过双口 RAM 进行数据交换, 完成与主处理器的信息交换和数据存储, 该接口模块包括并行通信控制部分、处理器与存储器接口、双口 RAM 和串行通信接口。

4.3 波形仿真

图 10 为 BC \rightarrow RT 的命令字和状态字仿真波形, 图 11 为 RT \rightarrow BC 的命令字和状态字仿真波形。



图 10 BC \rightarrow RT 命令字和状态字波形

Fig. 10 Waveform of command word and status word BC to RT

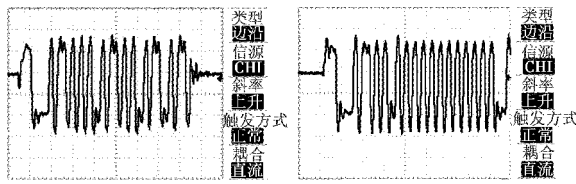


图11 RT→BC命令字和状态字波形

Fig. 11 Waveform of command word and status word RT to BC

5 结束语

本文从总线拓扑结构、硬件结构、传输特性以及总线传输模式等方面详细介绍了 EBR-1553 总线。与传统 1553B 总线相比, EBR-1553 总线具有传输速率快、成本低廉、可携带更多远程终端和软件移植代价小等特点。

EBR-1553 总线已在国外机载武器控制系统和低空飞行器系统等领域广泛应用, 该总线也将成为未来机载武器系统发展的必然趋势, 它对于提高武器集成的效率, 提高机载系统和武器的数据传输能力等方面都有重要的意义。

(上接第 63 页)

形镜的调整量约为 3.5λ , ABL 系统补偿大气湍流所需变形镜的调整量约为 7.5λ 。

4 结论

本文中采用 Zernike 算法和 H-V 模型构造大气湍流相位屏, 完成了不同条件下大气湍流仿真软件的设计, 通过 Matlab 编制仿真界面, 对激光大气湍流传输特性进行仿真, 仿真的大气湍流符合大气湍流 Kolmogorov 统计规律的理论, 仿真结果显示, Zernike 算法可以对低频部分很好地模拟, 随着阶数的提高, 高频部分也能较好地体现。对 ABL 系统和 ATL 系统激光传输湍流畸变波前进行仿真计算, 对大气湍流相位屏 PV 值仿真得出, ATL 系统补偿大气湍流所需变形镜的调整量约为 3.5λ , ABL 系统补偿大气湍流所需变形镜的调整量约为 7.5λ , 从而可以对湍流畸变补偿系统中指标的设计提供参考。

参考文献

- [1] MCGLAMERY B L. Restoration of turbulence-degraded images[J]. JOSA, 1967, 57(3):293-296.
- [2] FLECK J A, MORRIS J R. Time-dependent propagation of high energy laser beams through the atmosphere [J]. App-

参考文献

- [1] 王朝阳, 季晓光, 丁全心. 机载悬挂物管理系统技术发展分析[J]. 电光与控制, 2009, 16(3):1-5.
WANG Z Y, JI X G, DING Q X. Development of airborne stores management system technology[J]. Electronics Optics & Control, 2009, 16(3):1-5.
- [2] 彭志专, 冯金富, 鲁卿, 等. 飞机/ 悬挂物电气接口标准发展方向探讨[J]. 电光与控制, 2008, 15(4):59-62.
PENG Z Z, FENG J F, LU Q, et al. A survey on the development of aircraft/store electrical interface standard[J]. Electronics Optics & Control, 2008, 15(4):59-62.
- [3] SAE Aerospace. AS5652, 10 megabit/sec network configuration digital time division command/response multiplex data bus[S]. SAE, 2005.
- [4] 王旭峰, 丁其伯, 舒振杰. 即插即用武器集成及其相关标准体系初探[J]. 航空标准化与质量, 2009, 4:4-8.
WANG X F, DING Q B, SHU Z J. Discussion on plug-and-play weapons integration and related standard system [J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2009, 4:4-8.
- [5] SLEICHER S K. Introduction to enhanced bit rate 1553[R]. Application Note AN/B-40, DDC, 1998.
- [6] 王立瑾, 李强, 魏宏刚, 等. 大气湍流随机相位屏的数值模拟和验证[J]. 光电工程, 2007, 34(3):1-4.
WANG L J, LI Q, WEI H G, et al. Numerical simulation and validation of phase screen distorted by atmospheric turbulence[J]. Opto-Electronic Engineering, 2007, 34(3):1-4.
- [7] 胡朝晖, 姜文汉. 受大气湍流影响的光学波前模拟[J]. 光电工程, 1995, 22(2):50-56.
HU Z H, JIANG W H. Simulation of the optical wavefront distorted by atmospheric turbulence [J]. Opto-Electronic Engineering, 1995, 22(2):50-56.
- [8] 吴晗玲, 严海星, 李新阳, 等. 基于畸变相位波前分形特征产生矩形湍流相屏[J]. 光学学报, 2009, 29(1):114-119.
WU H L, YAN H X, LI X Y, et al. Generation of rectangular turbulence phase screens based on fractal characteristics of distorted wavefront[J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(1):114-119.
- [9] 苏毅, 万敏. 高能激光系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004:130-132.
SU Y, WAN M. High energy laser systems [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2004:130-132.
- [10] DAI G M. Modified Hartmann-Shack wavefront sensing and iterative wavefront reconstruction [J]. SPIE, 1994, 2201:562-573.