

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01R 31/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810051010.2

[43] 公开日 2008 年 12 月 10 日

[11] 公开号 CN 101320065A

[22] 申请日 2008.7.22

[74] 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所
代理人 赵炳仁

[21] 申请号 200810051010.2

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理
研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 16 号

[72] 发明人 胡君 王栋 王文杰

[54] 发明名称

航天光学遥感器成像电路的仿真测试方法

[57] 摘要

本发明涉及对航天光学遥感器成像电路进行检测调试的方法，特别是一种在成像电路系统中缺少多光谱 TDI CCD 器件的条件下的一种航天光学遥感器成像电路的仿真测试方法。在时统电路统一控制下，识别检测系统实时检测和分析输入控制信号的幅值、频率、相互关系是否正确，正确则通知信号仿真输出系统产生符合要求的 TDI CCD 视频信号，错误则通过网络通知中心计算机报警及显示。输出的视频信号来源于计算机模拟生成的图像数据，通过高速的图像传输通道发送至信号仿真输出系统的存储器中，采用双缓存机制更新输出图像内容，达到持续发送仿真的 TDI CCD 图像信号目的。本发明方法可避免因长期试验所造成的缩减芯片寿命的问题。

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 2 页

1. 一种航天光学遥感器成像电路的仿真测试方法，是将中心计算机总控系统、图像数据源生成及传输系统、成像处理电路输出的控制信号的识别与检测电路、多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路以及同步时钟电路组成的仿真测试闭环系统连接到 TDI-CCD 成像处理电路上，按以下程序进行光学遥感器成像电路的仿真检测：

- a. 按照所设计的多光谱 TDI CCD 输出信号特征，对选定的彩色图像进行进行预处理，预制成仿真的多光谱数字图像，按规定的位数、宽度和高度把图像数据存储在计算机磁盘阵列内；
- b. 中心计算机发出系统工作启动命令，同步时钟电路接收后，开始输出全部电路系统需要的时钟信号和工作启动信号，同时触发识别与检测电路、多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路、图像数据传输电路开始工作；
- c. 识别与检测电路首先通过电压调理电路，对成像处理电路输出的控制信号进行电压调理，使其输出信号电压按固定比例调整到模数转换电路和比较器电路可接受的电压范围，电压调理后的信号按照给定的多光谱 TDI CCD 信号标准，对信号的幅值、频率和相互关系进行检测与逻辑分析，若经检测和逻辑分析后，发现本周期的驱动信号和直流偏置电压信号正确，则发送检测正确标志信号，通知多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路，开始输出视频信号，同时继续进行下一周期分析检测工作，否则立即停止检测和视频图像生成工作，将出错的结果通过以太网通知中心计算机；
- d. 多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路在收到同步电路的启动信号，开始工作，实时判断识别与检测电路的检测结果，当收到检测正确标志信号后，将 DDR SDRAM 专用存储器中的数字图像数据读出，经数模转换、放大和滤波处理，按多光谱 TDI CCD 信号格式输出为模拟的视频信号，完成一个周期

的图像信号输出，并继续监测，直到下一次检测正确标志信号的到来；

e. 在中心计算机的控制下，按顺序把磁盘阵列中预制好的图像数据取出，采用 DMA 的方法，经 PCI-X 和 LVDS 总线传送给多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路的 DDR SDRAM 中，更新信号仿真输出电路中的图像数据，采用双缓存控制机制，用两个 DDR SDRAM 存储器完成数据交叠式更新，即一个 DDR SDRAM 负责按步骤 d 实时图像读出时，另一个完成新图像数据的实时接收，当更新结束后，二者角色对换，进行新一轮的接收和读取；

f. 当中心计算机发出系统工作停止命令，同步时钟电路接收后，停止输出全部电路系统所需要的时钟信号并发工作停止信号，停止识别与检测电路、多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路、图像数据传输电路的工作。

航天光学遥感器成像电路的仿真测试方法

技术领域

本发明涉及对航天光学遥感器成像电路进行检测调试的方法，特别是一种在成像电路系统中缺少多光谱时间延迟积分光电耦合器件(多光谱 TDI CCD)的条件下，完成对成像处理电路进行仿真测试的方法。

背景技术

CCD 成像传感器是影像传感领域一个重要的应用器件，并且已经成为成像（摄像、照相）系统的核心器件。随着集成电路工艺的高速发展，近几年 CCD 成像传感器已经发展成为成像领域的必备产品，并且在影像传感、信号处理和数字存储三大领域中得到广泛应用，充分显示出它的巨大潜力，被视为七十年代以来出现的最重要的一种器件。

CCD 的基本结构包括感光区、转移区和电荷检测单元三个主要部分。CCD 成像传感器是利用 CCD 所具有的光电转换功能将投射在 CCD 光敏元上的光学图像转换为电信号“图像”，即电荷量与入射照度大致成正比例的大小不等的电荷包空间分布。然后利用移位寄存器功能将这些电荷包转移到电荷检测端输出，形成幅度不等的实时脉冲序列。

多光谱 TDI CCD 芯片在性能、功能和可靠性上优于一般的 CCD 芯片，属于高性能空间光学遥感领域的核心器件，其结构复杂，性能优越，可靠度高，但因这种多光谱 TDI CCD 芯片生产周期长、测试手段困难和生产工艺复杂等特点，价格非常昂贵。

多光谱 TDI CCD 芯片是用在空间光学遥感领域的专用芯片，在研制空间光学遥感器的过程中，需要在地面和真空条件下做大量的系统调试和试验，

必然会降低 TDI CCD 芯片的性能指标、工作寿命和可靠度，甚至会损坏芯片。

发明内容

本发明的目的在于提供一种航天光学遥感器成像电路的仿真测试方法，采用本发明方法可实现在成像电路系统中缺少多光谱时间延迟积分光电耦合器件(多光谱 TDI CCD)的条件下，完成对成像处理电路系统的仿真检测。

本发明是一种能够代替航天光学遥感器中核心光电转换器件（多光谱 TDI CCD）完成对成像处理电路进行仿真测试的方法。采用计算机技术与电子学相结合的手段，模拟 TDI CCD 器件在成像电路中的作用，严格按照成像电路的控制时序输出与 TDI CCD 器件一致的视频信号，达到在没有 TDI CCD 器件的情况下，一样调试成像处理电路的目的。

该方法将中心计算机总控系统、图像数据源生成及传输系统、成像处理电路输出的控制信号的识别与检测电路（包括电压调理电路、模数转换—A/D 电路、逻辑比较电路及并行处理系统）、多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路（包括数模转换—D/A 电路、放大和滤波电路）、同步时钟电路组成的仿真测试闭环系统连接到 TDI-CCD 成像处理电路上，其仿真及检测程序为：

- a. 按照所设计的多光谱 TDI CCD 输出信号特征，对选定的彩色图像进行预处理，预制成仿真的多光谱数字图像，按规定的位数、宽度和高度把图像数据存储在计算机磁盘阵列内；
- b. 中心计算机发出系统工作启动命令，同步时钟电路接收后，开始输出全部电路系统需要的时钟信号和工作启动信号，同时触发识别与检测电路、多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路、图像数据传输电路开始工作；
- c. 识别与检测电路首先通过电压调理电路对成像处理电路输出的控制信号（包括驱动信号和直流偏置信号）进行电压调理，使其输出信号电压按固定比例调整到模数转换（A/D）电路和比较器电路可接受的电压范围。电压调理后的信号按照给定的多光谱 TDI CCD 信号标准对信号的幅值、频率和相

互关系（如相位延迟）进行检测与逻辑分析，若经检测和逻辑分析后发现本周期的驱动信号和直流偏置电压信号正确，则发送检测正确标志信号通知多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路开始输出视频信号，同时继续进行下一周期分析检测工作；否则立即停止检测和视频图像生成工作，将出错的结果通过以太网通知中心计算机；

d. 多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路在收到同步电路的启动信号后，开始工作，实时去判断识别与检测电路的检测结果，当收到检测正确标志信号后，将 DDR SDRAM 专用存储器中的数字图像数据读出，经数模（D/A）转换、放大和滤波处理，按多光谱 TDI CCD 信号格式输出为模拟的视频信号，完成一个周期的图像信号输出，继续监测，直到下一次检测正确标志信号的到来；

e. 在中心计算机的控制下，按顺序把磁盘阵列中预制好的图像数据取出，采用 DMA 的方法，经 PCI-X 和 LVDS 总线传送给多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路的 DDR SDRAM 存储器中，更新信号仿真输出电路中的图像数据，采用双缓存控制机制，用两个 DDR SDRAM 存储器完成数据交叠式更新，即一个 DDR SDRAM 负责按步骤 d 实时图像读出时，另一个完成新图像数据的实时接收，当更新结束后，二者角色对换，进行新一轮的接收和读取；

f. 当中心计算机发出系统工作停止命令，同步时钟电路接收后，停止输出全部电路系统所需要的时钟信号并发工作停止信号，停止识别与检测电路、多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路、图像数据传输电路的工作。

本发明方法的优点是：

1. 多光谱 TDI CCD 信号仿真及检测方法的应用能代替多光谱 TDI CCD 芯片做早期仿真输出视频图像信号试验，防止因未完全掌握多光谱 TDI CCD 芯片特性发生意外，而损坏多光谱 TDI CCD 产品。
2. 可避免用昂贵的多光谱 TDI CCD 航天芯片做长期试验所造成的缩减

芯片寿命的问题。

3. 本发明不仅仅仿真多光谱 TDI CCD 芯片，而且可以仿真与 CCD 密切相关的光学成像功能，直接实时输出与多光谱 TDI CCD 一样的视频图像信号，解决了即使有了多光谱 TDI CCD 芯片，但由于光学镜头等试验条件和环境难以具备，也不可能立即投入试验工作的问题。

4. 可完成与多光谱 TDI CCD 芯片相关的相机电性系统运行状况实时监测工作。

附图说明

图 1 是多光谱 TDI CCD 信号仿真及检测电路设计原理示意图；

图 2 是控制信号识别与检测电路原理示意图；

图 3 是 CCD 信号仿真输出电路原理示意图；

图 4 是图像数据传输通道示意图；

图 5 是信号频率检测示意图；

图 6 是同频率信号相位延迟检测示意图。

具体实施方式

以下结合实例对本发明进行详细说明，以便对本发明的目的、特征及优点进行更深入的理解。

参照图 1，本发明方法是将中心计算机总控系统 1、图像数据源生成及传输系统 2、成像处理电路输出的控制信号的识别与检测电路 3、多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路 4 以及同步时钟电路 5 组成的仿真测试闭环系统连接到 TDI-CCD 成像处理电路 6 上。

以下详细介绍各部分组成。

1) 中心计算机总控系统

中心计算机总控系统，完成协调控制多个电路系统之间的关系。主要工作包括控制时统电路的开启、关闭，接收识别与检测电路的问题信息并显示

在计算机屏幕；控制图像源数据的选择、发送。

2) 图像数据源生成系统，将现有的图像数据，或计算机生成的特殊测试图像经过数字变换，转换为符合多光谱 TDI CCD 视频信号输出标准的信号，并存储在磁盘阵列中，该过程称之为图像预制。本例中所仿真的多光谱 TDI CCD 包含红、绿、蓝和亮度信息，由全色和彩色两种象素构成，像元直径彩色为全色的 4 倍，象素输出频率全色为彩色的 2 倍，象素数全色 4096 象素/行，彩色 1024 象素/行，彩色分 R、G、B 三通道同时输出，全色分 8 通道同时输出。

图像源产生方法：利用一幅宽度为 1024 象素的彩色图像，分离出 R、G、B 分量单独存储，同时采用三次样条插值的图像插值的方法，将图像扩大为 4096 象素/行，将插值后的图像亮度作为全色图像数据存储。

参照图 4，图像数据源传输通道，预制好的图像数据存储在磁盘阵列 7，通过 PCI-E 总线 8 读入计算机内存 9，再以 DMA 方式通过 PCI-X 总线 10 传输到一块 FPGA 开发板 11 中，开发板以 Altera 公司的 Cyclone2 芯片为主控制芯片，控制 PCI-X 总线数据的读写，同时将收到的数据以 LVDS 传输方式 12 传输到 CCD 信号仿真输出电路。

3) 参照图 2，识别与检测电路，由以下子系统构成：电压调理电路（使驱动信号和直流偏置信号的电压按固定比例调整到 A/D 转换电路和比较器电路可接受的电压范围）、全色相关信号的 A/D 转换及逻辑比较电路（A/D 转换主要用来采样输入的直流偏置信号的幅值，以便进行幅值合法性的判定，比较电路量化驱动电平为数字化的 0、1，以便进行信号频率的测量和信号间逻辑关系比较），彩色相关信号的 A/D 转换及逻辑比较电路，主控芯片电路——采用 Xilinx 公司的 Virtex4 芯片，完成对 A/D 和比较器的采集控制、数据分析判断，与中心计算机的数据通讯、与信号仿真输出电路通讯，时统接收等任务。

频率的测量及逻辑比较的方法：

采用测周期的方法来测量输入信号频率。如图 5 所示，输入的驱动信号经过比较器后变为方波，只有高低两种电平。选择一个标准的已知频率 f_s 信号（为能完全采样，该频率应大于等于被测频率 2 倍，这里我们选择 f_s 为待测频率的 10 倍以上），在待测信号的一个周期 T_x 内，记录标准信号的周期数 N_s ，则被测信号的频率 f_x 为

$$f_x = f_s / N_s, \text{ 周期为 } T_x = N_s / f_s$$

在频率测量的基础上进一步可测量两个同频率信号的相位延迟时间，将以 f_s 频率采集到的两个信号进行相与运算，再与其中的一个波形作差，得到的如图 6 所示的新方波的高电平即为相位差，采用一个比 f_s 更高频率的信号 f_s' 在相位差时间内计数为 $N_{s'}$ ，则两信号的相位延迟时间为 $N_{s'} / f_{s'}$ 。

4) 参照图 3, TDI-CCD 信号的仿真输出电路，由以下子系统构成：11 路 D/A 转换电路(8 路全色，3 路彩色)，11 路放大与滤波电路，DDR SDRAM 数据存储电路（采用 2 片 DDR SDRAM，以乒乓缓存机制存储），LVDS 接口电路(接收来自图像数据源的数据)，主控芯片电路——同样采用 Xilinx 公司的 Virtex4 芯片完成与中心计算机图像数据源通讯、DDR SDRAM 的乒乓存取控制、D/A 输出控制、与识别检测电路通讯以及时统接收等任务。

乒乓控制机制：

利用 FPGA 的并行操作特点，数据的更新与信号生成同步进行。当图像数据往 DDR SDRAM-A 内存储时，信号生成所需数据从 DDR SDRAM-B 中获得，如果二者的速度不一致，以信号生成的速度为准，图像存储的速度应不小于读出的速度，当 DDR SDRAM-A 存满时，DDR SDRAM-B 的数据还未输出完时，则停止数据更新，等待 DDR SDRAM-B 中数据输出完毕。当 DDR SDRAM-B 数据读出完毕后，两存储器角色对换，DDR SDRAM-B 开始接收数据更新，DDR SDRAM-A 开始数据读出。

5) 同步时钟电路，完成了对全部电子学系统的同步控制，所有电路的时钟信号、工作启动和停止的信号均由此电路发送，同时通过串口与中心计算机连接，可被中心计算机远程控制。在本实例中采用了 Xilinx 公司的 FPGA——Spartan2 作为时统电路的主控制芯片，完成时钟的统一管理以及与中心计算机通讯的任务。

详细工作过程如下：

- a. 按照所设计的多光谱 TDI CCD 输出信号特征，对选定的彩色图像进行预处理，预制成仿真的多光谱数字图像，按规定的位数、宽度和高度把图像数据存储在计算机磁盘阵列内；
- b. 中心计算机发出系统工作启动命令，同步时钟电路接收后，开始输出全部电路系统需要的时钟信号和工作启动信号，同时触发识别与检测电路、多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路、图像数据传输电路开始工作；
- c. 识别与检测电路首先通过电压调理电路，对成像处理电路输出的控制信号（包括驱动信号和直流偏置信号）进行电压调理，使其输出信号电压按固定比例调整到模数转换（A/D）电路和比较器电路可接受的电压范围。电压调理后的信号按照给定的多光谱 TDI CCD 信号标准对信号的幅值、频率和相互关系（如相位延迟）进行检测与逻辑分析，若经检测和逻辑分析后发现本周期的驱动信号和直流偏置电压信号正确，则发送检测正确标志信号，通知多光谱 TDI CCD 信号，仿真输出电路开始输出视频信号，同时继续进行下一周期分析检测工作；否则立即停止检测和视频图像生成工作，将出错的结果通过以太网通知中心计算机；
- d. 多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路在收到同步电路的启动信号后，开始工作。实时判断识别与检测电路的检测结果，当收到检测正确标志信号后，将 DDR SDRAM 专用存储器中的数字图像数据读出，经数模（D/A）转换和放大和滤波处理，按多光谱 TDI CCD 信号格式输出为模拟的视频信号，

完成一个周期的图像信号输出，继续监测，直到下一次检测正确标志信号的到来。

e. 在中心计算机的控制下，按顺序把磁盘阵列中预制好的图像数据取出，采用 DMA 的方法，经 PCI-X 和 LVDS 总线传送给多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路的 DDR SDRAM 存储器中，更新信号仿真输出电路中的图像数据。采用双缓存控制机制，用两个 DDR SDRAM 存储器完成数据交叠式更新，即一个 DDR SDRAM 负责按步骤 d 实时图像读出时，另一个完成新图像数据的实时接收，当更新结束后，二者角色对换，进行新一轮的接收和读取。

f. 当中心计算机发出系统工作停止命令，同步时钟电路接收后，停止输出全部电路系统所需要的时钟信号并发工作停止信号，停止识别与检测电路、多光谱 TDI CCD 信号仿真输出电路、图像数据传输电路的工作。

本实例的数学建模：

设识别与检测电路的输入 $\bar{X} = x_1, x_2, \dots, x_{79}$ ，其中 x_i 为 TDI CCD 驱动信号和直流偏置信号；图像数据源（存储在磁盘阵列中的预制图像数据） $\bar{D} = d_1, d_2, d_3, \dots$ ；CCD 信号生成系统的输出 $\bar{Y} = y_1, y_2, y_3, \dots, y_{11}$ ，其中 y_i 为彩色和全色信号的某一路；时统输出 \bar{T}_i ， \bar{T}_i 表示第 i 周期的时钟输出。CCD 仿真测试数学模型为：

$$\bar{Y} = F(f(\bar{X}, \bar{T}_{i-1}), \bar{D}, \bar{T}_i)$$

其中 $f(\bar{X}, \bar{T})$ 表示是在时统控制下，经检测合格 \bar{X} 。

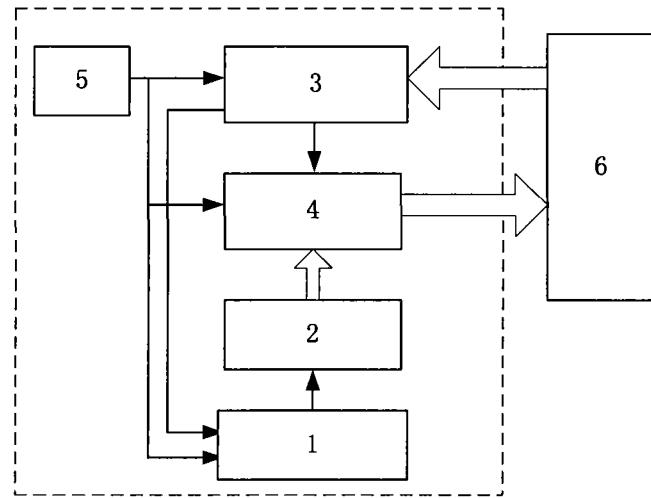


图 1

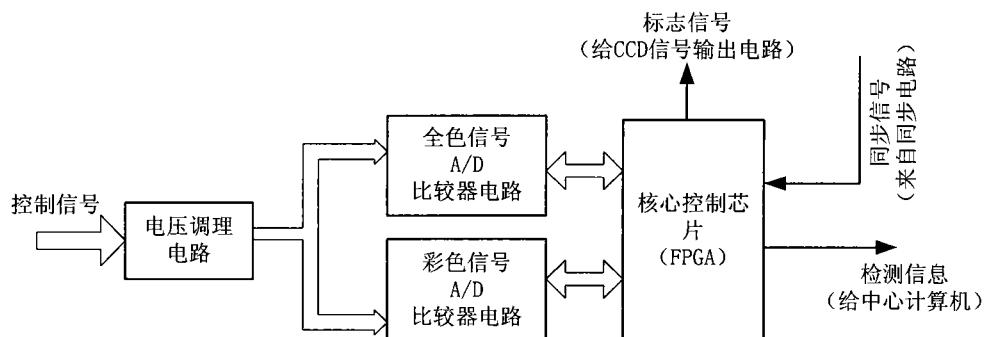


图 2

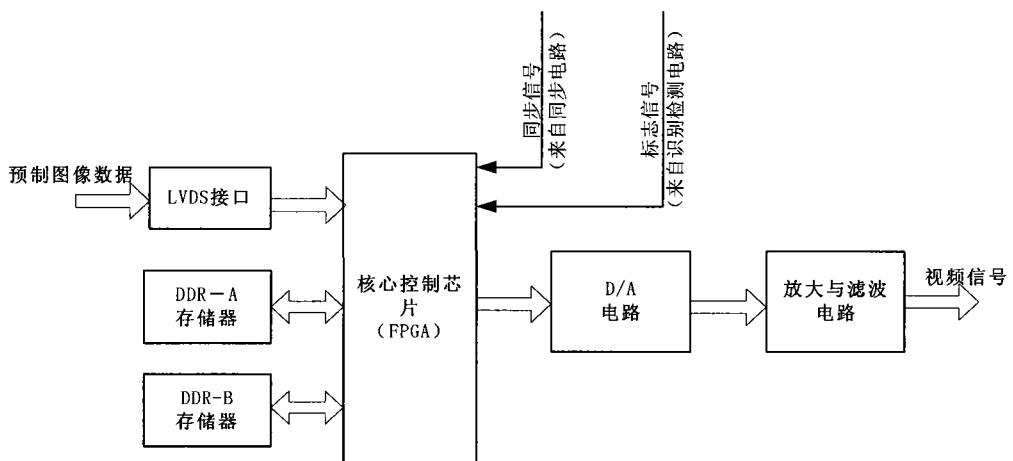


图 3

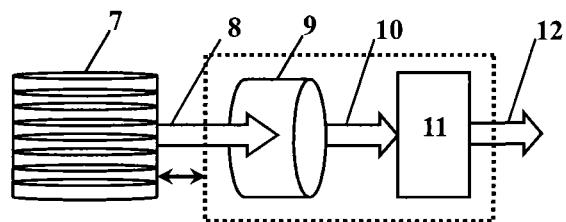


图 4

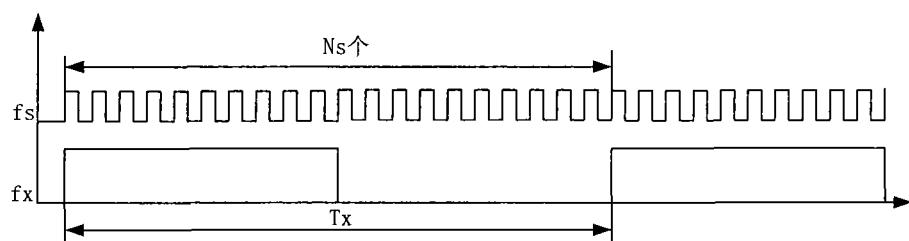


图 5

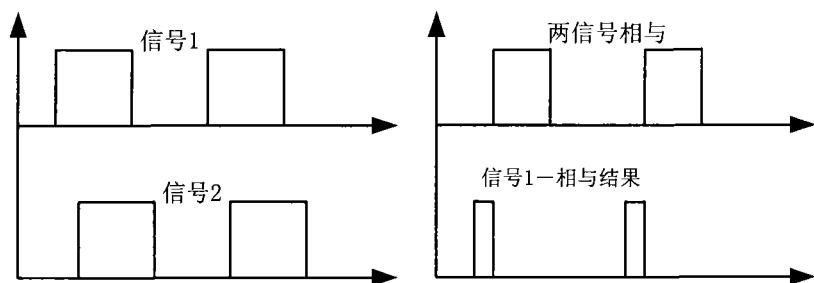


图 6