

JTAG 技术及其在 FLASH 在线编程中的应用

赵军阳 张志利

(第二炮兵工程学院, 西安 710025)

摘要: 兴起于上世纪 80 年代末, 并于 1990 年被 IEEE 标准协会接纳为 IEEE1149.1 标准的 JTAG 技术, 其产生的背景是对高密度集成电路板进行故障检测, 现在已被广泛用于支持芯片测试、设备编程、混合信号测试和现场服务等领域。本文首先介绍了 JTAG 接口的定义及其具体结构, 对边界扫描的具体工作过程进行了分析, 并列举了几种常用功能; 在此基础上以 MSP430 系列 Flash 型单片机为对象探讨了如何实现对具有 JTAG 接口的 Flash 芯片的在线编程与调试, 并给出了具体实例。

关键词: JTAG Flash 边界扫描 在线编程

JTAG Technology and Application in Flash On-line Programming

Zhao junyang Zhang zhili

(The Second Artillery Engineering Institute Xi'an China 710025)

Abstract: JTAG technology was first developed in 1985, and was adopted by IEEE Standard Committee as IEEE1149.1 in 1990. The technology developed by the standard seek to provide a solution to the problem of testing assembled printed circuit boards and other products based on highly complex digital integrated circuits and high-density surface-mounting assembly techniques. But now it is applied in on-chip debugging, device programming, mixed-signal test and field service. In this article, the definition and structure of the JTAG interface are introduced first, and the idiographic working process of Boundary-scan is analyzed, then several common functions are listed. Based on a flash-based msp430 single chip, on-chip programming and debugging of flash chip possessing JTAG interface are discussed and some examples are presented.

Keywords: JTAG, Flash, Boundary-scan, On-chip programming.

对于可编程器件的程序下载, 一直以来都采用烧录方式。在这种方式下, 器件不能在线编程, 发现程序缺陷和错误也无法立即修改。随着微电子技术的发展, 复杂芯片一般都带有 FLASH 存储器, 可多次擦写, 便于实现程序的编制和调试。本文主要探讨如何利用 JTAG 接口实现在线编程和调试, 这对于产品的开发、维护和升级具有重要意义。

1 JTAG 简介

联合测试行动组于 1987 年提出了一种新的电路板测试标准——JTAG 标准, 并于 1990 年被 IEEE 标准协会接纳为 IEEE1149.1 标准。该标准自提出到现在历经 1993 年、1994 年和 2001 年三次修订, 在原有基础上增加了 CLAMP 和 HIGHZ 指令, 实现了该标准和其它测试途径间的转换, 另外定义了边界扫描描述语言 (BSDL), 提高了边界扫描技术的灵活性和可靠性。通过各种努力, 在 IEEE1149.1 标准的基础上建立了许多新的标准, 供设备测试与调试程序的编制采用, 如 1149.4 标准实现了模拟信号和数字信号的混合测试, 1532 标准实现了硅元素 PLD 设计的边界扫描等。该标准的提出最初是为了解决高密度 PCB 板的可测试性问题, 以取代传统的针床测试方法, 现在已被广泛用于支持芯片测试、设备编程、混合信号测试和现场服务等

领域。

JTAG 硬件接口主要有五个信号：

TCK—JTAG 测试时钟输入，当 TCK 保持在零状态时，测试逻辑状态应保持不变；

TMS—测试模式选择，控制 JTAG 状态，如选择寄存器、数据加载、测试结果输出等；出现在 TMS 的信号在 TCK 的上升沿由测试逻辑采样进入 TAP 控制器；

TDI—测试数据输入，测试数据在 TCK 的上升沿采样进入移位寄存器（SR）；

TDO—测试数据输出，测试结果在 TCK 的下降沿从移位寄存器（SR）移出，输出数据与输入到 TDI 的数据应不出现倒置。

TRST*—可选复位信号，低电平有效。

2 JTAG 基本结构

JTAG 的基本结构如图 1 所示：

JTAG 主要由三部分构成：TAP 控制器、指令寄存器和数据寄存器。

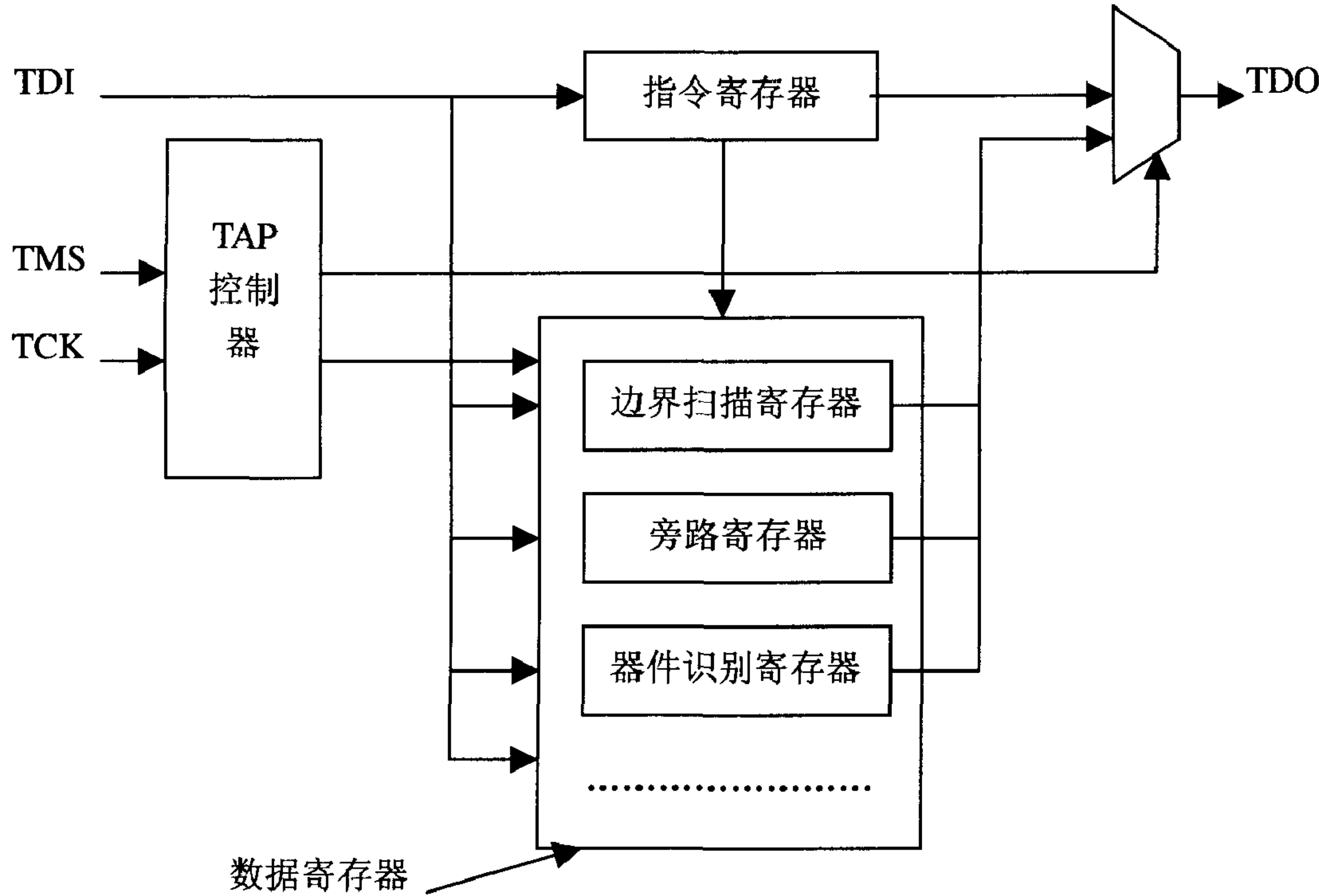
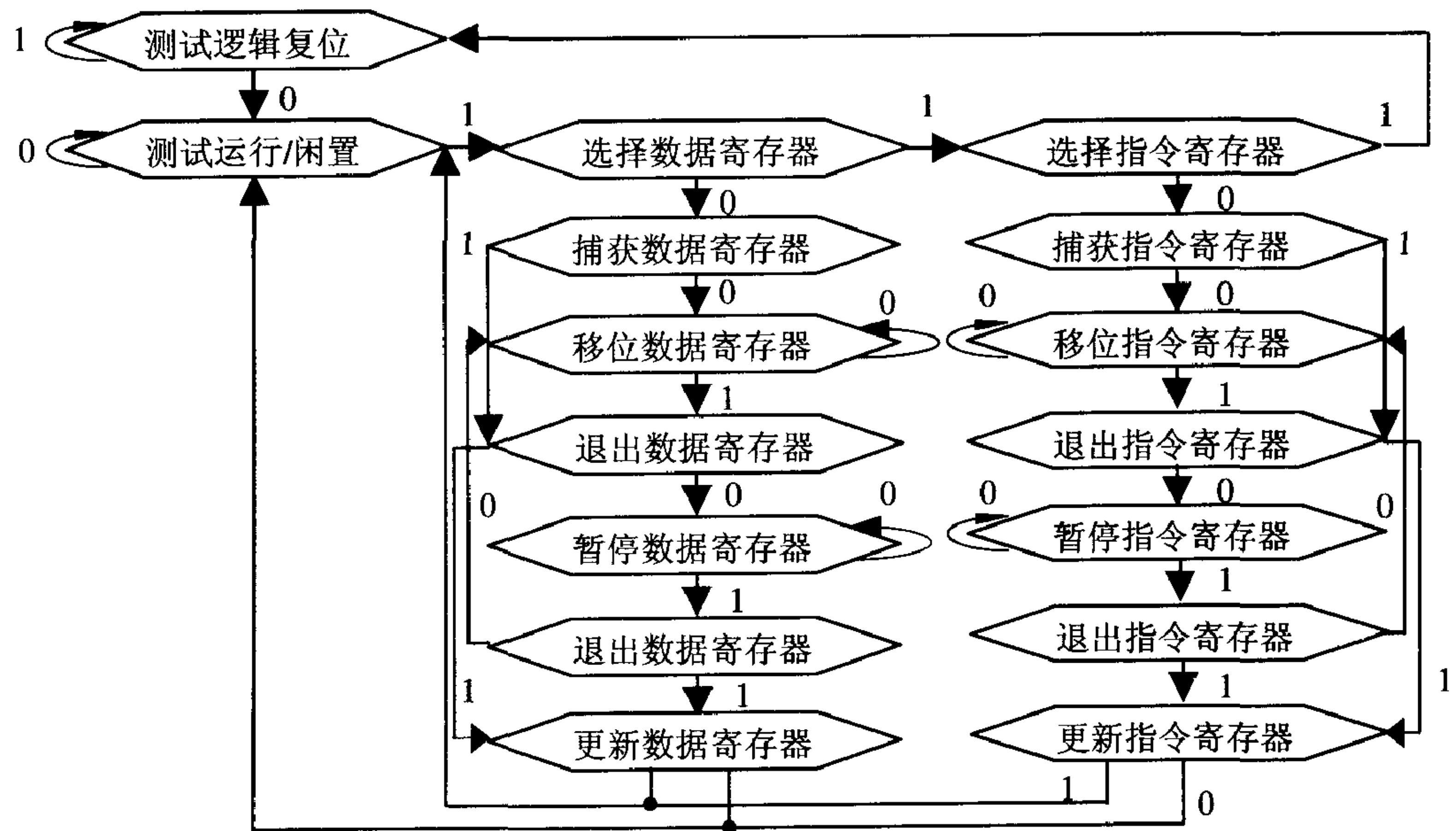


图 1 JTAG 基本结构

2.1 TAP 控制器



TAP 控制器是 JTAG 的核心控制器，是由 TMS 控制，在 TCK 上升沿变化的状态机，可以选择使用指令寄存器扫描或数据寄存器扫描，以及控制边界扫描的各个状态，如锁存数据、数据移位、输出数据等。图 2 所示为 TAP 控制器状态图，左边为数据寄存器模块，右边为指令寄存器



器模块(图中数字为 TMS 信号)。

图 2 TAP 控制器状态图

TAP 控制器有 6 个稳定状态:测试逻辑复位(test logic reset)、测试运行/闲置(run test/idle)、数据寄存器移位(shift DR)、数据寄存器暂停(pause DR)、指令寄存器移位(shift IR)、指令寄存器暂停(pause IR)。当 TMS 为高电平时，经过 TCK 的五个上升沿，TAP 控制器将处于测试逻辑复位状态。需要扫描测试时，在 TMS 和 TCK 的控制下，TAP 退出复位状态，进入选择数据寄存器扫描（SDR-S）或选择指令寄存器扫描（SIR-S）状态。

2.2 指令寄存器

指令寄存器主要进行指令的译码，以确定操作目标和所需数据寄存器。指令的译码在 Capture-IR 和 Shift-IR 的控制下进行，在 Update-IR 模式下指令数据加载到指令输出端。若执行数据寄存器边界扫描测试,则指令寄存器负责提供地址和控制信号去选择某个特定的数据寄存器，也可以通过指令寄存器执行边界扫描测试。

2.3 数据寄存器

数据寄存器主要包括三种：边界扫描寄存器、器件识别寄存器和旁路寄存器。

●边界扫描寄存器主要由一系列置于集成电路的输入/输出端附近的边界扫描单元（BSC）构成。边界扫描单元首尾相接构成一个移位寄存器链，首端接 TDI，末端接 TDO，在 TCK 的控制下，从 TDI 输入的数据通过该链移动到 TDO，完成扫描。

边界扫描单元的主要作用是加载测试向量和捕捉测试响应，具体结构如图 3 所示：

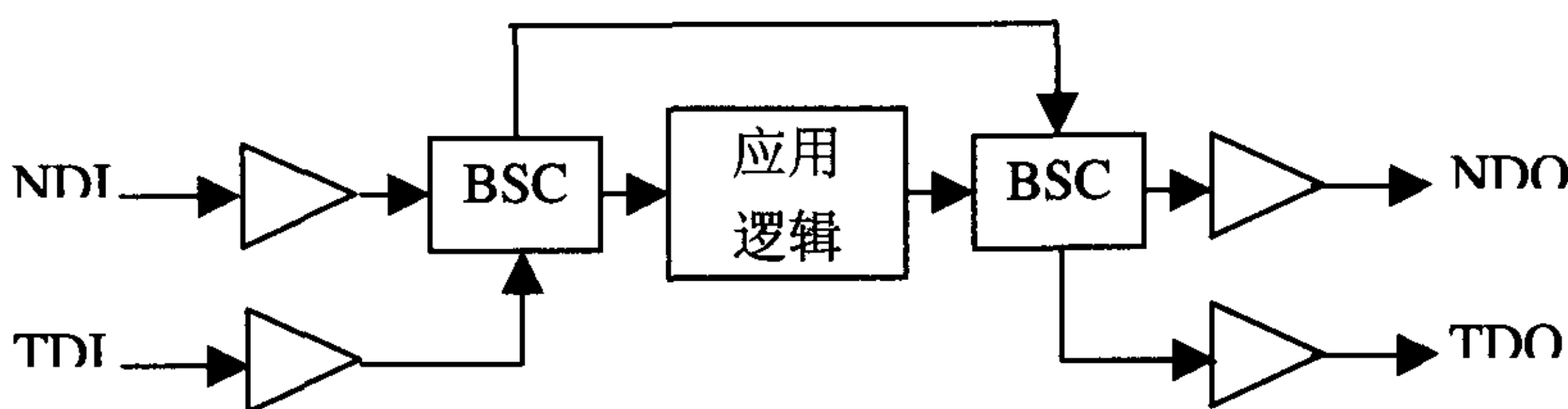


图 3 边界扫描单元 BSC 的连接示意图

BSC 有两个数据通道，一个是测试数据通道，测试数据输入 TDI，测试数据输出 TDO；另一个是正常数据通道，正常数据输入 NDI；正常数据输出 NDO。在正常工作状态，输入和输出数据可以自由通过每个 BSC，正常工作数据从 NDI 进入，从 NDO 输出；在测试状态，可以选择从 TDI 输入数据，从 TDO 输出数据进行分析。边界扫描的工作过程在 TAP 控制器控制下，由捕获、移位和更新 3 个步骤来完成：

- ① 捕获(Capture)——此时，数据或指令被并行地装入相应的寄存器。数据值可来自外部电路，也可来自器件自身；
- ② 移位(Shift)——将寄存器中的数据以串行方式移出 TDO 引脚，并将新的数据以串行方式移入 TDI 引脚；
- ③ 更新(Update)——在此阶段，寄存器中的数据被锁存到寄存器的并行输出端，与此同时，用新的数据或指令代替原来的数据或指令。

●器件识别寄存器有 32 位，其中 31~28 位是版本号 (Version)，27~12 位是器件序列号 (Part number)，11~1 位是厂商标志 (Manufacture identity)，0 位为 1。通过器件识别寄存器可以识别板上的元器件的生产商，还可以通过它来测试器件是否正确安装在 PCB 板上。器件识别寄存器和边界扫描寄存器可以使用相同的边界扫描单元。

●旁路寄存器只有 1 位，它提供了一条从 TDI 到 TDO 的最短通道，用来将不参与串行扫描的数据寄存器数据旁路掉，使不影响正常操作，减少不必要的扫描时间。

3 JTAG 在线编程

JTAG 技术的主要功能有：

- 测试集成电路本身，实现芯级测试；
- 测试印刷电路板上集成电路的互连，实现板级测试；
- 通过程序下载实现在线编程，并可对已有程序进行调试，并监测设备的运行。

在某型经纬仪自动检测系统中，我们采用了具有 JTAG 接口的 MSP430F149 单片机。MSP430 单片机是美国德州仪器公司推出的 16 位超低功耗单片机，内部预设了 JTAG 模块，使其具有完整的在线编程和调试能力。本文即以 MSP430 系列单片机为基础介绍如何通过 JTAG 接口实现在线编程和调试。

3.1 JTAG 接口宏命令

JTAG 接口宏命令是最基本的 JTAG 命令，通过 JTAG 接口，宏命令可以实现指令和数据的加载，测试数据的输出，完成对 MSP430 单片机的编程和调试，具体命令如下：

- IR_SHIFT——在 TCK 的上升沿将 8 位 JTAG 指令从 TDI 移入 JTAG 指令寄存器，最低位

- 先移入，同时在 TDO 输出 JTAG 的版本识别号（JTAG ID）；
- DR_SHIFT——在 TCK 的上升沿将 16 位数据从 TDI 移入 JTAG 数据寄存器，最高位先移入，同时在 TDO 输出该数据寄存器中最后一位被捕获并存储的值；
 - Delay——等待预设的时间，单位为 ms，在等待时间内所有信号保持原先状态不变；
 - SetTCLK——设置 TCLK 为 1（TCLK 是外部输入时钟），此时 TCK 和 TMS 维持其最后值不变；
 - ClrTCLK——设置 TCLK 为 0，此时 TCK 和 TMS 维持其最后值不变；
 - TDOvalue——保存最后移出 TDO 的值。

3.2 编程实例

在 Flash 编程中最常用的就是将指令和数据写入 Flash 存储器，此处介绍以宏命令方式实现该操作。在写入数据之前首先要对 JTAG 控制寄存器和 FLASH 控制寄存器进行设置，允许写入；然后设置写入地址，将数据写入，如果要重复写入则重复写入过程，否则 JTAG 控制寄存器和 FLASH 控制寄存器恢复初始状态。流程图如图 4 所示：

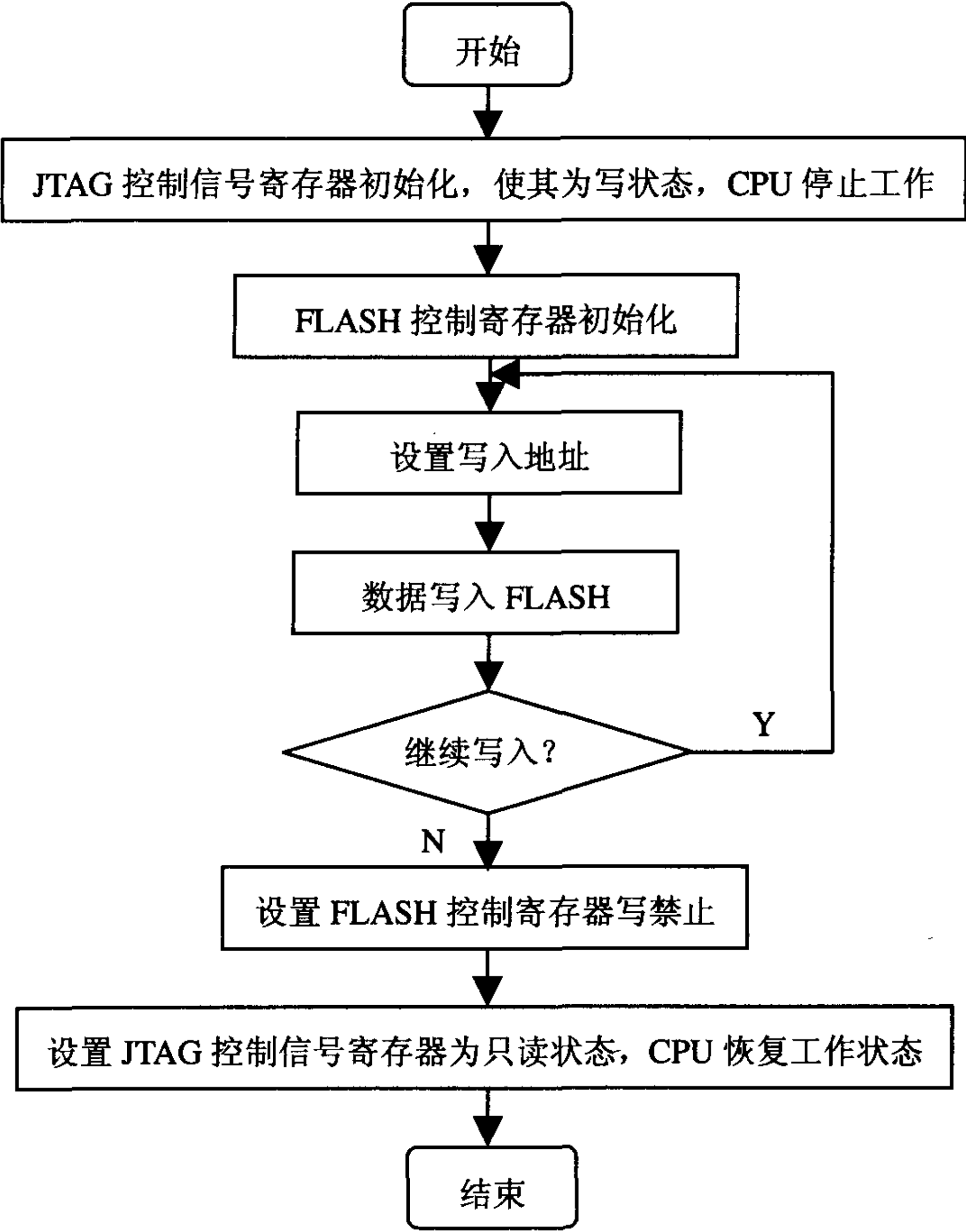


图 4 数据写入 FLASH 存储器流程图

其中，FLASH 控制寄存器包括 FCTL1、FCTL2 和 FCTL3，初始化程序如下：

IR_SHIFT(“IR_CNTRL_SIG_16BIT”)

DR_SHIFT16(0x2408)

:JTAG 控制寄存器允许写入

```
IR_SHIFT("IR_ADDR_16BIT")
DR_SHIFT16(0x0128)           :指向 FCTL1 地址
IR_SHIFT("IR_DATA_TO_ADDR")
DR_SHIFT16(0XA540)           :允许 FLASH 存储器段编程
SetTCLK
ClrTCLK
IR_SHIFT("IR_ADDR_16BIT")
DR_SHIFT16(0x012A)           :指向 FCTL2 地址
IR_SHIFT("IR_DATA_TO_ADDR")
DR_SHIFT16(0XA540)           :时钟源为 MCLK, 分频系数为 1
SetTCLK
ClrTCLK
IR_SHIFT("IR_ADDR_16BIT")
DR_SHIFT16(0x012C)           :指向 FCTL3 地址
IR_SHIFT("IR_DATA_TO_ADDR")
DR_SHIFT16(0XA500)           :FCTL3 控制寄存器清零
SetTCLK
ClrTCLK
数据写入程序为:
IR_SHIFT("IR_ADDR_16BIT")
DR_SHIFT16(0x4000)           :指向数据存储地址
IR_SHIFT("IR_DATA_TO_ADDR")
DR_SHIFT16("DATA")           :要写入的数据
SetTCLK
ClrTCLK
```

4 结论与展望

本文着重论述了 JTAG 的原理、结构,并举例介绍了其在 MSP430 在线编程和调试中的应用。JTAG 技术使产品的编程和测试变得更为迅速、方便,缩短了开发周期。随着 JTAG 技术的发展,其应用领域也会变得越来越广,包括在军事领域的应用。JTAG 技术的应用对于武器装备的快速检修具有重要意义,有必要在武器装备设计中进一步引入 JTAG 技术。

参 考 文 献

[1] IEEE Std 1149. 1-2001, IEEE Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture, IEEE, 2001. 6
[2] Markus Koesler, Franz Graf, Zack Albus, Programming a Flash-Based MSP430 Using the JTAG interface, SLAA149, TEXAS INSTRUMENTS, 2002. 9, 4-13
[3] 王孜等, 边界扫描测试技术. 半导体技术, 2002. 9, 17-20

作 者 简 介

张志利, 1966 年出生, 河南濮阳人, 教授, 博导, 系统仿真学会理事, 研究方向: 兵器发射系统仿真与自动检测
赵军阳, 1981 年出生, 浙江东阳人, 硕士研究生, 研究方向: 兵器发射系统仿真与自动检测