

CAN 总线在石油仪器组合导航系统中的应用

刘杰¹, 蒋幽君²

(1. 贵州航天凯山石油仪器有限公司, 贵阳 550000; 2. 河北华油一机抽油机有限公司, 河北 青县 062650)

摘要: 基于 DSP + FPGA 结构的石油仪器组合导航系统中 CAN 总线系统设计, 为了使数据能够在整个 CAN 总线网络协调、有效、快速、稳定的传输, 提出了一种使用 FPGA 作为 CAN 总线节点结构中的核心处理器的设计方法; CAN 控制器采用具有 SPI 接口的 MCP2515, 利用 FPGA 实现 MCP2515 的初始化、数据的发送和接收, 实现了 DSP 处理器的 CAN 总线扩展应用; 该方法由于把 CAN 节点控制的大量工作交给 FPGA 实现, DSP 只需要对 FPGA 中 CAN 数据接收 FIFO 和 CAN 数据发送 FIFO 进行读写操作, 即可完成 CAN 总线的读写操作, 大大减轻了 DSP 的数据处理压力; 试验测试及产品应用表明, 该设计有效、稳定可靠、可扩展性好, 易于修改和移植, 具有较强的工程实用价值。

关键词: CAN 总线; MCP2515; FPGA; DSP

Application of CAN bus in Petroleum Instrument Integrated Navigation System

Liu Jie¹, Jiang Youjun²

(1. Guizhou Aerospace Kai Shan Petroleum Instrument Co., Ltd. Guiyang 550000, China;

2. Hebei Huayouyiji pumping machine Co. Ltd. Qingxian 062650, China)

Abstract: In order to make the data to be coordinated, efficient, fast and stable in the whole CAN bus network, a design method of the core processor in the CAN bus node structure is proposed, which uses FPGA as the core processor in the design of CAN bus system in petroleum equipment integrated navigation system based on DSP + FPGA structure. Using the SPI interface with the MCP2515 as the CAN controller, and using FPGA to achieve the MCP2515 initialization, data transmission and reception, DSP processor CAN bus expansion is implemented. This method due to FPGA to control the amount of CAN node work, DSP only needs to read CAN data receive FIFO and write CAN data transmission FIFO, which can complete the CAN bus data read and write operations, greatly reducing the DSP data processing pressure. The test and product application show that the design is effective, stable, reliable, scalable, easy to modify and transplant, and has strong engineering and practical value.

Keywords: CAN bus; MCP2515; FPGA; DSP

0 引言

CAN (controller area network, 控制器局域网) 总线是一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通讯网络。由于其高性能、高可靠性、及独特的设计和适宜的价格而广泛应用于工业现场控制、智能楼宇、医疗器械、交通工具以及传感器等领域, 并已被公认为几种最有前途的现场总线之一。由于 CAN 总线的诸多优点, 它也广泛应用于导航、制导与控制等领域。本文就是基于 DSP + FPGA 结构的石油仪器组合导航系统中 CAN 总线系统设计, 提出了一种使用 FPGA 作为 CAN 总线节点结构中的核心处理器的设计方法。其中 DSP 芯片采用 TI 公司的 TMS320C6713B, FPGA 芯片采用 ACTEL 公司的 A3P1000, CAN 控制器采用具有 SPI 接口的 MCP2515, 利用 FPGA 实现 MCP2515 的初始化、数据的发送和接收, 实现了石油仪器组合导航系统中 DSP 处理器的 CAN 总线扩展应用。该方法由于把 CAN 节点控制的大量工作交给 FPGA 实现, DSP 只需要对 FPGA 中 CAN 数据接收 FIFO 和 CAN 数据发送 FIFO 进行读写操作, 即可完成 CAN 总线的读写操作, 大大减轻了 DSP 的数据处理压力。

1 CAN 总线概述

CAN 总线是目前国际上应用最广泛的现场总线之一。最早由德国 BOSCH 公司推出, 用于汽车内部测量与执行部件的数据通信, 其总线规范已被 ISO 定为国际标准, 被广泛应用于离散控制领域。其模型接口只有物理层、数据链路层和应用层。其信号传输为双绞线, 通讯距离 40 m 内, 通讯速率最高为 1 Mbit/s, 最多可挂设备为 110 个。CAN 信息帧传输可采用标准帧、扩展帧及远程帧结构, 支持点对点、一点对多点和全局广播方式接收和发送数据。CAN 的物理层及数据链路层采用独特的设计技术, 每帧数据都包含有 CRC 校验及其它校验措施, 数据出错率低, 总线节点在严重错误的情况下, 可自动切断与总线的通讯联系, 以使总线上的其它操作不受影响, 因此, CAN 总线在抗干扰、错误检测能力等方面性能超过其它总线。总之, CAN 总线具有结构简单、灵活性强、实时性好、可靠性高、成本低等优点。

2 CAN 总线总体设计

石油仪器组合导航系统中 CAN 总线网络底层传输协议采用 CAN2.0B 标准, 所有节点以 500 Kbit/s 总线位速率进行设置, 信息帧采用 CAN2.0B 规范的 29 位标识符 (仲裁域) 扩展帧格式, 数据域规定为 8 字节, 帧结构见图 1。其中, 29 位标识符 (仲裁域) 编码定义见图 2。

在 CAN 总线网络中, 有多个节点与石油仪器组合导航系

收稿日期: 2016-01-31; 修回日期: 2016-02-27。

作者简介: 刘杰 (1984-), 女, 山东省单县人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事电路、软件方向的研究。

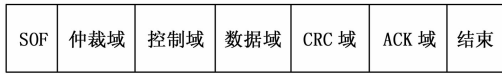


图 1 CAN 的帧结构

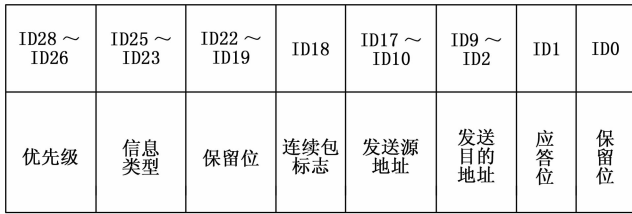


图 2 标识符编码定义

系统进行通讯交互, 每个节点分配一个地址。节点与石油仪器组合导航系统通讯的基本工作流程见图 3。

在工作期间, 部分节点向石油仪器组合导航系统周期性发送初始对准信息、二次对准信息、产品运行基本状态信息等。而且石油仪器组合导航系统按要求向多个节点周期性发送实时测量数据及信息, 如航向角、俯仰角、横滚角、航向角速度、俯仰角速度、横滚角速度、经纬度、航程等导航信息数据。因此, 石油仪器组合导航系统中 CAN 总线特点有: 多个节点交互, 数据量大; 实时性要求强; 工作时间长; 系统可靠性要求高等多方面。

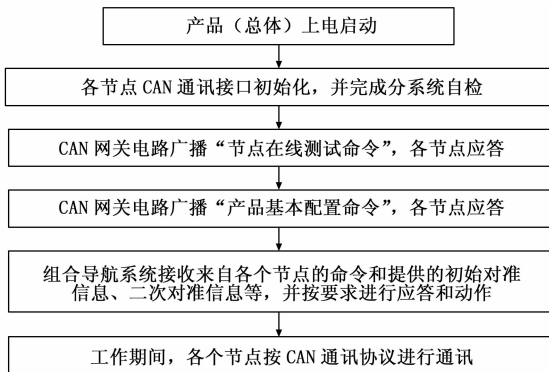


图 3 CAN 通讯基本工作流程

本文 CAN 总线系统设计选用 Microchip 公司的 MCP2515、TJA1050 作为 CAN 总线控制器和收发器, 使用 FPGA 作为 CAN 总线节点结构中的核心处理器, 利用 FPGA 实现 MCP2515 的初始化、数据的发送和接收。CAN 总线系统实现原理如图 4 所示。

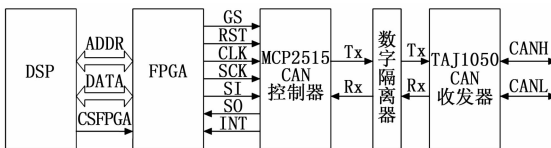


图 4 CAN 总线系统实现原理框图

3 CAN 总线硬件接口设计

3.1 MCP2515 应用

MCP2515 完全符合 CAN 总线的 2.0B 技术规范, 并带有符合工业标准的 SPI 接口。该器件能发送和接收标准帧、扩展帧以及远程帧, 带有 2 个验收屏蔽寄存器和 6 个验收滤波寄存

器, 可以过滤掉不要的报文, 减少了主控开销。与传统的控制器比较, MCP2515 具有灵活的中断能力、帧屏蔽和过滤、帧优先级设定、高数据吞吐率、价格便宜等优点, 所以在石油仪器组合导航系统中采用它作为 CAN 总线控制器。

3.2 FPGA 与 MCP2515 接口设计

FPGA 与 MCP2515 的接口设计如图 4 所示, FPGA 的 I/O 管脚与 MCP2515 管脚相连。其中 MCP2515 的复位管脚 RST、片选管脚 CS 直接由 FPGA 的 I/O 管脚控制。MCP2515 的 CLK 信号为 CAN 总线数据发送和接收同步时钟信号, 由 FPGA 内部分频提供 8MHz 时钟信号。MCP2515 的 SCK 信号作为 SPI 接口同步时钟信号, 由 FPGA 内部分频产生 1MHz 时钟信号, 在 SCK 时钟上升沿时, 命令和数据通过 SI 管脚送入 MCP2515, 在 SCK 时钟下降沿时通过 SO 管脚把数据从 MCP2515 中读出。FPGA 通过 SI 信号线读取 MCP2515 接收缓冲器里的数据, 通过 SO 信号线把待发送的数据写入 MCP2515 的发送缓冲器, 然后再调用发送请求命令, MCP2515 即可将数据发送到 CAN 总线上。FPGA 通过标准 SPI 读写指令, 对 MCP2515 寄存器进行读写操作, 完成系统 CAN 总线的收发, 最终实现系统 CAN 总线的通讯。MCP2515 的 SPI 指令集有复位指令、读指令、读 RX 缓冲器指令、写指令、装载 TX 缓冲器指令、请求发送指令、读状态指令、RX 状态指令和位修改指令等 9 条指令。

3.3 MCP2515 与 TAJ1050 接口设计

本系统选用 MCP2515 芯片作为 CAN 控制器, TJA1050 芯片作为总线收发器。CAN 总线接口硬件电路图见图 5。

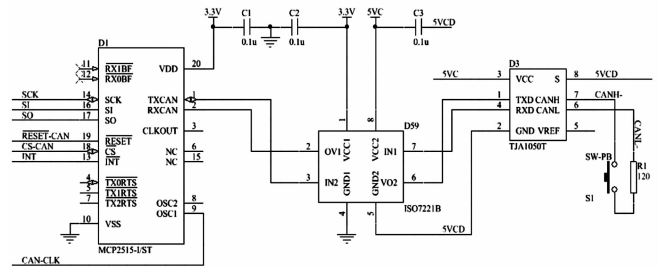


图 5 CAN 总线接口硬件电路图

TJA1050 芯片作为 CAN 收发器, 它是 CAN 控制器和物理总线之间的接口。它的功能如下: 将 CAN 控制器的信号转换成差分信号送到总线上; 将 CAN 总线上的差分信号转换成 CAN 控制器能够识别的电平; 增强总线的驱动能力, 从而增加 CAN 总线的通讯距离并使得在一条总线上可以挂载更多的节点。在 MCP2515 和 TJA1050 之间增加 ISO7221 高速数字隔离器, 使 CAN 节点之间在电气上完全隔离和独立, 采用两个独立电源供电, 进一步使其电源完全隔离。在 CAN 总线的两端各增加一个 120 Ω 的电阻, 能有效提高数据通讯抗干扰性和可靠性。

4 软件设计

4.1 FPGA 软件设计

FPGA 作为 CAN 总线节点的控制单元, 主要有两方面功能。一方面检测 DSP 的地址总线、数据总线、控制总线, 对 DSP 发出的指令进行响应; 另一方面通过 SPI 指令对 MCP2515 进行控制, 从而控制 CAN 总线的工作方式和工作状态, 进行数

数据的发送和接收。本文主要介绍 FPGA 对 MCP2515 的程序设计，包括对 MCP2515 寄存器的读写操作、数据发送和数据接收。在 FPGA 软件设计开发中，利用 Verilog HDL 语言编程^[1]，采用状态机完成时序逻辑设计，分别包括初始化状态、空闲状态、寄存器读写状态、数据接收状态、数据发送状态。

4.1.1 寄存器的读写操作

MCP2515 寄存器读写指令分别如图 6、图 7^[2]所示。FPGA 程序中生成两个 512×8 位的 FIFO^[3]，分别为 CAN 数据接收 FIFO 和 CAN 数据发送 FIFO。图 6、图 7 中 CS、SCK、SI 管脚信号由 FPGA 程序产生，SO 管脚信号由 MCP2515 产生，由 FPGA 检测。

当 FPGA 检测到 DSP 的读 MCP2515 寄存器指令时，首先把读指令字节 (03h)、寄存器地址字节 (XXh)，按 BIT 位从高位到低位的顺序在 SI 管脚上依次发出，然后检测 SO 管脚电平，读出 SO 管脚输出的 8 个 BIT 位，组成一个字节，存入 FPGA 的 CAN 数据接收 FIFO。

当 FPGA 检测到 DSP 的写 MCP2515 寄存器指令时，首先把 DSP 发出的写寄存器指令字节 (02h)、寄存器地址字节 (XXh)、寄存器数据字节 (XXh) 存入 FPGA 的 CAN 数据发送 FIFO，然后把 CAN 数据发送 FIFO 中的字节数据，按 BIT 位从高位到低位的顺序在 SI 管脚上依次发出。

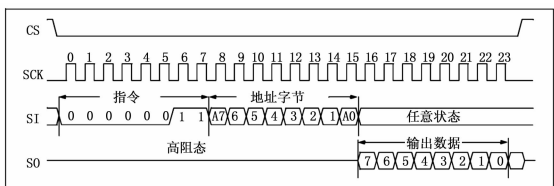


图 6 MCP2515 寄存器读指令

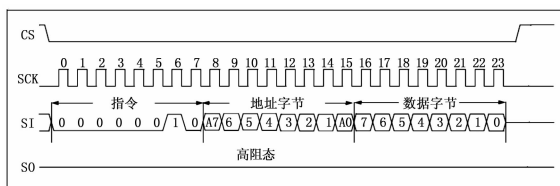


图 7 MCP2515 寄存器写指令

4.1.2 数据发送

当 FPGA 检测到 DSP 的 CAN 总线发送数据时，首先 FPGA 把 DSP 发出的写发送缓冲器指令字节 (02h)、发送缓冲器地址字节 (36h)、发送缓冲器数据字节 (XXh)，请求发送报文字节 (81h) 写入 FPGA 的 CAN 数据发送 FIFO 中，然后把 CAN 数据发送 FIFO 中的字节数据，按 BIT 位从高位到低位的顺序在 SI 管脚上依次发出。

4.1.3 数据接收

FPGA 接收 MCP2515 接收缓冲器中的数据可采用查询方式或中断方式。在某一段时间内，CAN 总线并不是总在活动，为了提高效率，文中采用中断方式。在初始化程序中必须使能接收中断，设置 CANINTE—中断使能寄存器 (地址：2Bh) 的值为 03h，接收缓冲器 0 满中断使能以及接收缓冲器 1 满中断使能。当 FPGA 收到 MCP2515 的 INT 信号时，读取 CAN-INTF—中断标志寄存器 (地址：2Ch)。

判断中断标志寄存器的最后两位数据，如果为 01h，则表

示接收缓冲器 0 有待处理的中断，那么读取 RXB0SIDL—接收缓冲器 0 标准标识符低位 (地址：62h)，读取 RXB0EID8—接收缓冲器 0 扩展标识符高位 (地址：63h)，分别存入 FPGA 的 CAN 数据接收 FIFO 中；然后读取 RxB0DM—接收缓冲器 0 的 8 个数据字段字节 (地址：66h~6Dh)，分别存入 FPGA 的 CAN 数据接收 FIFO 中。

判断中断标志寄存器的最后两位数据，如果为 10h，则表示接收缓冲器 1 有待处理的中断，那么读取 RXB1SIDL—接收缓冲器 1 标准标识符低位 (地址：72h)，读取 RXB1EID8—接收缓冲器 1 扩展标识符高位 (地址：73h)，分别存入 FPGA 的 CAN 数据接收 FIFO 中；然后读取 RxB1DM—接收缓冲器 1 的 8 个数据字段字节 (地址：76h~7Dh)，分别存入 FPGA 的 CAN 数据接收 FIFO 中。

最后清空中断标志寄存器，等待下一个 INT 中断并进行处理。FPGA 的 CAN 数据接收 FIFO 等待 DSP 进行查询接收。其数据流程如图 8 所示。

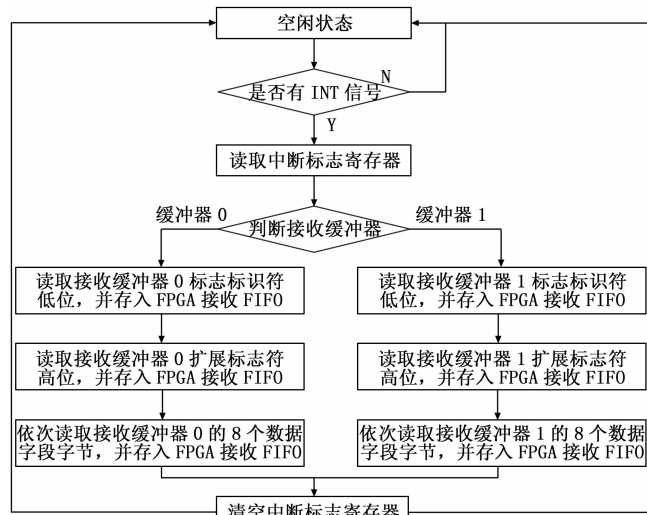


图 8 FPGA 数据接收流程图

4.2 DSP 软件设计

DSP 芯片采用 TI 公司的 TMS320C6713B^[4]，DSP 软件采用 C 语言进行开发^[5]。DSP 对 MCP2515 初始化配置以及 CAN 数据的发送，只需要通过 DSP 的 EMIF 接口、DSP 和 FPGA 相连的数据总线、地址总线、FPGA 片选线，按 DPS 和 FPGA 约定的协议，把数据发送给 FPGA 即可，由 FPGA 内部时序逻辑电路完成针对 MCP2515 的后续工作。DSP 接收 CAN 数据时，需要查询 FPGA 的 CAN 数据接收 FIFO 深度，读取 CAN 数据接收 FIFO 中的数据并进行解析、应答。

4.2.1 MCP2515 初始化配置

石油仪器组合导航系统上电后，要对 MCP2515 进行复位操作，以便 MCP2515 的逻辑和寄存器能够恢复到默认状态；然后对 MCP2515 进行初始化配置，包括设置通信速率及总线信号采样的时间片，设置发送缓冲器、设置接收缓冲器、设置屏蔽滤波器和验收滤波器以及设置中断模式等。

4.2.2 数据的接收、解析、应答或发送

DSP 软件在中断处理函数中，首先查询 FPGA 的 CAN 数据接收 FIFO 深度，如果 FIFO 深度大于 10 个字节，然后读取 10 个字节进行解析，前 2 个字节为数据来源地址，后 8 个字

节为 CAN 报文数据域字节, 根据 CAN 通讯协议, 对数据字节进行解析、应答或发送。

5 试验结果及分析

试验过程中, 产品测试台硬件系统安装周立功 CAN 板块, 软件系统安装 ZLGCANTest—PCI9820I 测试软件。利用测试台模拟 CAN 总线的节点, 根据 CAN 通信协议, 与产品进行 CAN 通信交互, 功能测试正常。另外, 在产品应用中, 通过高低温测试、长时间测试, 其 CAN 通信性能稳定、可靠。

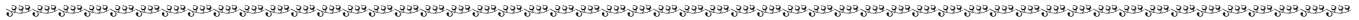
6 结论

综上所述, 基于 DSP + FPGA 结构的石油仪器组合导航系统中 CAN 总线系统设计, 提出了一种使用 FPGA 作为 CAN 总线节点结构中的核心处理器的设计方法。CAN 控制器采用具有 SPI 接口的 MCP2515, 利用 FPGA 实现 MCP2515 的初始化、数据的发送和接收, 实现了石油仪器组合导航系统中 DSP 处理器的 CAN 总线扩展应用。该方法由于把 CAN 节点

控制的大量工作交给 FPGA 实现, DSP 只需要对 FPGA 中 CAN 数据接收 FIFO 和 CAN 数据发送 FIFO 进行读写操作, 即可完成 CAN 总线的的数据读写操作, 大大减轻了 DSP 的数据处理压力。实际应用及测试表明, 本设计有效、稳定可靠、可扩展性好, 易于修改和移植, 具有较强的工程实用价值。

参考文献:

[1] 夏宇闻. Verilog 数字系统设计教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.
 [2] MICROCHIP 公司. MCP2515 使用手册 [Z]. 2014.
 [3] ACTEL 公司. ProASIC 3 Flash Family FPGAs 使用手册 [Z]. 2014.
 [4] 三恒科技. TMS320C6713 DSP 原理与应用实例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
 [5] 国防科学技术大学. FT—C6713J/250 军用 DSP 产品使用手册 [M]. 长沙: FT—C6713J/250 军用 DSP 产品使用手册出版社, 2012.



(上接第 173 页)

节也好于标准 FCM 的分割结果。在第二组中添加高斯噪声, 通过 (e)、(f) 可以看出, 标准 FCM 方法分割结果中残留较多噪声, 图像局部分割受影响, 分割效果不理想; 而本文算法利用自适应滤波, 去除大部分噪声, 虽然仍有噪声残留, 但是目标分割效果明显优于标准 FCM 分割效果。第三组中添加更程度的噪声, 在 (h) 中不仅有较多噪声点, 而且鱼儿头部和尾部与背景中的珊瑚几乎无法区分; 而在 (i) 中, 由于自适应滤波器根据噪声调整滤波性能, 所以图像中几乎没有噪声残留下来, 改进自适应粒子群算法避免搜索陷入局部最优, 使分割结果中较好的保留了鱼儿的细节。通过对 (d)、(i) 两组两组实验结果的比较可以看出, 本文算法对不同噪声有较好鲁棒性。

本文引入划分系数 V_{pc} 、划分熵 V_{pe} 作为评价指标^[9], 定量评价算法分割图像的效果和速度。 V_{pc} 、 V_{pe} 分别表示聚类程度和聚类结构, V_{pc} 越大、 V_{pe} 越小表明分割效果越好。本文中时间计算选择 10 次分割结果的平均值, 比较结果如表 1 所示。

表 1 二种方法评价指标对比表组别

组别	尺寸及噪声	算法	V_{pc}	V_{pe}	运行时间
1	256x256	标准 FCM	0.813 4	0.311 2	0.937
	无	本文算法	0.844 7	0.260 4	1.573
2	321x481	标准 FCM	0.774 9	0.305 5	1.706
	有	本文算法	0.832 8	0.274 5	1.700
3	521x512	标准 FCM	0.724 1	0.350 2	3.236
	有	本文算法	0.857 3	0.271 8	1.77 6

从表 1 三组实验中可以看出, 随着图像尺寸增大, 标准 FCM 算法的运行时间明显增大。本文算法由于采用直方图优化和粒子群寻优, 对于尺寸较小的图像本算法的时间优势不明显, 对于尺寸小于 256×256 的图像运行时间会明显多于标准 FCM 算法, 但是对于尺寸较大的图像本文算法运行时间明显由于标准 FCM 算法。从分割效果的评价指标看出, 本文算法对噪声抑制明显优于标准 FCM 图像分割算法。

5 结论

本文利用一种新的改进粒子群优化算法和自适应滤波对基于传统模糊聚类图像分割算法进行改进, 有效改善标准 FCM 图像分割算法的对噪声敏感、计算量大及依赖初始聚类中心的缺陷。该算法首先采用自适应中值滤波根据噪声类型和强度调整滤波性能, 增强对噪声的抑制能力; 然后, 将图像像素灰度征映射到二维直方图特征空间, 减少样本数量, 降低运算量, 提高图像分割效率。最后, 利用一种新的改进粒子群优化算法搜索全局最优聚类中心, 增强全局搜索能力和精度, 有效改善了标准 C 均值模糊聚类算法对初始聚类中心依赖, 易于陷入局部最优的缺陷。实验结果验证了本文算法在分割精度和收敛速度方面比标准 FCM 图像分割算法具有显著优越性。

参考文献:

[1] 何 俊, 葛 红, 王玉峰. 图像分割算法研究综述 [J]. 计算机工程与科学, 2009, 31 (12) 58—61.
 [2] 董 倩, 改进遗传算法优化模糊均值聚类中心的图像分割 [J]. 吉林大学学报, 2015, 53 (4): 680—686.
 [3] 杨润玲, 高新波. 基于加权模糊 C 均值聚类的快速图像自动分割算法 [J]. 中国图像图形学报, 2007, 12 (12): 2105—2112.
 [4] 靳 璐, 付梦印. 基于遗传模糊核聚类的图像分割 [J]. 模式识别与人工智能, 2013, 26 (2): 205—210.
 [5] Shi Y, Eberhart R C. A modified swarm optimize [A]. IEEE International Conference of Evolutionary Computation [C]. Anchorage, Alaska: IEEE Press, May, 1998.
 [6] 吕振肃, 候志荣. 自适应变异的粒子群优化算法 [J]. 电子学报, 2004, 32 (3): 416—420.
 [7] 陈基滨. 粒子群算法多样性控制方法研究 [J]. 微电子学与计算机, 2013, 30 (6) 6—9.
 [8] 王建华, 王春平, 贾洪涛. 自适应中值滤波器在图像降噪技术中的应用 [J]. 测控技术, 2004, 23 (5): 54—56.
 [9] 路杉杉, 贾振红, 何 迪, 等. 基于新的遗传算法的模糊 C 均值聚类用于遥感图像分割 [J]. 激光杂志, 2010, 31 (6): 15—17.