

# 基于 CAN 总线的船舶智能温度采集系统的设计与实现

白艳祥, 牟鑫, 曾鸿, 张均东, 任光

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:** 设计基于双冗余 CAN 现场总线的船舶机舱温度分布式数据采集与监控系统, 以 STM32F107VCT6 处理器为控制核心, 采用热电偶信号调理专用芯片 LT1025 设计智能温度采集模块的方法; 实际应用中每种类型的热电偶信号处理机制不同, 该设计可以实现单通道可采集处理多种类型热电偶信号; 利用 Visual C# 编程语言完成了机舱温度监控软件的开发, 制定了通信协议实现下位机与服务器之间的通信; 结果表明, 该系统具有多通道、精度高、成本低、测温范围宽及操作简单等优点。

**关键词:** 双 CAN 总线; 热电偶; PT100; 冷端补偿; Visual C#

## Design and Realization of Intelligent Temperature Sampling System for Ship Based on CAN

Bai Yanxiang, Mu Xin, Zeng Hong, Zhang Jundong, Ren Guang

(College of Marine Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract:** This paper designs distributed temperature data acquisition and monitoring system of ship engine room based on CAN bus. The STM32F107VCT6 Microcontroller serves as the main control core. This paper uses the Thermocouple signal conditioning special chip LT1025. Since each type thermocouple's signal processing mechanism is different in the practical application, this design can achieve the function that single channel can process various types of thermocouple signal. This paper uses Visual C# to construct the software of the temperature monitoring, develops a communication protocol to implement the communication between lower computer and the server. The experiments show that the acquisition-board has the merits of multi-channel switch, high-accuracy, low cost, wide metrical range of temperature, simple operation, etc.

**Keywords:** double CAN bus; thermocouple; PT100; cold junction compensation; Visual C#

## 0 引言

温度是船舶机舱中十分重要的物理量参数, 在船舶机舱自动化测量控制领域, 温度参数的检测对自动化控制过程有着重要的影响。例如船舶主、辅机缸套冷却水温度, 主机排烟温度等一系列的油、水、气、汽的温度对船舶机械设备的正常运转都有重要的影响。船舶机舱温度采集点分布于机舱各个地方, 距离远, 广泛使用 PT100 和热电偶。热电偶测温需要进行冷端补偿、电压放大和线性化等复杂的处理过程, 难以满足现场总线测控的发展需要<sup>[1]</sup>。本文基于 CAN 现场总线和热电偶专用调理芯片 LT1025 设计出的船舶机舱温度采集模块, 很好地解决了上述热电偶测温中存在的几个问题<sup>[2]</sup>。

## 1 系统的设计目标和总体结构

### 1.1 系统的设计目标

本模块在现场中可以直接对机舱各个温度测量点进行温度数据采集与相关的控制, 保证了温度采集模块与上层控制服务器软件之间快速可靠地传递信息。本装置具有存储历史温度数据的功能, 且能通过服务器软件进行远程查询, 具有报警的功能, 操作人员可以通过服务器软件远程设置报警上下限的值。

当温度低于报警下限或高于报警上限时发出声光报警, 提示操作人员进行相应的处理。

### 1.2 系统的总体结构

如图 1 所示, 系统主要包括微处理器控制模块、热电偶输入类型选择模块、温度数据采集模块、温度数据输出模块及通信模块 5 大部分。

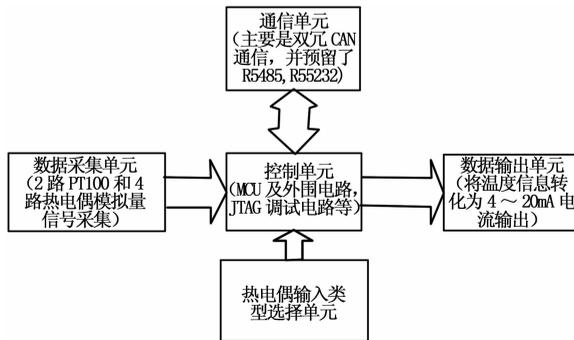


图 1 系统功能单元结构框图

控制单元选用基于 ARM Cortex™ - M3 内核的 STM32F107VCT6 处理器<sup>[3]</sup>, 主要负责对整个系统的控制, 完成对温度数据采集单元、温度数据输出显示单元、通信单元等模块的控制任务。控制单元接收采集的信号 (包括 PT100 的 4~20 mA 标准电流信号、热电偶电压信号), 经过相关的

收稿日期: 2013-11-26; 修回日期: 2014-03-21。

作者简介: 白艳祥(1989-), 男, 河北人, 硕士研究生, 主要从事轮机自动化与智能化方向的研究。

处理, 通过 CAN 总线将数据传递到服务器。同时服务器也能给本模块发送控制信息, 控制单元处理该信息, 并根据指令对温度采集模块进行报警信息设置等。由于每种类型热电偶的冷端补偿机制不同, 此模块可以实现单通道便可采集处理不同类型的热电偶信号。本系统通过旋转编码开关可以设置采集的热电偶类型, 适用性较强。

## 2 系统的硬件设计

### 2.1 电源电路

本模块采用直流 24 V 稳压电源供电。为了降低噪声和系统的电源出错几率, 模拟电源与数字电源、模拟地与数字地采用贴片磁珠(将数字电源的高频噪声隔离)进行隔离。电路中设置了绿色的电源指示灯, 用于上电状态指示。

### 2.2 E<sup>2</sup>PROM 存储电路

本系统需要一个 E<sup>2</sup>PROM 存储器用于保存模块的配置信息和历史温度数据, 板卡 ID 号存储在 0x0001 位置, 报警上限信息存储在 0x0003—0x0004, 报警下限信息存储在 0x0005—0x0006。温度数据从地址 0x0010 开始存储, 暂时存储 240 组数据, 每组数据中时间占 2 个字节, 温度值占 2 个字节。本设计选择 Atmel 公司的 AT24C256 存储器芯片, 该芯片容量为 256 K, 对于配置信息和历史温度数据来说容量足够大, 并且该芯片接口简单, 采用 I<sup>2</sup>C 串行通信方式节省端口资源。

### 2.3 信号调理电路

#### 2.3.1 PT100 模拟量输入调理电路

本系统采集的模拟量信号是 PT100 的 4~20 mA 电流信号和热电偶的电压信号, 而 STM32F107VCT6 处理器内嵌的 AD 转换器的工作电压是 +3.3 V, AD 电路被测输入电压信号的安全电压必须小于 AD 转换器的工作电压, 否则测量将不准确。所以必须对输入的电压信号进行调理, 使输入电压信号范围在 AD 转换的测量范围内<sup>[4]</sup>。PT100 模拟量输入部分原理图如图 2 所示。4~20 mA 电流输入信号 AI 首先经过一个 50 Ω 的精密电阻, 使电流信号转换为相应的电压信号。AI 电流流过精密电阻的另一端是运算放大器, 其内阻无穷大, 可以认为电流全部通过了精密电阻。经过精密电阻后使 AI 电流转换为 50AI 的电压信号, 之后经过同相放大器和一个电压跟随器, 最后输入到了微处理器的 AD 转换单元。

运算放大器的反馈电阻采用的是数字电位器 TPL0102—100, 它是一个双通道、线性变化的数字电位器, 拥有 256 个抽头位置, 可以用来作为一个三端的电位计或作为两个终端的变阻器。TPL0102—100 的端至端电阻为 100 kΩ, 采用 I<sup>2</sup>C 串行通信, 通过软件调节其阻值的大小, 将信号调理至 AD 转换

的精确测量范围内。

#### 2.3.2 热电偶模拟量输入调理电路

本单元使用 LINEAR 公司生产的低功耗热电偶冷端补偿专用集成芯片 LT1025, 可用于 E、J、K、R、S 和 T 型热电偶的冷端补偿, 工作电压为 4~36 V, 工作电流只有 80 μA, 温度补偿准确度高达 0.5 °C, 准确输出 10 mV/°C。其内部集成特殊的非线性校正电

路, 具有较高的补偿准确度。LT1025 为各种型号的热电偶提供 4 路不同的输出, 60.9 μV/°C (E 类), 51.7 μV/°C (J 类), 40.3 μV/°C (K, T 类) 和 5.95 μV/°C (R, S 类)<sup>[5]</sup>。用于热电偶的运算放大器必须具有低失调电压和温度漂移的特点, 如果使用输入滤波器, 还必须具有相当低的偏置电流, 本装置采用了极性运算放大器 LTK001<sup>[6]</sup>。热电偶输入的电压信号正端直接接入放大电路, 反馈电阻同样使用数字电位器 TPL0102—100, 故放大倍数通过软件可调。负端从四通道模拟多路复用器 SN74LV4052AT 的公共端引脚 1—COM 输入, 多路复用器选择输出通道后接入到热电偶冷端补偿器 LT1025 进行相应的冷端的补偿。具体过程为: 编码开关不同位置即 PE9、PE10、PE11 三个引脚不同电平对应的热电偶输入类型提前已经规定好, 如表 1 所示。当旋转编码开关时, PE9、PE10、PE11 三个引脚分别对应不同的高低电平, 4 通道模拟多路复用器也就对应不同的输出, 处理器通过查询此三个引脚的高低电平判断热电偶类型, 然后通过 I<sup>2</sup>C 总线将数据写入数字电位器改变反馈电阻的大小, 设置放大器的放大倍数为相应热电偶类型所需要放大倍数。

表 1 热电偶类型与编码开关对应关系

编码开关位置	PE9 电平	PE10 电平	PE11 电平	热电偶类型
0	L	L	L	E 型
1	H	L	L	T 型
2	L	H	L	K 型
3	H	H	L	J 型

现以 E 型热电偶为例, 当要采集 E 型热电偶信号时, 把编码开关旋至 0 位置即 PE9、PE10、PE11 三个引脚都为低电平, 多路复用器的 A、B、INH 三个为低电平, 信号便从 1Y0 引脚输出直接接入到 LT1025 的 E 型输入引脚, 对 E 型热电偶进行冷端补偿。另一方面, STM32F107VCT6 处理器通过查询 PE9、PE10、PE11 三个引脚都为低电平判断要采集处理的是 E 型热电偶信号, 并通过 I<sup>2</sup>C 总线输出数据给数字电位器,

改变放大器反馈电阻, 使放大器的放大倍数对应 E 型热电偶信号所需的放大倍数, 将信号调理至 AD 转换的精确测量范围内。

### 2.4 双冗余 CAN 通信电路

本系统采用的处理器 STM32F107VCT6 自带两路 CAN 总线接口, 内部集成了 CAN 控制器, 包括 CAN 验收滤波器、接受/发送缓冲器, 支持 CAN 协议 2.0A 和 2.0B。本系统采用 CAN 协议 2.0B 的 29 位的扩展帧格式。CAN 收发器采用 PCA82C250T 芯片, 它是符合国际标准的 CAN 控制器和物理总线之间的接口, 速度高达 1 Mbps, 在船舶系统中能够

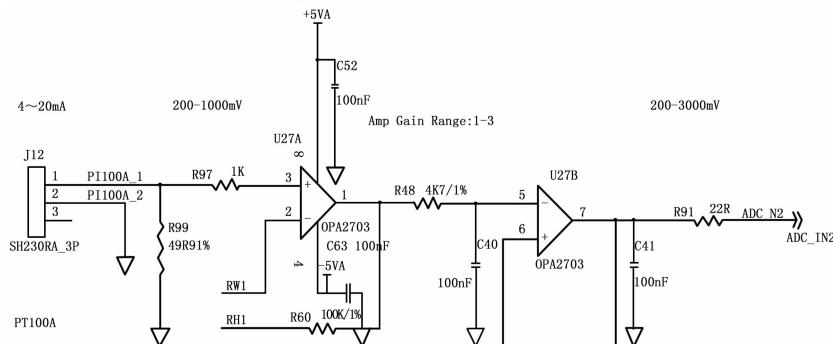


图 2 PT100 模拟量输入部分原理图

快速的响应发送和接收信号。本系统采用的是双冗余 CAN 通信，当一路 CAN 通信接口出现故障时，会自动启用另一路 CAN 通信接口。

为了提高系统的稳定性和可靠性，实现总线上各 CAN 节点间的信号隔离，从 STM32F107VCT6 过来的 TX 和 RX 信号没有与 CAN 收发器 PCA82C250T 直接相连，而是通过高速光耦 6N137 后与 PCA82C250T 相连，光耦前后两个电源也采用了隔离方式。CAN 总线物理层的信号经过瞬态抑制二极管与地连接进行瞬态过压保护，CAN 收发器后级输出 CANH 和 CANL 物理层信号之间的 120 Ω 的终端电阻能有效的抑制信号反射<sup>[7]</sup>。

### 3 系统的软件设计

#### 3.1 主程序的设计

系统主程序流程图如图 3 所示。

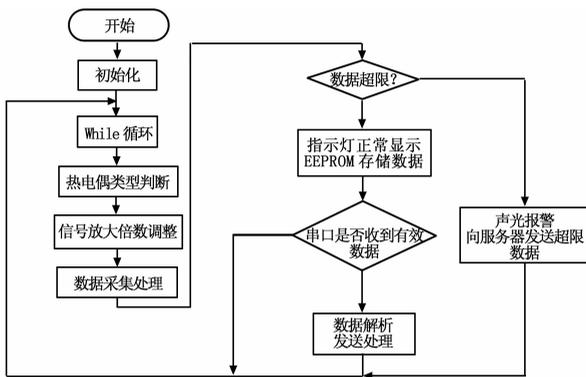


图 3 系统流程图

系统上电后系统初始化，主要指对硬件 GPIO、I<sup>2</sup>C、AD 转换、DA 转换、CAN 通信、中断等初始化，同时也完成默认的温度报警上、下限的值的设置。然后进入系统循环，判断要采集的热电偶类型，然后调整相应放大倍数，并判断采集到的温度数据是否超限，如果超限则发出声光报警，就进入 CAN 中断将报警信息发送到服务器。温度数据的上传主要是靠服务器的查询命令来进行的，如图 4 所示。

#### 3.2 CAN 模块程序设计

本装置 CAN 模块通信程序除了在报警时向服务器发送报警信息之外，主要是对接收到的服务器命令进行判断处理。当收到的是参数设置命令时，调用相应的设置处理程序修改参数值并通过双冗余 CAN 将设置成功与否的信息返回给服务器。当收到的是查询命令时，调用相应的查询处理程序将温度数据或者其它参数值同样依靠通过双冗余 CAN 发送到服务器。下位机与服务器之间的 CAN 通信主要是在 CAN 中断服务函数实现的。其程序流程如图 4 所示。

CAN 接收数据函数和发送数据函数分别在 CAN 通信中用于从服务器接收数据和给服务器发送数据。这两个函数的处理机制是相同的，都是对接收数据缓存区或者发送数据缓存区进行数据的读写操作，故在此只对 CAN 接收数据函数进行讨论。

根据 STM32F107VCT6 芯片手册上 CAN 数据接收流程，编写了 CAN 接收数据函数。该函数通过对接收数据缓存区的有效读取，把从服务器接收到的数据信息存储在定义的缓存区

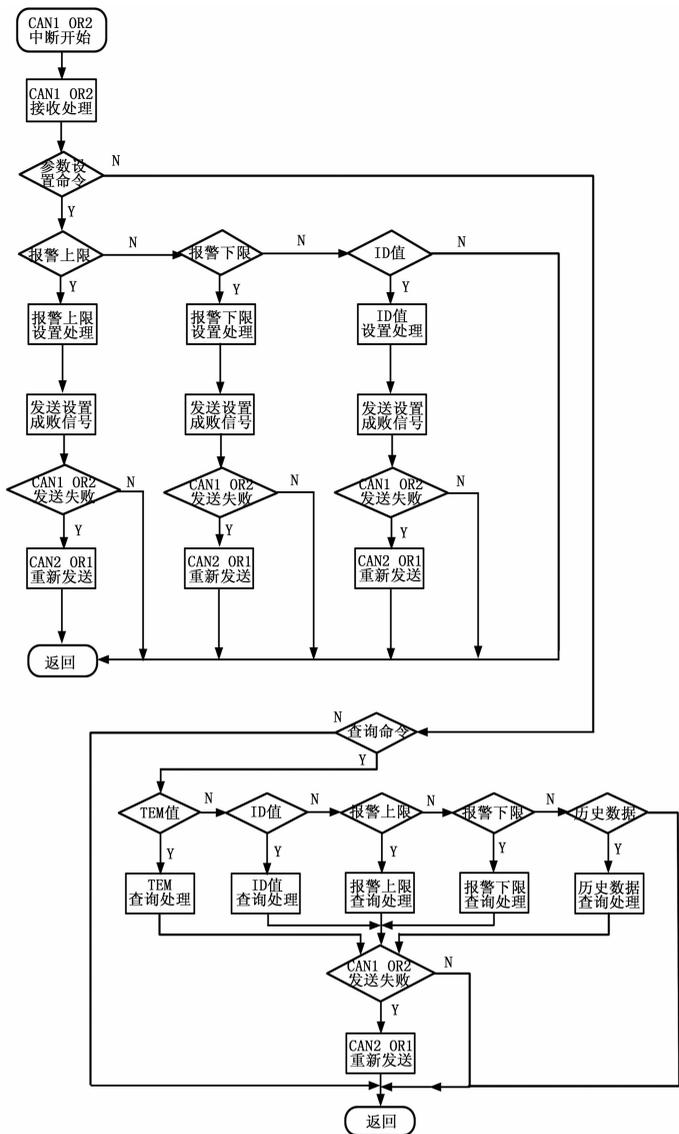


图 4 CAN 通信程序流程图

RxMessage 中。这样其他程序模块就可以通过读取缓存区 RxMessage 中的数据进行相关的操作。程序代码如下所示：  
void CAN\_Receive(CAN\_TypeDef \* CANx, uint8\_t FIFONumber, CanRxMsg \* RxMessage)

```

{
    assert_param(IS_CAN_ALL_PERIPH(CANx));
    assert_param(IS_CAN_FIFO(FIFONumber));
    RxMessage->IDE = (uint8_t)0x04 & CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber].RIR;
    if (RxMessage->IDE == CAN_ID_STD)
    {
        RxMessage->StdId = (uint32_t)0x000007FF & (CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber].RIR >> 21);
    }
    else
    {
        RxMessage->ExtId = (uint32_t)0x1FFFFFFF & (CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber].RIR >> 3);
    }
    RxMessage->RTR = (uint8_t)0x02 & CANx->sFIFOMailBox

```

[FIFONumber]. RIR;

```
RxMessage->DLC = (uint8_t)0x0F &. CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber]. RDTR;
```

```
RxMessage->FMI = (uint8_t)0xFF &. (CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber]. RDTR >> 8);
```

```
RxMessage->Data[0] = (uint8_t)0xFF &. CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber]. RDLR;
```

```
RxMessage->Data[1] = (uint8_t)0xFF &. (CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber]. RDLR >> 8);
```

```
RxMessage->Data[2] = (uint8_t)0xFF &. (CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber]. RDLR >> 16);
```

```
RxMessage->Data[3] = (uint8_t)0xFF &. (CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber]. RDLR >> 24);
```

```
RxMessage->Data[4] = (uint8_t)0xFF &. CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber]. RDHR;
```

```
RxMessage->Data[5] = (uint8_t)0xFF &. (CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber]. RDHR >> 8);
```

```
RxMessage->Data[6] = (uint8_t)0xFF &. (CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber]. RDHR >> 16);
```

```
RxMessage->Data[7] = (uint8_t)0xFF &. (CANx->sFIFOMailBox[FIFONumber]. RDHR >> 24);
```

```
CAN_FIFORelease(CANx, FIFONumber); }
```

## 4 上层服务器监控软件的设计

本文中的上层服务器软件即机舱温度信号监控软件以 Windows XP 作为操作系统, 在 .Net Framework 开发环境下, 利用 Visual C# 编程语言面向对象 (OPP) 的程序设计方法进行设计。机舱温度信号监控软件以面向船舶操作者为开发导向。本软件人机界面友好, 用户能够从窗体界面上获得各种系统信息还可以通过软件设置修改系统的相关信息。运行界面如图 5 所示。

由图 5 可知, 该软件能直接对 2 路 PT100 模拟量、4 路热电偶模拟量输入进行直观查询显示, 也可以对报警值等参数进行设置。通过上述工作, 船用温度数据采集单元具备了完好的实时控制和信息交互功能, 符合实际应用中的要求。

## 5 系统调试

调试时需要采集模块与 PC 机软件信息交互, 考虑到 PC 机上一般没有 CAN 总线的接口本系统采用广州致远电子有限公司生产的 USBCAN-II 模块与上位机相连, 该模块集成了

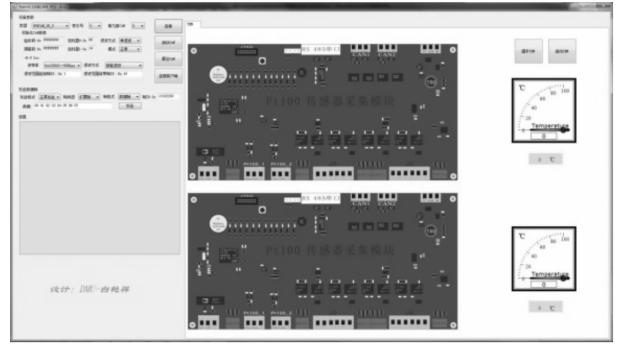


图 5 机舱温度信号监控软件运行界面图

两路 CAN-bus 接口和 USB 接口, 通过 USB 电缆与 PC 机进行连接。然后打开上位机监控软件, 并设置好相关参, 温度信息便能直观的反应给用户, 故障或越限时能声光报警显示报警信息。系统运行情况良好, 目前已成功应用于全任务轮机模拟器中。

## 6 总结

本文设计了一种船舶机舱温度数据采集单元, 并完成了服务器端机舱温度信号监控软件的构建, 该系统符合船舶机舱温度采集的要求。实现了当初的设计目标, 已经多次成功应用于轮机模拟器中, 下一步要完成的工作进一步提高系统的可靠性, 应用于实船机舱自动化控制中。

### 参考文献:

- [1] 王红旗, 李辉, 陶慧. 基于 CAN 现场总线的智能温度采集模块的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (1): 125-127.
- [2] 郭宽明. CAN 总线原理和应用系统设计 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.
- [3] ST. STM32F107XX Datasheet [Z]. 2009.
- [4] 张强. 船用以太网 IO 单元及网络的设计与实现 [D]. 大连: 大连海事大学, 2012.
- [5] 张雄飞, 段军政, 陈志坤. 热电偶冷端补偿器 LT1025 及其应用 [J]. 现代电子技术, 2003, 24: 10-11.
- [6] 张华, 赵文柱. 低功耗热电偶冷端补偿器 LT1025 原理及应用 [J]. 仪器仪表用户, 2004, 02: 66-68.
- [7] 王帅. 基于 CAN 总线的船舶机舱智能监控系统的研究 [D]. 镇江: 江苏科技大学, 2011.

(上接第 2525 页)

### 参考文献:

- [1] Alysson B, Rudiger K, Data P, et al. A look to the old-world sky: EU-funded dependability cloud computing research [J]. ACM AIGOPS Operating Systems Review, 2012, 46 (2): 43-56.
- [2] 陈康, 郑纬民. 云计算: 系统实例与研究现状 [J]. 软件学报, 2009, 20 (5): 1337-1348.
- [3] Alvaro P, Condie T, Conway N, et al. Boom analytics: exploring data-centric, declarative programming for the cloud [A]. Proceedings of the 5<sup>th</sup> European Conference on Computer Systems [C]. New York, 2010: 223-236.
- [4] 张建华, 吴恒, 张文博. 云计算核心技术研究综述 [J]. 小型微型计算机系统, 2013, 34 (11): 2418-2424.
- [5] Lakshman A, Malik P. Cassandra: a decentralized structured stor-

age system [J]. ACM Sigops Operating System Review, 2010, 44 (2): 35-40.

- [6] 曹洁, 曾国荪, 钮俊, 许金超. 云环境下可用性感知的并行任务调度方法 [J]. 计算机研究与发展, 2013, 50 (7): 1563-1572.
- [7] 熊芳, 黄宏斌, 黄玉成, 等. 一种基于语义相似度的信息资源语义聚类算法 [J]. 计算机工程与科学, 2012, 34 (11): 175-179.
- [8] 王雷, 唐教兵, 许美健, 等. 基于粒子群优化算法的制造单元聚类研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15 (2): 328-332.
- [9] 王溢琴, 秦振吉. 云环境中改进模糊聚类的资源聚合 [J]. 计算机仿真, 2013, 30 (4): 365-368.
- [10] Kohonen T. Self-Organizing Maps [M]. 2<sup>nd</sup> ed Berlin Springer-Verlag, 1997: 145-152.
- [11] 王永贵, 韩瑞莲. 基于改进蚁群算法的云环境任务调度研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (5): 1203-1211.