

机床运行状态数据可配置采集方法研究

陈彦智, 鄢萍, 周强, 刘华一

(重庆大学 机械传动国家重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 针对离散制造业车间内机床类型多样, 机床运行状态数据多源异构且动态变化导致的机床数据采集困难的问题, 提出了一种机床运行状态数据可配置采集系统的构建方法。研究了基于插件的数据采集及插件可配置管理方法, 描述了数据采集插件基本结构及通信管理接口。研究了基于 XML 技术的数据采集参数可配置方法, 给出了参数信息节点结构。研究了支持多种通信协议的数据传输服务, 描述了 OPC-UA 服务运行流程。实例验证了该系统构建方法的可行性, 为开展工业大数据应用研究奠定了基础。

关键词: 机床数据采集; 插件; 可配置; OPC-UA

中图分类号: TH17

Research on Configurable Acquisition Method for Machine Running Status Data

CHEN Yanzhi, YAN Ping, ZHOU Qiang, LIU Huayi

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract: For a variety of machine tools in discrete manufacturing workshops, the difficulty in acquiring machine data due to multi-source heterogeneous and dynamic changes in machine operating status data, a method for constructing a configurable acquisition system for machine operation status data was proposed. The plug-in-based data acquisition and plug-in configurable management methods were studied. The basic structure of the data acquisition plug-in and the communication management interface were described. The configurable method of data acquisition parameters based on XML technology is studied, and the structure of parameter information nodes is given. A data transmission service supporting multiple communication protocols was studied, and the OPC-UA service operation flow was described. The example verifies the feasibility of the system construction method and lays a foundation for the industrial big data application research.

Key words: machine data acquisition; plugin; configurable; OPC-UA

0 引言

作为工业大数据重要的基础组成部分, 数据采集的研究是重中之重, 即先有“数据获取”, 才有“数据分析”; 有精准的“数据分析”, 才有可落地的“数据应用”^[1]。随着市场竞争的加快、企业规模的扩大和技术改革的深入, 离散制造业车间机床类型变得复杂多样, 包括: 正在快速发展的新式智能机床, 不同厂家生产的各种型号的常规机床, 以及企业根据自身需求升级改造的特殊机床。这使得车间机床数据采集集成变得困难。

国内外对车间机床制造过程数据的采集已有大量的研究。在机床数据采集技术方面, 文献^[2, 3]中介绍了根据电气电路信号提取 PLC 状态信息的方法; 文献^[4, 5]研究了基于串口, 如 RS232、USB 等的数控系统数据采集方法; 文献^[6-8]叙述了使用数控机床 DDE 服务、宏指令和 HMI 接口进行数据采集的技术; 文献^[9, 10]使用 OPC 实现了数控系统的数据获取; 文献^[11]在应用中应用获取了加工进度、主轴电源、刀具状态、加工路径、主轴转速和机床开关机

作者简介: 陈彦智 (1992-), 男, 重庆大学硕士研究生, 主要研究方向: 智能制造

通信联系人: 鄢萍 (1967-), 女, 教授, 主要研究方向: 智能制造、网络制造. E-mail: yanping@cqu.edu.cn

时间等信息。在机床数据采集系统方面,文献^[11]还描述了一种基于互联网的开放式数控机床制造过程数据采集和监控系统;文献^[12]提出了一种基于 RFID 及 ZigBee 的数据采集系统;文献^[5, 13]使用 CAXA 网络、机床网络、无线网络、3G 网络将机床信息传输到终端,以实现了信息采集过程;文献^[14]阐述了一种异构数控机床信息采集方案;文献^[15]描述了一种用于机床数据交互的可集成和可扩展的接口设计;文献^[16, 17]使用 PROFIBUS 协议、STEP-NC 和 CAN 协议对信息进行封装,以保证信息的正确性。

以上研究从多项数据采集技术和系统集成方案进行了描述,但仍存在以下几个问题:

(1) 兼容性及拓展性差:离散制造车间经常拥有多种类型、厂家和型号的机床,它们的数据采集方式各不同。同时,由于智能机床技术的不断发展,机床常需要升级改造,挂接多种附属设备,如扫描枪、RFID 读写头、各类传感器等。而现有的数据采集系统大多是根据机床型号需求定制的,兼容性及拓展性差,即系统无法正确完成对其它型号及升级改造机床的数据采集任务。

(2) 无法满足采集的动态要求:车间层对机床数据获取的要求通常是动态的,如监控刀具时需要实时获取机床驱动轴功率、振动传感器数值;加工状态监控需要及时地获取进给率、倍率、转速等信息。现有的定制数据采集系统对上层提供的机床数据项是固定的,上层对机床数据需求的任何变化都会导致数据采集系统的失效,需要重新修改系统,造成大量的资源浪费。

(3) 机床数据共享难:机床数据采集是服务于各种上层数据应用的,如 MES、ERP 等。现有的机床数据采集系统常通过开放有专有的数据传输接口,或是将数据上传至车间数据库而完成数据服务,但数据传输接口单一,多种基于不同通信协议的数据应用将被隔离在系统之外,无法获取机床数据。

为解决机床数据采集系统的兼容性、拓展性、动态性和共享性问题,本文提出了一种机床运行状态数据可配置采集系统构建方法。该方法将系统数据的采集部分设计成独立的可配置采集插件,通过多个 XML(eXtensible Markup Language)实现了采集插件及采集参数的动态配置,增强了系统的兼容拓展性;同时还提供了支持多种通信协议的数据传输服务,为外部数据应用提供机床数据访问服务。通过实例验证,该系统能够很好的满足上层应用对机床的数据采集需求。

1 数据可配置采集系统构建方法

根据现有机床数据采集系统仍然存在的问题,本文提出了一种机床运行状态数据可配置采集系统构建方法,其原理如图 1 所示。所述的数据应用一般指企业及车间内使用机床数据采集系统获取的机床运行状态数据的相关应用,如 MES、ERP、设备状态监控系统等。企业相关人员对车间的信息需求通过数据应用转换为对数据采集系统的数据采集需求。

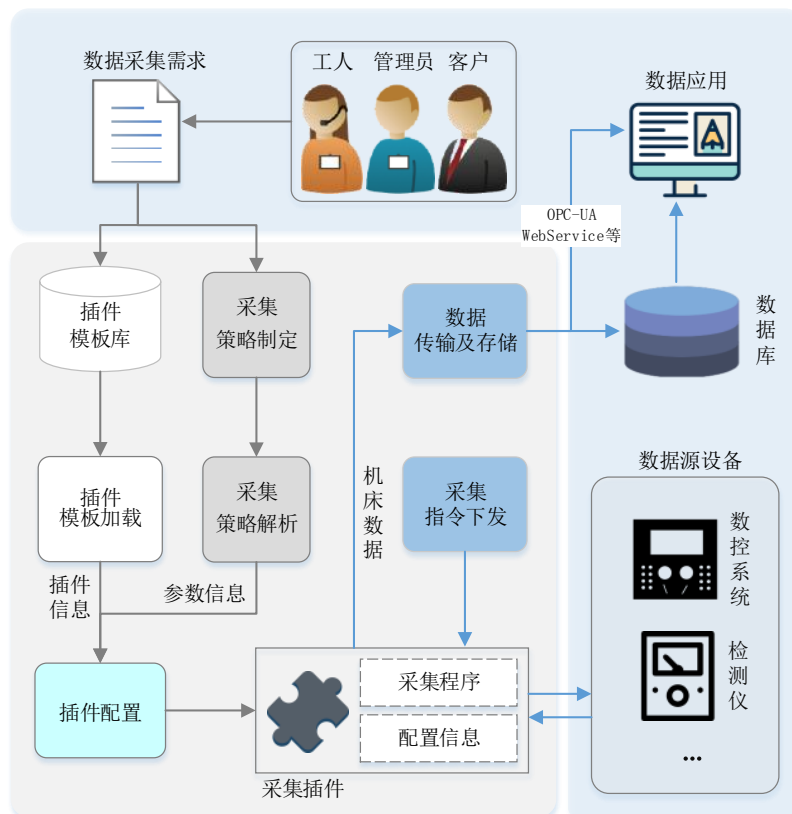


图 1 数据采集系统构建原理图

Fig. 1 Data Acquisition System Construction Principle

为准确地获取机床运行状态数据，数据采集系统操作人员根据不同的数据需求进行采集插件配置，包括插件基础信息配置和采集参数配置。其中，插件基础信息配置指在系统插件配置界面选择插件模板库中的插件模板进行加载，并配置插件名称、服务 IP 及端口等信息。采集参数配置指在插件模板已加载的情况下，操作者根据数据采集需求，如机床加工程序状态，在统一的操作界面制定包含数据源、数据变量、采集类型等参数的采集策略，并在解析策略后将上述参数配置到采集插件中。在插件模板被正确配置后，才成为一个可以采集具体数据源设备数据的插件。此外，系统对插件提供修改、启停和删除，对采集策略提供增删、修改等功能。

为了提高数据采集系统的兼容性，系统针对多种机床数据源设备开发多个数据采集模板，形成车间机床数据采集插件模板库。插件模板拥有统一的通信和管理接口开发，方便插件配置、采集指令下发和数据传输等功能的集成。插件模板内部包含系统配置的插件配置信息及数据采集程序，而采集程序用于根据数据源设备的实际数据采集方法完成数据采集工作。在保证正确地获取各数据源设备数据的前提下，还提供了扩展能力，从而加强了系统的可用性。

数据采集系统通过多个插件从各数据源获取的数据最终将以经由数据传输及存储服务反馈至外部数据应用及车间数据库，最终服务于车间及企业。为更好的保证数据传输的顺利进行，系统数据传输服务可支持多种通信协议，如系统预定义数据传输格式、OPC-UA (OPC Unified Architecture)、WebService 等，保证系统采集的数据的可用性。

基于上述数据采集系统构建方法，文章构建了一种机床运行状态数据可配置采集系统，该系统框架如图 2 所示，主要由设备层、平台层和应用层组成。

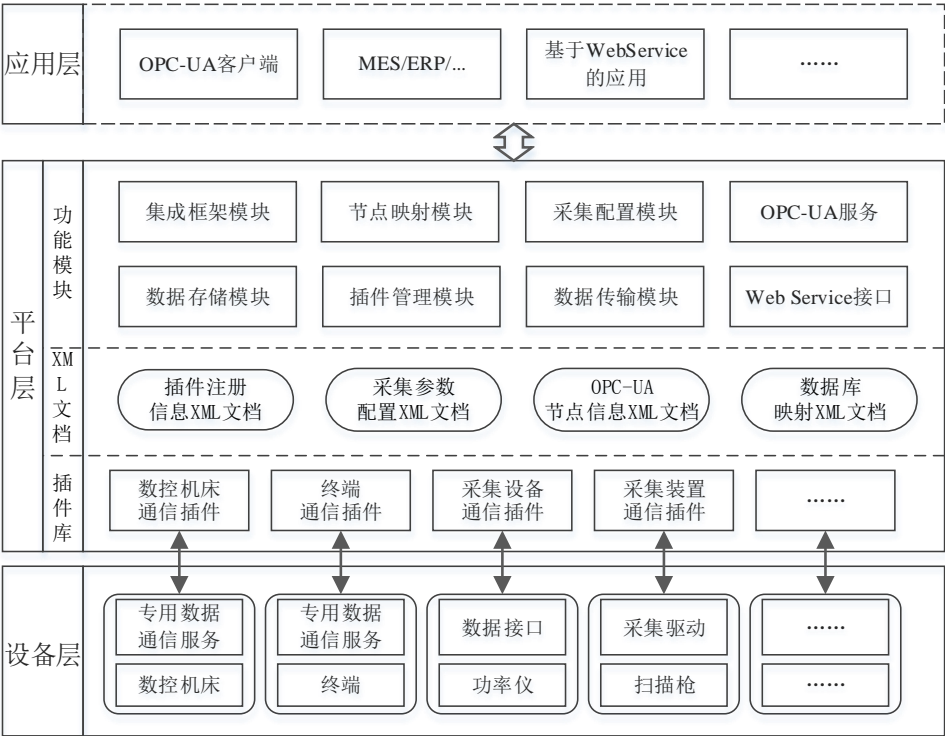


图 2 机床数据采集系统框架

Fig 2 Machine data acquisition system framework

(1) 设备层是机床信息的来源，包括数控机床、工控机、功率分析仪、光纤传感器、光学扫描枪等附属设备及其对应的标准数据接口和专用数据通信服务。其中，“专用数据通信服务”是基于如数控系统、工控机等生产厂家提供的标准数据通信服务或数据接口开发的专用数据采集程序；“数据接口”是如功率仪、智能传感器等对外提供的标准数据传输接口；“采集驱动”是如 RFID 读写器、光学扫描枪等提供的数据传输驱动服务。

(2) 平台层是机床数据采集系统的核心，负责采集数据并为外部应用提供服务，含插件库、XML 文档、功能模块三部分。其中，插件库指数据采集系统为集成采集机床及其附属部件各数据源的数据采集插件集合。XML 文档则是作为系统各功能模块之间及功能模块与插件之间协同工作的中间层。功能模块包括集成框架模块、插件管理模块、数据传输模块等。

- 采集配置模块用于根据用户需求，在统一操作界面完成对机床及其附属设备不同数据源的运行状态数据采集的参数配置，如数据变量、采集方式和采集频率等。同时，结合采集参数配置 XML 文档，生成含有采集配置信息的采集策略文件。通过解析配置文件，即可快速完成机床运行状态数据采集参数的配置。此外，还可以进行采集策略管理，如修改、删除等。
- 插件管理模块用于对数据采集插件库中的不同数据源插件进行集成管理。通过统一的操作界面，配置各插件的基础信息，如插件名称、IP、端口等，并将插件信息存储至插件注册信息 XML 文档；调用通用的插件管理接口，完成对插件的加载、运行、停止等操作。
- 节点映射模块用于将机床 OPC-UA 信息模型与数据采集关联起来，即通过对机床 OPC-UA 信息模型与数据采集系统的变量做映射处理，并将信息存储至 OPC-UA 节点信息 XML 文档，以支持 OPC-UA 服务的正确运行。

- 数据存储模块用于将系统获取的机床运行状态数据进行存储处理。该模块通过以太网连接车间数据库后，解析数据库映射 XML 文档获得机床状态数据于数据库的存储位置，从而完成机床状态数据的准确存储。此外，改模块还支持实时和定时两种数据存储频率设置，以满足上层数据应用的不同需求。
- 集成框架模块用于完成对上述采集配置模块、插件管理模块、节点配置模块、数据存储模块以及其他数据处理模块的集成、交互和协调工作。
- 此外，还包含数据传输模块、OPC-UA 服务等。数据传输模块用于接收各数据采集插件上传的机床及其附属设备的数据后，将数据传输至数据存储模块、OPC-UA 服务模块，同时还完成接收基于预定义传输格式的数据外传服务。WebService 接口用于为基于 WebService 技术的外部数据应用提供数据采集系统获取的机床状态实时数据的查询服务。

(3) 应用层是使用数据采集系统所提供的数据服务的外部应用，如通过 Web Service 接口访问车间机床数据的应用（MES、ERP 等），访问机床数据采集系统 OPC-UA 服务器的 OPC-UA 客户端等。

2 数据可配置采集系统设计

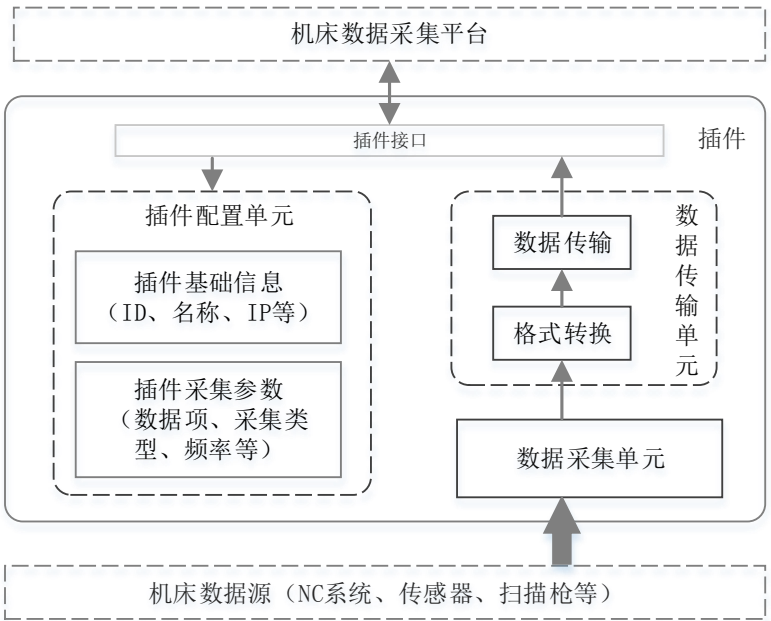
2.1 采集插件管理方法

针对车间数据源设备的数据采集方式和通讯协议的差异性，本文采用模块化软件思想，设计了基于插件的数据集成采集系统。

(1) 基于插件的数据采集技术

数据采集插件要完成对应的各设备的数据采集，则至少需要实现以下功能：a. 接收来自平台层的控制；b. 解析平台层下发的采集配置信息，从而理解采集需求；c. 根据需求，从设备通过特殊的采集方式和通讯协议快速准确地获取数据；d. 将获取的数据按照系统规定的协议实时地上传至平台层。

本文应用的数据采集插件结构如图 3 所示，包括插件配置单元、数据采集单元和数据传输单元。采集配置单元负责完成从数据采集平台接收插件配置信息，包括插件基础信息和插件采集参数信息。其中插件基础信息主要含有与数据源设备通信的连接信息(IP、端口等)，以及指导数据传输单元上传数据的插件识别信息(插件 ID、名称等)。插件采集参数信息指数据采集平台解析采集策略后得到的具体采集参数，如数据项名称、采集类型和采集频率等。数据采集单元用于根据采集参数通过具体数据源设备的数据采集方式完成相应的机床各数据源的运行状态数据采集，如通过 DDE 服务获取西门子 840D 数控系统的数据。数据格式转换单元和数据传输单元用于将获取的数据按照数据采集系统预定义格式转换后传输至集成数据采集平台。



155

图 1 插件结构示意图
Fig 3 Plug-in structure diagram

为了保证数据采集平台获取数据的一致性，以及对插件的统一管理能力，插件在设计开发过程中，采用了相同的管理及通信接口。插件的接口描述如错误!未找到引用源。所示。

160

表 1 插件接口列表
Tab 1 Plug-in interface list

接口名称	功能及参数说明
加载	平台调用此接口以加载该插件，并返回接口加载状态。 - 参数中包含插件信息，如插件 ID、名称、IP、端口等。
卸载	如果长时间不适用此插件获取数据，平台调用此接口卸载插件。其中在卸载插件前，需保证插件以关闭，以免造成平台获取数据不完整。
参数配置	平台获取数据采集需求并制定采集策略后，通过此接口，将指令下发至插件，以指导插件完成数据采集工作。 - 参数中含有采集指令信息，包括采集类型、变量名称、采集频率等。
运行	平台在配置插件采集参数后，需调用此接口保证插件已运行。运行插件一般会开放插件内部的通信接口，如 TCP Socket 和串口等。
停止	平台停止数据需求时调用此插件，插件将关闭通信接口，并停止与数据源设备的通信，以降低系统硬件运行压力。
数据上传	插件获得数据后，通过此接口返回数据。 - 参数中包含打包的设备数据集合，还包括插件自身信息，以帮助平台识别数据来源。

(2) 基于 XML 的插件管理方法

数据采集平台通过插件管理模块和一个插件注册表 XML 文档实现对系统各插件的管理，包括新增、更改、删除等。如图 2 所示，在加载采集插件模板后，数据采集平台通过统一的操作界面配置插件的 ID、IP 地址、Socket 端口、串口等基础信息，并保存至插件注册信息 XML 文档中。数据采集平台在解析注册表中各插件配置信息后，根据“状态”描述决定是否加载插件模板，之后配置插件基础信息，最后插件进入等待采集参数配置及启动状态。

165

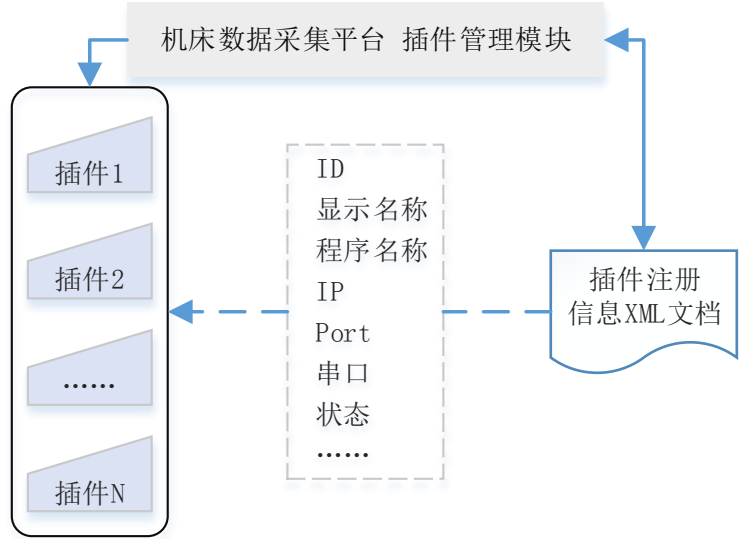


图 2 平台与插件关系图
Fig 4 Platform and plug-in diagram

此外，插件配置信息各参数的功能描述如下所示：

表 2 插件基础信息参数说明表
Table 2 Plug-in basic information parameter description

参数名称	功能描述
ID	插件的唯一标识，用于系统内部识别插件，数据上传时的数据包需包含此 ID 信息，以帮助系统识别数据来源
显示名称	用于人机界面插件名称的显示
程序名称	用于定位插件程序代码的位置以准确加载插件
IP	规定数据源设备数据服务的 IP
端口	规定数据源设备数据服务的 socket 端口
串口	规定串口设备的串口编号
状态	标识插件的加载状态，通过解析此信息以判断是否加载插件
描述	用于人机界面插件的信息描述

2.2 采集参数配置方法

(1) 基于 XML 的采集参数配置方法

类似于插件管理方法，数据采集平台通过一个 OPC-UA 节点信息 XML 文档和多个采集参数配置 XML 文档实现机床及其附属设备数据采集参数的配置。如图 3 所示，机床及其附属设备的数据采集插件各对应有自己的采集参数配置 XML 文档，此文档中储存着具体设备数据采集参数信息，平台通过解析和修改采集参数配置 XML 文档，实现采集参数的配置。同时，各插件共同使用一个 OPC-UA 节点信息 XML 文档，里面存储着机床 OPC-UA 节点与机床运行状态变量的映射关系，以指导 OPC-UA 服务器的数据更新。采集参数配置 XML 文档和 OPC-UA 节点信息 XML 文档的结构如图 4 所示。XML 文档中含有多个以状态数据变量或 OPC-UA 节点为区分单位的参数集，参数集中则含有各参数信息，如变量名称、变量地址等的采集参数，以及命名空间、节点 ID 等的节点参数信息。

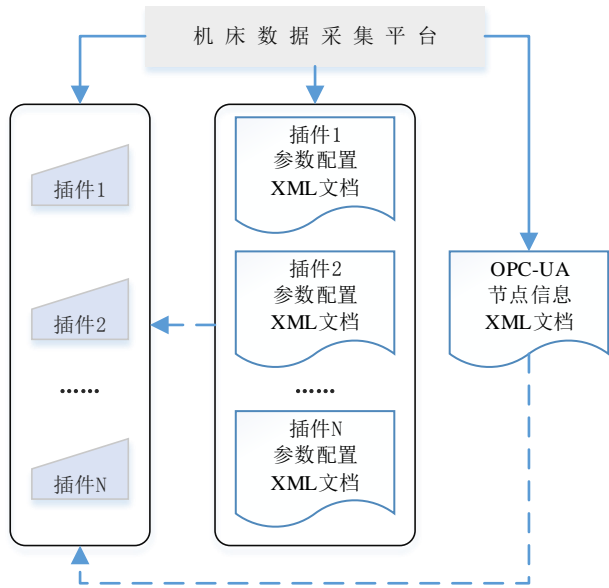


图 3 平台与采集参数关系图
Fig 5 Platform and acquisition parameters

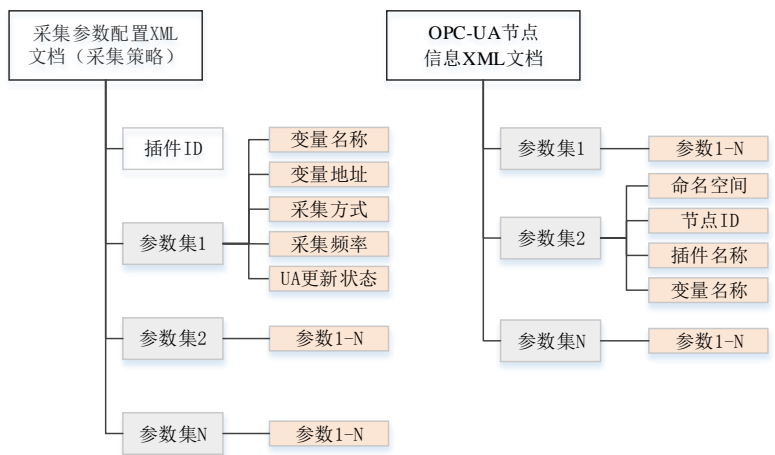


图 4 参数配置及节点信息 XML 文档截图

Fig 6 Parameter Configuration and Node Information XML Document

此外，数据采集平台还可以对采集策略进行管理，包括创建、修改和删除等。实现方式为保存多个已完成参数配置的且以采集策略命名的 XML 文档。在数据采集平台采集参数配置界面，既可以基于采集参数配置 XML 文档进行配置后保存为新的采集策略，也可以直接选择已有的采集策略，从而解析出策略中的配置信息，以进行采集指令下发。

（2）可配置采集流程

- 所构建的机床运行状态数据可配置采集系统的运行流程如图 7 所示：
- 1) 获取机床运行状态数据采集需求，如数据源设备、采集变量及采集参数等；
 - 2) 选择正确的数据源采集插件模板，若插件模板未加载，则需要手动加载并配置插件基础信息；
 - 3) 选择各采集插件已保存的采集策略，下发至插件以完成插件采集参数配置，若无合适的采集策略，则需要先根据采集需求重新配置采集参数，并保存至采集策略库中；
 - 4) 下发数据采集启动指令运行采集插件；
 - 5) 获取插件返回的机床运行状态数据；

6) 完成机床运行状态数据的处理工作，包括数据显示、数据库存储、OPC-UA 数据更新等。

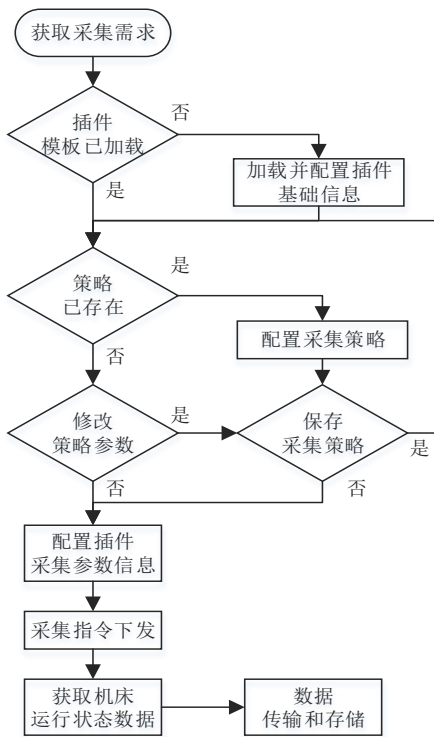


图 5 系统运行流程图

Fig 7 System operation flow chart

2.3 通用数据服务

数据采集平台提供了三种数据服务，包括：数据传输模块、Web Service 接口和 OPC-UA 服务器。其中，数据传输模块采用预定义的数据传输协议，通过 TCP 连接传输信息。它要求数据应用按照系统规定的通信协议发送数据请求和接收数据，所以通用性较差。而 Web Service 接口则主要是为基于 Web Service 的外部应用提供数据查询服务。本文定义的接口函数为：T queryInfo(String equipID, String variable)。参数“equipID”为设备编号，“variable”为查询的设备变量名称；返回值为动态格式的数据，如“转速”为浮点数，查询失败则返回“false”的布尔值。

此外，由于 OPC-UA 支持 UA TCP 和 SOAP/HTTP 两种传输机制，具有网络安全性和平台无关性，且统一的数据模型保证了数据传输的一致性，所以本文还提供了一个 OPC-UA 服务器为基于 OPC-UA 的应用提供数据查询和订阅服务，其运行流程如图 所示：

- 1) 基于机床标准的设备描述模型和数据字典使用建模工具构建机床 OPC-UA 信息模型 XML 文档；
- 2) 基于机床信息模型 XML 文档使用合适的 SDK 将机床信息模型编译至 OPC-UA 地址空间；
- 3) 在数据采集平台程序内部实例化含有自定义机床信息模型的地址空间的 OPC-UA Server；
- 4) 将 OPC-UA Server 中机床各数据节点导出，完成节点信息与系统数据变量的映射，并储存至节点信息 XML 文档中；
- 5) 数据采集平台获取机床数据后，通过查询节点信息 XML 文档得到数据变量相匹配的

节点，再将数据更新至 OPC-UA Server 节点中；

6) OPC-UA Client 通过访问 OPC-UA Server 中的节点数据，从而得到机床的运行状态数据。

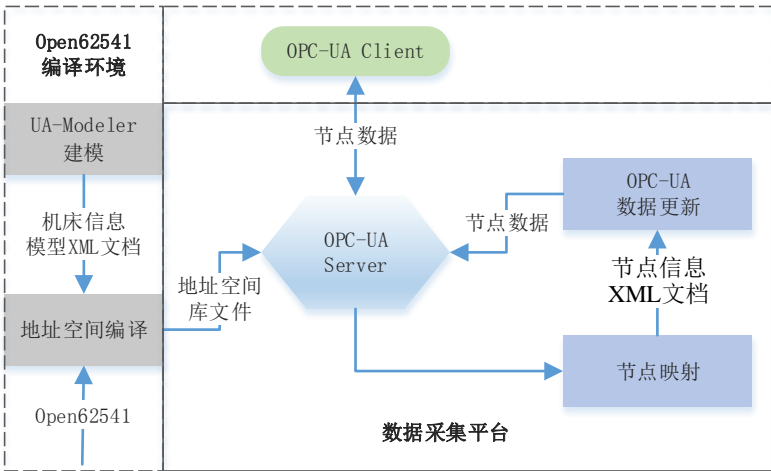


图 8 OPC-UA 服务运行流程图

Fig 8 OPC-UA Service Operation Flow Chart

针对机床 OPC-UA 信息模型的构建及 OPC-UA Server 的开发工具，常见的 OPC UA SDK 供应商包括加拿大的 MatrikonOPC、德国的 Softing、Prosys、UnifiedAutomation 等公司。本文使用的均为 GitHub 上的开源项目，分别为“FreeOpcUa/opcua-modeler”和“Open62541”。

3 应用实例

本文按上述数据采集系统设计，构建了机床数据可配置采集原型系统，包括数据采集平台及多个数据采集插件模板，并在某齿轮制造车间进行了数据采集系统的测试。如表 3 所示，测试中选取了两天台分别搭载西门子 840dsl 系统和 FANUC Series 0i-MF/H 系统的数控机床，以及相关附属设备，包括：光学扫描枪、光纤光栅传感解调仪等相连。

表 3 测试数据源设备

Table 3 Test data source devices

数据源设备	接口及采集方法说明
Siemens 840Dsl 数控系统	支持以太网接口通信，基于制造商提供的 HMI 二次开发工具开发专用通信服务，通过专有应用程序接口（API，Application interface）获取机床数据，包括 NC 数据和 PLC 数据等
FANUC 0i 系列数控系统	支持以太网接口通信，基于制造商提供的 API 获取机床数据，如 FOCAS 1/2 Library
光学扫描枪	通过标准接口直接获取数据
RFID 读写头	通过标准接口直接获取数据
光纤光栅传感解调仪	支持以太网接口通信，通过专用对外接口获取数据
温度传感器	支持以太网接口通信，通过专用对外接口获取数据

（1）插件模板加载

如图 所示，为机床各设备开发了多个插件模板，包括 Siemens 840Dsl 数控系统采集插件、Fanuc 数控系统数据采集插件、扫描枪及 RFID 数据传输插件、光纤光栅传感解调仪数据采集插件和多功能温度传感器数据采集插件等。在数据采集平台界面选择点检“加载”即可

选择加载合适的数据采集插件。

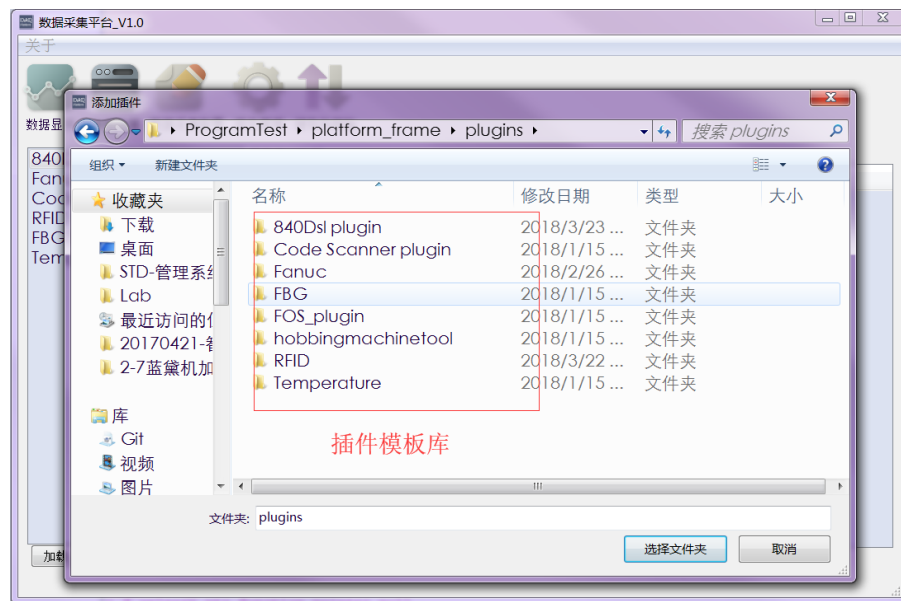


图 9 采集插件模板加载界面

Fig 9 Collect plug-in template loading interface

255 (2) 插件基础信息管理

插件管理界面中，可以添加、删除、停止和启动具体的机床数据采集插件。选择已加载的插件模板，对插件的数据采集服务进行插件基础信息配置，如对西门子 840Dsl 数据采集插件通过“172.20.68.89”IP 地址和“7080”端口获取机床数据。

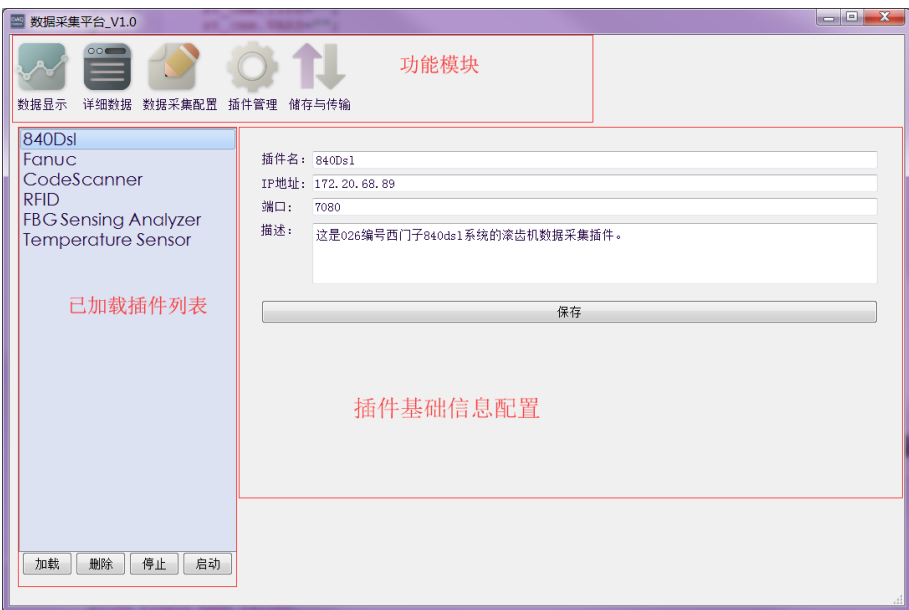


图 60 采集插件配置界面

Fig 10 Collect plug-in configuration interface

(3) 采集参数配置

在加载并配置插件基础信息后，数据采集配置界面会载入插件的采集参数配置文件用以制定和解析采集策略。图 71 为 840Dsl 数控系统和光纤光栅传感解调仪采集参数配置截图，在选中设备插件后，通过勾选含有“变量名”和“变量地址”的采集选项，并输入采集间隔，完成如轴位置、轴转速、程序代码、进给等机床数据的动态采集。



图 71 数据采集参数配置界面

Fig 11 Data acquisition parameter configuration interface

4 结论

提出了一种机床运行状态数据可配置采集系统的构建方法，该方法基于插件式开发技术，使用 XML 文件实现机床及部件的数据采集插件及采集参数的动态配置；同时提供了支持包括预定义通信协议、OPC-UA、WebService 的数据传输服务，为外部数据应用提供机床数据访问支持。验证表明，此系统可以很好地对离散制造业车间内各类机床的运行状态数据进行可配置采集，为企业的数据应用提供基础服务。

[参考文献] (References)

[1] 宋杰, 王科社, 董青霞等. 数控机床大数据采集总线技术及发展趋势研究 [J]. 制造技术与机床. 2016(11): 49-54.

[2] 郭荣祥, 王洪一. PLC 数据采集模块的设计 [J]. 工业控制计算机. 2013(01): 88-90.

[3] 肖士利. 数控机床状态数据实时采集与监视系统的研究开发 [D]. 南京航空航天大学, 2008.

[4] 李波. 基于串口的 DNC 信息采集系统的研究 [D]. 南京航空航天大学, 2007.

- [5] 马艳. 基于 USB 技术的数控系统数据采集模块开发 [D]. 武汉工业学院, 2010.
- [6] 西门子股份有限公司. SINUMERIK 840D/810D HMI 内嵌操作手册 [M]. 2004.
- 285 [7] 刘培跃, 张亚寒. 基于 FOCAS 的数控机床网络化集成系统开发 [J]. 机床与液压. 2014(22): 161-163.
- [8] 西门子股份有限公司. SUMUMERIK 840D sl SUNUMERIK Operate 编程包 [M]. 2012.
- [9] Wei Wang, Xinyu Zhang, Yan Li, et al. Open CNC Machine Tool's State Data Acquisition and Application Based on OPC Specification [J]. Procedia CIRP. 2016, 56: 384-388.
- 290 [10] 王帅, 胡毅, 何平等. 基于 OPC 技术实现西门子数控系统的数据采集 [J]. 组合机床与自动化加工技术. 2016(04): 69-71.
- [11] F. Ferraz Jr, R. T. Coelho. Data acquisition and monitoring in machine tools with CNC of open architecture using internet [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2005, 26(1-2): 90-97.
- [12] 刘忠凯, 段富海. 基于 ZigBee 和 RFID 的 CNC 数据采集系统设计 [J]. 制造技术与机床. 2015(04): 41-46.
- [13] 李疆, 杨秋萍, 石文昌. 基于 CAXA 网络 DNC 平台构建及应用 [J]. 电子制作. 2013(14): 157-158.
- 295 [14] 于乃功, 方林, 王新爱等. 异构数控机床数据采集系统的设计与实现 [J]. 现代制造工程. 2016(07): 56-60.
- [15] Hendrik Vieler, Armin Lechler, Oliver Riedel. Architecture and Implementation of an Interface for Intelligent Tools in Machine Tools [J]. Procedia Manufacturing. 2017, 11: 2077-2082.
- 300 [16] 吴振翔, 张广明, 魏晓东. 基于 CAN 总线的数控机床远程监控系统的设计与研究 [J]. 机床与液压. 2010(06): 62-64.
- [17] 潘月斗, 许镇琳, 徐东桂. 基于 PROFIBUS 总线的机床数控系统接口设计研究 [J]. 制造技术与机床. 2005(08): 57-60.