

基于自律分散系统在线技术的轨道电路监测系统优化

曾小清¹, 方云根¹, 袁腾飞¹, 李健¹, 王奕曾²

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 上海大学通信与信息工程学院, 上海 200444)

摘要: 针对传统集中式系统结构无法满足ZPW-2000轨道电路监测系统运行过程中的在线扩展、在线维修以及系统容错需求的现状, 提出了基于自律分散系统(ADS)在线技术的ZPW-2000轨道电路监测系统优化方法。在分析自律分散系统特征的基础上, 构建ZPW-2000轨道电路监测系统的优化方案, 提出了ADS在线技术的轨道电路监测系统架构与要素。通过案例实验分析, 证明了ADS自律分散系统在线技术在在线扩展、在线维修以及系统容错方面的优势, 可有效提高ZPW-2000轨道电路监测系统的可靠性和可维护性, 并且增加系统扩展的灵活性。

关键词: 轨道交通; ZPW-2000轨道电路监测系统; ADS在线技术; 系统优化

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

Optimization of Rail Circuit Monitoring System Based on Autonomous Decentralized System Online Technique

ZENG Xiaqing¹, FANG Yungen¹, YUAN Tengfei¹, LI Jian¹, WANG Yizeng²

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: In view of the current situation that the conventional centralized system structure cannot meet the requirement of online extension, online maintenance, and fault tolerance of the system in the operation process of ZPW-2000 track circuit monitoring system, a principle for optimization of the design of the ZPW-2000 rail circuit monitoring system with the autonomous decentralized system(ADS) was proposed. Based on the analysis of the

characteristics of the ADS online technique, the detailed optimization plan of the ZPW-2000 rail circuit monitoring system was proposed. In addition, the architecture and elements of the rail circuit monitoring system based on the ADS online technique were designed in detail. The effectiveness of the optimization design method is demonstrated by a case study. The case study proved that the ADS online technique can effectively improve the maintainability, reliability, and flexibility of the ZPW-2000 rail circuit monitoring system, with the obvious advantages of online extension, online maintenance, and fault tolerance.

Key words: rail transit; ZPW-2000 rail circuit monitoring system; autonomous decentralized online technique; system optimization

ZPW-2000轨道电路是铁路信号设备的重要组成部分, 在CTCS-2系统中完成区段占用检测及列车完整性检测, 并向列车连续传送移动授权; 在CTCS-3系统中完成区段占用检测, 在上述2级列车运行控制系统中均直接影响动车和高铁的行车安全, 因此需要进行全面的监测和预警^[1]。ZPW-2000轨道电路设备暴露在开放的环境中, 受到环境温度、电力牵引电流的干扰等因素影响, 很可能引起危害行车安全的故障, 因此要求监测系统能够实时监测设备性能、参数和状态的变化。除此, ZPW-2000轨道电路监测系统属于单独研发的监测系统, 并非基于原有的车站信号监测系统, 但仍需要与原车站信号监测系统实时数据共享^[2]。所以, ZPW-2000轨道电路监测系统需要具备在线扩展、在线维修和容错

收稿日期: 2021-01-08

基金项目: 上海市科学技术委员会项目(20DZ1202900, 19DZ1204200); 上海市住房和城乡建设管理委员会项目(JS-KY18R022-7)

第一作者: 曾小清(1969—), 女, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为轨道交通控制与安全。

E-mail: zengxq@tongji.edu.cn

通信作者: 袁腾飞(1988—), 男, 博士生, 主要研究方向为轨道交通控制与安全。E-mail: 15yuantengfei@tongji.edu.cn



论文
拓展
介绍

的特性,然而传统的监测系统普遍采用集中式监测系统,很难满足发展的要求^[3]。因此,对ZPW-2000轨道电路监测系统优化,使其成为真正“安全、实时、高效、可靠”的系统就有很大的意义。

由于规模和任务所限,传统的信号监测系统在系统结构设计方面,多采用集中式的结构或客户服务器C/S(client/server)结构,这些技术在一定程度上无法适应系统大规模发展和广域分布的新需求。在集中式监测系统中,站机是系统的控制中心,需要完成所有操作和控制命令的发出,因而也是整个系统的瓶颈。而随着系统任务数量的增加,系统会变得非常复杂,站机的运行效率也会下降,一旦站机发生故障,整个系统就会瘫痪。此外,所有的监测设备都与站机相连,站机有很多的接口,与设备之间的连接复杂。而系统规模在设计时就已经确定,一般只留有部分预留接口,因此想要进行大规模扩展比较困难。如果需要大规模扩展或系统故障修复,需要关闭系统,无法进行在线扩展和维护。

针对集中式监测系统存在的问题,需要对监测系统结构进行优化。而自律分散系统(ADS)在线技术为解决监测系统的问题提供了一个全新的思路。ADS是一种新型的体系结构,相对于传统的集中式系统,具有在线扩展、在线维护和在线容错的特性。因此,许多学者利用ADS对车站信号监测系统结构优化进行了研究。赵顺玲等^[4]在对传统监控系统在系统体系结构、设计方法、容错技术、软件组件技术、系统集成技术等方面的不足进行分析的基础上,利用自律分散系统ADS的概念组建了新型监控系统。孔青宁^[5]通过对传统监控系统在系统结构、通信模型和软件组件技术等方面的分析,采用自律分散体系架构的思想来解决传统监测系统不具备在线扩展、在线维护和容错功能的问题。赵庶旭^[6]提出基于自律分散系统模型,解决复杂监测系统的集成问题,实现系统可扩展性、可维护性和容错性。刘卫东^[7]对传统监控系统在系统结构、通信模式和软件组件技术等方面存在的问题,提出了基于ADS技术的解决方案,通过介绍ADS技术的基本概念和特点,对可扩展监控仿真系统的设计进行了概述,并且主要讨论了本系统的各个功能模块。

综上所述,自律分散系统技术已广泛应用于传统监测系统优化研究中,但是单独研发的ZPW-2000轨道电路监测系统尚未借鉴ADS的思路进行优化。因此本研究将ADS技术应用于ZPW-2000轨道电路监测系统优化中,为解决监测系统在线扩展、在线维

修和容错的问题提供一种方法,同时对提高该系统的工作效率与可靠性具有很大作用,也为自律分散系统技术在轨道电路监测系统的应用提供参考。

1 自律分散系统在线技术

1.1 ADS理论

若一个系统满足以下3个条件,称之为自律分散系统^[8]。①整体系统是不能事先定义的,只能定义为子系统或节点的集成;②任何子系统或节点的故障、维护、更换等对整个系统而言是一种正常状态;③系统的构成单元子系统或节点,总是处于不断地扩展、故障、维护和更换的状态。

考虑由 m 个子系统构成的自律分散系统,根据线性定常离散时间动态系统的模型建立下面方程:

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \\ \vdots \\ x_m(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{m1} & \cdots & A_{mm} \end{bmatrix} \cdot \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ \vdots \\ x_m(k) \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^m \begin{bmatrix} B_{1i} \\ B_{2i} \\ \vdots \\ B_{mi} \end{bmatrix} u_i(k)$$

式中: x_i 为子系统 S_i 负责控制的状态变量; u_i 为子系统 S_i 的控制变量。根据上述方程,得到自律可控制性和自律可协调的内涵。

自律分散系统,必须具备2个属性^[9]:①自律可控制性。对于任意子系统 S_j ,满足 $j \notin I_k = (i_1, i_2, \dots, i_k)$ 时,进入非正常状态,其他的子系统 S_i ($i \in I_k$)在有限时间 T 内,可以选择控制 $u_i(\tau)$ ($\tau = 0, 1, \dots, T-1, i \in I_k$),使得系统从任意的初始状态 $x_i(0)$ 转移到任意状态 $\eta_i = x_i(T)$ ($i \in I_k$),此时系统具有自律可控制性。也就是如果任何子系统出错或者正在维修又或者添加新的子系统,其他的子系统都能够继续管理自己并运行系统功能。②自律可协调性。对于任意子系统 S_j ,满足 $j \notin I_k = (i_1, i_2, \dots, i_k)$ 时,进入非正常状态,其他的子系统 S_i ($i \in I_k$)可以选择控制 u_i ,相互协调,使得各子系统的评价函数 J_i 达到最大。也就是如果任何子系统出错或者正在维修又或者添加新的子系统,其他的子系统之间能够完成各自的任务并以协作方式运行。这2个属性确保系统的在线可扩展性、容错性和在线可维护性。

1.2 ADS结构

自律分散系统的结构如图1,包含节点(atom)、数据域DF (data field)、内容代码CC (content code) 3个构成要素。

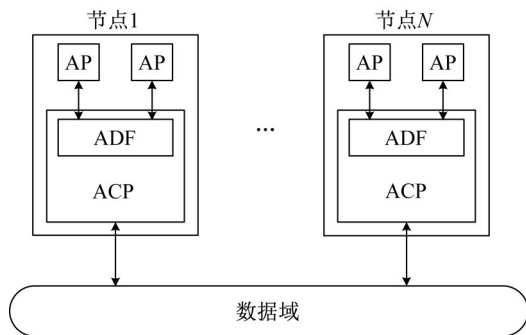


图1 自律分散系统结构

Fig. 1 Structure of ADS

(1)节点。节点是构成自律分散系统的最基本单元,监测系统主要包括站机、终端和功能节点^[10]。在自律分散系统中,每个子系统都通过自律控制器ACP (autonomous control processor)来管理自己并与其他子系统相互协调。每个子系统含应用软件模块AP(application processor)和ACP,组成了节点。

(2)数据域。数据域是自律分散系统的信息传播空间。实际上,数据域就相当于网络或者存储器。所有的子系统都是通过数据域连接,所有数据都在数据域中流动。节点中的数据域称为节点数据域ADF(atom data field)。节点与节点之间没有直接的耦合关系,所有节点只与数据域相互联系。这种结构能够有效地确保每个节点自律地管理自己,不受其他节点干涉,同时也不干涉其他节点的工作。

(3)内容代码。在自律分散系统中,数据域中的数据都包含一个内容代码CC(content code)来标志其属性,节点则是根据内容代码来确定数据是否是节点所需要的。这种通信方式保证了每个节点数据收发自律性,通过DF实现了节点的自律可协调性。由于该方式避免了节点内部对无用信息的处理,提高了整个系统的实时性和有效性。

(4)组播组(multicast group)。在自律分散系统里,最基本的通讯方式是组播。划分组播组是为了便于信息发送管理,把在同一数据域中关系相近的多个节点划分为一个组播组。对于节点而言,一个节点可以加入一个组播组,也可以加入多个组播组,这是由节点本身的通信需求来决定的。

1.3 ADS在线技术

与传统的集中式监测系统相比,ADS具有在线

扩展、在线维护和在线容错的特性,因此,将ADS技术应用于轨道电路监测系统中,能够解决监测系统目前存在的问题。

(1)在线扩展。在自律分散系统中,扩展主要是节点的扩展,即系统的扩展。同构系统扩展,只需将数据域合并;异构系统扩展,也只需增加网关,并在网关中注册内容码,该过程不会影响2个系统的正常运行。因此,自律分散系统具有在线扩展的特性。

(2)在线维护。在自律分散系统中,一旦系统主机或子系统发生故障,其他子系统还能正常运行,并能够在对故障部分进行维修后接入系统。因此,自律分散系统还具有在线维护的特性,即在不中断系统正常运行的情况下对系统进行维护和测试。

(3)在线容错。在自律分散系统中,在线容错性主要通过数据驱动机制实现的。根据应用程序的重要程度在子系统中设置多个冗余的软件模块,这些软件都独立运行和独立收发数据,数据驱动机制使得模块可以异步执行应用程序。即使模块处于故障状态,另外一些模块仍然可以正常运行,接受者会根据自己的需求挑选正确的信息供自己使用。因此,自律分散系统具有一定的故障承受能力,在部分故障的情况下能够正常运行。

基于ADS的体系结构和特性,对ZPW-2000轨道电路监测系统进行优化设计,能够使ZPW-2000轨道电路监测系统兼具自律分散系统在线扩展、在线维护和在线容错的特性,对提高该系统的灵活性与可靠性具有很大作用。

2 轨道电路监测系统优化

根据自律分散系统体系结构,首先对ZPW-2000轨道电路监测系统的结构进行了相关设计。

2.1 系统架构优化

传统的ZPW-2000轨道电路室外监测系统,信号集中监测主机通过网线将处理数据传送至轨道电路诊断机,数据采集设备也将采集数据通过CAN总线传送至轨道电路诊断主机,如图2所示。此结构会造成轨道电路诊断机负载过重,一旦发生故障就容易造成监测系统的失效,并且无法实现系统的在线扩展、在线维修和容错的功能。

根据自律分散系统的体系结构,对监测系统里的采集单元、监测管理机、终端、站机和通信进行优化设计,系统结构设计如图3。采集单元负责采集和处理轨道电路轨旁电气参数;监测管理机主要负责

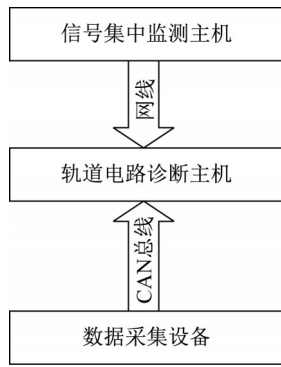


图2 集中式监测结构

Fig. 2 System structure of centralized monitoring system

接收室外采集单元的经过处理的数据,实时显示监测信息,同时将数据存储到数据库中;终端一般是PC机、打印机等,提供相关的显示和报警功能;站机是集中监测系统的设备,主要是接收监测管理机的监测信息,将信息存储在本地,同时将信息上传到电务段的监测中心;通讯网络则是站内局域网。

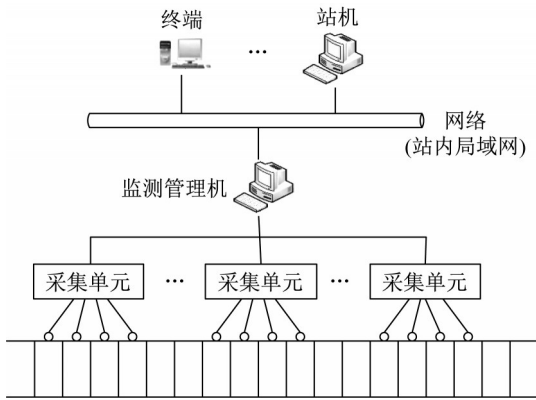


图3 基于ADS的监测系统总体结构

Fig. 3 System structure of monitoring system based on ADS

2.2 系统数据传输与功能实现分析

针对系统数据传输与功能实现,根据ADS的构成,对监测系统的节点功能进行了划分,还对系统响应的数据域、内容代码和组传播进行详细设计。

(1)节点功能划分。节点即系统中的子系统,是构成监测系统的基本单元。在本研究中,节点主要包括站机、终端和功能节点,既可以是基于嵌入式系统的采集单元,也可以是基于PC端的应用程序。每个节点内部都含有AP、ACP和DF三个部分,其中AP根据节点功能需求完成相应的数据处理;ACP完成对节点自身的管理,同时与其他节点的协调工作实现整个系统的功能;ADF能够从DF中提取该

节点需要的数据。节点功能划分成DF接口、生存信号、注册跟踪、数据处理、数据驱动和数据整合决策六大功能^[11],如图4。

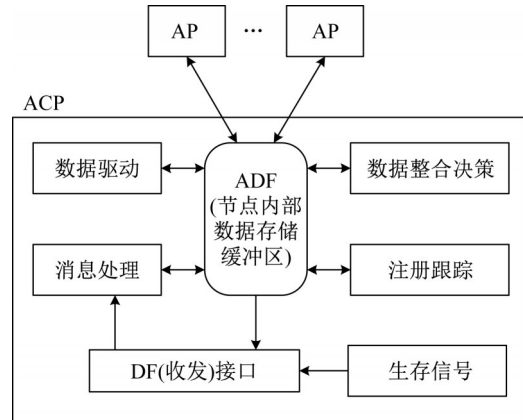


图4 节点功能划分

Fig. 4 Definition of atom function

(2)节点数据域。ADF是自律分散系统节点的数据存储空间,是ACP和AP传递数据的区域。在本研究中,数据域是指整个系统基于UDP/IP的网络环境。ADF的设计采用每个AP对应一个输入和一个输出缓冲区的方式,因为节点的AP通常不止一个,要是采用共同的输入、输出缓冲区对于ACP寻找数据不利,会影响输入输出的效率,如图5所示。

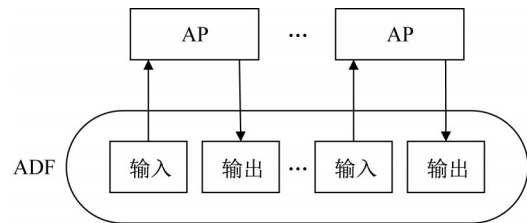


图5 ADF对应的缓冲区

Fig. 5 Buff of ADF

(3)内容代码。节点能在数据域中获取实时信息,是每个发送到数据域里的数据都附有标记数据的内容代码CC。节点选择是否接受数据是由数据的内容代码决定的,节点可自主发送请求和选择有用的信息进行接受。内容代码的具体信息内容是由特征码决定的,特征码反映内容码标记对象的信息属性。内容代码格式设计主要包括Type和Device两部分,用于标记数据类型和设备类型,如图6。

(4)组传播。节点可通过组播的方式向该组播组发送信息,监测系统为便于对数据管理,将系统中节点按其功能范围划分成多个组播组。组播组划分主要包括:①站机、监测管理机和采集单元,为一个

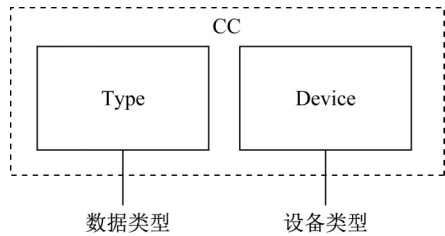


图 6 内容代码格式

Fig. 6 Data type of content code

组播组。②站机、终端和采集单元,为一个组播组。

2.3 轨道电路监测系统在线技术

(1)在线扩展技术。在自律分散系统中,系统的扩展有节点和系统 2 个层次的扩展^[12]。本研究主要关注的是节点层的扩展,对于新增节点中的节点应用软件模块和数据库,只需要在自己的 ACP 中注册它们必要的内容码,而不需要通知其他的节点。

(2)在线维修技术。ADS 的在线维护机制是,系统规定在线正常工作的节点只接收在线数据,而维修节点要接收在线数据和维修数据。因此,处于维护状况的节点不会干扰在线节点的正常运行。其在线维修的工作原理如图 7。

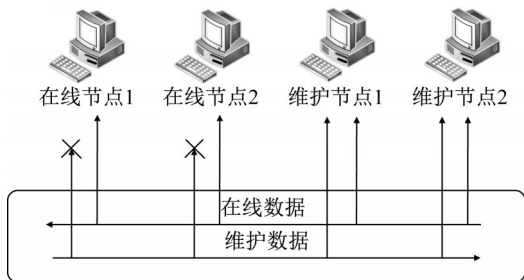


图 7 在线维修工作原理

Fig. 7 Principle of online maintenance

(3)容错技术。ADS 的容错是采用应用程序模块备份的方式来实现的。图 8 所示的节点的 ACP 从数据域中接收多个复制模块 A 产生的数据,这些数据可能包含错误的数 据,利用模块 D 可以从中选出正确的数据进行处理。如此能够在模块 A 发生故障时,保证该节点依然正常工作。

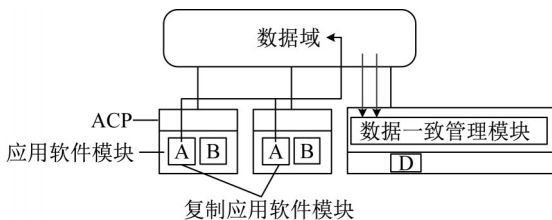


图 8 在线容错结构

Fig. 8 Structure of online maintenance

3 案例实验分析

由于受轨道交通现场安全监管条件所限,无法在现场验证 ZPW-2000 监测系统的优化功能,本研究采用信号发生器进行现场数据采集的模拟,这种仿真数据方法在 ZPW-2000 轨道电路中较为常见,不仅实际效果和现场数据分析后的结果是一致的,而且节省了大量的现场数据分析过程^[13]。因此,基于 ADS 的监测系统总体结构的研究,在同济大学轨道交通控制实验室进行了案例实验分析。实验系统包括一台计算机模拟监测管理机,一台计算机模拟站机,一台计算机模拟终端,以及路由器模拟车站的交换机。根据实验需求,将采集单元和电源、信号发生器及监测管理机连接好。实验环境架构如图 9。

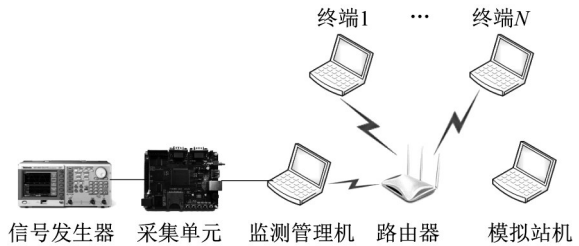


图 9 案例实验环境

Fig. 9 Environment of test simulation

3.1 数据采集功能

给采集单元通电,启动监测管理机——ZPW-2000 轨道电路监测系统软件,配置好串口的端口、波特率、校验位等参数,可以通过列表查看实时监测数据,如表 1。

表 1 实时监测数据

Tab.1 Real time monitoring data

序号	时间	数据类型	设备类型	参数类型	电压/V
0	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	0.32
1	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	0.51
2	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	0.71
3	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	0.80
4	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	1.37
5	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	1.37
6	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	1.57
7	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	1.87
8	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	1.81
9	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	2.02
10	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	2.22
11	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	2.37
12	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	2.58
13	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	2.72
14	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	2.83
15	2021/4/26 12:15:12	采集设备数据	接收端轨面	电压	3.05

监测管理机可以和 ACP 模块建立连接,并可添加新的 CC,如图 10。添加 CC 后,可以在 ACP 的界面上看到新添加的 CC 列表。监测管理机与 ACP 模块建立连接后,每隔 1s 向数据域发送监测信息。同时,模拟站机也会向 ACP 添加相同的 CC。由于监测管理机和模拟站机处在同一组播组,因此模拟站机也能够从数据域中不断获取 CC 等于 12 的消息。



图 10 添加 CC 表

Fig. 10 Interface of addition of CC

除了接收信息,模拟站机还具上传数据的功能。通过模拟向固定 IP 地址发送监测数据,并通过 TCP/UDP 软件查看模拟站机上传的数据(图 11)。

采集单元能正常采集、处理和上传数据,监测管理机能界面显示和存储数据,监测管理机和模拟站机能够相互通信,证明本研究基于自律分散系统对 ZPW-2000 轨道电路监测系统优化设计可行。

3.2 在线扩展功能

在系统正常运行的情况下,在监测管理机上面增加另外一个 AP 模块,并向 ACP 模块注册 CC 信息表,如图 12。在系统正常运行的情况下,在另外一台计算机上运行一个监测管理机软件和 ACP 模块,添



图 11 站机上传数据

Fig. 11 Interface of uploading data

加相应的 CC 信息表,设置好网络参数,连上局域网。该计算机并不连接电脑,数据来自于数据域中的监测数据,如表 2。结果表明该系统具有在线扩展功

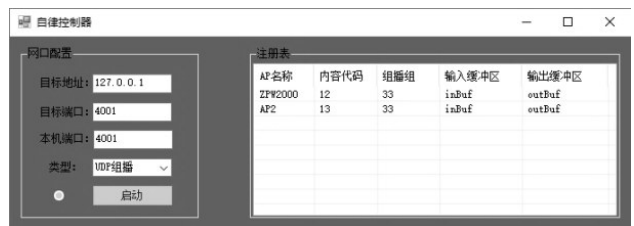


图 12 添加 CC 表的界面

Fig. 12 Registering of CC information

能,能够在不关闭系统的情况下在线添加新的 AP 模块或节点,只需要注册需要的 CC 信息表和连接网络即可。

表 2 多个节点连接数据域的站机

Tab. 2 Station machine in connection with DF by multiple Aps

序号	节点名称	时间	数据类型	设备类型	参数类型	电压/V
0	AP2	2021/4/26 13:08:24	采集设备数据	接收端面轨面	电压	3.83
1	ZPW2000	2021/4/26 13:08:24	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.12
2	AP3	2021/4/26 13:08:24	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.07
3	AP2	2021/4/26 13:08:24	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.23
4	AP3	2021/4/26 13:08:24	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.33
5	AP3	2021/4/26 13:08:24	采集设备数据	接收端面轨面	电压	3.57
6	ZPW2000	2021/4/26 13:08:24	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.27
7	AP3	2021/4/26 13:08:24	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.37
8	AP3	2021/4/26 13:08:24	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.28
9	AP2	2021/4/26 13:08:24	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.36
10	AP3	2021/4/26 13:08:24	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.33

3.3 在线维修和容错功能

在系统正常运行情况下,给优化模拟站机注入故障,该功能能够终止 ACP 模块的生存信号发送进程,在线数据如表 3。可在 TCP/UDP 收发软件端看

到依然能够收到上传的数据,但是端口已经不是原来的 40116,变成了 40412,如图 13。结果表明,该系统的模拟站机具备在线维修功能。在故障情况下,其他节点能够替换站机功能,具备系统容错功能。

表3 模拟站机故障注入优化站机

Tab. 3 Failure injection to simulation station machine

序号	节点名称	时间	数据类型	设备类型	参数类型	电压/V
0	ZPW2000	2021/4/26 14:24:08	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0
1	AP3	2021/4/26 14:24:08	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0.25
2	AP3	2021/4/26 14:24:08	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0.42
3	AP2	2021/4/26 14:24:08	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0.57
4	AP3	2021/4/26 14:24:08	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0.78
5	ZPW2000	2021/4/26 14:24:08	采集设备数据	接收端面轨面	电压	1.12
6	AP2	2021/4/26 14:24:08	采集设备数据	接收端面轨面	电压	1.31
7	AP3	2021/4/26 14:24:08	采集设备数据	接收端面轨面	电压	1.37
8	AP3	2021/4/26 14:24:08	采集设备数据	接收端面轨面	电压	1.67
9	AP2	2021/4/26 14:24:08	采集设备数据	接收端面轨面	电压	2.03
10	ZPW2000	2021/4/26 14:24:08	采集设备数据	接收端面轨面	电压	2.24



图13 模拟站机上传数据的界面

Fig. 13 Uploading data from the machine in simulation station

为了验证ADS在线技术的优越性,进行了以下验证分析。在传统轨道电路监测系统架构下,给传统模拟站机注入故障,在线数据如表4所示,节点ZPW-2000和AP的电压参数值都是零,很明显传统的轨道电路监测系统不具备在线维修功能。

除此之外,在传统轨道电路监测系统正常运行的情况下,在另外一台计算机上添加应用程序

ACP4模块,它的在线数据都是零,如表5所示。因此,传统的轨道电路监测系统不具备在线扩展和容错功能。

通过对案例实验进行分析,应用自律分散系统技术不仅能够实现ZPW-2000轨道电路监测系统的基本功能,而且能够实现系统的在线扩展,在线维修和容错功能,如此既提高了轨道电路监测系统的可靠性和灵活性,又符合轨道交通快速发展的需求。

4 结论

提出了一种基于ADS自律分散系统在线技术的轨道电路监测系统结构优化方法,针对ZPW-2000轨道电路监测系统的集中式结构进行相关优化。充分利用自律分散系统ADS的优势,分别对监测系统的体系结构、节点功能划分、节点数据域以及内容代码和组传播进行了相关优化;同时在ZPW-2000轨道电路监测系统中,应用了ADS的在线扩展技术、在线维修技术和容错技术。最后通过对车站信号监测系统的ZPW-2000轨道电路监测子系统进行案例实验,通过分析结果,验证了ADS系统对车站信号

表4 模拟站机故障注入传统站机

Tab. 4 Failure injection to machine in simulation station

序号	节点名称	时间	数据类型	设备类型	参数类型	电压/V
0	ZPW2000	2021/4/26 15:15:27	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0
1	AP3	2021/4/26 15:15:27	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0
2	AP3	2021/4/26 15:15:27	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0
3	AP2	2021/4/26 15:15:27	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0
4	AP3	2021/4/26 15:15:27	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0
5	ZPW2000	2021/4/26 15:15:27	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0
6	AP2	2021/4/26 15:15:27	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0
7	AP3	2021/4/26 15:15:27	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0
8	AP3	2021/4/26 15:15:27	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0
9	AP2	2021/4/26 15:15:27	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0
10	ZPW2000	2021/4/26 15:15:27	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0

表5 增加节点AP4后的在线数据

Tab. 5 Station machine in connection with DF by multiple Aps

序号	节点名称	时间	数据类型	设备类型	参数类型	电压/V
0	ZPW2000	2021/4/26 18:14:42	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.76
1	AP2	2021/4/26 18:14:42	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.32
2	AP3	2021/4/26 18:14:42	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.37
3	AP2	2021/4/26 18:14:42	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.71
4	AP3	2021/4/26 18:14:42	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.53
5	AP3	2021/4/26 18:14:42	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.75
6	AP4	2021/4/26 18:14:42	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0.00
7	AP3	2021/4/26 18:14:42	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.34
8	AP3	2021/4/26 18:14:42	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.72
9	AP2	2021/4/26 18:14:42	采集设备数据	接收端面轨面	电压	4.70
10	AP4	2021/4/26 18:14:42	采集设备数据	接收端面轨面	电压	0

监测系统的优化效果,实验验证的结果显示,基于ADS在线技术的轨道电路检测系统能够提高系统的可靠性和可维护性,并且增加系统扩展的灵活性。

作者贡献说明:

曾小清:主要负责ADS系统优化建模思路及实验案例指导。

方云根:主要负责实验案例的实现与测试。

袁腾飞:主要负责论文的撰写与修改。

李健:主要负责案例实验分析和论文的修改。

王奕曾:主要负责论文的修改。

参考文献:

- [1] 刘喆. ZPW-2000 移频轨道电路室外监测技术研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2016.
LIU Zhe. Research on ZPW-2000 frequency-shifted track circuit electric field monitoring technology [D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2016.
- [2] 胡再贵. ZPW-2000A 无绝缘移频轨道电路监测系统[J]. 铁道通信信号, 2005, 41(10):10.
HU Zaigui. ZPW-2000A Non-insulated frequency shift track circuit monitoring system [J]. Railway Communication Signal, 2005, 41(10):10.
- [3] 黄莺, 陶汉卿. ZPW-2000A 轨道电路监测系统的设计[J]. 河池学院学报, 2018, 38(2): 76.
HUANG Ying, TAO Hanqing. Design of ZPW-2000A Track circuit monitoring system [J]. Journal of Hechi University, 2018, 38(2): 76.
- [4] 赵顺玲, 于胜龙, 吴德昌, 等. 传统监控系统的不足及ADS解决方案[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(4):81.
ZHAO Shunling, YU Shingling, WU Dechang, *et al.* Deficiencies of traditional monitoring systems and ADS solutions [J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(4):81.
- [5] 孔青宁. 基于ADS的铁路信号监控系统的研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2010.
KONG Qingning. Research on railway signal monitoring system based on ADS [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong

University, 2010.

- [6] 赵庶旭. 基于ADS的铁路信息系统集成方案及设计[J]. 甘肃科学学报, 2007, 19(1):153.
ZHAO Shuxu. Integrated scheme and design of railway information system based on ADS [J]. Journal of Gansu Sciences, 2007, 19(1):153.
- [7] 刘卫东. 基于自律分布系统技术的可扩展监控仿真系统的研究与实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2004.
LIU Weidong. Research and implementation of scalable monitoring simulation system based on autonomous distributed system technology [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2004.
- [8] Mori K. Autonomous decentralized systems concept, data field architecture and future trends [C]//Proceedings ISAD 93: International Symposium on Autonomous Decentralized Systems. Kawasaki: IEEE, 1993: 28-34. Doi: 10.1109/ISADS.1993.262725.
- [9] KITAHARA F, IWAMOTO T, KIKUCHI K. Widely-distributed train-traffic computer control system and its step by step construction [C]//Proceedings ISADS 95. Second International Symposium on Autonomous Decentralized Systems. Phoenix: IEEE, 1995: 93-102. Doi: 10.1109/ISADS.1995.398961.
- [10] 谭永东. 自律分散系统动态进化问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
TAN Yongdong. Study on the dynamic evolution of autonomous decentralized system [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.
- [11] 谭珍珠. 基于Linux的自律分散子系统设计与实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
TAN Zhenzhu. Design and implementation of self-disciplined subsystem based on Linux [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2009.
- [12] VIRGILLITO A, BERARDI R, BALDONI R. On the event routing in content-based publish/subscribe the through dynamic networks [J]. Distributed Computing Systems, 2003, 12(8):37.
- [13] 王梓丞, 张亚东, 郭进, 等. 基于Simulink的ZPW-2000轨道电路仿真分析[J]. 现代电子技术, 2017, 40(6):79.
WANG Zicheng, ZHANG Yadong, GUO Jin, *et al.* ZPW-2000 track circuit simulation analysis based on Simulink [J]. Modern electronic technology, 2017, 40(6):79.