

基于 DDS 的异构网络数据分发方法研究

杨鑫辉,张慧翔

(西北工业大学 自动化学院,陕西 西安 710072)

摘要:在异构网络环境中,数据实现高效、可靠与安全的分发,面临着不同的应用环境对操作系统、通信方式、网络协议以及服务质量(QoS)的多种要求。文中设计了一种基于 DDS 的,在异构网络通信中使用的的数据分发系统。针对异构网络与 DDS 的特性,提出了异构网络数据分发系统的三层组织结构,并对每一层的具体内容,要实现的功能进行了研究。经过对异构网络中所传递的数据进行分析,结合 OpenDDS 本身的 QoS 策略推出该系统本身的 QoS 策略。最后,通过实验对该数据分发系统的网络延迟以及时延抖动进行了测试,表明了该系统能够有效满足异构网络之间的数据分发需求。

关键词:异构网络;数据分发服务;发布/订阅;服务质量

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)11-0057-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.11.015

Research on Heterogeneous Network Data Distribution Method Based on DDS

YANG Xin-hui, ZHANG Hui-xiang

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In heterogeneous network environment, to achieve efficient, reliable and safe distribution of data, face a variety of requirements of different application environments for operating system, communication method, network protocol and the Quality of Service (QoS). Based on DDS specification, design a data distribution system which is used for heterogeneous network. According to the characteristics of heterogeneous networks and DDS, propose the three layers of organization structure of heterogeneous network data distribution system, and study the specific content and function of each layer. Through analysis of the transmission of data in the heterogeneous network, combined OpenDDS's QoS strategy, launch the QoS strategy of the system itself. Finally, test the network time delay, jitter of the data distribution system through the experiment on itself, indicating that the system can effectively meet the demand of data distribution between heterogeneous networks.

Key words: heterogeneous networks; data distribution service; publish/subscribe; QoS

0 引言

异构网络是由不同厂商生产的计算机、网络设备和系统组成的,一般运行不同的协议,以支持不同的功能或应用。异构网络普遍存在于航空、航天、大规模通信网络和物联网等系统之中,如智能交通系统、战场指挥控制网络、传感器网络系统等^[1]。

在异构网络环境中,数据实现高效、可靠与安全的分发,面临着不同的应用环境对操作系统、通信方式、网络协议以及服务质量(QoS)的多种要求。DDS(Data Distribution Service)是对象管理组织(OMG)发布的关于分布式系统中实时数据分发的一个规范,其定义了一个与平台无关的分布式数据分发模型,以数据为

中心,在网络上以发布/订阅方式来传送数据,可满足较高的实时性要求。DDS规范了接口与数据格式,具备数据共享能力,可随时将节点加入到网络中来,具有较好的灵活性。DDS提供了多种丰富的QoS策略,可在不同节点根据用户需求进行配置,大大增强了不同节点的QoS要求,对复杂网络具有良好的适应性。

由于具有以上特点,DDS是一种可应用于大多数异构网络的数据分发服务。Kai Beckmann等研究了DDS在无线传感器网络中的应用,并提出了传感器网络发布-订阅协议^[2]。Woochul Kang等对DDS在信息物理系统中的应用进行了研究,给出了一种实时DDS的实现方案^[3]。同时,RTI公司开发的RTI DDS

收稿日期:2013-12-24

修回日期:2014-03-28

网络出版时间:2014-09-11

基金项目:教育部博士后科学基金面上项目(2013M53208);中航总航空科学基金(2012ZC53042)

作者简介:杨鑫辉(1989-),男,硕士研究生,研究方向为异构网络中的数据分发服务;张慧翔,副教授,硕士生导师,研究方向为网络QoS。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140911.1005.032.html>

也大规模应用于军事、航天领域^[4]。但是 DDS 也存在着 QoS 配置复杂^[5],成熟的产品价格昂贵不易推广应用的问题。文中针对异构网络中复杂的数据通信的 QoS 要求,采用 DDS 作为通信基础结构,基于开源软件 OpenDDS 设计了一种适合于异构网络的数据分发系统。

1 DDS 模型介绍

DDS 以数据对象的主题 (Topic) 做标识,使用发布/订阅方式实现数据传递。发布者或订阅者在全局数据空间内订阅或者发布需要的主题,在 QoS 控制下进行连接,各个网络节点之间通过点对点、点对多、多对多方式进行通信,其通信模型如图 1 所示^[6]。

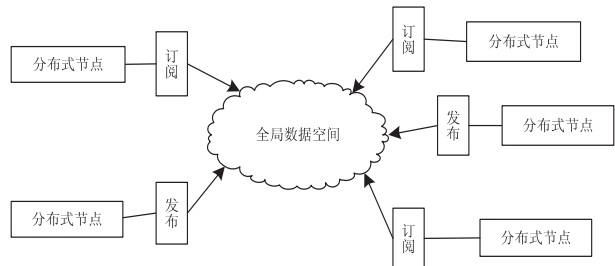


图 1 DDS 通信模型

DDS 规范分为 DCPS 层和 DLRL 层,下层是以数据为中心的发布和订阅 (DCPS) 层,包含进行发布/订阅通信机制的类型安全接口。上层是数据本地重建层 (DLRL),使应用程序开发人员能在 DCPS 层之上构建一个本地对象模型,屏蔽从 DCPS 层过来的信息。每个层具有其自身的一组概念和使用模式,两个层的概念和术语可分开进行研究。

DCPS 层负责高效地将数据传递到订阅者^[7]。它在发送端使用发布者和数据写入者,在接收端使用订阅者和数据读取者来实现数据的发送与接收。DCPS 层由域、发布者、订阅者、数据写入者、数据读取者和数据对象几个实体对象组成,其平台框架结构如图 2 所示。

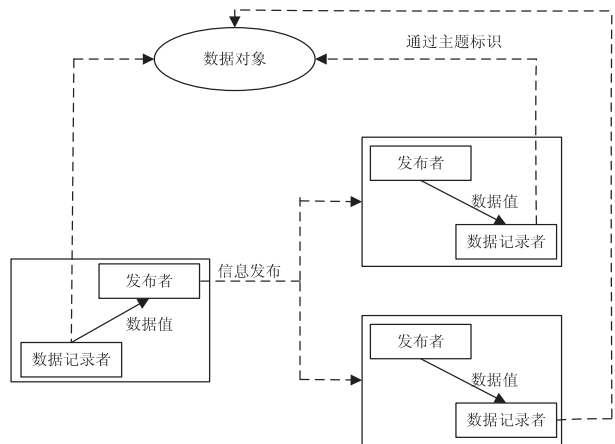


图 2 DCPS 层平台框架结构

2 异构网络数据分发系统

2.1 体系结构设计

文中设计的异构网络数据分发系统分为三层:外层异构网络、中间代理层与核心数据分发网络。异构网络所产生的数据通过代理层进行预处理、协议转换后在核心数据分发网络内进行传输,其示意图如图 3 所示。

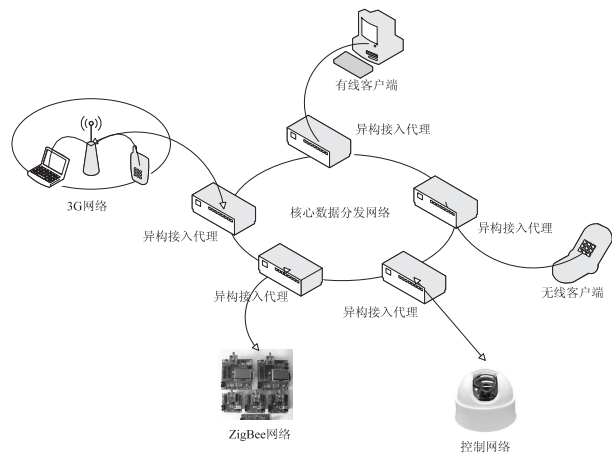


图 3 异构网络数据分发系统结构

外层异构网络包括不同的网络设备、协议组成的异构网络,如 ZigBee 网络、无线传输网络、有线网络、控制网络等,这些异构网络相当于 DDS 规范中的发布端与订阅端,网络中所产生的数据实时地传递到代理层当中,或者从代理层中获取感兴趣的数据。

代理层是实现数据分发的关键节点。外层的异构网络接入到异构接入代理上,代理端使用 DDS 作为数据分发核心组件,将发布端与订阅端的数据进行相应的协议、格式转换。代理端要实现域 Domain 的创建,创建主题定义 Topic,发布 Topic 与相应的 QoS 策略到全局数据空间,创建数据写入者或数据读取者^[8]。

核心数据分发网络承载了核心 DDS 组件以及全局数据空间。全局数据空间对发布者与订阅者所发布的 Topic 和 QoS 策略进行匹配并反馈相应的节点信息到代理端;代理端将异构网络所产生的数据传递到核心网络并传递到订阅端。

2.2 数据类型分类

在异构网络当中,由于存在着不同的操作系统、网络协议等,需要在网络间传送的数据也是不尽相同,对每一种数据单独进行 QoS 设置不但耗时耗力而且对于操作人员十分不便。因此,将异构网络当中常用的数据类型进行归类,总结出相应的特点,依次进行 QoS 设置可以得到事半功倍的效果。文中将异构网络中常见的数据分为以下几类:事件触发型数据、周期数据、连续型数据。

事件触发型数据:主要有中断信号、控制信号。此

类数据要求有较高的优先级,需要在第一时间发送出去,数据大小不定。

周期数据:周期性数据的产生时间与数据格式十分规律,数据大小可变,诸如传感器数据温度、湿度、位移量等。要求能够准确快速地传递出去,并且可将无意义的数据进行过滤处理。

连续性数据:连续型数据分为常速率(如音频)和变速率(如视频)。数据大小不固定,需要将数据分为许多段进行发送,对于数据分发的可靠性和实时性有很高的要求。

3 QoS 实现方案

根据以上所提到的异构网络数据类型以及各种类型数据的 QoS 需求,文中将 QoS 策略划分为传输层 QoS 和数据内容层 QoS。

异构网络之间的交互会产生大量的数据,如需全部在网络中传输,将会是一个巨大的负担,并且有些数据并不需要进行传输,比如温度传感器产生的数据,如果精度较高,产生的数据量将十分巨大,而在实际中往往只对超过一定变化的温度数据感兴趣,因此可将不需要的内容过滤掉。另外,许多数据都具有重要意义,比如摄像头监控点所拍摄到的画面,需要将数据内容保存起来以便后期查阅;为了防止别人截取隐私或情报,往往还需要在数据传送之前对数据进行加密。因此,数据内容层的 QoS 包含三个方面:数据持久性、内容过滤、数据安全。应用层产生的数据经过数据内容层的 QoS 之后,将需要传输的数据交给传输层面,其具体设计如下:

(1)数据持久性:DDS 本身提供数据持久性服务,结合网络中的数据特点分为瞬时数据(不保存), N 条有效(只保存最后 N 条数据), N 秒有效(数据只保存 N 秒),永久保存(数据被永久保存),具体的保存方式与格式由数据存储进程处理^[9]。

(2)内容过滤:不同的终端产生的数据有不同的意义,根据数据的意义进行内容过滤,可有效地减少网络要传送的数据量,提高网络通信质量,减小数据存储所耗费的空间。内容过滤在代理端进行,根据发布者本身所提供的数据内容,对明显不符合需要的数据直接过滤不进行分发。

(3)数据安全:数据安全涉及到数据的保密性和数据安全性,使用 SSL 或 TLS 安全技术可有效地对传输数据的安全性进行保障。

异构网络本身结构比较复杂,节点之间的通信链路不一定稳定,可靠地将数据传输到目的节点是十分重要的。在一些异构网络之中,比如实时监控系统、智能交通系统等,对数据的实时性有着很高的要求,需根

据实时情况来下达命令,做出反应,因此实时性是异构网络通信的一个重要方面。复杂网络的数据传输必然会产生抖动问题,消除抖动也是在异构网络中使用 DDS 必须面对的一个问题。因此,数据传输层的 QoS 包含三个方面:可靠性、实时性、抖动控制。

DDS 本身提供了时延、持久性、优先级等 QoS 策略,这些策略并不能完全保证实时性以及可靠性,在传输层本身需要做另外一些设置来保证上述 QoS 策略的实现。

(1)可靠性:在底层的传输协议选择上使用可靠的网络传输协议如 TCP;使用不可靠协议如 UDP 时,采用 Req-Rep(请求-应答)机制,保证数据传输可靠。在创建数据写入者时,根据传输数据对可靠性的要求对 DDS 本身所提供的 QoS 策略进行设置,通过 BEST_EFFORT 和 RELIABLE 的不同赋值设置可靠性^[10]。

(2)实时性:采用简单应用层协议,仅仅在数据头添加表示消息类型和消息长度的消息头,减小了消息封装和解封的时间开销,提高实时性能;区分数据的优先级,创建数据优先级队列,在代理端对优先级高的数据提前发送或接收。

(3)抖动控制:为了防止抖动,采用基于时间的过滤。在代理端创建数据读取者时设定期望得到新数据的最小时间间隔,DDS 在满足上述条件的情况下传送最小量的数据。

4 实验方案及结果分析

4.1 实验方案

为了测试异构网络数据分发系统的网络性能,对网络在 TCP 与 UDP 传输模式下的延迟与时延抖动进行测试。实验采用端到端测试方法,利用图 3 所示的网络结构,DCPS 信息库运行在订阅端。发布端采用 Zigbee 网络,订阅端使用普通 PC 机,接入代理上使用 OpenDDS 作为消息分发中间件^[11]。实验原理示意图如图 4 所示。

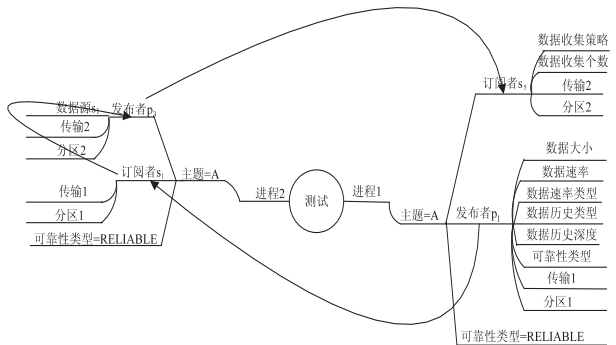


图 4 实验原理

定义 Zigbee 网络为数据发送端,不断地将自身所产生的数据送到异构接入代理。在代理端使用

OpenDDS, 创建发布者 p_1 , 主题 A、数据 pub 以及数据 writer, 并设置相应的 QoS 策略, 之后将数据发布出去。定义有线客户端为数据接收者, 并且将 DCPS 信息库运行在此客户端。在此客户端创建数据订阅者 s_1 , 创建主题 A, 设置相应的 QoS。同时在订阅端创建一个数据发布者 p_3 , 设置主题为 A, 以 s_1 接收到的数据为数据源。在 Zigbee 网络的异构代理端创建订阅者 s_5 , 设置主题为 A, 接收从发布者 p_3 传过来的数据。

运行 DCPS 信息库, s_1 接收从 p_1 发送过来的数据, 同时 s_1 作为数据源将接收到的数据提供给 p_3 , 再发送到 s_5 。因此, 每个相同的数据包在发布端与订阅端之间传输了一个来回, 每个代理端本质上都是一个发布者和订阅者的结合体。

测试采用逐渐加大数据包大小的方式。依次采用 50 B、100 B、250 B、500 B、1 000 B、2 500 B、5 000 B、8 000 B、16 000 B、32 000 B 大小的数据包来测试网络的传输性能, 数据包的发送速率为 500 次/s。

通过设定网络传输协议为 TCP 与 UDP, 分别计算数据分发的延迟与时延抖动来评价系统性能。

(1) 传输延时。

影响时间延迟的因素比较多, 比如通信节点的处理能力、软件本身的数据处理、物理链路的带宽等。文中采用数据往返于发布者与订阅者时间的一半作为平均的延迟衡量标准^[12-13], 即:

$$t_{\text{delay}} = (t_2 - t_1) / 2$$

发布者向订阅者发送一定大小的数据, 订阅者返回相同大小的数据作为确认信息, 其中 t_2 为发布者接收到订阅者反馈信息的时间, t_1 为发布者再发出信息的时间。通过测试 N 次传输延迟的实测值, 得到平均延迟:

$$\bar{t}_{\text{delay}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{N}, i = 1, 2, \dots, n$$

其中, t_i 为 n 次传输延迟中第 i 次 t_{delay} 的实测值。

(2) 时延抖动。

数据分发中的抖动是难以避免的。造成时延抖动的主要原因有: 网络拥塞、队列的拥塞或缓冲以及物理环境的抖动等。测量时延抖动需要发送大量的一定大小的数据包, 测出每次发送的时延, 根据时延之间的差算出时延抖动。

假设 R_i , S_i 分别为数据到达时间与发送时间, 时延抖动 $J_i = |R_i - S_i| - |R_{i-1} - S_{i-1}|$, 经过多次测量可以得到平均时延抖动:

$$\bar{J}_i = \frac{\sum_{i=1}^n |J_i|}{n}$$

4.2 实验结果及分析

OpenDDS 作为异构网络数据分发系统的核心, 软件本身能够保证比较小的时间开销, QoS 策略和以数据为中心的方式能够保证数据包有效、实时地到达订阅端。总体表现出来就是网络延迟较小, 能够保证网络稳定。

(1) 当网络传输协议分别配置为 TCP 与 UDP 协议时, 发布端与订阅端之间的时间延迟如图 5 所示。从下面的测试结果可以看出网络在发布端与订阅端之间的时间延迟 $\bar{t}_{\text{delay}} < 600 \mu\text{s}$, 能够快速地在网络之间传递数据包。伴随着数据的逐渐增大, 网络时延也随着慢慢变大; 并且在使用 UDP 作为底层网络传输协议时, 网络延迟基本上要小于以 TCP 作为底层网络传输协议。

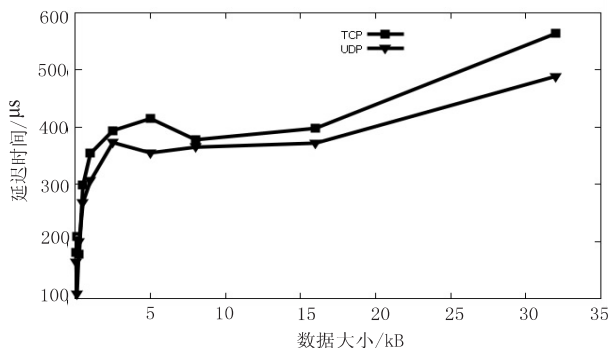


图 5 时间延迟示意图

(2) 当网络传输协议分别配置为 TCP 与 UDP 协议时, 从实验(1)中得到的网络延迟数据可以得到网络的时延抖动。从测试结果可以看出网络在发布端与订阅端之间的时间延迟抖动为 $120 \mu\text{s} < \bar{J} < 350 \mu\text{s}$, 表明网络在抖动控制方面有着较好的表现。

从上面的网络性能测试指标结果可以看出, 使用 DDS 作为异构网络之间数据分发服务标准的实时性与可靠性, 在网络负载逐步增大的情况下, 能够满足异构网络之间数据分发的复杂 QoS 要求。

5 结束语

文中研究了异构网络中的通信 QoS 需求, 探究了将 DDS 规范如何应用于异构网络之中, 并基于此提出了异构网络通信系统的三层组织结构, 提出了每一层的内容及实现方法。结合异构网络数据特点与 DDS 的 QoS 策略给出了分类的 QoS 设置方法。最后, 使用 OpenDDS 作为 DDS 核心组件对异构网络数据分发系统的网络性能进行了测试。结果表明, 该系统能够满足异构网络中的数据分发需求, 具有较低的时延与较好的网络稳定性。在下一步的研究中, 将进一步探讨

线信号传输方式应用于 TDOA/AOA 算法中,以提高测角、测距精度,再结合文中 2.3 中提出的待测节点三维坐标计算方法求解未知节点的三维坐标。仿真实验结果表明,文中提出的基于 AOA/TDOA 混合和 UWB 技术的 WSN 节点三维定位算法可以实现未知节点的三维定位且具有较高的定位精度。

参考文献:

- [1] Kaune R. Accuracy studies for TDOA and TOA localization [C]//Proc of 15th international conference on information fusion. [s. l.]:[s. n.],2012:408-415.
- [2] Yoon Jun-yong, Kim Jae-Wan, Lee Won-Hee, et al. A TDoA-based localization using precise time-synchronization [C]//Proc of 14th international conference on advanced communication technology. [s. l.]:[s. n.],2012:1266-1271.
- [3] Jiang Jehn-Ruey, Lin Chih-Ming, Lin Fengyi, et al. ALRD: AoA localization with RSSI differences of directional antennas for wireless sensor networks[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks,2013,2013:529489.
- [4] Zhang Zhonghua, Chen Di. An improved RSSI-based centroid localization algorithm in wireless sensor networks [C]//Proc of international conference on computer science and service system. Nanjing:IEEE,2011:3008-3011.
- [5] Liu Shaoqiang, Zheng Yuan, Zhong Zhi, et al. Improved DV-Hop algorithm for high accuracy and low energy consumption

[C]//Proc of CSAE. [s. l.]:[s. n.],2012:349-353.

- [6] Tan Hongbin, Liu Feng. Research and implementation of APIT positioning algorithm in WSN [C]//Proc of 9th international conference on fuzzy systems and knowledge discovery. Sichuan:IEEE,2012:2212-2215.
- [7] 陈月娥,余敏.无线传感器网络中 APIT-VP 三维定位算法[J].传感器与微系统,2014,33(5):148-150.
- [8] 马怡安.无线传感网络中基于多维尺度分析技术的定位算法研究[D].上海:上海交通大学,2012.
- [9] 曹敦,张静,傅明.基于移动代理的三维 DV-Hop 算法[J].计算机应用,2012,32(1):134-138.
- [10] 闵丽娟,卢捍华,陈玲,等.智能家居的系统结构及相关无线通信技术研究[J].计算机技术与发展,2011,21(8):169-172.
- [11] 夏兵,李光耀.一种基于 UWB 穿戴式网络的调度算法[J].计算机技术与发展,2014,24(1):14-17.
- [12] 董明忠.一种 UWB Ad Hoc 网络的自适应 MAC 协议算法与仿真[J].计算机技术与发展,2009,19(8):92-95.
- [13] 王凡,彭勇.基于 TDOA 的室内超声波定位方法的改进[J].计算机技术与发展,2014,24(6):250-253.
- [14] 赵侃,漆德宁.基于 UKF 滤波的 FDOA 和 TDOA 联合定位跟踪算法[J].计算机技术与发展,2012,22(5):127-129.
- [15] 赵洪蕾. TDOA/AOA 数据融合算法在铁路场景下的定位应用[J].计算机技术与发展,2013,23(4):75-78.

(上接第 60 页)


异构网络加入或撤出系统时对系统的影响,实现在多个域以及更加复杂的网络环境下对 OpenDDS 的利用。

参考文献:

- [1] 韩小燕.异构网络融合方案的设计及应用[D].南京:南京邮电大学,2010.
- [2] Beckmann K, Thoss M. A wireless sensor network protocol for the OMG data distribution service [C]//Proc of the tenth workshop on intelligent solutions in embedded systems. [s. l.]:[s. n.],2012:45-50.
- [3] Kang W, Kapitanova K, Son S H. RDDS: a real-time data distribution service for cyber-physical systems [J]. IEEE Trans on Industrial Informatics,2012,8(2):393-405.
- [4] Pillgram-Larsen J. Real-time Data Distribution Service (DDS) tutorial [DB/OL]. 2010. http://portals.omg.org/dds/sites/default/files/DDS_Tutorial_RT_Workshop_2010.pdf.
- [5] Etxeberria-Agiriano I, Calvo I, Pérez F, et al. Mapping different communication traffic over DDS in industrial environments [J]. Information Systems and Technologies,2011,6:15-18.

- [6] Object Management Group. Introduction to DDS [R]. [s. l.]: Object Management Group,2009.
- [7] Object Management Group. Data Distribution Service (DDS) brief [DB/OL]. 2011. <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?omg/11-08-01.pdf>.
- [8] 张大海,赖兰剑,陈鼎才. DDS 在分布式系统仿真中的应用 [J]. 计算机技术与发展,2011,21(3):250-252.
- [9] 冯国良,谷青范.基于 DDS 的实时中间件的研究与设计 [J]. 航空电子技术,2011,42(3):41-46.
- [10] 姚兵,蔡婷,李峻林,等.基于 DDS 模型的数据分发中间件的设计与实现 [J]. 计算机工程与设计,2009,30(3):619-623.
- [11] 王洁宁,王果.基于 DDS 规范的航行通告分发服务 [J]. 计算机技术与发展,2012,22(11):212-215.
- [12] 许海涛,张建伟,郑灿祥.基于 CORBA 与 DDS 技术改进 DRS 系统通信 [J]. 计算机工程与设计,2012,33(1):357-361.
- [13] 张珺,尹逊和.基于 RTIDDS 的数据分发中间件的升级设计 [J]. 北京交通大学学报:自然科学版,2011,35(5):31-37.

基于DDS的异构网络数据分发方法研究

作者：[杨鑫辉](#)，[张慧翔](#)，[YANG Xin-hui](#)，[ZHANG Hui-xiang](#)
作者单位：[西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安, 710072](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2014(11)

引用本文格式：[杨鑫辉](#). [张慧翔](#). [YANG Xin-hui](#). [ZHANG Hui-xiang](#) [基于DDS的异构网络数据分发方法研究](#)[期刊论文]

-[计算机技术与发展](#) 2014(11)