

# 基于开放式架构的 DDS 研究与实现

熊峻峰 石和荣

(南京电子技术研究所 南京 210039)

**摘要:** 华睿2号嵌入式实时平台具备实时性、灵活性等优点。基于华睿2号开放式架构综合比较,选择合理的通信中间件技术,即使用 DDS 来构建数据分发系统。在华睿2号平台上适配 DDS 所需要的传输插件、硬件结构等,以完成 DDS 在华睿2号平台上的部署。在完成 DDS 基本的 QoS 配置同时,根据传输方式来配置额外的 QoS 策略。最后,在平台实现 DDS 的测试与分析。对比 DDS-UDP 传输,DDS-RapidIO 传输、DDS-RapidIO-DMA 传输、逐步升级与优化,达到高实时性、高稳定性、大数据量的要求。

**关键词:** 开放式架构; 数据分发服务; 服务质量; RapidIO; DMA

**中图分类号:** TP391    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 520.6099

## DDS service research and implementation based on the open architecture

Xiong Junfeng Shi Herong

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

**Abstract:** Huarui-2 embedded real-time platform has the advantages of real-time and flexibility. This paper will choose reasonable communication middleware technology by comparison based on the Huarui-2 open architecture. Therefore we use DDS to build data distribution system. The project will be equipped transport plug-in and hardware structure to support the DDS deployment on the Huarui-2 platform. Not only we complete the basic configuration of DDS, but also configure the additional QoS based on the transport mode. Eventually, do implement of DDS test and analysis. By making a comparison among the DDS-UDP transport, the DDS-RapidIO transport, the DDS-RapidIO-DMA transport, we upgrade and optimize the program, which meets the requirements of highly real-time and reliable and large quality of data.

**Keywords:** open architecture; DDS; QoS; RapidIO; DMA

### 0 引言

在信息量爆炸的现代,嵌入式实时系统由于其实时性、灵活性等优秀特性,在各种高精尖领域占据了主流。如何对其进行高效的优秀资源管理,则显得尤为重要。尤其是在军事领域,随着新型作战对象的不断涌现,战场环境日益复杂,对武器系统的功能和性能的要求越来越高<sup>[1]</sup>。为有效缩短研制周期、降低研制成本、提升系统性能,采用模块化开放式设计理念,研制具有通用性、模块化、集成化、可重构、可扩展、可维修、低成本优势的开放式架构已成为必然趋势。

开放式架构是具有充分开放的接口、协议和结构尺寸标准的系统。这样的架构能够很好的使所研制的组件只需要进行很小的改动即可在广泛的系统中得以应用。开

放式架构软件系统基于分布式计算机,基础是分层结构,并采用通信中间件技术。如图1所示软件平台的分层。其中,软件总线与中间件是整个系统的核心。软总线是借鉴硬件总线的概念,基于软件中间件的技术,屏蔽操作系统的网络协议差异的结构。其实现了应用软件系统的集成安装与卸载<sup>[2]</sup>。

其中中间件技术本课题的研究重点。本课题将在华睿2号嵌入式实时计算平台上,实现 DDS(data distribution service)的适配与优化。

### 1 DDS 技术的选择与介绍

对于开放式架构,选取合适的通信中间件技术是非常重要的。课题着重考虑的通信中间件技术有对象管理组织的 OMG(object management group)的公共对象请求代



图1 开放式架构

理体系(common object request broker architecture, CORBA)和数据分发服务(data distribution service, DDS)。在传统的网络模型中,常见的是客户端/服务器(C/S)模型,如图2所示基于OMG标准的是CORBA技术,它以对象为中心,服务器负载高,存在服务器瓶颈,其通过对象请求代理调用远程对象的方法来得到感兴趣的数据。虽然该模型稳定可靠,但是其在实时性高的雷达系统架构中表现并不尽人意。而新兴的另一种面向对象的发布/订阅(P/S)模型中,如图3所示发布者与订阅者达到了空间、时间、数据流的松耦合,这些特性使得中间件具有良好的灵活性<sup>[3]</sup>。因此基于OMG标准的DDS技术映入眼帘。它以数据为中心,每个发布订阅就是一个数据流,直接传送订阅者感兴趣的数据,并且有大量的QoS(quality of service)策略进行调配。发布订阅模型能实现节点之间自动的数据流传递,这是系统实时性最大的保障。至于其他的发布订阅模型,如IBM的WebSphere MQ以及JMS(Java message service)往往是基于集中式体系结构,并且缺乏应用级的QoS策略,并不适合本课题研究。<sup>[4]</sup>

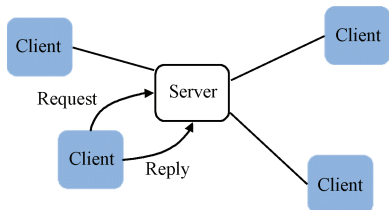


图2 C-S模型

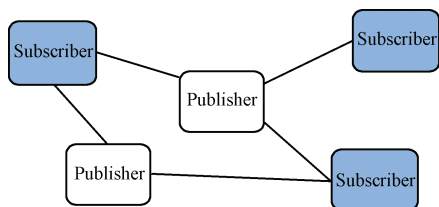


图3 P-S模型

DDS是位于网络协议栈上最上层的软件,它屏蔽底层网络代码,代之以通用的,基于标准的应用程序接口API。通过API提供易于理解、基于发布/订阅通信模型。DDS规范的核心是DCPS(data centric publish subscribe),定义了一个“全局数据空间”,并且在指定了发布

者和订阅者怎么与该空间进行通信。所有的数据对象都存在于此全局共享空间中,分布式节点通过简单的读、写操作便可以访问这些数据对象。DCPS主要由数据写入者(datawriter),数据读写者(datareader),发布者(publisher),订阅者(subscriber)和域及数据对象几个实体组成<sup>[5]</sup>。

DDS通过QoS策略来描述对服务行为的约束。QoS策略是系统运行时所表现出来的非功能性特性,其描述了用户对系统性能、可靠性、时间约束、存储空间约束等方面要求,从而为系统提升更多的灵活性和适应性。同时DDS为了高效地进行数据通信,通过监听器机制以及等待机制来支持异步与同步的通知机制。这一系列规范,保障了DDS高效、可靠,行为可预测的特点。

## 2 硬件平台与支持

### 2.1 华睿2号平台

华睿2号是南京电子技术研究所研发的一款8核DSP芯片,由4个向量DSP核和4个可配置专用处理核(reconfigurable application specific processor, RASP)构成,模块间通过交叉开关XBar互连。芯片主要包括以下模块:

- 1) DSP核:具有2个256位向量运算部件,512KB二级Cache/RAM,主频1.0GHz
- 2) RASP:具有浮点运算阵列和512KB Local Memory,通过配置可实现专用信号处理算法的计算,主频1.0GHz;
- 3) DMA:负责数据搬运和矩阵转置等;
- 4) Share Memory:共享的片上RAM,共4MB,500MHz;
- 5) DDR3:内存控制器,64位,1066MHz,峰值总带宽256Gbit/s;
- 6) RapidIO/PCI-E:复用PHY,4路,每路支持4lane,每lane支持3.125Gbps,峰值总带宽100Gbps<sup>[6]</sup>。

### 2.2 RapidIO与DMA

直接内存存取(direct memory access, DMA)是将传输将数据从一个地址空间复制到另外一个地址空间。当CPU初始化这个传输动作,传输动作本身是由DMA控制器来实行和完成。DMA传输对于高效能嵌入式系统算法和网络是很重要的。在实现DMA传输时,是由DMA控制器直接掌管总线,因此,存在着一个总线控制权转移问题。即DMA传输前,CPU要把总线控制权交给DMA控制器,而在结束DMA传输后,DMA控制器应立即把总线控制权再交回给CPU。一个完整的DMA传输过程必须经过DMA请求、DMA响应、DMA传输、DMA结束4个步骤<sup>[7]</sup>。

华睿2号嵌入式平台支持DMA传输。在DDS部署时也完成了相应适配。发布订阅时也可以通过QoS配置决定是否采用DMA传输。

RapidIO 是一种高性能、低引脚数、基于数据包交换的互连体系结构,是为满足和未来高性能嵌入式系统需求而设计的一种开放式互连技术标准<sup>[8]</sup>。RapidIO 控制器实现 RapidIO 2.2 协议,同时兼容 RapidIO 2.1 和 RapidIO 1.3 协议。RapidIO 控制器也可以实现 DMA 读写操作。在 DDS 部署时也完成了相应适配。发布订阅时也可以通过 QoS 配置决定是否采用 RapidIO 传输<sup>[9]</sup>。

### 3 DDS 实现

#### 3.1 发布订阅的实现

应用程序通过 DDS 进行发布订阅。需要根据通信内容通过编写 idl 文件来自定义数据类型。然后根据 idl 文件通过代码生成器来生成相应的发布端和订阅端的应用程序<sup>[9]</sup>。

发布者在 DCPS 模式中负责实际发送数据,发布者拥有和管理数据写入者,数据发布者可以发送很多不同数据类型的不同主题的数据,如图 4 所示。应用程序使用数据读出者在 DCPS 网络中访问接收数据。数据读出者和一个单独的主题相关。在一个单独的应用程序中,可以有多个数据读出者和主题。订阅者是 DCPS 负责实际的对已经发布的数据的接收的组件对象。同样数据订阅者可以接收很多不同数据类型的不同主题的数据。

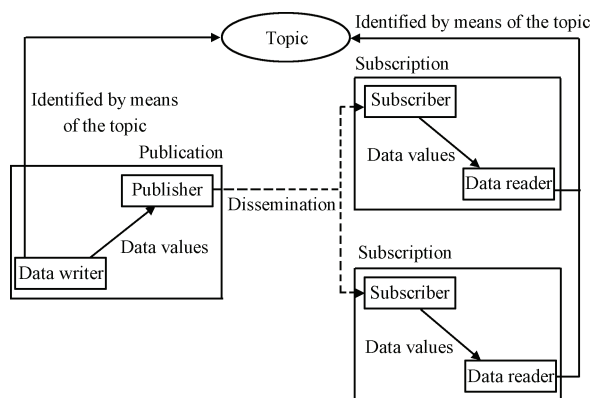


图 4 DCPS 网络

在应用程序代码中,发布端和订阅端会根据 QoS 配置来:

- 1) 创建域参与者;
- 2) 创建发布者/订阅者;
- 3) 注册自定义数据类型;
- 4) 创建主题;
- 5) 创建数据写入者/数据读出者;
- 6) 将自定义数据类型与数据写入者或读出者绑定。

之后,在发布端就可以通过在 DataWriter 中调用 write() 函数时来发送数据。而在接收端还需要创建监听实体。通过监听实体得到一个 CallbackData 反馈数据结构体,从而获取数据更新通知,以及发布订阅性能的信息。通过 on\_data\_available 中的 take 或 write 函数来完成数

据接收<sup>[10]</sup>。

#### 3.2 QoS 配置

QoS 的配置可以直接在程序代码中进行配置,如图 5 所示,也可以通过 xml 文件来进行配置。DDS 的 QoS 策略作用范围包括针对域参与者、发布者、订阅者的等等。各类数据在实时性、可靠性、持续性等,各种不同属性上的不同需要及当前整个局域网的资源特点,需要配置不同的 QoS 策略。DDS 会默认配置一部分 QoS,本课题通过 xml 文档额外配置了包括同步发送 QoS,批处理 QoS,计算核使用 QoS,网口使用 QoS,udp 相关 QoS 等等<sup>[11]</sup>。另外通过程序代码配置了一些测试上需要更改的 QoS 配置,如下:

1) rapidIO 设置相关 QoS。在注释掉之后采用 udp 传输,打开使用 rapidIO 传输;

2) dma 设置相关 QoS。设置最小使用 dma 的包长度,设置为 0 即不使用 dma;

```
# define SET_DPFACT_QOS(_DPFACT_QOS)
    _DPFACT_QOS.min_dma_copy_size = 16384;
```

3) 可靠性与尽力而为传输模式的配置。注释掉即为尽力而为,打开即为可靠传输。

```
_DR_QOS.reliability.kind = RELIABLE_RELIABILITY_QOS[12];
```

```
if (!_DP_QOS.usertraffic_receive_addresses.addresses.ensure_length(1, 1))
{
    printf("ensure user traffic receive addresses length failed.\n");
}
const ZR_INT8* rapidioAddr = "rapidio://0/0";
_DP_QOS.usertraffic_receive_addresses.addresses.set_at(0, rapidioAddr);
```

图 5 RapidIO 相关 QoS

### 4 DDS 的测试与优化

DDS 默认使用的底层传输协议是 UDP 协议。华睿 2 号平台上允许采用 DDS 的 UDP 传输,但是 UDP 测试发现无论是吞吐量还是延迟的测试结果都不尽如人意。因此进一步完成了 DDS 的 RapidIO 适配,进行了 DDS 的 RapidIO 测试,并在测试时采用了 DMA 传输。

华睿 2 号平台一块芯片板上共有 4 个向量 DSP 核和 4 个可配置专用处理核,分别处于 4 块处理片上,即 A、B、C、D 4 片。测试时,选择 A 片作为发送端,D 片作为订阅端,采用 A、B、C、D 的顺序,进行点对点测试与环测<sup>[13]</sup>。后续的大部分发布订阅应用将基于点对点的发布订阅,因此下面将展示分析点对点的测试结果。

#### 4.1 DDS-UDP 传输

在华睿 2 号上,进行 DDSUDP 的吞吐量和延迟测试,将 A 片设为发送端,D 片为订阅端,包长从 64 Bytes 到 65 536 Bytes,每种包长测试 100 000 包,测试结果如图 6、7 所示。

UDP 传输最大支持 64 KB 的包长。分别采用了可靠传输模式与尽力而为传输模式。分析测试结果,可靠传输

模式与尽力而为传输模式吞吐量与延迟差距不大。DDS只使用UDP测试时,吞吐量和延迟随包长增加而增加。在大包段(大于16KB),吞吐量加高。但总体相比于期望来说吞吐量较低,延时较高。并不能支持在其上进行高实时性高吞吐量的发布订阅任务。

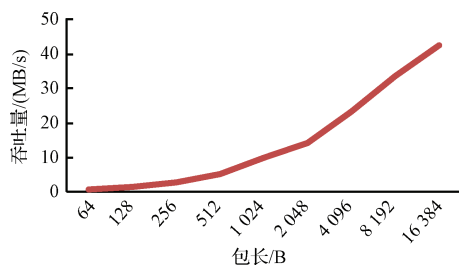


图6 DDS Reliable UDP 吞吐量

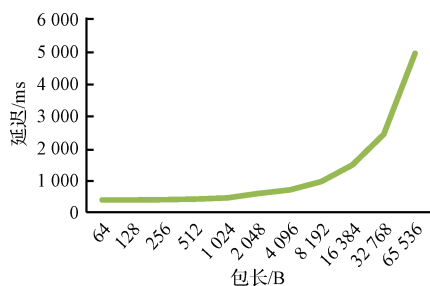


图7 DDS Reliable UDP 延迟

#### 4.2 DDS-RapidIO 传输与 Dma 拷贝

在华睿2号上,使用DDS进行RapidIO的吞吐量和延迟测试,将其中A片设为发送端,D片设为订阅端,包长从64 Bytes到1048576 Bytes,大于64KB的超大包采用拼包的方式进行传输。每种包长测试100000包。

分析测试结果,由于后续软件层上要求高性能的应用通常是使用大包发布订阅,所以将重点分析大包(大于16KB)传输的结果。采用RapidIO传输,默认不会出现丢包,即可靠传输模式。

使用RapidIO进行传输时,相较于UDP传输吞吐量大幅度提高,延迟大幅度降低,且吞吐量与延迟随着包长的增加而增加。由于其发布端与订阅端都分别进行了一次memcpy(通过CPU的内存拷贝),所以将其与进行两次memcpy的RapidIO传输裸测结果进行比较,在大包阶段使用DDS传输的吞吐量能达到裸测的60%到90%。单相比于不进行的memcpy的纯RapidIO传输裸测,在大包段只能达到20%到40%。

因此考虑了减少内存拷贝上的性能损耗来进行优化,采用DMA(直接内存拷贝)来进行DDSRapidIO传输<sup>[14]</sup>。测试相关结果如图8、9所示。使用DMA来代替memcpy的情况下,在16KB之后的大包阶段,吞吐量相对大幅上升,延迟相较于memcpy测试大幅缩减。由于其发布端与订阅端都分别进行了一次dma拷贝,所以将其与进行两次dma拷贝的RapidIO传输裸测结果相比较,在大包阶段

DDS传输的吞吐量能达到裸测的80到90%。相比于不进行的任何拷贝的纯RapidIO传输裸测,在大包段能达到50%到60%<sup>[15]</sup>。

因此在大包阶段采用DDSRapidIO dma传输,能够有效提高发布订阅的数据量以及实时性。这也是在华睿2号平台上最终采用的DDS发布订阅传输模式。

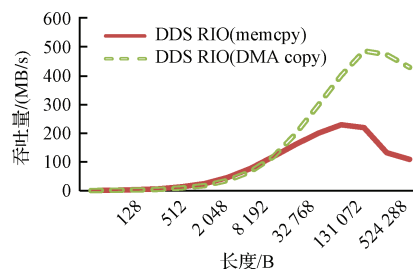


图8 DDS RapidIO 吞吐量

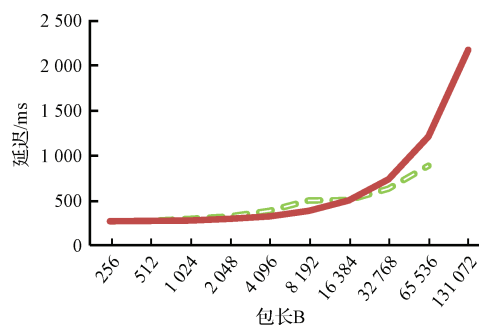


图9 DDS RapidIO 延迟

## 5 结论

本课题在华睿2号平台上部署了DDS通信中间件。并根据性能测试结果,适配了相关底层传输模式与硬件。最终选定使用RapidIO作为DDS的传输插件,并在大包阶段采用了DMA传输方式。即完成了基于华睿2号开放式架构的DDS数据分发实现与优化,使得性能达到高实时性,高数据量,高稳定性的要求。但其上层的软件层的应用并没有涉及<sup>[16]</sup>,如何在DDS软总线上实现应用级的发布订阅,将是后续工作的重点。

### 参考文献

- [1] 张荣涛,杨润亭,王兴家,等. 软件化雷达技术综述[J]. 现代雷达,2016,38(10):1-4.
- [2] 王玉娇,耿思,李宁. 东巴古籍资源的数字化及数据管理[J]. 电子测量与仪器学报,2017,31(4):636-643.
- [3] SHI K, BO Y, JIANG L. Middleware-based implementation of smart microgrid monitoring using data distribution service over IP networks[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics,2014,14(1).
- [4] BELLAVISTA P, CORRADI A, FOSCHINI L, et al. A performance comparison of opensplice and RTI

- implementations[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 13(4): 377-383.
- [5] ALMADANI B. QoS-aware real-time pub/sub middleware for drilling data management in petroleum industry[J]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2016, 7(2): 287-299.
- [6] 刘静,周海滨. 基于ESL的华睿2号SoC系统级架构设计[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2016, 16(4): 69-77.
- [7] 曹科庭. 基于PCIE的DMA高速数据传输控制器的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [8] 刘琳. 基于RapidIO的高速数据传输系统设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [9] 徐玉芳. 嵌入式雷达综合诊断系统的设计与实现[J]. 电子测量技术, 2015, 38(8): 85-89.
- [10] AL-MADANI B, ALI H. Data distribution service (DDS) based implementation of smart grid devices using ANSI C12.19 standard[J]. Procedia Computer Science, 2017(6): 82-89.
- [11] 苏伟. DDS在嵌入式航电分布系统中的应用研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [12] KARAKUS M, DURRESI A. Quality of service (QoS) in software defined networking (SDN): a survey[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2016(10).
- [13] 罗清华, 彭宇, 周鹏太, 等. 航空飞行试验新一代网络化遥测技术浅析[J]. 仪器仪表学报, 2017, (2): 261-270.
- [14] 魏芸. 基于FPGA的PCIe总线DMA平台设计[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [15] 仲维亮. 基于IP over RapidIO的DDS中间件优化实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- [16] 雷鹏斌. 软件无线电系统中CORBA中间件关键技术研究与实现[D]. 长沙: 湖南师范学院, 2016.

#### 作者简介

熊峻峰, 1993年出生, 硕士研究生, 研究方向为通信中间件技术。  
E-mail: justfall@163.com