

文章编号:1007-757X(2018)08-0060-04

基于 DDS 的可靠通信方法的分析和研究

李海浩， 顾滨兵， 刘艳平
(91404 部队,秦皇岛 066000)

摘 要: 介绍了 DDS 可靠通信的高效通信模式和可靠通信模式,针对影响 DDS 通信反应时间、敏感度、活跃性、吞吐量和资源利用的数据信息、心跳信息和承认信息等参数信息,分析研究了 DDS 通信过程和 RTPS 可靠通信协议,详细阐述了 DDS 可靠通信应用中的激活、发送队列、接收队列和消息风暴的设置。
关键词: 数据分发服务;可靠通信协议;消息风暴
中图分类号: TP311 **文献标志码:** A

Analysis and Research of Reliable Communication Method Based on DDS

LI Hai-hao, GU Bin-bing, LIU Yan-ping
(No. 91404 Troops of PLA, Qinhuangdao 066000)

Abstract: The efficient communication mode and reliable communication mode of DDS reliable communication are introduced, Because to the DATA, HB and ACKNACK effect the DDS reaction time, sensitivity, activity, throughput and resource utilization, the paper analyzed and studied the DDS communication process and RTPS reliable communication protocol, described the setting of the activation, the sending queue, the receiving queue and the message storm in the DDS reliable communication application.
Key words: Data distribution service; Protocol of reliable communication; Message storm

0 引言

DDS(Data Distribution Service)数据分发服务是对象管理组织 OMG 对分布式实时系统中数据分布的一种规范,是以数据为中心的发布/订阅数据通信模型^[1-2]。应用 DDS 进行通信,具有低延迟、高吞吐量、可控通信性能、多种通信方式的优点^[3],其中可靠性通信方式应用最为广泛,也是 DDS 应用通信的优势所在^[4]。怎样应用 DDS 进行可靠性通信,是 DDS 应用开发的重点和难点^[5]。

1 DDS 技术应用

DDS 技术作为系统的数据传输基础机制,已经在国外装备软件研发中广泛,例如美国海上战争中心(NSWC)高性能分布式计算系统(HiPer-D),美国海军 LPD-17 舰内广域网络,TACTICOS 等等。随着国内的航空、国防、分布仿真、工业自动化等多个领域的快速发展,DDS 技术已经在国内得到一定程度的应用^[6-7]。DDS 技术较传统的 TCP、UDP 通信技术和 CORBA 规范^[8]具有较大的优势,因此 DDS 技术越来越多的应用到各领域。不同通信方式在资源、应用、效率等方面的对边,如表 1 所示^[9-10]。

与传统通信技术相比较,DDS 技术具有高传输效率、网络资源利用率,可靠传输 Qos 策略^[11],实时应用场景等优

势。虽然 TCP 和 CORBA 同样具有可靠传输功能,但其可靠传输无法与网络资源利用率、Qos 策略相辅相成,达到最优的利用效率。因此对 DDS 可靠通信方式的研究,能够更加深入的了解和掌握该技术的原理和应用^[12]。

表 1 不同通信方式的优劣比较

项目/传输方式	UDP	TCP	CORBA	DDS
构架	无	无	C/S	DCPS
传输效率	高	低	低	高
可靠传输	无	有	有	有
网络资源利用率	高	低	低	高
自动发现	无	无	有	有
Qos 策略	无	无	无	有
自定义数据类型	无	无	有	有
应用场景	简单应用场景	简单应用场景	非实时分布式	实时分布式

2 可靠通信的概述

不同数据的通信对可靠性的要求不同,比如:信号数据的单独样本可以丢掉,因为当下一个值发送时前面的值就会消失;而命令数据的每个样本必须被接收,并必须有次序的

作者简介:李海浩(1982-),男,硕士研究生,研究方向:软件测试。
顾滨兵(1978-),男,硕士研究生,研究方向:软件测试。
刘艳平(1990-),男,硕士研究生,研究方向:软件测试。

接收。DDS 为了满足不同需求,在可靠通信中提出了高效通信模式和可靠通信模式^[13]。

2.1 高效通信模式

高效通信模式不对发送次序和重发丢失样本进行管理,忽略丢失的样本数据以支持最新的样本数据,不算真正意义的可靠通信^[14]。

2.2 可靠通信模式

可靠通信模式是保证数据读取者能够按照数据写入者发送数据的顺序读取所有数据^[15]。为了实现可靠通信,用于临时存储样本的发送队列和接收队列的设置是至关重要的。发送队列用于存储数据写入者发送的最后 X 个样本数据。当样本数据被所有可靠订阅确认后,DDS 便从发送队列中移除该样本数据;当样本数据没有被所有可靠订阅确认时,在堵塞周期(后面章节将进行详细说明)结束后,DDS 也会在发送队列中移除该样本。接收队列用于存储数据读取者期望接收的 X 个样本数据,当一个无序的样本数据达到后,DDS 会将该样本数据存储到接收队列中,等待样本数据连续后,才会将连续的样本数据提交给数据读取者。

3 通信过程

DDS 通过执行一个可靠的协议来完成发布端和订阅端之间的可靠通信,协议承认应用程序之间的水平信息,并能够监视连接的活跃性,该协议称为实时发布订阅协议,简称 RTPS 协议^[16]。其通过相关参数信息的配置,调衡应用程序之间的行为来平衡反应时间、敏感度、活跃性、吞吐量和资源利用,相关参数信息主要包含数据信息(DATA)、心跳信息(HB)和承认信息(ACKNACK),下面对具体实现过程进行简要介绍。

数据信息包含数据对象的值快照和数据次序号,值快照为通信具体内容,DDS 应用次序号来识别数据写入者,每次数据写入者的 write() 被调用时,次序号由数据写入者重新赋值,数据信息使用 DATA(<value>, <sequence Num>) 表示。例如:DATA(A,1),A 代表数据对象的值快照,1 表示次序号。

心跳信息包含应接收数据的次序号信息,通过与数据读取者通信,确认数据读取者是否接收到所有应接收到的值快照,使用 HB() 表示。例如:HB(1) 和 HB(1-3) 分别表示数据读取者应该接收到次序号为 1 和次序号为 1、2、3 的值快照,要求数据读取者确认。

承认信息包含未接收到数据的次序号信息,向数据写入者反馈数据读取者应接收但未接收到数据的次序号,使用 ACKNACK() 表示。例如:ACKNACK(1) 和 ACKNACK(1-3) 分别表示数据读取者应接收但未接收到值快照的次序号为 1 和 1、2、3,要求数据写入者重新发送。

DDS 可以使用一个网络数据包手机多个上述信息,以便提供更高性能的通信。该可靠协议的应用原理,如图 1 所示。

当应用程序调用数据写入者 write() 操作时,RTPS 协议将多个子信息集合成为一个网络数据包,数据包包括数据值和指定的次序号,存储在数据写入者的发送队列中。数据包

接收后,放置在数据读取者的接收队列中,通过次序号,数据读取者可以判断是否错过相关数据值,该数据值是否立即应用。当数据读取者确认接收到 HB(1) 的相关数据后,以 ACKNACK(2) 回复,表示承认接收到次序号为 2 以前的数据值。当数据写入者接收到该承认信息后,便将次序号为 1 数据进行√标记,表示该数据值已被承认接收,并在发送队列中删除该数据。

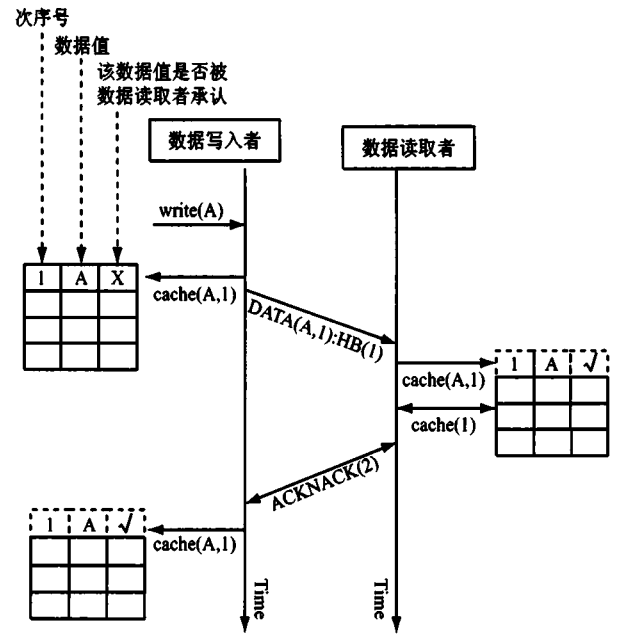


图 1 RTPS 可靠通信协议应用原理

上述过程是数据未丢失的应用原理,当数据丢失时,RTPS 可靠通信协议应用原理,如图 2 所示。

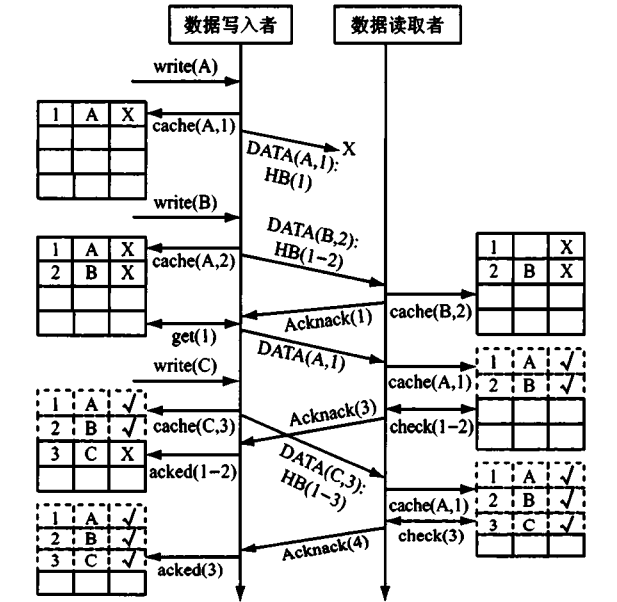


图 2 RTPS 可靠通信协议应用原理

具体流程如下所示:

(1) 假定包含 DATA(A,1) 的信息被网络丢弃,数据读取者没有接收到 DATA(A,1) 的承认信息,所以继续发送 [DATA(B,2); HB(1-2)], 表示数据读取者应该接收到 DATA(A,1) 和 DATA(B,2), 并将 DATA(A,1) 和 DATA(B,

2)加入 X 标签,表示未收到承认信息。

(2)数据读取者接收到信息(DATA(B,2);HB(1-2))后,会判断到未接收到 DATA(A,1)数据,在接收到队列中将 DATA(B,2)的数据加入 X 标签,标记它没有传递给应用程序,然后发送 ACKNACK(1)请求数据 DATA(A,1)数据。

(3)数据写入者收到 ACKNACK(1)后,立即发送 DATA(A,1),并继续发送[DATA(C,3);HB(1-3)]。

(4)数据读取者接收到 DATA(A,1)后,将 DATA(A,1)和 DATA(B,2)提交给应用程序,并发送 ACKNACK(3)承认信息;当接收到[DATA(C,3);HB(1-3)]后,立即发送 ACKNACK(4),并将 DATA(C,3)提交给应用程序。

(5)写入者接收到 ACKNACK(3)后,DATA(A,1)和 DATA(B,2)在发送队列中删除。在准备但未发出 DATA(C,3)时,接收到 ACKNACK(4),读取者便不再发送 DATA(C,3),并准备发送其他数据,并将 DATA(C,3)在发送队列中删除。

在这个过程中,写入者确认发送队列最靠前的数据被接收后,将数据进行√标注并在队列中删除;读取者确认接收队列最靠前的数据都已接收后,将数据进行√标注并在队列中删除。

RTPS 协议中重要特征是 ACKNACK 信息只作为对 HB 信息的直接响应而发送,方便写入者更好的控制这些“管理”信息。如果写入者了解它即将发送 DATA 的信息链,便可以收集它们,包含到一个 HB 中进行发送,从而最小化了 ACKNACK 的传输。

4 可靠协议的设置

4.1 可靠协议的激活

成功部署 DDS 通信组件后,通过修正写入者和读取者的可靠传输的 Qos 策略来实现可靠协议的激活,具体代码如下:

```
DataWriter;
writer_qos.reliability.kind = DDS_RELIABLE_RELIABILITY_QOS;
DataReader;
writer_qos.reliability.kind = DDS_RELIABLE_RELIABILITY_QOS;
```

4.2 发送队列

数据写入者的发送队列用于存储它写入的每个样本,样本将在它被所有可靠的数据读取者承认(通过 ACKNACK)后移除。数据读取者可以请求数据写入者重发一个丢失的样本,样本仍然在发送队列里可用,它将被重发,样本不在发送队列里时,写入者会请求应用程序重发该样本。针对实时的 ACKNACK 请求,写入者将定期向它的可靠读取者发送心跳。

写入者与读取者进行一对一通信时,发送队列可以被该读取者独享。写入者与读取者进行一对多或多对多通信时,发送队列将同时处理多个读取者的 ACKNACK,当一个或几个读取者获取的数据丢包时,发送队列会用于处理相关 ACKNACK,导致占用较多的队列资源,甚至出现发送队列

堵塞现象,影响写入者与其他读取者之间的通信。为了解决该问题,DDS 提供了两种模式:严格可靠和非严格可靠。两种模式是通过历史记录策略(history Qos)中 kind 参数判断,当 kind 设置为 keep_all 时,采用严格可靠模式;设置为 keep_last 时,采用非严格可靠模式。严格可靠模式能够保证数据通信的严格可靠,当发送队列堵塞后,写入者不再发送数据,直到发送队列中再次具有可用空间。非严格模式下在一定程度上能够保障数据通信的可靠性,但严格的可靠无法保证,发送队列中数据的预期生命周期(由 Lifespan 策略决定)结束后,无论是否有对应 ACKNACK 未处理,该数据都将被清除出发送队列,会保证发送队列不再堵塞。

发送队列的深度一般受应用程序参数(如发送速率)、频道参数(如端到端延迟和数据包丢失的可能性)以及服务要求质量(如样本丢失的最大可接受的可能性)等因素影响。在进行数据传输时,在假定单独的数据丢失是不相关的情况下,可通过一个简单模型对最小深度值进行计算,如式(1)。

$$N = 2RT \frac{\log(1-Q)}{\log p}$$
 (1)

其中 R 表示发送样本的速率;T 表示来回的传递时间;p 表示往返中样本丢失的概率;Q 表示最终被成功传递的要求概率。

下面列出一般情况下,发送队列所要求的最小值,如表 1 所示。

表 1 发送队列在一般情况下的最小值列表

Q/%	p/%	T/s	R/Hz	N
99	1	0.001	100	1
99	1	0.001	2 000	2
99	5	0.001	100	1
99	5	0.001	2 000	4
99.99	1	0.001	100	1
99.99	1	0.001	2 000	6
99.99	5	0.001	100	1
99.99	5	0.001	2 000	8

4.3 接收队列

数据读取者通过接收队列存储接收到的样本,同时等待接收丢失的样本,当接收队列空间不足时,数据读取者便会拒绝无序样本的接收,当丢失样本接收后,再次要求重发拒绝接收的样本。

假定两个数据读取者与同一数据写入者进行交互,接收队列大小的不同,在一定程度上影响了数据的传输效率,如图 3 所示。

数据读取者将以较少操作和较短时间接收所有样本。数据读取者将以较多操作和较长时间实现同样样本的接收,特别是样本 4 不在重新发送给其他具有较大接收队列的数据读取者。在可靠传输模式下,为了避免接收队列较少而导致的多操作、低效率,DDS 会自动动态调整接收队列大小。如图 4 所示。

当传输过程为非可靠传输时,接收队列中样本数量达到

队列深度时,新的样本将会替代最旧的样本,即使被替换样本还没有被确认。

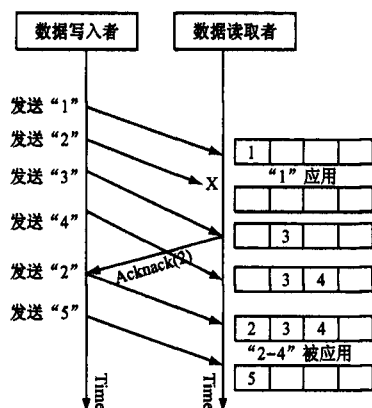


图3 数据接收效果(大接收队列)

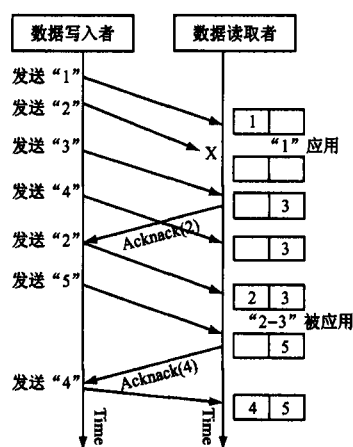


图4 数据接收效果(小接收队列)

4.4 消息风暴

数据写入者向数据读取者发送 DATA 和 HB,数据读取者回馈 DATA 的接收和丢失的 ACKNACK,当一个数据写入者与大量的数据读取者进行交互时,会出现大量的 ACKNACK 发送给同一数据写入者,这样便会产生信息风暴。DDS 通过数据读取协议 Qos 策略解决该问题,通过设置数据读取者的响应时间区间,在一定程度上避免信息风暴的产生。具体参数过程如下:

reader_qos.protocol.rtps_reliable_reader.min_heartbeat_response_delay.sec="minX"

reader_qos.protocol.rtps_reliable_reader.max_heartbeat_response_delay.sec="maxY"

其中:minX 为延迟响应最小时间;

maxY 为延迟响应最大时间。

响应时间区间的设置,数据读取者在区间内随机选取时间进行响应。当两个参数都设置为 0 时,将迫使数据读取者立即响应,可应用在需最快补充丢失样本的数据读取者。

5 总结

DDS 作为一种先进的数据传输技术以及开放统一的标准^[17],能够很好的保障实时数据传输和跨平台的应用,其在美国和欧洲的国防、民航等领域已经得到广泛应用。随着我国大型水面舰艇和航空领域的快速发展,DDS 技术已经在国

内展开应用,加强对该技术的研究,适应当今通信技术,可更好更快的完成相关装备的研制和试验。可靠通信是 DDS 技术的核心技术,且在通信应用中使用最为广泛,最能体现 DDS 通信的优势和特点,对 DDS 可靠通信技术的研究,能够更好地了解和掌握 DDS 通信技术。

参考文献

- [1] OMG Data Distribution Service for Real-time System V1.2. OMG, 2007.
- [2] Pardo-Castellote. G. DDS Spec Outfits Publish-Subscriber Technology for the GIG[J]. COTS Journal, 2005(4):7-10.
- [3] G. Cugola, H. A. Jacobsen. Using Publish/Subscribe Middleware for Mobile Systems[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and communication Review Archive, 2002,6(4):25-33.
- [4] 张涛,陈亮.现代 DDS 的研究进展与概述[J].电子科技,2008(3):73-78.
- [5] 袁楷,沈栋,李娜,等.基于 DCPS 模型的数据分发服务 DDS 的研究[J].电子科技,2006,206(11):68-71.
- [6] 乐嘉锦,郭瑞强.中间件的由来、现状及我们的机遇[J].计算机应用与软件,2001,18(11):1-4.
- [7] OMG Data Distribution Service for Real-time System Specification 1.1[S]. 2005.
- [8] OMG, Common Object Request Broker Architecture: Core Specification Version 3.0.3 formal/04-03-01[S], March 2004.
- [9] 李海浩,顾滨兵. DDS 在舰载装备系统中的应用研究[J].计算机与数字工程,2015,43(9):1698-1701.
- [10] 杜涛涛,张庆杰,朱华勇.面向实时数据分发服务的 DDS 性能研究[J].微计算机信息,2010(24):43-45.
- [11] G. Cugola, H. A. Jacobsen. Using Publish/Subscribe Middleware for Mobile Systems[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review Archive, 2002,6(4):25-33.
- [12] 刘宏波.基于 CORBA 的机载通信系统的研究与实现, [D].成都:西南交通大学,2008.
- [13] 曹万华.基于 DDS 的发布/订阅中间件设计[J].计算机工程,2007,33(18):78-80.
- [14] 杜涛涛,张庆杰,朱华勇.面向实时数据分发服务的 DDS 性能研究[J].微计算机信息,2010.
- [15] 樊志强.实时数据分布服务技术及其领域应用[J].程序员,2008(6):105-108.
- [16] 卢传富,钱兴华.实时数据发布服务的研究[J].船舶电子工程,2006,26(1):64-67.
- [17] ZHAI Lidong, GUO Li, CUI Xiang, et al. Research on Real-time Publish/Subscribe System Supported by Data-integration[J]. Journal of Software, 2011,6(6):1133-1139.

(收稿日期:2018.11.15)