DOI：10.3969/j.issn.1000-1026.2012.14.011

电网调度自动化系统消息中间件的特性和关键技术

翟明玉，雷宝龙
（国电南瑞科技股份有限公司，江苏省南京市 210061）

摘要：电网调度自动化系统一般为分布式系统，其中存在大量一对多、多对多消息通信，由于调度自动化系统有自身的特点，通用的消息中间件产品无法满足其实际需求。分析了调度自动化系统消息中间件的特性，包括高可靠性、易扩展性、时效性、多态功能等。针对这些特性要求，提出了一种适用于电网调度自动化系统的消息中间件，全面叙述了该消息中间件的关键技术及其实现方案。该消息中间件已在多个网、省、地调调度自动化系统中得到实际工程应用。

关键词：电网调度自动化系统；消息中间件；对等式结构；多态功能；接口

0 引言

电网调度自动化系统对电力系统的安全、经济运行起到不可或缺的作用。目前，主流的调度自动化系统一般是分布式系统，数据之间如何进行有效集成是系统可靠性和可用性的关键[1]。调度自动化系统中的数据通信可分为点对点通信和点对多点通信 2 种类型。对于点对点通信，可以采用公共对象请求代理体系结构（CORBA）[2]等中间件实现；对于点对多点通信，需要采用实时性更强的消息中间件[3]实现。

消息中间件[3]是一种中间件技术，通过屏蔽底层平台之间的异构性，简化了应用之间的数据传输，利用高效的消息传递机制为分布式应用系统提供透明的通信服务。消息中间件的模式有点对点、消息队列、发布/订阅 3 种。点到点模式具有很强的时间和空间耦合性，使通信灵活性受到很大限制。消息队列模式通过一个消息队列传递消息，解决通信双方时间和空间松耦合的问题，但队列服务器需要单独配置，存在瓶颈和单点失效问题，可靠性得不到保障，队列一旦丢失，整个系统都会受到影响，消息延迟也相应增加。发布/订阅模式中发布者和订阅者通过主题相关联，双方不必知道对方的存在以及存在的数量，可实现通信双方时间、空间和数据通信的多维松耦合。

常见的消息中间件产品有 IBM Websphere MQSeries[4]、东方通科技的 TongLink/Q[5]等，但这些中间件产品为了适应复杂网络环境一般采用消息队列模式，消息队列服务器部署在少数节点上，消息发送端先将消息发送到消息服务器上，接收端再从消息服务器上接收消息。这种集中式结构增加了消息延迟，工程部署也不方便。文献[6]讨论了电力调度系统消息队列中间件的系统设计和实现，采用统一消息队列中间件软总线实现电力调度自动化系统中多个应用子系统的集成。文献[7]针对数据采集和监控（SCADA）系统与调度其他高级应用软件以及异构系统之间难以进行数据交互的问题，将基于发布/订阅模式的消息中间件引入系统中，设计了消息中间件的结构模型，阐述了消息中间件的工作机理，利用组件技术对其功能进行封装，形成组件对象模型。以上文献对适用于电网调度自动化系统的消息中间件的特性探讨得还不够全面。

基于多年的调度自动化系统设计、开发经验，本文提出一种适用于调度自动化系统的消息中间件。

1 调度自动化系统消息中间件的特性

调度自动化系统中存在稳态、动态和暂态数据[8]，同时，为了保证系统可靠性和易维护性，必然也存在一些自动化系统自身的数据。消息中间件作为调度自动化系统支撑平台[9]的重要模块，在设计中需要考虑这些数据类型通信的需求，除了具有通用消息中间件的常规功能外，还需要具有高可靠性、易扩展性、时效性和多态功能。

1.1 高可靠性和易扩展性

调度自动化系统对电网状态实施实时监视和分析，可靠性要求高，系统的月可用率不低于 99.9%[10]。消息中间件作为系统底层通信基础，需要满足这种高可靠性要求。

为了满足调度自动化系统中的这种高可靠性要求，消息中间件需要考虑各种故障，包括节点自身的

收稿日期：2011-10-25；修回日期：2012-02-14。

软件故障、硬件故障、网络故障等,以及故障解除后如何快速与其他节点正常通信。例如,部分节点由于某种原因发生故障而与其他节点失去联系,那么余下节点之间仍然能够正常通信;当故障节点恢复正常后能够快速融入到系统中,使本节点能够正常接收发送消息。同时,需要新增部分节点时,新增加节点能够方便地加入系统中,且不影响原有节点之间的正常通信。

1.2 时效性

时效性是指消息从发出到被接收之间的时间延迟。在调度自动化系统中,由于网络故障或部分节点软硬件异常,会大幅增加消息延迟时间,进而导致应用逻辑处理错误,因此,需要对这些实时消息的时效性进行控制。例如在 SCADA 系统中,调度员发出遥控指令后,在一定的等待时间 Δt 内需要得到响应,否则认为本次遥控失败,要求取消操作或再次进行遥控操作。当由于某种原因使遥控指令延迟超过 Δt 后才到达前置机,若没有时效性控制,前置机仍然把遥控指令下达给遥控点,就会引起严重问题。

时效性管理能够避免由于消息过期引起的逻辑错误,同时,在接收端程序收到大量消息而未及时处理时,能够清理掉过期的消息,避免消息大量堆积带来的问题。

1.3 多态功能

目前电网调度自动化系统通常都提供实时态、研究态、培训态、反演态等多态[9]环境。“态”是为了完成某些目标功能的一组应用的集合,这组应用的处理逻辑相同,数据实体有一定的关联关系,但运行的数据环境不同。“态”之间的应用具有各自独立的数据实体和服务进程,处理逻辑互不干扰。同一节点上可以同时运行多个“态”。一个相同的服务进程可以在不同的“态”中分别运行,进程中的消息中间件实例会订阅相同的通道。

消息中间件支持多态功能的原则是同一“态”内的消息实例之间可以互相通信,而不同“态”之间的消息实例不能进行通信。

2 消息中间件的关键技术

本文提出的消息中间件采用如下关键技术来满足调度自动系统对消息中间件的高可靠性、易扩展性、时效性、多态、跨平台等要求。

2.1 对等式结构

对等式结构中,节点之间是对等关系,没有从属关系或依赖,没有单独的消息服务端,支持任意一个或多个节点动态加入、退出系统;在任意一个或多个节点发生故障或正常停机时,不影响余下节点之间的正常消息通信;在任意一个或多个节点故障恢复或正常启动时,可以快速加入到系统中正常收发消息,原有节点收发消息也不受任何影响;即使只有 1 个节点,此节点上的进程之间仍能正常通信。

采用对等式结构的发布/订阅模式消除了消息队列模式中的单点拥挤、单点故障等缺点,提高了系统的健壮性和可靠性[11],同时提高了系统的易扩展性。

2.2 多种服务质量

消息中间件提供多种服务质量管理,包括可靠性、时序性、时效性、持久性等。可靠性是指消息完整、正确地提交给接收者,并确保消息不重复;时序性是指将消息按照发送时的顺序提交给接收者;时效性是指当超过应用允许的消息从发出到接收之间的最大延迟时间后需丢弃消息;持久性是指发送消息失败后是否保留消息。持久性包括尽力服务和持久服务 2 种服务质量。尽力服务是指当向接收者发送消息失败后直接丢弃消息,持久服务是指在当发送失败后在消息时效期内暂时保留此消息,在此期间若检测到接收端恢复正常,会再次发送,一直到消息发送成功或消息过期。

2.3 多态功能的支持

为了支持多态功能,消息中间件对每个消息实例采用二元组〈态标识、进程标识〉进行标识,这个二元组唯一标识了一个消息实例,实现了消息实例之间相互隔离,即使在同一个节点上可以运行多个“态”的消息实例,仍能方便地区分出每一个消息实例。

消息通道划分为逻辑通道和物理通道。逻辑通道根据所属“态”和一定的规则映射为唯一的物理通道,如图 1 所示。

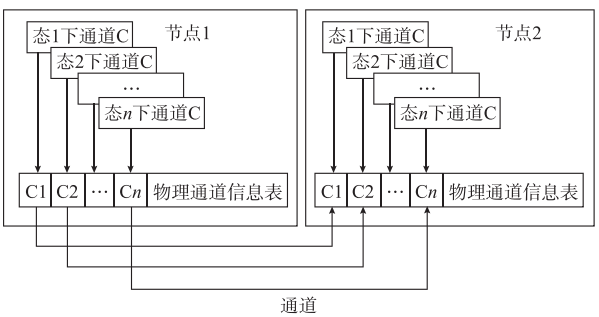

图 1 逻辑通道与物理通道对应关系示意图
Fig. 1 Relationship between logical channel and physical

逻辑通道供应用程序直接使用,方便应用编写支持多态的程序,不同“态”的应用进程在使用消息中间件实例时,可以订阅相同的逻辑通道,简化了程序结构,增强了应用程序的可维护性。物理通道供

消息中间件进行通信时使用，在网络通信层次上隔离了不同“态”之间的消息，确保“态”之间消息不能互相通信的原则。

2.4 跨平台

消息中间件工作在应用层，完全自主开发实现，编程语言采用 ANSI C/C++，符合 IEEE POSIX.2 标准，不依赖操作系统以外的第三方软件，能够安全、稳定地运行在 IBM AIX，Sun Solaris，Alpha Tru64，HPUX，Linux，Windows 等操作系统平台上。在同一系统中，即使安装不同操作系统的节点之间仍能可靠地使用消息中间件进行通信。

3 消息中间件的实现

3.1 消息传输模型

本文提出的消息中间件属于发布/订阅模式，消息传输模型如图 2 所示。消息中间件驻留在每个节点上；节点之间通过操作系统网络直接进行通信；应用进程之间通过消息中间件进行通信；消息按通道划分为不同的主题；应用程序需要某通道消息时，先订阅此通道，再接收消息；发送消息时，需要指定消息所属通道。

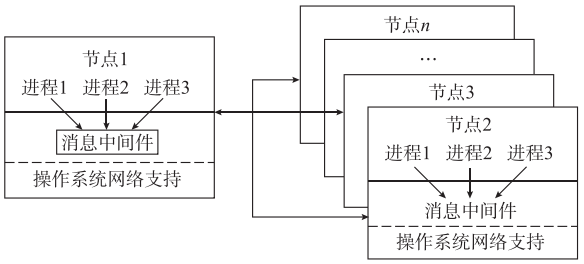

图 2 消息传输模型
Fig. 2 Message transmission model

3.2 心跳报文

心跳报文是消息中间件之间交互信息的报文。节点启动消息中间件后，周期性地向网络发送心跳报文，心跳报文中包含本节点订阅信息。若本节点没有任何订阅信息，则心跳报文中仅含有活动检测信息。

消息中间件监听其他节点发出的心跳报文。当接收到某节点的心跳报文后，更新此节点的刷新时间，若报文中含有订阅信息，则更新此节点订阅的通道信息。

3.3 发送模式

消息中间件主要为了支持点对多点通信模式设计，但在少数应用环境下需要点对点通信，同时，作为独立消息中间件，也需要支持点对点通信。二者在实现上的区别是：对于点对多点消息，消息中间件服务进程会根据订阅节点数复制多份消息，而对于点对点消息不会复制。

3.4 多级缓冲区

消息中间件采用异步通信方式，为了提高网络传输性能，消息中间件内部缓冲区划分为系统复制缓冲区、发送缓冲区、接收缓冲区、节点复制缓冲区 4 个部分。

采用多级缓冲区，可以增强消息服务进程之间的并发度，能更好地利用节点的多处理器、多核优势快速处理消息，提高网络传输性能，同时可增强整体可靠性、可维护性和实时性。

3.5 消息传输过程

消息传输过程如图 3 所示。应用程序通过消息中间件发送接口将消息放入系统复制缓冲区，消息复制服务根据此消息的订阅状况将消息复制相应份数到发送缓冲区，消息发送服务将发送缓冲区中的消息通过网络发送到目标节点。

消息接收过程为：消息中间件接收服务从网络中接收消息，把接收到的消息放置到接收缓冲区中，并根据本节点订阅情况，复制相应份数的消息到节点复制缓冲区中，应用进程通过调用消息中间件接收接口从节点复制缓冲区中获取消息。

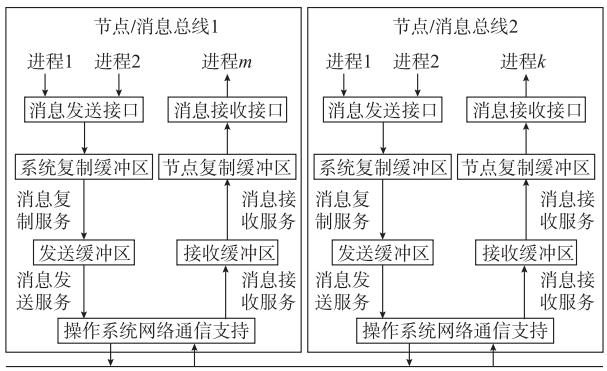

图 3 消息传输过程示意图
Fig. 3 Message transmission procedure

1）消息发送流程

消息发送服务不断轮询发送缓冲区，当发现有消息需要发送时，则直接发送消息；若消息发送失败，则检查消息的服务质量，若服务质量为持久服务，则将消息继续保存在缓冲区中，否则直接丢弃。存入缓冲区的消息在监视到网络状态正常后，由消息发送服务再次进行发送。

2）消息接收流程

消息接收服务初始处于消息等待状态，当收到消息后，检查本机是否有活动应用进程订阅。若无，则丢弃此消息继续等待；若有，则检查消息是否已失效。若消息已失效，则丢弃；若消息未失效，则开始

复制相应份数消息到节点复制缓冲区中。应用进程通过调用消息接收接口获取消息。

3.6 维护工具

提供简洁方便的维护工具,可以察看消息中间件各个缓冲区信息、通道订阅信息、节点信息等,以及消息统计信息。通过这些信息可以方便地检查消息中间件的运行状态并排除故障。

4 接口

本文提出的消息中间件,设计上采用分布式对象技术,把消息中间件功能封装成一个类CMsgBus,把常用的操作功能封装成7个基本接口,分别是初始化接口、订阅接口、取消订阅接口、设置服务质量接口、发送到通道接口、发送到指定主机接口、接收接口。类定义如下:

```
class CMsgBus{
public:
struct ServiceQuality{
   int reliablity;  //设置可靠性
   int order;  //设置有序性
   int lifspan;  //设置时效性,单位为 ms
   int durability;  //设置持久性
};
//功能:初始化消息中间件实例接口,订阅 ctxname 态的
   通道
CMsgBus(const char * ctxname,const char * );
//功能:订阅消息通道接口
int JoinChannel(const int);
//功能:取消订阅消息通道接口
int LeaveChannel(const int);
//功能:设置消息服务质量接口
int SetServiceQuality(ServiceQuality sq);
//功能:发送消息到某一通道接口
int SendMessageToChannel(const char * msg,const int len,
   const int channel);
//功能:发送消息到某一指定主机接口
int SendMessageToHost(char * message,int length,char *
   host_name);
//功能:接收消息接口
int RecvMessage(struct MSG_HEADER * header,char * *
   msg,int * len);
};
```

应用程序可以方便地使用这些接口注册消息实例、设置服务质量、订阅通道、取消订阅通道、发送消息、接收消息等相关的操作,而不必关心网络等细节问题。

5 结语

本文提出的消息中间件产品自2005年起已在南方电网以及华东、江苏、浙江、广州、苏州、深圳等多个网、省、地调调度自动化系统中投入运行,有效支撑了FES,SCADA,NAS,AGC,WAMS,DTS等应用软件的网络通信,支持实时态、研究态、培训态、反演态等多态应用环境。该消息中间件支持系统双网配置,支持用户自定义消息类型,消息量取决于调度自动化系统实际运行规模,可靠通信速度可达520 Mbit/s(1 000 Mbit/s环境下)。总之,本文提出的适用于调度自动化系统的消息中间件,具有高可靠性和灵活性,支持多态功能,提供可靠性、有序性、时效性、持久性等多种服务质量,满足调度自动化系统中不同应用环境需求。

参考文献

[1] 姚建国,杨胜春,高宗和,等.电网调度自动化系统发展趋势展望[J].电力系统自动化,2007,31(13):7-10.
YAO Jianguo, YANG Shengchun, GAO Zonghe, et al. Development trend prospects of power dispatching automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(13): 7-10.

[2] 韦乐平.CORBA系统结构、原理与规范[M].北京:电子工业出版社,2000.

[3] 徐晶,许炜.消息中间件综述[J].计算机工程,2005,31(16):73-76.
XU Jing, XU Wei. Summarization of message-oriented middleware[J]. Computer Engineering, 2005, 31(16): 73-76.

[4] HART J. Connecting your applications without complex programming[R]. San Jose, CA, USA: IBM, 2003.

[5] TongTech. 消息中间件 TongLINK/Q[EB/OL]. [2011-10-10]. http://www.tongtech.com/webs/category.do? m1=81&m2=171&m3=174&m4=321.

[6] 陈榕,陈廉青,谢巧云,等.消息队列中间件在电力调度通信软件上的应用[J].计算机工程,2004,30(19):148-150.
CHEN Rong, CHEN Lianqing, XIE Qiaoyun, et al. Application of message queue middleware in the SCADA/EMS [J]. Computer Engineering, 2004, 30(19): 148-150.

[7] 潘国伟,宋玮,王相南,等.发布/订阅模式消息中间件在SCADA系统中的应用[J].电网技术,2008,32(18):77-81.
PAN Guowei, SONG Wei, WANG Xiangnan, et al. Research on application of message oriented middleware based on publish/subscribe model in SCADA system [J]. Power System Technology, 2008, 32(18): 77-81.

[8] 高宗和,戴则梅,翟明玉,等.基于统一支撑平台的EMS与WAMS集成方案[J].电力系统自动化,2006,30(16):41-44.
GAO Zonghe, DAI Zemei, ZHAI Mingyu, et al. Integrative EMS and WAMS based on a unified supporting platform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(16): 41-44.

[9] 姚建国,高宗和,杨志宏,等.EMS应用软件支撑环境设计与功能整合[J].电力系统自动化,2006,30(4):49-51.
YAO Jianguo, GAO Zonghe, YANG Zhihong, et al. Supporting platform design and function integration for EMS application software [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(4): 49-51.

(下转第66页 continued on page 66)

(上接第 59 页　continued from page 59)

[10] DL/T 5003—2005　电力系统调度自动化设计技术规程[S]. 北京:中国电力出版社,2006.

[11] 蒋一新,孙涌. Peer-to-Peer 消息中间件的研究与设计[J]. 计算机工程与科学,2006,28(11):96-97.
JIANG Yixin, SUN Yong. Research and design of Peer-to-Peer MOM[J]. Computer Engineering & Science, 2006, 28(11): 96-97.

翟明玉(1969—),男,通信作者,博士,高级工程师,主要研究方向:电网调度自动化技术。E-mail: zhaimingyu@sgepri.sgcc.com.cn

雷宝龙(1982—),男,硕士,工程师,主要研究方向:电网调度自动化技术。E-mail: leibaolong@sgepri.sgcc.com.cn

Characteristics and Key Technologies of a Message-oriented Middleware for Power Dispatching Automation System

ZHAI Mingyu, LEI Baolong

(NARI Technology Development Co. Ltd., Nanjing 210061, China)

Abstract: It is noted that the power dispatching automation system is in general a distributed system, in which there are a lot of one-to-many, many-to-many message communications. Owing to the system's own characteristics, common message-oriented middleware products cannot meet its actual demands. Based on an analysis of the characteristics of message-oriented middleware in the dispatching automation system, including reliability, scalability, timeliness, multi-context supporting and so on, a new message-oriented middleware fit for the dispatching automation system is proposed, with an all-round description of its key technologies and implementation provided. The middleware has found application in many power dispatching automation systems.

Key words: power dispatching automation system; message-oriented middleware; peer-to-peer structure; multi-context function; interface