

分布式系统实时发布/ 订阅数据分发技术

Real-Time Publish / Subscribe
Data Distribution for
Distributed Systems

朱华勇 张庆杰 沈林成 牛轶峰 肖湘江 江涛 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

分布式系统实时发布/ 订阅数据分发技术

朱华勇 张庆杰 沈林成 编著
牛轶峰 肖湘江 江 涛

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

当谈及分布式系统,常会想到分布的、并行的、并发的和分散的等形容词,它是构建在网络之上的软件或硬件系统。比如,金融系统、实时视频会议系统以及军事情报监视类传感器网络等。这类系统的计算成本或性能主要取决于数据和控制的通信。因此,对于分布式系统来说,特别是军事应用领域,数据分发性能的好坏起着至关重要的作用。本书围绕分布式系统数据分发技术展开讨论,针对发布/订阅通信机制,重点对 OpenDDS 的基础编程、高级编程和工程应用三个方面进行阐述,书中成果反映了作者在该领域的最新研究工作,具有新颖性、前沿性、理论与应用密切结合的特点。

本书可作为高等学校与科研院所中从事数据链、网络通信、分布式对象技术等专业领域的研究和教学参考用书,也可作为自动化、计算机、信息处理领域其他相关专业师生及科研人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

分布式系统实时发布、订阅数据分发技术/朱华勇等编

著. —北京:国防工业出版社,2013. 8

ISBN 978-7-118-08994-3

I. ①分... II. ①朱... III. ①分布式操作系统—研究 IV. ①TP316.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 179233 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12¼ 字数 233 千字

2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 40.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

数据链作为“数字化战场中枢系统”,能够将战场上的指挥中心、各级指挥所、各参战部队和武器平台连接在一起,构成陆、海、空、天一体化的数字信息网络,为作战指挥人员和战斗人员提供完整的战场态势图,从而最大限度地提高武器平台的作战效能。数据链实时数据分发系统要具有以下功能:在正确的时间内,将正确的情报,以正确的形式,分发到正确的用户。随着计算机、通信以及信息处理技术的不断进步,数据链系统将逐渐由点对点通信向网络化通信方向发展,这对数据分发技术提出了新的挑战。

目前常见的数据分发模型包括点对点模型、客户/服务器模型、分布式对象模型以及发布/订阅模型。点对点模型是一种简单的一对一通信模式,能够支持高带宽信息传输,但是多数应用情况下需要满足一对多通信服务能力;客户/服务器模型为用户提供了一种有效的资源共享手段,能够优化网络利用率,减少网络流量,缩短响应时间,但可伸缩性和安装维护困难。程序在客户端运行,占用了大量的系统资源和网络资源;分布式对象模型采用面向对象的多层客户/服务器计算模型,主流实现有 COBRA、DCOM 和 EJB。这种网络模型可以将复杂的网络通信功能抽象出来,提高对象的可重用性,同时减少开发者的工作量。但是,这类通信模型本质上还是一种客户/服务器模型,请求应答的模式不能满足实时性要求,不能根据不同的数据流类型来进行实时性和可靠性的折中选择;发布/订阅模型是专为简化一对多的数据传输要求而设计的,应用程序只是简单地发布或订阅数据。这类技术最大的两个特点是以数据为中心,降低网络延迟,用 QoS 控制服务行为,增加通信的灵活性。在发布/订阅模型模式里,应用程序只是简单地发布或订阅数据。发布方只需要匿名地发布数据,并不需要了解整个网络中节点的数目,也不需要知道订阅方的地址;订阅方只需要简单地匿名接收数据,它不需要了解整个网络中节点的数目,也不需要知道发布方的地址。一个应用程序可以是发布方,也可以是订阅方,或者同时具备两者的身份。

实时发布/订阅继承了发布/订阅模型的优点,又做了一些扩展,使它能够允许应用程序自动地在实时性和可靠性之间作出折中,在实时系统上运行并灵活地控制内存,RTPS 结构非常适合于复杂数据流的分布式实时应用。实时发布/订阅模型与另外三种信息分发模型相比,优点突出,它以其良好的动态特性、完善的时间

控制机制在分布式实时系统中得到了广泛的应用,如国外 GIG、FCS、SoSCOE 等军事领域和通信、运输、金融服务、工业自动化、农业、发电、空中交通管制、移动资产跟踪以及医药等民用领域得到广泛应用。尽管如此,国内在这个领域的研究工作刚刚起步,对相应的研究成果和应用报道较少,目前还没有这方面的专著。本书将以 OpenDDS 软件为例,主要介绍采用发布/订阅模型的数据分发技术。本书的主要内容有:

(1) 基础编程篇,包括 OpenDDS 概述(第 2 章)、如何编写简单的应用程序(第 3 章)。

(2) 高级编程篇,包括 QoS 策略内涵和使用方法(第 4 章)、DCPS 通信模型的两种机制——侦听和条件(第 5 章)、按内容订阅的构建方法(第 6 章)、OpenDDS 的配置选项和实现方法(第 7 章)、DCPS InfoRepo 服务和内置主题(第 8 章)。

(3) 工程应用篇,包括三个专题:自适应 QoS 控制策略设计(第 9 章)、基于信息分类的数据过滤机制研究(第 10 章)、基于 OpenDDS 的自适应 QoS 信息分发软件开发与应用(第 11 章)。

发布/订阅数据分发技术日新月异,尚在不断发展和完善之中,因此作者特别注意内容的新颖性,对内容进行几次修改和更新。为使本书内容对工程实践具有一定的指导意义,本书的最后加入了课题组在“973”重大基础研究(批准号:6138101001)、国防基础科研(批准号:A2820080247)、国家自然科学基金(批准号:61203355)、吉林省科技发展计划资助项目(20130522108JH)等多个重点项目中的部分研究成果,期望能够为从事分布式数据分发技术研究的工程技术人员和学者提供必要的帮助。

在本书的编写过程中参考了许多国内外相关的著作和论文,在此谨致谢意。同时,书中部分内容引用了课题组历届研究生的研究成果,他们的研究成果为本书也增添很多亮点,在此向王林、艾小锋、张伟等表示感谢。国防科学技术大学的贾圣德、丛一睿,空军航空大学的石晓航、李健等人参与文字的校对工作,在此一并感谢。

由于编写人员的水平有限,本书难免存在疏漏或不妥之处,敬请广大作者批评指正。

编著者

2013 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 背景与意义	1
1.1.1 军事需求	1
1.1.2 国内外典型军事信息系统	3
1.1.3 军事信息系统面临的挑战	13
1.2 实时信息分发技术和研究现状	14
1.2.1 四种通信模型比较	14
1.2.2 数据为中心的发布/订阅模型	16
1.2.3 DDS 体系结构	17
1.2.4 DDS 通信过程	19
1.2.5 DDS 通信特点	20
1.2.6 DDS 标准的实现	21
1.2.7 DDS 的应用	24
1.3 本书内容的组织与结构	25
第 2 章 OpenDDS 概述	27
2.1 DCPS 概述	27
2.1.1 基本组成	28
2.1.2 内置主题	29
2.1.3 QoS 策略	29
2.1.4 Listener	30
2.1.5 条件	30
2.2 OpenDDS 的实现	30
2.2.1 兼容性	30
2.2.2 OpenDDS 的架构	31
2.3 本章小结	34

第 3 章 如何编写简单的应用程序	35
3.1 定义数据类型	35
3.2 处理 IDL	36
3.3 编写消息发布者	38
3.3.1 初始化参与者	38
3.3.2 注册数据类型和创建主题	39
3.3.3 创建发布者	40
3.3.4 创建 DataWriter 和等待订阅者	40
3.3.5 发布数据样本	42
3.4 实现订阅者	43
3.4.1 初始化参与者	43
3.4.2 注册数据类型和创建主题	44
3.4.3 创建订阅者	44
3.4.4 创建 DataReader 以及 Listener	45
3.5 DataReaderListener 实现	45
3.6 在 OpenDDS 客户端进行清理	48
3.7 运行示例	49
3.8 利用 RTPS 运行示例程序	50
3.9 数据处理优化	53
3.9.1 在发布者中进行注册以及使用实例	53
3.9.2 读取多个样本	53
3.9.3 零拷贝读取	54
3.10 本章小结	55
第 4 章 QoS 策略内涵和使用方法	56
4.1 QoS 策略	56
4.1.1 DEADLINE 策略	56
4.1.2 LIFESPAN 策略	57
4.1.3 TIME_BASED_FILTER 策略	57
4.1.4 USER_DATA 策略	58
4.1.5 TOPIC_DATA 策略	58
4.1.6 GROUP_DATA 策略	58
4.1.7 LIVELINESS 策略	59
4.1.8 RELIABILITY 策略	59

4.1.9	HISTORY 策略	60
4.1.10	DURABILITY 策略	61
4.1.11	DURABILITY_SERVICE 策略	62
4.1.12	RESOURCE_LIMITS 策略	62
4.1.13	PARTITION 策略	63
4.1.14	TRANSPORT_PRIORITY	63
4.1.15	LATENCY_BUDGET 策略	64
4.1.16	ENTITY_FACTORY 策略	66
4.1.17	PRESENTATION 策略	67
4.1.18	DESTINATION_ORDER 策略	68
4.1.19	WRITER_DATA_LIFECYCLE 策略	68
4.1.20	READER_DATA_LIFECYCLE	69
4.1.21	OWNERSHIP 策略	69
4.1.22	OWNERSHIP_STRENGTH 策略	70
4.2	QoS 的表示方法	70
4.3	QoS 的匹配模型	71
4.4	QoS 的使用示例	81
4.5	本章小结	82
第 5 章	DCPS 通信模型的两机制——侦听和条件	83
5.1	通信状态类型	83
5.1.1	主题的状态类型	84
5.1.2	订阅者的状态类型	84
5.1.3	DataReader 的状态类型	84
5.1.4	DataWriter 的状态类型	87
5.2	Listener 对象	89
5.2.1	主题 Listener 对象	91
5.2.2	数据写入者 Listener 对象	91
5.2.3	发布者 Listener 对象	91
5.2.4	数据读取者 Listener 对象	91
5.2.5	订阅者 Listener 对象	92
5.2.6	域参与者 Listener 对象	92
5.3	Condition 对象	92
5.3.1	状态条件对象	92
5.3.2	状态条件示例	92

5.3.3 附加条件对象类型	93
5.4 本章小结	94
第 6 章 按内容订阅的构建方法	95
6.1 构建不包括按内容订阅的版本	95
6.2 按内容过滤的主题	96
6.2.1 过滤表达式	96
6.2.2 按内容过滤的主题示例	97
6.3 查询 condition 对象	98
6.3.1 查询表达式	99
6.3.2 查询条件对象示例	99
6.4 多重主题	100
6.4.1 主题表达式	101
6.4.2 用法注意事项	101
6.4.3 多重主题的使用示例	102
6.5 本章小结	105
第 7 章 OpenDDS 的配置选项和实现方法	106
7.1 配置文件	106
7.2 通用配置选项	106
7.3 传输层配置	109
7.3.1 基本概念	109
7.3.2 配置文件示例	110
7.3.3 传输层配置示例	113
7.3.4 传输层配置选项	114
7.3.5 传输层实例选项	115
7.4 配置多个 DCPSInfoRepo	121
7.5 日志	122
7.5.1 DCPS 层日志	122
7.5.2 传输层日志	122
7.6 本章小结	122
第 8 章 DCPS InfoRepo 服务和内置主题	124
8.1 DCPS InfoRepo 服务	124
8.1.1 DCPS InfoRepo 选项	124

8.1.2	多仓库的联邦	125
8.2	内置主题	130
8.2.1	编译不支持内置主题的版本	131
8.2.2	DCPSParticipant 主题	131
8.2.3	DCPSTopic 主题	131
8.2.4	DCSPublication 主题	132
8.2.5	DCPSSubscription 主题	133
8.2.6	内置主题示例	133
8.3	Opendds_idl 命令行选项	134
8.4	本章小结	135
第 9 章	自适应 QoS 控制策略	137
9.1	QoS 的实现机制和特点	137
9.2	静态 QoS 性能测试及分析	138
9.2.1	程序运行方法	138
9.2.2	测试结果及分析	139
9.2.3	静态 QoS 的不足	143
9.3	自适应 QoS 策略设计	144
9.3.1	自适应 QoS 的需求分析	144
9.3.2	自适应 QoS 的实现框架	145
9.4	自适应 QoS 控制算法	147
9.4.1	控制目标	148
9.4.2	自适应函数	148
9.4.3	反馈过程	149
9.4.4	控制过程	149
9.4.5	控制方法	150
9.5	自适应 QoS 测试及分析	152
9.6	本章小结	155
第 10 章	基于信息分类的数据过滤机制	156
10.1	基于信息分类的数据过滤机制	156
10.1.1	数据过滤机制的引入	156
10.1.2	信息分类算法	157
10.1.3	基于信息分类的数据过滤机制	160
10.2	数据过滤机制测试及分析	161

10.3 本章小结	166
第 11 章 基于 OpenDDS 的自适应 QoS 信息分发软件开发与应用	167
11.1 自适应 QoS 算法用例视图	167
11.1.1 视频发布端的用例模型及用例实现	167
11.1.2 视频订阅和控制端的用例模型及用例实现	169
11.2 自适应 QoS 算法逻辑视图	170
11.2.1 视频发布端设计包	170
11.2.2 视频订阅和控制端设计包	174
11.3 OpenDDS 在 CEC 仿真中的应用	175
11.4 OpenDDS 在无人机控制信息分发中的应用	181
11.4.1 实验内容	181
11.4.2 测试结果	181
11.5 本章小结	182
参考文献	184

第1章 绪 论

1.1 背景与意义

1.1.1 军事需求

享有“数字化战场中枢系统”之称的数据链,将战场上的指挥中心、各级指挥所、各参战部队和武器平台连接在一起,构成陆、海、空、天一体化的数字信息网络。在该网络中,各种信息按照规定的格式,实时、自动、保密地进行传输和交换,从而实现信息资源共享,最大限度地提高武器平台的作战效能^[1]。数据链网络实现了作战区域内各种指挥系统和作战平台系统的数据传输、交换和信息处理,为作战指挥人员和战斗人员提供作战数据和完整的战场态势图。数据链网络是一种典型的分布式实时网络,信息传输效率和自动化程度是普通无线电通信系统无法比拟的,下面以更为普遍的一个军事指挥系统为例分析这类分布式实时数据链网络的特点。

在一个军事指挥控制系统中^[2],雷达捕获目标信息,将目标信息传送给目标识别系统识别目标(比如是敌机还是我方的民航客机;是导弹还是其他飞行器),然后将识别的结果传送到决策指挥系统,由决策指挥系统指挥相应的作战单位采取行动(比如指挥反导弹系统进行空中拦截),整个过程中信息的传输都通过数据链完成。显然这是一个典型的分布式实时系统流程,每一个环节都要求很强的实时性,要求实时的通信资源管理和计算资源管理,见图1-1。

该系统有如下特点:

(1) 分布性。系统涉及多个有自治能力的组成部分,涉及复杂的控制机制,它的某一部分可能需要高性能计算机进行复杂的科学计算,另一部分可能需要嵌入式系统控制相应的物理设备,其他部分可能还需要很强的人机交互能力。因而它有很强的分布、异构特性,有很强的互联和互操作需求,这需要系统具有更强的开放特性。

如上例中的目标识别就可能需要大量的科学计算,雷达可能需要嵌入式设备进行控制,决策系统就可能需要较多的人机交互,为保证系统的安全和可

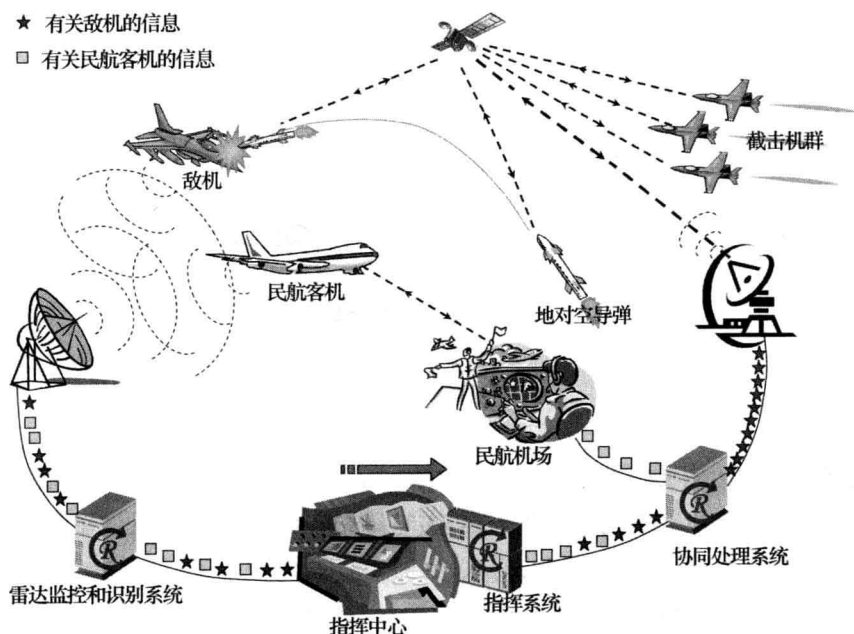


图 1-1 分布式实时系统实例示意图

靠,这些系统单元一般都分布在广阔的地域范围内,是典型的分布异构环境。

(2) 实时性。系统往往应用于关键业务领域,它的很多处理必须在一定的时限内完成,有相对严格的时间要求,否则会导致灾难性的后果。这也是这类系统有别于一般的分布式应用的独有的显著特点,力求提高数据处理和传输的速度,缩短机动目标信息的更新周期,以便及时显示目标的运动轨迹。如上例,系统必须及时做出决策,及时计算并传送导航的位置信息,否则可能会导致被攻击的灾难性后果。

(3) 信息传输安全可靠。保证信息实时传输的条件下,还需保证信息传输的可靠性。在无线信道上,信号传输过程中存在各种衰落现象,严重影响信号的正常接收。在数据通信时,接收的数据中存在一定的误码,因此需要采用先进、高效和高性能的纠错编码技术,降低数据传输的误码率。为了不让敌方截获己方信息,数据传输一般需要采用加密手段或多跳传输,确保信息传输安全。

(4) 动态性。传统上,实时系统的设计以及资源分配和共享都采用相对静态的方法进行。在分布情况下,系统由多个参与者组成,而且每一个参与者都是一个相对独立的自治系统,很难使用静态的方法分析系统的交互行为(比如无法准确预计敌机的攻击时间;发现目标时可能已经距离我方非常近)。在分布自治的情况下,也很难使用统一的视图来管理和分配资源。因此,静态分析

方法就面临着一定的局限性,需要一种机制能够表示分布系统中的资源(比如主机资源、网络资源),并且能够动态地控制资源的分配和使用,这样才可能更好地保证实时系统的时间可预测性。网络节点也面临被摧毁的威胁,可能因能量耗尽或损坏而退出网络,还有新的节点加入,也增加了网络的动态性。

(5) 信息格式的一致性。在这类系统中,为避免信息在网络间交换时因格式转换造成时延,保证信息的实时性,需要规定各种目标的信息格式。指挥控制系统按格式编辑需要通过数据链传输的目标信息,以便于自动目标识别和对目标信息进行处理。

1.1.2 国内外典型军事信息系统

1.1.2.1 全球信息栅格

全球信息栅格(Global Information Grid, GIG)是为作战人员和决策人员在恰当的时间、恰当的地点、以恰当的形式、提供恰当信息的单—的综合的信息基础设施,其网络架构见图 1-2。GIG 的定义为:由全球内互连的端到端之间的一系列能够完成信息收集、信息传递分发、信息处理、信息显示、信息认证的人机系统构成。该系统根据作战部队、决策者和支援人员的要求收集、处理、存储、分发和管理信息。GIG 包括为实现信息优势而需要的所有自有的和租借的设备、设施、服务。GIG 在战时和平时,支持国防部、国家安全局的所有任务和功能。GIG 可以在各种地方使用,如基地、驻地、军营、移动平台和部署地等。GIG 为盟军、联军、非国防部用户和系统提供界面接口。

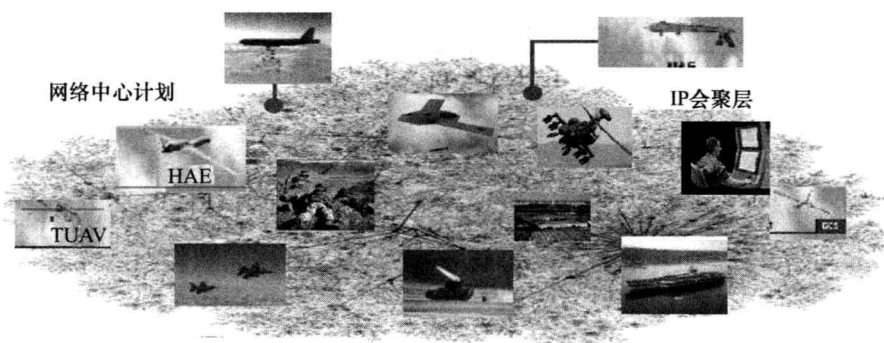


图 1-2 类似于万维网的 GIG 架构

GIG 是在网络、计算、信息保障领域提出的一项创新性倡议,其最终目的是建立一个安全、可靠、统一和互通的体系结构,从而有效地获取和支持信息优势。它既强调了信息作为一种战略资源的重要性,也强调了信息兼容的必要性。其基本发展思路是:在统一的框架下实现计算机网、传感器网和作战平台网的综合集成,

并遵循按需定制的原则,把整个一体化 C⁴ISR^① 的网络系统划分为若干信息栅格,将信息共享分为不同层次,使系统能针对不同用户提供所需要的、可处理的信息。GIG 是在国防信息基础设施、通用操作环境两者的基础上进一步发展的,其功能将进一步增强和扩大。目前,美军对 GIG 研究主要从 GIG 的总体架构、关键技术、基础理论等方面进行研究。

GIG 的总体架构主要由五个层次组成:

第一层:基础设施层

基础设施层包括:体系结构、频谱分配、政策、条令、标准、工程、管理。在基础设施层中对 GIG 有至关重要的影响的是其体系结构。根据联合特遣队在一定的想定下,执行某一想定任务的方法和步骤等,并定义完成任务所需的各种行动、相关的信息交换和保障系统能力等来描述联合作战体系结构的。体系结构描述了当支持与作战进程相关的想定环境下的联合特遣队时,特定的国防部功能域的行动、相关的信息交换和系统能力。美军主要从如下三部分进行研究:联合作战体系结构;作战支持、事务处理体系结构;通信和计算机系统体系结构。

第二层:通信设施层

通信设施层包括:光纤通信、卫星通信、无线通信、国防信息系统网、无线电台网,移动用户业务、远程接入点;本层主要实现信息或知识在用户、信息生成与处理、中间通信实体之间的流动;实现并确保信息基于内容进行转发;在此层实现生存信息和计划的分类转发实现等。其正在研究的主要技术见表1-1。

表 1-1 GIG 通信设施层主要研究技术

主要技术	研究内容
互连技术	提供按需、无缝连通的能力,确保 GIG 系统的互操作性和支持不间断服务,目前此技术的概念模型已经建立,正在美空军进行试验
嵌入技术	GIG 在通信设施层实现并支持出现的、未来的、技术的无缝和有效的嵌入与结合,并支持战术数据链传送的信息。如正在研究的联合战术系统电台系统,就可实现一部设备进行多种连接
可用性技术	通信设施层的信息传输能力应该能够为作战指挥人员提供可靠的易于使用的信息交换服务,还要对交换信息的危急情况做出反应

① C⁴ 是指指挥 (Command)、控制 (Control)、通信 (Communication) 和计算 (Computer); ISR 是指情报 (Intelligence)、监视 (Surveillance) 和侦察 (Reconnaissance)。

(续)

主要技术	研究内容
野战性技术	在战术层,各作战单元作战节奏快、部队人员机动性高,需要通信设施层支持这种野战机动性,基本能够实现便于部署、易于机动的要求
公共数据链路技术	防止因干扰、拥塞、毁坏等造成的通信设施的性能下降甚至丧失,实现动态分配链路带宽等通信任务的需求。目前正在研究的水平集成部队倡议,就是一整套联合军事通信和情报能力,主要提供并实现对战术行动的动态监视、态势感知和决策服务

第三层:计算设施层

计算设施层包括:Web 服务、中心文件库的软件分发、电子邮件、中心认证服务。主要实现与提供面向全球的文件分发服务、电子邮件服务等。目前,满足这些要求的技术,如美国国防部非保密路由网络、安全因特网协议路由网络等已经基本实现,并以此为基础,进行了多次的网络运行实验。

第四层:全球应用层

全球应用层指:全球指挥控制系统、全球战斗支持系统、日常事务处理的应用程序,医疗保障系统。其提供面向全球的应用,在美国本地和全球的七大战区、指挥系统、作战人员等之间实现全球资源共享,进而实现全球范围内“即插即用”,消除信息盲区。

第五层:应用人员层

应用人员层面向陆、海、空、天军及海军陆战队、特种部队等作战指挥人员,以及其他非作战人员。该层增强了战斗人员与决策人员之间的连通性,能最大限度地利用态势感知信息。这样,在实现上述技术后,在 GIG 的有力支持下,美军通过部署有效的军事力量和实时提供战场空间的感知信息,就可非常容易地实现“灵活机动、精确打击、重点保障和全方位防护”这四大目标。由于 GIG 的实现,可使指挥机构更加分散、生存力更强,使战术级指挥机关变得更小、更灵活和具备更大的机动性。

1.1.2.2 “协同作战能力”系统

在复杂的沿海作战区域中,同时存在自然环境和人为活动对传感器探测范围和精度的影响,自然环境包括恶劣的天气变化、复杂地形、杂波干扰等;人为活动包括与盟军协同作战,同时存在友军、敌军和中立者,三者混杂在一起区分困难(友军、敌军及中间力量;先进的掠海巡航导弹、电子战及战术弹道导弹威胁;大量的联合部队携带大量的传感器和武器需要紧密协同),隐身技术、高机动技术的发展导致目标识别与跟踪困难,攻击更加困难。为建立一个综合的信息网络,囊括战场上所有战斗单元的信息网络,将它们所获得的侦察情报加以综合,形成精度更高、范

围更广、全局一致的战场态势信息,并为所有作战单元共享,就能够取代传统的、各自为战的海上防空作战模式,实现真正意义上的协同作战^[3-11]。

基于此,20 世纪 80 年代,美国海军提出了“协同作战能力”(Cooperative Engagement Capability, CEC)建设的构想,并由美国约翰·霍普金斯大学应用物理实验室负责实施,后来雷声公司成为主要承包商,约翰·霍普金斯大学应用物理实验室起技术指导作用。图 1-3 为 CEC 的作战概念图。

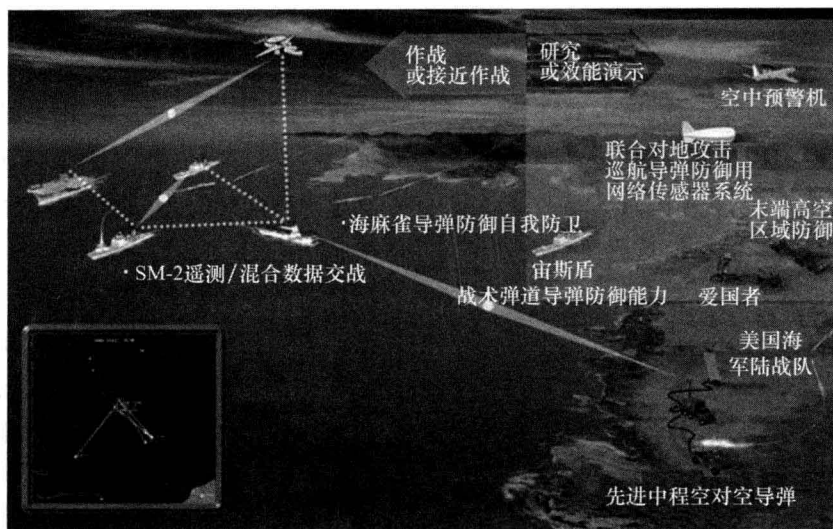


图 1-3 CEC 作战概念图

CEC 的核心设备是协同作战处理器 (Cooperative Engagement Processor, CEP) 和数据分配系统。CEP 用于处理由系统和网络中各战斗单元提供的数据,通常直接与武器分系统的处理器、本地命令与控制子系统以及本地传感器相连接,以确保及时、精确地进行协同作战。CEP 具有足够的容量和运算能力,以及与战斗群中所有作战系统相适应的接口。目前由 30 台摩托罗拉 68040 商用处理器按照一种专门的信息传输结构组成,每台处理器至少执行一项处理子功能,例如航迹滤波、航迹偏离与聚合检测、网格锁定、传感器接口、协同作战支持和数据分配系统接口等。

数据分配系统终端采用相控阵通信天线和大功率行波管发射机,其作用是在不同的时间段发射和接收数据,能可靠、近实时地交换分配群体数据,其传输能力几乎比通常各类传统的战术数据链高几个数量级,传输能力的性能指标包括数据容量、循环周期、更新速率、消息错误率、数据传输拥堵状况和容错率等。CEC 还采用了一种新式的网络结构,当指挥员在指定的网络控制单元发出“启动网络”指