

气象信息技术

QIXIANG XINXI JISHU

■ 孔璐 汤咏康 宋英姿 黄伟 鲁才学 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

014043124

P409
01

内容简介

气象信息技术

孔璐 汤咏康 宋英姿 黄伟 鲁才学 著



国防工业出版社



北航

C1729678

P409
01

内 容 简 介

本书是气象与信息交叉、边缘学科著作,在全面总结信息技术在气象领域的研究与实施成果基础上,系统阐述了气象信息技术的理论与应用。首先,从宏观上对气象信息系统与技术的定义、内涵和发展现状进行了归纳;然后,从气象数据高性能计算、气象图形图像显示、气象数据处理与管理技术、气象通信网络技术、气象信息软件工程和气象信息系统集成技术等6个方面,重点对气象信息工程技术理论与应用进行了系统、细致分析。本书内容充实、层次分明、理论新颖,具有较强的理论基础和应用价值。

本书可供气象信息工程技术与管理人员研究与业务使用,也可作为高等院校相关专业高年级本科生、研究生教学用书籍。

图书在版编目(CIP)数据

气象信息技术 / 孔璐等著. —北京:国防工业出版社, 2014. 1

ISBN 978 - 7 - 118 - 09176 - 2

I. ①气... II. ①孔... III. ①信息技术 - 应用 - 气象学 IV. ①P409

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 290782 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 880 × 1230 1/32 印张 4 7/8 字数 146 千字
2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776

发行业务:(010)88540717

前 言

气象信息化水平是决定气象保障能力高低的重要因素之一,本书是气象与信息交叉、边缘学科较为系统的专业理论与应用著作。本书在全面总结信息技术在气象领域的研究与实施成果基础上,系统阐述了气象信息技术的理论与应用。首先,从宏观上对气象信息系统与技术的定义、内涵和发展现状进行了归纳;然后,从气象数据高性能计算、气象图形图像显示、气象数据处理与管理、气象通信网络、气象信息软件和气象信息系统集成等6个方面,重点对气象信息工程技术理论与应用进行了系统、细致分析。本书对于提高气象业务信息化水平,增强基于信息系统的气象保障能力,具有较高的理论与实际应用价值。其主要内容的学术水平与应用价值体现在以下几个方面:

(1) 以气象信息系统为载体,以气象和信息交叉、边缘学科为主要内容,丰富了气象信息系统工程专业领域的理论性,具有较高的学术价值和可拓展性。

(2) 通过理论分析和比较,选取可以用于解决气象信息系统中不同问题的若干方法进行深入、详细的介绍和说明,以引导读者正确、合理、有效地使用这些方法,因而本书有关内容具备方法论的意义。

(3) 追踪当前气象信息领域研究热点和技术前沿,提出并真正应用于气象领域的系统论、软件工程、信息系统、信息管理以及计算机技术等理论,可实现对气象信息系统的理论支撑和技术支持,因而,本书有关内容具先进性和前瞻性。

(4) 本书有关应用的内容,既有对书中有关理论和技术进行应用实证的作用,又对解决气象信息系统中类似问题、引导气象信息系统建立过程中的创新思维和手段等,具有一定的指导意义和参考价值。

本书内容充实、层次分明、理论新颖,既可供气象信息工程技术与管理人员研究与业务使用,又可供其他科研和专业技术人员进行气象信息系统研发工作中学习、参考使用,还可作为高等院校相关专业高年级本科生、研究生教学用书。

本书在编写过程中参考引用了国内外同行的著作与文章,在此表示感谢!

限于作者的知识水平,书中难免存在疏漏之处,恳请广大读者不吝批评指正。联系请发邮件至 E-mail 地址:burning666@163.com。

编著者

2013 年 9 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 气象信息系统	1
1.1.1 定义与内涵	1
1.1.2 作用与地位	2
1.2 气象信息技术发展与现状	2
1.2.1 气象信息技术的发展历程	2
1.2.2 气象信息技术应用现状	4
第2章 气象数据高性能计算	6
2.1 气象数据高性能计算概述	6
2.1.1 高性能计算	6
2.1.2 气象领域高性能计算的主要特征	8
2.1.3 气象领域高性能计算的发展	9
2.2 并行计算及其在气象中的应用	10
2.2.1 并行计算	10
2.2.2 气象领域的并行计算	11
2.2.3 数值气象预报中的并行算法	12
2.2.4 数值气象预报中的并行实现技术	14
2.3 网格计算及其在气象中的应用	15
2.3.1 网格计算	15
2.3.2 网格计算与高性能计算之间的关系	16
2.3.3 气象领域的网格计算	17
2.3.4 气象网络应用计算系统	18
2.4 云计算及其在气象中的应用	23
2.4.1 云计算	23

2.4.2	云计算对气象领域的影响	24
2.4.3	气象领域的云计算	26
第3章	气象图形图像显示	29
3.1	气象领域的图形图像	29
3.1.1	气象数据分类与表达	29
3.1.2	天气图的绘制	30
3.1.3	地面天气图	33
3.1.4	高空天气图	44
3.2	气象数据多维图形图像显示技术	49
3.2.1	多维信息图形图像显示技术的分类	50
3.2.2	基于2变量的多维信息图形图像显示技术	50
3.2.3	基于多变量的多维信息图形图像显示技术	52
3.2.4	基于动画的多维信息图形图像显示技术	55
3.3	气象图形图像显示的实现	57
3.3.1	等值线算法	57
3.3.2	流线图算法	57
第4章	气象数据处理与管理	59
4.1	气象数据处理	59
4.1.1	海量数据与大数据技术	59
4.1.2	气象海量数据与处理	60
4.2	气象数据管理	61
4.2.1	气象数据管理与共享问题研究	61
4.2.2	时间数据库在气象数据管理中的应用研究	66
4.3	气象数据挖掘	72
4.3.1	气象数据挖掘概述	72
4.3.2	气象数据挖掘技术	73
4.3.3	气象数据挖掘的应用	74
第5章	气象通信网络	79
5.1	气象通信系统	79

5.1.1	气象通信系统内涵	79
5.1.2	国内通信系统	80
5.1.3	国际通信系统	85
5.2	气象网络系统	86
5.2.1	气象网络系统内涵	86
5.2.2	我国气象通信网络	87
5.2.3	气象网络安全	90
5.3	气象通信网络技术应用	93
第6章	气象信息软件工程	97
6.1	气象信息软件工程内涵	97
6.1.1	软件工程概念	97
6.1.2	气象信息软件开发基础	98
6.2	软件工程在气象业务平台建设中的应用	101
6.2.1	主要功能和技术路线	102
6.2.2	软件工程方法应用	102
6.3	软件工程在气象预报系统中的应用	103
6.3.1	需求分析	103
6.3.2	软件系统开发技术	105
6.4	气象信息软件工程综合应用	107
6.4.1	系统需求分析	107
6.4.2	系统设计	110
6.4.3	系统功能的实现	113
6.4.4	系统的测试	121
6.4.5	系统的维护	124
第7章	气象信息系统集成	126
7.1	气象信息系统集成内涵	126
7.1.1	系统集成基础	126
7.1.2	气象信息系统集成层次	128
7.1.3	气象信息系统集成方法	129
7.2	设备系统集成在气象灾害预警系统中的应用	131

7.2.1	系统构成	131
7.2.2	关键技术	132
7.2.3	系统防护	133
7.3	应用系统集成在农业气象业务系统中的应用	134
7.3.1	系统组成和功能	134
7.3.2	组件技术的集成应用	135
7.4	气象信息系统集成综合应用	138
7.4.1	现状及问题	138
7.4.2	技术方案	139
7.4.3	运行环境及流程分析	140
7.4.4	集成技术和设备	141
参考文献		144

第1章 绪 论

1.1 气象信息系统

1.1.1 定义与内涵

气象信息系统负责收集、处理、存储、交换与分发各种气象信息和相关非气象信息,承担信息的集中统一管理、数据质量控制和信息服务,主要包括通信网络系统、高性能计算机系统、数据处理与管理、信息存储与信息共享服务等。

高性能计算,即为高性能计算机和高性能服务器的应用,是各国特别是发达国家竞相争夺的战略制高点。作为国家信息基础设施的核心,就气象部门而言,高性能计算对科学研究和技术创新具有战略性影响。

信息存储检索系统是指用于各类气象信息规范化存储管理、支持各领域用户信息获取的数据库系统,是气象数据综合管理平台,其中的用户服务部分称为信息共享平台。

数据管理是指在数据收集、处理、存储归档、共享服务的各个环节过程中应该贯彻的指导原则、方针和具体执行方法。数据处理与管理是指气象信息与技术体系改革中具有政策性、指导性的基础业务工作,其制订的原则要求贯彻于气象信息与技术体系改革与建设的全过程。

通信是通过某种媒体进行的信息传递。计算机网络是通过信息设备和介质将地理位置不同的、功能独立的多个计算机系统连接起来,以功能完善的网络软件实现资源共享和信息传递的系统。简单地说,即连接两台或多台计算机进行通信的系统。

信息安全从技术角度来看是指对信息系统的固有状态的攻击与保护的过程,它以攻击保护信息系统、信息自身及信息利用3个层面中的机密性、可鉴别性、可控性和可用性等4个核心安全属性为目标,确保信息与信息系统不被非法授权所掌握,这是机密性;信息系统的信息与操作是可

鉴别的,这是鉴别性;信息与系统是可控的,这是可控性;能随时为授权者提供信息及系统服务,这是可用性。具体反映在物理安全、运行安全、数据安全、内容安全等4个层面上。

1.1.2 作用与地位

气象信息系统是整个气象事业的公共技术基础设施,是国家信息基础设施的重要平台和组成部分,是世界气象(气候系统)基础设施的重要节点,是整个多轨道业务技术体系能否高效运转的基础保障。气象信息技术体系的作用是面向国家需求和世界气象领域科技与业务发展提供基础气象信息资源服务。

气象信息系统是气象信息与技术保障体系的重要组成部分,是多轨道业务和功能体系的公共技术基础支撑,起着纽带与支撑作用。它不仅可以将某一轨道的观测、预报观测、服务和研究有机结合,构成完整的研究型轨道业务系统,同时还将多个轨道有机融合,相互支持,形成集约化发展,发挥多轨道业务的综合效益。针对所有功能体系气象信息系统的作用也是一样,为此气象信息系统发展应适度超前。

首先,数据处理与管理是信息系统工作的重要组成部分之一,将与信息收集、加工处理、存储管理和共享服务等功能模块一起构成整个信息系统。其次,数据处理和管理工作与其他功能平台关系密切:气象观测系统是原始观、探测资料的信息来源,气象通信网络系统是资料收集和产品分发的渠道,预报预测系统是资料服务的对象。同时,各轨道系统产生的业务服务产品又成为资料收集的一个重要部分。因此,数据处理与管理工

作贯穿于整个气象业务流程,在各个业务系统中都有相应的体现。

1.2 气象信息技术发展与现状

1.2.1 气象信息技术的发展历程

气象信息技术是紧随通信网络、计算机应用、高性能计算等信息技术的发展而发展的,如气象通信网络先后经历了莫尔斯通信、电传通信、无线传真业务、计算机通信、网络建设、9210 工程建设等不同时期。

计算机应用在气象领域也经历了不同发展阶段:20 世纪 50~70 年代中后期,主要是基于国产计算机的早期应用;20 世纪 70 年代后期,高性能

巨型计算机问世;20世纪80年代初在M-160 II和M-170计算机上建立了气象通信系统和短期数值天气预报业务系统;1989年和1991年,作为中期数值天气系统工程建设中最重要的技术设备——美国的CDC公司的CYBER962(1480万次/s)和CYBER992(3460万次/s)计算机先后到货安装;1991年,T42L9中期数值预报业务系统终于研制成功,正式制作5天的全球预报;1993年,国产银行巨型计算机YH2(4个CPU,每秒4亿浮点运算)安装成功,同年T63L16中期数值预报业务系统在YH2上建成,结束了我国气象部门没有亿次巨型机的历史;1994年,我国首次引进了美国CRAY公司的CRAYC92巨型计算机;1997年,更高分辨率的T106L19中期数值预报业务系统建成,并投入业务运行,预报时效延长到10天。

20世纪90年代中期,逐步装备和应用大规模并行计算机(MPP)作为气象部门高性能计算机应用的主要发展方向。经过建设开发,构成了由国产曙光1000A并行计算机(每秒32亿浮点运算)、YH3并行计算机(每秒180亿浮点运算)和引进的IBM SP并行计算机(总体能力:每秒720亿浮点运算)等所组成的国内最大的多机型异构并行计算环境;1999年神威I系统开始运行时,其计算能力是国内第一、国际先进水平;2004年引进了21万亿次/s的IBM Cluster 1600计算机,于2005年1月投入业务运行。

气象资料整编是气象资料工作的一项基本业务。除了日常性整编外,我国进行了6次较大规模的阶段性整编,分别在1952年、1961年、1971年、1981年、1991年和2003年开始进行。对10年、20年或30年为周期积累的资料进行整编。通过几次整编建立了地面、高空、辐射等资料的数据集或数据库,以满足气象业务、服务和科研工作的需要。

在数据管理方面,气象部门于20世纪80年代开始研究利用数据库技术管理数据。20世纪90年代初,利用VMS操作系统的索引文件管理系统开发的新一代数据库系统开始投入业务运行。随后开发的9210数据库是面向全国气象部门的统一数据结构,统一用户界面的分布式数据库,也是我国气象部门第一次采用大型商用数据库管理系统来开发实时气象资料数据库。2003年,“国家级气象信息存储管理系统”(MDSS)开始建设,2007年投入业务运行。

“气象资料共享系统建设”项目研制完成了中国气象科学数据共享服务网,该网是由国家级、区域和省级共享系统有机组成的覆盖全国、分布

式的网络化科学数据共享服务系统,由一个主平台和若干个分平台组成,系统实现了基于统一元数据标准的信息发布和用户一点登录全网数据透明访问,系统采用统一标准规范,实现了全网数据、用户的分级管理;用户可以通过访问本系统获取分布在不同节点的基于 Web 的数据检索与下载服务。该网络是气象部门第一个建成的具有真正意义的分布式信息网络体系。

1.2.2 气象信息技术应用现状

1. 高性能计算机系统

国家气象信息中心高性能计算机系统 IBM 高性能计算机由业务分区、科研分区数百个节点组成。每个分区之间是相互独立的,其分区内部各节点间采用各自内部的高性能交换网络进行互连,设计上某个分区的故障不会对另一个分区造成任何影响。IBM 高性能计算机系统上承担的业务模式包括数值预报业务系统和动力气候模式预测系统。目前区域气象中心和各省级高性能计算机系统中,除了少数区域气象中心开发运行了特色数值模式,其他大部分运行的都是 MM5 和 GRAPES 业务模式。

2. 数据处理与管理

气象数据处理与管理业务的基本功能包括各类气象感测资料及其相关资料的收集、加工处理、归档和服务。经过多年的发展,气象资料业务已形成国家、省、台站 3 级数据处理业务机制。气象数据处理和管理业务经过几十年的发展,已经基本形成了观测资料的自动收集、加工处理、存档和服务的业务流程。

数据处理已经开展了以地面和高空质量控制为主的质量控制业务,国家级开展了气候资料的均一性检查和订正研究,国家和省建立了地面自动站资料质量评估业务,开展了地面、高空和辐射资料的统计整编业务,围绕气象数据处理业务,建立了一系列规范和标准;开发气象数据资源,生产和制作了一批数据集产品。

我国建立了国家级、省级数据管理机构;各级数据管理机构已经建立了对基本数据的收集、处理业务;对收集的资料范围也有明确的分工,对主要探测数据的收集业务流程不断完善;各级数据管理结构对主要常规观测资料按照规定的时间进行审核、统计、整编,数据质量不断提高;大部分数据在国家级、省级进行了存储和归档。针对科研、业务对气象资料的

巨大需求,各级数据管理机构均开展了数据的服务工作。尤其是近年来,国家级数据共享服务取得了很大进展。几年来国家级数据管理机构注重了对数据管理技术标准的制定,研制了“气象数据元数据格式标准”“气象科学数据集制作与归档技术规定”“气象数据集说明文档格式标准”“气象资料的分类编码及命名规定”等技术规定。

目前气象资料的服务主要使用在线服务和离线服务两种方式。其中,在线服务主要通过气象科学数据共享服务网和国家气象信息中心气象资料服务网进行;离线服务是通过数据服务人员进行数据管理,利用光盘等介质将资料提供给用户。用户主要分布在气象部门、高等院校、科研院所、部队和农业、水利部门。

3. 气象通信网络系统

目前,我国气象信息网络系统已建成了连通全国两千多个县,具有较高水平的卫星通信和地面公共通信相结合的气象通信网络系统;通信与网络业务系统主要包括宽带网、卫星通信系统、天气预报电视会商系统、办公自动化(OA)与灾情传输系统、国际通信系统、各级局域网络系统、Internet系统等。建成了气象、国防、海洋、水利、地震和航空航天等部门联通的资料共享交换网络系统。气象信息网络系统已建成基本气象资料共享服务平台,建设完成由多种气象数据共享分系统组成的、覆盖全国、连接世界的分布式气象科学数据共享网络体系。

4. 信息存储与共享系统

其主要的气象资料已经进入数据库系统进行管理和服务,已经建立大量标准、规范的可供用户直接使用的数据集产品,使气象资料的完整性、安全性和准确性得到越来越多的保障。数据存储管理发展和应用经历了单机管理、局域网络管理、广域网络管理与海量综合数据管理系统4个阶段。

自20世纪90年代中期起,依托9210工程建设项目,在全国范围内建成了地(市)级以上各级气象数据库,形成了NICC、RICC、PICC、CIMS上下配套的4级分布式数据库系统,并采用了统一数据库管理系统、数据格式和应用界面,实现气象信息的高效应用、交换和统一管理。

目前,国家气象信息中心已成为WMO(世界气象组织)全球气象电信系统区域通信枢纽之一,形成了由国产和引进的高性能计算机、海量存储系统、高速局域网组成的高性能计算及网络系统;建成了基本气象资料共享服务平台与分布式气象科学数据共享网络体系。

第2章 气象数据高性能计算

2.1 气象数据高性能计算概述

2.1.1 高性能计算

高性能计算(High Performance Computing, HPC)是计算机科学的一个分支,主要是指从体系结构、并行算法和软件开发等方面研究开发高性能计算机的技术。

1. 高性能计算的含义

HPC 指通常使用很多处理器(作为单个机器的一部分)或者某一集群中组织的几台计算机(作为单个计算资源操作)的计算系统和环境。有许多类型的 HPC 系统,其范围从标准计算机的大型集群到高度专用的硬件。大多数基于集群的 HPC 系统使用高性能网络互连。基本的网络拓扑和组织可以使用一个简单的总线拓扑,在性能很高的环境中,网状网络系统在主机之间提供较短的潜伏期,所以可改善总体网络性能和传输速率。

图 2.1 显示了一网状 HPC 系统。在网状网络拓扑中,该结构支持通过缩短网络节点之间的物理和逻辑距离来加快跨主机的通信。尽管网络拓扑、硬件和处理硬件在 HPC 系统中很重要,但是使系统如此有效的核心功能是由操作系统和应用软件提供的。

HPC 系统使用的是专门的操作系统,这些操作系统被设计为看起来像是单个计算资源。其中控制节点形成了 HPC 系统和客户机之间的接口。控制

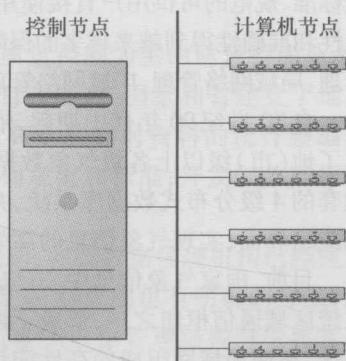


图 2.1 高性能计算
总线网络拓扑

节点还管理着计算机节点的工作分配。

对于典型 HPC 环境中的任务执行,有两个模型——单指令/多数据 (SIMD) 和多指令/多数据 (MIMD)。SIMD 在跨多个处理器的同时执行相同的计算指令和操作,但对于不同数据范围,它允许系统同时使用许多变量计算相同的表达式。MIMD 允许 HPC 系统在同一时间使用不同的变量执行不同的计算,使整个系统看起来并不只是一个没有任何特点的计算资源(尽管它功能强大),可以同时执行许多计算。

不管是使用 SIMD 还是 MIMD,典型 HPC 的基本原理是相同的:整个 HPC 单元的操作和行为像是单个计算资源,它将实际请求的加载展开到各个节点。HPC 解决方案也是专用的单元,被专门设计和部署为能够充当(并且只充当)大型计算资源。

2. 高性能计算的发展趋势

HPC 的发展趋势主要表现在网络化、体系结构主流化、开放和标准化、应用的多样化等方面。网络化的趋势将是高性能计算机最重要的发展趋势,高性能计算机的主要用途是网络计算环境中的主机。以后越来越多的应用是在网络环境下的应用,会出现数以十亿计的客户端设备,所有重要的数据及应用都会放在高性能服务器上,客户机/服务器 (Client/Server) 模式进入到第二代,即服务器聚集的模式。

网格 (Grid) 已经成为 HPC 的一个研究热点。网络计算环境的应用模式目前是 Internet/Web,信息网格模式将逐渐成为主流。在计算网格方面美国领先于其他国家,美国当前对于网格研究的支持可与其 20 世纪 70 年代对 Internet 研究的支持相比,10 年后可望普及到国民经济和社会发展的各个领域。网格与 Internet/Web 的主要不同是一体化,它将分布于全国的计算机、数据、贵重设备、用户、软件和信息组织成一个逻辑整体。各行各业可以在此基础上运行各自的应用网格。

在体系结构上,一个重要的趋势是超级服务器正取代超级计算机而成为 HPC 的主流体系结构技术。高性能计算机市场的低档产品主要是 SMP (Symmetric Multi-Processor, 对称多处理机),中档产品是 SMP、CC-NUMA (Cache Coherent-Non-Uniform Memory Access, 支持缓存一致性的非均匀内存访问) 和机群,高档产品则采用 SMP 或 CC-NUMA 节点的机群。

总的来说,国外的高性能计算机应用已经具有相当规模的规模,在各

个领域都有比较成熟的应用实例。在政府部门大量使用高性能计算机,能有效地提高政府对国民经济和社会发展的宏观监控和引导能力,包括打击走私、增强税收、进行金融监控和风险预警、环境和资源的监控和分析等。

3. 中国 HPC 的发展

高性能计算机 90% 的用途是非科学计算的数据处理、事务处理和信息服务。在中国,高性能计算机将越来越得到产业界的认同,成为重要的生产工具,高性能计算机已广泛应用于生物、信息、电子商务、金融、保险等产业,它同时也是传统产业(包括制造业)实现技术改造、提高生产率——“电子生产率”(e-Productivity)和竞争力的重要工具。HPC 已从技术计算(即科学计算和工程计算)扩展到商业应用和网络信息服务领域。

应该说高性能计算机在国内的研究与应用已取得了一些成功,包括曙光超级服务器的推出和正在推广的一些应用领域。利用高性能计算机做气象预报和气候模拟,对厄尔尼诺现象及灾害性天气进行预警。国庆 50 周年前,国家气象局利用国产高性能计算机,对北京地区进行了集合预报、中尺度预报和短期天气预报,取得了良好的预报结果;此外,在生物工程、生物信息学、船舶设计、汽车设计和碰撞模拟以及三峡工程施工管理和质量控制等领域都有高性能计算机成功应用的实例。

但是总的说来,高性能计算机在国内的应用还有待发展,主要原因在于装备不足、联合和配套措施不力及宣传教育力度不够。随着网络化和信息化工作的深入,国内社会已逐步意识到高性能计算机的重要性。HPC 已经成为科技创新的主要工具,能够促成理论或实验方法不能取得的科学发现和技术创新。973 项目中的很多项目(尤其是其中的“高性能软件”和“大规模科学计算”项目)都与高性能计算机有着密切的关系。

2.1.2 气象领域高性能计算的主要特征

1. HPC 资源较为匮乏

HPC 在气象行业中主要应用于数值天气预报领域的业务和科研工作,而数值天气预报的具体工作内容实质,相当于计算数学领域中的“偏微分方程组的数值求解”。由于始终存在“次网格尺度物理过程”,导致数值预报模式的分辨率难有满意的终结目标,而数值预报模式分辨率的