

NEXRAD 的技术升级和发展方向

梁海河¹ Jing Zhongqi² 徐宝祥³

(1. 中国气象局大气探测技术中心, 北京 100081; 2. NEXRAD Radar Operations Centre;
3. 中国气象科学研究院)

提 要: 阐述了 NEXRAD 雷达网产品升级、业务改造和技术更新的内容及现状, 介绍了美国天气雷达网和雷达探测技术的可能发展趋势。NEXRAD 产品升级的主要内容是建立开放的雷达系统、增加新算法、建立公共业务开发环境, 研发不同型雷达的资料融合方法。NEXRAD 业务改造主要包括更新雷达的网络设备, 建立雷达基数据传输方案, 升级和改造雷达系统部件。NEXRAD 的未来将向提高探测时空精度和资料的综合应用发展。结合我国天气雷达的状况, 就开展我国新一代天气雷达运行保障、资料应用开发和新技术研究试验阐述了几点认识和建议。

关键词: NEXRAD 技术升级 发展方向

The Technology Improvement and Development Strategy for NEXRAD

Liang Haihe¹ Jing Zhongqi² Xu Baoxiang³

(1. Atmosphere Observation Technology Center, CMA, Beijing 100081;
2. NEXRAD Radar Operation Center, USA; 3. Chinese Academy of Meteorology Sciences)

Abstract: It is expounded that NEXRAD product improvement (NPI), operation upgrade projects, and their current situations. Further more the NEXRAD network science infusion plan and the strategic directions for WSR-88D in the period 2007—2025 are introduced. NPI includes setting up open system, developing new algorithms, building Common Operations Development Environment, and studying the integration method of various radar data, et.

资助项目: 国家自然科学基金“新一代天气雷达监测沙尘暴的能力和 method 研究(40475011)”项目资助

收稿日期: 2005年1月26日; 修定稿日期: 2005年11月14日

al. NEXRAD update projects contain TCP/IP communication, base data distribution scheme, and radar system equipments. The science infusion plan and strategic directions tell that the NEXRAD will develop to high spatial-temporal resolution and data synthesis applications. Some Opinions are put forward for China weather radar network operations support, products development and data application, and new technology study and evaluation.

Key Words: NEXRAD improvement development

引 言

随着业务和技术的发展,新一代天气雷达(CINRAD)在布网后面临许多新的任务,如雷达产品研发和资料应用、雷达运行维护和技术保障、雷达新技术研究和试验等。研究美国业务天气雷达的技术现状和发展趋势,掌握国际发展动态,对CINRAD的发展和项目实施具有重要意义。

美国在完成下一代天气雷达(NEXRAD)业务布网之后,开展了较大规模的技术升级和业务更新,正在实施中的产品升级计划^[1~4]和全网业务维护更新项目^[5]等使NEXRAD的技术水平和业务能力获得和即将获得大幅提高。2001年,美国天气局(NWS)起草了科学技术注入计划^[6],其中描述了2025年前美国天气雷达探测网发展的总体目标。为指导NEXRAD在后服务期内(2007~2025年)的业务发展和技术革新,2002年NEXRAD技术咨询委员会(TAC)征集了关于国家天气雷达探测网和WSR-88D未来发展“战略指导”^[7]的专家意见,进一步指明了NEXRAD业务和技术发展的内容和方向。

本文首先阐述和分析NEXRAD雷达网产品升级、业务改造和技术更新的内容及现状,然后介绍美国天气雷达网和雷达探测技术的可能发展趋势,最后结合我国天气雷达的状况和任务谈几点体会和认识。

1 NEXRAD 产品升级

为适应雷达探测新技术的发展,满足气象水文业务科研不断增长的应用需求,NEXRAD于1996年建立了产品升级计划(NPI)^[1,2],其目的是通过建立开放的雷达系统,实现对WSR-88D原有结构、指标参数和探测能力的全面改造升级。

NPI产品生成系统(RPG)升级的主要内容是建立开放的产品系统模式(ORPG)^[3,4],改进和研发产品算法,包括增加杂波和异常传播识别、积雪估测、零度层亮带识别算法,改进垂直累积液态含水量、中尺度识别算法,设置新的体积扫描模式等^[8~12]。ORPG的另一任务是建立基数据和产品的传输分发系统(BDDS),实现高分辨率数据阵列产品与自动天气信息处理系统(AWIPS)的联接^[13]。

雷达公共业务开发环境(CODE)是NPI的一个重要组成部分,标志着雷达算法和产品开发进入了一个新的时代^[14~16]。CODE是NEXRAD产品系统的开发、集成和测试环境,提供了数据公共接口和算法模块库,制定了程序标准和文档规范,具有系统服务和中间缓冲功能。CODE建立了雷达业务仿真环境,允许接入实时数据而创建算法和调试程序,成为科技成果向业务转化的有效共用平台。

建立开放的硬件系统结构(ORDA),更新数字接收机、信号处理器和计算通信等

设备 (ORDA) 是 NPI 数据采集系统 (RDA) 的升级内容^[15~19]。ORDA 信号处理/数字接收机、雷达 (天线) 控制和中频数字转化器分别采用了 SIGMET 的 RVP8 和 RCP8。ORDA 信号处理改进的内容包括距离-速度模糊消除, 引入信噪比门限, 提高数据采集方位、径向分辨率 (0.5°、250m) 和时间分辨率 (体扫 4 分钟), 以提高对微小尺度系统的探测能力。RVP8 具有双通道偏振信号处理能力, 新系统的结构设计和器件选择考虑了系统升级扩充 (如双偏振) 和商业化问题。

双偏振雷达技术和应用研究在 20 世纪 90 年代获得了较大进展^[20~25], 在 NPI 的双偏振升级试验中, 采用了水平和垂直脉冲同时发射同时接收、单发射机双接收机体制^[26]。这种体制与交替发射方式相比的优点是硬件体制和产品算法可以与 WSR-88D 兼容、节约采样时间有利于提高参量精度、减小速度距离模糊、回避了昂贵不易维护的大功率微波开关, 而不足在于需要增加第二个接收通道 (或接收机)、损失了 3dB 的信噪比和退偏振比测量。

在国家天气雷达网中, 联邦航空管理局 (FAA) 拥有四种型号雷达, 尽管 FAA 雷达具有不同的工程特性, 但其探测数据将被作为 NEXRAD 覆盖区载内的信息补充。NPI 将把 FAA 雷达数据将纳入 WSR-88D 探测网中, 通过反射率和风场试验分析, 实现 FAA 数据与 WSR-88D 数据融合, 用于雷达拼图、垂直风廓线反演、地物和杂波消除、补充风暴探测密度等^[27,28]。

雷达数据系统集成是 NPI 的重要组成部分^[8,9], 在 NEXRAD 数据与 AWIPS 的高速数据连接基础上, 开发应用雷达数据的中尺度和风暴尺度模式, 建立观测数据和模式结果的集成系统, 使用户可以在 AWIPS 中能够使用多种观测数据和数值模式产品。

目前, ORPG 项目发展到 ORPG Build6, 计划于 2006 年完成 Build9, 其中将包括双偏振的算法和产品^[29]。ORDA 已处于最后的测试阶段, 于 2005 年春季开始现场改造测试, 约 2007 和 2008 实施 ORDA 更新工作^[30]。双偏振改造试验于 2002 年完成现正在进行外场试验、评估和算法开发, 根据试验结果和资金状况, NWS 初步计划于 2007~2008 年实施 NEXRAD 的偏振升级工作^[31~33]。

2 NEXRAD 业务改造和进展

经过十多年的业务运行, 除 NPI 的技术研发和业务转化外, NEXRAD 的业务维护和技术更新也进入一个重要时期。为增加对公众发布强风暴预警决策时间, NWS 决定更换 RPG 局域网网关, 升级 TCP/IP 通讯设备, 建立由雷达站网到 NWS 预报预警显示系统的高速通讯网络^[5]。2003 年, NEXRAD 完成了 WSR-88D 雷达站与 AW-PIS 的局域网络互联 (NWSNet)^[13], 2004 年夏季 AWPIIS 开始接收来自全国陆地站高分辨率的数据产品^[34]。高速通讯网的建立为产品生成的分布式模式提供了物理基础。

ORPG 的分布式处理模式, 将极大提高产品生成的处理能力和业务应用水平。由于 ORPG 的分布式处理能力的扩充, 现有计算机设备不再适应新的计算要求并需增加新的网络计算节点^[4]; 另一方面, 鉴于 NWS 的计算机系统大多转向了 PC/LINUX, 因此, ORPG 计划将于 2005~2006 年完成由 SUN/UNIX 系统向 PC/LINUX 系统的过渡^[5]。

对于发射机部件, WSR-88D 发射系统中的触发式放大器、调制器设备, 以及一些到期的发射机器件将被更换^[5]。通过消除触发式放大器、调制器设备中的高压电平, 有

望提高 WSR-88D 的可靠性、可维护性, 节省维修费用。

目前美国防部 (DoD) 正在测试适合于天线罩、设备防护罩和塔架保护的复合材料。复合材料可降低维护费用、提高天线罩对强风暴冰雹的抵御性能, 增加近海地区铁塔防腐能力。根据 DoD 的试验结果, 确定使用复合材料的可行性。当前的计划是开展适度的复合材料研究, 如果初始研究结果满意, 再进行一部天线罩的外场试验。如果试验表明可行, 将更换 20 个雷达站的防护罩, 并逐步进行天线罩更新。

表 1 各项目进程安排时间表
(FY: 财政预算年度)^[5]

项目名称	开发和评估	外场试验	应用推广
雷达信号设计改进	FY 02-04	FY 05	FY 06-07
TCP/IP 通讯	FY 01-02	FY 02	FY 02-04
RPG 分布式处理	FY 04	FY 04	FY 05
RPG 网关	FY 05	FY 05	FY 06
复合天线罩	FY 05-09	FY 10	FY 11-20
复合防护罩	FY 05-07	FY 08-09	FY 10-11
发射机升级更新	FY 04-05	FY 06	FY 07-08
RDA 计算机硬件更换	FY 09	FY 10	FY 10-11

注: 每项目分三个阶段: (1) 调研候选器件, 开发试验评估, 确定符合项目要求的最佳方案; (2) 完成工程评估, 提出修改建议, 外场试验测试; (3) 完成外场试验, 审查新器件的开发试验情况。

3 基数据传输和应用

为满足科研业务的技术发展和不断增加的应用需要, 如三维拼图和数值模式对高时空分辨率数据的要求, 通过“综合雷达采集外场试验 (CRAFT)”^[35], NWS 确定了实时数据压缩、传输、归档和应用模式, 并建立了雷达数据传输的网络业务结构, 开发了雷达基数据分发系统 (BDDS) 和局地数据管理系统 (LDM), 实现了 NEXRAD 全网基数据 (Level II Data) 和产品数据 (Lev-

el III Data) 并行传输和共享。

基数据和产品数据由雷达站通过 NWS-Net 传输到四个区域中心服务器 (西部、中部、南部和东部)。基本数据通过第二代互联网 (Internet2) 由区域中心服务器传输到国家气候数据中心 (NCDC)、国家环境预报中心 (NCEP), 以及大学、实验室及其它商业机构^[34]。NWS 的 AWIPS 及 FAA 的产品应用系统, 仍然接入产品数据。NEXRAD 信息分发系统 (NIDS) 向用户提供 WSR-88D 准实时产品和基数据服务。

目前, NWS 正在试验开发基数据拼图产品及由拼图衍生的服务产品。风暴分析和预报中心 (CAPS) 和航空天气中心 (AWC) 将使用高分辨率准实时区域或全国雷达拼图改进业务产品能力。在资料同化方面, NCEP 已将高分辨率的雷达基数据产品引入了数值模式的物理过程。

4 NEXRAD 未来发展

科学技术注入计划 (草稿)^[6]指出, 到 2025 年 NWS 将获得丰富有效的无缝隙天气、水、气候、及相关的环境信息, 观测数据被集成到综合数值模式预报系统中, 所有的预警预报信息通过多媒体介质向外发布。未来 NWS 探测系统改进的重点在于提高各种探测设备的精确性, 如增加时空覆盖、改进行星边界层和云湿度探测、增加传感器种类 (谱、干涉仪和偏振测量) 等, 以较好地描述大气的环境客观情形。在现有 OPEN 系统基础上, NWS 计划在 2010 年左右完成 NEXRAD 偏振雷达改造, 增加 X 波段轻便型雷达补充 WSR-88D 探测空隙。到 2025 年时, 将 X 波段雷达的探测系统形成网络, 相控阵偏振多通道的雷达探测系统得以应用。另外, 还将形成风廓线、边界层风廓线、闪电、地基 GPS、激光雷达、声技术

等地基遥感探测系统。

美国天气雷达发展“战略指导”^[7]专家意见认为,在未来探测技术的发展应作好与 NEXRAD 技术升级和设备更新的协调关系。协调性原则是保证通过一个项目获得的先进技术能够溶入到后续翻新的或升级的系统中,实现雷达用户和资料应用平稳过度的首要原则。“战略指导”描述了(2007~2020年)国家天气雷达和 WSR-88D 技术开发的内容。以下结合天气雷达未来发展和应用需要,简要地分析和阐述“战略指导”专家意见的观点和内容。

增加国家天气雷达网的密度。NEXRAD 扫描仰角不低于 0.5° 、并缺乏 RHI 的观测模式,限制了天线低仰角扫描的覆盖区域,严重影响了降水估算、强风暴识别、辐合线监测和边界层风场估算的有效距离,也造成近地面天气现象(如对流初始状态、湖水对降雪影响)探测困难和无法捕捉测站天顶天气现象的问题。“战略指导”认为,虽然在有些情况下,通过改变雷达的低仰角扫描模式也有助于这一问题的改善,但完全解决该问题的最好方法是增加雷达探测的密度。通过融合其它部门或不同型号的雷达数据,可降低总体造价,这些多层面的同化雷达数据流可用于国家、区域的雷达拼图。

提供高质量的 WSR-88D 探测数据。由于雷达数据的使用变得更加广泛和复杂,数据质量的控制和评价标准成为用户的直接和必要需求。如资料同化要求信号处理系统可几乎全部地消除距离速度模糊、地物杂波,具有非气象目标物(地物、海浪、鸟、昆虫等)识别和消除能力。“战略指导”认为,雷达网探测数据不仅需要做到准确、可靠、及时,也需要向用户提供数据质量的评价标准及其数据流。实时数据元中应包括标校、时间校准、波束位置、系统设置,元数据自

我诊断信息、在信号处理中被消除的采样信息(极端的、非正常回波往往有特殊的含义),以及用于代表雷达系统运行和产品可靠性的所谓“可靠性指数”。

“战略指导”认为需要:协作开发雷达数据与其它数据集成的高级决策支持系统。雷达产品系统需要与其它系统协同考虑,通过不断的性能提升和网络开发,使雷达数据能够与其它系统具有一个优良的数据接口。预报员工作站应具有与四维同化观测资料 and 模式结果的无缝接口,可提供微、小、中和天气尺度的过去、现时及未来的综合天气图像。雷达拼图由国家四维数据库生成,能提供包括边界层在内的全国统一的、高分辨率的数据图像。多数据流交互的四维同化数据可直接应用于业务,如美国和其它一些国家正在研制数据融合系统,局域风暴尺度的数值模式,决策支持系统,以及全自动的处理系统等。

协作开发供多种用户使用的产品和显示工具。使用雷达数据的用户群体正在不断地扩大,包括气象、民航、国防部门的专业技术人员、以及新闻媒体、紧急救援、交通系统管理等等。雷达数据具有很强的商业市场,要求能够提供高分辨率雷达数据和产品,为私人用户领域的广泛合作创造机会。雷达产品无缝隙引入地理信息系统的需求正在增加,未来雷达产品格式应与地理信息系统兼容,并溶入到上述的“雷达数据与其它数据集成的高级决策支持系统”中。雷达反演技术可提供高分辨率风场信息,由雷达反射率反演获得的近地面高分辨率的水汽场可以作为全国雷达网的补充产品,有利于多种高分辨率资料的综合应用。

开发试验和提高雷达发射波型和信号处理技术。相位编码、交替脉冲重复时间、脉冲压缩和重叠采样(Over Sampling)是一些需要研究的可能的工程改进措施,有可能

提高探测数据的质量、灵敏度,增加扫描速率。开展雷达数据流的谱处理(Spectral Processing)方法的研究,这是由于这种方法非常适合消除人为影响和其它辐射源的干扰,另外还可以得到10dB的信噪比增益,将提高对晴空和云的探测能力。对于识别龙卷环流的谱处理方案也可加以研究和开发。

有效提高计算能力和宽带通讯能力。在可预见的未来,源自观测站、卫星、雷达网等各种数据流,将会不断地扩充。如增加偏振功能,将使数据流量增加2~4倍。未来的雷达业务系统是国家基本探测网的一个组成部分。在通过压缩方案努力优化已有的宽带网的同时,综合通讯带宽发展趋势,与多家机构联合,节约成本,扩充气象通讯网宽带和计算能力。

建立业务环境下雷达新技术和预报能力检测的国家试验平台和示范站。为正确研究和开发许多看来有发展前途的新技术,需要建立一些试验测试台(Testbed)和示范站(Prototyping)。站址选择应考虑各种研究项目的系统性,以适宜解决一些重要的天气现象和满足特殊用户群体的需要。对于雷达数据与其它数据集成、产品开发显示工具的实施也首先应在基地进行示范和检验。为增加国家雷达网的密度,需要开展外场试验,以建立使用不同类型雷达和全国雷达网进行补充和融合的探测技术。

5 几点体会

综合上述,我们体会到天气雷达发展的总趋势是由单站应用向网络集成综合应用转变、由经验定性型应用向数值模式定量应用转变,由短时天气监测向精细化预警预报转变、由雷达探测向综合探测融合转变。新时期我国多普勒天气雷达任务,正在由雷达布网建设向运行保障、资料应用开发和新技术

研究试验转变,以下就这三个方面谈几点设想:

(1) 雷达技术支持和业务保障更新

NEXRAD实行“两级维护、一级管理”,具有6个国家级技术支持和业务保障单位,涵盖了算法研发,运行保障、设备维修、新技术研究等各个方面。NEXRAD的产品升级计划和业务技术更新项目的成功实施,源于管理和技术体制的灵活多样性,得益于众多大学和科研业务机构强有力的科研和技术开发合力。

目前CINRAD的技术支持和业务保障力量相当薄弱,通过体制创新,突破技术人才瓶颈,整合和挖掘社会智力资源,是实施CINRAD技术保障和未来技术更新改造的需要。

(2) 算法研发和产品应用

为较好地适应雷达资料的应用需求变化和 International 发展趋势,CINRAD同样需要建立开放的产品系统和新型的业务模式。CINRAD的特殊性(多雷达型号、多应用层面、多开发群体)更需要建立CINRAD公共业务开发集成和测试环境。

我国具有分属于多个部门的不同类型的天气雷达,把这些雷达数据(如数字化雷达)融合到CINRAD中,也是提高我国天气雷达资料密度的需要。重视和做好CINRAD数据质量控制,研究和开发不同资料融合技术,改进和协调探测模式和方法,改造和提高数据采集时空分辨率,是资料综合应用和数值模式同化的前提。

(3) 新技术研究和试验

在CINRAD的新技术研发和系统改造中,引入“协调性原则”是重要的。雷达系统的发展和更新需要考虑与CINRAD硬件体制、软件算法的兼容性和资料应用的延续性。如考虑双偏振系统升级与雷达数据采集系统兼容、偏振产品算法与多普勒产品算法

的连续、仅采用相控阵天线代替现有雷达系统的机械扫描天线而保留原有系统机构等等。

加强业务系统开发的同时, 需要提高对系统维护和支持力度, 如 MICAPS 和 CINRAD 拼图等业务系统均需要相应的业务部门不断地对系统进行改进和升级, 保证系统的源代码共用和开发、升级的延续性。利用国外的技术和智力资源, 开展更加广泛的协作研究和开发。

参考文献

- 1 NOAA, Tri-Agency Requirements for Operational use of Weather Radar Data Draft Document, WNW Office of System Development, Silver Spring, MD. May 31, 1996.
- 2 Saffle, R. E., and L. D. Johnson, 1997; NEXRAD product improvement overview. Preprints, 13th Int. Conf. on Interactive Information and Processing Systems for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, Long Beach, CA, Amer. Meteor. Soc., 223—227, 1997.
- 3 Zahrai A, Z. Jing, and N. Peery. A Distributed Architecture for the WSR-88D (NEXRAD) Radar Product Generator (RPG), Preprints, 13th Int. Conf. on Interactive Information and Processing Systems for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, Long Beach, CA, Amer. Meteor. Soc., 228—232, 1997.
- 4 Jain M., Jing Z., Zahrai A. et. al. Software Architecture of the NEXRAD Open systems Radar Product Generator (RPG), Preprints, 13th Int. Conf. on Interactive Information and Processing Systems for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, Long Beach, CA, Amer. Meteor. Soc., 238—241, 1997.
- 5 Reed R. J., D. Evancho, R. Fehlen, Planned WSR-88D improvements, 31th Conference on Radar Meteorology. Boston; American Meteorological Society, Paper12B. 2, 2003.
- 6 National Weather Service, NWS Science and Technology Infusion Plan—A Roadmap to 2025, Preprints, 19th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Long Beach, P12. 7, 2003.
- 7 Snow J. T. and R. b., Scott. Strategic direction for WSR-88D Doppler weather surveillance radar in the period 2007—2025, 31th Conference on Radar Meteorology. Boston; American Meteorological Society, Paper12B. 4, 2003.
- 8 Saffle R. E., M. J. Istok., NEXRAD open system progress and plans, Preprints, 18th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Orlando, FL, Paper5. 1, 2002.
- 9 John G. Simensky, Robert Elvander, Robert Saffle, Near Term planned mission enhancement of the WSR-88D open radar product generator, Preprints, 18th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Orlando, FL, Paper5. 4, 2002.
- 10 NCAR, NEXRAD Data Quality Optimization Annual Report for Fiscal Year 2003. Research Applications Program, Atmospheric Technology Division, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 2003.
- 11 NCAR, A Review of Research Activity Related to WSR-88D Algorithm, WSR-88D Operational Support Facility, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 2003.
- 12 Brown R. A., A New WSR-88D Scanning Strategy: Results of Field Tests. 31th Conference on Radar Meteorology. Boston; American Meteorological Society, Paper12B. 7, 2003.
- 13 Crum T., An Update on NEXRAD Program Plans for Collecting and Distributing WSR-88D Base Data in Near Real Time, Preprints, 19th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Long Beach, Paper14. 2, 2003.
- 14 Ganger, T., M. Istok, S. Shema, The WSR-88D Common Operations and Development Environment—Status and Future Plans, Preprints, 18th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society,

- Orlando, FL, Paper1. 24, 2002.
- 15 Stern, A. , M. Istok, T. Ganger, Developmental Utilities for the WSR-88D Common Operations and Development Environment, Preprints, 18th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Orlando, FL, Paper5. 8, 2002.
- 16 Istok, M. , A. Stern, T. Ganger, Experiences using WSR-88D CODE as a Developmental Tool for Radar Algorithm Development, Preprints, 18th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Orlando, FL, Paper5. 9, 2002.
- 17 Zahrai, A. , S. Torres, I. Ivic, The Open Radar Data Acquisition (ORDA) Design for the WSR-88D, Preprints, 18th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Orlando, FL, Paper5. 10, 2002.
- 18 Gregory S. C and R. W. Hall, NEXRAD Product Improvement-Status of WSR-88D Open Radar Data Acquisition (ORDA) Program. Preprints, 19th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Long Beach, Paper5. 2, 2003.
- 19 Ice, R. L. , R. D. Rhoton, D. S. Saxion, Radar Operations Center (ROC) evaluation of the WSR-88D Open Radar Data Acquisition (ORDA) System Signal Processing. Preprints, 20th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Seattle, Paper1. 4, 2004.
- 20 Zrnice D S. Weather radar polarimetry-trends toward operational applications. Bulletin of American Meteorological Society, 1996, 7; 1929—1534.
- 21 Matrosov S Y, Reinking R F. Estimation of ice hydrometeor types and shapes from radar polarization measurements. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1996; 13, 85—96.
- 22 Ryzhkov A V, Zrnice D S, Assessment of Rainfall Measurement that Uses Specific Differential Phase. Journal of Applied Meteorology, 1996, 35; 2080—2090.
- 23 Ryzhkov A V, Zrnice D S, Polarimetric Radar Discrimination between Snow and Rain. Journal of Applied Meteorology, 1998, 37; 1228—1240.
- 24 Liu H, Chandrasekar V. Classification of hydrometeors based on polarimetric radar of measurements; Developments of fuzzy logic and neuro-fuzzy systems, and in situ variation. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2000, 17; 140—164.
- 25 Edward A B, Zhang G, Vivekanandan J. Drop-Size Distribution Retrieval from Polarimetric Radar Measurements Using the Constrained-Gamma Model; Verification and Application. 31th Conference on Radar Meteorology. Boston: American Meteorological Society, Paper1A. 1, 2003.
- 26 Doviak R J, Bringi V, Ryzhkov A, et al. Consideration for Polarimetric Upgrades to WSR-88D Radar. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2000, 17; 257—278.
- 27 Stern, A. , P. Pickard, W. Blanchard, Analysis and Plans for Using FAA Radar Weather Data in the WSR-88D ORPG, Preprints, 18th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Orlando, FL, Paper5. 2, 2002.
- 28 Istok M. J. , P. R. Okulski, NWS Use of FAA Radar Data-Progress and Plans. Preprints, 21th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, San Diego, CA, Paper5. 3, 2005.
- 29 Saffle R. E. , M. Istok, NEXRAD Product Improvement-Expanding Science Horizons. Preprints, 21th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, San Diego, CA, Paper5. 1, 2005.
- 30 Gregory S. C. , R. W. Hall. , NEXRAD Product Improvement-Current Status of WSR-88D Open Radar Data Acquisition Program and Plans for the Future. Preprints, 21th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for

- Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, San Diego, CA, Paper5. 1, 2005.
- 31 Schuur T J, Elvander R C, Simensky J G, et al. Joint Polarization Experiment (JPOLE) for the WSR-88D Radar; Plans and Progress. Preprints, 18th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Orlando, FL, Paper5. 15, 2002.
- 32 Scharfenberg K. A., V. Lakshmanan, S. E. Giangrande. Development and Testing of Polarimetric Radar Applications in WDSS—II. Preprints, 21th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, San Diego, CA, Paper5. 10, 2005.
- 33 Zrnich D., A. Zahrai, S. Torres. Development of Advanced Techniques Using the NOAA'S WSR-88D Research Radar. Preprints, 21th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, San Diego, CA, Paper5. 9, 2005.
- 34 Crum T. An Update on the NWS Implementation of WSR-88D Level II Data Collecting and Distributing Network, Preprints, 20th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society Long Beach, Ca, Paper1. 4, 2004.
- 35 Drogemeier, K. K. Kelleher, T. Crum, Project CRAFT; A Testbed for Demonstrating Real Time Acquisition and Archival of WSR-88D Level II Data, 18th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society, Orlando, FL, Paper5. 11, 2002.