

基于下一代互联网的中国陆地生态系统通量观测研究网络

刘笑寒¹, 吴超^{1,3}, 罗泽¹, 阎保平¹, 李文卿², 苏文², 何洪林²

(1. 中国科学院 计算机网络信息中心, 北京 100190; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3. 中国科学院大学 计算机与控制学院, 北京 100049)

摘要: 面向我国碳循环研究的实际需求, 于2012-2013年开展了基于下一代互联网的中国陆地生态系统通量观测研究网络信息基础设施应用研究。面向ChinaFLUX 10个野外台站, 通过部署全面支持IPv4/IPv6无线网络和无线传感网络, 在已构建信息化环境基础上, 实现基于下一代互联网的ChinaFLUX碳水通量观测数据从通量塔、野外台站到综合中心的自动采集、高速传输、存储与共享。并开展了一系列陆地生态系统碳收支科学研究。

关键词: 下一代互联网; IPv6; ChinaFLUX; 野外台站; 野外科学观测研究

中图分类号: TP393.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)Z2-0172-07

Research on the next generation internet based Chinese terrestrial ecosystem flux research network

LIU Xiao-han¹, WU Chao^{1,3}, LUO Ze¹, YAN Bao-ping¹, LI Wen-qing², SU Wen², HE Hong-lin²

(1. Computer Network Information Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3. School of Computer and Control Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: For the actual demand for carbon cycle research in China, from 2012 to 2013, we start the research and development on IPv6-based Chinese terrestrial ecosystem flux research network (CNGI/ChinaFLUX). IPv4/IPv6-based real-time carbon flux observation system in ten field stations was set up. Data acquisition, data transmission was set up, data storage and sharing from flux observation tower to field station were completed, then to data center. Researchers develop a series of applications in CNGI/China FLUX network.

Key words: next generation internet; IPv6; Chinese terrestrial ecosystem flux research network (ChinaFLUX); field station; field science observation research

1 引言

野外科学观测是指在野外条件下通过对科研所需要的指标要素进行监视和测定, 确定其变化趋势, 来帮助科学家进行科学研究, 是生态学等领域的基本研究手段。通过长期的野外科学观测, 能够积累珍贵的原始数据和资料。在科学数据积累、原始性科学发现、科学规律认知、新技术研发、科技实验示范等方面有着不可替代的作用。

野外科学观测项目需要对特定地区的生态环境以及特有的动植物进行观测, 项目地点普遍远离城

市, 使数据采集和信息获取困难, 构建野外科学观测网络是最佳的解决方案。

通过构建野外信息化基础设施, 来进行科研数据的获取、存储、传输, 将数据通过网络实时提供给科研人员, 最终形成信息化的研究环境, 促进跨机构、跨领域、跨地区的科学研究。

1.1 国内外研究现状

目前有国际长期生态学研究网络(ILTER, international long term ecological research)^[1-3]、美国国家生态观测网络(NEON, national ecological observatory network)^[4,5]、中国生态系统研究网络(CERN, chinese

收稿日期: 2014-10-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61361126011)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (61361126011)

ecosystem research network)^[6,7]等多个生态学研究网络。

1) 美国长期生态学研究网络^[1-3]

目前最庞大的区域研究网络是国际长期生态学研究网络 ILTER，有 40 多个成员国，广泛分布在全球各个大洲。作为一个全球性组织，目的是建立全球长期生态研究网络，通过科学的手段帮助研究环境和生态学问题，探索全球发展趋势。大部分 ILTER 成员有能力获取、管理和分析监测数据，建立和维护长期的数据集。其中美国长期生态学研究网络 (US-LTER) 影响力较大。

US-LTER 是建立最早、代表生态系统类型最多、设备最完善的国家尺度长期生态研究网络。US-LTER 建立信息化计算机基础设施作为新的技术平台，要求将分布于不同站点的各类资源、数据和信息进行共享。US-LTER 的信息化基础设施支撑野外台站的运转，自动化获取数据，利用网络支持所有站点的研究和实验。研究人员可以使用 US-LTER 提供的软件工具以及数据存储服务，并且可以提供符合标准的数据。US-LTER 各野外台站已全部联网。由于没有明确的统一标准，各台站的带宽及服务水平存在差异，需要进一步建设。

2) 美国国家生态观测网络^[4,5]

美国国家生态观测网络 NEON 于 2013 年正式实施，它由美国国家科学基金会出资建设，共 106 个台站，其中陆地生态系统站 60 个，水生生态系统站 46 个。NEON 包括分布于全美的实验室基础设施及科研互联网，形成一个集成化“研究平台”，促进生态学的发展。

NEON 的信息化基础设施建设方案目前处于实施阶段，网络技术支撑数据采集、信息处理、数据管理、数据服务、人员认证等各个模块。在数据采集方面，NEON 将建设集成野外台站、机载平台、卫星平台的下一代环境监测体系。大气监测、土壤监测、水文监测等方面的数据借助网络技术进行获取、传输。科研人员通过一系列的数据应用，可以在疾病、能源、气候、水资源、生态循环、农业、生物多样性等领域进行预测和决策。NEON 整体的运作规划时间是在 2017 年，运行效果还有待检验。

3) 中国生态系统研究网络^[6,7]

中国生态系统研究网络 CERN 是为了综合研究中国资源和生态环境方面的重大问题，发展资源科学、环境科学和生态学，于 1988 年建立。现有 1

个综合中心、5 个学科分中心（水分、土壤、大气、生物、水体）和 42 个野外台站。是 ILTER 重要成员之一。CERN 综合中心负责数据管理和共享服务，组织生态系统联网与综合研究。CERN 为开展跨区域跨学科的联网观测和实验提供了必要的监测网络环境，形成了科学数据共享体系。

野外科学观测研究网络的架构如图 1 所示，包括数据采集、网络传输、数据管理和科学应用等三部分。

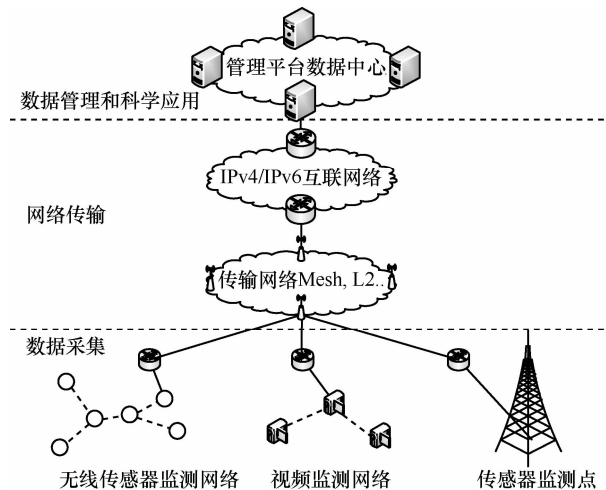


图 1 野外科学观测研究网络架构

1.2 基于下一代互联网的中国陆地生态系统通量观测研究网络

于 2012 年起开展基于下一代互联网的中国陆地生态系统通量观测研究网络信息基础设施应用研究。目标是面向我国碳循环研究的实际需求，基于高速先进科研数据网络环境、高性能计算环境和数据应用环境等信息化基础设施，面向 ChinaFLUX^[8,9]10 个野外台站，通过部署全面支持 IPv4/IPv6 无线通信网络和无线传感网络，在已构建 ChinaFLUX 信息化环境基础上，改造现有的网络环境，从 IPv4 升级到 IPv6^[10,11]，实现基于下一代互联网的 ChinaFLUX 碳水通量观测数据从通量塔、野外台站到综合中心的自动采集、高速传输、存储与共享，为碳循环数据分析、模型模拟、可视化等提供高效的信息化支撑环境，实现资源的整合集成与共享，支持科研人员及时地开展我国不同尺度生态系统碳收支状况的综合分析，服务于中国陆地生态系统碳收支领域科学研究的需求，从而有效提高科研成果产出的效率，提高对陆地生态系统碳收支的快速评估能力，为国家在碳收支、全球气候变化等方面提供准确、及时的数据支持

和决策咨询。

ChinaFLUX 野外台站各台站生态系统类型如表 1 所示。各研究所由中国科技网支持，连接到位于北京的中科院网络中心，并能通过 IPv4/IPv6 双栈协议接入互联网。

表 1 ChinaFLUX 野外台站生态系统类型

野外台站	隶属研究所	生态系统类型
长白山站	沈阳生态研究所	温带混交林
锡林郭勒站	植物研究所	温带草原
海北站	西北高原生物研究所	高寒草甸
禹城站	地理科学与资源研究所	暖温带冬小麦玉米农田
那曲站	地理科学与资源研究所	高寒草甸
当雄站	地理科学与资源研究所	高寒草原化草甸
千烟洲站	地理科学与资源研究所	亚热带人工针叶林
哀牢山站	西双版纳热带植物园	亚热带山地常绿阔叶林
西双版纳站	西双版纳热带植物园	热带季节雨林
鼎湖山站	华南植物园	南亚热带常绿阔叶林

2 数据采集

随着传感器技术、高清视频技术的快速发展，科研观测数据极速增长，海量的科研数据为科学研究提供了基础性资源，具有重要意义。自动获取的科研数据具有以下特征：数据量庞大，尤其是高清视频数据；数据多样性，根据实际需求测定气象、土壤、水文、动物、植物相关的数据；数据持续性，传感器以及探头可以不间断工作，实时返回数据；数据价值大，为科学研究提供了珍贵的原始资料。

传统数据采集具有数据采集成本过高、数据采集精度较低、数据采集时效性较差、数据不便于共享等弊端。借助信息化的手段，能够及时进行多学科的协同工作，产生新的科学发现。

CNGI/ChinaFLUX 项目在数据采集方面，升级改造现有的 10 个野外台站的数据观测设备，支持 IPv6；在相关站点增加支持 IPv6 的传感器和视频监控设备，支持科研应用。

2.1 碳通量观测

ChinaFLUX 野外台站的碳通量观测系统包括常规气象观测系统、开放式涡度相关观测系统、闭路式涡度相关观测系统、7 层 CO₂ 廓线观测系统、6 层 CO₂/H₂O 廓线观测系统、土壤温室气体排放的箱式法观测系统、近地表闪烁仪等。

在 8 个野外台站更新了数据采集设备，禹城站、当雄站、锡林郭勒站、海北站的通量观测设备设置在平地上，西双版纳站、长白山站、千烟洲站、鼎

湖山站的通量观测设备设置在高塔上。如图 2 所示。

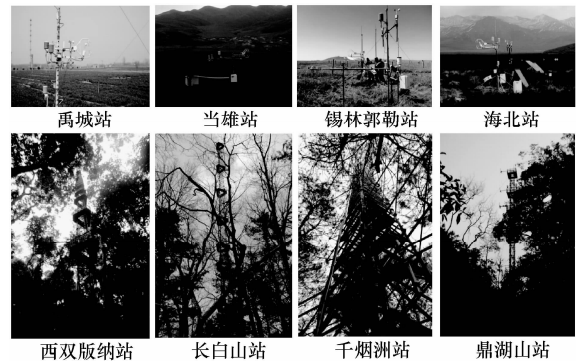


图 2 更新数据采集设备的野外台站

以禹城站为例，观测系统分为通量观测系统和常规气象系统。通量观测系统获取 X 轴、Y 轴、垂直方向的三维风速，二氧化碳密度和水汽密度；常规气象系统获取温度、湿度、水气压、风速、大气压、天空短波辐射、净辐射、光合有效辐射、土壤温度、土壤热通量、土壤含水量、降水量等气象信息。通过串口连接到数据采集器（Campbell CR3000）。数据采集器通过 IPv6 串口服务器连接到野外台站网络，接入中国科技网。

2.2 采用传感器网络的土壤水分观测系统

传感器网络的发展为生态观测带来了新的方法。传感器节点部署在观测区域，数据集中到汇聚节点，并接入互联网。

禹城站安装了宇宙射线土壤水分观测系统（Hydroinnova CRS1000/B），用于测量 0~50 cm 深度的平均土壤含水量。测量半径为 350 m。

同时，构建了土壤水分传感器网络，获取土壤绝对含水量，并对宇宙射线系统的数据准确性进行标定。如图 3 所示。共 13 个节点，其中 2 个汇聚点，每个节点配置 4 个传感器，分别放置在 2 cm、5 cm、10 cm、20 cm 深处。节点间通信采用 Zigbee 协议。

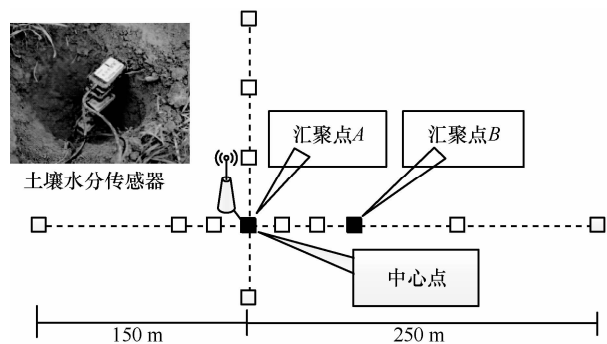


图 3 禹城站土壤水分传感器网络位置

传感器网络汇聚点和宇宙射线系统的数据采集器通过 IPv6 串口服务器连接到禹城站网络,接入中国科技网。禹城站设备安装整体图如图 4 所示。

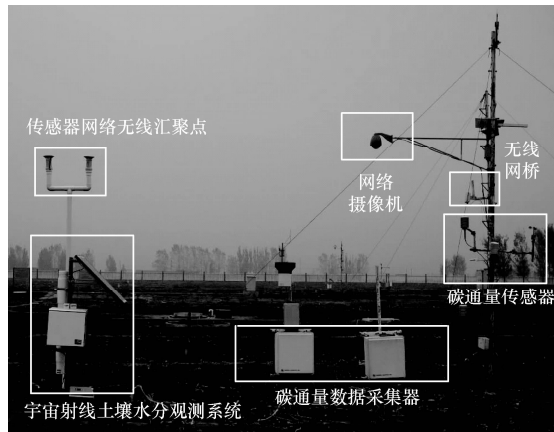


图 4 禹城站设备

2.3 视频观测

在禹城站、千烟洲站、哀牢山站各安装一台支持 IPv6 的网络视频监控设备。在哀牢山站安装一台支持 IPv6 的低照度网络摄像机用于拍摄森林和夜晚的视频图像。如图 5 所示。



图 5 视频观测

在鼎湖山站、长白山站、海北站、禹城站各安装一台多光谱数字相机,拍摄可见光波段 520 nm 到近红外波段 950 nm 图像,通过软件获得归一化植被指数等数据。这些数字图像中的红、绿、蓝波段的光谱信息可以用于提取植被冠层的物候状况。

3 数据传输

在数据传输部分,根据野外科学观测的特点,

以 CNGI/ChinaFLUX 项目为基础,从互联网、野外台站网络、数据传输方法等三方面展开。

3.1 互联网

互联网经过几十年的发展,已经成为现代社会最重要的信息基础设施之一。互联网规模不断扩大,技术不断改进,应用不断创新,但也面临越来越严峻的技术挑战。建立基于下一代互联网的科学研究观测研究网络是必然的发展趋势^[12-14]。

CNGI/ChinaFLUX 项目旨在建立基于 IPv6 的 ChinaFLUX 信息传输网络平台,提供数据传输基础网络设施,基于 IPv6 接入 CNGI 网络。

在 2012 年对 IPv6 过渡技术进行测试,并对本项目进行了预研。

从过渡形态来看,资源访问应包括本地 IPv6 访问、一次翻译、双重翻译、隧道封装等 4 个类型。

从网络互通的访问场景,可分为使用 IPv6 访问 IPv6、使用 IPv6 访问 IPv4、使用 IPv4 访问 IPv4。

从网络环境的应用需求,可分为 IPv4 环境下流行的应用、IPv4/IPv6 可互通解决的应用、IPv6 环境下的杀手级应用。

在采用一次翻译技术 NAT64,双重翻译技术 MAP-T,隧道技术 Public 4 over 6 的网络环境中对网络应用进行了一系列的测试工作^[15-22]。一次翻译不能解决应用程序如 FTP 的互通问题,需要配置应用层网关。为保证 ChinaFLUX 野外台站网络应用的稳定性,只采用双栈和隧道技术。

在各野外台站和隶属研究所的配合下,将 8 个野外台站的网络进行升级,长白山站、锡林郭勒站、海北站、哀牢山站、西双版纳站通过网络专线连接到隶属研究所,双栈接入中国科技网;禹城站、千烟洲站、鼎湖山站通过配置 IPv6 隧道(6 to 4)接入中国科技网。当雄站、那曲站由于所属地区网络环境有限,升级较困难。

3.2 野外台站传输网络

野外台站传输网络是野外科学观测的基本条件。无线网状网是野外网络覆盖的热点,在野外长距离传输网络部署中,无线网状网多跳信号衰减问题严重,光纤和无线网络仍是主要选择方式。

对于无线网络,需要考虑信号覆盖范围、稳定性、供电等问题。CNGI/ChinaFLUX 项目在各台站部署光纤和支持 802.11a/b/g/n 的无线网桥实现网络传输。在禹城站、千烟洲站、哀牢山站、

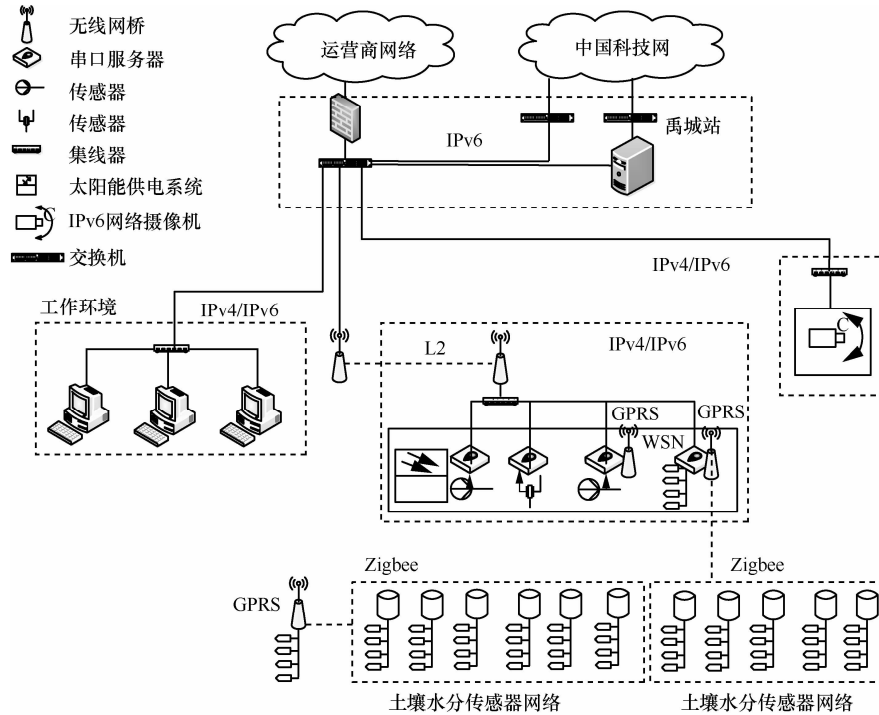


图 6 禹城站网络部署

长白山站、海北站实现了末端观测设备接入 IPv6 网络。禹城站整体网络配置如图 6 所示。网络摄像机、碳通量传感器、宇宙射线土壤水分传感器、传感器网络汇聚节点均通过禹城站传输网络接入中国科技网。

3.3 数据传输

野外科学观测需要考虑 IPv4/IPv6 异构网络环境下的海量数据传输问题。

传统的数据传输方式是采用 FTP 实现远程备份，对于只有部分改动的数据而言，可采用 Rsync 进行差异化数据传输。相对于 FTP，Rsync 可以断点续传，增量备份，避免重传已经存在的数据，节约带宽等成本，保证数据的一致性。

项目组采用 Public 4 over 6 隧道技术，使用 Rsync 进行了科研视频观测数据的传输实验，验证了在 4 over 6 环境下海量数据传输的可行性和有效性。

CNGI/ChinaFLUX 项目中，也需要将观测系统的各个数据采集点采集到的流数据实时传送到综合中心服务器上。

为满足多用户和实时性的需求，采用数据管理中间件 RBNB (ring buffered network bus)，为动态数据和流数据提供统一的存取方式。系统构建基于 RBNB 和 Web Server。数据流如图 7 所示。

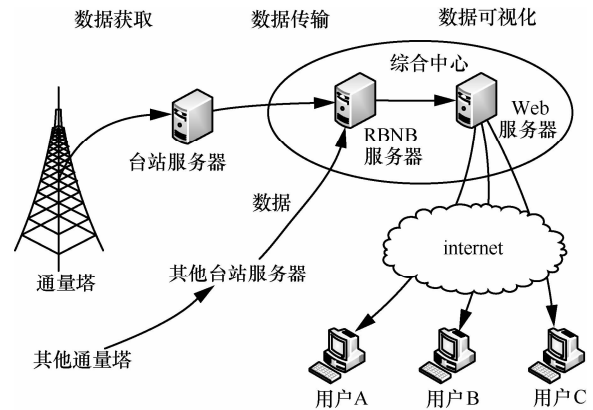


图 7 流数据传输

通过基于 IPv6 的野外观测数据的实时采集和传输，缩短了数据获取周期，尤其克服了高寒地区非生长季期间碳通量观测数据获取的难题，为取得完整时间序列数据提供了有效途径。

4 数据管理和科学应用

CNGI/ChinaFLUX 项目在中科院地理所 CERN 综合中心建立了数据存储系统，支持海量数据存储、处理和备份。

在软件环境建设方面，改造现有的 ChinaFLUX 仪器设备监控系统，数据存储和管理系统，支持下一代互联网展示平台的集成。数据来源不仅包括涡

度相关通量观测数据和视频数据，还汇集了植被、土壤、大气、定位等相关数据。提供了全面的碳循环科学研究数据平台。

在此基础上完成了中国陆地生态系统通量观测研究应用系统建设，采用数据可视化技术，实现了典型生态系统碳源/汇季节变化及其机制研究、中国典型区域（样带）生态系统碳收支时空分布格局研究、中国陆地生态系统碳收支时空分布格局研究等 3 个科研应用示范。支持 IPv6 的综合展示平台如图 8 所示。

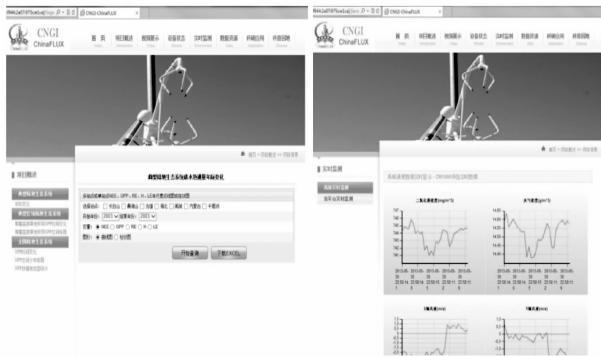


图 8 支持 IPv6 的综合展示平台（数据查询与实时展示）

5 目前面临的问题

CNGI/ChinaFLUX 项目的通量、土壤水分、视频等观测系统及网络通信设备均设置于野外环境中，受到周边环境、电力等条件影响，观测数据可能出现传输延迟或中断问题，不能实时传输至野外台站和综合中心。对野外科学观测，多种通信方式混合的热备方案是在今后研究的重要问题。

本项目涉及的大部分传感器系统节点都采用了 IPv4/IPv6 双栈。绝大多数科研人员并不关心底层网络是采用 IPv4 或 IPv6，需要的是应用服务的体验不受影响；IPv6 解决了科学研究中网络地址缺少和 NAT 带来的问题；采用一种 IP 协议栈能够节约运维成本；在一些需要高度控制的应用中，科研人员希望采用 IPv6-only 网络。目前，很多 IPv6 过渡技术被提出和讨论，但如何实现异构网络环境下的应用互通仍是一个很复杂的问题，需要网络运营商、网络设备提供商、网络内容提供商、终端设备、应用程序的协同配合。

云计算和虚拟化的发展带来了新的 IT 技术变革，越来越多的科研数据平台将采用云提供基础设施服务。随着 IPv6 的演进，IaaS 系统也必

将从 IPv4 升级到 IPv6。

6 结束语

结合 CNGI/ChinaFLUX 项目，对野外科学观测系统的网络架构，从数据采集、数据传输、数据管理和科学应用等三方面进行了分析、研究与系统实现。

通过建立基于 IPv6 的中国陆地生态系统碳循环观测网络信息化基础设施，实现野外台站通量观测设备的网络互联，实现野外观测数据的实时传输、存储、处理与共享服务，将带动我国生态系统研究网络（CERN）的信息化建设，为野外台站的下一代互联网接入、仪器设备的监控、数据实时采集、传输、处理等信息化建设提供良好的解决方案和经验，大力提升了 ChinaFLUX 信息化基础设施能力，为我国野外台站信息化建设提供了示范，逐渐改变了野外台站科研活动模式。

参考文献：

- [1] ARONOVA E, BAKER K S, ORESKES N. Big science and big data in biology: from the international geophysical year through the international biological program to the long term ecological research (LTER) network[J]. *Historical Studies in the Natural Sciences*, 2010: 183-224.
- [2] 牛栋, 杨萍, 何洪林. 美国长期生态学研究网络 (LTER) 计算机基础设施现状、挑战与未来发展趋势[J]. *地球科学进展*, 2008: 201-205.
NIU D, YANG P, HE H. An introduction to LTER network cyber infrastructure strategic plan, advances in earth science[J]. *Advances in Earth Science*, 2008: 201-205.
- [3] HOBBIE J E, CARPENTER S R, GRIMM N B, *et al.* The US long term ecological research program[J]. *BioScience*, 2003. 21-32.
- [4] 赵士洞. 美国国家生态观测站网络 (NEON) ——概念、设计和进展[J]. *地球科学进展*, 2005.578-583.
ZHAO S. United States national ecological observatory network – with special references to its concepts, design and progress[J]. *Advances in Earth Science*, 2005.578-583.
- [5] JOHNSON B R, KUESTER M A, KAMPE M A, *et al.* National ecological observatory network (NEON) airborne remote measurements of vegetation canopy biochemistry and structure[A]. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*[C]. Honolulu, US, 2010.2079-2082.
- [6] FU B, LI S, YU X, *et al.* Chinese ecosystem research network: progress and perspectives[J]. *Ecological Complexity*, 2010: 225-233
- [7] YANG P, YU X, ZHUANG X, *et al.* Present status and train of thought of future development of chinese ecosystem research network (CERN)

- of CAS[J]. Bulletin of The Chinese Academy of Sciences, 2008. 555-561.
- [8] LIU X, YANG Z, WU C, *et al.* CNGI/China FLUX: an IPv6-based terrestrial ecosystem flux research network in China[A]. Asia-Pacific Advanced Network-Research Workshop (APAN-NRW)[C]. Daejeon, Korea, 2013.121-124.
- [9] YU G, WEN X, SUN X, *et al.* Overview of China FLUX and evaluation of its eddy covariance measurement, agricultural and forest meteorology[J]. 2006.125-137.
- [10] LI Q, JINMEI T, SHIMA K. IPv6 Core Protocols Implementation[M]. Morgan Kaufmann, 2006.
- [11] LI Q, JINMEI T, SHIMA K. IPv6 Advanced Protocols Implementation[M]. Morgan Kaufmann, 2007.
- [12] AMOSS J J, MINOLI D. Handbook of IPv4 to IPv6 Transition: Methodologies for Institutional and Corporate Networks[M]. Auerbach Publications, 2007.
- [13] 吴建平, 李星. 下一代互联网[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012. WU J, LI X. Next Generation Internet[M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2012.
- [14] PAUL S, PAN J, JAIN R. Architectures for the future networks and the next generation internet: a survey[J]. Computer Communications, 2011:2-42.
- [15] BAGNULO M, MATTHEWS P, VAN BEIJNUM I. Stateful NAT64: Network Address and Protocol Translation from IPv6 Clients to IPv4 Servers[S]. 2011.
- [16] BAGNULO M, SULLIVAN A, MATTHEWS P, *et al.* DNS64: DNS Extensions for Network Address Translation[S]. 2011.
- [17] LI X, BAO C, DEC W, *et al.* Mapping of Address and Port Using Translation (MAP-T)[S]. 2014.
- [18] CUI Y, WU J, WU P, *et al.* Public IPv4 over IPv6 Access Network[S]. 2013.
- [19] LIU X, YAN B, BAO C, *et al.* Experience from Double Translation and Encapsulation (MAP) Testing[S]. 2014.
- [20] 刘笑寒, 顾杜娟, 闫双舰等. 纯 IPv6 网络环境下的应用互通技术研究[J]. 科研信息化技术与应用, 2008.201-205. LIU X H, GU D J, YAN S J, *et al.* A study of application interoperability on IPv6-only networks[J]. E-Science Technology & Application, 2008.201-205.
- [21] GU D, LIU X, WU C, *et al.* A transparent solution for legacy applications between heterogeneous networks[A]. IEEE Global Communications Conference (Globecom)[C]. Atlanta, USA, 2013.
- [22] GU D, LIU X, QIN G, *et al.* VNET6: IPv6 virtual network for the collaboration between applications and networks[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2013.1579-1588.

作者简介:



刘笑寒 (1981-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 中国科学院副研究员, 主要研究方向为下一代互联网、传感器网络。

吴超 (1989-), 男, 黑龙江牡丹江人, 中国科学院硕士生, 主要研究方向为下一代互联网、科研信息化。

罗泽 (1976-), 男, 云南昆明人, 博士, 中国科学院研究员, 主要研究方向为数据挖掘、数据密集型计算、e-science 应用。

阎保平 (1950-), 女, 山东烟台人, 博士, 中国科学院研究员、总工程师、博士生导师, 主要研究方向为下一代互联网、大规模数据库及其应用、分布式计算。

李文卿 (1963-), 男, 河南巩义人, 中国科学院高级工程师, 主要研究方向为地理信息系统。

苏文 (1968-), 女, 广东大埔人, 中国科学院高级工程师, 主要研究方向为生态信息学。

何洪林 (1971-), 男, 湖南冷水江人, 博士, 中国科学院研究员、博士生导师, 主要研究方向为生态信息学、遥感与地理信息系统应用、生态系统碳循环。