附件2

干细胞及转化研究重点专项项目建议书

（格式）

**一、基本情况**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | | 深度多级网络拓扑测量与分析技术 | | | | | | | |
| 所属专项 | | 网络空间安全 | | | | | | | |
| 指南方向 | | 网络空间资源测绘技术 | | | | | | | |
| 项目类型 | | □项目 □青年科学家项目 | | | | 执行周期 | | 年 | |
| 经费概算 | | 总概算　　万元，其中申请国家专项经费 万元 | | | | | | | |
| 项目首席科学家 | 姓 名 | | 张宇 | 性别 | √男□女 | | 出生日期 | | 1979年12 月16 日 |
| 证件号码 | | 230108197912160033 | | 所在单位 | | 哈尔滨工业大学 | | |
| 职 称 | | 副教授 | | 职务 | | 无 | | |
| 主要学术骨干 | 姓名 | | 单位 | | 职称 | | 证件号码 | | |
| 张玥 | | 哈尔滨工业大学 | | 讲师 | |  | | |
| 王彦 | | 哈尔滨工业大学 | | 讲师 | |  | | |
| 刘亚维 | | 哈尔滨工业大学 | | 讲师 | |  | | |
| 夏重达 | | 哈尔滨工业大学 | | 博士生 | | 230103199009304210 | | |
| 刘文峰 | | 哈尔滨工业大学 | | 博士生 | | 370782199203250219 | | |
| 康宁 | | 哈尔滨工业大学 | | 博士生 | | 232101199206050618 | | |
| 余卓勋 | | 哈尔滨工业大学 | | 博士生 | | 130206199402240314 | | |
| 联系人 | 姓 名 | | 张宇 | | 电子邮箱 | | yuzhang@hit.edu.cn | | |
| 固定电话 | | 045186413331 | | 移动电话 | | 15124583327 | | |
| 申报单位 | | 哈尔滨工业大学 | | | 推荐单位 | |  | | |
| 申报单位意见 | | 以上信息已核实无误。  （单位签章）  年 月 日 | | | | | | | |

**一、研究背景/现状**

互联网作为人类信息化的标志，其规模正以指数速度高速增长。如今，互联网的面貌已与其原型ARPANET大相径庭。虽然互联网是人类亲手建造的，但却难以描述这个庞然大物看上去到底是什么样子。大规模网络拓扑测量研究旨在描绘互联网的宏观和微观结构图景，并探求在这个看似混乱的网络之中蕴含着哪些还不为我们所知的规律。发现拓扑是认识互联网的必然过程，是在更高层次上开发利用互联网的基础。然而，互联网与生俱来的异构性、动态性、复杂性、发展的非集中性、自组织涌现特征、以及如今庞大的规模都给相关研究带来了巨大挑战。

网络拓扑中“拓扑”二字源自几何学，是指从严格定量测量中抽象出来的各种对象之间的空间关系，被用来将定性几何学从传统的定量几何学中区分出来。网络拓扑是指网络中各种物理或逻辑元素的配置方式、形式或结构，一般表示为图，其中，元素为点，元素间互连关系为边。网络体系结构的层次化设计使得不同层次协议之间的拓扑也是不同的。在接口级拓扑中，路由器等报文交换设备上接口的IP地址为点，相邻接口间的跳（hop）为边；在路由器级拓扑中，路由器为点，相邻路由器之间为边；在PoP级拓扑中，一个运营商在同一城市或建筑物中的一组路由器集合为一个PoP点，直接相连PoP级拓扑为边；在AS（ Autonomous System，自治域）级中，AS为点，AS间通过BGP协议的互连关系为边。 IP级和路由器拓扑是对数据包实际经过的前向路径所构成结构的一种表达，反映了电信运营商对通信基础设施的设计规划，以及在多目标优化下的技术与工程的交互。PoP级拓扑是互联网基础设施在地理空间中的结构，是虚拟网路空间到现实世界空间的映射。AS级拓扑作为互联网宏观结构的抽象，是由多个独立运营商根据其政治、经济利益而自组织形成的。

网络拓扑数据通常是难以直接得到的，各电信运营商为保护各自商业隐私和网络安全，严格限制有关数据的获取。不过，为了满足最基本的网络可达性与连通性需求，网络维护者不得不向与路由相关应用提供一部分拓扑相关信息，这就成为一个“突破口”，由此能够以公开的、温和的、非攻击性的方式来实施网络拓扑测量。大规模网络的拓扑测量通过收集来自于被测网络的蕴含拓扑信息的路由行为数据来推断拓扑本身，因而本质上是依赖路由协议行为的一种间接测量。

下面分别从四个层次的拓扑测量介绍相关研究进展和存在问题。

1）IP级拓扑测量

1995年，法国路易斯·巴特斯大学的Pansiot和Grad[1]为研究网络路由和多播树，首次采用traceroute对世界范围内的5000个主机进行了路由器级拓扑测量，提出了多项测量技术：（1）通过LSRR（Loose Source Routing and Recording）来发现路由以及利用额外的“监测点”；（2）将传统traceroute中每跳始终发送3个探测包改造为收到应答就进入下一跳；（3）添加起始TTL值的选项来减少探测负载；（4）开发了基于UDP端口不可达的接口合并技术。1998年，贝尔实验室的Burch和Cheswick[2]实施了Internet Mapping计划，对整个互联网进行单点测量，发现了一幅约8万个节点的拓扑图，并首次对互联网拓扑进行了可视化工作。此外，他们还对前南斯拉夫受北约轰炸时期的网络受损情况进行了持续监测。1998年，CAIDA（Cooperative Association for Internet Data Analysis）开发了测量工具skitter[3]，通过18个分布在世界各地的监测点，测量全球150万个目标。2008年，Archipelago（ark）项目作为skitter的延续开始启动。1999年，南加州大学的Govindan和Tangmunarunkit启动SCAN（Self-Configuring Active Network Monitoring）计划，开发了测量工具Mercator[4]，采用基于已有信息的随机地址探测技术来选择目标，还采用源路由（source--routing）技术来增加“监测点”，发现了约15万个节点的拓扑。2002年，华盛顿大学的Spring等开发了测量工具Rocketfuel[5]，利用750多个开放的traceroute服务器针对顶级ISP骨干进行测量。他们开发了基于BGP路由信息的定向探测（directed probing）技术来选择监测点和目标，以及路径缩减（path reductions）技术来减少重复探测。同时，采用空扫描和基于DNS信息的别名解析技术。其发现链接数是skitter的7倍，在测量准确性和完整性上都取得了进展。2006年，iPlane项目[9]在Rocketfuel的基础上在PlanetLab平台上实施测量。在2005年左右，以色列特拉维夫大学的DIMES（Distributed Internet MEasurements & Simulations）[6]和法国巴黎居里大学的traceroute@home[7]。这两者利用在线的个人计算机来实现上千监测点的测量网格，以此期望获得更好的测量完整性。traceroute@home中采用了doubletree测量算法来缩减传统测量中的冗余探测，包括多监测点到单目标的前向树冗余和单监测点到多目标的倒退树冗余[8]。 [15],[16]。2016年，仍在进行的IP级拓扑测量项目包括CAIDA的Ark和华盛顿大学的iPlane。

此外，针对基于UDP或ICMP的测量可能受防火墙等影响问题，相关研究提出采用基于TCP的技术来提高测量完整性[10],[11]。针对负载均衡引起的测量过程中路径变化，Paris Traceroute[12]通过操纵ICMP头部来保证在按流负载均衡情况下，一次测量经过同一路径。

上述基于traceroute的测量局限性主要有以下几点：首先，路由器可能不对测量做出应答，或过滤探测包，或应答包源地址无效，都对测量完整性与准确性造成影响。其次，测量无法发现链路层结构或非IP隧道，例如MPLS隧道。[13],[14]。

2）路由器级拓扑测量

3）PoP级拓扑测量

4）AS级拓扑测量

表2 拓扑测量项目及数据源

1. J.-J. Pansiot, D. Grad. On Routes and Multicast Trees in the Internet. SIGCOMM Computer Communication Review. 1998, 28(1):41–50
2. H. Burch, B. Cheswick. Mapping the Internet. Computer. 1999, 32(4):97– 98,102
3. A. Broido, K. Claffy. Internet Topology: Connectivity of Ip Graphs. Proceed- ings of SPIE International symposium on Convergence of IT and Communica- tion 2001. Denver, CO, 2001, 4526:172–187
4. B. Huffaker, D. Plummer, D. Moore, et al. Topology Discovery by Active Probing. Proceedings of the 2002 Symposium on Applications and the Internet (SAINT) Workshops. Nara City, Nara, Japan, 2002:90–96
5. R. Govindan, H. Tangmunarunkit. Heuristics for Internet Map Discovery. Pro- ceedings of IEEE INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Tel Aviv, Israel, 2000, 3:1371– 1380
6. N. Spring, R. Mahajan, D. Wetherall, et al. Measuring Isp Topologies with Rocketfuel. IEEE/ACM Transactions on Networking. 2004, 12(1):2–16
7. C. Shannon, D. Moore, K. Keys, et al. The Internet Measurement Data Catalog. SIGCOMM Computer Communication Review. 2005, 35(5):97–100
8. B. Donnet, P. Raoult, T. Friedman, et al. Efficient Algorithms for Large-scale Topology Discovery. Proceedings of the 2005 ACM SIGMETRICS interna- tional conference on Measurement and modeling of computer systems. Banff, Alberta, Canada, 2005:327–338
9. H. V. Madhyastha, T. Isdal, M. Piatek, C. Dixon, T. Anderson, A. Krishnamurthy, and A. Venkataramani, “iPlane: An information plane for distributed services,” in Proceedings of the 7th symposium on Operating systems design and implementation. USENIX Association, 2006, pp. 367–380.
10. S. Savage, “Sting: A TCP-based Network Measurement Tool,” in USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems, vol. 2, 1999, pp. 7–7.
11. M. Luckie, Y. Hyun, and B. Huffaker, “Traceroute Probe Method and Forward IP Path Inference,” in Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement. ACM, 2008, pp. 311–324.
12. B. Augustin, X. Cuvellier, B. Orgogozo, F. Viger, T. Friedman, M. Latapy, C. Magnien, and R. Teixeira, “Avoiding Traceroute Anomalies with Paris Traceroute,” in Proceedings of the 6th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement. ACM, 2006, pp. 153–158.
13. J. Sommers, P. Barford, and B. Eriksson, “On the prevalence and characteristics of MPLS deployments in the open Internet,” in Proceedings of the 2011 ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference. ACM, 2011, pp. 445–462.
14. B. Donnet, M. Luckie, P. M ́erindol, and J.-J. Pansiot, “Revealing MPLS tunnels obscured from traceroute,” ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 42, no. 2, pp. 87–93, 2012.
15. K. Chen, D. R. Choffnes, R. Potharaju, Y. Chen, F. E. Bustamante, D. Pei, and Y. Zhao, “Where the sidewalk ends: Extending the Internet AS graph using traceroutes from P2P users,” in Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies. ACM, 2009, pp. 217–228.
16. M. A. Sanchez, J. S. Otto, Z. S. Bischof, D. R. Choffnes, F. E. Bustamante, B. Krishnamurthy, and W. Willinger, “Dasu: Pushing experiments to the Internet’s edge,” in Proc. of USENIX NSDI, 2013.

**二、 拟解决的关键科学问题和研究目标（500字）**

围绕指南方向提出的研究内容和考核指标，凝练拟解决的重大科学问题或关键技术，提出预期目标，科学目标及技术指标应明确、可考核。

针对特定区域网络目标的网络基础设施资源测绘依赖于完整、准确、及时的网络拓扑数据支撑，但传统拓扑测量技术在两方面存在局限性：(1)拓扑测量独立于路由测量，导致测量得到缺乏路由语义的“黑白视图”；(2)不同来源与不同层级的拓扑测量相互孤立，导致测量得到缺乏层级结构的“扁平视图”。

本项目以绘制目标地区的一幅“彩色立体”的网络拓扑视图为目标，拟开展深度多级网络拓扑测量研究，解决以下三项关键技术：

1) 基于路由行为的深度AS级拓扑测量技术；

2) 基于路径重构的深度IP级拓扑测量技术；

3) 基于关联映射的多级拓扑融合技术。

本项目预期开发一个深度多级拓扑测量系统，实现以下具体指标：

1) 实现对目标地区AS级网络拓扑的可达性、连通性在内的网络态势监测，持续监测周期为5小时；

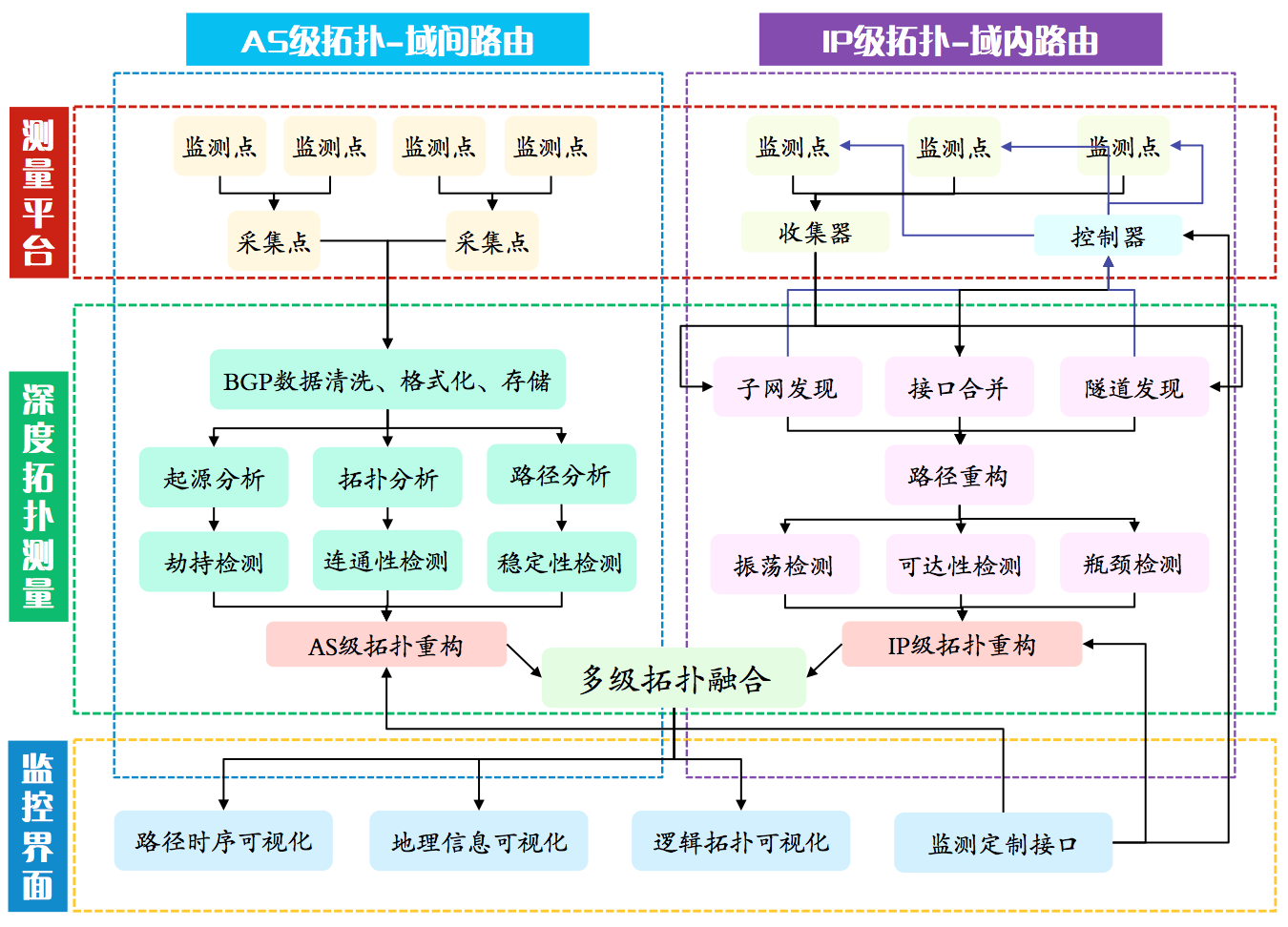
2) 实现对目标地区IP级网络拓扑中路径的监测，持续监测周期为10小时；

3) 在12小时内获取目标地区的融合了IP级、路由器级、PoP级、AS级多级拓扑快照。

**三、主要研究内容（1000字）**

围绕科学问题的内涵和关键技术的难点，阐述项目研究重点、研究思路和研究方案。

本项目拟开展的深度多级网络拓扑测量技术的研发， 基于我们对网络拓扑测量的两点认识：“测量网络拓扑本质上是测量路由行为”，以及“从控制面观察拓扑规划，从数据面观察拓扑现状”，本项目研究思路是从路由控制面与数据面两个层面分别测量AS级和IP级拓扑，并通过拓扑融合技术实现对网络拓扑的多级测量。研究方案包括三个部分基于路由行为的深度AS拓扑测量技术、基于路径重构深度IP拓扑测量、 基于关联映射的多级拓扑融合技术，如下图所示。



基于路由行为的深度AS拓扑测量技术：通过采集来自全球600多个BGP监测点的海量原始路由数据，运用高效的路由深度分析技术对目标IP前缀的可达性、路由多样性、路由稳定性、起源变化进行监测，以发现路由异常、网络瘫痪、路由波动、前缀劫持等事件，绘制拓扑动态变化，结合前缀地理定位和网络资源标注提供含语义的拓扑信息。具体方案如下：

首先，数据采集器上软件路由器，通过与监测点上路由器建立会话来收集路由更新消息，但从不声明任何路由更新消息。实际运行的BGP路由器通过与采集器建立BGP会话向采集器发送路由更新消息。接着，对来自采集点的原始BGP数据进行处理，清除损坏信息、私有地址信息、过度聚合前缀等，将不同来源的不同格式数据进行统一格式化与标记后，提取所需信息并存入数据库。然后，对IP地址前缀起源分析，对MOAS前缀、IXP前缀、前缀变化进行识别，综合历史数据对拓扑事件进行检测。分析AS间连接商业关系，对目标AS的连通性变化进行跟踪检测。分析从多点到特定目标前缀或AS的路径树，通过路由变化频率来评价路由稳定性。最后，基于以上数据对AS拓扑进行重构。

基于路径重构深度IP拓扑测量：通过分布于全国的多个主动监测点采用类traceroute技术对目标IP路径进行测量。运用一系列探测技术，包括并发探测、分组火车、反向追踪、子网发现、多协议穿透、负载均衡发现、多端口合并、MPLS隧道发现等，实现对IP路径的重构，并识别路由震荡、路由黑洞、瓶颈节点等问题。具体方案如下：

首先，通过测量控制器对监测点实施控制，包括测量任务下达、状态监测等。部署了主动IP路径探测程序的监测点对目标网络进行主动测量，将测量结果提交到收集器。收集器收集多监测点测量结果并进行初步过滤与汇总。然后，根据测量数据进行子网发现、接口合并与隧道发现等测量分析工作，必要时按需通过控制器执行新测量任务。接着，基于上述测量数据，对通往目标的路径进行重构，力图推测IP网络实际拓扑与路径结构。基于重构后路径数据，对路径频繁振荡、不可达黑洞以及瓶颈链路进行检测。最后，基于以上数据对AS拓扑进行重构。

基于关联映射的多级拓扑融合技术：以IP地址这一网络基本标识作为关联映射主键，实现多级拓扑融合。通过多接口合并与子网发现实现IP级拓扑与路由器级拓扑的融合；通过IP地址地理定位数据、基于拓扑的聚类技术实现IP地址到PoP级拓扑的融合；通过IP前缀起源数据实现IP级拓扑与AS级拓扑的融合。最终融合多级拓扑构建立体的网络拓扑视图。

为展示上述技术所采集到的数据以及监控整个测量系统，拟开发监控界面：1.路径时序可视化：按时序显示关键路由指标变化，例如前缀数量，更新频率。2.地理信息可视化：在地图中显示关键网络资源位置及该资源相关数据，例如前缀位置，路由器节点位置，路径地理轨迹。3.逻辑拓扑可视化：在二维平面显示关键网络资源位置及该资源相关数据，例如多源到单目标的树形结构，多起源前缀的覆盖范围，瓶颈节点相对位置。4.监测定制接口：为用户提供定制所关心目标IP地址，配置测量任务与参数等功能，或按需进行实时的IP路径探测任务。

**四、创新点（500字）**

与传统网络拓扑测量技术所绘制的“黑白平面图”相比，本项目创新点在于从路由控制面与数据面两个层面分别测量AS级和IP级拓扑，通过基于路由行为、路径重构、多级融合的深度拓扑测量技术绘制一幅“彩色立体”网络拓扑视图， 具体创新点如下：

1）提出了深度AS拓扑测量技术，­在传统AS级拓扑测量基础上加入路由分析技术来捕捉拓扑动态变化，获得目标网络包括可达性、连通性在内的拓扑动态信息。

2）提出了深度IP拓扑测量技术，在传统IP级拓扑测量基础上通过接口合并、子网发现等测量技术实现路径重构，获得目标网络中更细粒度、更完整准确的拓扑结构信息。

3）提出了多级拓扑融合技术，通过以IP地址为主键将不同级别拓扑测量数据进行关联分析，获得比传统单一级别拓扑测量更为丰富、全面、立体的拓扑结构视图。

**五、研究工作基础（300字）**

本团队自2000年起开展互联网拓扑测量工作，是全国最早研究团队之一。2004年公开了对中国互联网IP级拓扑首次全面测量的结果，采用自主开发的引擎式拓扑测量工具fastrace,发现81万节点，137万链接，规模是同期国际上测量项目skitter的5倍。2007年对中国互联网AS级拓扑进行了全面测量，融合多种测量工具和数据源，提出了一种AS级拓扑推断方案，发现134个节点，305条链接。2011年与UCLA，清华大学合作在网络类顶级国际期刊IEEE JSAC（SCI影响因子4.2）上发表研究成果，《AS级拓扑测量中traceroute缺陷量化框架》。2014年与UCLA合作建立了互联网AS级拓扑档案馆，公开提供了自1999年至今全球互联网AS级拓扑数据。

**六、项目首席科学家研究背景（500字）**

包括工作简历、主要学术业绩，近五年主要研究成果。

张宇，博士，副教授，哈尔滨工业大学网络与信息安全实验室科研骨干，美国加州大学洛杉矶分校访问学者，曾担任中国计算机学会YOCSEF哈尔滨论坛副主席。主要研究方向：互联网拓扑测量，未来网体系结构，关键互联网基础设安全。曾参与最早的中国互联网拓扑测量工作。主持或参与国家自然科学基金、973项目、部委项目10余项，以第一作者在IEEE JSAC 等高水平期刊和会议上发表论文10余篇。

工作简历：

2010.3~2013.12 哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院 讲师

2013.4~2014.4 美国加州大学洛杉矶分校 访问学者

2013.12~至今 哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院 副教授

近5年主要研究成果：

1. Yu Zhang, etc. A Framework to Quantify the Pitfalls of Using Traceroute in AS-level Topology Measurement. IEEE Journal on Selected Area on Communications. 2011.
2. Yu Zhang, Hongli Zhang, Lixia Zhang. Kite: A Mobility Support Scheme for NDN. ACM ICN 2014.
3. Yu Zhang, Alexander Afanasyev, Jeff Burke, Lixia Zhang. Supporting Mobility for Named Data Networking. IEEE NOM 2016.
4. Yanbin Sun, Yu Zhang, Shen Su, Hongli Zhang, Binxing Fang. Geometric Name Routing for ICN in Dynamic Worlds. China Communications. 2015.
5. Yanbin Sun, Yu Zhang, Hongli Zhang, Binxing Fang, Xiaojiang Du. Geometric Routing on Flat Names for ICN. IEEE GLOBECOM 2015.
6. 苏申, 张宇, 张宏莉, 方滨兴. AS级拓扑被动测量点的测量完整性评价. 电子学报. 2014
7. 孙彦斌, 张宇, 张宏莉. 信息中心网络体系结构研究综述. 电子学报. 2015.
8. 张宇，孙彦斌，张宏莉. MCKite:一种面向命名数据网络的多生产者组播机制.电信科学.2015
9. 孙彦斌, 张宇, 张宏莉, 方滨兴. 基于位置无关名字的可扩展几何路由方案.电信科学.2015