

# 文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2018R\_2018041216145320180420160308702960329175

检测时间:2018-04-20 16:03:08

检测文献: 基于高精度时空信息的网络坐标系统构建与性能优化方法研究

作者: 赵玉琦

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

图书资源

优先出版文献库

学术论文联合比对库

互联网资源(包含贴吧等论坛资源)

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

互联网文档资源

CNKI大成编客-原创作品库

个人比对库

时间范围: 1900-01-01至2018-04-20

## 检测结果

总文字复制比: **4.8%**

跨语言检测结果: **0%**

去除引用文献复制比: **2.1%**

去除本人已发表文献复制比: **4.8%**

单篇最大文字复制比: **1.2%**

重复字数: [1759]

总段落数: [7]

总字数: [36729]

疑似段落数: [4]

单篇最大重复字数: [439]

前部重合字数: [103]

疑似段落最大重合字数: [777]

后部重合字数: [1656]

疑似段落最小重合字数: [103]



指标: ☐ 疑似剽窃观点 ☒ 疑似剽窃文字表述 ☐ 疑似自我剽窃 ☐ 疑似整体剽窃 ☐ 过度引用

表格: 0

公式: 6

疑似文字的图片: 0

脚注与尾注: 0

0% (0) 中英文摘要等 (总3573字)

2.6% (103) 第一章绪论 (总3998字)

3.1% (329) 第二章项目关键技术分析 (总10607字)

23.9% (777) 第三章时间同步的原理和相关协议 (总3255字)

0% (0) 第四章系统原型设计与实现 (总3475字)

5.7% (550) 第五章时空网络坐标系性能分析与优化 (总9716字)

0% (0) 第六章文章总结 (总2105字)

(注释: 无问题部分 文字复制比部分 引用部分)

## 1. 中英文摘要等

总字数: 3573

相似文献列表 文字复制比: 0%(0) 疑似剽窃观点: (0)

原文内容 红色文字表示存在文字复制现象的内容; 绿色文字表示其中标明了引用的内容

### 摘要

大数据正深刻影响着人们的生产方式、生活习惯、思维模式和研究方法。大数据不仅是学界和业界的前沿课题,而且已上升为国家基础性战略资源。大数据所带来的隐私泄露给用户带来了严重损失和潜在风险,极大破坏了社会经济秩序,影响了政

务大数据、商务大数据、健康大数据等更多大数据的产业化应用。目前，大数据已上升为国家战略性资源，大数据安全与隐私保护不仅是国际学术前沿，也是国家重大战略需求。本项目致力于网络大数据环境中数据保护、隐私保护以及数字水印隐藏等方面的基础研究，具有重要理论意义和应用价值。

在大数据环境中，由于数据存在更广泛的关联性，使得原本孤立的信息成为隐私；同时，对经过传统匿名等技术处理后的数据，通过大数据关联挖掘和深度分析后，依然可能分析出用户的隐私，这些给大数据环境中的隐私甄别和隐私保护技术提出了新的挑战。

高精度时空信息的网络大数据环境构建：以本项目提出的数据与隐私保护理论和方法为基础，针对位置大数据，通过北斗高精度定位时间同步技术，构建大数据环境中融合时空信息的数据与隐私保护理论验证环境。

数据分析说明了随机延迟污染现象的普遍存在，介绍了一种现有的随机延迟污染抑制方法MP-Filter[6]，并提出TO—Filter的随机延迟污染抑制方法。并分析了恶化网络性能的其中两个因素：随机延迟污染现象以及TIV现象，同时介绍了对非中心式网络坐标系统安全性产生影响的几种攻击。三种现有的用于抑制TIV现象的网络坐标距离预测算法，并对其优缺点进行了分析。同时简单介绍了稳定抑制Vivaldi算法。提出了用于抑制随机延迟污染现象以及TIV现象的稳定抑制Vivaldi算法，并通过仿真实验分析其准确性和抑制抖动能力。

关键词：大数据，时空戳，北斗导航系统，软件定义网络（SDN）

#### Abstract

Big data is profoundly affecting people's production methods, living habits, thinking patterns, and research methods. Big data is not only a front-of-the-range subject in the academia and industry, but has also become a national basic strategic resource. The leakage of privacy brought by big data brings serious losses and potential risks to users, which greatly undermines the social economic order and affects the industrialization and application of big data such as big government data, business big data, and healthy big data. At present, big data has risen as a national strategic resource, and protection of big data security and privacy is not only an international academic frontier, but also a major national strategic need. This project is devoted to the basic research of data protection, privacy protection, and digital watermark hiding in the network big data environment. It has important theoretical significance and application value.

In the big data environment, due to the more extensive correlation of data, the original isolated information becomes private. At the same time, the data processed by traditional anonymous technologies, etc., may still be analyzed after data mining and deep analysis through big data association. The privacy of users poses new challenges for privacy screening and privacy protection technologies in big data environments.

Construction of network big data environment with high-precision spatio-temporal information: Based on the data and privacy protection theories and methods proposed in this project, and for location big data, the data of the spatiotemporal information in the big data environment is constructed through Beidou's high precision positioning time synchronization technology. Verification environment with privacy protection theory.

Data analysis illustrates the prevalence of random delay pollution, introduces an existing random delay pollution suppression method MP-Filter [6], and proposes a TO-Filter random delay pollution suppression method. Two factors that degrade network performance are analyzed: random delay pollution phenomenon and TIV phenomenon. At the same time, several attacks that affect the security of off-center network coordinate system are introduced. Three existing network coordinate distance prediction algorithms for suppressing TIV phenomenon are analyzed, and their advantages and disadvantages are analyzed. At the same time, a stable suppression Vivaldi algorithm is briefly introduced. A stable suppression Vivaldi algorithm for suppressing random delay pollution and TIV phenomena was proposed. The accuracy of simulation and jitter suppression capability were analyzed through simulation experiments.

Keywords: big data, spatiotemporal stamp, Beidou navigation system, software-defined network (SDN)

#### 目录

摘要.....	4
Abstract .....	5
目录.....	7
第一章绪论.....	10
1.1背景介绍.....	10
1.2 国内外研究现状和发展趋势.....	11
1.2.1 网络空间中的时间基准.....	11
1.2.2 网络空间中的空间基准.....	12
1.2.3 网络信息时空戳.....	12
1.2.4 北斗精准时空体系的建立.....	13
1.3 文章的创新点.....	14
1.4文章结构.....	14

第二章项目关键技术分析.....	16
2.1 网络坐标.....	16
2.1.1 概述.....	16
2.1.2 GNP简介.....	16
2.1.3 PIC简介.....	17
2.1.4 NPS简介.....	19
2.1.5 Vivaldi简介.....	20
2.2 北斗导航系统授时.....	21
2.2.1 授时.....	21
2.2.2 时间同步.....	21
2.3 GNSS卫星精密授时.....	22
2.3.1北斗RDSS单向授时.....	22
2.3.2北斗RDSS双向授时.....	24
2.3.3北斗RNSS单向授时.....	24
2.3.4北斗/GNSS共视法授时.....	25
2.4 软件定义网络 ( SDN ) .....	28
2.4.1 SDN起源与发展历史.....	28
2.4.2 SDN架构.....	30
2.4.3 OpenFlow .....	31
2.4 本章小结.....	32
第三章时间同步的原理和相关协议.....	33
3.1 时间同步的必要性.....	33
3.1.1网络优化方面.....	33
3.1.2提高服务质量方面.....	34
3.1.3网络及新业务方面.....	34
3.1.4时间同步需求.....	35
3.2 互联网时间同步.....	35
3.2.1 NTP协议.....	35
3.2.3网络时间同步协议比较.....	39
第四章系统原型设计与实现.....	40
4.1 功能需求与模型构建.....	40
4.1.1 功能需求.....	41
4.1.2 原型环境要求.....	41
4.2 系统平台总体设计.....	42
4.3 应用框架的设计.....	43
4.4 导航院接收机架站操作步骤 : .....	44
4.4.1 硬件设备假设.....	44
4.4.2网页连接 : .....	44
4.4.3串口连接 : .....	45
4.4.4访问数据方法设置 ( 网页和串口 ) .....	45
4.5 本章小结.....	47
第五章时空网络坐标系性能分析与优化.....	48
5.1 网络坐标系.....	48
5.1.1 随机延迟现象.....	48
5.1.2 三角不等式违例现象.....	49
5.2 随机延迟污染现象及抑制方法.....	49
5.2.1 随机延迟污染现象数据分析.....	50
5.3 抑制随机延迟污染的方法.....	50
5.3.1 MP-Filter抑制方法.....	50
5.3.2 TO-Filter抑制方法.....	51
5.4 网络坐标中三角不等式现象级抑制方法.....	52
5.4.1 T-Vivaldi TIV感知的坐标系统.....	52
5.4.2 抖动感知的慢启动抑制算法.....	52

5.4.3 能量更新抑制方法.....	54
5.4.4 稳定抑制Vivaldi算法.....	55
5.5 基于Vivaldi算法的抑制方法.....	55
5.5.1检测随机延迟污染.....	55
5.5.2坐标抖动感知方法.....	56
5.5.3抑制算法.....	56
5.5.4稳定抑制Vivaldi算法的执行步骤.....	57
5.5.5稳定抑制Vivaldi算法的性能分析.....	58
5.5.5.1准确性分析.....	58
5.5.5.2抑制抖动能力分析.....	60
5.6 本章小结.....	61
第六章文章总结.....	63
参考文献.....	65
攻读学位期间发表的学术论文和主要工作.....	69
致谢.....	70

2. 第一章绪论		总字数：3998
相似文献列表 文字复制比：2.6%(103) 疑似剽窃观点：(0)		
1	国家卫星导航产业中长期发展规划 - 《卫星应用》- 2013-12-15	1.8% ( 70 ) 是否引证：否
2	国务院办公厅关于印发国家卫星导航产业中长期发展规划的通知 - 《宁夏回族自治区人民政府公报》- 2013-11-15	1.8% ( 70 ) 是否引证：否
3	国务院办公厅关于印发国家卫星导航产业中长期发展规划的通知 - 《辽宁省人民政府公报》- 2014-02-08	1.8% ( 70 ) 是否引证：否
4	国务院办公厅关于印发国家卫星导航产业中长期发展规划的通知 - 《国家国防科技工业局文告》- 2014-01-08	1.8% ( 70 ) 是否引证：否
5	国务院办公厅关于印发国家卫星导航产业中长期发展规划的通知 - 《网络 ( <a href="http://gfkgeb.ah.gov">http://gfkgeb.ah.gov</a> ) 》- 2013-10-09	1.8% ( 70 ) 是否引证：否
6	国家卫星导航产业中长期发展规划 - 《网络 ( <a href="http://www.sastind.g">http://www.sastind.g</a> ) 》- 2014-11-27	1.8% ( 70 ) 是否引证：否
7	国家卫星导航产业中长期发展规划_图文 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》- 2016	1.8% ( 70 ) 是否引证：否
8	国家卫星导航产业中长期发展规划 - 《网络 ( <a href="http://www.jxgfgb.go">http://www.jxgfgb.go</a> ) 》- 2014-05-15	1.7% ( 69 ) 是否引证：否
9	国家卫星导航产业中长期发展规划 - 《网络 ( <a href="http://www.jxgfgb.go">http://www.jxgfgb.go</a> ) 》- 2014-09-26	1.7% ( 69 ) 是否引证：否
10	国办关于印发国家卫星导航产业中长期发展规划的通知 - 《网络 ( <a href="http://www.jxgfgb.go">http://www.jxgfgb.go</a> ) 》- 2013-10-10	1.7% ( 69 ) 是否引证：否
11	国办关于印发国家卫星导航产业中长期发展规划通知 理财_我爱放牛 - 《网络 ( <a href="http://www.jfdaily.c">http://www.jfdaily.c</a> ) 》- 2013	1.7% ( 69 ) 是否引证：否
12	国办关于印发国家卫星导航产业中长期发展规划的通知_一生不变 - 《网络 ( <a href="http://blog.sina.com">http://blog.sina.com</a> ) 》- 2013	1.7% ( 69 ) 是否引证：否
13	[转载]国家卫星导航产业中长期发展规划_八月咱 - 《网络 ( <a href="http://blog.sina.com">http://blog.sina.com</a> ) 》- 2017	1.7% ( 69 ) 是否引证：否
14	阿里具体合作对象或是北方信息 本报记者 王荣 - 《中国证券报》- 2014-07-09	0.9% ( 34 ) 是否引证：否
15	北斗“七星”开启航天应用产业新篇章 - 《军民两用技术与产品》- 2011-01-21	0.8% ( 31 ) 是否引证：否
原文内容 红色文字表示存在文字复制现象的内容; 绿色文字表示其中标明了引用的内容		
第一章绪论		
1.1背景介绍		

大数据正深刻影响着人们的生产方式、生活习惯、思维模式和研究方法。大数据不仅是学界和业界的前沿课题，而且已上升为国家基础性战略资源。大数据所带来的隐私泄露给用户带来了严重损失和潜在风险，极大破坏了社会经济秩序，影响了政务大数据、商务大数据、健康大数据等更多大数据的产业化应用。目前，大数据已上升为国家战略性资源，大数据安全与隐私保护不仅是国际学术前沿，也是国家重大战略需求。本项目致力于网络大数据环境中数据保护、隐私保护以及数字水印隐藏等方面的基础研究，具有重要理论意义和应用价值。

在大数据环境中，由于数据存在更广泛的关联性，使得原本孤立的信息成为隐私；同时，对经过传统匿名等技术处理后的数据，通过大数据关联挖掘和深度分析后，依然可能分析出用户的隐私，这些给大数据环境中的隐私甄别和隐私保护技术提出了新的挑战。

基于大数据环境下的数据安全和隐私保护理论，面向时空大数据进行数据与隐私保护示范应用，并对大数据环境下的数据与隐私保护性能与效率进行评价。针对位置大数据，突破北斗高精度定位时间同步技术，构建具有高精度时空信息的网络大数据环境，对大数据环境下融合时空信息的数据与隐私保护理论进行实验分析。课题的研究内容将本项目提出的数据与隐私保护理论机制落实到具体应用中，根据应用反馈修正数据与隐私保护理论，响应了指南的要求。

大数据的独特之处，除了规模巨大、类型多样、增长迅速等特性，最重要的是这些特性所导致的“全息”意义上的数据关联性，这种关联性将是实现未来商业模式、生产生活方式、管理流程等颠覆性变化的驱动力。数据关联性也是导致常规的数据保护与隐私保护方式失效的根本原因之一。例如，关联性挖掘分析使得仅通过匿名技术不能很好地保护用户隐私。但是，如果施加过强的数据保护策略，必将割裂这些数据的关联性，从而形成一个个数据孤岛并导致大数据服务的不可用。

## 1.2 国内外研究现状和发展趋势

### 1.2.1 网络空间中的时间基准

移动互联网、信息-物理融合系统依靠时间同步技术建立并维持整网的统一时间基准，时间同步包含了时钟同步和频率同步两层含义。大规模网络高精度时间同步技术一直是网络通信等领域的研究热点和难点。通信传输速率和移动性的快速增长，都对时间基准提出了更高的要求[1-3]。通信技术从固定到移动、从低传输率到高传输率、从点对点到多点对多点、从单一网络到异构多网络等发展过程中（图2-1），时间同步一直起着非常重要的作用：移动互联网中FDD无线系统（如WCDMA）仅需节点间的频率同步即可，而TDD无线系统（如LTE等）则需要精确的时钟同步实现漫游和切换；在信息-物理融合系统中，由于物理世界的连续时间与信息世界的离散时间具有明确的鸿沟，因此通信需要更为精确的时间基准（如卫星导航系统中卫星之间的时钟同步要达到十纳秒级），且时间同步渗透到系统计算、网络和控制各个层面[4,5]。

图 101 移动时代的通信系统速率发展

### 1.2.2 网络空间中的空间基准

在网络空间中建立空间基准，就是借助地理空间位置信息建立网络坐标系统。网络坐标系统研究是互联网领域中与地理位置有关的热点问题，但在移动互联网领域则刚刚开始。Michael 和Karthik 研究发现互联网主机网络距离和主机地理距离基本成正比关系[6]，通过建立网络距离空间与欧式空间的映射关系建立了网络坐标系统。网络坐标系统可用于刻画网络属性的时变分布规律与性质、性能状况、以及节点间相互关系等，在最优传输路径选择，增加传输速率，增强网络稳定性等方面具有重要作用。在Google CDN 中采用了基于欧氏距离的中心式网络坐标系统GNP [7]，而分布式网络坐标计算在P2P 文件共享、分布式哈希和应用层路由中也有着广泛应用。项目成员李星等曾提出了几类网络坐标计算模型，具有较高的准确性以及对节点抖动的鲁棒性，在互联网广播系统中获得较好的应用效果[8]。

目前移动环境下的网络坐标系统的研究刚刚开始，尚未取得突破。与互联网的桌面环境不同，几乎所有移动终端和基站都具备实时定位能力，可获得不同精度的空间位置信息，可以借助这些信息构建移动环境中网络坐标系，研究网络拓扑、资源与业务分布等，关键是如何在大量广义精度谱的位置信息中提取移动终端的精确位置，本项目拟在此领域进行深入研究。

### 1.2.3 网络信息时空戳

网络空间中构建时空基准后，网络信息即可用对应的时空信息所标识，即加上时空戳，此概念类似于分布式系统中的时间戳。时间戳是计算机系统记录事件发生的时间信息，通常用来判定计算机系统的事件发生顺序，在分布式系统、数据库事务处理、信息安全中具有极其重要的地位。

基于地理位置的路由是空间戳的研究热点。针对地理位置路由的研究大多集中于无线传感器网络，用于无线传感网与互联网的异构组网。其核心思路是：数据传输机制和路由由地理位置决定，网络节点不用时刻交换链接信息来维持网络。在大数据应用的背景下，数据和地理位置往往紧密关联，在对网络中的通信和计算资源进行统一调配和协同过程中，必须考虑地理位置信息。现有理论和技术不能很好地满足实际需求，如何利用更加丰富的时空信息来优化网络路由效率成为一个重要研究方向。

### 1.2.4 北斗精准时空体系的建立

**北斗卫星导航系统（BDS）是我国自主建设的全球卫星定位导航系统**，我们国家拥有完全控制能力，与GPS、GLONASS、GALILEO并称世界卫星导航四大服务提供商。BDS的坐标框架采用中国2000大地坐标系统（CGCS2000）的时间基准为北斗时（BDT），坐标系统和时间基准的定义与维持均采用国内自主研发的核心技术。截至到2013年12月31日，北斗卫星导航系统已成功发射16颗卫星，分析及大量实测数据表明：BDS在中国及周边地区可提供平面10m，高程10m，单机授时50ns标准定位和授时，以及120个汉字/次的短报文通信服务[9,10]。北斗地基增强系统又称为北斗连续运行参考站网络，是建筑于地表的，由感知时空信息的基准站、通信网络、多级数据中心、移动互联网和带有北斗接收处理功能的用户终端构成的，提供定位定时服务的系统，也是北斗卫星导航系统重要的地面基础设施[11]，本质上属于信息-物理融合系统。



通过采用实时载波相位差分、广域精密定位等技术，北斗地基增强系统可以向覆盖范围内的用户提供平面优于10cm，时间同步精度优于1ns的时空信息[12,13]。

2000年至今我国已经建设接近3500个GNSS基准站，分属100个独立运行的系统，由于年代久远绝大部分不能接收并处理北斗信号。在《国家卫星导航中长期发展规划》提出：统筹建设国家统一的多模连续运行参考站网，为各类用户导航增强服务提供支撑；基于该系统建设基于位置服务的互联互通、门类齐全的基础平台，为国家、社会和行业共享应用提供支撑服务。因此改造升级现有资源组建“全国一张网”不仅是用户的实际需求，更是国家的重大工程与战略需求，最终是要实现向全国用户提供从毫米级到米级的广义精度谱的可靠安全泛在位置服务。2013年3月，由国务院中国卫星导航管理办公室批准的全国首个北斗地基增强系统示范项目—湖北省北斗精密定位服务系统在武汉通过验收，本项目的示范验证将基于该系统构建而成，为本项目研究提供精准的时空信息，同时又对研究成果进行实验验证。

1.3 文章的创新点

高精度时空信息的网络大数据环境构建：以本项目提出的数据与隐私保护理论和方法为基础，针对位置大数据，通过北斗高精度定位时间同步技术，构建大数据环境中融合时空信息的数据与隐私保护理论验证环境。

- (1) 基于北斗卫星导航以及北斗地基增强系统(GNSS),完成授时
- (2) 构建高精度时空信息网络大数据环境
- (3) 对融合时空信息的数据与隐私保护理论进行分析验证

1.4文章结构

本论文以时空大数据为背景，结合北斗导航系统和网络协议构建时空坐标系，为提供基于高精准时分信息的时空大数据研究提供研究基础，改进了Vivaldi算法并提出了稳定抑制Vivaldi算法，其目的是为了增加网络坐标系统的准确性。

本文分为6章，主要内容如下：

第1章引言阐述了时空大数据和网络坐标系统的重要性，以及网络坐标系统的课题背景和意义，介绍了国内外时空大数据研究的进展和对网络坐标系统的部分研究成果和几种构建算法。

第2章介绍了什么是时空大数据，时空大数据的相关特征，四种现有的典型网络坐标系统构建算法GNP[2]、PIC[10]、NPS[11]和Vivaldi[3]，北斗导航系统（GNSS），网络实验环境和协议OpenVSwitch和实验环境MiniNet的介绍。

第3章介绍了时空大数据平台构建的方案，通过构建开放的体系架构为实现范围更广泛的信息资源共享与多层次多节点的协同工作提供崭新的运行环境。

第4章利用Mininet和OpenVSwitch协议，构建系统原型，实现了对时空数据的标签化处理和打标签操作，通过数据的时空戳属性，融合了空间坐标系和网络坐标系，构建了时空坐标系。

第5章通过数据分析说明了随机延迟污染现象的普遍存在，介绍了一种现有的随机延迟污染抑制方法MP-Filter[6]，并提出TO—Filter的随机延迟污染抑制方法。并分析了恶化网络性能的其中两个因素：随机延迟污染现象以及TIV现象，同时介绍了对非中心式网络坐标系统安全性产生影响的几种攻击。三种现有的用于抑制TIV现象的网络坐标距离预测算法，并对其优劣点进行了分析。同时简单介绍了稳定抑制Vivaldi算法。提出了用于抑制随机延迟污染现象以及TIV现象的稳定抑制Vivaldi算法，并通过仿真实验分析其准确性和抑制抖动能力。

第6章是全文的总结。

3. 第二章项目关键技术分析 总字数：10607

相似文献列表 文字复制比：3.1%(329) 疑似剽窃观点：(0)

1	201604051022111715_韩强 - 《学术论文联合比对库》- 2016-04-05	3.1% ( 325 ) 是否引证：否
2	4675_胡恂_信息与通信工程 胡恂 - 《学术论文联合比对库》- 2016-04-19	2.9% ( 306 ) 是否引证：否
3	4675_胡恂_信息与通信工程 胡恂 - 《学术论文联合比对库》- 2016-04-19	2.9% ( 306 ) 是否引证：否
4	4675_胡恂_信息与通信工程 胡恂 - 《学术论文联合比对库》- 2016-04-19	2.9% ( 306 ) 是否引证：否
5	4675_胡恂_信息与通信工程 胡恂 - 《学术论文联合比对库》- 2016-05-27	2.9% ( 306 ) 是否引证：否

原文内容 红色文字表示存在文字复制现象的内容; 绿色文字表示其中标明了引用的内容

第二章项目关键技术分析

2.1 网络坐标

2.1.1 概述

网络在服务人们、提供共享信息的同时，网络性能已成为了人们关注的重点，这是因为网络服务质量的提示有赖于网络性能的提高。为此，人们提出了网络坐标系统，来提高互联网距离测量效率。自2002年提出GNP[2]算法以来，现在已有基于中

心式的如GNP[2]、PIC[10]和基于非中心式的如NPS[11]、Vivaldi[3]等时延预测机制，它们都以如何有效快速的获取网络节点间时延作为研究重点，同时都将网络节点放入N维的坐标系统，通过计算节点坐标距离来作为网络时延的预测值。

### 2.1.2 GNP简介

GNP[2]是最早提出的网络坐标系统之一，其核心思想是将网络中节点实测时延映射到数学的几何空间上，从而将获取网络节点间时延转化为获取节点坐标间距离。不难看出，其思想是将网络构建在一个几何空间上，如多维欧式空间，这样一来，网络中任何一台主机的位置就可以看作是该几何空间中的一个点。

在众多成熟的网络坐标系统中，GNP是典型的基于锚节点的时延预测机制来构建的网络坐标系统，主机在网络中可以分为两个部分：一个部分是事先将在网络中均匀分布的节点选取出来，作为锚节点(Landmarks)，它们会首先计算并确定自己在几何坐标中的坐标，基于此，它们就可以用于作为其他普通节点坐标定位的参考。无论其他节点怎么变化，锚节点始终保持自己的坐标，同时散布给所有任何想要参与进来的主机节点。另一部分是网络环境中的普通主机节点，它们的坐标主要通过获得锚节点的坐标，来计算确定自己的坐标，因此该方法可扩展性很强。

在利用GNP构建网络坐标系统时，首先要做的是在网络中确定小部分主机节点作为网络中的特殊节点--即为锚节点，其作用是在坐标系统中为其它非锚节点主机提供一组必要的坐标参考。

假设有N个锚节点 $P_1, P_2, \dots, P_N$  ( $N > d$ ,  $d$ 为几何空间的维度)，使用Ping方式可以很容易的获得锚节点间的实测时延 $L_{i,j}$ ，从而构造一个 $N \times N$ 的时延矩阵，该矩阵沿对角线对称，则GNP需要找到一组坐标 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 来表示N个锚节点坐标，从而使锚节点间坐标距离 $\|X_i - X_j\|$ 与实测延迟 $L_{i,j}$ 的误差平方总值最小，即下面公式的值最小。 $Error_{N \times N} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \|X_i - X_j - L_{i,j}\|^2$  (2.1)

在建好了以锚节点组成的网络坐标系统后，在加入普通节点，同样使用Ping方式可以很容易的获得与锚节点间的实测时延 $L_k$ ，并通过该普通节点与各个锚节点实测时延来确定普通节点的坐标 $X$ ，并使得其与各个锚节点的实测时延与预测时延误差平方总值最小，即下面公式的值最小。 $Error_X = \sum_{k=1}^N \|X - X_k - L_k\|^2$  (2.2)

GNP系统坐标定位系统是集中式的，可扩展性很强，网络距离预测准确性较高。但是也有不足之处，在GNP系统中，一旦有新的主机进入其中，系统就需要计算这个主机就需要测量到其他所有锚节点的距离，开销太大，因次可能会给节点带来过于沉重的负担，同时锚节点的分布情况、数量、位置等因素也会对系统的距离的预测准确度产生一定的影响。

### 2.1.3 PIC简介

由于GNP[2]过于依赖锚节点，普通节点需要测量到锚节点的距离，使得锚节点承担了相当的通讯开销，锚节点所能承受的通讯量则成为了网络系统性能的瓶颈，因而有研究者提出了PIC[10]。PIC是在GNP的基础之上，改进了锚节点的选择方案，由于PIC不需要固定的锚节点，其系统中任何已经有坐标的节点都可以被其他节点选作锚节点，从而使计算开销和通信开销能够均匀的分摊到各个节点上，同时也有效的避免了因为存在个别锚节点的坐标失效造成的误差。同时，PIC提出了一种锚节点选择机制，其有效性以及系统坐标准确性与GNP几乎一致。

与GNP系统极为相似的是，PIC在设计中也是借鉴了将网络节点映射到几何空间的策略，当新的节点P加入PIC系统中时，它从已存在坐标的N个节点中选择M( $M > d$ ,  $d$ 为几何空间维度)个节点作为其锚节点，与上述GNP类似的，与锚节点间的实测时延 $L_k$ 同样可以使用Ping方式可以很容易的获得，并通过该普通节点与各个锚节点实测时延来确定普通节点的坐标 $X$ ，并使得其与各个锚节点的实测时延与预测时延相对误差平方总值最小，即下面公式 (2.3) 的值最小。 $Error_X = \sum_{k=1}^M \|X - X_k - L_k\|^2$  (2.3)

而当系统中已存在的节点的数量 $N < M$ 时，其节点的坐标计算方法不同：此时会将该N个节点都作为锚节点。与上述GNP类似的，对N个锚节点 $P_1, P_2, \dots, P_N$ ，使用Ping方式获得锚节点间的实测时延 $L_{i,j}$ ，从而构造一个 $N \times N$ 的时延矩阵，并找到一组坐标 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 来表示N个锚节点坐标，从而使锚节点间坐标距离 $\|X_i - X_j\|$ 与实测延迟 $L_{i,j}$ 的相对误差平方总值最小，即下面公式的值最小。 $Error_{N \times N} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \|X_i - X_j - L_{i,j}\|^2$  (2.4)

关于节点P的锚节点选择有着以下三种不同的策略：

- 1)随机策略：M个锚节点是从系统中已有坐标的N个节点中随机选择出来的。
- 2)最近策略：选择网络系统中离节点P最近的M个节点来作为锚节点。
- 3)混合策略：M个锚节点中部分节点是通过随机策略选择出来的，另一部分则是通过最近策略选择出来的。

在最近策略中，PIC提出了两种方法来寻找离节点P最近的M个节点：

方法一：首先选定一个暂时的目标节点，这个可以从已知坐标的节点中随机的选择，接着对该节点与其邻居节点的距离进行测量，假如通过测量，发现有距离自己更近一个邻居节点存在，则这个邻居节点作为目标节点，然后反复执行这个过程，直到无法找到离自己更近的节点。

方法一对节点间的距离的反复测量会对网络带来更多的开销，因此PIC又提出了方法二：使用坐标计算节点间距离来取代直接测量。该方法可以有效的减少网络开销，但该方法只有在新加入的节点已有坐标的前提下才能实现，因此PIC提出：首先使用随机策略来求出该节点的坐标，接着再使用该坐标来寻找离该节点最近的锚节点。

PIC通过数据实验表明，不同的锚节点选择策略对于节点坐标的准确度也会有着不同的影响：在使用随机策略选择锚节点时，对预测长距离的准确度更高；在使用最近策略选择锚节点时，对预测短距离的准确度更高；而使用混合策略时，对长距离预测的准确度整体最高，因而在PIC中，都是选择使用混合策略。

### 2.1.4 NPS简介

NPS[11]是一种分层的非中点式的网络坐标系统。它主要解决的是：在网络坐标分布式计算时遇到的适应性、一致性以及稳

定性问题。NPS能够让节点在同一的坐标系上，适应网络环境变化，同时准确的反映网络拓扑结构的变化，并能减少不必要的节点坐标更新。

NPS将网络节点分为三种：服务器节点，普通节点和锚节点。其中，服务器节点储存着系统参数以及其他节点的信息；锚节点与GNP中的锚节点类似，参与几何空间坐标系的构建，供普通节点作为参考；其他的节点就可以看作是普通节点，与此同时这类节点也有可能作为其他节点的参考节点。

NPS的网络坐标系统构建采用了分层次结构，将网络节点分布到0到L层。锚节点作为NPS坐标系统的基础，被放在第0层；而普通节点的放置时，记所在层数为 $L_i$ ，则其选取的参考节点 $j$ 所在层数 $L_j$ 需要满足 $L_i < L_j$ ，该约束条件可以有效的避免节点间互相作为参考节点，使得坐标的计算保持了一致性。

NPS中，普通节点加入系统并完成计算坐标需有以下步骤：

1)在普通节点加入系统时，通过计算可以从服务器节点获得参考节点的信息和更详细的系统参数。

2)通过测量得到普通节点与参考节点间的真实测量距离。

3)对普通节点坐标进行计算，使其满足普通节点与参考节点间预测距离与实测距离误差平分总值最小。

这样一来，每隔一段固定时间，节点自身的坐标将会被重新计算，使其适应不断变化的网络拓扑环境。

#### 2.1.5 Vivaldi简介

在众多网络坐标系统中，Vivaldi[3]算法是具有代表性的基于模拟的时延预测机制，其使用物理模拟来预测时延。Vivaldi算法的核心思想是将网络节点利用将物理弹簧弹性定律，即“弹簧在拉伸和压缩时，其动能和势能会相互转化”，映射到网络节点坐标系统，将网络节点视为由弹簧相连的点，从而将节点间预测距离误差之和最小化问题模拟转化为求弹簧间系统势能最小值问题。

可以看出，Vivaldi[3]是一种完全分布式的算法，节点仅需要获得少量的任何具有坐标的邻居节点的实测时延就可以完成自身坐标的更新，当实测时延与预测时延不一致时，则转化视为节点间弹簧发生了拉伸或者压缩，通过弹簧形变使得节点到达一个合适的位置，从而使整个弹簧系统势能最小，即网络坐标系统误差总值最小。Vivaldi算法的具体实现为：对于节点 $i$ ，获得来着邻居节点 $j$ 的测试时延 $RTT_{i,j}$ ：

1)计算误差权值 $\omega$ ： $\omega = e_{ei} + e_j$  (2.5)

2)计算两点距离相对误差 $e_s$ ： $e_s = RTT_{i,j} - \|x_i - x_j\| RTT_{i,j}$  (2.6)

3)更新自身误差估计 $e_i$ ： $e_i = e_s \omega + e_i - \omega$  (2.7)

4)更新本地坐标 $x_i$ ： $\delta = \omega$  (2.8)  $x_i = x_i + \delta RTT - x_i - x_j u_{xi-xj}$  (2.9)

其中 $x_i$ 为节点 $i$ 的坐标， $u(x_i - x_j)$ 为从节点 $j$ 坐标到节点 $i$ 坐标的单位向量， $e_i$ 为节点 $i$ 的误差因子， $\omega$ 和 $\delta$ 为调节因子，其取值越大，则节点每次更新的程度越大。

在众多网络坐标系统的构建算法中，Vivaldi[3]算法具有优秀性能是公认的，其优点得益于实现过程是全分布式的，无需额外基站设施的设立，在Internet拓扑变化的适应性上有较好的表现，网络坐标能够及时更新，通过将网络坐标系统构建所需的时延探测任务交给应用级业务上，以减少了网络计算过程中造成的不必要的开支。

### 2.2 北斗导航系统授时

#### 2.2.1 授时

所谓授时，顾名思义，就是指在确定某种时间尺度的前提下，把能够维持响应尺度的时间信息按照一定的方式，传递给使用者的过程。通常来讲，授时系统的构建需要两个必备的条：（1）根据国际电信联盟对授时系统上的规定，系统时间必须要跟国家的标准时间同步，就是要以国家时间标准作为基准。（2）授时系统在向用户提供授时服务的时候，必须要按照广播的方式来将授时系统的时间发播出去，以便于用户对时间进行接收和加以使用。在收拾系统内，用户的数量是不应该被限制的。不同的用户接到相同的授时信号时，都能够将本地时间与统一授时的时间尺度相匹配，实现时间上的同步。

从国内参考文献来看，一般未对时间传递、时间频率传递、时间比对与授时概念进行严格区分。

#### 2.2.2 时间同步

时间同步指的则是，根据协调世界时（UTC）这个时间参考基准，各个应用系统和网络硬件设施的时钟，能够以特定方式与UTC进行时钟的时刻和时间间隔上的同步。

### 2.3 GNSS卫星精密授时

#### 2.3.1 北斗RDSS单向授时

北斗卫星以载波频率2491.75MHz未授时信号来进行RDSS业务广播，其信息结构是连续帧，根据时域的不同，有超帧和帧两种形式。当帧长固定的时候，还有1920帧，且周期为一分钟的是1个超帧，每一秒都有32个帧，以31.25ms为一个周期。在RDSS业务中，单项授时广播信息将每一帧中的4Bits进行信息拼接。

导航电文与授时相关的每超帧的前129帧的参数内容有：BDT时刻（表示本超帧第1帧所对应）、UTC闰秒（表征UTC与BDT之差）、BDT与UTC之时差、信号传输改正模型参数、地面站天线至卫星的传播时延（含电离层和对流层时延）、本超帧授时数据所对应的地面RDSS发射天线的编号、当前波束工作状态、系统单向设备零值变化量等。

想要实现北斗卫星的RDSS单向授时功能，BDT控制中心的主原子钟是功能的核心组件，原子钟的工作原理如下：接到指令后，原子钟开始发波工作，会产生导航电文、相位、卫星导航信号的频率、编码速率，通过发射设备将相应的信息发送到北斗卫星，然后卫星转发器接收信息，同时将授时信号通过下行传递的方式发送到用户的接收终端，用户的终端此时会在本地进行



解算操作，分别得到输出1PPS（秒脉冲）和TOD（Time Of Day）时间信息，这样RDSS单向授时过程就完成了。

RDSS单向授时示意图如下所示：

图 21 北斗卫星RDSS单项授时示意图

如果BDT的时间传递过程中小数秒部分小于一秒，那么将会按照图3所示的方式进行传递：首先从中心站出来的某一个“帧时标”信号跟他前面一个BDT整秒的时差为，经过总时延的“帧时标”，用户本地时钟与BDT的时间差即为：

( 2.11 )

图 22 RDSS单项授时原理图

对本地钟输出的1PPS进行移向处理调整，使得时间差趋近于零，此时BDT的1PPS实现时间（相位秒部分）就与本地终端1PPS同步。单向授时精度优于100ns是北斗卫星RDSS的特点，并且不限制具体的用户量，从而使得绝大多数的时间内，用户的精度需求都能够得到满足。

### 2.3.2北斗RDSS双向授时

北斗RDSS是一种高精度的授时方法，构建基础是应答测距定位业务。因为北斗的RDSS单向授时容易受到诸多不确定性因素影响，是的准确计算、改正用户端接受卫星中心站信号时间延迟变得困难，最终导致单项授时的精度不够高。基于北斗RDSS应答测距定位业务构建的RDSS双向授时法的出现，可以更好的满足高精度授时的需要。该方法在确定信号单向传播延迟的时候，采用双向对比测量的方法。北斗RDSS双向授时的方法示意图如图5所示。

图 23 北斗卫星RDSS双向法授时示意图

### 2.3.3北斗RNSS单向授时

利用单站伪距/相位观测值以及卫星星历，来估计接收机钟差，从而实现授时是北斗RNSS单向授时的本质。只需1颗卫星即可在接收终端位置已知的情况下实现授时。授时过程与伪距单点定位/精密单点定位在测站坐标未知的情况下过程相同。

对于卫星i的伪距观测方程如下：

式中：为伪距观测值；为测站与卫星间距离；为卫星钟差；为接收机钟差；为对流层延迟；为电离层延迟；为观测噪声和其他误差。

由于卫星坐标和钟差可通过星历获得，电离层和对流层延迟均可通过模型改正或削弱。因此，在接收终端坐标已知的情况下，只需要1颗卫星，通过作差的方式可直接求出接收机钟差。如果不能确定接收终端坐标，至少需要4颗卫星，通过平差的方法实现授时。

由于伪距观测值精度不高，通常在30cm~3m，因此采用伪距进行RNSS单向授时的精度约在50ns。为了提高授时精度，可以采用相位平滑伪距或载波相位观测值，这样授时精度可以达到10ns以内。

### 2.3.4北斗/GNSS共视法授时

北斗卫星共视法时间传递与之前所述方法略有不同，即利用位于不同地点的两个（或多个）观测站，对同一颗或多颗北斗卫星的同一时标信号使用北斗卫星信号接收终端同时观测，经观测结果传递交换和再处理，不同的两个观测站在异地就可以实现相互之间的高精度时间传递。其技术关键在于可以消除或削弱北斗卫星（RDSS/RNSS）单向授时过程中若干共性误差，远距离卫星时间传递的精度得以提高。

该方法类似于差分定位技术，通过相邻测站观测值间的相关性，通过作差的方法消除或削弱其中的共性误差，从而获得高精度的相对定位精度。

其原理如下图所示：

图 204 北斗卫星共视法原理图

若卫星i被 A、B 两站放置的接收机同时观测到的伪距为和，可得其接收机钟差分别如下如下：

其中：为伪距观测值；为测站与卫星间距离；为卫星钟差；、为接收机钟差；为对流层延迟；为电离层延迟；为观测噪声和其他误差。

作差可得：

可以通过接收机位置和卫星星历计算得到的值，卫星钟差可完全消去，同时考虑到测站之间的距离比较近，因此对流层延迟、卫星轨道误差和电离层延迟之间具有较高的延迟性，其大部分影响可以在做差后得到消除。因此，该方法可以获得高精度的相对钟差，从而实现时间传递。

许龙霞提出了一种基于共视原理的授时新方法，该方法在多个坐标已知的基准站布设接收机，基准站本地时间与标准时间保持同步，监测卫星的系统时间与标准时间的偏差，并通过网络实时发送给用户使用。用户可以通过使用该偏差数据后，来得到与国家标准时间之间的偏差。

下图为其原理：

图 205 授时流程图

假设基准站有n个，每个基准站与标准时间中心的授时和同步都是通过卫星双向时间频率传递与标准时间 UTC(NTSC)来实现的。同步后的基准站接收 GNSS 卫星授时信号并进行检测，得到的时间差 UTC(NTSC) - GNSST就是每颗卫星广播的系统时间与标准时间的差。此时经过系统的综合处理，用户就可以通过广播得到含有标准时间信息的时差数据。导航信号得到用户本地时间与导航系统的系统时间的时差 T(u) - GNSST广播给用户，这时用户可以利用接收到的标准时间与GNSST 的时差 UTC(NTSC) - GNSST对本地的时间进行修正，以得到修正到标准时间，用户本地时间与标准时间就可以实现同步。

$$T(u) - UTC(NTSC) = (T(u) - GNSST) - (UTC(NTSC) - GNSST)$$

该方法解决了传统的共同观看时间传输过程中存在的实时问题。在GNSS公共视图时间传输中，由于用户接收机时钟不稳定，因此有必要连续跟踪卫星一段时间。平滑跟踪数据可最大限度地减少随机误差的影响，如接收机时钟抖动和测量噪声。共视授时法利用国家标准时间和GNSS系统时间的高度稳定性，实时向用户广播时间模型参数，不受跟踪时间段的限制，解决了实时性问题。其次，与共视授时法共享的数据交换方式不同，基于共视授时法原理的新方法以广播形式发布时间模型参数信息，所有用户都可以接收，所以用户数量不受限制。另外，用户只需要配置一个单向设备即可获得央视通过的纳秒级定时精度。

## 2.4 软件定义网络 (SDN)

### 2.4.1 SDN起源与发展历史

软件定义网络 (SDN) 技术将网络应用、网络设备和网络服务紧密结合起来，设备间的交互。如消息传送、服务开通和安全预警等，实现了网元设备在逻辑上的集中控制，使得网络应用可以更加灵活的部署与运行。为了让运营商能够通过编程方式来控制网络，使网络管理和编排更加的自动化、智能化，跨服务器、交换机与路由器的配置应用策略，使得网络设备操作系统和应用程序进行更好的耦合。

SDN起源于斯坦福大学的CleanSlate项目[18]，此项目初衷是改变传统网络架构。之后学生Martin负责了一个关于网络安全的项目，设计了一个集中控制器，通过此集中控制器可以很便利地配置基于网络流的策略，可以把一些策略下放到其他网络设备中，进而实现了对整个网络的控制。2008年受此项目启发，Nick教授等人提出Open Flow协议，并发表论文，首次公开详细地描述了Open Flow 协议。2009年由于Open Flow协议给网络带来的灵活性，Nick教授及其团队进一步提出了SDN的概念和架构。这一年SDN技术同时被选为年度十大前沿技术之一[19]，从此SDN技术取得了学术界和工业界越来越多的认同和大力支持。

2009年Open Flow1.0版本被发布，它是具有划时代作用的首款可用于商业环境的南向协议。2011年在Nick教授等人的推动下，成立了开放网络基金会，它的主要工作职能主要是大力发展和推动SDN架构及其技术的相关规范性工作。目前开放网络基金会有近100家成员。2012年开放网络基金会发布了SDN白皮书。在SDN白皮书中提出了SDN三层模型得到了很多同业人员的大力支持和认同。同年，谷歌公司广域网络被改造成使用Open Flow协议的SDN网络，此案例说明Open Flow协议不仅是一个在学术层面的理论模型[20]，而是一个可以在商业实际环境中使用的技术方案。之后VMware收购Nicira公司，把网络相关的功能模块从硬件中分离出来实现软件化，这也是SDN迈向商业化的重要标志。2016年召开全球SDNFV技术大会，来自全球的企业和组织讨论企业网和云数据中心相关问题和技術。此时意味着SDN技术不是空洞的理念，而是正在迎合真正的需求，SDN产业化时代正在来临。

当下SDN技术已经成为了网络领域中最热门的方向之一，很多互联网大公司都在SDN技术研究中投入了大量的精力，思科等传统基础网络设备厂商也在研发SDN控制器和SDN交换机。随着SDN技术在不断研究发展中，SDN定义越来越宽泛，不再那么明确。当下普遍来说，那些可以对网络进行编程的网络架构都可以看作SDN范畴。而且在SDN发展中，为了实现上述理念而开发的技术和协议也是多样的，除了Open Flow协议还涌现出很多类似技术例如OF-CONFIG协议，所以SDN也渐渐出现了不一样的发展路线[21]：

第一种是使用OpenFlow协议，转发层和控制器层互相分离、采用集中控制方式，让网络设备逐渐标准化，所有控制空能模块集中到控制器，并以软件方式存在，这样突破过去比较封闭的网络状态。此中发展路线主要在创业公司和研究机构的比较多，从路线上看是狭义的SDN定义。

第二种是传统网络的设备制造商在新技术变革带来的市场压力下，他们为了能在市场中继续拥有绝对优势地位而发展SDN技术来改造自身的产品，还有是很多运营商想采用新技术和新架构改造自身网络，但同时也想尽可能的保留当下的设备头再来尽可能减少损失，所有期望能对现有网络及相关设备进行剪辑师的发展和过度，所以演变出一种更为宽泛的SDN概念，这些都可以是广义SDN定义。

最后，还有一种路线，此路线使用现有传统网络作为底层设备，然后在基础设备上采用虚拟化技术来衍生出逻辑网络层，实现网络虚拟化，从本质上说仍然是软件定义虚拟网络的范畴，此方案一般称为Overlay方案。

不同的SDN演进发展形成了不同的技术风格和路线，但是集中控制、开放可编程接口是共有的特性，具体的异同如下表所示：

表2-1 SDN研究方案比较

发展路线优点缺点

狭义SDN方案网络管理比较简单难度高、技术不成熟

广义SDN方案有利于抱回现有网络设备投资只能使用支持的服务，快速扩展网络功能受限

Overlay方案网络只需要IP可达，不需要其他的大规模改变由于忽略物理网络，流量工程等无能为力

### 2.4.2 SDN架构

根据ONF给出的定义，软件定义网络 (SDN) 是一种新型网络架构。软件定义网络在逻辑上采用集中控制方式，且把网络转发层和网络控制层分离，形成了一个课表成的网络架构并具有可编程开放接口，使得应用层能够不依赖于底层设备。这样能够使得网络架构打破底层物理硬件设备的限制，实现上层软件与底层硬件设备相互独立发展，底层设备标准化的发展得到提升，软件平台化进程也有了长足的发展。就可以像升级软件一样来对网络进行修改和配置，提升了网络功能的部署速度，加速了快速部署和敏捷开发的进程。

网络设备的组成通常包括数据平面和控制平面，控制平面主要负责指定转发策略供数据平面使用，主要是各类协议，如路由协议、网关协议等。而这些策略的执行主要依靠数据平面来完成。在网络环境中，如图2.1所示，网络设备中封装着软件化的控制面，这些软件化的控制面是由各自的厂商独立研发的，所以设备的使用者就无法对其控制能力进行进一步的设计和改造。而SDN的出现则改变了这一现状，其思想的核心是，仅对硬件上的软件进行更新，这样一来就通过软件的升级和更新使得网络功能得到了扩展。从图中可以看出，传统的网络只是简单的区分控制面和数据面，具体的操作和处理是无法分开进行的，也没有办法实现控制层面上的交互。SDN可以真正意义上实现控制面和数据面的分隔，这样多个交换机就可以被一个控制机构同时控制，现有的网络架构的限制就被打破，提供了开放网络系统的基础上提供的新解决方案。

图2.6 传统网络与SDN的结构对比图

图2.2展示的是SDN的结构图，可以看出，主要有三层构成—应用层、控制层和基础设施层。基础设施层主要由网络系统中的OpenFlow交换机作为底层转发设备组成。控制层在中间，用于网络整体状态的统一维护，通过OpenFlow等南向接口，来实现对底层设备信息的获取，其北向接口可以为应用层提供扩展的

图2.7 SDN的结构图

可能，使应用发布控制消息和得到当前网络状态更加方便。OpenFlow协议是比较标准的南向接口协议，同时也在不断的改善和升级过程中，北向接口仍然没有较为成熟的标准协议。这个模型体现了SDN网络的可编程性和灵活性，使得网络管理者可以更好地通过调度、管理并优化网络资源来实现高效可控的网络。

2.4.3 OpenFlow

OpenFlow协议集是一组API和协议，可以将传统网络的第二层和第三层协议进行整合和替代。OpenFlow协议集主要包括OpenFlow交换机规范 ( OpenFlow Switch Specification, OF-SWITCH )、OpenFlow管理与配置协议 ( OpenFlow Management and Configuration Protocol, OD-CONFIG )、OpenFlow光传输协议扩展 ( Optical Transport Protocol Extensions ) 以及其他的测试和服务协议。

在SDN中，OpenFlow是一个非常重要的组成部分，SDN指的是网络设计的一种理念，围绕这个设计理念有很多不同的解决方案，OpenFlow是实现SDN一个比较好的案例，相比较于其他的SDN解决方案，其内容成熟度、应用领域、产品兼容性等方面的优势突出。

图2.8 OpenFlow交换机的结构

2.4 本章小结

本章介绍了用到的相关技术和概念，他们分别是网络坐标、北斗导航和精密授时、GNSS卫星导航和精密授时，同时介绍了软件定义网络 ( SDN )，为后续工作开展提供了必要条件。

指 标		
疑似剽窃文字表述		
1. OpenFlow		
OpenFlow协议集是一组API和协议，可以将传统网络的第二层和第三层协议进行整合和替代。		
4. 第三章时间同步的原理和相关协议		总字数：3255
相似文献列表 文字复制比：23.9%(777) 疑似剽窃观点：(0)		
1	20099239112 - 《学术论文联合比对库》- 2012-12-20	13.5% ( 439 ) 是否引证：否
2	基于NTP协议的网络时间同步系统的研究与实现 陈敏(导师：魏丰) - 《华中科技大学硕士论文》- 2005-05-01	12.6% ( 411 ) 是否引证：是
3	BH20099244101 - 《学术论文联合比对库》- 2012-12-22	11.0% ( 359 ) 是否引证：否
4	基于轻量级J2EE框架的异构数据库专用中间件研究 - 豆丁网 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://www.docin.com">http://www.docin.com</a> ) 》- 2015	10.7% ( 349 ) 是否引证：否
5	基于IEC 61850变电站自动化系统的时间同步设计与研究 易娜(导师：贺鹏) - 《三峡大学硕士论文》- 2008-03-01	10.6% ( 344 ) 是否引证：否
6	基于精确时钟协议的网络运动控制系统的研究 林涛(导师：孙鹤旭) - 《河北工业大学博士论文》- 2007-01-01	10.2% ( 332 ) 是否引证：是
7	基于轻量级J2EE框架的异构数据库专用中间件研究 黄立(导师：彭玉青) - 《河北工业大学硕士论文》- 2006-11-01	9.6% ( 311 ) 是否引证：是
8	嵌入式NTP网络时钟源的研究与开发 鲁美连(导师：魏丰) - 《华中科技大学硕士论文》- 2007-06-01	9.4% ( 306 ) 是否引证：是
9	智能变电站同步对时网络优化方案研究 - 豆丁网	8.4% ( 274 )



	- 《互联网文档资源 ( <a href="http://www.docin.com">http://www.docin.com</a> ) 》 - 2016	是否引证：否
10	智能变电站同步对时网络优化方案研究 - 豆丁网 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://www.docin.com">http://www.docin.com</a> ) 》 - 2017	8.4% ( 274 ) 是否引证：否
11	智能变电站同步对时网络优化方案研究 张延辉(导师：杨京燕;刘志强) - 《华北电力大学 ( 北京 ) 硕士论文》 - 2011-06-01	8.2% ( 268 ) 是否引证：是
12	嵌入式分布系统中网络设备的时间同步 苏伟;杨斌; - 《单片机与嵌入式系统应用》 - 2012-02-01	8.2% ( 267 ) 是否引证：是
13	数字化变电站中IEEE1588对时协议的实现 王玉洁(导师：宗伟) - 《华北电力大学 ( 北京 ) 硕士论文》 - 2010-02-01	7.9% ( 257 ) 是否引证：是
14	CAN总线分布式系统高精度时钟同步技术的研究 熊慧(导师：魏丰) - 《华中科技大学硕士论文》 - 2007-01-01	7.1% ( 230 ) 是否引证：否
15	智能变电站同步对时网络优化方案研究_图文 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》 - 2017	6.9% ( 224 ) 是否引证：否
16	基于NTP局域网时间同步系统研究与实现 谭丽(导师：刘继承) - 《大庆石油学院硕士论文》 - 2009-03-15	5.5% ( 179 ) 是否引证：否
17	GPS时钟同步技术在350万t/a柴油加氢及其配套装置中的应用 王蓉;吴建民; - 《化工自动化及仪表》 - 2015-01-10	5.0% ( 163 ) 是否引证：否
18	分布式测试系统时钟网络结构与同步算法研究 - 《学术论文联合比对库》 - 2012-09-07	4.0% ( 130 ) 是否引证：否
19	基于IEEE1588高精度网络时钟同步系统的研究 吴歆馨(导师：魏丰) - 《华中科技大学硕士论文》 - 2007-06-01	3.8% ( 125 ) 是否引证：否
20	嵌入式网络化分布式测控仪器时钟同步技术的研究与应用 祝婧(导师：何鹏举) - 《江西理工大学硕士论文》 - 2009-12-01	3.8% ( 125 ) 是否引证：否
21	丁修己_无人机飞控代码故障诊断软件的设计与实现 丁修己 - 《学术论文联合比对库》 - 2015-06-02	3.2% ( 105 ) 是否引证：否
22	[毕业论文]基于IEEE1588高精度网络时钟同步系统的研究 - 豆丁网 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://www.docin.com">http://www.docin.com</a> ) 》 - 2016	2.6% ( 86 ) 是否引证：否
23	变电站对时技术策略研究 张清枝;杜川;曹帅; - 《电测与仪表》 - 2014-08-10	2.2% ( 71 ) 是否引证：否
24	201091303511607 高博 - 《学术论文联合比对库》 - 2013-05-04	1.3% ( 43 ) 是否引证：否

原文内容 红色文字表示存在文字复制现象的内容; 绿色文字表示其中标明了引用的内容

### 第三章时间同步的原理和相关协议

#### 3.1 时间同步的必要性

##### 3.1.1网络优化方面

###### 3.1.1.1网络管理系统

目前网络管理系统主要有各大通信网自建的集中系统组成，在他们各自的系统中，可以实现对网络数据的统计分析，各类性能指标也都能了如指掌，通过采集到的网络性能指标数据来排查网络错误和发出警告。一旦在网络中发现警号信号，就能够第一时间做出相应，并且在与之有联系的网络设备和资源上也挂出警告。由于网络设备中包含时间戳，这些时间戳都是在各个设备上的时间轴打上的，如果我们把全网的时间同步，那么我们就能够根据时间信息得知最先出现问题的设备是哪一个，这样就可以从时间维度上对故障的源头进行定位，有利于网络资源故障定位和事故排查。

###### 3.1.1.2七号信令监测系统

针对这个问题，有人提出了可以采取在信令流量较大的节点上设置监测，通过检测系统，对信令流进行监控和分析，来准确定位通信信息网中各类警告，主要包括故障类型和故障点。具体的处理过程是，如果发现网络出现了异常警告，与警告发起设备相关联的所有信令流量就会被系统甄别出来，进行数据分析。同理，信令流量的时间戳也是有各自网络基础设施设备产生的，所以如果各个设备采集点的时间同步，全网信令也能够实现同步。

###### 3.1.1.3安全认证系统

从网络安全的角度讲，通信网安全的优化离不开时间的同步，在安全认证系统的前提先，通信信息安全才能在传输过程中得到保障。然而，目前的通信网之间只能实现内部网路同步，无法实现全网时间同步，所以安全认证系统的构建也有一定的难度。时间同步对网络安全有至关重要的作用。

##### 3.1.2提高服务质量方面

通信网的服务质量也与时间同步密不可分，网络服务计费通常都是以时间计量维度的，一方面通信网内的时间同步与否会影响网内计费，另一方面还体现在不同的通信网间的时间同步基础上。目前的标准下，每个交换机在通话时会进行通信计时，记录下通话开始时间、结束时间和持续时间，但是因为不同交换机之间没有时间同步，时钟准确度低，不同的交换机一个月

内的时间偏差可能会超过30秒。

### 3.1.3网络及新业务方面

#### 3.1.3.1IP网络及应用

为了对IP网络中的流量进行监控，可以对其中的路由选择和交换机加强控制和监视，因为数据包在经过每个路由器或者交换机时都会打上这个设备的本地时间戳，通过分析时间的先后，可以对其所经过的路径进行分析和判断，经过各个路径的时延也可以被计算出来。通过计算时延和流量压力，可以对整个网络进行更加合理的设置和分析，而这一切的前提是实现全网设备的时间授时同步。

#### 3.1.3.2 移动网络及新业务

相比较于纯IP的网络模式，移动网络的发展势头迅猛，比如3G、4G和无线网络等。以3G网络为例，WCDMA、CDMA2000和TD-SCDMA，是其三种制式，每一个制式都离不开精准的时间同步，如果时间不能同步，设备与基站系统之间的通信过程会因为治理不匹配而无法完成。WCDMA的工作模式与另外两种不同，属于异步工作方式，对时间是否精准同步要求不高。

#### 3.1.4时间同步需求

通过上表可以看出，不同的环境和业务对时间同步的精度和迫切性要求有着不同的需求，可以看出大部分行业和领域，在时间同步问题上都有较强的迫切性需求。业务对于时间同步网的需求也从1 $\mu$ m-1s不等，需求主要涵盖了计费、信令跟踪、基站重启、短消息平台、维护、计费融合、系统安全、信令合成分析和基于位置定位的服务等。

### 3.2 互联网时间同步

时间同步在互联网领域意义重大，互联网与各行各业联系紧密，随着不断地发展，对时间同步的要求也有了更高的要求。

#### 3.2.1 NTP协议

网络时间同步协议（Network Time Protocol，NTP），可以实现计算机时间与网络时间的同步。

D.L.Mills教授于1985年提出，由美国德拉瓦大学的，初衷是为了维持计算机网络中不同计算机的时间一致性，通过将网络上的往返延迟封包和对计算机始终偏差进行估算，进而实现网络精准校准时间。

##### 3.2.1.2层状结构

时间同步的网络，在理论上可以从0取决于精度和重要性16个或更多阶段15，其基本上不大于6个级别划分。准确性和重要的更高级别的代码低。时间分配0是具有高级代码级别的同步子网络。目前，全球卫星定位系统（GPS）被广泛使用，由GPS或UTC时间码广播。子网中的设备可以承担多种角色。例如，第二级装置是NTP协议第一客户端层，对于第三层中的服务器，NTP协议扩展了对等网络系统，用于在相同的层是通过层与层的膨胀这种分层网络结构为互联网提供及时的服务。

图 31 时间同步网络的层状结构

##### 3.2.1.4工作原理

NTP算法首先基于服务器和客户端之间的往返分组来确定两个时钟之间的差异和分组传输中的延迟。表示客户端和时间服务器之间的时间偏差（offset）；表示对时过程中的网络路径延迟（delay）[59][65][66][67]。

#### 图 32 服务器和客户端对时过程

表示客户端时钟记录的发送NTP报文的时间和是客户端时钟接收 NTP 报文的时间[59][62][63][64][65][66]，客户端接受和发送时间是和。通过之前的知识，假设服务器时钟经过授时后时钟是准确的，而客户端和服务端之间的时间偏差用表示，从客户端发送报文到服务器端的路径延迟是，从服务器到客户端的路径延迟是，路径延迟总和是。那么可以列出三个方程式：

$$(3.1)$$

$$(3.2)$$

$$(3.3)$$

为了计算方便，如果假设从客户端到服务器的路径延迟和从服务器到客户端的路径延迟相等：

$$(3.4)$$

以上方程变为：

$$(3.5)$$

$$(3.6)$$

可解得服务器和客户端时钟的时间偏差：

$$(3.7)$$

客户端与服务器端总的网络路径延迟：

$$(3.8)$$

##### 3.2.1.5工作模式

NTP 协议的授时工作模式有三种：

（1）服务器/客户端模式：用户向一台或多台服务器发送服务请求。基于交换的信息，计算两个位置的时间偏移和网络延迟，并且选择和调整最准确的时间偏移。本地时钟。

（2）组播/广播模式：适用于高速LAN。局域网中的一台或多台服务器在一段时间内向组播地址广播时间戳。客户端不计算时间偏移量和网络延迟。。



(3) 对称模式：两台或两台以上的时间服务器互为主从，通过时间消息互相修改时间并保持整个同步子网的时间一致性。

#### 3.2.1.6 报文格式

NTP的时间戳用无符号定点数来表述，共有64位，前32位用来表示整数，后32位用来表示小数，以1900年1月1日零点零分零秒为记录起点，依次计算相对于1900年，到2037年时，此64位数将发生溢出，即每136年，这64bit的字段将归零，到时将再重新定义协议或废除使用此时间戳。UDP传输协议是NTP信息在网内传输的协议，在UDP的标头里面Source Port 和 Destination Port用来记录号码和123端口号。

#### 3.2.3 网络时间同步协议比较

通过以上GPS、NTP和1588时间同步协议的比较，可以发现，GPS和NTP同步的网络范围是广域，而1588协议的同步范围是几个子网之间。三个协议是用的通信网络各不相同，GPS依靠卫星来实现时间同步，NTP可以通过互联网来完成，1588主要依靠以太网实现时间同步。在授时准确度上，GPS和1588都可以达到半微秒，而NTP的授时准确度是几毫秒。工作方式上三者各不相同，GPS采用客户机和服务器相结合的方式，客户机通过同步服务器的时间来实现时间同步，NTP协议中依靠对等层来实现同步，1588协议主要依靠主时钟和从时钟的模式，先对主时钟进行授时，然后从时钟从主时钟处获得时间授时。GPS和NTP需要的计算网络资源比较适中，1588只适合在较小的网络资源下进行计算。三者都拥有时间校正功能。NTP和1588采用更加安全的协议，而GPS的安全协议级别并不高。

## 5. 第四章系统原型设计与实现

总字数：3475

相似文献列表 文字复制比：0%(0) 疑似剽窃观点：(0)

原文内容 **红色文字**表示存在文字复制现象的内容; **绿色文字**表示其中标明了引用的内容

### 第四章系统原型设计与实现

#### 4.1 功能需求与模型构建

网络空间中精准时空体系的构建由于移动互联网、信息-物理融合系统等构成的网络空间不具备欧式空间的特性，因此如何在网络空间中构建精准时空体系将是面临的挑战性问题。基于北斗卫星导航系统的高精度时空信息感知技术为解决这一挑战提供了可行途径，但是如何利用部分、稀疏节点的高精度时空信息建立整网高精度时空基准是一个难点。而网络信息时空戳的制订、产生、撤销、跟踪、更新、维护，以及衍生出的测量、路由、信息表示等，则是另一个难点。精准时空体系下网络群体行为运动规律的认知融入精准时空信息的网络空间，包含移动互联网、信息-物理融合系统以及卫星导航系统等，是一个更加复杂的多元异构网络系统，具有典型的多重复杂性特征，如有限或不确定信息、非线性、时滞、网络博弈等。上述多重复杂性导致了精准时空体系下网络群体行为具有不同的运动规律及其干预调控机理。精准时空体系下网络群体行为的认知为实现资源的精准投放、精细管理以及按需服务提供强有力的理论支撑。因此，对精准时空体系下网络群体行为的运动规律认知也是本项目面临的基础性挑战。建立网络通信与计算协作模型，实现高效协同网络通信与计算资源均具有典型时空分布特性，在精准时空体系中上述时空特性会有怎样的作用以及具有时空属性的资源之间又如何相互作用，这些问题直接关系到网络通信与计算的协同效能。另外，不同应用中网络通信与计算资源的形态与运行机制不同，需求特点也不同，从而协同的内在机理也不同。因此研究网络通信与计算的协作模型及其高效协同机制，实现质量保障的按需服务是本项目面临的重大挑战。

如前面所述，云计算的飞速发展为大数据的产生奠定了基础，大数据时代，对于数据隐私的保护显得尤为迫切，我们的系统原型主要基于北斗卫星导航以及北斗地基增强系统，构建高精度时空信息网络大数据环境，目标是对融合时空信息的数据与隐私保护理论进行分析验证。利用SDN构建网络系统，利用北斗和GNSS提供定位和授时基础，通过对数据打“时空戳”标签，可以在网络坐标系统内追踪和定位数据，同时实现纳秒（ns）级全网时间同步。

##### 4.1.1 功能需求

网络虚拟化构建过程需要主要到很多功能方面的需求，首先要做的是虚拟网络在逻辑上的隔离性和连通性。隔离性是指虽然可能在一个物理网内传输，但是不同的虚拟网络流量是隔离的，而且流量无法访问其他的虚拟主机。虚拟网的连通性指的是流量在同一个虚拟网络内具有任意可达性，即可以访问内部虚拟网络的任意主机。网络内的主机都能够通过北斗卫星导航以及北斗地基增强系统实现全网同步授时。

##### 4.1.2 原型环境要求

网络空间中精准时空体系的表征与建模，基于北斗卫星导航系统及其高精度时空信息感知技术，在网络空间中建立精准时空体系。针对融入精准时空信息的网络空间多样异构与动态时变的特点，建立适合移动环境下的网络坐标系统，实现准确高效的网络测量与计算，提供信息空间的时空统一建模方法。具体内容如下：

基于北斗卫星导航系统的高精度时间同步技术，研发高精度的定位时间同步终端及网络集成技术，北斗支持下单机时间同步精度优于20ns，多机同步精度优于5ns。研究基于北斗地基增强系统的整网高精度时间同步理论与方法，达到整网关键节点1ns的时间同步精度。

研究网络空间中时空基准完好性实时监测与精度评估技术，提升时空基准维持与评估能力，确保网络空间中精准时空体系的可靠性。

研究精准时空基准条件下，网络信息的空间定位方法与路由协议。利用卫星导航定位技术，在网络空间中构建高精度时空

体系；研究对网络信息进行精准时空标识的“时空戳”方法以及相应路由协议，实现对网络信息的精准定位。探索无线传感网与互联网的异构组网中精准时空信息的作用机制与路由技术。

研究精准时空体系下的网络坐标系统构建理论。研究精准时空体系下网络空间与欧式空间的映射模型，提供准确、高效、鲁棒的网络坐标计算方法；探索移动环境中，基于移动设备实时定位能力的网络坐标获取与网络状态测量技术。

研究精准时空体系下信息空间的时空统一建模方法。根据时空关系的同一性及相互作用，建立多维、多层次时空模型，分析模型中的映射关系、转换机制以及语义表达与推理，形成信息空间的统一时空模型。研究对时空对象进行表示和推理的方法，实现多模型协同。

如图所示，是原型设计的SDN环境模型原理图。从图中我们看到，SDN技术在里得到了最大的应用，模型图的两侧是系统的计算资源，RYU控制作为SDN控制器主要负责转发逻辑，OpenvSwitch是交换机的主要构成。通过以上的实验设计，就可以通过再RYU控制器上对APP进行开发，以达到控制Open vSwitch交换机转发逻辑的目的，网络虚拟化功能得以实现，同时能够实现宽带保障功能。GNSS全网授时和位置定位不断为虚拟网络提供精准的时空信息。

#### 4.2 系统平台总体设计

基于SDN的网络环境搭建系统构成和管理架构，依次为租户管理层、控制层和物理网络层。租户管理层主要是对租户的网络实施来进行接收、分析、响应。控制层主要作用是接收物理网络层的通信和相关资源的注册，能够感知网络设备和链路资源的状态变化。具体到功能模块，主要有南向接口、租户管理

接口、拓扑检测、网络资源状态池、广播风暴避免，流量管理和监控模块等。基础架构层主要是指物理网络层和OpenFlow虚拟交换机，通过流表（Flow Table）、OpenFlow协议、OpenFlow安全传输通道（Secure Channel）这三部分构成，OpenFlow交换机与远程控制器的通信通过安全通道来实现。

#### 4.3 应用框架的设计

本设计的主要部署环境是基于Ubuntu16.04.4 LTS，Linux内核版本是4.13.0-38-generic 仿真实验平台是Mininet2.3.0d1，SDN的控制器选择的版本是Ryu4.2.3，设计的核心是对网络虚拟化环境中的Ryu控制器进行开发，如下图所示，编程语言上采用Python语音对Ryu控制器进行开发，应用模块主要包括三个模块，交换机控制模块（通过SSH和OVS交换机进行通信），网络虚拟化控制逻辑模块（对数据平面的各种网络资源和物理设备进行维护）和虚拟网络信息库模块（利用Ryu提供的API实现整个网络进行虚拟化逻辑）。

#### 4.4 导航院接收机架站操作步骤：

##### 4.4.1 硬件设备假设

1. 楼顶架设好天线及相关仪器，在上面连接固定好天线电缆，接入室内
2. 按图在接收机上连接线路（分别为左边的天线，最下面是网线，最右边为端口及电源线），然后开启接收机。  
注：下图为网页连接的情况，串口是另外一种情况。
3. 重新设置接收机IP地址，观察电脑IP，更改最后一位(接收机操作步骤：按键切换到IP界面，长按OK键，DHCP已禁用，然后继续ok，然后修改IP)，重启接收机。
4. 观察接受机屏幕提示，看网络是否连接。
5. 打开网页，输入接收机IP，账号wnlbs，密码就是双击网页，显示可以复制的英文，然后复制。
6. 进网页具体操作。

##### 4.4.2 网页连接：

1. 首要任务是在服务器上输入与接收机显示的同一IP地址，从而组件同一本地网。
2. 可以根据需要更改存储路径，使数据访问更加方便。
3. 在I/O的分类设置模块里，进行具体端口的设置，RTCM设置和TC18设置（格式设置），传输协议采用TCP传输协议模式。
4. 基本设施搭建完毕后，完善基础设置，配置完成后，可以查看其他的基本信息

##### 4.4.3 串口连接：

1. 具体指令参照上次发的文件(包括：更改串口，收发数据等指令)
2. 查询串口信息（常用操作）

##### 4.4.4 访问数据方法设置（网页和串口）

如果只拿接收机的数据的话，在国软登上接收机的页面，设置NTRIP

将你想要让谁访问的那个人的IP、端口告诉接收机

让接收机将数据推到那个端口上即可，将数据推送到导航院、导航中心。

##### 4.4.1 网页

下两图是IO配置，按1设定，2是我自己当时定好拍的一张。

下图是接收机状态活动情况。

##### 4.4.2 串口

运用RTKNAVI进行接收机状态活动情况的观察。

当前接收机定位情况随时间变化图

#### 4.5 本章小结

本章主要系统的需求进行了进一步的分析，并且明确了技术研究路线和模型搭建，对平台进行了总体的设计，给出了应用框架设计的基本情况。同时介绍了搭建实验的环境，包括硬件环境和系统环境。

6. 第五章时空网络坐标系性能分析与优化		总字数：9716
相似文献列表 文字复制比：5.7%(550) 疑似剽窃观点：(0)		
1	IP网络坐标抖动感知与慢启动抑制 王聪;张凤荔;刘梦娟;王勇; - 《电子科技大学学报》 - 2012-11-30	3.7% ( 355 ) 是否引证：是
2	网络空间嵌入模型与应用研究 王聪(导师：张凤荔) - 《电子科技大学博士学位论文》 - 2013-10-08	3.6% ( 346 ) 是否引证：否
3	基于大规模分布式网络的网络坐标系统研究 刘亚宁(导师：堵宏伟) - 《哈尔滨工业大学硕士学位论文》 - 2015-12-01	0.6% ( 58 ) 是否引证：否
4	HAR-RV及其扩展预测模型研究 张鹏云(导师：吴风云) - 《西南交通大学硕士学位论文》 - 2014-05-05	0.6% ( 56 ) 是否引证：否
5	浙江省流感预警技术研究 卢汉体(导师：沈毅) - 《浙江大学硕士学位论文》 - 2015-05-01	0.5% ( 53 ) 是否引证：否
6	生物再生生命保障地基实验系统气密性评价 胡大伟;付玉明;杜小杰;张金晖;刘红; - 《载人航天》 - 2016-05-11 0	0.5% ( 52 ) 是否引证：否
7	不同长度基线数据的传染病预警方法比较研究 张洪龙(导师：杨维中;兰亚佳) - 《中国疾病预防控制中心硕士学位论文》 - 2011-06-30	0.5% ( 52 ) 是否引证：否
8	半导体过程Run-to-Run控制方法研究 李佳燧(导师：马明达) - 《哈尔滨工业大学硕士学位论文》 - 2013-07-01	0.5% ( 52 ) 是否引证：否
9	VaR理论及其在我国金融市场中的应用 李瑞波(导师：郑丕谔) - 《天津大学硕士学位论文》 - 2004-12-01	0.5% ( 52 ) 是否引证：否
10	VaR模型在测算我国产险公司资产风险资本额中的应用 汪婷婷(导师：陈迪红) - 《湖南大学硕士学位论文》 - 2006-09-20	0.5% ( 52 ) 是否引证：否
11	商业银行市场风险计量与经济资本配置研究 李亮仔(导师：谭德俊) - 《湖南大学硕士学位论文》 - 2008-10-13	0.5% ( 52 ) 是否引证：否
12	基于历史模拟法的市场风险VaR模型改进研究 张新建(导师：陈晶萍) - 《哈尔滨工程大学硕士学位论文》 - 2008-04-01	0.5% ( 52 ) 是否引证：否
13	基于MES的加工过程质量控制与预测研究 闫绪国(导师：刘长安) - 《山东大学硕士学位论文》 - 2015-05-24	0.5% ( 52 ) 是否引证：否
14	功率放大器非线性特性及矫正技术研究 许高明(导师：刘太君) - 《宁波大学博士学位论文》 - 2015-01-09	0.5% ( 52 ) 是否引证：否
15	基于支持向量机的自动加工过程质量控制方法研究 朱波(导师：刘飞) - 《重庆大学博士学位论文》 - 2013-03-01	0.5% ( 49 ) 是否引证：否
16	基于轨迹的无线传感器网络路由算法研究 葛峰(导师：郑明春) - 《山东师范大学硕士学位论文》 - 2009-06-03	0.5% ( 49 ) 是否引证：否
17	我国寿险业运用风险资本法的资产风险系数研究 莫钧钰(导师：刘云龙) - 《北京工商大学硕士学位论文》 - 2009-06-01	0.5% ( 49 ) 是否引证：否
18	基于智能学习模型的制造过程质量控制理论与方法论研究 余建波(导师：奚立峰) - 《上海交通大学博士学位论文》 - 2009-04-01	0.5% ( 49 ) 是否引证：否
19	T-Vivaldi:TIV感知的IP网络坐标系统 黄琼;刘熙;阳小龙;隆克平; - 《电子科技大学学报》 - 2012-01-30	0.3% ( 30 ) 是否引证：是

原文内容 红色文字表示存在文字复制现象的内容; 绿色文字表示其中标明了引用的内容

#### 第五章时空网络坐标系性能分析与优化

##### 5.1 网络坐标系

网络在服务人们、提供共享信息的同时，网络性能已成为了人们关注的重点，这是因为网络服务质量的提示有赖于网络性能的提高，因而如何更快的获取网络上的信息已经成为了一个研究热点。网络坐标系统就是为了提高互联网距离测量效率而提出的。自2002年提出GNP[2]算法以来，现在已有基于中心式的如GNP[2]、PIC[10]和基于非中心式的如NPS[11]、Vivaldi[3]等时延预测机制，它们都以如何有效快速的获取网络节点间时延作为研究重点，建立N维坐标系并将网络节点放入其中，通过计算节点坐标距离来作为网络时延的预测值。

##### 5.1.1 随机延迟现象



在网络系统中，时延可以分为两种，一种是单向时延（One-way Delay，OWD），另一种是往返时延(Round Trip Times，RTT)。单向时延指的是一个报文或分组从一个网络的一端传送到另一个端所需要的时间，往返时延则比单向时延多了一个返回时间，即一个报文或分组从一个网络的一端传送到另一个端，另一个端接收后发生反馈的一个报文或分组回这一端所需要的时间。单向时延和往返时延都由排队时延，传播时延，传输时延，本文主要考虑的是往返时延RTT。

造成网络时延长的因素有很多：网络本身的物理性能下降，如线路老化，路由器处理能力下降；节点发送的报文太长，包太大；网络环境拥塞，网络负载分担不均匀。当网络环境拥塞时，原先某个节点发送的包到另一个节点后，其反馈包由于路由器路径选择，可能选择了一条不一样的路径回来，这会导致实测时延急剧增大，而这种情况则称之为随机延迟污染[7]。

由于网络坐标系统的建立依赖于实测时延，当实测时延出现随机延迟污染现象时，该实测时延不具有可靠性，并严重会降低网络坐标系统的准确性，从而降低了其实用性。

### 5.1.2 三角不等式违例现象

C300100100AB 在网络中，由于网络自身物理因素，负载均衡，路由策略等因素，使得节点间时延经常出现三角不等式违例现象[5]。

#### 图1 三角不等式违例现象

如图所示，节点AB间时延与节点BC间时延总和为200，小于节点AC间时延300。而在网络坐标系统中，将这三节点放入几何坐标系(以欧式坐标为例)时，欧式坐标中无法找到三个点，使它们间距离同时满足ABC间的距离，而节点会努力调整自身坐标，使节点间预测时延与实测时延的总体误差最小，其结果就是AB与BC这两边会被拉长，AC会被缩短，同时节点ABC会不停在一个区域内振荡。同时TIV现象在实际网络中广泛存在，这会降低网络坐标系统的准确性。

在Vivaldi算法中，将节点视为由弹簧相连的点，则在出现TIV现象时，AB与BC这两边会被拉长，AC会被缩短，节点ABC均会偏离实际位置，不停抖动，这是由于Vivaldi算法中对坐标的一次更新仅参考一个邻居节点的一次RTT与邻居节点误差因子 $e$ ，缺少对RTT可靠性的判断，从而使系统动荡，准确性下降。

### 5.2 随机延迟污染现象及抑制方法

网络坐标系统的构建依赖于节点间的实测时延，但由于网络中存在的随机延迟污染现象降低了网络坐标系统的实测时延的准确性。常用的解决办法是对节点间实测时延进行平均化处理，再由处理过的平均值的时延矩阵作为构建网络坐标系统的参考。然而经由平均化处理过的平均值，无法反映实际网络实测时延的变化，同时也使节点坐标偏离了正确的位置，扭曲了节点定位。

#### 5.2.1 随机延迟污染现象数据分析

本文的时延数据来自文献[15]的数据集，该数据集有1953个节点，共97251194条记录，这些节点都有至少9个邻居节点，通过这些数据来进行随机延迟污染分析。节点延迟分布如下图2所示：

#### 图2随机延迟污染数据分析

其中时延在0-100ms之间的记录有约8830万条，约占总体90%，剩余约600万条记录在100-500ms之间，有约90万条时延记录在500-1000ms之间，1000-2000ms之间的有约64万条记录，而3000以上也有近100万条记录，这说明了随机延迟污染是普遍存在的。而随机延迟污染现象会使以实测时延构建的网络坐标系统的准确性下降，节点坐标动荡，性能下降。因此，抑制随机延迟污染，减少实测时延不正常波动，对于提升网络性能有着重要意义。

### 5.3 抑制随机延迟污染的方法

#### 5.3.1 MP-Filter抑制方法

Harvard 大学的 J.Ledlie 等人研究延迟污染现象并提出了MP-Filter[8]的抑制方法。该方法的主要思想是基于滑动窗口滤波，其主要步骤如下：根据实测时延顺序，放入一个滑动窗口，其滑动窗口长度  $W(W=4)$ ，并将窗口  $W$  内的时延按进行升序排序，选择一个合适的百分位  $P=0.25$ ，然后选择第  $N$  位( $N=P*W=1$ ，即最小时延值)时延用于更新坐标。经过仿真实验的验证发现，当  $P=0.25$  和  $W=4$  的时候，MP-Filter 对波动有较好的抑制作用并且能够将原始实测时延的统计特征保留下来，其系统的各方面的性能指标是整体最优的。

然而MP-Filter的抑制方法在抑制随机污染方面有一定成效，但该方法舍弃了部分实测时延，没有保持原始的实测时延，这会使得其处理结果偏离实测时延，扭曲了节点坐标，使得准确度下降[9]。

#### 5.3.2 TO-Filter抑制方法

TO-Filter抑制方法(Timeout Filter)是本文提出的一种抑制随机延迟污染的方法，其思想参照了TCP超时重传机制，通过计算测量来获得当前RTT的一个估计值，并以该RTT估计值为基准来判定是否出现了随机延迟污染。原理是：对于节点 $i$ ，获得来自节点 $j$ 的每一个 $RTT_{i,j}$ ，计算 $MeanRTT_{i,j} : MeanRTT_{i,j} = 1-\alpha \cdot MeanRTT_{i,j} + \alpha \cdot RTT_{i,j}$  (3.1)

$MeanRTT_{i,j}$ 是 $RTT_{i,j}$ 的指数加权移动平均(Exponentially Weighted Moving Average, EWMA)，这种平均能很好的反映网络的当前拥堵情况，其中 $\alpha$ 的参考值是 $\alpha=0.125$ (即1/8)。同时除了计算RTT的估计值，还要计算RTT的变化。定义 $DevRTT_{i,j}$ ，用于估计 $RTT_{i,j}$ 与 $MeanRTT_{i,j}$ 的偏离程度： $DevRTT_{i,j} = 1-\beta \cdot DevRTT_{i,j} + \beta \cdot |RTT_{i,j} - MeanRTT_{i,j}|$  (3.2)

$DevRTT_{i,j}$ 是 $RTT_{i,j}$ 与 $MeanRTT_{i,j}$ 的差值的EWMA，这里 $\beta$ 的推荐值为1/4即 $\beta=0.25$ 。

当节点 $i$ ，获得来自节点 $j$ 的一个 $RTT_{i,j}$ 时，其估计值为 $MeanRTT_{i,j} + 4 \cdot DevRTT_{i,j}$ 。首先进行随机延迟污染的检测，如果 $RTT_{i,j} > MeanRTT_{i,j} + 4 \cdot DevRTT_{i,j}$ 则视为出现了随机延迟污染，此时的 $RTT_{i,j}$ 可能是极大的，不具有可靠性，此时先计算 $DevRTT_{i,j}$ 与 $MeanRTT_{i,j}$ 的值，然后让 $RTT_{i,j} = MeanRTT_{i,j}$ 作为输出。

## 5.4 网络坐标中三角不等式现象级抑制方法

### 5.4.1 T-Vivaldi TIV感知的坐标系统

T-Vivaldi TIV感知的坐标系统是对三角不等式违例(TIV)现象[5]造成网络坐标系统振荡而提出的一种对TIV进行检测和抑制的方法。其主要思想是用三角不等式条件，随机选取部分邻居节点来检测坐标更新所依据的RTT值是否构成TIV来检测违例边，并使用违例系数度量其违例程度。为了达到了抑制TIV对坐标系统的影响的目的，可以通过根据该系数的值抑制违例边对坐标的更新来实现

具体步骤是：对节点i获得来自节点j一个 $RTT_{i,j}$ ，如果在节点i的邻居节点中存在节点k与节点j也是邻居，则获取节点i，节点j，节点k间的时延，并计算违例系数： $\lambda = RTT_{i,j}RTT_{i,k} + RTT_{k,j}$  (4.1)

如果 $\lambda > 1$ 时，则认为 $RTT_{i,j}$ 是违例边，应减少其更新坐标的程度，对坐标的更新系数要乘上 $1/\lambda$ ；否则当 $\lambda \leq 1$ 时，则认为 $RTT_{i,j}$ 不是违例边。

尽管T-Vivaldi算法对抑制坐标抖动有一定成效，但由于TIV现象可以存在于任意三个节点之间，因此仅仅选择部分的邻居节点并无法检测到所有TIV现象；而若要检测所有邻居节点，则开销会变得十分巨大。

### 5.4.2 抖动感知的慢启动抑制算法

文献[6]则提出一种基于坐标抖动感知的慢启动抑制方法，将Vivaldi算法的求解过程转化为非线性方程组的，然后利用迭代求解算法来对其进行求解，由于方程组具有一定的矛盾性，借此提出迭代因子的自适应估计问题。其原理是将Vivaldi算法的迭代步作为子步(Sup-step)，将多个子步聚合为一个超步，在超步中感知节点当前状态，收敛过程中超步会给定一个较大的迭代步长加快收敛；收敛完成后，超步会减小迭代步长以抑制坐标抖动。

其感知方法[6]为：对于某个时间切片，在节点的某个时间切片中，计算邻居节点与该节点的坐标距离与测量距离误差的均值为单位化误差，如节点i在时刻t的坐标为 $x_i(t)$ ， $|Neighbor(i)|$ 为节点i的邻居节点个数，则单位化误差 $err(t)$ 为下列公式(4.2)所示： $err(t) = \frac{1}{|Neighbor(i)|} \sum_{j \in Neighbor(i)} (RTT_{i,j} - |x_i(t) - x_j(t)|)$  (4.2)

节点的单位化误差会随着算法的不断运行逐渐下降，直到进入一个反复振荡的抖动状态。如果节点i在某个时刻的单位化变大，即 $err(t) > err(t-1)$ 时，则视为发生了抖动；反正，则认为算法收敛过程仍在继续进行中，我们可以通过增加本轮迭代的迭代步长来加快收敛的速度。

在执行前，需要将最小步长迭代因子 $\epsilon$ 以及最大迭代因子定义为1，定义步长增长因子为I为放大器增加迭代步长，定义步长衰减因子h为衰减器减小迭代步长，cc为Vivaldi算法中步长调节因子。

对于一次具体超步步骤[6]是：

经过仿真实验，在 $I=0.5$ ， $h=1.1$ 时，该方法有着良好抑制抖动能力，能将节点坐标抖动的程度降低83.5%以上，同时具有较快的收敛能力。但其算法仅考虑了TIV现象造成的抖动，对于其他如随机时延污染现象以及网络攻击造成的抖动没有防范措施，这可能使得节点坐标的更新过早的进入抑制状态，或者迟迟无法收敛，使网络坐标系统的准确性下降。

### 5.4.3 能量更新抑制方法

文献[16]则提出了一种能量更新抑制方法(Energy Method)，该方法的主要思想是：预先设置一个开始窗口WS(Window Start)和一个当前窗口WC(Window Current)，分别用于保存节点坐标的历史记录，区别在于WS只保存最开始的n1个节点坐标记录，当WS已经储存了n1个节点坐标记录后将不再更新，而WC是不断更新的，它储存着最新的n2个节点坐标记录。将WS和WC中储存的节点坐标统称为系统级坐标，则只有在系统级坐标的变化程度超过规定数值Y时，才对节点更新其节点应用级坐标X。其中系统级坐标的作用是抑制TIV现象造成的节点坐标抖动，而应用级坐标X才是用于预测时延的。该方法用于计算系统级坐标的变化程度的公式为能量模型 $e()$ ，具体如下图公式所示。 $e_{WS,WC} = n_1n_2n_1 + n_22n_1n_2i = 1n_1j = 1n_2ai - bj - 1n_12i = 1n_1j = 1n_1ai - aj - 1n_22i = 1n_2j = 1n_2bi - bj$  (4.3)

其中a，b分别为WS和WC中储存的节点坐标，只有当 $e(WS, WC)$ 的值超过规定数值Y时，才对节点更新其节点应用级坐标X，其X的取值为当前窗口WC中储存的所有坐标的平均值。

能量更新抑制方法[16](Energy Method)通过计算最初和最近的节点坐标记录变化程度，来对用于预测时延的应用级坐标的更新进行限制，从而减少了因TIV现象造成的坐标盲目更新。然而该方法存在着两大缺点：一是对于不同的网络环境，其变化程度阈值Y的值也需要随着进行调整来适应网络环境，这增大了能量更新抑制方法适应不同的网络环境的难度；二是其用于计算系统级坐标的变化程度的能量模型 $e()$ 计算过于复杂，开销太大，有较高的时间复杂度[9]。

### 5.4.4 稳定抑制Vivaldi算法

稳定抑制Vivaldi算法是本文提出的一种基于Vivaldi算法的改进算法，其主要目标是抑制随机延迟污染现象与TIV现象。该算法主要分为三个部分，第一部分是随机延迟污染的检测，第二部分是对网络坐标抖动的检测，第三部分是对坐标抖动进行抑制。其思想参照了TCP超时重传机制，通过计算并保存节点获得的每一个实测时延的估计值，通过比较实测延时与估计值，来判断是否出现了随机延迟污染，同时通过计算预测延时与均值估计值的差值均值来判断是否出现了坐标抖动；在抑制抖动方法中，选择一种递减函数作为抑制函数来减少坐标更新程度。

## 5.5 基于Vivaldi算法的抑制方法

针对在实际网络坐标系统中，由于各种随机延迟污染以及三角不等式违例现象造成网络坐标振荡，本文提出了一种基于Vivaldi算法的稳定抑制Vivaldi算法(Stable inhibition Vivaldi)。该算法分为三部分，第一部分是随机延迟污染的抑制，该部分使用了本文提出的TO-Filter抑制方法，第二部分是对网络坐标抖动的检测，第三部分是对坐标抖动进行抑制。



### 5.5.1检测随机延迟污染

该部分使用了本文提出的TO-Filter抑制方法：当节点i，获得来自节点j的一个RTT<sub>i,j</sub>时，首先进行随机延迟污染的检测，如果RTT<sub>i,j</sub> > MeanRTT<sub>i,j</sub> + 4·DevRTT<sub>i,j</sub>则视为出现了随机延迟污染，此时的RTT<sub>i,j</sub>可能是极大的，不具有可靠性，此时先计算DevRTT<sub>i,j</sub>与MeanRTT<sub>i,j</sub>的值，然后让RTT<sub>i,j</sub> = MeanRTT<sub>i,j</sub>进入下部分，从而减少不可靠的延迟RTT<sub>i,j</sub>对节点i坐标更新的影响，从而减轻网络坐标系统的抖动。

当RTT<sub>i,j</sub> ≤ MeanRTT<sub>i,j</sub> + 4·DevRTT<sub>i,j</sub>时，则视为此时网络较为稳定，此时三角不等式违例现象是造成网络坐标振荡的主要因素之一。对此，本文提出了一种坐标抖动感知方法。

### 5.5.2坐标抖动感知方法

该坐标抖动感知方法参考了文献[6]的坐标抖动感知方法，文献的坐标抖动感知方法使用了单位化误差的计算方法，在某个时间切片中，在节点的某个时间切片中，计算该节点与邻居节点坐标距离与测量距离误差的均值为单位化误差，单位化误差err(t)为上文公式(4.2)所示。

该方法随着算法的不断运行，节点的单位化误差会逐渐下降，直到进入一个反复振荡的抖动状态。如果节点i在某个时刻的单位化误差增大，即err(t) > err(t-1)时，则视为发生了抖动。

本文对该坐标抖动感知方法进行改进，将上述公式(4.2)中的RTT<sub>i,j</sub>替换为MeanRTT<sub>i,j</sub>，替换的目的是减少个别不可靠的RTT对感知方法的准确性的影响，同时不采用时间片的方法，而是使用

计数的方法，当累计获得N个RTT后才进行err的计算(N=|Neighbor(i)|，即节点i的邻居节点数)，让此时节点i的坐标为xi(t)，本文的坐标抖动感知方法为：errt=j ∈ Neighbor(i)(MeanRTT<sub>i,j</sub>-Xit-Xjt)2Neighbor(i) (5.1)

当errt>errt-1时，视为发生了抖动，则会开始执行第三部分的抑制算法。要注意的是，坐标抖动感知方法只有在RTT<sub>i,j</sub> ≤ MeanRTT<sub>i,j</sub> + 4·DevRTT<sub>i,j</sub>时才执行，否则需要重新计数。

### 5.5.3抑制算法

#### 5.5.3.1抑制算法的原理

在三角不等式违例现象[5]中，三个相连节点间的违例边是最长的，而在实测时延中，越长的时延，越有可能成为违例边，因此，本文的抑制算对于越长的时延，越是减少其对网络节点坐标更新的程度。具体是在Vivaldi算法中，对公式(2.8)中的δ乘上一个系数d，即：δ=ccwd (5.2)d=11+ln1+RTT100 (5.3)

ln(x)是以自然常数e为底的对数。而d的值在(0,+∞)上单调递减，值域为(0,1)。

#### 5.5.3.2抑制算法的退出

值得注意的是，抑制算法只有在出现errt > errt-1之后，并且RTT<sub>i,j</sub> ≤ MeanRTT<sub>i,j</sub> + 4·DevRTT<sub>i,j</sub>时才执行；当RTT<sub>i,j</sub> > MeanRTT<sub>i,j</sub> + 4·DevRTT<sub>i,j</sub>会退出抑制算法，即让d = 1，退化为Vivaldi算法。

#### 5.5.4稳定抑制Vivaldi算法的执行步骤

对于节点i获得来自节点j的一个RTT<sub>i,j</sub>，稳定抑制算法的执行步骤为：

步骤1：进行初始化，让d = 1，计算器n = 0，让errt-1为一个极大数；

步骤2：对随机延迟污染现象进行检测，如果RTT<sub>i,j</sub> > MeanRTT<sub>i,j</sub> + 4·DevRTT<sub>i,j</sub>则执行一次步骤1和步骤3，之后让RTT<sub>i,j</sub> = MeanRTT<sub>i,j</sub>后，跳转到步骤6；

步骤3：计算DevRTT<sub>i,j</sub>与MeanRTT<sub>i,j</sub>的值：DevRTT<sub>i,j</sub>=1-β·DevRTT<sub>i,j</sub>+β·RTT<sub>i,j</sub>-MeanRTT<sub>i,j</sub> (5.4)MeanRTT<sub>i,j</sub>=1-α·MeanRTT<sub>i,j</sub>+α·RTT<sub>i,j</sub> (5.5)

步骤4：感知坐标抖动，若此时d不等于1，说明已经开始抑制算法，跳转到步骤6；否则计算器n = n + 1，如果n < |Neighbor(i)|，跳转到步骤6。

步骤5：让n = 0，计算errt：errt=j ∈ Neighbor(i)(MeanRTT<sub>i,j</sub>-Xit-Xjt)2Neighbor(i) (5.6)

若errt > errt-1则让d = 0，否则让errt-1 = errt。

步骤6：更新坐标

1) 如果d小于1，用公式(5.3)计算d。

2) 用公式(2.5)计算误差权值ω。

3) 用公式(2.6) 计算两点距离相对误差es。

4) 用公式(2.7)更新自身误差估计ei。

5) 用公式(5.2)计算δ。

6) 用公式(2.9)更新本地坐标xi。

#### 5.5.5稳定抑制Vivaldi算法的性能分析

为了检测稳定抑制Vivaldi算法的性能，本文采用的时延数据来自文献[15]的实测时延数据集，并选取了其中231个节点，1907419条RTT记录，这些节点都有至少9个邻居节点。

##### 5.5.5.1准确性分析

为了度量算法的准确性，利用下面公式来定义相对误差RE：RE<sub>i,j</sub>=RTT<sub>i,j</sub>-Xi-XjMINRTT<sub>i,j</sub>, Xi-Xj (5.7)

其中Xi与Xj分别为节点i与邻居节点j的坐标，RTT<sub>i,j</sub>为节点间实测时延，||Xi-Xj||为节点间预测时延，MIN(a,b)表示a，b间的最小值。相对误差RE可以很好的表示实测时延与预测时延的相对差异性。将1907419条RTT记录作为一次迭代，20次迭代后

，其相对误差RE累计分布图如下图3：

图3 相对误差RE累计分布图

从图3中可以看出，稳定抑制Vivaldi算法中，相对误差小于1的节点占了总体77.60%，而Vivaldi算法中，相对误差小于1的节点占了总体73.32%，并且稳定抑制Vivaldi算法的相对误差RE累计分布始终比Vivaldi算法高，说明了稳定抑制Vivaldi算法的准确性比Vivaldi算法更高。

除了使用相对误差RE来度量算法的准确性，本文还使用了另一种度量方法。对于节点i获得来着节点j的一个RTT，在更新完坐标后，此次更新误差为： $e_{i,j}=RTT_{i,j}-x_i-x_j/2$  (5.8)

则对于整个网络坐标系统中的n个测量RTT，定义整体误差均值为： $e=RTT_{i,j}-x_i-x_j/2n$  (5.9)

则整体误差均值e反映了整个网络坐标系统的误差程度，整体误差均值e越大，网络坐标系统的误差越大。将1907419条RTT记录作为一次迭代，计算每一次迭代的整体误差均值，具体如下图4所示：

图4 整体误差均值

从图4可以明显看出Vivaldi算法以及稳定抑制Vivaldi算法都在较少随迭代次数内随着迭代次数增加而减少整体误差，Vivaldi算法在第3次迭代后，其整体误差均值在55.14上下波动，而稳定抑制Vivaldi算法在第3次迭代后，其整体误差均值在53.29上下波动，说明了稳定抑制Vivaldi算法比Vivaldi算法有着更高的准确性，其准确性提高了3.35%。同时稳定抑制Vivaldi算法的整体误差均值一直比Vivaldi算法低，说明了稳定抑制Vivaldi算法具有比Vivaldi算法更快的收敛能力。

5.5.5.2抑制抖动能力分析

对于节点i，其坐标 $x_i$ 在m次更新后的期望值 $u_i$ ，以及 $x_i$ 与 $u_i$ 的距离方差 $s_i$ ，计算公式如下公式(5.10): $u_i=x_{ins_i}=x_i-u_i/2m$  (5.10)

其距离方差 $s_i$ 反映了节点i的抖动程度，方差 $s_i$ 越大，该节点的抖动程度越大。则由n个节点组成的网络坐标系统的整体抖动方差S：

$S=s_i=1/n \sin$  (5.11)则反映了网络坐标系统抖动程度。同样将1907419条RTT记录作为一次迭代，计算每一次迭代整体抖动方差，具体如下图5所示：

图5整体抖动方差

图5中反应了，算法刚开始执行时由于算法收敛造成坐标的剧烈变化，Vivaldi算法第一次迭代的整体抖动方差为141.35，而稳定抑制Vivaldi算法第一次迭代的整体抖动方差为222.34，这在一定程度上反应了稳定抑制Vivaldi算法有着比Vivaldi算法更快的收敛速度。而当Vivaldi算法在第7次迭代后，其整体抖动方差在17.25上下波动，而稳定抑制Vivaldi算法在第6次迭代后，其整体抖动方差在15.75上下波动，说明稳定抑制Vivaldi算法比Vivaldi算法有着更好的抑制抖动能力，其抑制效果抖动提升了8.7%。

5.6 本章小结

随机延迟污染是由于网络拥塞，网络拓扑结构发生变化，不同的数据包及其响应可能沿不同路径转发而造成的。本章通过数据分析，阐述了随机延迟污染现象的普遍存在性。因而抑制随机延迟污染现象对提升网络性能有着相当的重要性。介绍了一种现有的随机延迟污染抑制方法MP-Filter，同时提出了TO—Filter随机延迟污染抑制方法。

由于网络中普通存在的TIV现象，使得在将网络节点置入几何空间的过程中，节点难以找到合适的位置来反映TIV现象，导致节点坐标的抖动。因而抑制TIV现象，减少节点坐标的抖动，对于提升网络坐标系统准确性有着很大意义。本章介绍了三种现有的用于抑制TIV现象的网络坐标距离预测算法，并对其优缺点进行了分析。T-Vivaldi算法采用随机选取节点的邻居节点来测量是否造成TIV现象，从而抑制TIV现在造成的坐标抖动，然而由于TIV现象，仅选取了少量邻居节点无法找到所有TIV现象，对TIV的抑制效果有限。抖动感知的慢启动抑制算法则采用迭代因子自适应的方法，通过抖动感知来决定增长或减少迭代因子，从而在保证收敛速度的同时，抑制节点坐标的抖动。然而该抖动感知方法仅考虑了TIV现象，对随机延迟污染现象与网络攻击没有进行考虑，这可能导致其准确度下降。能量更新抑制方法通过限制应用级坐标更新来减少因TIV现象造成的坐标盲目更新，然而其适应不同网络环境的难度大，开销也高。

本章提出了稳定抑制Vivaldi算法，该算法能同时抑制随机延迟污染现象和TIV现象，经过仿真实验表明，稳定抑制Vivaldi算法能够在保证略高于Vivaldi算法准确性的同时，抑制坐标的抖动，其抑制能力提示了8.7%。

7. 第六章文章总结 总字数：2105

相似文献列表 文字复制比：0%(0) 疑似剽窃观点：(0)

原文内容 红色文字表示存在文字复制现象的内容; 绿色文字表示其中标明了引用的内容

第六章文章总结

首先，在北斗高精度时空信息感知理论与方法的指导下，探索北斗高精度定位时间同步技术，建立整网高精度时间同步数学模型，突破北斗高精度定位时间同步终端关键技术；研究与网络融合的终端集成技术，构建基于北斗卫星导航系统的网络空间高精度时空体系。研究系统监测评估理论，突破系统完备性监测技术，实现对时空信息精度的实时监测和评估，确保所构建精准时空体系的可靠性。

然后，基于高精度时空体系，从网络信息与网络空间两个层次研究精准时空信息的融合理论。一方面，研究网络信息单元

中精准时空标识的嵌入,修改现有网络协议,改时间戳为-时空戳 $\Pi$ ,实现对信息的空间精准定位。另一方面,从几何与逻辑两个角度研究网络信息空间的表征与建模,实现基于精准时空信息的网络坐标系统以及信息空间的时空统一建模。设计分布式、地域邻近聚类的分层式网络坐标计算系统,采用矩阵分解模型的计算方法,降低因TIV因素带来的预测误差,探索利用移动设备实时定位能力提供精确度补偿的网络坐标计算方法。采用项目组原创的本体元建模方法从语法、语义、语境对异构多元网络中的时空对象进行统一时空建模,建立语义表征与推理机制,探索多模型协同技术。

网络坐标系统是一种网络节点距离预测机制,能够有效快速的获取网络节点间的时延信息,对于提升网络性能,优化网络应用有着很大的帮助。但由于网络环境的复杂,网络坐标系统受到很多因素的影响,如由于网络拥塞,网络拓扑结构发生变化,不同的数据包及其响应可能沿不同路径转发而造成的随机延迟污染,以及在将网络节点放入几何坐标系时,产生的三角不等式违例现象,都可能造成了网络坐标的动荡,降低了网络坐标系统的准确性。

Vivaldi是基于模拟的时延预测机制,是全分布式的,无需额外设立基站设施,对Internet拓扑变化有较好的适应性。然而Vivaldi对于随机延迟污染现象与TIV现象并没有很好防范策略,本文则对这两个方面展开工作:

对于随机延迟污染现象,本文介绍了随机延迟污染抑制方法MP-Filter,同时提出了TO-Filter随机延迟污染抑制方法。其次对TIV现象,提出了稳定抑制Vivaldi算法,其特点是同时考虑随机延迟污染以及TIV现象,其思想是通过计算并保存节点获得的每一个实测时延的估计值,通过比较实测延时与估计值,来判断是否出现了随机延迟污染,同时通过计算预测延时与均值估计值的差值均值来判断是否出现了坐标抖动;在抑制抖动方法中,选择一种递减函数作为抑制函数来减少坐标更新程度。

然而本文依然存在许多不足之处:本文目前的研究仅仅只在理论分析与仿真测试阶段,没有在真实的网络平台环境中进行构建与测试。另外本文使用的网络节点间实测时延数据源于网站以前的数据集,时效性和真实性不够充足。但限于本人能力不足,难以获取现实网络节点间实测数据。对于本文提出的TO-Filter抑制方法与稳定抑制算法仍具有不足之处,缺少足够的实测时延数据进行测试。同时TO-Filter抑制方法对于随机延迟污染现象仅能起到有限的抑制效果,无法很好的避免随机延迟污染现象;而稳定抑制算法对TIV现象造成的坐标抖动抑制效果有限,受限于抑制函数的选取。

现在,时延测量对提升网络性能具有相当的意义,现阶段的网络坐标系统对于网络节点距离的预测值与实际值仍具有较大的差距,仍有待研究。

#### 参考文献

- [1] D. Raychaudhuri, N. B. Mandayam, -Frontiers of Wireless and Mobile Communications,|| Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 4, pp. 824-840, 2012.
- [2] N. Radia, Y. Zhang, M. Tatipamula, V. K. Madiseti, -Next-Generation Applications on Cellular Networks: Trends, Challenges, and Solutions,|| Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 4, pp. 841-854, 2012.
- [3] C. X. Wang, F. Haider, X. Gao, X. H. You, et al., -Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks,|| IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 2, pp. 122-130, 2014.
- [4] K. D. Kim, P. R. Kumar, -Cyber-Physical Systems: A Perspective at the Centennial,|| Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. SI, pp. 1287-1308, 2012.
- [5] N. M. Freris, H. Kowshik, P. R. Kumar, -Fundamentals of Large Sensor Networks: Connectivity, Capacity, Clocks, and Computation,|| Proceedings of the IEEE, vol. 98, no. 11, pp. 1828-1846, 2010.
- [6] M. J. Freedman, K. Lakshminarayanan, D. Mazières, -OASIS: Anycast for any service,|| In Proc. 3rd USENIX/ACM Symp. Networked Systems Design and Implementation (NSDI'06), San Jose, CA, USA, May, 2006, pp. 129-142.
- [7] M. Szymaniak, D. Presotto, G. Pierre, V. S. Maarten, -Practical large-scale latency estimation,|| Computer Networks, vol. 52, no. 7, pp. 1343-1364, 2008.
- [8] Y. Chen, Y. Xiong, X. Shi, J. Zhu, et al., -Pharos: Accurate and decentralised network coordinate system,|| IET Commun., vol. 3, no. 4, pp. 539-548, 2009
- [9] 北斗系统公开服务性能规范 (1.0版), <http://www.beidou.gov.cn/>
- [10] Y. Yang, J. Li, A. Wang, J. Xu, et al., -Preliminary assessment of the navigation and positioning performance of BeiDou regional navigation satellite system,|| Sci. China Ser. D, vol. 57, no. 1, pp. 144-152, 2014.
- [11] H. Liu, S. Guo, J. Liu, Z. Tian, et al., -Present status analysis on the construction and application of CORS in China,|| In 2012 Proc. China Satellite Navigation Conf. (CSNC), Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg, pp. 401-409, 2012.
- [12] H. He, J. Li, Y. Yang, J. Xu, et al., -Performance assessment of single- and dual-frequency BeiDou/GPS single-epoch kinematic positioning,|| GPS Solutions, Doi. 10.1007/s10291-013-0339-3, 2013.
- [13] W. Meng, H. Zhang, P. Huang, J. Wang, et al., -Design and experiment of onboard laser time transfer in Chinese Beidou navigation satellites,|| Adv. Space Res., vol. 51, no. 6, pp. 951-958, 2013.
- [14] A. Vespignani, -Predicting the behavior of techno-social systems,|| Science, vol. 325, no. 5939, pp. 425-428, 2009.
- [15] D. J. Watts, S. H. Strogatz, -Collective dynamics of 'small-world' networks,|| Nature, vol. 393, no. 6684, pp. 440-442, 1998.
- [16] A. L. Barabási, R. Albert, -Emergence of scaling in random networks,|| Science, vol. 286, no. 5439, pp. 509-512, 1999.

- [17] R. Albert, R. Jeong, A. L. Barabasi, –Error and attack tolerance of complex networks,|| Nature, vol. 406, no. 6794, pp. 378-382, 2000.
- [18] R. Milo, S. Shen-Orr, S. Itzkovitz, N. Kashtan, et al., –Network motifs: Simple building blocks of complex networks,|| Science, vol. 298, no. 5594, pp. 824-827, 2002.
- [19] G. Palla, I. Derenyi, I. Farkas, T. Vicsek, –Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society,|| Nature, vol. 435, no. 7043, pp. 814-818, 2005.
- [20] M. F. Mason, M. I. Norton, J. D. Van Horn, D. M. Wegner, et al., –Wandering minds: The default network and stimulus-independent thought,|| Science, vol. 315, no. 5810, pp. 393-395, 2007.
- [21] H. Ohtsuki, C. Hauert, E. Lieberman, M. A. Nowak, –A simple rule for the evolution of cooperation on graphs and social networks,|| Nature, vol. 441, no. 7092, pp. 502-505, 2006.
- [22] S. Eubank, H. Guclu, V. S. A. Kumar, M. V. Marathe, et al., –Modelling disease outbreaks in realistic urban social networks,|| Nature, vol. 429, no. 6988, pp. 180-184, 2004.
- [23] R. Milo, S. Itzkovitz, N. Kashtan, L. Boitani, et al., –Superfamilies of evolved and designed networks,|| Science, vol. 303, no. 5663, pp. 1538-1542, 2004.
- [24] A.S. L. Rodrigues, S. J. Andelman, M. I. Bakarr, et al., –Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity,|| Nature, vol. 428, no. 6983, pp. 640-643, 2004.
- [25] A.M. Song, S. Havlin, H. A. Makse, –Self-similarity of complex networks,|| Nature, vol. 433, no. 7024, pp. 392-395, 2005.
- [26] J. Lü, G. Chen, –A time-varying complex dynamical network models and its controlled synchronization criteria,|| IEEE Trans. Auto. Contr., vol. 50, no. 6, pp. 841-846, 2005.
- [27] J. Lü, X. Yu, G. Chen, D. Cheng, –Characterizing the synchronizability of small-world dynamical networks,|| IEEE Trans. Circuits Syst. I, vol. 51, no. 4, pp. 787-796, 2004.
- [28] R. O. Grigoriev, M. C. Cross, H. G. Schuster, –Pinning Control of Spatiotemporal Chaos,|| Phys. Rev. Lett., vol. 79, no. 15, pp. 2795-2798, 1997.
- [29] X. Wang, G. Chen, –Pinning control of scale-free dynamical networks,|| Physica A, vol. 310, no.3-4, pp. 521-531, 2002.
- [30] J. Zhou, J. A. Lu, J. Lü, –Pinning adaptive synchronization of a general complex dynamical network,|| Automatica, vol. 44, no. 4, pp. 996-1003, 2008.
- [31] Y. Y. Liu, J. J. Slotine, A. L. Barabasi, L. Albert, –Controllability of complex networks,|| Nature, vol. 473, no. 7346, pp. 167-173, 2011.
- [32] A. Clauset, C. Moore, M. E. J. Newman, –Hierarchical structure and the prediction of missing links in networks,|| Nature, vol. 453, no. 7191, pp. 98-101, 2008.
- [33] G. Kossinets, D. J. Watts, –Empirical analysis of an evolving social network,|| Science, vol. 311, no. 5757, pp. 88-90, 2006.
- [34] R. Guimera, B. Uzzi, J. Spiro, L. A. N. Amaral, –Team assembly mechanisms determine collaboration network structure and team performance,|| Science, vol. 308, no. 5722, pp. 697-702, 2005.
- [35] Y. Y. Ahn, J. P. Bagrow, S. Lehmann, –Link communities reveal multiscale complexity in networks,|| Nature, vol. 466, no. 7307, pp. 761-764, 2010.
- [36] D. Centola, –The Spread of Behavior in an Online Social Network Experiment,|| Science, vol. 329, no. 5996, pp. 1194-1197, 2010.
- [37] D. Achlioptas, R. M. D'Souza, J. Spencer, –Explosive Percolation in Random Networks,|| Science, vol. 323, no. 5920, pp. 1453-1555, 2009.
- [38] P. J. Mucha, T. Richardson, K. Macon, –Community Structure in Time-Dependent, Multiscale, and Multiplex Networks,|| Science, vol. 328, no. 5980, pp. 876-878, 2010.
- [39] M. Ferdman, A. Adileh, O. Kocberber, S. Volos, et al. –Clearing the clouds: a study of emerging scale-out workloads on modern hardware,|| ACM SIGARCH Comput. Architect. News, vol. 40, no. 1, pp. 37-48, 2012.
- [40] 李德毅, 林润华, 李兵. 中国电子学会云计算专家委员会. 2013云计算发展报告, 科学出版社, 2013.
- [41] R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y. R. Li, R. W. Yeung. –Network information flow,|| IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 46, no. 4, pp. 1204-1216, 2000.
- [42] S.-Y. R. Li, R. W. Yeung, N. Cai, –Linear network coding,|| IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 49, no. 2, pp. 371-381, 2003.
- [43] 陈阳. 网络坐标计算模型与应用研究[D]. 清华大学, 2009.
- [44] Ng T S E, Zhang H. Predicting Internet network distance with coordinates-based approaches[C]// Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE. IEEE Xplore, 2002:170-179 vol.1.

- [45] Dabek F, Cox R, Kaashoek F, et al. Vivaldi: a decentralized network coordinate system[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2004, 34(4):15-26.
- [46] 黄琼, 刘熙, 阳小龙, 等. T-Vivaldi:TIV感知的IP网络坐标系统[J]. 电子科技大学学报, 2012, 41(1):147-151.
- [47] Zheng H, Lua E K, Pias M, et al. Internet Routing Policies and Round-Trip-Times[M]// Passive and Active Network Measurement. Springer Berlin Heidelberg, 2005:236-250.
- [48] 王聪, 张凤荔, 刘梦娟, 等. IP网络坐标抖动感知与慢启动抑制[J]. 电子科技大学学报, 2012(6):921-926.
- [49] Dischinger M, Haeberlen A, Gummadi K P, et al. Characterizing residential broadband networks[C]// ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement 2007, San Diego, California, Usa, October. DBLP, 2007:43-56.
- [50] Ledlie J, Pietzuch P, Seltzer M. Stable and Accurate Network Coordinates[C]// IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. IEEE, 2006:74-74.
- [51] 周亮. IP网络坐标系统的准确性增强技术研究[D]. 电子科技大学, 2011.
- [52] Costa M, Castro M, Rowstron A, et al. PIC: practical Internet coordinates for distance estimation[C]// International Conference on Distributed Computing Systems. IEEE Computer Society, 2004:178-187.
- [53] Ng T S E, Zhang H. A network positioning system for the internet[C]// General Track: 2004 Usenix Technical Conference, June 27 - July 2, 2004, Boston Marriott Copley Place, Boston, Ma, Usa. DBLP, 2004:141-154.
- [54] Kaafar M A, Mathy L, Turetti T, et al. Real attacks on virtual networks:Vivaldi out of tune[C]// Lsad 06: SIGCOMM Workshop on Large-Scale Attack Defense. 2006:139-146.
- [55] Kaafar M A, Mathy L, Turetti T, et al. Virtual networks under attack:disrupting internet coordinate systems[C]// CONEXT Conference. 2006:1-12.
- [56] 赵小茵. 非中心式网络坐标系统安全问题的研究[D]. 清华大学, 2009.
- [57] <https://pdos.csail.mit.edu/archive/p2psim/kingdata/>
- [58] Pietzuch P, Ledlie J, Seltzer M. Supporting network coordinates on PlanetLab[C]// Conference on Real, Large Distributed Systems. USENIX Association, 2005:19-24.
- [59] 黄立. 基于轻量级J2EE框架的异构数据库专用中间件研究[D]. 河北工业大学, 2006.
- [60] 许龙霞. 基于共视原理的卫星授时方法[D]. 中国科学院研究生院(国家授时中心), 2012.
- [61] 陈洪卿, 陈向东. 北斗卫星导航系统授时应用[J]. 数字通信世界, 2011, No.78(6):54-58.
- [62] 陈敏. 基于NTP协议的网络时间同步系统的研究与实现[D]. 华中科技大学, 2005.
- [63] 林涛. 基于精确时钟协议的网络运动控制系统的研究[D]. 河北工业大学, 2007.
- [64] 鲁美连. 嵌入式NTP网络时钟源的研究与开发[D]. 华中科技大学, 2007.
- [65] 张延辉. 智能变电站同步对时网络优化方案研究[D]. 华北电力大学(北京), 2011.
- [66] 徐丹丹. 小型服务器间时间同步软件的设计与实现[J]. 2014.
- [67] 苏伟, 杨斌. 嵌入式分布系统中网络设备的时间同步[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012, 12(2):12-14.
- [68] 王玉洁. 数字化变电站中IEEE1588对时协议的实现[D]. 华北电力大学(北京), 2010.
- [69] 张延辉. 智能变电站同步对时网络优化方案研究[D]. 华北电力大学(北京), 2011.

## 致谢

漫漫人生路, 求学十余载。转眼间, 我在已经度过了七个精彩而充实的春华秋实, 回顾以往的学习和生活, 感慨万千。短短几年间, 我已经从一名不谙世事的珞珈少年, 成长为自强弘毅求是拓新的青年。我有幸认识了很多学生渊博的老师和优秀的同学, 你们是我求学生涯中最大的收获与财富。正是你们的帮助与陪伴, 我才能顺利完成学业, 为硕士阶段的学习画上一个句号。

“饮其流者怀其源, 学其成时念吾师”。在本文完成之际, 首先我要中心的感谢我的导师教授。师从老师虽经年, 但我深为他那高深的学术造诣、严谨的治学态度、平易近人的师长风范所折服, 也为他敏锐的学术眼光、儒雅的个人情怀、博大的胸襟抱负所惊叹。在与李老师的每次交流中我都能获益良多; 感谢李老师在开题、中期及答辩过程中为我指出问题, 并严格要求, 提出中肯的意见。在恩师的无私帮助和鼓励下, 毕业论文才得以顺利完成。恩师言传身教, 使我铭感五内。

感谢的各位领导为我提供了一个国际化的平台, 感谢黄治国书记与崔晓晖院长的辛勤工作; 感谢于敏副书记的知遇之恩与谆谆教诲, 感谢老师、老师和老师对我的培养与教育, 我在四年来的每一次成长都离不开你们在背后付出的汗水和努力。尤其是要感谢的是我的辅导员老师和老师, 你们不仅为我指引了人生的方向, 还帮助我脚踏实地的走好脚下的每一步, 受益终生。

最后, 我要深深地感谢我的父母和家人。二十多年来, 他们不辞劳苦, 起早贪黑, 给予了我求学的支持和舒适的生活环境。然而在外求学数载, 聚少离多, 每每念及, 总是心怀愧疚, 难以自己。谢谢你们付出, 我必将不负你们的殷切期望! 最后, 附上朱熹的《劝学诗》一首, 以期自勉。

少年易老学难成, 一寸光阴不可轻。

味觉池塘春草梦, 阶前梧叶已秋声。

2018年4月珞珈山下



说明：1.总文字复制比：被检测论文总重合字数在总字数中所占的比例

2.去除引用文献复制比：去除系统识别为引用的文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

3.去除本人已发表文献复制比：去除作者本人已发表文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

4.单篇最大文字复制比：被检测文献与所有相似文献比对后，重合字数占总字数的比例最大的那一篇文献的文字复制比

5.指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的

6.红色文字表示文字复制部分;绿色文字表示引用部分

7.本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责



 [amlc@cnki.net](mailto:amlc@cnki.net)

 <http://check.cnki.net/>

 <http://e.weibo.com/u/3194559873/>