

学校编码: 10384
学号: 23320071152179

分类号____密级____
UDC_____

基于网络层析的拓扑推断算法研究

吴文佳

指导老师:
张建中 教授

厦门大学

廈門大學

硕士学位论文

基于网络层析的拓扑推断算法研究
Topology Performance Inference Algorithm
Based on Network Tomography

吴文佳

指导教师姓名: 张建中 教授
专业名称: 信号与信息处理
论文提交日期: 2010 年 月
论文答辩时间: 2010 年 月
学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

传统的网络测量主要依赖各种协议的协作和中间节点的反馈信息来推断网络的内部性能参数或者拓扑结构，但是随着网络异构性和分布化的不断提高,网络性能的可知性变得越来越差。网络层析成像技术通过端到端的测量来推断网络的内部性能参数和拓扑结构，无需借助路由协议或者中间节点的协作，保证了用户的信息安全，同时减少了对网络流量的影响，目前已经成为国内外网络测量的研究热点之一。

本文主要针对基于层析技术的网络拓扑推断算法进行研究。在单源网络拓扑推断方面，着重分析了 GLT (general loss tree classification algorithm) 算法和 BHC (binary Hamming distance and hop count based classification algorithm) 算法的特点。针对 GLT 算法在发送探测包数量较少时，和 BHC 算法在网络中某些链路丢包较为严重时存在的算法性能下降问题，提出了一种改进的 HGLT (Hamming distance and hop count based classification algorithm for general loss tree) 算法，此算法结合了接收节点的层次信息和汉明距离，能够同时推断出网络的拓扑结构和链路丢包率，并且能够根据链路丢包率的估计值动态地调整拓扑推断的判决门限值，具有比现有算法更高的拓扑推断准确率。在多源网络拓扑推断方面，现有的拓扑合并算法把 2-by-2 子网分为共享型和非共享型子网两类，并未充分利用非共享型子网的拓扑信息，本文提出一种利用拓扑树中分支节点间的关系区分四种类型的 2-by-2 子网的方法，充分有效地利用了所有子网的拓扑信息，从而提高了算法的推断准确率。

本文还构建了基于 NS2 的网络仿真实验平台，模拟了网络接收节点的探测包数据，作为测试算法的输入数据；使用 MATLAB 软件实现了研究的拓扑推断算法。通过进行一系列的仿真实验对前述几种算法进行分析比较，并总结这些算法的性能特点。

关键字：网络层析；多播；拓扑推断；多源

Abstract

Traditional network measurement infer the internal network performance or logic topology mainly relies on the cooperation of various protocols and the feedback from internal nodes. Owing to the continuous improvement on network heterogeneity and distribution, the acquisition of network performance using traditional network measurement is becoming increasingly difficult. Network tomography uses end-to-end measurement to infer the internal network performance or logic topology. It does not require the collaboration of routing protocols or internal nodes, and then ensures the safety of users' information and reduces the effect upon network traffic at the same time. It thus has become one of the research focuses at home and abroad.

In this paper, we focus on inferring multicast network topology from end-to-end measurements. In single source network tomography topology inference, I analyze the characteristics of GLT (general loss tree classification) algorithm and BHC (binary hamming distance and hop count based classification) algorithm. I present an improved HGLT (Hamming distance and hop count based classification algorithm for general loss tree) algorithm, which combines the hop counts and hamming distance of receivers, and adjusts the value of threshold dynamically according to the estimation of link loss rate. The proposed algorithm can be used to infer the network topology and link loss rate simultaneously. In multiple source network tomography topology inference, the existing topological merging algorithm divides 2-by-2 subcomponents into two categories, namely shared and non-shared subcomponents, without making full use of topology information of non-shared subcomponents. I present a novel approach to distinguish four types of 2-by-2 subcomponents by using the relationship between branching nodes. This algorithm can fully utilise the topology information of subcomponents and then has higher accuracy.

I also construct a network simulation software based on NS2 for simulating the probe data at receiving nodes. I implement the topology inference algorithms using

MATLAB software. I then analyze and compare the algorithms through a series of simulation experiments, and summarize the performance characteristics of them.

Key Words: Network tomography; Multicast; Topology inference; Multiple source

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 研究现状	2
1.3 论文研究内容	3
1.4 论文组织结构	4
第二章 网络测量和层析技术	6
2.1 网络测量	6
2.1.1 网络测量概述	6
2.1.2 网络测量的分类	8
2.1.3 网络测量的难点问题	10
2.2 网络层析技术	11
2.2.1 网络层析概述	11
2.2.2 网络层析的分类	13
2.2.3 网络层析的基本原理	15
2.3 本章小结	17
第三章 单源网络层析拓扑推断	18
3.1 拓扑模型	18
3.2 BLT 和 GLT 算法	21
3.2.1 BLT 和 GLT 算法描述	21
3.2.2 GLT 算法的误差分析	22
3.3 BHC 算法	23
3.3.1 BHC 算法描述	23
3.3.2 BHC 算法的误差分析	24
3.4 改进算法 HGLT	25
3.4.1 HGLT 算法描述	25

3.4.2 算法复杂度分析	27
3.5 本章小结	28
第四章 多源网络层析拓扑推断	29
4.1 多源网络的基本概念	29
4.1.1 分支节点和汇聚节点	30
4.1.2 共享型和非共享型子网	30
4.2 拓扑合并算法	32
4.2.1 拓扑合并算法描述	32
4.2.2 拓扑合并算法的误差分析	33
4.3 改进的多源拓扑推断算法	34
4.3.1 2-by-2 子网结构分析	34
4.3.2 改进的多源拓扑推断算法步骤	35
4.4 本章小结	36
第五章 基于 NS2 的网络仿真实验和结果分析	37
5.1 NS2 网络仿真	37
5.1.1 仿真软件的选择	38
5.1.2 NS 仿真基础	39
5.1.3 NS 仿真的基本过程	42
5.2 单源网络仿真	44
5.2.1 探测包丢弃机制设置	44
5.2.2 HGLT 和 GLT 算法比较	46
5.2.3 HGLT 和 BHC 算法比较	48
5.3 多源网络仿真	51
5.3.1 2-by-2 子网的判别推断	51
5.3.2 多源网络拓扑推断准确率分析	54
5.4 本章小结	56
第六章 结论与建议	57
6.1 结论	57

6.2 建议.....	57
参考文献.....	59
攻读硕士学位期间发表的学术论文.....	63
致 谢.....	64

厦门大学博硕士论文摘要库

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Background and Significance.....	1
1.2 Research Status.....	2
1.3 Contents of this text.....	3
1.4 Thesis structure	4
Chapter 2 Network measurement and tomography.....	6
2.1 Network Measurement.....	6
2.1.1 A general overview of network measurement.....	6
2.1.2 The classification of network measurement	8
2.1.3 The difficult problems of network measurement.....	10
2.2 Network Tomography	11
2.2.1 A general overview of network tomography.....	11
2.2.2 The classification of network tomography	13
2.2.3 The basic principles of network tomography.....	15
2.3 Summary of this chapter	17
Chapter 3 Single source network tomography topology inference....	18
3.1 Topology model.....	18
3.2 BLT algorithm and GLT algorithm	21
3.2.1 The description of BLT algorithm and GLT algorithm.....	21
3.2.2 Error analysis of GLT algorithm.....	22
3.3 BHC algorithm	23
3.3.1 The description of BHC algorithm	23
3.3.2 Error analysis of BHC algorithm	24
3.4 Improved algorithm HGLT	25

3.4.1 The description of HGLT algorithm	25
3.4.2 Algorithm complexity analysis	27
3.5 Summary of this chapter	28
Chapter 4 Multiple source network tomography topology inference	29
4.1 Basic concept of multiple source network	29
4.1.1 Branching nodes and Joining nodes.....	30
4.1.2 Shared and non-shared subcomponents	30
4.2 Topological merging algorithm	32
4.2.1 Topological merging algorithm description.....	32
4.2.2 Error analysis of topological merging algorithm	33
4.3 Improved multiple source topology inference algorithm.....	34
4.3.1 2-by-2 subcomponents structure analysis	34
4.3.2 Improved multiple source topology inference algorithm steps.....	35
4.4 Summary of this chapter	36
Chapter 5 Network simulation and analysis based on NS2.....	37
5.1 NS2 Network simulation	37
5.1.1 Simulation software selection.....	38
5.2.2 The foundation of NS simulation.....	39
5.2.3 The basic process of NS simulation.....	42
5.2 Single source network simulation	44
5.2.1 Probe packet dropping mechanism	44
5.2.2 Comparison of HGLT algorithm and GLT algorithm	46
5.2.3 Comparison of HGLT algorithm and BHC algorithm	48
5.3 Multiple source network simulation	51
5.3.1 2-by-2 subcomponents identification.....	51
5.3.2 Accuracy analysis of multiple source network topology inference	54
5.4 Summary of this chapter	56

Chapter 6 Conclusions and propositions	57
6.1 Conclusions	57
6.2 Propositions.....	57
References	59
Published Papers.....	63
Acknowledgments	64

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

随着网络规模的迅速扩大和应用程度的不断深入,人类的生活与互联网结合的越来越紧密,除了传统的浏览、聊天、网络新闻、电子邮件等业务外,远程教育、网上银行、在线交易、网络视频、IP 电话、网络游戏等新的业务类型不断涌现。截至 2009 年 12 月 30 日,中国网民规模已达 3.84 亿人,较 2008 年底增长 8600 万人,年增长率为 28.9%^[1]。随着通信网络、计算机网络与有线电视网的逐渐融合,IP 技术将获得更为普遍的应用。基于 IP 技术的综合语音、数据、图像、视频等多媒体业务对网络服务质量的要求不断提高,这对网络的设计、管理和应用提出严峻的挑战。网络测量技术是对网络进行认识与深入研究的重要手段,同时也是实施协议工程、进行网络管理与优化设计的重要前提条件。利用大规模网络测量可以对网络流量和网络拓扑的变化进行分析,对网络在异常环境下的可生存性做出分析和评估。

由于网络的异构性和复杂性不断提高,诸如动态路由、优化服务配置等网络行为变得难以控制,系统级网络的可控性和可管理性越来越困难,网络性能的可知性也变得越来越复杂。为了获取网络内部链路级性能参数,可采用传统的测量工具如 ping、pathchar 等,但这需要各路由器之间的合作,同时服务器和路由器对统计数据的收集和传递也会消耗大量带宽,增加网络负载,又由于各服务提供商之间也具有非协作的特点,大大降低了通过路由器等内部设备对链路级流量特征进行直接测量的可行性。

为了弥补这种传统网络测量方法的不足,研究人员将医学、地震学、地质勘探等领域成功应用的成熟理论和方法应用于网络通信领域,提出了网络层析成像(Network Tomography)理论,简称网络层析^[2]。网络层析技术是一种基于网络端到端(End-to-End)的性能测量统计,利用信号处理及统计分析的方法推测网络拓扑结构及内部链路级的丢包率、时延、瓶颈带宽等性能参数,对无法直接观测的网络内部性能进行推断的方法。它具有不依赖路由器协作、开销少的特点,保证

了用户隐私和信息安全，减少了测量信息的传输，对于网络测量具有重要意义。

本文主要研究基于网络层析的拓扑推断技术，层析成像技术是拓扑推断领域的新方法，近年来已经得到了学术界越来越多的关注和研究。传统网络拓扑推断方法的缺陷是要求大量的中间节点配合以及相应的协议支持，这在实际的大型网络中往往是难以办到的。与传统方法相比，基于网络层析的拓扑推断方法只通过对网络端到端的测量来推测网络拓扑结构，其最大的优势在于可以不需要中间节点的协作就能完成网络拓扑结构推断，具有很高的研究价值。

1.2 研究现状

网络层析技术覆盖了网络测量、算法设计、拓扑学、统计和信号处理、应用数学等多个研究领域。文献^{[3][4][5]}比较系统全面地介绍了网络层析技术，国内也有许多科研人员进行网络层析技术的研究^{[6][7][8]}。目前网络层析技术的研究内容主要包括路径级流量强度估计、链路级性能推测和网络层析拓扑推断三个方面。

路径级流量强度估计是在网络拓扑已知的条件下，通过端到端的测量估计源一目的间的路径级通信量强度。1996年，Vardi在研究利用链路数据估计OD流量密度分布时，发现网络推理和医学透视非常类似，首次提出了网络层析的概念^[2]。1998年，Tebaldi研究独立泊松流量并且利用基于网络层析成像理论的贝叶斯估计理论来计算OD流量^[9]。2000年，Cao研究OD流量分布推理，改进了泊松模型，假定所有链路字节数随时间变化，通过结合EM算法和二次全局优化方法进行极大似然估计^[10]。2003年，G. Liang, B. Yu引入了伪概率的方法对大型网络进行分层，然后利用EM算法进行相应的求解^[11]。2005年，Teixeira研究了路由改变对网络流分布的影响^[12]。2006年，Liang应用IPF算法推理OD矩阵，利用欧洲IP骨干网数据进行试验证明了该方法的有效性。

链路级性能推测是指通过端到端的测量，利用推理技术获得网络内部链路级性能参数。1998年，AT&T实验室开始MINC项目的研究工作，应用多播探测技术估计网络延迟分布、丢包率和瓶颈带宽^[13]。在拓扑结构已知的情况下，针对网络链路性能特征，如丢包率、延迟、可用带宽等，提出了基于多播的丢包推断算法^{[14][15]}。2002年，在不能获得完整观测数据集的情况下，Duffield应用EM算法给出了丢包率的最大似然估计值^[16]。但是目前Internet中仍然有很大一部分并

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库