

中国科学技术大学

硕士学位论文



基于 BGP 协议的网络监控系统

作者姓名： 夏庆生

学科专业： 软件工程

导师姓名： XXX 教授 XXX 教授

完成时间： 二〇二三年八月十日

University of Science and Technology of China
A dissertation for master's degree



network monitoring system based on BGP protocol

Author: Xia Qingsheng

Speciality: Software Engineering

Supervisors: Prof. XXX, Prof. XXX

Finished time: August 10, 2023

中国科学技术大学学位论文原创性声明

本人声明所呈交的学位论文，是本人在导师指导下进行研究工作所取得的成果。除已特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含任何他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的贡献均已在论文中作了明确的说明。

作者签名：_____

签字日期：_____

中国科学技术大学学位论文授权使用声明

作为申请学位的条件之一，学位论文著作权拥有者授权中国科学技术大学拥有学位论文的部分使用权，即：学校有权按有关规定向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅，可以将学位论文编入《中国学位论文全文数据库》等有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。本人提交的电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。

控阅的学位论文在解密后也遵守此规定。

☒ 公开 ☐ 控阅（____年）

作者签名：_____

导师签名：_____

签字日期：_____

签字日期：_____

摘 要

随着其承载业务规模的不断增大，底层网络的规模也在不断扩大，这时网络拥塞状况和网络排障速度以及路由验证等会越来越被网络工程师们关注。缓解网络拥塞状况的思路很简单：即发现拥塞线路，并将拥塞线路流量调离一部分到非拥塞线路，网络排障通常是在故障时通过分析网络中流经的历史流量解决故障，路由验证则通常是通过网络中的路由来获取可达性等信息。本文即设计和实现一套基于 BGP 协议 (Border Gateway Protocol, 边界网关协议) 的网络监控系统，以应用于网络拥塞解决、网络排障以及路由验证等场景。本系统支持 BGP 路由采集和下发，历史路由存储与查询，BGP 邻居状态监控和路由验证等功能。本系统基于 BGP 协议，采用 Golang 语言在 Linux 平台进行开发，使用 Redis 作为存储 BGP 路由的数据库，采用 ClickHouse 作为存储历史路由的时序数据库，采用 Kafka 用于将采集到的 BGP 路由接入到 ClickHouse，使用 openTSDB 作为系统各模块健康数据存储的时序数据库，采用 Grafana 用于各组件健康状况监控大盘，同时支持高可用和高并发。本系统的目标是支撑字节跳动内部许多其他在线/离线/公网/内网流量调度系统、网络排障系统以及路由验证系统的发展，从而达到能够降低高峰期及各种节假日、活动期间网络拥塞状况以及缩短网络排障时间的目的，从而为网络建设和运维节约成本，进而能够提高业务部门的上升空间，同时也能网络监控系统的发展提供一些新思路。

关键词：流量采集 网络监控 高可用

ABSTRACT

With the continuous increase of the scale of its carrying business, the scale of the underlying network is also expanding. At this time, network congestion, network troubleshooting speed, and route verification will be more and more concerned by network engineers. The idea of alleviating network congestion is simple: discover congested lines and transfer part of the congested line traffic to non-congested lines. Network troubleshooting is usually to solve the fault by analyzing the historical traffic flowing through the network when it fails. Routing verification is usually to obtain information such as reachability through routes in the network. This paper designs and implements a network monitoring system based on BGP protocol (Border Gateway Protocol, Border Gateway Protocol) to be applied to network congestion resolution, network troubleshooting and route verification scenarios.

The system supports BGP route acquisition and distribution, historical route storage and query, BGP neighbor status monitoring and route verification. The system is based on BGP protocol, using Golang language to develop on Linux platform, using Redis as the database for storing BGP routes, using ClickHouse as the time series database for storing historical routes, using Kafka to access the collected BGP routes to ClickHouse, using openTSDB as the time series database for storing health data of each module of the system, using Grafana for each component Health monitoring of the market, while supporting high availability and high concurrency.

The goal of this system is to support the development of many other on-line/offline/public/intranet traffic scheduling systems, network troubleshooting systems, and routing verification systems within ByteDance, so as to reduce network congestion during peak periods, various holidays, and events. The purpose of shortening the network troubleshooting time is to save costs for network construction and operation and maintenance, thereby improving the growth space of business departments, and at the same time providing some new ideas for the development of network monitoring systems.

Key Words: traffic collection, network monitoring, keywords

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 一级节标题	1
1.1.1 二级节标题	1
1.2 脚注	1
第 2 章 浮动体	2
2.1 三线表	2
2.2 插图	2
2.3 算法环境	3
第 3 章 数学	4
3.1 数学符号	4
3.2 数学公式	5
3.3 量和单位	5
3.4 定理和证明	5
第 4 章 引用文献的标注	8
4.1 顺序编码制	8
4.1.1 角标数字标注法	8
4.1.2 数字标注法	8
4.2 著者-出版年制标注法	8
参考文献	9
附录 A 补充材料	11
A.1 补充章节	11
致谢	12
在读期间发表的学术论文与取得的研究成果	13

符 号 说 明

a	The number of angels per unit area
N	The number of angels per needle point
A	The area of the needle point
σ	The total mass of angels per unit area
m	The mass of one angel
$\sum_{i=1}^n a_i$	The sum of a_i

第 1 章 绪 论

1.1 一级节标题

1.1.1 二级节标题

1. 三级节标题

(1) 四级节标题

① 五级节标题

本模板 `ustcthesis` 是中国科学技术大学本科生和研究生学位论文的 \LaTeX 模板, 按照《中国科学技术大学研究生学位论文撰写手册》(以下简称《撰写手册》) 和《中国科学技术大学本科毕业论文(设计)格式》的要求编写。

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

1.2 脚注

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. ^①

^①Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur.

第2章 浮 动 体

2.1 三线表

三线表是《撰写手册》推荐使用的格式，如表 2.1。

表 2.1 表号和表题在表的正上方

类型	描述
挂线表	挂线表也称系统表、组织表，用于表现系统结构
无线表	无线表一般用于设备配置单、技术参数列表等
卡线表	卡线表有完全表，不完全表和三线表三种

注：表注分两种，第一种是对全表的注释，用不加阿拉伯数字排在表的下边，前面加“注：”；第二种是和表内的某处文字或数字相呼应的注，在表里面用带圈的阿拉伯数字在右上角标出，然后在表下面用同样的圈码注出来

编制表格应简单明了，表达一致，明晰易懂，表文呼应、内容一致。排版时表格字号略小，或变换字体，尽量不分页，尽量不跨节。表格太大需要转页时，需要在续表上方注明“续表”，表头页应重复排出。

2.2 插图

有的同学可能听说“ \LaTeX 只能使用 eps 格式的图片”，甚至把 jpg 格式转为 eps。事实上，这种做法已经过时。而且每次编译时都要调用外部工具解析 eps，导致降低编译速度。所以我们推荐矢量图直接使用 pdf 格式，位图使用 jpeg 或 png 格式。



图 2.1 图号、图题置于图的下方

注：图注的内容不宜放到图题中。

关于图片的并排，推荐使用较新的 subcaption 宏包，不建议使用 subfigure 或 subfig 等宏包。

2.3 算法环境

模板中使用 `algorithm2e` 宏包实现算法环境。关于该宏包的具体用法，请阅读宏包的官方文档。

算法 2.1 算法示例 1

```
Data: this text
Result: how to write algorithm with LATEX2ε
1 initialization;
2 while not at end of this document do
3   read current;
4   if understand then
5     go to next section;
6     current section becomes this one;
7   else
8     go back to the beginning of current section;
9   end
10 end
```

注意，我们可以在论文中插入算法，但是插入大段的代码是愚蠢的。然而这并不妨碍有的同学选择这么做，对于这些同学，建议用 `listings` 宏包。

第3章 数 学

3.1 数学符号

《撰写手册》要求数学符号遵循 GB/T 3102.11—1993 《物理科学和技术中使用的数学符号》^①。该标准参照采纳 ISO 31-11:1992^②，但是与 T_EX 默认的美国数学学会 (AMS) 的符号习惯有所区别。具体地来说主要有以下差异：

1. 大写希腊字母默认为斜体，如

$$\Gamma \Delta \Theta \Lambda \Xi \Pi \Sigma \Upsilon \Phi \Psi \Omega.$$

注意有限增量符号 Δ 固定使用正体，模板提供了 `\increment` 命令。

2. 小于等于号和大于等于号使用倾斜的字形 \leq 、 \geq 。
3. 积分号使用正体，比如 \int 、 \oint 。
4. 偏微分符号 ∂ 使用正体。
5. 省略号 `\dots` 按照中文的习惯固定居中，比如

$$1, 2, \dots, n \quad 1 + 2 + \dots + n.$$

6. 实部 **Re** 和虚部 **Im** 的字体使用罗马体。

以上数学符号样式的差异可以在模板中统一设置。但是还有一些需要用户在写作时进行处理：

1. 数学常数和特殊函数名用正体，如

$$\pi = 3.14 \dots; \quad i^2 = -1; \quad e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n.$$

2. 微分号使用正体，比如 dy/dx 。
3. 向量、矩阵和张量用粗斜体 (`\symbf`)，如 \mathbf{x} 、 $\mathbf{\Sigma}$ 、 \mathbf{T} 。
4. 自然对数用 $\ln x$ 不用 $\log x$ 。

模板中使用 `unicode-math` 宏包配置数学字体。该宏包与传统的 `amsfonts`、`amssymb`、`bm`、`mathrsfs`、`upgreek` 等宏包不兼容。本模板作了处理，用户可以直接使用 `\bm`、`\mathscr`、`\upGamma` 等命令。关于数学符号更多的用法，参见 `unicode-math` 宏包的使用说明和符号列表 `unimath-symbols`。

^①原 GB 3102.11—1993，自 2017 年 3 月 23 日起，该标准转为推荐性标准。

^②目前已更新为 ISO 80000-2:2019。

3.2 数学公式

数学公式可以使用 `equation` 和 `equation*` 环境。注意数学公式的引用应前后带括号，建议使用 `\eqref` 命令，比如式 (3.1)。

$$\hat{f}(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-2\pi i x \xi} dx. \quad (3.1)$$

多行公式尽可能在“=”处对齐，推荐使用 `align` 环境，比如式 (3.3)。

$$a = b + c + d + e \quad (3.2)$$

$$= f + g. \quad (3.3)$$

3.3 量和单位

量和单位要求严格执行 GB 3100~3102—1993 有关量和单位的规定。宏包 `siunitx` 提供了更好的数字和单位支持：

- 为了阅读方便，四位以上的整数或小数推荐采用千分空的分节方式：55 235 367.346 23。四位以内的整数可以不加千分空：1256。
- 数值与单位符号间留适当空隙：25.4 mm， 5.97×10^{24} kg， -273.15°C 。例外： 12.3° ， $1^\circ 2' 3''$ 。
- 组合单位默认使用 APS 的格式，即相乘的单位之间留一定空隙： kg m s^{-2} ，也可以使用居中的圆点： $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。GB 3100—1993 对两者都允许，建议全文统一设置。
- 量值范围使用“~”： $10 \text{ mol/L} \sim 15 \text{ mol/L}$ 。
- 注意：词头 μ 不能写为 u，如： umol 应为 μmol 、 μmol 。

3.4 定理和证明

示例文件中使用 `amsthm` 宏包配置了定理、引理和证明等环境。用户也可以使用 `ntheorem` 宏包。

定义 3.1 If the integral of function f is measurable and non-negative, we define its (extended) **Lebesgue integral** by

$$\int f = \sup_g \int g, \quad (3.4)$$

where the supremum is taken over all measurable functions g such that $0 \leq g \leq f$, and where g is bounded and supported on a set of finite measure.

假设 3.1 The communication graph is strongly connected.

例 3.1 Simple examples of functions on \mathbb{R}^d that are integrable (or non-integrable) are given by

$$f_a(x) = \begin{cases} |x|^{-a} & \text{if } |x| \leq 1, \\ 0 & \text{if } |x| > 1. \end{cases} \quad (3.5)$$

$$F_a(x) = \frac{1}{1 + |x|^a}, \quad \text{all } x \in \mathbb{R}^d. \quad (3.6)$$

Then f_a is integrable exactly when $a < d$, while F_a is integrable exactly when $a > d$.

引理 3.1 (Fatou) Suppose $\{f_n\}$ is a sequence of measurable functions with $f_n \geq 0$. If $\lim_{n \rightarrow \infty} f_n(x) = f(x)$ for a.e. x , then

$$\int f \leq \liminf_{n \rightarrow \infty} \int f_n. \quad (3.7)$$

注 We do not exclude the cases $\int f = \infty$, or $\liminf_{n \rightarrow \infty} \int f_n = \infty$.

推论 3.2 Suppose f is a non-negative measurable function, and $\{f_n\}$ a sequence of non-negative measurable functions with $f_n(x) \leq f(x)$ and $f_n(x) \rightarrow f(x)$ for almost every x . Then

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int f_n = \int f. \quad (3.8)$$

命题 3.3 Suppose f is integrable on \mathbb{R}^d . Then for every $\epsilon > 0$:

i. There exists a set of finite measure B (a ball, for example) such that

$$\int_{B^c} |f| < \epsilon. \quad (3.9)$$

ii. There is a $\delta > 0$ such that

$$\int_E |f| < \epsilon \quad \text{whenever } m(E) < \delta. \quad (3.10)$$

定理 3.4 Suppose $\{f_n\}$ is a sequence of measurable functions such that $f_n(x) \rightarrow f(x)$ a.e. x , as n tends to infinity. If $|f_n(x)| \leq g(x)$, where g is integrable, then

$$\int |f_n - f| \rightarrow 0 \quad \text{as } n \rightarrow \infty, \quad (3.11)$$

and consequently

$$\int f_n \rightarrow \int f \quad \text{as } n \rightarrow \infty. \quad (3.12)$$

证明 Trivial. ■

Axiom of choice Suppose E is a set and E_α is a collection of non-empty subsets of E . Then there is a function $\alpha \mapsto x_\alpha$ (a “choice function”) such that

$$x_\alpha \in E_\alpha, \quad \text{for all } \alpha. \quad (3.13)$$

Observation 1 Suppose a partially ordered set P has the property that every chain has an upper bound in P . Then the set P contains at least one maximal element.

A concise proof Obvious. ■

第4章 引用文献的标注

模板使用 **natbib** 宏包来设置参考文献引用的格式，更多引用方法可以参考该宏包的使用说明。

4.1 顺序编码制

4.1.1 角标数字标注法

<code>\cite{knuth86a}</code>	\Rightarrow	[1]
<code>\citet{knuth86a}</code>	\Rightarrow	Knuth ^[1]
<code>\cite[42]{knuth86a}</code>	\Rightarrow	[1] ⁴²
<code>\cite{knuth86a,tlc2}</code>	\Rightarrow	[1-2]
<code>\cite{knuth86a, knuth84}</code>	\Rightarrow	[1,3]

4.1.2 数字标注法

<code>\cite{knuth86a}</code>	\Rightarrow	[1]
<code>\citet{knuth86a}</code>	\Rightarrow	Knuth [1]
<code>\cite[42]{knuth86a}</code>	\Rightarrow	[1] ⁴²
<code>\cite{knuth86a,tlc2}</code>	\Rightarrow	[1-2]
<code>\cite{knuth86a, knuth84}</code>	\Rightarrow	[1, 3]

4.2 著者-出版年制标注法

<code>\cite{knuth86a}</code>	\Rightarrow	Knuth (1986)
<code>\citep{knuth86a}</code>	\Rightarrow	(Knuth, 1986)
<code>\citet[42]{knuth86a}</code>	\Rightarrow	Knuth (1986) ⁴²
<code>\citep[42]{knuth86a}</code>	\Rightarrow	(Knuth, 1986) ⁴²
<code>\cite{knuth86a,tlc2}</code>	\Rightarrow	Knuth (1986); Mittelbach et al. (2004)
<code>\cite{knuth86a, knuth84}</code>	\Rightarrow	Knuth (1986, 1984)

参 考 文 献

- [1] KNUTH D E. Computers and typesetting: A the T_EXbook[M]. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1986.
- [2] MITTELBAACH F, GOOSSENS M, BRAAMS J, et al. The L^AT_EX companion[M]. 2nd ed. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 2004.
- [3] KNUTH D E. Literate programming[J]. The Computer Journal, 1984, 27(2): 97-111.
- [4] LAMPORT L. L^AT_EX: a document preparation system[M]. 2nd ed. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1994.
- [5] 孙立广. 极地科学前沿与热点: 顶级期刊论文摘要汇编(1999—2010) [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2016: 222.
- [6] 李永池. 张量初步和近代连续介质力学概论[M]. 2 版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2016: 61.
- [7] 刘景双. 湿地生态系统碳、氮、硫、磷生物地球化学过程[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2014.
- [8] CRAWFORD W, GORMAN M. Future libraries: Dreams, madness, & reality[M]. Chicago: American Library Association, 1995.
- [9] International Federation of Library Association and Institutions. Names of persons: National usage for entry in catalogues[M]. 3rd ed. London: IFLA Internation Office for UBC, 1977.
- [10] 程根伟. 1998 年长江洪水的成因与减灾对策[M]//许厚泽, 赵其国. 长江流域洪涝灾害与科技对策. 北京: 科学出版社, 1999: 26-32.
- [11] 陈晋镛, 张惠民, 朱士兴, 等. 蓟县震旦亚界研究[M]//中国地质科学院天津地质矿产研究所. 中国震旦亚界. 天津: 天津科学技术出版社, 1980: 56-114.
- [12] BUSECK P R, NORD G L, Jr., VEBLEN D R. Subsolidus phenomena in pyroxenes[M]//PREWITT C T. Pyroxenes. Washington, D.C.: Mineralogical Society of America, 1980: 117-212.
- [13] FOURNEY M E. Advances in holographic photoelasticity[C]//American Society of Mechanical Engineers. Applied Mechanics Division. Symposium on Applications of Holography in Mechanics, August 23-25, 1971, University of Southern California, Los Angeles, California. New York: ASME, 1971: 17-38.
- [14] 孔庆勇, 郭红健, 孔庆和. 我国科技期刊的金字塔分层模型及发展路径初探[J]. 中国科技期刊研究, 2015, 26(10): 1100-1103.
- [15] 杨洪升. 四库馆私家抄校书考略[J]. 文献, 2013(1): 56-75.
- [16] 于潇, 刘义, 柴跃廷, 等. 互联网药品可信交易环境中主体资质审核备案模式[J]. 清华大

- 学学报 (自然科学版), 2012, 52(11): 1518-1521.
- [17] DES MARAIS D J, STRAUSS H, SUMMONS R E, et al. Carbon isotope evidence for the stepwise oxidation of the proterozoic environment[J]. *Nature*, 1992, 359: 605-609.
- [18] HEWITT J A. Technical services in 1983[J]. *Library Resource Services*, 1984.
- [19] 丁文详. 数字革命与竞争国际化[N]. *中国青年报*, 2000-11-20(15).
- [20] 姜锡洲. 一种温热外敷药制备方案: 中国, 88105607.3[P]. 1989-07-26.
- [21] 万锦坤. 中国大学学报论文文摘 (1983-1993) (英文版) [DB/CD]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1996.
- [22] MLOT C. Plant physiology: Plant biology in the Genome Era[J]. *Science*, 1998, 281: 331-332.
- [23] 孙玉文. 汉语变调构词研究[D]. 北京: 北京大学, 2000.
- [24] CAIRNS B R. Infrared spectroscopic studies of solid oxygen[D]. Berkeley: Univ. of California, 1965.
- [25] 中国力学学会. 第 3 届全国实验流体力学学术会议论文集[C]. 天津, 1990.
- [26] ROSENTHALL E M. Proceedings of the Fifth Canadian Mathematical Congress, University of Montreal, 1961[C]. Toronto: University of Toronto Press, 1963.
- [27] BAKER S K, JACKSON M E. The future of resource sharing[M]. New York: The Haworth Press, 1995.
- [28] 尼葛洛庞帝. 数字化生存[M]. 胡泳, 范海燕, 译. 海口: 海南出版社, 1996.
- [29] 杨宗英. 电子图书馆的现实模型[J]. *中国图书馆学报*, 1996(2): 24-29.
- [30] 刘斌. 力学[M]. 合肥, 2014: 24-29.
- [31] 刘文富, 顾丽梅. 网络时代经济发展战略特征[J]. *学术研究*, 2000, 21(4): 35-40.
- [32] 肖渡, 沈群红, 张芸, 等. 知识时代的企业合作经营[M]. 北京: 北京大学出版社, 2000: 67-69.
- [33] BETTS L R, TAYLOR C P, SEKULER A B, et al. Aging reduces center-surround antagonism in visual motion processing[J]. *Neuron*, 2005, 45(3): 361-366.
- [34] BRAVO H, OLAVARRIA J, TORREALBA F. Comparative study of visual inter and intrahemispheric cortico-cortical connections in five native Chilean rodents[J]. *Anat Embryol (Berl)*, 1990, 181(1): 67-73.

附录 A 补充材料

A.1 补充章节

补充内容。

致 谢

在研究学习期间，我有幸得到了三位老师的教导，他们是：我的导师，中国科大 XXX 研究员，中科院 X 昆明动物所马老师以及美国犹他大学的 XXX 老师。三位深厚的学术功底，严谨的工作态度和敏锐的科学洞察力使我受益良多。衷心感谢他们多年来给予我的悉心教导和热情帮助。

感谢 XXX 老师在实验方面的指导以及教授的帮助。科大的 XXX 同学和 XXX 同学参与了部分试验工作，在此深表谢意。

在读期间发表的学术论文与取得的研究成果

已发表论文

1. A A A A A A A A A
2. A A A A A A A A A
3. A A A A A A A A A

待发表论文

1. A A A A A A A A A
2. A A A A A A A A A
3. A A A A A A A A A

研究报告

1. A A A A A A A A A
2. A A A A A A A A A
3. A A A A A A A A A