|  |
| --- |
| 电子科技大学  UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA  硕士学位论文  MASTER THESIS |

论文题目 基于Node-red与Redis的实时流数据处理模型的设计与应用

学 科 专 业 软件工程

学 号 201422220209

作 者 姓 名 王江波

指 导 教 师 刘玓 教 授

分类号 密级

UDC注1

学 位 论 文

基于Node-red与Redis的实时流数据处理模型的设计与应用

（题名和副题名）

王江波

（作者姓名）

指导教师 刘玓 教授

电子科技大学 成都

（姓名、职称、单位名称）

申请学位级别 硕士 学科专业 软件工程

提交论文日期 论文答辩日期

学位授予单位和日期 电子科技大学

答辩委员会主席

评阅人

注1：注明《国际十进分类法UDC》的类号。

|  |
| --- |
| **The Vehicle Networking Monitoring System Based On Real-time Streaming Data Platform** |

A Master Thesis Submitted to

University of Electronic Science and Technology of China

|  |  |
| --- | --- |
| Major: | **Software Engineering** |
| Author: | **Jiangbo Wang** |
| Supervisor: | **Di Liu** |
| School: | **School of Information and Software Engineering** |

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得电子科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

作者签名： 日期： 年 月 日

论文使用授权

本学位论文作者完全了解电子科技大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权电子科技大学可以将学位论文的全部或部分内容编入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。

（保密的学位论文在解密后应遵守此规定）

作者签名： 导师签名：

日期： 年 月 日

摘 要

近年来，随着社会的不断发展，车联网作为物联网在交通方面上的分支迅速发展，各类汽车的数量也在不断增长。不论是汽车租赁公司还是其他各类车辆管理公司，对车辆的统筹管理开始变得越来越重要。因此，一个行之有效的车联网监控系统便变得十分有必要。本论文所述项目跟当前现状进行系统开发，优先阐述了车联网监控系统的研究意义和背景，并且对当前车联网监控统的国内外现状进行了简单的分析。并以此为根据，提出了车联网监控系统的总体设计方案。本文所研究系统主要可分为两个部分：实时流数据处理平台和数据监控平台，其中，实时流处理平台主要负责系统的业务逻辑，数据监控平台主要负责监控数据的显示。

实时流处理平台主要分三个模块，分别负责接收车载终端以及其他终端发送过来的数据的模块，实时数据分类转发以及数块，基于平台的服务扩展模块，数据的存储则使用非关系型的数据库MongoDB。论文主要完成了基于实时流处理平台的车联网监控系统，根据系统高并发接入I/O以及实时性的需求，将数据接收部分和数据处理部分分离开来，系统开发采用node.js的异步编程语言，并通过redis的pub/sub机制进行通信，非常有效的解耦了接收端和处理端，除此之外，系统将根据具体需求进行应用开发，如车辆状态监控、位置信息查询，用户服务等。实时流处理平台根据数据的去向分类，对不同的数据分开处理，对需要实时显示的数据不会做复杂的计算，对需要存储落地的数据则进行相应的按特征存储，对请求的服务状态码则调用服务模块相关方法实现。

数据监控平台基于轻量级的网络框架flask搭建，采用JavaScript作为前端网页脚本语言，并使用backbone.js的MVC（Model-View-Controller）框架来管理JavaScript文件。数据监控平台主要面向监管人员开发，需要完成状态监管、位置跟踪以及路径规划等基本功能,系统开发过程中调用高德api作为地图页面，并融合使用ajax异步请求加载技术实现监管人员与页面的实时互动。

基于上述的功能需求，本文一一阐述了系统的详细设计与实现，并对其功能和性能进行了测试，测试结果均达到要求。

**关键字：**车联网，流数据处理，监控系统，实时显示，模块

ABSTRACT

With the development of society last several years, Internet of Vehicles(IOV) get the rapid development as the branch of Internet of Things, the number of cars become more and more. It becomes more and more important for companies of Automotive Management to monitor the cars, as a result, a effective surveillance system for Internet of Vehicles is very necessary. The project stated by this thesis exploit the surveillance system according to the [present situation](http://www.baidu.com/link?url=rOoQOQMDBxg9-ugMi5f3erR9Ag4cRHW5KmmG4Ea9q3OuApsGlTfyUKVHOAXc-dQ8cUrrYJIfvVxLZ7WKCINgQDEuAqAkb8kqR2osW7fE_70S1LRDuZd5hwPovyL9SOFI" \t "_blank). The thesis first expounded the background and significance of this project, and then simply analyzed the current status of the surveillance system of IOV in domestic and foreign, the thesis put forward the scheme based on these. The content of research of this thesis can be divided into two portions: Real-time streaming data processing platform and Visualization platform, among them, the Real-time streaming data processing platform mainly process the business logic of the system, and the Visualization platform is responsible for displaying the data.

Real-time streaming data processing platform can be divided into three modules: they are responsible for receiving and forwarding the data from vehicle terminal, processing, storing and forwarding the data, and the service module based on processing platform, the system use the MongoDB to store the data. The project mainly complete the surveillance system of IOV based on the Real-time streaming data processing platform. According to demand of high concurrency and real-time response, the system use node.js programming language and redis’s pub/sub communication mechanism to separate the receiver and sender, and this can be validated very effective. Besides of these, the system will develop the application according to the specific demand, such as vehicle condition monitoring, location information inquiry, user-oriented service and so on. The Real-time streaming data processing platform separately process the data, which classify according to the whereabouts of data: the data to be displayed in real time will not do complex calculations, data needs to be stored will be stored according to their characteristics, and service module will call the corresponding service’s method according to the status code.

System build the Visualization platform based on lightweight web framework flask, and use backbone.js, which is a MVC framework, to manage the JavaScript files, JavaScript is a scripting language of web-front. Visualization platform primarily develop for regulators, it need to complete state supervision, location tracking and route planning and other basic functions, In system development, the system called Gaode map api to load the map page and fusion using ajax asynchronous requests loading technology to achieve real-time interaction regulators and pages.

Based on the above functional requirements, this thesis elaborated on the detailed design and implementation of the system below, and be tested to verify its effectiveness.

**Key words:** Internet of Vehicles, stream data processing, surveillance system, real-time display, module

目 录

[第一章 绪 论 1](#_Toc445582164)

[1.1 车联网监控的研究背景及意义 1](#_Toc445582165)

[1.2 国内外研究现状 1](#_Toc445582166)

[1.3 论文主要研究工作 3](#_Toc445582167)

[1.4 论文章节结构概述 4](#_Toc445582168)

[第二章 系统平台及关键技术 5](#_Toc445582169)

[2.1硬件终端 5](#_Toc445582170)

[2.1.1 车载终端OBD 5](#_Toc445582171)

[2.1.2 信息显示终端 5](#_Toc445582172)

[2.2实时流数据处理平台通信基础 5](#_Toc445582173)

[2.2.1 节点集群 5](#_Toc445582174)

[2.2.2 基于redis的pub/sub通信机制 6](#_Toc445582175)

[2.3 系统软件技术及相关应用框架 7](#_Toc445582176)

[2.3.1 node.js语言 7](#_Toc445582177)

[2.3.2 Redis & MongoDB 9](#_Toc445582180)

[2.3.3 数据监控模块框架技术简介 13](#_Toc445582183)

[2.4 本章小结 15](#_Toc445582186)

[第三章 系统需求分析与总体设计 16](#_Toc445582187)

[3.1 系统需求分析 16](#_Toc445582188)

[3.1.1 车辆状态的实时信息监控 16](#_Toc445582189)

[3.1.2 指向性服务推送 18](#_Toc445582190)

[3.2 系统设计 21](#_Toc445582193)

[3.2.1 数据通信设计 22](#_Toc445582194)

[3.2.2 系统模块详细设计 24](#_Toc445582197)

[3.3 数据库设计 29](#_Toc445582200)

[3.3.1 数据热备份 29](#_Toc445582201)

[3.3.2 数据库访问优化策略 30](#_Toc445582202)

[3.4 本章小结 32](#_Toc445582206)

[第四章 实时流数据处理平台的设计与实现 33](#_Toc445582207)

[4.1 实时流数据处理 33](#_Toc445582208)

[4.1.1 实时流数据采集 34](#_Toc445582209)

[4.1.2 数据过滤 39](#_Toc445582213)

[4.1.3 数据分类处理 41](#_Toc445582214)

[4.2 数据库设计与实现 45](#_Toc445582217)

[4.3面向服务模块 48](#_Toc445582218)

[4.4 本章小结 51](#_Toc445582219)

[第五章 实时监控平台的设计与实现 52](#_Toc445582220)

[5.1 实时监控平台概述 52](#_Toc445582221)

[5.2 实时监控平台设计与实现 53](#_Toc445582222)

[5.2.1 地图加载 53](#_Toc445582223)

[5.2.2 数据交互 56](#_Toc445582224)

[5.2.3 主要功能实现 58](#_Toc445582227)

[5.3 本章小结 64](#_Toc445582228)

[第六章 系统测试 65](#_Toc445582229)

[6.1 测试条件准备 65](#_Toc445582230)

[6.2 实时流平台功能测试 66](#_Toc445582231)

[6.3系统性能测试 68](#_Toc445582232)

[6.4本章小结 69](#_Toc445582233)

[第七章 总结与展望 70](#_Toc445582234)

[7.1 本文总结 70](#_Toc445582235)

[7.2 对未来工作的展望 70](#_Toc445582236)

[致 谢 72](#_Toc445582237)

[参考文献 73](#_Toc445582238)

[攻读硕士期间取得的学术成果 75](#_Toc445582239)

第一章 绪 论

1.1 研究背景与意义

随着云计算、物联网、移动互联、社交媒体等新兴信息技术和应用模式的快速发展，推动人类社会不断地向大数据时代迈进。2010年，全球数据量就已经跨入了ZB时代，据IDC预测，至2020年全球将拥有35ZB的数据量，大量数据实时地影响着我们的工作、生活，甚至国家经济、社会发展，大数据时代已经到来。大数据具有数据量巨大、数据类型多样、流动速度快和价值密度低的特点，大数据技术为我们分析问题和解决问题提供了新的方法和思路，其研究已经成为热点。一般意义上来讲，对大数据就是利用现有的理论知识以及各种技术手段和工具都很难再可以接受的时间之类完成数据分析计算，而整体都呈现价值巨大的海量复杂的数据集合体。与此同时，这些巨大的价值量往往都是隐藏在海量的数据当中，变现出了价值密度低、分布极其不规律、信息隐藏深度极深、发现价值极其困难等特点，这些特征必然会为大数据的研究和分析带来前所未有的挑战和机遇。

大数据的分析计算模式主要分为批量计算（batch computing）、流式计算（stream computing）、交互式计算（interactive computing）、图形计算（graph computing）等等。其中批量计算和流式计算这两种计算模式不管是在学术界还是在工业界都是主要的研究模式，同时各自都有广泛的大数据应用场景。其中批量计算是一种适用于大估摸并行批量处理作业的分布式计算模式，也就是我们大家都十分熟悉的MapReduce计算模式。MapReduce的简单易用性使其成为目前大数据处理最成功的主流并行计算模式。在开源社区的努力下，开源的Hadoop系统目前已成为较为成熟的大数据处理平台，并已发展成一个包括众多数据处理工具和环境的完整的生态系统。目前几乎国内外的各个著名IT企业都在使用Hadoop平台进行企业内大数据的计算处理。此外，Spark系统也具备批处理计算的能力。而流式计算是一种高实时性的计算模式，需要对一定时间窗口内应用系统产生的新数据完成实时的计算处理，避免造成数据堆积和丢失。很多行业的大数据应用，如电信、电力、道路监控等行业应用以及互联网行业的访问日志处理，都同时具有高流量的流式数据和大量积累的历史数据，因而在提供批处理计算模式的同时，系统还需要能具备高实时性的流式计算能力。流式计算的一个特点是数据运动、运算不动，不同的运算节点常常绑定在不同的服务器上。Facebook的Scribe和Apache的Flume都提供了一定的机制来构建日志数据处理流图。而更为通用的流式计算系统是Twitter公司的Storm、Yahoo公司的S4以及Apache Spark Steaming。

大数据时代下的流式计算呈现出了鲜明的高带宽、低时延的应用需求，传统的流式计算平台的构造往往是建立在传统的数据库的基础之上的，难以满足大数据流式计算的需求。如何构建一个低时延、高带宽、持续可靠、长期运行的大数据流式计算系统成为了当前亟待解决的问题。Redis这种基于内存计算的、可进行数据持久化的Key-Value存储系统的诞生，为大数据流式计算带来了很好的一个解决方案。Redis数据库最初是为了解决像SNS类网站在数据存取过程中的实时性等刚性需求的，而传统的关系型数据库越来越难以胜任了，这也使得redis这种数据库也越来越受到人们的关注。如今redis数据库已经得到了广泛的应用，不论是在高速缓存系统中，还是在海量文件的实时检索中，甚至是在如何如荼的各种推荐系统中，redis都起着中心地位的作用。Redis的基于内存的数据计算和高效的数据存储策略也能够很好的满足实时流计算问题中的低时延的刚性需求。因此，研究redis的内存计算以及存储策略并将其运用到实时流式计算模型中具有重要的意义和实用价值。

在流式数据处理中，它不像传统的批量数据处理，它无需事先存储数据，无法确定数据是什么时候到来以及按什么顺序到来，因此，不需要事先对流式数据进行存储，而是当流动的数据到来后在内存中直接进行数据的实时计算和分析。就像我们熟悉的Twitter的Storm、Yahoo的S4就是典型的流式数据处理框架，数据在任务拓扑中被计算，最后输出有价值的信息。目前这些流行的流式处理框架都有一个共同的缺点就是，没有一个方便的能够快速根据业务构建数据任务的拓扑计算流程，也就是我们所说的计算流（flow），同时也缺乏数据的流化功能。Node-red是基于Node.js的，可视化流程编辑框架，它允许开发人员仅仅使用一个基于浏览器的可视化界面流程编辑器来完成设备、服务器以及API应用的连接。Node-red本身是IBM Emerging Technology团队创建的一个新型开源工具，它允许用户通过组合各种部件来编写应用程序。这些部件可以是硬件设备、Web API或者是在线服务。Node-red被广泛用于物联网领域，实现数据的流式传输。在node-red中从数据的接入，到数据的解析分析，最后到结果的输出都是通过各种各样的节点来完成的，IBM Emerging Technology团队在开发这个工具的时候只引入了少量的大众化的节点，比如常用的http节点、tcp节点、udp节点、debug等数据输入输出节点，还有一些用于数据分析的节点比如sentiment节点，还有一些用于访问存储设备的节点；node-red除了原始已经提供的这些节点外，还运行用户自己按照开发原则开发自己需要的节点。为了能够充分利用node-red的可视化流程编辑的直观性，结合redis数据库的内存计算的特点，探索开发适应于流式数据分析的数据输入输出和数据处理节点，这对流式数据分析有着重要的实际意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 实时流数据处理模型的研究应用现状

大数据时代下的数据处理主要的两种方式就是实时流式处理和批量处理。实时流数据处理主要适合于那些无需事先进行数据存储，可以直接进行数据分析处理，实时性要求比较严格，但数据的准确度要求比较宽松的应用场景。而对于传统的批量数据处理，首先要进行数据的存储，然后再对存储的静态数据进行集中或者分布式计算。目前，对于传统的批量数据处理模型的技术和研究成果已经相对成熟了，最初有Google公司的MapReduce并行编程模型的提出，再有后来在开源社区的努力下开发的Hadoop系统为代表的批处理系统，都已经是稳定而高效的批处理系统。而对于流式数据处理模型的研究仅仅处于一个初级阶段，在早期关于流式数据的研究也主要集中在以数据库为中心而开展的，主要是研究了数据计算的流式化，数据规模也比较小，数据对象也比较单一，很难适应在大数据时代下流式数据处理所呈现出来的新特性。因为，在新时期的流式数据主要呈现出实时性、突发性、无序性等特点，对新的流式计算系统就有了更高更严格的要求。

在国外，Yahoo推出了S4流式数据处理系统，随后在2011年，Twitter也推出了自己的流式数据处理系统Storm,还有就是近年来开源社区新兴的MOA（Massive Online Analysis）、Spark Stream都是流式处理系统，这在一定程度上推动了流式数据处理的发展和应用。但是像S4、Strom这样的流式数据处理系统在可伸缩性、容错性、数据吞吐量等方面存在着明显的不足，而对于MOA，Spark Stream这样的系统，虽然功能和API十分丰富，但是在稳定性和易用性上不尽如人意。所以，如果构建一个低延迟、高吞吐、易用且能持续可靠地运行的流式数据处理系统，是一个亟待解决的问题。

在国内，目前关于流式数据处理模型的研究还比较少，但目前国内主要有百度公司自主研发的Dstream和TM实时计算平台，在学术界主要是有一下关于流式数据挖掘算法的研究。但是，流式数据的可视化分析已经在很多场景得到了应用，比如各大银行都陆续建立的大屏监控系统，就是实时地监控银行的业务状况、系统运行状况、用户行为分析等，又比如政府网站群的监控，也是通过实时监控网站的访问数据，分析用户的行为。在这些应用的背后，如何建立一个高效、稳定、易于维护的实时处理模型显得尤为重要。

文献[1]，

文献[2]，

1.2.2 Node-red的研究应用现状

Node-red作为一种在物联网时代的新型产物，是一种用来快速搭建物联网应用程序的流式处理框架，在信息无处不在的时代，Node-red也越来越受到业界的关注和研究。

它是由IBM Emerging Technologies团队发起的一个开源项目，其中Nick O’Leary 和Dave Conway-Jones工程师为Node-red的设计和开发做出了巨大的贡献。2013年，Node-red以开源项目的形式被发布，经过一年的发展，Node-red已经拥有了一大批活跃的用户和开发人员。Node-red依然是一个新型科技，时至今日，但凡用过Node-red的制造商、实验人员和一大批大大小小的公司，都已经见证了Node-red极具价值的应用之处。

在国外，IBM公司率先将Node-red应用起来，Node-red被集成到IBM公司的最新云产品Bluemix上。通过Bluemix提供的云服务，用Node-red来建立和管理一个实例（也就是一个应用流程），就可以实现消息的推送服务。Node-RED 的使用，与 Bluemix 中简单的 Push 服务相结合，使整个流程变得非常简单，需要调整的部分也少得多。

在国内，目前也有很多智能设备制造公司在使用Node-red，可以很方便地通过Node-red节点来控制硬件设备的状态，比如拿Node-RED搭配Arduino，是一个快速原型化的好用工具.例如控制RPI的某根脚位去点亮LED。只要简单的拉四个node，串一串再写一点程序代码即可做到。因为Node-red还在进一步完善当中，原始开发的节点可能很难满足实际的需求，所以，我们在运用Node-red来管理数据流程的时候，还需要自己开发需要的功能节点。在这一点上，目前在不少银行的业务监控系统中引入了redis的访问节点。

1.2.3 Redis的研究应用现状

Redis作为存储系统之中的后起之秀，由于其数据结构丰富、基于内存计算、支持网络又可进行数据持久化等特点，迅速为许多企业和开发者所爱戴。不论是在学术界还是在工业界，对Redis的研究都从未停止过。

Redis是由Salvatore Sanfilippo为实时统计系统LLOOGG量身定制的一个数据库，在2009年的时候将Redis开源发布，并开始于另外一位Redis代码贡献者Pieter Noordhuis一起继续Redis的开发，知道现在。随着Redis内存数据库的发布，短短几年内的时间就拥有了一个庞大的用户群体。在国外，像GitHub、Viacom、Pinterest等都是Redis的用户，Github利用Redis集群，来统计用户项目跟进状况。而在国内，新浪微博研究了Redis数据库的源码，搭建了有号称史上最大的Redis集群，实现了传统的SQL数据库难以实现的计数分析（counting）、反向缓存（reverse cache）、top 10 list等功能。近年来，也有不少银行，在自己的实时数据监控平台引入了Redis数据库，实现了数据的实时处理和分析，还有就是随着国家电子政务系统的逐渐推行，不少的地方政府也在自己的数据中心监控系统中引入了Redis数据库，来实现数据实时计算和处理。

文献[3]，

1.3 论文主要工作和研究内容

本文对大数据背景下流式数据处理过程中所遇到的挑战和难题进行了研究分析，详细研究了Node-red流式处理框架的编程模型和消息推送机制，Redis数据库的存储原理及其基于内存计算的原理。设计了一种新的基于Node-red的流式管理和Redis的内存计算的流式数据处理模型，并通过实现网站访问实时监控系统来验证了该模型的可行性。主要工作内容如下：

1. 本文对当下流行的几款流式处理框架Storm、Spark stream与Node-red流式管理框架进行了对比分析，详细阐述了各自的编程模型，同时结合node.js的事件驱动与非阻塞机制详细阐述Node-red的消息推送原理。

（2）对Redis数据库做了深入研究。因为在流式数据处理中，经常会遇到关于最大值，最小值，累计求和等指标的计算，而去重统计是计算这些指标的基础。因此，本文通过分析Redis有序集合的源码，结合Skip List的基本原理，深入研究基于Redis有序集合的去重统计原理。

（3）在研究分析了流式数据的特点和流式数据处理的基本原理后，结合Node-red的编程模型和消息推送机制，设计了一种新的基于Node-red的流式管理和Redis的内存计算的流式数据处理模型。由于原始的Node-red缺乏对Redis数据库的访问节点以及Redis的pub/sub节点，重新设计了新的数据输入、输出节点以及数据处理函数节点（function\_node），并成功发布到Node-red框架当中，实现数据的流式处理，和数据流的管理。

（4）本文最后还对设计好的流式处理模型，应用到实际生产环境中加以验证。使用该模型对某政府网站的访问流量数据进行实时监控分析，设计了一套数据监控系统，该系统包括了数据的实时采集、实时分析和处理，以及最后的数据可视化展示，并对结果进行了有效性分析。实现了从模型设计到模型应用的全过程。

1.4 论文章节结构概述

本论文共分为七章，其章节结构安排如下：

第一章，绪论，首先介绍了本论文的研究背景和意义，通过阅读大量相关文献和论文资料，总结了国内外流式数据处理模型的研究现状，以及Node-red、Redis的研究应用现状。然后简单的介绍了本论文的主要研究内容和全文的章节结构安排。

第二章，实时流数据处理的理论基础和技术，本章详细介绍了目前几个主流的流式处理框架的编程模型，有Storm的流式编程模型、Spark stream的流式编程模型、Node-red的编程模型以及他们各自的特点和不足之处。同时，还结合了node.js的异步非阻塞模式与事件驱动机制阐述了node-red的底层消息传输原理，本章最后还介绍了关于Redis的存储技术和Pub/Sub机制。

第三章，基于Node-red和Redis的实时流数据处理模型的设计，本章首先对在实际场景中的流式数据处理应用做了详尽的需求分析，然后对模型的总体架构做了详细设计，最后对于Node-red中原本缺少的用于流式数据的输入和输出节点以及数据处理节点做了重新设计，并将设计的各个节点重新部署到Node-red框架当中，使其成为一个能够胜任流式数据处理的完整框架。

第四章，基于Redis有序集合的去重统计方法的研究，分析Redis有序集合的底层源码，结合Skip List算法研究了Redis有序集合在实时流数据处理中的去重统计方法。

第四章，基于Node-red与Redis的的网站访问监控系统的设计与实现，本章主要是对设计的新模型加以应用，以此来验证模型的可行性。为此设计了一个网站访问的实时监控系统，数据处理就用到了我们设计好的流式数据处理模型，将数据处理的结果输出到前端页面做可视化展示。本章详细阐述了系统的功能，各个模块的设计与实现以及系统的展示。

第五章，系统测试与性能分析，这一章是整个模型以及应用系统的测试环节，主要是分析了模型对流式数据的处理能力，对设计的应用系统进行功能测试。

第六章，全文总结与展望，是对本论文的主要工作进行最后总结，并对后续工作做了一些说明。

1. 实时流数据处理的基础理论和技术

2.1实时流数据处理的编程模型

2.1.1 Storm的编程模型

Storm是一个分布式的，可靠的，容错的数据流处理系统。它会把工作任务委托给不同类型的组件，每个组件负责处理一项简单特定的任务。Storm集群的输入流由一个被称作spout的组件管理，spout把数据传递给bolt， bolt要么把数据保存到某种存储器，要么把数据传递给其它的bolt。你可以想象一下，一个Storm集群就是在一连串的bolt之间转换spout传过来的数据。

在Storm编程框架中，只要不是人为干预，Storm就一直实时不断地进行数据处理。值得注意的是，并不是Storm去处理，而是它可以将我们程序的很多jar包，业务程序，同时放到不同的服务器中并发的运行，最终得到的结果就是不同系统的海量数据就会分散到不同的服务器中并发的进行处理，负载能力很强。所以真正进行数据处理的是我们写好的数据处理程序，Storm的强大作用之一就是它为这些程序提供了运行温床，将应用程序上传到Storm集群中，在多台机器上并发运行，这样就可以扩展程序的负载处理能力，实现流式计算。

接下来我们看一下Storm的集群组件，Storm集群主要有两个角色扮演者，一个就是Nibus，是集群的主节点，主要负责任务分配、响应客户端提交topology请求以及任务失败的调度。另外一个就是Supervisor，是集群的从节点，主要负责启动、停止业务逻辑组件程序进程。主从节点之间通过zookeeper集群进行连接，主从节点之间是fail-fast（java的一种错误机制）、无状态的，主从节点的状态信息均保存到zookeeper中或者本地硬盘里。这样的好处就在于，哪怕是主节点kill掉了，storm会自动起一个备份主节点，因为无状态的关系，所以任意一个节点都可以充当Nimbus一角。图2-1 展示了Storm集群的架构，这种设计使得Storm十分稳定。



图2-1 Storm集群架构图

在[Storm](https://storm.apache.org/" \t "http://www.csdn.net/article/2015-03-09/_blank)中，先要设计一个用于实时计算的图状结构，我们称之为拓扑（topology），这也是Storm处理流式数据计算的核心编程模型。正图2-1 所示，这个拓扑将会被提交给集群，由集群中的主控节点（master node）分发代码，将任务分配给工作节点（worker node）执行。一个拓扑中包括spout和bolt两种角色，其中spout发送消息，负责将数据流以tuple元组的形式发送出去；而bolt则负责转换这些数据流，在bolt中可以完成计算、过滤等操作，bolt自身也可以随机将数据发送给其他bolt。由spout发射出的tuple是不可变数组，对应着固定的键值对。



图2-2 Storm拓扑结构图

简单理解，Storm中的拓扑结构（topology）就是包含了数据源、逻辑处理组件的一个外在集合框架，使用storm可以定义一个topology里set多少个数据源组件，多少个逻辑处理组件。

2.1.2 Spark streaming的编程模型

Spark是一个类似于MapReduce的分布式计算框架，其核心是弹性分布式数据集，提供了比MapReduce更丰富的模型，可以在快速在内存中对数据集进行多次迭代，以支持复杂的数据挖掘算法和图形计算算法。Spark Streaming是一种构建在Spark上的实时计算框架，它扩展了Spark处理大规模流式数据的能力。

Spark Streaming是将流式计算分解成一系列短小的批处理作业。这里的批处理引擎是Spark，也就是把Spark Streaming的输入数据按照batch size（如1秒）分成一段一段的数据（Discretized Stream），每一段数据都转换成Spark中的RDD（Resilient Distributed Dataset），然后将Spark Streaming中对DStream的Transformation操作变为针对Spark中对RDD的Transformation操作，将RDD经过操作变成中间结果保存在内存中。整个流式计算根据业务的需求可以对中间的结果进行叠加，或者存储到外部设备。图2-3显示了Spark Streaming的整个流程。



图2-3 Spark streaming 架构图

使用Spark Streaming编写的程序与编写Spark程序非常相似，在Spark程序中，主要通过操作RDD（Resilient Distributed Datasets弹性分布式数据集）提供的接口，如map、reduce、filter等，实现数据的批处理。而在Spark Streaming中，则通过操作DStream（表示数据流的RDD序列）提供的接口，这些接口和RDD提供的接口类似。图2-4 展示了由Spark Streaming程序到Dstream Graph的转换。



图2-4 Spark Streaming程序到Dstream Graph的转换图



图2-5 Dstream Graph到DDR Graph的转换图

在图2-4 中，Spark Streaming把程序中对DStream的操作转换为DStream Graph，图2-5 中，对于每个时间片，DStream Graph都会产生一个RDD Graph；针对每个输出操作（如print、foreach等），Spark Streaming都会创建一个Spark action；对于每个Spark action，Spark Streaming都会产生一个相应的Spark job，并交给JobManager。JobManager中维护着一个Jobs队列, Spark job存储在这个队列中，JobManager把Spark job提交给Spark Scheduler，Spark Scheduler负责调度Task到相应的Spark Executor上执行。

Spark Streaming的另一大优势在于其容错性，RDD会记住创建自己的操作，每一批输入数据都会在内存中备份，如果由于某个结点故障导致该结点上的数据丢失，这时可以通过备份的数据在其它结点上重算得到最终的结果。

正如Spark Streaming最初的目标一样，它通过丰富的API和基于内存的高速计算引擎让用户可以结合流式处理，批处理和交互查询等应用。因此Spark Streaming适合一些需要历史数据和实时数据结合分析的应用场合。当然，对于实时性要求不是特别高的应用也能完全胜任。另外通过RDD的数据重用机制可以得到更高效的容错处理。

2.1.3 Node-red的编程模型

Node-Red是IBM公司开发的一个可视化的编程工具。它允许程序员通过组合各部件来编写应用程序。这些部件可以是硬件设备(如：Arduino板子)、Web API(如：WebSocket in和WebSocket out)、功能函数(如：range)或者在线服务(如：twitter)。Node-Red提供基于网页的编程环境。通过拖拽已定义node到工作区并用线连接node创建数据流来实现编程。程序员通过点击‘Deploy’按钮实现一键保存并执行。程序以JSON字符串的格式保存，方便用户分享、修改。Node-Red基于Node.js，它的执行模型和Node.js一样，也是事件驱动非阻塞的。理论上，Node.js的所有模块都可以被封装成Node-Red的一个或几个node。

2.2 Node的事件驱动和非阻塞机制

与Nginx的服务原理类似，Node采用事件驱动的运行方式。不过nginx式多进程单线程，而Node通过事件驱动的方式处理请求时无需为每一个请求创建额外的线程。在事件驱动的模型当中，每一个IO工作被添加到事件队列中，线程循环地处理队列上的工作任务，当执行过程中遇到来堵塞(读取文件、查询数据库)时，线程不会停下来等待结果，而是留下一个处理结果的回调函数，转而继续执行队列中的下一个任务。这个传递到队列中的回调函数在堵塞任务运行结束后才被线程调用。图2-6 为Node的事件驱动原理图。



图2-6 Node的事件驱动原理图

Node Async IO = CPS + Callback，这一套实现开始于Node开始启动的进程，在这个进程中Node会创建一个循环，每次循环运行就是一个Tick周期，每个Tick周期中会从事件队列查看是否有事件需要处理，如果有就取出事件并执行相关的回调函数。事件队列事件全部执行完毕，node应用就会终止。Node对于堵塞IO的处理在幕后使用线程池来确保工作的执行。Node从池中取得一个线程来执行复杂任务，而不占用主循环线程。这样就防止堵塞IO占用空闲资源。当堵塞任务执行完毕通过添加到事件队列中的回调函数来处理接下来的工作。

我们知道，IO操作无疑是耗时的，当服务器端接收到大量请求时，为每一个请求创建进程或线程的同时，也增加了额外的内存开销，也可能浪费更多的时间资源。由于Node.js是事件驱动的，于是它使用了事件循环来解决IO操作带来的瓶颈问题。在Node.js中，一个IO操作通常会带有一个回调函数，当IO操作完成并返回时，就会调用这个回调函数，而主线程则继续执行接下来的代码。下面我们说明一下Node.js异步非阻塞I/O的运行原理。

在Windows平台上，Node.js是直接利用Windows下的IOCP（I/O Completion Port）通常称为I/O完成端口来实现的，在IOCP的内部其实是利用了线程池的原理，这些线程是由Windows系统内核自动管理，不需要我们手动加以管理。而在Linux平台上，Node.js从v0.9.3版本以后，都是通过自行实现的线程池来完成异步非阻塞I/O的。由于这种跨平台的差异性，Node.js通过构建一个平台层架构libuv，来屏蔽平台的差异性，所有平台的兼容性问题都是由这一层来完成。图2-7 就是Node.js的异步执行架构图。



图2-7 Node.js的异步执行架构图

以上就异步非塞模型和事件驱动机制进行了总结。而这个事件循环的机制并不仅仅是Node.js所独有的，并且Node.js的代码是单线程执行的，在面对大量并发请求的时候，Node.js是有着自己独特优势的，图2-8 我们给出了Node.js的架构图。



图2-8 Node.js的架构图

从该架构图中可以看出，Node.js的底层有一个模块负责维护线程池，当一个IO请求发出的时候，Node.js的底层模块将新建一个线程来处理请求，完成后再将结果交还给上层。那么，当有多个请求的时候，Node.js的底层模块将利用尽可能少的线程来完成最多的任务，如果存在空闲的线程，它将继续被利用来做其他的事情，这对于前面说的针对每个请求开一个新的进程或线程而言，无疑“聪明”许多，也更加高效了。

2.3 Node-red可视化流式处理框架

2.3.1 Node-red的概述

Node-Red是IBM公司开发的一个可视化的编程工具。它允许程序员通过组合各部件来编写应用程序。这些部件可以是硬件设备(如：Arduino板子)、Web API(如：WebSocket in和WebSocket out)、功能函数(如：range)或者在线服务(如：twitter)。Node-Red提供基于网页的编程环境。通过拖拽已定义node到工作区并用线连接node创建数据流来实现编程。程序员通过点击‘Deploy’按钮实现一键保存并执行。程序以JSON字符串的格式保存，方便用户分享、修改。Node-Red基于Node.js，它的执行模型和Node.js一样，也是事件驱动非阻塞的，这一点在上一节关于Node的事件驱动和非阻塞机制已经作了详尽的阐述。理论上，Node.js的所有模块都可以被封装成Node-Red的一个或几个节点（node）。接下来，我们将详细地阐述如何搭建Node-red的环境，以及如何编写和管理自己的flow。

2.3.2 Node-red的编译与安装

由于本文要对Node-red的原始节点进行补充，增加新的节点使其适合流式数据的传输和计算。因此我们在安装Node-red的时候选择了源码安装。安装的平台选择了Ubuntu14.04长期支持版。具体的安装流程如下：

依赖的安装：

由于Node-red是基于Node.js的，所以在安装Node-red前必须先安装Node.js。这里推荐使用源码安装。

在github上获取Node.js的源码：

$ sudo git clone https://github.com/nodejs/node.git

修改目录权限：

$ sudo chmod -R 755 node

使用./configure创建编译文件，并按如下命令安装：

$ cd node

$ sudo ./configure

$ sudo make

$ sudo make install

验证是否安装成功：

在按照上面三步安装之后，执行node -v命令之后，结果如图2-9 所示表示安装成功。



图2-9 node.js安装成功

检验npm（NodePackagedModule）是否安装成功：

由于新版的Node.js里面已经集成了npm，所以不需要另外单独安装npm，执行npm -v命令之后，结果如图2-10 所示表示安装成功。



图2-10 npm安装成功

Node-red的安装：

因为我们要对Node-red的原始节点进行补充，所以这里我们必须选择源码安装。

在github上获取Node-red的源码：

$ sudo git clone https://github.com/node-red/node-red.git

安装Node-red：

$ cd node-red

$ npm install

安装grunt-cli：

为了能够利用Node-red顺利的创建应用，这里我们还需要安装grunt-cli，并且不需要安装成全局模块。

$ npm install -g grunt-cli

创建应用并运行Node-red：

$ grunt bulid

$ node red

验证Node-red是否运行成功：

按照上述步骤安装结束之后，如果执行node red命令之后，控制台出现如图2-11 所以表示安装成功：



图2-11 Node-red安装成功

2.3.3 Node-red的基本配置

安装好Node-red后，在Node-red的安装目录下有很多文件，从这些源码文件就可以看出Node-red的目录是十分清晰，各个模块的划分也是仅仅有条的。在这些文件当中，绝大部分文件用户都不需要关心，但是有几个重要文件我们需要尤其注意，详细了解这些文件的作用和实用方法，对我们后面开发新节点有很重要的帮助，首先我们来看一下Node-red的目录结构，图2-12 展示了Node-red的目录结构。



图2-12 Node-red目录结构图

下面简单地介绍一下各个目录文件存储的内容和作用：

（1）在/public目录下是一些关于Node-red本身的静态文件，包括资源文件、css样式文件、以及前端页面的html文件；

（2）/node-modules目录下面是一些外部依赖库，也就是Node-red需要的一些Node.js模块。

（3）/red目录下面就是真正的Node-red代码，主要是一些核心api、事件驱动程序、服务器端主程序、系统设计程序以及Node-red的入口程序等。

（4）/test目录下面主要是放了一些用于测试的Node以及flow；

（5）/nodes目录是一个极其重要的目录，Node-red中所有的节点都是存放在这个目录下的，包括各个节点的html和js文件，本文中重新设计的数据节点也会放在这个目录下。

（6）settings.js文件是整个Node-red的系统配置文件，该文件描述了启动的参数细节、端口和ip设置以及各个启动目录的设置。

了解了各个目录文件的作用之后我们再来介绍一下如何配置Node-red。

2.4 基于内存计算的数据库Redis

2.4.1 Redis数据库的概述

redis是一个key-value[存储系统](http://baike.baidu.com/view/51839.htm" \t "http://baike.baidu.com/_blank)。和Memcached类似，它支持存储的value类型相对更多，包括string(字符串)、list([链表](http://baike.baidu.com/view/549479.htm" \t "http://baike.baidu.com/_blank))、set(集合)、zset(sorted set --有序集合)和hash（哈希类型）。这些[数据类型](http://baike.baidu.com/view/675645.htm" \t "http://baike.baidu.com/_blank)都支持push/pop、add/remove及取交集并集和差集及更丰富的操作，而且这些操作都是原子性的。在此基础上，redis支持各种不同方式的排序。与memcached一样，为了保证效率，数据都是缓存在内存中。区别的是redis会周期性的把更新的数据写入磁盘或者把修改操作写入追加的记录文件，并且在此基础上实现了master-slave(主从)同步。

与其他key-value存储系统相比，Redis有着更为复杂的数据结构并且提供对他们的原子性操作，这是一个不同于其他数据库的进化路径。Redis的数据类型都是基于基本数据结构的同时对程序员透明，无需进行额外的抽象。Redis运行在内存中但是可以持久化到磁盘，所以在对不同数据集进行高速读写时需要权衡内存，因为数据量不能大于硬件内存。在内存数据库方面的另一个优点是，相比在磁盘上相同的复杂的数据结构，在内存中操作起来非常简单，这样Redis可以做很多内部复杂性很强的事情。同时，在磁盘格式方面他们是紧凑的以追加的方式产生的，因为他们并不需要进行随机访问。

2.4.2 Redis数据库的储存原理

Redis存储机制分成两种Snapshot 和 AOF。无论是那种机制,Redis都是将数据存储在内存中。

Snapshot工作原理: 是将数据先存储在内存，然后当数据累计达到某些设定的伐值的时候，就会触发一次DUMP操作，将变化的数据一次性写入数据文件（RDB文件）。

AOF 工作原理: 是将数据也是先存在内存，但是在存储的时候会使用调用fsync来完成对本次写操作的日志记录，这个日志揭露文件其实是一个基于Redis网络交互协议的文本文件。AOF调用fsync也不是说全部都是无阻塞的，在某些系统上可能出现fsync阻塞进程的情况，对于这种情况可以通过配置修改，但默认情况不要修改。AOF最关键的配置就是关于调用fsync追加日志文件的平率，有两种预设频率，每次记录进来都添加，每秒添加一次。

这两种存储策略各有优点，从性能上讲，Snapshot方式的性能明显要高于AOF方式，因为前者是采用2进制方式存储数据，数据文件比较小，加载快速，存储的时候是按照配置中的save策略来存储，每次都是聚合很多数据批量存储，写入的效率很高，而AOF则一般都是工作在实时存储或者准实时模式下。相对来说存储的频率高，效率却偏低。但是从数据安全性上来讲，AOF数据安全性高于Snapshot存储，因为Snapshot存储是基于累计批量的思想，也就是说在允许的情况下，累计的数据越多那么写入效率也就越高，但数据的累计是靠时间的积累完成的，那么如果在长时间数据不写入RDB，但Redis又遇到了崩溃，那么没有写入的数据就无法恢复了，但是AOF方式偏偏相反，根据AOF配置的存储频率的策略可以做到最少的数据丢失和较高的数据恢复能力。

2.4.3 Redis数据库的pub与sub机制

pub/sub功能也就是publish/subscribe功能，也就是发布订阅功能。基于事件的[系统](http://www.2cto.com/os/" \t "http://www.2cto.com/database/201502/_blank)中，pub/sub是目前广泛使用的通信模型，它采用事件作为基本的通信机制，提供大规模系统所要求的松散耦合的交互模式：订阅者比如客户端以事件订阅的方式表达出它有兴趣接收的一个事件或一类事件，发布者比如服务器可以将订阅者兴趣的事件随时通知相关订阅者。

Redis数据库也支持pub/sub机制，本论文所设计的流式数据处理模型中，新引入了数据的输入节点也就是redis的subscribe节点，以及数据的输出节点publish节点，将这两个节点在采集数据的时候用。订阅者可以订阅多个Channal，而发布者可以通过Channel，向订阅者发送消息。但是发布者所发的消息是异步的，不需要等待订阅者订阅，也不关心订阅者是否订阅，简单地说就是订阅者只能收到发布者后续所发送到该Channel上的消息，如果之前发送的消息没有接收，那么也再也接收不到了，下面是Redis数据库的发布订阅命令。

PUBLISH channel\_1 hello;

SUBSCRIBE channel\_1;

PUBLISH：向channel\_1发布消息hello。

SUBSCRIBE：订阅channel\_1消息，会收到发布者所发送的hello消息。

2.5 本章小结

本章主要是对本论文的相关技术进行了介绍，首先详细介绍了当前流行的几种流式数据处理框架的编程模型和一些基本概念。然后对Node的事件驱动和非阻塞机制进行了详细阐述，主要是为后面Node-red的节点设计打下理论基础，再是对Node-red进行了详细介绍，最后还详细介绍了Redis数据库的基本概念、存储原理以及发布/订阅消息的模型。

1. 基于Node-red与Redis的实时流数据处理模型的设计

3.1 需求分析

本论文主要是研究和设计一种基于Node-red与Redis的实时流数据处理模型，应用场景为实际项目中的网站群的实时访问监控。在本项目中旨在实时了解用户访问网站群的行为，捕捉用户请求并跟踪其所有响应，收集、处理并显示用户行为的细节数据，并可视化展示数据和挖掘数据背后的信息。针对该流式计算模型在实际应用场景下提出如下的需求。

（1）高实时性；在许多实时流数据处理的应用场景中，不论是数据的采集，还是数据的处理，都要求具有高实时性。高实时性，要求模型在进行数据采集的时候满足不低于每秒钟50笔的采集速度，以免造成数据堆积，同时也要求具备高效的数据计算和处理能力。

（2）高性能；随着业务的不断扩展，数据量也不断的增大，对系统的性能要求也越来越严格。因此，从数据采集到数据处理再到数据可视化展示，各个环节都要求系统具有良好的性能。最直观的表现就是在用户看到的可视化模块的数据更新延迟不能超过2秒钟。

（3）高可用；系统可以通过集群等方式实现分布式部署，避免单点故障。

（4）可扩展；数据量、计算量会随着业务的不断扩展而不断增大，这就要求模型需要有良好的扩展性。

（5）分布式；为了提高数据的处理能力和计算效率，模型还需要具备分布式的处理能力；

（6）安全性；数据安全是任何系统的一个首要前提，流式数据处理模型也必须要保证数据的安全性。

本论文在这些需求的基础之上，提出一种新的实时流数据处理模型，要在Node-red上设计出高效的数据接入和输出节点，同时也要有高效的数据处理节点。结合redis的内存计算的优势，设计出redis数据库访问节点，用于统计中间结果集，以调高统计计算的效率。同时，充分利用Redis的pub/sub机制来实现数据的流式异步传输。最终将这套模型应用到实际系统中去加以验证。

3.2 模型的总体架构

基于Node-red与Redis的实时流式数据处理模型的设计是搭建在Ubuntu环境下的，也可以部署在分布式环境上以提高流式数据的处理能力和计算效率。该模型通过重新设计数据输入、输出以及数据计算节点，以完成对实时流数据的处理。整个模型的架构如图3-1 所示：



图3-1 流数据处理模型架构图

从该模型的架构图中可以看出，Redis数据库充当了数据交换的中心，而整个数据流的处理逻辑都交给计算节点群去完成。数据首先通过Redis的channel（通道）进入Redis server，然后Node-red利用redisSub节点去订阅相应通道（channel）的数据交给计算节点（function nodes）集群进行数据计算，而计算节点集群所产生的中间结果集，通过redis\_in节点传给redis server进行统计，最后产生的最终计算结果通过redisPub节点发布到前端可视化模块中。

在原始的Node-red中是没有任何节点可以与Redis进行交互，为此，新增加了redisSub、redisPub、redis\_in和redis\_out节点。为了，用户可以自定义数据的处理逻辑，引入了函数节点，多个函数节点构成了整个流式计算的计算节点群。有了这些节点，就可以方便快捷地在Node-red上编写流式数据处理的业务代码，更为重要的是，这些业务代码可以实现一次编写多次使用，方便移植和维护。

3.3 节点处理模块的设计

节点是Node-red的重要组成元素，所有的flow都是通过一个一个的节点组成的，在Node-red中有三类基本的节点，数据输入节点、输出节点以及数据处理节点。为了设计出适合流式数据处理的节点，这里必须对这三类节点进行补充设计，在这一节中主要是对整个流式数据处理模型所需要的节点给出详细的设计方案。Node-red的节点本身主要包括两份文件：js文件和html文件，js文件主要定义了组件具体做些什么事情，有什么样的功能；html文件主要定义了组件的属性，组件编辑框格式和帮助信息等，图3-2 为一个Node的设计方案：



图3-2 Node-red的节点设计方案图

将设计好的新节点重新安装部署到Node-red中，就可以在Node-red的前端编辑界面使用该节点进行数据处理。Node-red强大的扩展能力就是体现在用户可以设计Node-red没有提供的节点，来完成特定的任务。由于Node-red本身在定义节点的时候有自己的要求和原则，所以，为了保证节点设计的正确性和有效性，节点设计的必须按照如下原则来进行：

（1）要求创建的节点要对各种数据类型的输入数据进行必要的处理，即使某些类型并不是这个节点所需要的。这样做有两个目的，一是为了便于对原始数据进行追加额外说明信息，二是为了便于节点的扩展。

（2）由于Node-Red在识别和处理节点的时候使用了大量的字符串匹配操作，所以在节点的定义中有一些名字的字符串是必须保持一致的，否则Node-Red在解析的时候就会出错。

（3）.html文件分为3部分：节点的定义，节点的编辑模板和节点的帮助信息。节点的定义主要用于：确定节点的类型，可编辑的属性，在浏览器中显示的样式，是一段可执行的js代码，RED.nodes.registerType；编辑模板主要是生成用户编辑该节点的实例时的界面(由data-template-name包括的一段HTML代码)，用户的输入最终会保存在node的定义中；

（4）在.html文件中，data-template-name、node-input-xx、data-help-name都是Node-Red系统保留字。data-template-name、data-help-name的值必须和文件名字的name部分一致。RED.nodes.registerType的第一个参数也必须和文件名字的name部分一致。

（5）每个节点的可编辑的域在defaults中声明，data-template-name所包含的node-input-xx负责生成输入框。defaults的每个域的名字必须和node-input-xx中的名字保持一致。在.js文件中使用可编辑域的值的时候，直接访问defaults的域就可以，不必添加defaults前缀。

（6）在.js文件中，RED.nodes.registerType用来注册一个node实例的生成函数，它的第一个参数必须和文件名字的name部分一致。传给生成函数的参数是node可编辑域的值(已编辑完成)及节点共享域的值。

（7）input的callback是节点输入的处理函数。需要注意的是，Node-Red节点间数据传输使用的是名字为payload的域，这个也是Node-Red系统保留的。

3.3.1 数据输入节点的设计

数据的输入节点（input node），主要是用于从外部设备或者其他外部接口获取数据到Node-red中进行数据分析。在Node-red的一个flow中，输入节点是所有message的入口，为下一个Node产生新的message。由于Node-red自带的输入节点很有限，而且不适合流式数据的输入，所以在这里必须补充设计数据的输入节点。

为了满足流式数据的输入需求，数据的输入节点的设计必须要满足一下几个原则：

（1）流式化数据，为了让成批到达的数据也能够在这样一个模型中得到计算，我们在设计数据输入节点的时候就要考虑到这点，也就是说让批量到达的数据逐条进入Node-red的flow。

（2）统一的数据格式，在一个数据处理模型中，数据格式的好与坏意味着后序进行数据计算的简与繁。

（3）高吞吐量，由于流式数据的产生是源源不断的，所以在设计输入节点的时候要充分考虑节点的数据吞吐量问题，不然会造成大量数据的堆积，从而影响后续的数据分析与计算。

（4）高稳定性，输入节点是数据的入口，稳定性是必须考虑的一个因素。

（5）可移植性，为了能够将自己设计的数据输入节点共享给其他用户，节点的可移植性也十分重要。

为了设计出高效的适合流式数据传输的输入节点，考虑到流式数据的特点，结合redis数据库的sub机制，可以为Node-red新增一个redisSub节点。从上一小节的总体架构图中我们可以看出，我们尽量让所有的数据通过redis的发布订阅机制来进行收集，把采集到的数据按类别放到不同的redis通道（channel）中，然后在Node-red中通过我们新增加的redisSub节点去订阅相应channel的数据，这样就可以把数据引入Node-red中，完成了数据的接入工作。同样redisSub节点也包括两个文件，一个是编写具体功能的实现代码的文件js文件，另一个是用于界面设计和帮助文档描述的html文件。由于Node-red原始节点的存在，所以在进行文件命名标号的时候从52号开始，因为文件名编号和节点的ID是紧密相关的，所以节点的标号必须唯一。设计好新的节点后需要重新安装部署新节点到Node-red中，在利用npm安装的时候，Node-red的节点注册模块会去检测setting.js配置文件，依次加载配置文件中的其他外部模块。图3-3 是整个redisSub节点的设计图。



图3-3 redisSub节点设计图

对于redisSub节点的界面ui设计，需要考虑有哪些信息需要用户输入该节点。因为每个节点都有自己的名字，所以首先需要的一个信息就是用户为该节点取一个名字，需要用户输入Name字段。由于数据是存放在redis server上的，所以还需要redisSub节点的描述redis server的ip地址和端口号。当redisSub节点连接上redis server后，不知道数据是位于redis的哪一个channel上，因此还必须给出通道名称，这些都是redisSub节点所需要的最基本的信息。另外还有就是redisSub节点的帮助信息也必须给出一定的说明。ui界面主要是定义在52\_redisSub.html文件中。

<script type="text/x-red" data-template-name="redisSub">

<div class="form-row">

<label for="node-input-name"><i class="icon-tag"></i> host</label>

<input type="text" id="node-input-host">//redis server的ip地址

<label for="node-input-name"><i class="icon-tag"></i> port</label>

<input type="text" id="node-input-port">//redis server 的端口号

...//其他说明信息

<label for="node-input-name"><i class="icon-tag"></i>Channel</label>

<input type="text" id="node-input-channel">//redis 通道名

</div>

</script>

...//帮助文档的信息

而对于redisSub节点的具体功能，是在52\_redisSub.js文件中实现的。首先，要调用Node-red提供的节点创建函数createNode()创建一个节点，并把配置信息告诉节点。节点接收到这些信息后，创建一个数据库连接池函数redisConnectionPool，将redis server的ip和port，和createNode函数内部所产生的uuid传递给连接池函数。数据库连接池主要是通过一个connections数组的\_nodeCount来记录有多少redisSub节点连接redis server，当有一个新节点连接redis时，该值就会加一，同样当有一个节点断开了解的时候就会减一。当有close请求到的时候首先要判断\_nodeCount的值是否为0，来决定是否删除connections对象数组。关于redis数据库连接池函数的执行流程如图3-4 所示：



图3-4 Redis数据库连接池函数执行流程

有了数据库连接池函数，就可以来实现redisSub的功能了。redisSub节点的前端页面将用户输入的redis server的信息保存起来，然后通过参数传给连接池函数连接redis server。连接数据库后调用client.subscribe()方法去订阅指定的通道，如果订阅成功，就让client去监听一个message事件，看通道是否有数据发送过来，如果有数据就封装在msg.payload中，让node的send()方法发送出来供下一个节点接收。与此同时，client还要去监听redis的close事件，当redisSub节点断开与redis server的连接的时候，就要调用redisConnectionPool.close()方法去断开连接。

下面就是redisSub的功能函数的伪代码：

function redisSub(config) {

//创建节点

RED.nodes.createNode(this,config);

//将html文件中定义的节点属性保存下来。

this.channel = config.channel;

...

//为节点生成一个唯一的id

var uuid1 = uuid.v4();

this.client = redisConnectionPool.get(this.host,this.port,uuid1);

...

this.client.subscribe( this.channel);

//监听相应通道的message时间，将通道发送过来的数据封装到msg.payload中，并通过node.send()方法发送出来。

this.client.on("message", function (channel, message) {

var msg = {};

msg.payload = message;

node.send(msg);

});

this.on("close", function() {

redisConnectionPool.close(node.client);

});

}

3.3.2 数据输出节点的设计

数据进入Node-red后，经过各个计算节点的数据计算、封装等工作，然后打包成系统规定的数据格式后，需要从Node-red中输出，进入后续的数据可视化展示。数据的输出就用到了Node-red的输出节点。Node-red的输出节点允许把数据输出到Node-red的flow以外的其他服务和应用上去，对内有一个数据输入的左断点，对外暴露一个公共接口。

在Node-red中有一个常用的输出节点就是debug节点，这个节点是在编写flow的时候调试的时候用的，主要显示打印出数据经过上一节点处理之后的具体信息。Debug节点是一个具有开关的节点，允许程序员手动开启或者禁用该节点。debug节点的使用也非常简单，只需要在Node-red左侧的节点栏中找到该节点然后拖拽到相应节点的后面，并用线连接起来就可以实现数据的传输，最后开启debug的启动按钮，当部署了所编写的flow后，就可以在Node-red的最右侧的debug面板中看到打印出来的具体数据。值得注意的是，debug节点的只有一个数据的入口，而没有数据的输出端，在设计debug的时候，重新封装了sendDebug()函数，用来发送消息，将消息直接发送到Node-red的网页编辑器debug视图上直接显示，而不是交由下游节点做数据处理。下面给出debug节点的设计逻辑的部分伪代码。

function DebugNode(n) {

...//创建节点并定义complete属性，用来判断数据封装是否完成。

RED.nodes.createNode(this,n);

this.name = n.name;

this.complete = n.complete||"payload";

...

this.on("input",function(msg) {

if (this.complete === "true") {

//debug节点完成了msg的接收进行封装

msg={id:this.id,name:this.name,topic:msg.topic,msg:msg,\_path:msg.\_path}

sendDebug(msg);

} else {

//debug的用户需要自己定义msg的属性

...

var output = msg[property];

if (this.complete !== "false" && typeof this.complete !== "undefined") {

output = propertyParts.reduce(function (obj, i)

...

if (this.active)

sendDebug({output});

}

...

});

有了debug节点，可以方便用户在编写自己的flow的时候，及时查看数据的处理情况。本文在第四章中应用该模型来解决实际问题的时候，将大量应用到debug节点。

为了保证数据的实时地输出到Node-red的flow以外的其他服务和应用上，这里我们新引入了redisPub节点。顾名思义，redisPub节点就是将redis的publis功能嵌入到Node-red中，通过设计一个新的节点来将经过Node-red处理和计算过的数据输出来，这里之所以选择redis的publis发布数据，一方面保证了数据的异步传输，另一方面也保证了数据的隔离（原因是各个redis的通道数据是相互隔离的，互补干预）。在坚持节点的设计原则的前提下，图3-5 给出了redisPub的设计方案。



图3-5 redisPub节点设计图

结合上一小节数据输入节点的设计可知，redisPub节点和redisSub节点的设计恰好相反，redisPub节点只具有一个数据的输入接口，也就是只有数据的输入端点，这一端是连接上一个数据处理节点的，在redisPub节点中也必须定位redis的位置，也就是redis服务器的ip，端口号，不管是在redis集群还是在单点的redis服务器中都必须要指定，同时还要指定数据输出到哪个redis的channel中。所以redisPub节点的ui设计与redisSub节点的ui设计十分相识，不同的是他们的功能代码不一样，体现在js文件中。图3-6 展示了redisPub节点的设计逻辑的具体流。



图3-6 RedisPub设计逻辑流程图

同样，在实现redisPub节点的时候，也用到了数据库连接池函数，关于这个函数的设计思想在上一小节redisSub的设计中已经做了详细阐述。从上面流程图可以看出，当redisPub节点成功连接redis后，将去监听input事件，当事件有数据输入该节点后，就会调用this.client.publish()发布函数，将封装好的数据（message对象）发布到指定的channel上。

3.3.3 数据计算节点的设计

数据计算节点在Node-red中起着举足轻重的作用，几乎所有的flow中都会用到数据计算节点。数据计算节点允许用户编写JavaScript函数来处理进入Node-red中的数据，编写自己的业务代码，将定义好的数据类型转化为在Node-red中流动的message对象。在Node-red中的message实际上就是一个JavaScript对象，message对象至少要包含payload属性，用来保存具体的数据。就像下面这样一个最基本的Node-red的massage数据格式：

msg={

payload:”massage payload”

}

计算节点接收到message后，主要处理的也是payload字段中保存的信息，处理后的数据也会封装成一个message对象传到下一个节点。然而，message对象不仅只具有payload字段，还可以扩展出更多的其他字段来补充说明message对象的属性。比如下面这个message对象：

msg={

payload:”massage payload”

topic:”error”

location:”somewhere in space and time”

}

计算节点通常包含一个数据输入端点和一个或多个数据输出端点，在Node-red中提供了部分具有特殊功能的数据处理节点，比如change\_node，可以用来增加或者删除message的字段，再如switch\_node，可以用来做开关节点使用，它是通过判断message对象的某一字段是否存在或者真假来决定最后输出什么样的message对象。为了能够进一步扩展Node-red的功能，方便利用JavaScript函数加载外部的js模块，这里引入function\_node，也就是函数节点。可以说function\_node在Node-red中就像一把瑞士军刀，可以使用户不必依赖于现有的数量有限的几个节点来处理数据。顾名思义，函数节点其实就是暴露出来的一个JavaScript函数，用户可用通过编写一个JavaScript函数来处理从上游节点流下来的message，并返回处理后的一个或多个massage。函数节点是用来做数据处理和数据格式化的利器，引入函数节点使得Node-red的对流式数据进行处理变得简单容易。图3-7 是function\_node的设计图：



图3-7 Function\_node的设计图

用户可以通过function\_node内置的编辑器sandBox，编写用户自己的JavaScript函数来处理message。在function\_node内编写的JavaScript函数内部是调用本机上的JavaScript运行环境来解释执行的，同时在函数节点中可以去调用外部的js模块，但是这首先会去配置文件setting.js文件中找到要包含的模块。所以function\_node在执行每一个函数的时候首先会去检查这个配置文件，在这个文件中去查找全局的函数模块。在setting.js中，通过functionGlobalContext支持全局模块：

functionGlobalContext: {

// bonescript:require('bonescript'),

// arduino:require('duino')

lodash:require('lodash')

}

对于自己编写的JavaScript函数要求每一个函数都有一个返回值，也就是一个message对象，即使没有显式地返回，每个函数都会默认返回一个payload字段为空字符串的message对象。

3.3.4 数据库访问节点的设计

由于在原始的Node-red中没有与Redis数据库进行交互的节点，但是本文所提出的模型中用到了Redis server来存储中间结果集，并在Redis server中进行去重统计，比如计算最大值、最小值、累计求和等。所以为了能够让Node-red与Redis进行交换，进行数据传输，所以必须设计出对Redis数据库的访问操作节点。在该模型中，主要需要的节点就是redis\_in和redis\_out节点，它们分别完成Redis读取数据和把数据存储到Redis两项任务。

在redis\_in中封装了几乎所有的Redis操作命令，该节点提供一个命令选择器，指定用户命令进行Redis操作。另外，redis\_in节点是一个具有数据输入端点的节点，它的数据同样来源于上游函数节点提供的message对象中的payload字段+(msg.payload)，用于指定命令的格式和所要操作的Redis集合。而对于redis\_out节点恰好与redis\_in节点相反，它没有数据的输入端，只有数据的输出端，因为在该节点内部已经将数据的输入端固化了，数据就是从Redis中来的，但是该节点具有一个数据的输出端，为下游节点提供数据源。

根据以上对这两个节点功能的分析，接下来对这两个节点进行详细设计，首先是redis\_in节点。该节点第一步工作就是要去连接Redis server，这里就会用到在3.3.1节中所提供的数据库连接池函数，连接成功后需要调用命令选择器，选择用户指定的命令，然后根据上游function节点提供的命令格式和指定的数据集，将这些信息组装成一条完整的Redis命令，最后调用Redis客户端去执行该命令。在图3-8 中展示了redis\_in节点的设计方案。



图3-8 redis\_in设计方案

redis\_in节点在向redis server存储数据的时候，主要的工作任务集中在命令选择器上。在命令选择器中保存了几乎所有的redis写入操作命令，是存放在一个数组对象中，首先要从这个数组中找到用户指定的命令，然后判断该命令是不是psubscribe或者subscribe命令，因为这两个命令在获取redis数据的时候还需要监听message事件，而其他命令没有该事件，所以必须单独处理。最后，将用户指定的命令与上游节点传输过来的数据集拼接成redis的命令交个redisClient执行。最终实现Node-red里的中间结果集存储到redis中，同时，通过上游节点指定的操作可以实现中间结果集在redis中的统计计算。

对于redis\_out节点的设计与redis\_in节点类似，不同的是，在redis\_out节点中同样封装了redis命令，但是这些命令只是读取数据的命令，所以命令选择器中的命令与redis\_in的不一样。另外，由于redis\_out节点具有一个输出端，所以在input事件监听器中监听到的数据封装完成后，还要通过node.send()方法发送出去，供下一个节点接收。

3.4 节点的重新部署

节点的设计和实现完之后，一步重要的工作就是要将新设计的节点部署到Node-red中。节点可以作为模块打包或者发布到npm库中，这使得它们易于安装其所有依赖的模块。为了解决安装包的依赖关系，在打包节点的时候就要严格按照npm包管理规则来打包。图3-9 是一个redisSub节点打包的目录结构：



图3-9 节点package目录结构

本文采取的是本地模块安装的方式，在本地安装节点模块，就用到了npm link命令。将节点在本地目录,链接到一个本地Node-red安装目录,这和npm安装是一样的。本地部署节点按照如下两个步骤即可完成部署。

1.在包含有package.json的目录下执行sudo npm link命令；

2.在Node-red的运行运行目录下执行npm link <节点模块的名字>。

部署成功后，重新启动Node-red，然后浏览器中打开编辑界面，在最右侧的节点视图就可以看到新增加的节点，这样就完成了节点的设计和部署工作。为接下来改模型的应用提供了技术支持。

3.5 本章小结

本章首先去基于Node-red与Redis的实时流数据处理模型及其应用进行了需求分析，同时也对整个模型的总体架构进行了设计，简要阐述了各个模块的功能以及整个模型的数据处理流程。然后对Node-red新引入的数据输入节点、输出节点、数据计算节点以及数据库访问节点给出详细设计方案。最后，阐述将新节点安装部署到Node-red中，使其成为一个完整的流式数据处理框架。

1. 基于Redis有序集合的去重统计方法的研究

上一章详细阐述了基于Node-red与Redis的流式数据处理模型的设计，在整个流式数据处理模型中，Redis作为数据交换和数据计算的中心，Redis的有序集合zset被用来进行统计计算，最重要的工作就是去重统计。本章将从“跳表”Skip List的基本原理到zset的源码分析，详细阐述有序集合的去重统计的原理。

4.1 Skip List基本原理

Skip List是由William Pugh提出的一种基于并联链表的、随机化的数据结构。其效率可以与二叉查找树相提并论，可以实现平均复杂度为的插入、删除和查找操作。一般而言，跳表是对有序的链表增加上附加的前进链接，增加是以随机化的方式进行的，这里的随机化都是以对数随机化的方式来实现的，所以在列表中的查找可以快速的跳过部分列表（因此得名）。众所周知，对于有序链表的查找操作，其时间复杂度为，尽管真正插入与删除节点的操作的复杂度只有，但是，这些操作都需要首先查找到节点的位置，换句话说，是查找拉低了有序链表的整体性能。而Skip List采用“空间换时间”的设计思想，除了原始链表外还保存一些“跳跃”的链表，达到加速查找的效果。可以很好解决有序链表查找特定值的困难。

接下来研究一下Skip List实现的原理，首先来感性认识一下Skip List。因为，“跳表”是在有序链表的基础上做改进的，所以我们从认识链表开始研究Skip List。图4-1 展示的就是一个有序链表的数据结构图（这里H表示链表头部，T表示链表尾部，不是有效节点）：



图4-1 有序链表结构图

现在假设要在该有序链表中查找value为7的节点，只能一步一步地从头到尾按照1->2->3...的顺序找下去，很明显查找效率是。如果是数组的话，可以利用二分查找，时间复杂度可以提高到。但是链表不支持随机访问，所以不能应用二分查找。但是可以考虑把中间位置的节点保存下来，重新构成新的顺序链表，经过重构的链表如图4-2 所示：



图4-2 重构后的有序链表

毫无疑问，这是一种典型的以空间换时间的设计思想。原始的顺序链表，经过重构后变成了三个顺序链表，从下到上将这三个链表编号为0、1、2，不难发现，2号链表就是原始链表，1号链表就是原始链表的四等分节点构成的，0号链表是原始链表的二等分节点构成的。现在，再来查找value为7的节点则只需要如下三个步骤：

（1）初始的的搜索范围是(H,T)，在0号链表中与4进行比较，7>4，将搜索范围更新为(4,T)。

（2）在1号链表中与6进行比较，7>6，继续更新搜索范围(6,T)。

（3）在2号链表中与7进行比较，结果7=7，查找成功。

很明显，在Skip List中保存了二分查找的信息，以此来提高查找效率。当然在具体的实现上，如果要开辟额外的空间来保存新链表的话，会造成空间的极大浪费。由于是链表，可以利用链的性质，改进存储结构，改进后的Skip List的存储结构图4-3 所示。



图4-3 改进后的Skip List存储结构

前面所讨论的Skip List结构是一种比较理想的结构，实际的Skip List算法是一种随机算法，它非常依赖于所生产的随机函数。当然对随机函数的要求也比较严格，不能简单的按照的形式来生成随机数，而是必须要按照满足概率的几何分布来构造随机函数。可以设计出如下随机函数randLevel():

int SkipList::RandomLevel(void) {

int level = 0;

while(rand() % 2 && level < MAX\_LEVEL - 1)

++level;

return level;

}

现在考虑的情况，可能的返回值有0、1、2、3四种情况，他们各自出现的概率是：、、、。也就是说，如果有16个元素的话，第零层预计有16个元素，第一层预计有8个元素，第二层约有4个元素，第三层约有 2个元素，从下向上每层元素数量大约会减少一半。因此，Skip List适合自顶向下进行查找，理想情况下，每下降一层搜索的范围就会缩小一半，可以达到二分查找的效率，时间复杂度为。最坏的情况是当前节点从head移动到链表的尾部，时间复杂度为。

4.2 redis有序集合zset的源码分析

Redis的有序集合zset的底层数据结构就是通过Skip List来实现的，而没有采用hash和hashtable来实现，虽然hash可以实现快速的查找，但是无法保证有序。在了解了Skip List的基本原理后，接下来通过分析redis的源码，详细阐述zset的实现。Redis中的zset所使用的Skip List与William Pugh提出的基本一致，只是做了部分改进，主要有三个方面的改进。

（1）Redis中的Skip List可以有重复的分值score，这是为了支持有序集合中可能有多个元素具有相同的分值score这样的需求。

（2）在节点进行比较的时候，不仅仅比较他们的score，同时还要比较他们所关联的元素的value。

（3）在Skip List中每个节点还有一个前向指针，这就相当于在双向链表中的prev指针，通过这个指针，可以从表尾向表头进行遍历。正因为有了这个改进，zset就支持一些逆向操作命令，比如zrevrange、zremrangebyscore等。

redis的源码中，zset的Skip List的节点定义在redis.h头文件中，其具体定义如下：

/\* 跳跃表节点定义 \*/

typedef struct zskiplistNode {

robj \*obj;// 存放的元素值

double score;// 节点分值，排序的依据

struct zskiplistNode \*backward;// 后退指针

struct zskiplistLevel {// 层

struct zskiplistNode \*forward;// 前进指针

unsigned int span;// 跨越的节点数量

} level[];

} zskiplistNode;

有了节点的定义，那么就该是Skip List的定义了，Skip List同样也是定义在redis.h头文件中的。和定义链表的结构一样，需要头节点、尾节点，他们都是指向zskiplistNode 的指针，同时还需要定义节点的数量，目前跳表的最大层数。下面就是zset的跳表定义：

typedef struct zskiplist {

struct zskiplistNode \*header, \*tail;

unsigned long length;

int level;

} zskiplist;

其实，Redis的有序集合zset主要支持的编码方式有两种，一种是ZIPLIST方式，另一种是SKIPLIST方式。其中ZIPLIST方式可以表示较小的有序集合，而SKIPLIST方式可以表示任意大小的有序集合。如果zset当前使用的编码方式是ZIPLIST，只要满足下面两个条件之一就可以转换为SKIPLIST编码方式。

（1）当新增加的字符串的长度超过了server.zset\_max\_ziplist\_value的时候（默认值为64）。

（2）当ziplist中保存的节点数超过了server.zset\_max\_ziplist\_entries的时候（默认值为128）。

在zset的源码中这两种方式的转换可以通过zsetConvert函数来完成。SKIPLIST编码方式的zset集合的结构是定义在redis.h中的，其定义如下：

typedef struct zset {

dict \*dict;// 字典，维护元素值和分值的映射关系

// 按分值对元素值排序序，支持O(longN)数量级的查找操作

zskiplist \*zsl;

} zset;

有了数据结构的定义，接下来就是考虑对这些数据结构的操作了。在redis的实现中，将对zkiplist的操作都放在t\_zset.c源文件中，所支持的操作有三十多种之多。包括创建层数为某一level的跳表节点、创建一个跳表、释放跳表、向跳表中插入一个节点、删除一个节点等基本操作。下面来看一下zset是创建一个空的跳表后是如何向跳表中插入节点的。首先，调用zslCreate()函数创建并初始化一个新的Skip List，一个空的Skip List如图4-4 所示。



图4-4 空跳表结构图

在该跳表结构图中，level 0到level 31是一个长度为32的zskiplistLevel结构体数组，其大小由宏ZSKIPLIST\_MAXLEVEL定义，值为32。在zskiplistLevel结构体中还包括了span和forward两个数据成员，这一点从该结构体的定义中可以看出，这里为了展示方便，忽略了span。

创建完跳表之后，调用zslInsert()函数，就该向空跳表中插入节点。插入一个新的节点的大致过程如下：

（1）按照跳表的结构按层数从上向下遍历。

（2）在当前level的当前节点向右遍历，如果发现分值score相同就比较value的值，否则进入下一步。

（3）调用随机函数，产生随机的层数。

（4）比较当前level与随机函数产生的随机level，记录最大的level，作为下一步遍历的level。

（5）插入节点，并更新跨度span

在第三步中调用随机函数，生成随机的层数，这一点在上一小节关于Skip List的实现原理中已经做了阐述。关于如何查找插入位置，在zset的源码中是这样实现的：

for (i = zsl->level-1; i >= 0; i--) {

//保存在查找出入位置过程中遇到的节点的序号

rank[i] = i == (zsl->level-1) ? 0 : rank[i+1];

while (x->level[i].forward &&

(x->level[i].forward->score < score || //以下是得分相同的情况下，比较value的字典排序

(x->level[i].forward->score == score &&compareStringObjects(x->level[i].forward->obj,obj) < 0))) {

rank[i] += x->level[i].span;

x = x->level[i].forward;

}

update[i] = x;

}

下面举例说明跳表节点的插入操作，假设要向跳表中插入A、B、C、D四个节点，它们对应的分值为3、5、7、9，则对应的跳表结构如图4-5 所示：



图4-5 跳表节点插入步骤图

从图中可以看出，跳表中的节点都是按照分值score来进行排序的。同时，每个节点的backward指针都指向它的前一个节点，因此，跳表和双向链表类似，支持许多逆向查找，提高了灵活性和操作的效率。

4.3 基于zset的去重统计方法

去重统计，在数据分析领域是一个耳熟能详的词语，可以说去重统计在大部分数据处理过程中都要用到。众所周知，在大部分的数据分析的中间计算过程中，最终的数据指标主要呈现以下几种形式：最大、最小、稳定性、叠加、去重统计。在这五种数据指标中，前四种在大部分的实时处理框架和nosql中都可以使用相对较小的开销就可以完成计算。而对于去重统计，由于去重的数据有可能是多维的，所以不论是io效率上，还是计算的效率上都没有前四种标高。

本文所设计的实时流数据处理模型中，也对这五种数据指标的计算做了设计。经过前两节对Skip List的基本原理和redis有序集合的源码分析研究，本文认为利用redis的zset来做数据去重统计是可行的。在许多流式数据处理的应用中都会涉及到最大值、最小值、累计求和等数据指标的计算，而要计算这些数据指标的基础就是去重统计，因此，涉及一种高效的去重统计方法显得意义也十分重大。

本文所提出的基于zset的去重统计方法，就是在流式处理模型中引入redis数据库的访问节点（第三章所设计的redis\_in和redis\_out节点），通过这些节点在流式计算的过程中，将产生的中间结果集存储到redis的有序集合zset中，并根据上游节点提供的命令格式，对指定的集合进行zincrby操作。在redis所提供的客户端进行zincrby操作的命令格式是这样的：zincrby zsetkey increment member，如果在名称为zsetkey的zset中已经存在元素member，那么该元素的score增加increment否则向该集合中添加该元素，其score的值为increment，若增加成功返回的是member增长之后的序列号。也就是说，在Node-red中进行去重统计的过程就是通过redis\_in节点对相应结合进行zincrby操作的过程。

本文在设计redis\_in节点的时候规定了上游节点传输过来的数据格式，因为redis\_in节点操作数据库的命令就是从上游节点传输过来的数据中获取的。就拿实际项目中一个功能来说明这一点，关于某一网站错误页面的统计。对于这个功能，前端页面要求展示错误页面的URL、错误类型、错误页面所属的网站的域名、该错误页面是从哪个页面跳转来的等信息。很显然错误页面具有着四个维度，如果我们单独去统计每一个维度的信息，最后再来进行整合，这样会大大减低计算的效率。为此，我们要将多维统计转换为一维统计，同时也不能影响展示界面要求的四维信息。本文所采取的降维的做法是将这四个维度拼接在一起，每个维度之间用特殊字符间隔，这样就形成了一个维度的指标，让后将这个指标作为zset的key值，当zset在进行zincrby操作的时候，就会根据这个key来进行插入操作。图4-6 所展示的就是在Node-red中redis\_in节点所要求的数据格式：



图4-6 redis\_in要求的数据格式

在图4-6 所编写的函数中，就用到了Node-red的function node，该节点将数据封装在msg对象的payload字段中，同时返回msg对象，在该节点的内部调用了node.send()方法，将msg对象发送给下一个节点，供下一个节点接收处理。在图中整个msg.payload=['zincrby','errPageDisplay',1,err]，就是操作redis有序集合的zincrby命令，其中errPageDisplay是有序集合的名字，err是通过降维后的一维指标。

上面这个例子展示了在实际项目中利用本文所设计的redis\_in节点进行去重统计的过程。之所以说去重统计是一项基础计算，是因为，在进行去重统计的同时，只需要一些简单的操作就可以去重最大值、最小值、累计求和等计算指标。不如要想知道zset中的最大值或最小值，只需要返回集合中的第一个元素或者最后一个元素，有时候需要返回排名前N的记录，也就是常用的Top n操作，在去重统计的基础上也很容易实现。

4.4 本章小结

由于，实时流数据处理中会经常遇到去重统计，而本文所设计的实时流式数据处理模型中引入了redis作为数据计算中心，基于redis有序集合的去重统计方法也被应用到该模型中。本章主要是对redis的有序集合底层实现原理进行分析研究，同时研究分析了有序集合的底层实现源码，最后也阐述了基于zset的去重统计方法在该模型中的具体应用。

1. 基于Node-red与Redis的网站访问监控系统的设计与实现

第三章已经对基于Node-red与Redis的实时流数据处理模型进行了详细设计，同时，第四章对基于Redis有序集合的去重统计方法进行了研究，并把有序结合的去重统计方法与本文所设计的模型相结合，提出了新的应用方案。本章的重点是将所设计的流式数据处理模型应用到实际的工程项目中，设计并实现一个网站访问的实时监控系统。

5.1 实时网站访问监控系统介绍

该系统的所有数据是来源于某地方政府的电子政务网站群的访问流量，数据真实可靠、说服力强、具有重要的实际意义和研究价值。同时数据具有通用性，因为这是截取的服务器端的访问流量，也就是通用的HTTP报文，适合各类网站群的实时监控与数据分析。

随着各级地方政府的电子政务系统的不断发展，但是信息收集与数据分析能力还比较薄弱，急需要一个统一的实时数据收集、储存、分析、应用的平台。因此，本文首先提出一个基于Node-red与redis的实时流数据处理模型，随后应用这个模型来解决网站群的流量数据的实时收集和实时分析问题，最终将数据分析的结果在前端可视化模块以各种图表的方式做生动直观的展示。为政府的电子政务系统的不断完善，为政府工作任务的工作效率的提高提供数据基础。

5.1.1 实时网站访问监控系统的功能介绍

本文所设计的系统是通过实时采集网站群访问流量，利用本文在第三章所设计的流式数据处理模型来解析处理实时数据，并从中挖掘出用户关心的有价值的信息，最后将分析出来的数据可视化地展示到前端界面。该系统主要包括以下几个功能：

1.用户行为监控

实时了解用户访问网站群的行为，捕捉用户请求并跟踪其通过所有响应，收集、处理并显示用户行为的细节数据。

具体实现以下功能：

（1）用户终端类型，对用户访问网站群的终端进行统计；

（2）受访页面统计，用户访问网站所浏览的页面统计；

（3）来路页面，用户通过页面浏览网站群统计；

（4）地区分布，根据用户IP统计访问网站群的地区分布，并区分内外网用户（内网IP地址范围及相关部门的对照表需信息中心提供）；

（5）IP/PV,一天之内独立IP数，相同IP数被计数一次；

（6）页面浏览量，用户每次刷新被计算一次；

（7）重复访问率，同一IP，在同一天内访问同一页面的访问量/总访问量；

2.网站群页面监控

（1）错误页面跟踪，对返回码为404,500等出错页面进行统计跟踪；

（2）关键词搜索频率，用户搜索关键词的频率；

（3）热门关键词统计；

（4）二级域名访问统计（需信息中心提供二级域名对照表）；

（5）频道访问统计（需信息中心提供频道名称对照表）；

（6）热点页面统计；

5.2 实时网站访问监控平台的设计与实现

5.2.1 实时数据采集方案设计

整个系统作为一个实时数据的交互处理中心，除了自己内部的数据通信以外，还需要对网站群的访问流量进行采集。这种数据具有实时性、连续性、非机构化等特点，同时数据量也非常巨大。由于其实时性明显，同时也要求系统能够实时展示分析出网站群的访问情况，所以不能采用传统的先收集后处理的方案，需要重新设计一套实时流数据收集方案，在服务器的网关直接利用http\_tracer拷贝一份访问流量，让后实时的发布到redis的http\_trace通道中。

考虑到访问流量数据是一种非结构化的数据，为了能够更加准确地收集有效的信息，需要在采集数据的时候进行原始数据的预处理。因为原始的访问流量就是HTTP请求和响应报文，如果仅仅是收集到了这些报文，它都是以一种字符串的形式存在的，字符串不论是在数据解析过程还是在最终的数据可视化过程都使得问题变得极为复杂，为了方便解析，更好更准确的处理这些数据，有必要进行初步地结构化处理。由于json格式的数据能够有效地反映数据的特点，同时与JavaScript对象能够实现无损转换，所以在进行数据格式化的时候选择json格式，同时在后面处理和存储中间数据的时候也选择json格式。

因此，我们设计出如图5-1 的实时数据采集方案：



图5-1 实时数据采集方案图

在客户的服务器端，将网站的访问流量做一份拷贝，利用http\_tracer将这部分流量截取到redis server中，专门用设置一个redis的通道（channel）用于接收从http\_tracer发布过来的原始数据。由于原始的数据报结构混乱，难以分析，所以在进行下一步数据分析之前进行了预处理。原始数据通过redis\_sub节点从redis server上被订阅，交给msgToJSON模块（这个模块是利用Node-red中的function\_node实现的）。msgToJSON模块把原始数据包分为请求包和响应包两类，最后只是在message对象中增加一个type字段加一区分。最终产生的数据就是一个JSON对象，继续传递给下游的数据处理中心，进行数据处理。下表就是预处理前的原始数据报格式：

原始数据格式

HTTP\_TRACE\_REP|1419840350182.825|172.16.1.1:18083|42.91.9.230:24735|#8|HTTP1.1|GET|/emall/css/jquery.alert.css|304|NotModified|15.491943359375ms|Accept:Referer:http://emall.lzbank.com/emall/myorder/Accept-Language:zh-cnUser-Agent:Mozilla/4.0(compatible;MSIE8.0;WindowsNT5.1;Trident/4.0)Accept-Encoding:gzip,deflateHost:emall.lzbank.comConnection:Keep-AliveCookie:JSESSIONID:9986FBA4B93382AB77946439738F1714|emall\_shop\_car:""|jiathis\_rdc: %7B%22http%3A//emall.lzbank.com/emall/goods/goodsinfo.do%3Fgoodsid%1798085429%22http%//emall.lzbank.com/emall/goods/goodsinfo.do/

采集到的数据都publish到redis的一个channel中。得到的数据是原始的HTTP请求和响应报文，根据客户需求说明，以及后面的数据处理的需要，从在从redis的channel中去订阅（subscribe）这些数据做初步的格式化，经过预处理的HTTP报文变成形如下面这样的json对象。

{

"type": "HTTP\_TRACE\_REP", //标识报文类型

"http\_version": "HTTP1.1",

"http\_method": "GET",

"userIP": "42.91.9.230", //用户的ip地址

"hostIP": "172.16.1.1", //服务器ip地址

"target": "/emall/css/jquery.alert.css", //请求的目标文件

"status": "304", //http状态码

"host": "emall.lzbank.com\n", //网站域名

"user\_agent":"Mozilla/4.0(compatible;MSIE8.0;WindowsNT5.1;Trident/4.0)\n",//用户浏览器类型

"referer":"http://emall.lzbank.com/emall/myorder/queryMyOrder.do"

}

5.2.2 用户行为分析模块设计与实现

5.2.2.1 用户行为分析的总体架构设计

用户行为分析模块是搭建在第三章所设计的基于Node-red与redis的实时流数据处理模型上的，数据在不同模块之间的流动是利用redis的publish和subscribe机制以及node.js的socket.io通信机制来完成。位于网关的抓包模块抓取原始的报文信息，然后把数据发布到数据分析系统的redis server的http\_trace通道上，然后在Node-red中利用在第三章设计的数据输入节点redis\_sub节点，从redis server的http\_trace通道订阅原始数据。数据进入Node-red之后，经过计算节点进行数据处理和封装，最后通过redis\_pub将处理结果publish到redis的指定通道中，供可视化模块去接收这些数据。在数据处理过程中，需要用到redis做中间结果集的保存和初步的去重统计工作，这里的去重统计就是利用第四章所设计的基于redis有序集合的去重统计方法。在节点之间的数据是通过socket.io的emit和on事件机制进行，这种机制已经被集成到Node-red中，因为Node-red也是基于node开发的。

在进行用户行为分析的时候，本文把计算节点按照功能的不同划分为5个计算节点，形成一个计算节点群。整个用户行为分析模块除了这5个用于数据处理和计算的节点外，还包括redis数据库的访问节点用于传输中间结果集到redis数据库中，还包括一个功能节点（定时节点）用于定时向前端可视化模块推送数据，以达到实时更新显示数据的变化情况，该定时节点也用于清理redis的中间结果集，以减轻redis server的负担。在用户行为分析模块中，主要讲述了4个数据分析节点，他们分别是refererCount、countUserAgent、repeatVisit以及userIP。这些节点主要完成来路页面统计，用户的浏览器类型统计，重复访问页面统计，以及独立访问的IP地址，其中，在repeatVisit和userIP中整合了pv，uv的计算。图5-2 展示了整个用户行为分析模块的架构。



图5-2 用户行为分析模块总体架构图

从用户行为分析模块的总体架构图可以看出，Redis是整个模块数据交换的纽带，也是进行数据计算的中心。Redis的发布/订阅机制使得各个功能的计算节点所计算的数据结果相互独立、互不影响，这样使得最终数据结果的展示变得清晰、一目了然。前端模块与redis server进行通信的工具是socket.io，通过事件驱动机制，监听事件是否发生来判断是否有数据到来，从而达到数据传输的目的。由于巨大的数据量和繁重的数据计算任务，导致redis server的负担也异常繁重。为此，需要定时清理redis server上的中间结果集以减轻其计算和存储压力。系统选择在每天的凌晨清理数据，这样一方面可以达到减轻redis server负担的目的，提高运行效率，另一方面也不会影响数据分析的结果和前端可视化模块的展示，因为一天的实时数据分析工作在凌晨已经全部完成了。

由于客户的要求，需要对用户的行为数据进行持久化，并且能够在系统的可视化模块中随时可以查询到历史的用户行为数据。为此，引入了mongo数据库提供数据持久化功能，同时前端可视化模块中增加了统计查询页面，通过socket.io来查询mongo中的频道更新数据。

5.2.2.2 数据库结果集设计

用户行为分析模块得到的最终分析结果都存放在redis中，在redis中进行统计和初级计算。这些数据在redis中是一系列的字符串、集合、有序集合以及hash表，用它们表示这用户行为数据。

redis中的哈希表（hash）是一钟键值（key-value）结构，一个键对应一个值，根据键计算存储地址，访问速度很快。在进行用户行为分析的时候会用到ip地址所属地的码表，以及域名与网站名的对应关系，而这些信息都存放在redis的哈希表中。redis中的有序集合（zset）是以跳跃表为底层结构的键值结构，跳跃表可以高效的对某随机键的值进行加法运算，关于跳表的原理在第三章已经做了详细阐述，同时第三章也设计了利用zset进行去重统计的方法。因此是数据分析中用户pv、uv、错误页面统计等累加型数据指标的理想存储结构，redis的zset在本章所设计的用户行为分析模块中使用较多。

这些表中的数据也是下一阶段前端可视化模块中的图表（线图、饼图）的原始数据。数据分析模块向结果集中单向写入数据，而数据可视化模块从结果集中单向读取数据，两个模块之间并无直接交互，redis是连接它们的纽带。表5-1 是对用户行为分析模块中所用到的redis数据结构说明。

表5-1 用户行为分析模块中的redis数据结构说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Redis表名 | 表类型 | 功能描述 |
| visitPage.zset | 排序集合 | 热点访问页面 |
| refererPage.zset | 排序集合 | 来路页面 |
| userIP.set | 集合 | 用户的ip统计 |
| repeatVisit.zset | 排序集合 | 重复访问的页面统计 |
| HostName.set | 集合 | 网站的域名 |
| IPBelong.hash | 哈希表 | 访问ip所属区域 |
| userAgent.zset | 排序集合 | 统计用户浏览器类型 |

对于数据持久化这一功能，原始的Node-red提供了mongodb的访问节点，用于操作mongo数据库，本文将不再详细讲述mongodb节点的使用，为了存储这些行为数据，必须设计合适的mongo数据集合，mongo数据集合必须要有时间和统计指标的表示，方便客户对历史数据的检索。具体的数据结构如表5-2、表5-3、表5-4 所示，其中表5-2 是每天独立IP的访问量的mongo集合，表5-3 展示的是每天页面的访问量排名前十的mongo集合，表5-4 表示的是统计同一页面的重复访问情况的mongo集合。

表5-2统计独立ip的访问量mongo集合

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 集合名 | unique\_ip\_count | | |
| 功能 | 每天独立访问的IP数量，包括IP的地域信息 | | |
| 键的说明 | 键名 | 数据类型 | 说明 |
| \_id | objectid | mongo数据库唯一性标识 |
| date | time | 时间，用于表明是某一天的数据 |
| ip | string | 独立ip |
| ip\_belong | string | 该ip所属的区域（内网/外网） |
| count | int | ip的计数 |

表5-3 统计每天访问量排名前十的页面的mongo集合

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 集合名 | page\_visit\_top10 | | |
| 功能 | 记录每天访问量排名前十的页面 | | |
| 键的说明 | 键名 | 数据类型 | 说明 |
| \_id | objectid | mongo数据库唯一性标识 |
| date | time | 时间，用于表明是某一天的数据 |
| url | string | 访问页面的url |
| url\_belong | string | 受访页面所属的网站名 |
| count | int | 受访次数 |

表5-4 统计每天重复访问率的mongo集合

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 集合名 | repeat\_visit\_count | | |
| 功能 | 记录每天同一ip访问同一页面的情况 | | |
| 键的说明 | 键名 | 数据类型 | 说明 |
| \_id | objectid | mongo数据库唯一性标识 |
| date | time | 时间，用于表明是某一天的数据 |
| url | string | 访问页面的url |
| ip | string | 用户的ip |
| count | int | 访问次数 |

5.2.2.3 用户行为分析算法的设计与实现

本小节将对用户行为分析模块中，在进行用户独立IP的访问量、用户浏览器类型统计以及页面的重复访问率三个指标的计算时所用到的算法流程进行详细阐述。首先是用户独立IP访问量，由于同一IP在同一天的多次访问只能记录一次，所以鉴于这个特性，利用redis的集合来进行存储统计。当流量数据进入计算节点后，首先判断是否解析到了userIP字段，如果解析到了就去redis的userIP.set中去查找是否有该IP信息，如果没有就插入该IP。具体算法流程如图5-3 所示：



图5-3 独立ip访问统计的算法流程图

该算法主要通过两个函数节点来完成，第一个函数节点是判断msgToJSON节点发送过来的数据是否是请求报文，并且是否解析到了userIP。该函数节点所实现的代码如下：

if(msg.payload.type=="HTTP\_TRACE\_REQ"&&msg.payload.userIP!="")

{

var userIP=msg.payload.userIP;

msg.payload={"userIP":userIP};

return msg;

}

另外一个函数节点是用于将上面函数节点传递过来的msg重新以命令的形式封装起来，通过redis\_in节点去操作redis中的userIP.set集合。

var userIP=msg.payload.userIP;

msg.payload=['zadd','userIP.set',userIP];

//zadd命令自动判断记录是否在集合中

return msg;

对于用户浏览器类型统计，是通过msgToJSON节点发送过来的数据中的user\_agent字段来进行统计的。如果从原始报文中解析到了该字段，得到的数据格为"user\_agent":"Mozilla/4.0(compatible;MSIE8.0;WindowsNT5.1;Trident/4.0)\n"，然后在利用正则表达式，解析出浏览器的类型为微软公司的IE浏览器，相应的版本号是8.0，再将解析结果封装为redis有序集合zset的zincrby命令操作格式，并传递给redis\_in节点进行去重统计。图5-4 所展示的就是用户浏览器类型统计的算法流程图。



图5-4 用户浏览器类型统计算法流程图

在Node-red中，该算法主要通过一个函数节点来实现的，首先判断msg.payload.user\_agent是不是undefined，如果从用户的请求报文中没有解析到浏览器类型，msgToJSON节点所发送的数据中将没有user\_agent字段，也就是未定义的。如果解析到user\_agent，那么就利用js的字符串操作函数indexOf()和substring()解析出浏览器的类型和版本号，并保存到type和version两个变量中；然后，将type和version两个变量拼接起来，中间用特殊字符‘#’分隔，这样是为了后面封装数据时利用split()函数将其切割开；最后，将拼接好的两个数据封装在zincrby命令中，作为msg的payload字段，发送到下一个节点。下面展示的就是该函数节点的部分实现代码：

if((agent=msg.payload.user\_agent)!=undefined)

{

if(agent.indexOf("Mozilla")>=0&&agent.indexOf("Chrome")>=0)

{

type="chrome";

version=agent.substring(type.indexOf("Chrome"),2);

}

else if(...)//其他浏览器类型ie、sogou、baiduspider等

else

type="other";

var temp=type+"#"+version;//拼接type与version

//将拼接结果封装在zincrby命令中

msg.payload=["zincrby","userAgent.zset",1,temp];

return msg;

}

要计算页面的重复访问率，需要首先计算出同一IP，在同一天访问同一页面的次数，同时还要计算出该IP的访问总数，然后将它们的值相比，就得到了重复访问率。该指标具有用户IP和受访页面的URL两个指标，所以在计算该指标之前必须从target字段中解析出某一用户IP当前所访问页面的URL。将IP和URL作为一个统一体来进行计算，这样才能保证计算的是同一IP访问同一页面的次数。因此，需要将解析到的URL与userIP进行拼接，拼接后的结果作为有序集合中键值，再利用redis有序集合的去重统计方法进行统计计算。图5-5 所展示的就是重复访问率的统计算法流程图。



图5-5 重复访问率统计算法流程图

在Node-red中该算法主要是通过两个函数节点来实现的，第一个就是从target字段中解析出请求页面的URL，并把解析结果和userIP封装在msg的payload字段中，传递给下一个函数节点。第二个函数节点的功能仍然是封装数据结果到zincrby命令中，这里就不作详细阐述了，下面展示的是解析URL的部分实现代码：

if(string.indexOf(host)>=0)//host表示访问网站的域名（或者IP）

{

...

if(target.indexOf('.html')>0)//页面都是以'.html'结尾的

if(target.indexOf('?')>0)

visitPage=host+target.substring(0,target.indexOf('?'))

else

visitPage=host+target;

...//将userIP与visitPage封装成新的msg对象传递给下一个节点

}

5.2.2.4 在Node-red中的数据处理流程

数据通过redis\_sub节点从redis通道获得原始数据，再经过初始化模块msgToJSON.js对原始数据进行初步的结构化处理，然后就进入后续的数据分析处理阶段，各个计算节点是通过Node-red的function节点实现的，各计算节点产生的message对象传递给下一个function节点，数据最终被封装成redis server中相应数据结构，通过redis\_in节点将这些中间结果集保存起来，在redis中进行统计计算。然后将redis上的计算结果通过redis\_out节点取得，并封装成前端可视化模块需要的数据格式，最后通过redisPub节点将最终的数据定时（每两秒钟发送一次）发送的redis server的指定通道上供可视化模块接收并展示。

下面将逐一阐述在Node-red中整个用户行为分析模块的数据处理流程，整个数据处理流程由三个flow构成，其中第一个flow是将原始数据按功能需求，解析形成中间结果集并存储到redis中进行统计计算，正如图5-6 所示。

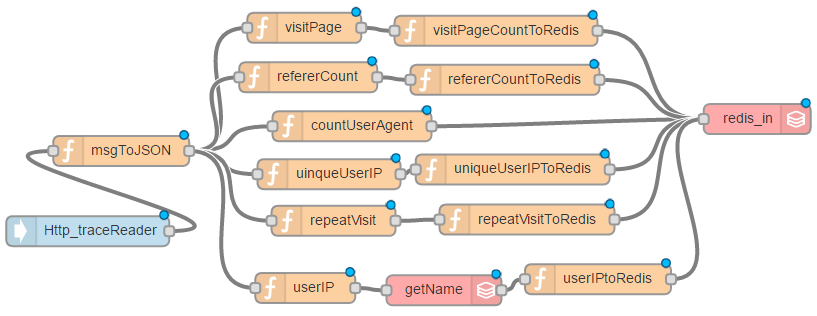


图5-6 用户行为分析模块中形成中间结果集的flow

在整个形成中间结果的flow中，各计算节点从预处理节点msgToJSON中得到数据后，将数据分发到各个功能单一的计算节点上，按照上一小节的算法流程编写相应的功能函数进行数据封装和计算。这里有6个功能节点，visitPage节点主要完成受访页面统计，refererCount节点完成访问来由页面统计，countUserAgent节点完成用户浏览器类型统计，uniqueUserIP节点完成独立访问IP统计、repeatVisit节点完成重复访问率统计，userIP节点完成用户IP所属地统计。每个功能节点后面都有一个ToRedis的函数节点，该节点主要完成上游节点处理后的数据的封装，将其封装成redis中指定有序集合的key值，并利用zincrby命令对该key值进行去重统计，接下来就以统计重复访问率为例，ToRedis函数节点的具体实现方式，下面展示的就是repeatVisitToRedis函数节点中的具体实现代码：

var userIP=msg.payload.userIP;

var target=msg.payload.target;

var temp=userIP+'#'+target;//将用户IP与受访页面的url进行拼接

msg.payload=['zincrby','repeatVisit',1,temp];

return msg;

在图5-6 所示的flow中，其余ToRedis函数节点的msg.payload格式与repeatVisitToRedis中的类似。封装好的msg就会传递给redis\_in节点，通过redis\_in节点去操作相应的有序集合。

经过redis server的去重统计后，结果会保存到redis的有序集合zset中，另外有一些码表之类的数据会保存到hash表中，以便快速查找。为了能够实时地更新数据，在Node-red中设置了一个定时器，规定每两秒钟去redis server上去取一次数据，将取得的数据封装成可视化模块需要是数据结构，实际上就是highcharts所需要的数据结构，关于highcharts的数据格式将在可视化模块设计中加以阐述。用户行为分析模块的第二个flow就是实时取得数据并推送数据到相应的redis通道中，供前端可视化模块展示，该flow如图5-7 所示。

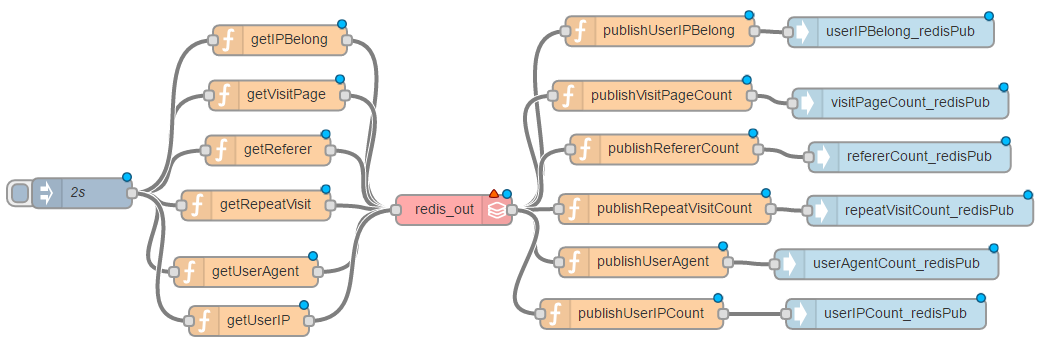


图5-7 实时取得数据并推送数据的flow

在图5-7 所示的flow中，每一条数据流上都有一个get\_的函数节点，该节点是用于封装取得redis中数据的命令格式，通过redis\_out节点去操作redis，而每条数据流上的publish\_函数节点是用于封装取得的数据，将其封装为前端需要的数据格式。表5-5 展示了各个get\_函数节点的取数据命令。

表5-5 各数据取得函数的取数据命令对照表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 函数名 | 取数据命令 | 说明 |
| getIPBelong | ['IPBelong.zset',0,20, 'withscores'] | 排名前20的访问ip的所属地 |
| getVisitPage | ['visitPage.zset',0,20, 'withscores'] | 访问量排名前20的受访页面 |
| getReferer | ['referer.zset',0,10, 'withscores'] | 排名前10的来源页面 |
| getRepeatVisit | ['repeatVisit.zset',0,20, 'withscores'] | 重复访问量排名前20的页面 |
| getUserAgent | ['user\_agent.zset',0,8, 'withscores'] | 排名前8的用户浏览器类型 |
| getUserIP | ['userIP.set',0,20, 'withscores'] | 排名前20的独立访问ip |

由于数据是不间断的到来，数据量也十分巨大，所以每天在redis server中都会堆积大量的中间结果，再加之redis还要完成基本的统计计算工作。因此，redis server一般都是超负荷运行的。为了减轻redis server的运行负担，提高redis的计算效率，必须对redis server上的中间结果集进行定时清理，同时也要保证被清理的数据不会影响分析结果。为此，系统在Node-red中同样设计了一个定时器，规定每天的凌晨清理redis。因为，凌晨清理数据不会影响第二天的数据分析，同时也不会影响前端可视化模块的展示。也就是在用户行为分析模块中 的第三个flow，用于定时清理redis server上的中间结果集，如图5-8 所示。

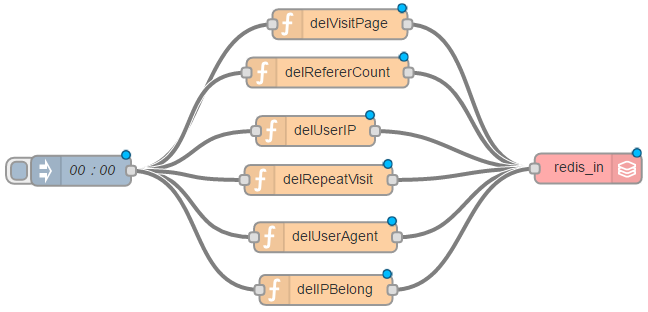


图5-8 清理redis server中间结果集的flow

在图5-8 所示的flow中也用到了一个定时节点，在每天的凌晨将执行后面每个del\_函数节点发送给redis\_in节点的指令。其中del\_函数就是封装删除redis中所存储的中间结果集的命令，表5-6 展示了各个删除函数与删除命令的对照关系。

表5-6 各删除函数与删除命令的对照关系

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 函数名 | 删除命令 | 说明 |
| delVisitPage | ['del','visitPage.zset'] | 删除记录受访页面的zset |
| delRefererCount | ['del','referer.zset'] | 删除记录来路页面的zset |
| delUserIP | ['del','userIP.set'] | 删除记录用户IP情况的zset |
| delRepeatVisit | ['del','repeatVisit.zset'] | 删除记录重复访问页面的zset |
| delUserAgent | ['del','userAgent.zset'] | 删除记录用户浏览器信息的zset |
| delIPBelong | ['del','IPBelong.zset'] | 删除记录IP所属地信息的zset |

5.2.3 网站群页面监控模块设计与实现

5.2.3.1 网站群页面监控的总体架构设计

同样，网站群页面监控模块也是搭建在第三章所设计的基于Node-red与redis的实时流数据处理模型上的。网站群页面监控模块主要是完成用错误页面统计、户关键词搜索频率统计、热门关键词统计、热点页面统计、二级域名访问统计（需信息中心提供二级域名对照表）以及频道访问统计（需信息中心提供频道名称对照表）。在本节中主要涉及4个数据分析节点，分别是errPage、keyWordCount、hotVisitPage以及channelVisit，他们分别完成错误页面统计、关键词统计、热点页面统计以及频道访问统计。整体架构和用户行为分析模块的架构类似，区别在于无需对数据进行持久化，与此同时，在可视化模块中也无需统计查询模块。另外，该模块中引入了push server 模块，是将前端可视化模块的取数据功能分离出来，由push server完成。图5-9 展示了整个网站群页面监控模块的总体架构：



图5-9 网站群页面监控模块架构图

从该模块的总体架构图可以看出，redis server仍然是数据交换和数据计算的中心，各个计算节点都是通过redis的发布订阅机制与redis server进行数据交换。可视化模块不再是直接去向redis server取得最终数据，而是在他们之间引入了push server，由push server去取数据并通过socket.io与前端可视化模块进行数据交换。从软件设计角度上来讲，这样可以减少模块与模块之间的依赖，另一方面，从运行效率上来讲，可以减轻前端可视化模块的负担，提高运行效率。对于push server是利用node.js的express框架实现的，关于node.js的express框架将在数据的可视化模块设计中进行详细阐述。

5.2.3.2 redis数据库结果集设计

由于网站群页面监控模块需要监控网站的错误页面、热门关键词的搜索、热点页面等统计信息，需要用到redis的zset数据结构。为了找出热点页面所属的网站，需要提前准备好各个网站的host\_name对照表，需要用到hash。因此，该模块主要用到的redis数据结构主要是排序集合以及哈希表。表5-7是对网站群页面监控模块中所用到的redis数据结构的说明。

表5-7 网站群页面监控模块中的redis数据结构说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Redis表名 | 表类型 | 功能描述 |
| KeyWorldCount.zset | 排序集合 | 关键词统计 |
| HotVisitPageCount.zset | 排序集合 | 热点页面统计 |
| HostVisitCount.zset | 排序集合 | 访问网站统计 |
| HostName.hash | 哈希表 | 网站名称与域名对照 |
| ChannelName.hash | 哈希表 | 频道连接与频道名对照 |
| ChannelVisitCount.zset | 排序集合 | 频道访问统计 |
| errPage.zset | 排序集合 | 错误页面 |
| errType.zset | 排序集合 | 错误类型 |
| errWebHostName.string | 字符串 | 错误页面所属的网站 |

在该模块中主要需要实时记录一些统计信息，比如每个被搜索的关键字的搜索次数，页面的访问次数，并实时给出排名情况，以此来找出热门关键词以及热点页面。这都需要用到redis的排序集合，当有新的同样的数据到来的时候，就向redis server发送一次zincrby指令，redis就会在相应字段的value上进行一次加加操作，由于zset会底层数据结构是一种特殊的跳表结构，因此会进行快速的自动排序。从而可以根据value的大小判断出关键词的搜索频率和页面的访问频率。为了能够快速找到每个页面所属网站的名字，提供了一张关于网站域名与网站名字的对照表，存放在redis的hash数据结构中，可以提高查找效率。

5.2.3.3 网站群页面监控的算法的设计与实现

本小节将对网站群页面监控模块中，在进行错误页面统计、热门关键词搜索统计以及热点页面访问统计三个指标的计算时所用到的算法流程进行详细阐述，给出具体实现。首先是错误页面统计，根据客户的需求，需要给出错误页面的错误类型、错误页面所属的网站以及错误页面的URL，而这些信息分别来源于msgToJSON节点的msg.payload.errType、msg.payload.host、msg.paylosd.target，但是msg.payload.host给出的是网站的域名，为了取得网站的名字，还需要去查redis中的hostName.hash。最后将得到的这三个数据重新封装，形成新的msg交个redis\_in节点，通过redis\_in节点去操作errPage.zset进行去重统计。图5-10展示的就是该算法的具体流程。



图5-10 错误页面统计的算法流程图

该算法主要通过两个函数节点来完成，

对于用户浏览器类型统计，是通过msgToJSON节点发送过来的数据中的user\_agent字段来进行统计的。如果从原始报文中解析到了该字段，得到的数据格为"user\_agent":"Mozilla/4.0(compatible;MSIE8.0;WindowsNT5.1;Trident/4.0)\n"，然后在利用正则表达式，解析出浏览器的类型为微软公司的IE浏览器，相应的版本号是8.0，再将解析结果封装为redis有序集合zset的zincrby命令操作格式，并传递给redis\_in节点进行去重统计。图5-4 所展示的就是用户浏览器类型统计的算法流程图。



图5-4 用户浏览器类型统计算法流程图

在Node-red中，该算法主要通过一个函数节点来实现的，首先判断msg.payload.user\_agent是不是undefined，如果从用户的请求报文中没有解析到浏览器类型，msgToJSON节点所发送的数据中将没有user\_agent字段，也就是未定义的。如果解析到user\_agent，那么就利用js的字符串操作函数indexOf()和substring()解析出浏览器的类型和版本号，并保存到type和version两个变量中；然后，将type和version两个变量拼接起来，中间用特殊字符‘#’分隔，这样是为了后面封装数据时利用split()函数将其切割开；最后，将拼接好的两个数据封装在zincrby命令中，作为msg的payload字段，发送到下一个节点。下面展示的就是该函数节点的部分实现代码：

if((agent=msg.payload.user\_agent)!=undefined)

{

if(agent.indexOf("Mozilla")>=0&&agent.indexOf("Chrome")>=0)

{

type="chrome";

version=agent.substring(type.indexOf("Chrome"),2);

}

else if(...)//其他浏览器类型ie、sogou、baiduspider等

else

type="other";

var temp=type+"#"+version;//拼接type与version

//将拼接结果封装在zincrby命令中

msg.payload=["zincrby","userAgent.zset",1,temp];

return msg;

}

要计算页面的重复访问率，需要首先计算出同一IP，在同一天访问同一页面的次数，同时还要计算出该IP的访问总数，然后将它们的值相比，就得到了重复访问率。该指标具有用户IP和受访页面的URL两个指标，所以在计算该指标之前必须从target字段中解析出某一用户IP当前所访问页面的URL。将IP和URL作为一个统一体来进行计算，这样才能保证计算的是同一IP访问同一页面的次数。因此，需要将解析到的URL与userIP进行拼接，拼接后的结果作为有序集合中键值，再利用redis有序集合的去重统计方法进行统计计算。图5-5 所展示的就是重复访问率的统计算法流程图。



图5-5 重复访问率统计算法流程图

在Node-red中该算法主要是通过两个函数节点来实现的，第一个就是从target字段中解析出请求页面的URL，并把解析结果和userIP封装在msg的payload字段中，传递给下一个函数节点。第二个函数节点的功能仍然是封装数据结果到zincrby命令中，这里就不作详细阐述了，下面展示的是解析URL的部分实现代码：

if(string.indexOf(host)>=0)//host表示访问网站的域名（或者IP）

{

...

if(target.indexOf('.html')>0)//页面都是以'.html'结尾的

if(target.indexOf('?')>0)

visitPage=host+target.substring(0,target.indexOf('?'))

else

visitPage=host+target;

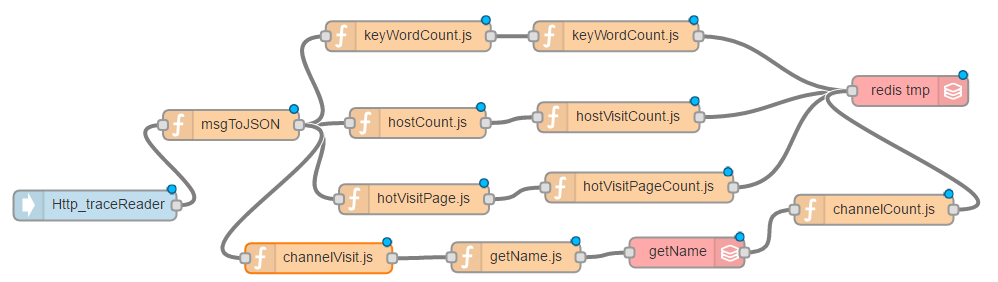
...//将userIP与visitPage封装成新的msg对象传递给下一个节点

}

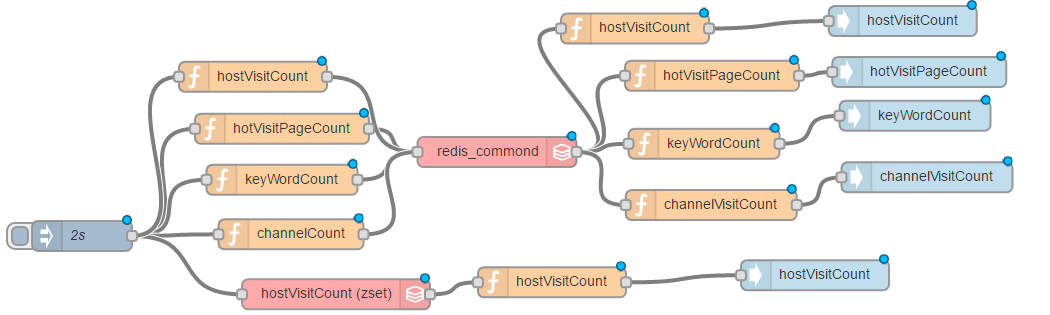
5.2.3.4 在Node-red中的数据流程

网站群页面监控的原始数据仍然是来自于Http\_tracer从网关截取的http报文。经过初始化模块msgToJSON后的数据进入计算节点集群，进行数据处理。keyWorldCount.js节点从msgToJSON节点接收到message对象后，从msg.target中解析出以“&q”开头的字符串，这个字符串就是搜索的关键字，让后封装成新的message对象传给下一个节点keyWorldCountToRedis.js节点，该节点将数据封装为redis的zset存储的数据结构存储到redis中间结果集keyWorldCount.zset中。同样，hotVisitPage.js和hostCount.js节点以类似的过程将计算出来的结果存储到redis中间结果集中。

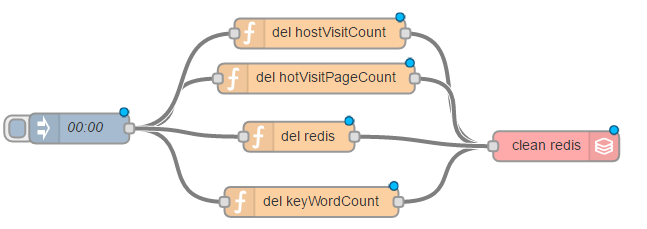
在频道访问统计这一模块中，channelVisit.js从msg.target中解析出频道页面后，又需要知道所访问的频道的名字，这是，将channelVisit.js节点的msg对象交给getName.js节点，又它去redis的hash表中查找频道名字。当找到名字后，重新再封装存储到channelVisitCount.zset中存储。下图为网站群页面监控模块在Node-red中的真实流程图。



经过各个计算节点的处理后，数据都存放在redis中的中间结果集中。为了能够在前端可视化系统中实时动态展现网站群页面监控的情况，需要定实从redis server中去的数据，这里通过设置一个定时节点inject\_node，每两秒钟取一次数据，并通过数据封装的函数节点封装为前端可视化模块需要的数据格式，交个redis\_pub节点发布到相应通道上。下图展示了在Node-red中定时取数据的真实数据流图。



由于数据是不间断的到来，数据量十分巨大，所以每天在redis server中都会堆积大量的中间结果，再加之redis还要完成基本的统计计算工作。因此，redis server一般都是超负荷运行的。为了减轻redis server的运行负担，提高redis的计算效率，必须对redis server上的中间结果集进行定时清理，同时也要保证被清理的数据不会影响分析结果。为此，系统在Node-red中同样设计了一个定时器，规定每天的凌晨清理redis。因为，凌晨清理数据不会影响第二天的数据分析，同时也不会影响前端可视化模块的展示。下图为清理redis server的中间结果集的flow。



5.2.4 数据可视化模块设计

5.2.4.1 数据可视化模块的功能需求

经过用户行为分析之后，得到的结果是代表用户的访问量、新用户的数量、访问的来源、访问的深度等信息。而网站群页面监控分析，最后的结果是代表关键词搜索频率、热点页面统计、错误页面统计等信息。所有最终结果的数据都是一系列统计表和集合的数据结构，这些数据不能直接交由用户，因为用户不了解分析的过程，就不知道这些数据代表什么含义，可视化模块的功能就是要把这些结果直观易懂的显示出来。同时，可视化模块要实时更新，当新的用户行为数据和网站群监控数据被分析出来后，要能立刻在可视化模块中看到。

需要支持的图表形式有：

1. 曲线图，用于显示流量变化。

2. 饼图，用于显示用户设备和浏览器使用比例。

3. 柱状图，用于显示用户访问深度和用户停留时间以及热点页面访问情况。

4. 表，用于显示关键词统计、错误页面跟踪、访问来路页面登信息。

5.2.4.2 可视化模块的架构设计

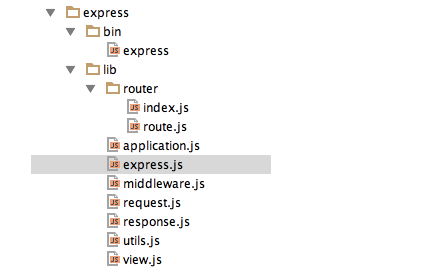
监控系统的可视化模块使用了MVC架构的web网站来实现的。使用MVC架构的web网站，就是通过模型(model)－视图(view)－控制器(controller)这样一种典型的软件设计范式而设计出来的一种网站结构模式。model（模型）是应用程序的核心部分（比如数据库记录列表）。view（视图）是显示数据的模块（图表、线图、饼图）。controller（控制器）处理输入（响应restful 请求的接口，接收消息）。



监控系统的MVC架构图

上图是监控系统网站的架构模型，功能上也分为model、view和controller三个功能模块。使用MVC架构的网站前端，具有数据格式统一并且显示风格多变的特点，因此，十分适合多样化数据呈现的网站群用户行为数据的展示。前端页面设计为一个web应用，使得显示的界面可以在任何一台机器上都可以查看，不需要而外安装单独的应用软件，这样就减少了安装软件和更新软件带来的麻烦，同时提高了系统的灵活性。

整个前端的显示系统是实用Node.js的express框架来实现的，express是一个简洁、灵活的 web应用框架，它的强大特性有助于快速创建各种web应用，以及丰富的http工具。下图为express框架的代码结构：



（1）bin/express是在命令行下，用来生成express 框架的目录结构。

（2）lib/express是整个框架的入口

文件。

（3）lib/router是路由模块，主要是进行路由分发，比对，执行callback回调函数。

（4）lib/middleware是中间件模块文件，主要是用于对response，request进行二次改写。

（5）lib/request是请求。

（6）lib/response是响应。

（7）lib/utils是工具函数集，它是对connect模块的一个补充，比如地址处理正则表达式等。

（8）lib/view是处理视图。

监控系统前端网站所使用的express框架的各个文件的调用关系如下图所示：



Express框架的调度关系图

从express框架各个文件的调度关系图中可以看到，它首先调用中间件，中间件的作用主要是改写改写request，response 请求的。将这2个请求导出，方便后面的模板渲染，后再调用路由模块。路由模块只要是根据path调用路由分发函数和分发路由，执行callback回调函数。最后调用view 模块，渲染事先编辑好的模板。

5.2.4.3 数据显示方法的设计

为了使数据显示更加生动、直观，能够一目了然地洞见数据背后的信息。在系统的可视化模块中提供了曲线图、饼图、柱状图、表格等显示方法，同时具有交互式的显示效果。为了支持这些图表的显示，系统采用了第三方插件highcharts。highcharts是一个非常流行，界面美观的纯Javascript图表库，可以为网站或Web应用程序提供直观，互动式的图表。Highcharts和其他许多JavaScript库一样沿用jQuery,MooTool以及Prototype等Javascript框架来处理基本的Javascript任务。因此，在使用Highcharts之前，需要在页面头部引用这些脚本文件，js文件可以引入在线的，也可以引入本地的。在配置好highcharts之后，我们就看调用它提供的highcharts接口来填写图标的数据结构。

$(function () {

$('#container').highcharts ({ //图表展示容器，与 div的 id保持一致

chart: {

type: 'bar' //指定图表的类型，默认是折线图（line）

},

title: {

text: '我的第一个图表' //指定图表标题

},

xAxis: {

categories: ['苹果', '香蕉', '橙子'] //指定x轴分组

},

yAxis: {

title: {

text: 'something' //指定y轴的标题

}

},

series: [{ //指定数据列

name: '小明', //数据列名

data: [1, 0, 4] //数据

}, {

name: '小红',

data: [5, 7, 3]

}]

});

});

图表的数据主要是通过series字段来表示，其余的字段是用来描述图表的样式以及图表说明。所有的series字段的数据是在server端封装完成后，通过socket.io来向前端监控页面push。前端页面运行客户端代码，监听一个socket.io的端口，这样就可以在socket.io的客户端接收到数据，然后封装到highcharts模块中，就可以绘制出相应的图表，并及时更新图表上的数据。socket.io实时地从server端接收数据，使前端监控页面的图表实时动态变化。

5.4 本章小结

本章主要介绍了数据监控平台的设计与实现，分别从地图如何加载，数据交互方式介绍系统平台的实现。此外，还阐述了基于当前数据监控平台实现的一些主要功能需求，并予以相应的显示。

第六章 系统测试与性能分析

评定一个模型与系统的好与坏有两个基本标准，一个就是该系统的功能是否满足需求，另一个就是该系统的性能是否满足需求，本文将基于这两个标准，对所设计的流式处理模型和应用系统展开测试。

6.1 测试条件准备

在进入系统测试与性能分析之前，需要做一些测试前的准备工作，最基本的准备工作就是测试数据与测试平台的准备。

1.测试数据的准备：

系统所用的测试数据，是实际生产线上截取的某政府的政务网站一天的访问流量，已经通过日志的方式保存下来，通过一个readline.js的程序来模拟http\_tracer的功能。目的，就是将这个日志发布到redis的通道中，供Node-red通过redisSub节点去订阅这些数据。为了对系统进行压力测试，以此来检验系统的性能与数据的吞吐量，本文将采集到的实时数据分为5个独立文件，同时利用readline.js并发进行，发布到http\_trace通道，在Node-red中去订阅这些数据。这样通过提高数据的输入速度来检验系统的数据吞吐量以及数据的处理和计算能力。图6-1 展示了实际的部分样本数据。



图6-1 实际系统中的样本数据

2.测试平台的准备：

测试平台也是实验基本需求的，包括软件平台和硬件平台。

硬件平台：一台服务器一台PC机，分别作为并发数据接收端和数据处理端，本节主要针对实时数据处理进行测试，下面是作为实时数据处理端PC的基本配置信息如表6-1所示：

表6-1实时流数据处理端硬件环境

|  |  |
| --- | --- |
| 硬件环境 | 详细 |
| 车载终端 | On-Board Diagnostic |
| 服务端内存 | 16.00 GB ( 1600 MHz) |
| 服务端硬盘 | 32M硬盘缓存1 TB硬盘存储 |
| 服务端处理器 | IntelI CoreI i7-4720HQ 四核CPU @ 2.60GHz(2601 MHz) |
| 服务端网卡 | Killer e2200 Gigabit Ethernet Controller (NDIS 6.30) |
| 测试端 | PC机 |

软件平台：实时流数据处理平台以及相关使用到的数据库，基本信息显示如表6-2所示：

表6-2实验软件环境

|  |  |
| --- | --- |
| 软件环境 | 详细 |
| 操作系统 | Ubuntu Kylin 14.04 |
| Redis | Redis-3.0.7 |
| 数据库 | MongoDB-3.2 |
| Node版本 | V5.0.4 |
| 其他依赖 | {"cheerio": "^0.17.0", "commander": "2.2.0","geoip-lite": "^1.1.3", "heap": "0.2.3","just.randomstring": "0.1.1", "log4js": "0.6.9","mathjs": "^1.0.0", "nodegrass": "0.0.3","ua-parser-js": "^0.7.3", "urlencode": "0.2.0","useragent": "^2.0.9", "zerorpc": "0.9.3","zmq": "2.7.0"} |

6.2 系统功能测试

本文所设计的网站监控系统主要提供了用户行为分析和网站群页面监控这两大功能，

6.3 模型性能分析

6.4 本章小结

第七章 总结与展望

7.1 本文总结

实时流数据处理，已经成为大数据时代下一种重要的计算模式，不论是在学术界还是在商业界，对实时流数据处理的研究和应用都十分广泛，需求也越来越明显。本文是在科研团队与四川省欧润特软件科技有限公司的合作项目中展开叙述的，结合实时流数据处理的相关理论技术与实际项目的具体需求，设计出一套新的基于Node-red与Redis的实时流数据处理模型，同时将该模型应用到实际的生产环境中加以验证。对该模型的设计与应用，本文主要完成了一下几方面的工作。

1. 总结分析了当前流行的实时流数据处理框架，分析了各自的编程模型以及优缺点，同时结合node.js的事件驱动和非阻塞机制对Node-red的编程模型做了重点阐述。
2. 从总体架构上给出了基于Node-red与Redis的实时流数据处理模型的设计方案，对Node-red的节点进行扩展设计，增加了原始没有的redisSub、redisPub数据输入输出节点，以及redis数据库访问节点，同时对这些节点加以实现，重新部署安装到Node-red中。
3. 对基于redis有序集合的去重统计方法进行研究，通过分析redis有序集合的源码并结合Skip List的基本原理，提出了在实时流数据计算中基于redis有序集合zset的去重统计方法。
4. 利用所设计的流式数据处理模型，实现网站访问实时监控系统。对整个系统进行各个模块的设计与实现，包括数据实时采集模块、用户行为分析模块、网站群页面监控模块以及数据可视化模块，流式数据处理过程集中在用户行为分析模块和网站群页面监控模块。
5. 本文最后还对该模型和所设计的应用系统进行功能和性能上的测试，以此来验证模型的可行性和有效性。

7.2 对未来工作的展望

本文对Node-red与redis做了许多研究和实践工作，设计出了一套新的流式计算模型，并将该模型应用到网站访问实时监控系统中。相比于其他流式计算框架而言，该模型能够快速，便捷地进行数据流程的管理，可以实现业务代码的重用。但是对于大数据背景下的实时流数据计算，该模型仍然有需要改进的地方，所设计的系统也有待完善的地方，但这是一个长期的需要不断坚持的应用研究领域。基于本文的研究，对未来有如下展望：

1. 本文对Node-red的节点开发还比较单一，虽然设计了新的数据输入、输出和数据计算节点，但是这些节点进行数据交换的中间桥梁是redis数据库，所以后期的一个重要工作就是对节点的通用化设计和扩展。
2. 本文所设计的模型只是采用了单一节点的redis server，没有利用redis 集群来解决复杂的流式计算。所以，redis集群的引入也是今后工作的一个重点。
3. 在本文所设计的应用系统中，也还存在一些不足。今后的另一项重要工作就是不断地完善该网站访问监控系统，引入更加复杂的流式计算，降低模块之间的耦合程度，完善可视化模块的展示效果，不断提升系统的运行效率。

总之，系统的功能有待丰富，模型的性能也有待更深的优化，今后的工作会研究更有效、更适合的实时流数据处理模型，设计出功能更丰富、性能更优的实时流数据监控系统。

致 谢

论文结束之际，首先，我要向我最尊敬的顾小丰导师表达最真挚的感谢。感谢顾小丰老师在我研究生三年时光里给我的帮助和支持，在三年的学习和生活中，顾小丰老师给了我很大的指导和关心，顾小丰老师工作认真、平易近人，时时刻刻激励着我不断进步，帮助我顺利完成研究生学业并找到一个非常满意的工作。

同时，我还要向科研团队刘玓老师致谢，感谢刘玓老师在我学业过程中给我的指点和帮助，给予了我很大的提点。

感谢与科研团队项目合作的四川欧润特公司的各位经理和同事的指导，在合作期间给予的关心和帮助。

其次，我要感谢科研团队的同学们，同导师下的徐加文同学以及刘玓老师的学生潘冬同学和赵立斌同学，在学习和科研生活中共同监督学习并且共同进步以及共同在生活中开的玩笑，都给予了我很大的帮助。

然后，我要感谢我的室友，曾志强同学、杨眷玉同学和段宇峰同学在生活上给我的宽容和帮助，互相理解互相支持，在学业上互相交流，共同进步。

最后，我要感谢我的家人，感谢家人在我学习期间给予我物质上和精神上的支持，不断鼓励我刻苦钻研、努力学习，未来我将更加努力。

研究生生涯即将结束，感谢电子科技大学三年来给我的支持和帮助，这三年将是我人生中宝贵的三年，在我今后的学习和生活中都将受益无穷，我将会把我三年中学到的知识在工作和生活中得以运用，不断努力奋斗。

参考文献

[30] Mardan A. Intro to Backbone.js[M], Full Stack JavaScript. Apress, 2015.

[攻读硕士期间取得的学术成果](#_Toc19205)

1