

# 支持访问控制的 P2P 大规模遥感数据分发系统

阳鑫磊<sup>1,2</sup> 何 倩<sup>1,2</sup> 曹 礼<sup>1</sup> 王士成<sup>2</sup>

(桂林电子科技大学认知无线电与信息处理教育部重点实验室 桂林 541004)<sup>1</sup>

(中国电子科技集团公司航天信息应用技术重点实验室 石家庄 050081)<sup>2</sup>

**摘 要** 遥感数据日益增长,大规模遥感数据分发对集中分发服务器构成了巨大压力。充分利用参与下载节点的网络资源,提出并实现了一种支持访问控制的 P2P 大规模遥感数据分发系统。遥感数据分发系统分为遥感数据管理平台和遥感数据客户端两部分,遥感数据管理平台包含共享分发平台网站、云存储、种子资源服务器和跟踪服务器 4 个组件,遥感数据各客户端和种子资源服务器构成 P2P 网络。设计了包括共享分片、分片选择、跟踪器通信等的 P2P 协议,实现的遥感数据分发系统能够上传遥感数据并自动做种,支持对用户的访问控制。根据用户权限进行下载,各下载节点共享分片,然后基于类 Bittorrent 协议来加速遥感数据的分发。实验结果表明,实现的大规模遥感数据分发系统的功能完善,在多节点下载时具备良好的并发性能,能够满足大规模遥感数据分发的需要。

**关键词** 遥感数据分发, P2P, 访问控制, 自动做种

**中图法分类号** TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.11.040

## P2P Based Massive Scalable Remote Sensing Data Distribution with Access Control

YANG Xin-lei<sup>1,2</sup> HE Qian<sup>1,2</sup> CAO Li<sup>1</sup> WANG Shi-cheng<sup>2</sup>

(Key Laboratory of Cognitive Radio and Information Processing of the Ministry of Education,  
Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)<sup>1</sup>

(CETC Key Laboratory of Aerospace Information Applications, Shijiazhuang 050081, China)<sup>2</sup>

**Abstract** With the increasing of remote sensing data, massive scalable remote sensing data distribution may cause big pressure for the distribution center server. Fully utilizing the network resources of joining nodes, a P2P based massive scalable remote sensing data distribution system was proposed and realized. The remote sensing data distribution system consists of remote sensing data management platform and remote sensing data client, where the remote sensing data management is composed of the sharing distribution platform web site, the cloud storage, the seed resource server and the tracker, and these remote sensing clients and the seed resource server construct a P2P network. The P2P communication protocol including sharing pieces, piece selection, and tracker communication was designed. The realized system can support uploading data and begining seed automatically with user access control. The users download the remote sensing data based on their user ranks and share and fasten data pieces downloading based on the Bittorrent like protocol. The experiment results show that the realized massive scalable remote sensing data distribution system is fully functional, has excellent concurrent performance while multiple nodes downloading, and satisfies the requirements of massive scalable remote sensing data distribution.

**Keywords** Remote data distribution, P2P, Access control, Seed automatically

## 1 引言

随着遥感影像技术的日益成熟和高分辨率系列遥感卫星的不断升空,每日产生的遥感数据急剧增长。以 Terra 卫星为例<sup>[1]</sup>,每日该卫星拍摄的遥感数据增量超过 190GB。据

NASA 统计<sup>[2]</sup>,2010 年 10 月 1 日到 2011 年 9 月 30 日期间,EOSDIS 平均每日数据增量达到 1.7TB,平均每日数据分发量为 13TB。遥感数据的增长也促进了遥感数据用户的日益增多。目前,据中科院遥感地球所统计<sup>[3]</sup>,中国遥感数据网注册用户已超两万,遥感数据累计分发超过 60 万景。因此遥感

到稿日期:2016-10-10 返修日期:2017-03-11 本文受国家自然科学基金(61661015,61201250),认知无线电与信息处理教育部重点实验室主任基金(CRKL160101),云计算与复杂系统高校重点实验室基金(YD16801),中国电子科技集团公司航天信息应用技术重点实验室开放课题资助。

阳鑫磊(1991—),男,硕士生,主要研究方向为对等计算、SDN;何 倩(1979—),男,博士,教授,CCF 高级会员,主要研究方向为分布式计算、信息安全,E-mail:heqian@guet.edu.cn;曹 礼(1991—),男,硕士生,主要研究方向为对等计算;王士成(1976—),男,硕士,研究员,主要研究方向为航天信息系统。

数据在妥善保存之余,需及时向各类用户进行分发与共享,以充分发挥遥感数据的价值。面对如此海量的遥感数据和庞大的用户,建立一套大规模遥感数据分发系统来为用户提供遥感数据的共享和分发是非常有价值的。

遥感数据作为重要的信息资源,具有以下特点:数据都是实时采集的,具有极高的时效性;更新周期短,以气象卫星为例,数据产出频率为 2 次/时;遥感数据海量,以风云三号 A 星为例<sup>[4]</sup>,每天产出的数据量在 TB 级;遥感数据作为专门机构的数据资源,具有极高的保密性。因此,遥感数据的分发系统需满足分发迅速、分发文件体积大、分发过程可控管理 etc 要求。

传统的 Web 服务和 FTP 服务架构难以满足下载的性能要求<sup>[5]</sup>。因为随着用户量的增加,遥感数据的并发处理对服务器的消耗急剧增加,严重影响了用户获取数据的时效性。目前,P2P 技术广泛地应用于文件分发和下载。不同于 Web 和 FTP 下载,在 P2P 网络中 Peer 在下载数据的同时也为其他 Peer 提供数据资源。因此 P2P 网络中的所有 Peer 参与资源下载,构成了庞大的 P2P 网络,从而使网络中的下载速度加快,突破了传统 Web 和 FTP 服务器的性能瓶颈。目前,国内外不少学者利用 P2P 来实现遥感数据的快速分发。文献<sup>[6]</sup>利用 P2P 分布式多点传输技术,提出一种海量水利遥感数据调度和优化传输策略,该策略将重心服务器数据处理与传输分散到各个节点;文献<sup>[7]</sup>结合 P2P 技术和发布订阅技术,提出数据主动推送和数据被动拉取分步进行的分发策略;文献<sup>[8]</sup>在智慧城市的遥感数据分发中引入 Kademlia 来构建 P2P 网络加速数据的分发,取得了良好的效果。但是,普通 P2P 系统采用完全分布式对等的工作模式,难以实现遥感数据用户对下载客户端的控制,从而无法保证遥感数据分享的安全可控性。

为解决上述问题,本文设计并实现了支持访问控制的 P2P 大规模遥感数据分发系统,该系统包含遥感数据管理平台系统和遥感数据客户端系统。遥感数据管理平台系统管理遥感资源、用户信息,对分发、下载资源行为进行监控,支持用户访问控制。遥感数据客户端构成类 Bittorrent<sup>[9]</sup> 的 P2P 网络,客户端在下载遥感数据的同时也为其他 Peer 提供遥感数据的资源,把数据分发的任务从较少的几台数据分发服务器扩展到整个 P2P 网络中的所有客户端。实验结果表明,该系统能很好地解决海量遥感数据分发速度慢、服务器压力大、客户端不可控等问题。

## 2 大规模遥感数据分发系统架构

大规模遥感数据分发系统架构主要由两部分组成:遥感数据管理平台系统和遥感数据客户端系统,其中遥感数据管理平台系统分为共享分发平台网站、云存储、种子资源服务器、跟踪服务器 4 个组件。系统架构如图 1 所示。

共享分发平台网站负责管理遥感数据用户信息和处理遥感数据资源,以 Web 服务来提供遥感数据资源信息的查询和遥感数据种子文件(.torrent 文件)的下载。云存储负责存储遥感数据用户上传的遥感数据资源。种子资源服务器负责解析命令和自动做种,作为永久 Seed 为大规模遥感数据分发系统

提供遥感数据资源。跟踪服务器主要跟踪系统中所有的参与节点和统计节点的状态,以便节点能相互发现,并交换文件块。

遥感数据客户端系统和遥感数据管理平台系统中的种子资源服务器组成一个 P2P 网络。在 P2P 网络中,种子资源服务器是一个永久的 Seed,为遥感数据分发系统提供下载的数据资源。

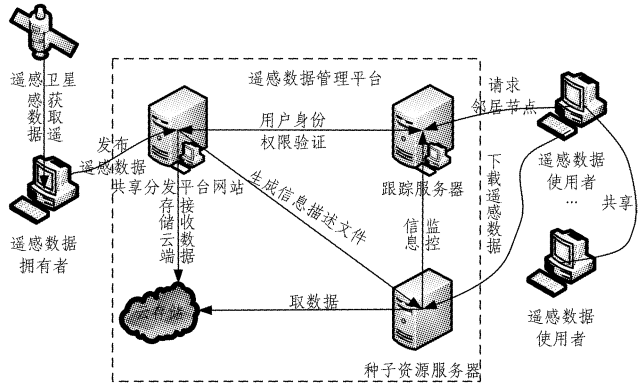


图 1 大规模遥感数据分发系统

## 3 基于 P2P 的遥感数据分发协议

根据遥感数据的特点,参考 BitTorrent 协议实现了安全可控、分发迅速的大规模遥感数据分发系统。BitTorrent 是在对等网络中广泛用于分发大文件的系统协议<sup>[9-10]</sup>。遥感数据分发的 P2P 系统包括种子资源节点、遥感数据客户端节点和跟踪服务器 3 部分。

### 3.1 遥感数据分片共享

不同于传统 Web 服务下载,P2P 网络中的下载节点只依赖几个集中式的服务器分发数据,在下载数据资源的同时也为系统中的其他节点提供下载的数据资源<sup>[11]</sup>。

共享数据首先设置数据分片的大小,计算分片的 hash 值,在共享数据的过程中客户端下载完分片并计算 hash 值,从而验证分片的正确性。通常分片的大小是 2 的幂次方,一般设置为 256kB,针对遥感数据文件巨大的特点,为减少验证分片次数和加快数据下载速度,本系统设置文件分片大小为 4MB。假设共享的遥感数据被分成 100 个数据分片,编号为  $D_1, D_2, \dots, D_{100}$ ,同时 99 个用户要同时下载此遥感数据,编号为  $U_1, U_2, \dots, U_{99}$ ,那么 99 个下载节点和种子服务器(编号为  $U_s$ )就构成了 P2P 网络中的 100 个 Peer 节点,其中任意两个节点都可以直接分发共享数据分片,具体过程如下。

(1)当节点  $U_1$  连接到 tracker 服务器下载遥感数据时发现只有  $U_s$  有数据,其随机从节点  $U_s$  上下载一个数据分片,并在下载完成后通知 tracker 服务器更新自己拥有的数据分片。

(2)当节点  $U_2$  连接到 tracker 服务器下载遥感数据时发现  $U_s$  和  $U_1$  都有数据,根据最短路由算法选择近的节点下载数据分片,在下载完成后通知 tracker 服务器更新自己拥有的数据分片。

(3)按照上面的流程完成数据的交换。

由上述过程可知,下载节点可以通过 P2P 网络中的其他节点下载遥感数据分片,减轻了种子资源服务器的压力,加速了分发的过程。但下载文件分块时的问题在于如何确定文件分块的下级优先级。

### 3.2 遥感数据分片选择算法

文件块下载的优先级对系统性能起着非常重要的作用。合理的文件分片选择策略能为系统中的所有节点提供所需的文件块,延长系统的生命周期。反之,不合理的文件分片选择策略会导致系统中的数据分片的分布不均衡,从而严重影响系统的效率。本系统主要采用两种分片选择算法来确定文件分块下载的优先级:严格优先算法和最少文件分片优先算法。

严格优先算法的思想是:若文件分片中的子分块被请求下载,则优先下载此文件分片中的其他子文件块,使客户端最快获取完整的文件分片,从而为系统中的其他客户端提供数据分片的下载资源,充分利用客户端的上行带宽来加速分发的过程。

最少文件分片优先算法的思想是:在选择下载的文件块时,下载节点优先下载最稀少片算法<sup>[11]</sup>筛选出来的最稀少文件分片。最稀少片算法遍历 Peer 列表中节点的文件片,用数组来保存每个文件片的可用度。数组中的最小值表示该分片是网络中节点最少拥有的数据分片,应优先下载。该算法提高了整个系统的性能,使系统趋向文件分片均匀分布的优化状态,避免了因拥有稀有文件块的节点离开系统而造成的系统消亡,有效地延长了系统的生命周期。算法实现的伪代码如下:

```
dataInfo=getSensingData();
//获取遥感数据信息
pieceInfo=getPieceInfo(dataInfo);
//获取节点文件分片的可用性布尔数组
pieceMin=getpieceMin(pieceInfo);
//遍历所有 piece 得到所有 piece 的最小可用度
pieceMin=((100+factor)* pieceMin)/100;
//将 pieceMin 增大到 factor
if(20< pieceMin) pieceMin=MAX;
//最少可用度大于 20,则设置网络所有分片为稀有,表示可以任意下载
for(pieceavailability;pieceInfo)
    if(pieceavailability<pieceMin) setRarePiece();
//遍历所有 piece,若 piece 的可用度小于 pieceMin,设置为稀少文件片
```

### 3.3 节点间通信

P2P 网络中节点间的通信是数据分发的过程。通过 tracker 获取 Peer 列表,下载节点基于 TCP 协议与 Peer 列表中的 Peer 建立连接关系,相互发送 keep alive, choke, unchoke, interested, not interested, bitfield, request, piece, cancel, have 这 10 种消息来实现数据的传输。其中空消息 keep alive 保证 Peer 在线;choke, unchoke, interested, not interested 负责通知状态信息更新的消息(在 3.4 节的访问控制章节将详细介绍);其余的 5 类是数据消息,负责节点之间的数据传输。图 2 给出了数据传输的流程图,具体流程描述如下:

(1)TCP 握手后,下载节点与 Peer 互发 bitfield 消息,通知对方自己拥有的分片信息。

(2)下载节点向连接的所有 Peer 发送 request 消息,以请求数据分片资源。

(3)Peer 节点回复 piece 消息,进行实际的数据的传输。

(4)下载完某一数据分片,下载节点发送 cancel 消息,通知所有 Peer 此分片下载完成。

(5)下载节点发送 have 消息,通知所有 Peer,提供该数据分片的下载资源。

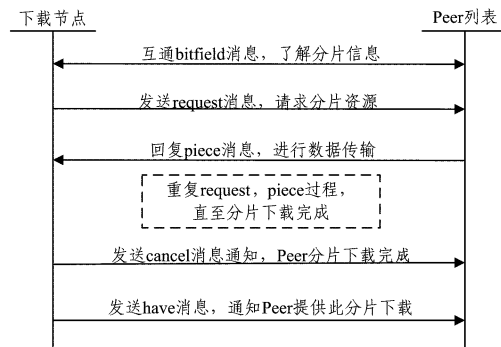


图2 节点间的通信下载数据示意图

### 3.4 访问控制

由上述流程可知,传统的 P2P 技术缺少 tracker 服务器对 P2P 客户端的控制,然而遥感数据作为专门机构的数据资源,需要由专门的机构分发数据和控制下载端的行为<sup>[12]</sup>。本系统采用捎带回复消息和直接广播通知两种控制方案,通过设置 Peer 节点间的状态来增强遥感数据管理平台系统对遥感数据客户端的分发掌控能力,支持在分发的过程中取消遥感数据客户端的授权和强制中断下载,从而提高遥感数据分发过程中的可控安全性。

由 3.3 节可知节点间状态相关的消息有 choke, unchoke, interested, not interested 4 种。每两个建立连接的节点之间,节点会设置对对方的 am\_choking, am\_interesting 状态值,同时保存对方对自己阻塞(am\_choked)、感兴趣(am\_interested)的状态。只有对方取消阻塞且自己设置对对方感兴趣,对方才会提供数据的下载资源。基于此,可采用捎带回复和直接广播两种方案来实现 tracker 对客户端的访问控制。

捎带回复消息控制方案的主要思想是:通过遥感数据客户端在下载文件分块完成后与 tracker 通信,tracker 服务器捎带拟阻塞节点信息列表 Choke Peer List(PeerID, Resource-Name, ResourceHash)回复遥感数据客户端,遥感数据客户端根据 Choke Peer List 设置 am\_interested 和 am\_choked 状态值来阻塞相应的连接,从而实现控制被阻塞遥感数据客户端获取遥感数据资源。

直接广播通知控制方案的主要思想是:用户下载种子文件时,tracker 根据用户的信息做 hash 变化来生成 Passkey 以标识用户的身份。遥感数据客户端系统的每个客户端和种子资源服务器都预留一个请求服务,在遥感数据客户端下载数据资源完成前,tracker 根据阻塞遥感数据文件的哈希值来查找此资源的 Peer 列表,直接对 Peer 列表中的节点和遥感数据种子客户端广播通知要阻塞遥感数据客户端的 IP 地址和遥感数据文件的哈希值。收到 tracker 的通知消息后,Peer 列表中的所有客户端和种子客户端根据哈希值和 IP 地址设置 am\_interested 和 am\_choking 状态值来阻塞相应的遥感数据客户端获取此遥感数据资源,实现 tracker 服务器对遥感数据客户端的访问控制功能,从而保证遥感数据分发过程的可控安全性。

## 4 遥感数据分发流程

### 4.1 遥感数据上传

遥感数据拥有者注册合法用户名、登录共享分发平台并

上传遥感数据分布共享资源。图 3 给出了遥感数据上传的流程图,具体流程如下:

(1)遥感数据拥有者首先注册成为合法用户,然后登录遥感数据共享分发平台,添加遥感数据的描述信息并上传分发的遥感数据。针对在网络不稳定的情况下数据上传频繁掉线而导致分发数据的失败,本系统利用嵌入浏览器控件来实现遥感数据的断点续传功能。

(2)共享分发平台网站接收遥感数据拥有者上传的遥感数据,利用云存储保存原始遥感数据,生成相应的种子文件。发送做种命令到种子资源服务器。

(3)种子资源服务器解析命令,并完成初始化做种,为遥感数据分发系统提供了可下载的数据资源。

(4)共享分发平台网站提供遥感数据信息的查询服务和种子文件的下载服务。

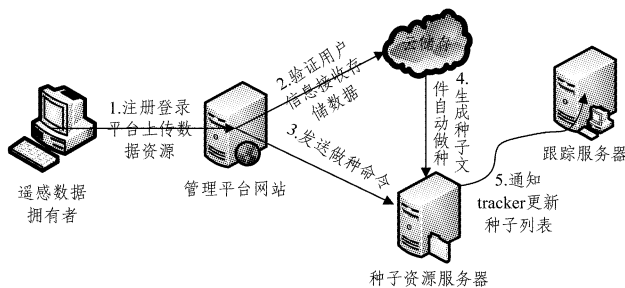


图 3 遥感数据上传流程图

#### 4.2 遥感数据下载

图 4 给出了遥感数据下载流程,具体流程如下:

(1)遥感数据使用者首先注册合法的用户名,然后登录遥感数据管理平台系统。根据关键词、遥感数据类型、活种或断种 3 种方式搜索遥感数据信息,以下载相应的种子文件。

(2)P2P 客户端打开种子文件,通过 HTTP 协议连接 tracker,请求种子 Peer 列表。

(3)P2P 客户端依次连接 Peer,通过节点间的通知消息和数据消息来完成遥感数据分片的传输。

(4)遥感数据使用者向 tracker 发送已有的分片信息消息,tracker 更新 Peer 列表中各 Peer 的分片信息。

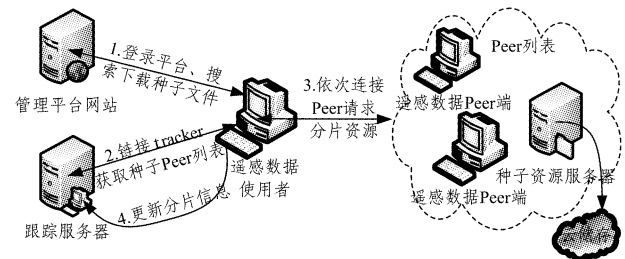


图 4 遥感数据下载流程图

若遥感数据客户端下载完遥感数据后马上离开 P2P 网络,将会造成系统下载性能的衰减,采用纯粹 TFT(Tit-For-Tat)和尝试性疏通的节点传输策略无法阻止吸血鬼用户无偿获取资源而损害系统性能。首先遥感数据的种子服务器将由平台运营者长期运行,同时采取了强制分享机制(用户上传量和下载量的比值)来鼓励下载节点做种。

在 tracker 服务器中添加强制分享功能模块,根据用户的

Passkey 值统计用户的上传总量、下载总量和分享率。分享率高的用户赋予高的权限和资源,分享率低的用户赋予低的权限和资源,对于只下载不上传的吸血鬼用户则直接踢出 P2P 系统。该机制提高了种子客户端在系统的停留时间,确保了大规模遥感数据分发系统的公平性和下载性能。

## 5 实验分析

### 5.1 实验环境

我们采用 Java 语言实现了基于 P2P 的遥感数据分发系统,并构建实验来进行测试分析。实验环境包括 5 台同样配置的工作站和 6 台同样的 HP 台式机,具体硬件参数如表 1 所列。

表 1 实验设备

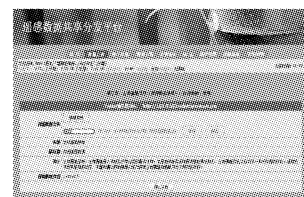
| 参数           | 配置                                                 |
|--------------|----------------------------------------------------|
| 遥感数据管理平台系统   | CPU:2 * Intel Xeon E5-2630(4 核心,3.2GHz)<br>内存:16GB |
| 下载节点(虚拟机)    | CPU:2 * Intel Xeon E5-2630(4 核心,3.2GHz)<br>内存:2GB  |
| 下载节点(HP 台式机) | CPU:2 * 双核心;内存:8GB                                 |
| 网络           | TL_SG1016DT 全千兆交换机                                 |

在 1 台工作站上配置遥感数据管理平台系统,包括共享分发平台网站、种子资源服务器、跟踪服务器。在其余 4 台工作站的每个物理机上配置 6 台 vmware 虚拟机,总共 24 台虚拟机和 6 台 HP 台式机作为下载节点,与种子资源服务器一起构成 P2P 遥感数据分发网络。

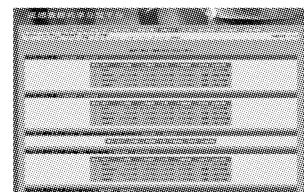
在实验中,遥感数据的种子服务器和下载客户端均为 Windows 7 操作系统,虚拟机选用 JDK 1.7 64 位,P2P 的最大上传速度不做限制,任务繁忙时限定单任务全速上传时间为 30s,每个节点的最大连接数为 80 个。

### 5.2 遥感数据管理平台系统

遥感数据管理平台系统提供了最主要的管理员人机交互界面,能够管理遥感数据用户信息和遥感数据的资源,支持验证用户权限、上传遥感数据、流量统计和客户端控制管理等功能,部分页面效果图如图 5 所示。



(a) 数据上传



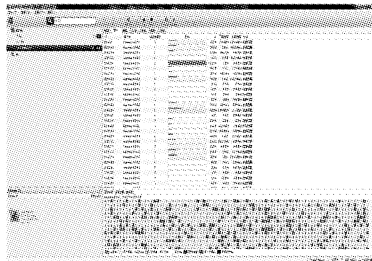
(b) 流量统计

图 5 遥感数据共享分发平台网站

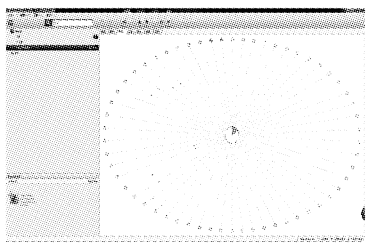
由遥感数据共享分发平台网站中的流量统计功能来统计每个遥感数据用户的总上传量、总下载量和分享率,找出并踢出系统中的吸血鬼用户,从而保证系统的公平性和稳定性。

### 5.3 遥感数据下载客户端

遥感数据使用者通过遥感数据管理平台系统下载遥感数据种子文件后,在利用遥感数据客户端下载遥感数据的过程中,可以监控数据下载的具体信息,包括下载速度、P2P 网络群体、下载区块等,其效果图如图 6 所示。



(a) 下载速度及区块



(b) P2P 网络群体

图 6 遥感数据下载客户端

### 5.4 数据分发性能

场景 1 1 个种子、分发 1G 的遥感数据,下载节点从 2, 4, 6 增加到 20 个,每次增加 2 个,遥感数据种子服务器提供的资源数量和传统 Web 服务器提供的资源数量对比如图 7 所示。

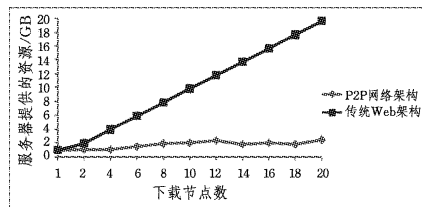


图 7 传统 Web 架构和 P2P 架构提供的资源数量

由图 7 可以看出,传统 Web 架构服务器提供的资源随着下载节点数量的增加而线性增加,P2P 架构下种子服务器提供的资源数据资源稳定在 1~2G 之间,缓解了种子服务器的传输压力。

场景 2 1 个种子、30 个下载节点,下载的遥感数据从 100M 增加到 2000M,每次增加 100M。遥感数据分发客户端的平均下载速度如图 8 所示。

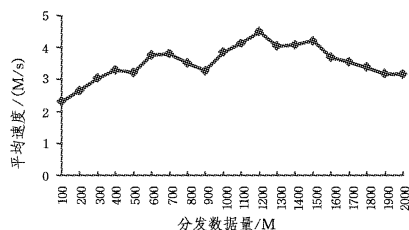


图 8 不同数据量下客户端的平均下载速度

由图 8 可以看出,客户端都能够保持 2M 以上的下载速

度,并且在分发 1.2G 的数据时,速度达到了 4.5M。

场景 3 1 个种子、分发 1G 的遥感数据,下载节点从 1 个增加到 10 个,每次增加 1 个。遥感数据分发客户端的平均下载速度如图 9 所示。

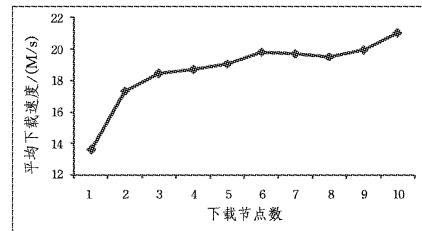


图 9 不同下载节点数下客户端的平均下载速度

由图 9 可以看出,平均下载速度随着客户端的增加而逐渐增加,当下载节点达到 6 个后,平均下载速度稳定在 20M 以上。若遥感数据需要分发到更多的节点,其性能将不会受节点数的影响。可见,P2P 分发机制的引入有效地提高了遥感数据分发的可扩展性。

**结束语** 为缓解大规模遥感数据分发所构成的集中分发压力,提出并实现了一种支持访问控制的 P2P 大规模遥感数据分发系统。遥感数据分发系统分为遥感数据管理平台和遥感数据客户端两个部分,遥感数据各客户端和种子资源服务器构成 P2P 网络,实现了共享分片的加速。遥感数据分发系统能够上传遥感数据并自动做种,支持对用户的访问控制。通过实验验证了实现的大规模遥感数据分发系统的各项功能,系统在多节点下载时,具备良好的并发性能,能够满足大规模遥感数据分发的需求。该系统已经在中电集团负责的某航天信息系统中应用部署,为海量遥感数据的分发提供了良好的支持。在未来的研究工作中采用 Mutil-Tracker 机制<sup>[13]</sup>来解决 tracker 服务器在系统中单点失效的问题,以进一步提高支持访问控制的 P2P 大规模遥感数据分发系统的性能。

### 参 考 文 献

- [1] Earth Observation Satellite[EB/OL]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Earth\\_Observing\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Earth_Observing_System).
- [2] National Aeronautics and Space Administration[EB/OL]. <http://www.nasa.gov>.
- [3] Institute of Remote Sensing and Digital Earth Chinese Academy of Sciences[EB/OL]. <http://www.radi.ac.cn>. (in Chinese) 中国科学院遥感与数字地球研究所[EB/OL]. <http://www.radi.ac.cn>.
- [4] Satellite remote sensing data service network[EB/OL]. <http://fy3.satellite.cma.gov.cn/portalsite>. (in Chinese) 风云卫星遥感数据服务网[EB/OL]. <http://fy3.satellite.cma.gov.cn/portalsite>.
- [5] YAO Y, XIA J. Analysis and research on the performance optimization of Web application system in high concurrency environment[C]//2016 IEEE Information Technology Networking Electronic and Automation Control Conference, Chongqing, China, 2016:321-326.
- [6] MENG L K, XIA H Y, CHEN Z D, et al. Optimization Strategy of massive hydrographic image transmission based on P2P[J]. Computer Application Research, 2011, 28(4): 1382-1384. (in Chinese)

(下转第 283 页)

- Computing. New York: ACM, 1971: 151-158.
- [2] DAVIS M, LOGEMANN G, LOVELAND D. A machine program for theorem proving[J]. Communications of the ACM, 1962, 5(7): 394-397.
  - [3] SILVA J P M, LYNCE I, MALIK S. Conflict-driven clause learning SAT solvers [M]// Handbook of Satisfiability. Amsterdam, IOS Press, 2009: 127-149.
  - [4] MOSKEWICZ M W, MADIGAN C F, ZHAO Y. Chaff: Engineering an efficient SAT solver [C]// Proceedings of the 38th Annual Design Automation Conference. New York: ACM, 2001: 530-535.
  - [5] MARQUES-SILVA J P, SAKALLAH K A. Grasp: a new search algorithm for satisfiability [C]// Proceedings of the 1996 IEEE/ACM International Conference on Computer-aided Design. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1996: 220-227.
  - [6] GOMES C P, SELMAN B, KAUTZ H. Boosting combinatorial search through randomization[C]// Proceedings of AAAI'98. 1998: 431-437.
  - [7] GOLDBERG E, NOVIKOV Y. BerkMin: a fast and robust SAT solver [C]// Proceedings of the symposium on Design, Automation and Test in Europe Conference. 2002: 142-149.
  - [8] GOMES C, SELMAN B, CRATAO N, et al. Heavy-tailed phenomena in satisfiability and constraint satisfaction problems [J]. Journal of Automated Reasoning, 2000, 24(1/2): 67-100.
  - [9] PIPATSRISAWAT P, DARWICHE A. A lightweight component caching scheme for satisfiability solvers [C]// Proceedings of the International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing-SAT 2007. Heidelberg: Springer, 2007: 294-299.
  - [10] VANDER TAK P, RAMOS A, HEULE M. Reusing the assignment trail in CDCL solvers [J]. Journal on Satisfiability, Boolean Modeling and Computation, 2011, 7(4): 133-138.
  - [11] EÉN N, SÖRENSON N. An extensible SAT solver [C]// Proceedings of the International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing-SAT 2003. Heidelberg: Springer, 2004: 502-518.
  - [12] BIERE A. Adaptive restart strategies for conflict driven SAT solvers [C]// Proceedings of the International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing-SAT 2008. Heidelberg: Springer, 2008: 28-33.
  - [13] LUBY M, SINCLAIR A, ZUCKERMAN D. Optimal speedup of las vegas algorithms [J]. Information Processing Letters, 1993, 47(4): 173-180.
  - [14] HUANG J B. The effect of restarts on the efficiency of clause learning [C]// Proceedings of the 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Menlo Park: AAAI, 2007: 2318-2323.
  - [15] AUDEMARD G, SIMON L. Refining restarts strategies for SAT and UNSAT [C]// Proceedings of the 18th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming. Heidelberg: Springer, 2012: 118-126.
  - [16] RYVCHIN V, STRICHMAN O. Local restarts [C]// Proceedings of the International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing-SAT 2008. Heidelberg: Springer, 2008: 271-276.
  - [17] BIERE A, FRÖHLICH A. Evaluating CDCL Restart Schemes [C]// Proceedings of the International Workshop on Pragmatics of SAT. 2015.
  - [18] EÉN N, SÖRENSON N. MiniSat: A SAT solver with conflict-clause minimization[C]// SAT 2005 Competition. 2005.
  - [19] SALTON G, WONG A, YANG C S. A vector space model for automatic indexing[J]. Communications of the ACM, 1975, 18(11): 613-620.
  - [20] RYAN L. Efficient algorithms for clause learning SAT solvers [D]. Simon Fraser University, 2004.
  - [21] BIERE A. PicoSAT essentials[J]. Journal on Satisfiability Boolean Modeling and Computation, 2008, 4(2-4): 75-97.
  - [22] WALSH T. Search in a small world[C]// Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Stockholm, 1999: 1172-1177.
  - [23] BIERE A, HEULE M, MAAREN H V, et al. Handbook of Satisfiability[M]. IOS Press. 2009.
  - [24] BIERE A. Yet another local search solver and lingeling and friends entering the sat competition[C]// Proceedings of SAT Competition 2014. 2014: 39-40.

(上接第 272 页)

- 孟令奎, 夏辉宇, 陈子丹, 等. 基于 P2P 的海量水利遥感影像优化传输策略[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(4): 1382-1384.
- [7] XU S M, FENG J, TANG Z X. Research on remote sensing data distribution strategy based on P2P technology[J]. Computer and Digital Engineering, 2012, 40(10): 47-50. (in Chinese)
  - 胥世民, 冯钧, 唐志贤. 基于 P2P 技术的遥感数据分发策略研究[J]. 计算机与数字工程, 2012, 40(10): 47-50.
  - [8] LV Z H, YIN T F, ZHANG X L, et al. Virtual Reality Smart City Based on WebVRGIS[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2016, 3(6): 1015-1024.
  - [9] LIU B, CUI Y, LU Y S. Locality-awareness in BitTorrent-like P2P applications[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2009, 11(3): 361-371.
  - [10] DAI Q, LIU J B, LIU S B. Key technologies of mass remote sensing data sharing[J]. Computer Engineering, 2008, 34(6): 283-285. (in Chinese)
  - 戴芹, 刘建波, 刘士彬. 海量卫星遥感数据共享的关键技术[J]. 计算机工程, 2008, 34(6): 283-285.
  - [11] 聂荣. BitTorrent 类型对等网络的位置知晓性研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014: 120-121.
  - [12] CHEN J. Tracking system, tracking server and tracker; WO 2013044539 A1[P]. 2013.
  - [13] P2P Protocol Specifications Multitracker[EB/OL]. <http://wiki.depthstrike.com/wiki/P2P:Protocol:Specifications;Multitracker>.