

异构无线网络中 TCP Vegas 算法的研究与改进

秦 军¹, 袁翰林², 陈 迪²

(1. 南京邮电大学 教育科学与技术学院, 江苏 南京 210003;

2. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:异构无线网络是将不同接入技术、不同性能的网络融合到一起构成的单个逻辑网络。异构无线网络中, TCP 端到端的拥塞控制机制对网络的健壮性和稳定性具有非常重要的作用, 因此是网络研究的一个热点问题。针对异构无线网络中移动节点发生垂直切换时传输层性能下降的特点, 提出了一种基于 TCP Vegas 的传输层拥塞控制算法 B-Evegas。给出了垂直切换发生时的传输控制方法, 垂直切换后拥塞窗口的恢复采用带宽估计与分段增加策略, 并引入了快速恢复机制, 在拥塞窗口过大时根据链路的时延指数性地减小拥塞窗口。仿真结果表明, 该算法是合理的, 可以有效提高垂直切换发生后 TCP 连接的吞吐量或者减小数据包的传输时延。

关键词:异构无线网络; TCP Vegas; 垂直切换; 吞吐量; 时延

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2012)04-0088-05

Research and Improvement on TCP Vegas in Heterogeneous Wireless Networks

QIN Jun¹, YUAN Han-lin², CHEN Di²

(1. College of Education Science and Technology, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. College of Computer, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Heterogeneous wireless network is a logical network that is constituted by different kinds of wireless access network with different bandwidth, time delay and coverage. In heterogeneous wireless network, end to end congestion control is very important to the robust and stability. For the performance degradation of transport layer during vertical handoff, propose an improved transport congestion protocol B-Evegas based on TCP Vegas. The algorithm is consisted of transport suspension, bandwidth estimation, segmentation increase and fast recovery. The simulations results show that this algorithm is reasonable, it effectively enhances the throughput or reduce the end-to-end delay of TCP link after vertical handoff.

Key words: heterogeneous wireless network; TCP Vegas; vertical handoff; throughput; delay

0 引言

近年来, 各种无线接入网络技术层出不穷, 包括卫星网络^[1]、无线城域网、无线局域网、无线传感网^[2]、AdHoc 移动无线网络^[3]等。异构性将成为无线网络的主要特性之一。在异构网络环境中为满足移动用户的需求, 使移动终端从一种接入网络移动到另一种接入网络的过程中保持连接的不中断, 研究者提出了垂直切换技术。其中移动终端从速率高的网络切换到速率较低的网络称之为向上切换, 反之则称为向下切换。

目前比较常见的垂直切换技术有应用层的 SIP 协议、传输层的 SCTP 协议以及网络层的 Mobile IP 技术^[4]。文中所涉及的垂直切换是指基于 Mobile IP 的网络层切换技术。

随着用户移动性的增强, 切换技术将在很大程度上影响网络的性能。1995 年提出的 TCP Vegas^[5]无论从理论分析上还是实验结果与目前广泛使用的 TCP Reno 相比较, 具有更高的吞吐量^[6]。TCP Vegas 根据报文的往返时间 (Round Trip Time, RTT) 来调整窗口大小, 与 TCP Reno 相比 TCP Vegas 不会产生周期性的丢包, 更适应无线网络随机丢包的问题。然而由于 TCP 协议的拥塞控制机制使得传输层能够感知下层网络传输性能变化, 垂直切换过程中 RTT 的突发变化可能会错误地触发 TCP 拥塞控制以及垂直切换前后接入网络带宽的变化使得传输窗口的大小不能够充分

收稿日期: 2011-08-19; 修回日期: 2011-11-25

基金项目: 江苏省科技支撑计划项目 (BE2009157)

作者简介: 秦 军 (1955-), 女, 教授, 硕士生导师, 研究方向为计算机网络技术、多媒体技术、数据库技术; 袁翰林 (1987-), 男, 江苏南京人, 硕士研究生, 研究方向为计算机在通信中的应用。

利用网络的带宽或者引发网络拥塞。

文中对现有的针对垂直切换的 TCP Vegas 改进算法 DEMO-Vegas 与 Freeze TCPv2 进行了研究与比较,并在此基础上提出了一种基于带宽估计的 TCP Vegas 改进算法 B-Evegas。最后通过 NS2 的仿真得出结论,表明此算法的有效性。

1 TCP Vegas 简介

TCP Vegas 与 TCP Reno 相比较能多获得 37% 到 71% 的吞吐量,较少的 20% 到 50% 的丢包率,当路由器有足够的缓存时, TCP Vegas 能获得更大的吞吐量和快速的反应时间。

1.1 TCP Vegas

TCP Vegas 通过观测 RTT 的变化来判断网络的拥塞状况,对发送端拥塞窗口的大小做相应的调整。设 BaseRTT 为所观察到的最小的 RTT, CurRTT 为当前测量到的 RTT 值, Cwnd 为当前拥塞窗口大小。TCP Vegas 将实际传输率(Actual)和期望传输率(Expected)相比较, Expected 定义为: $Expected = Cwnd / BaseRTT$, Actual 定义为: $Actual = Cwnd / CurRTT$, 为方便比较与判断,定义:

$$\Delta = (Expected - Actual) \times BaseRTT \\ = Cwnd \frac{CurRTT - BaseRTT}{CurRTT} \quad (1)$$

TCP Vegas 算法分为慢启动与拥塞避免两个阶段。

(1)慢启动阶段:在慢启动算法中, Cwnd 每两个 RTT 增加一倍。在第一个 RTT 内 Cwnd 不会变化,这样 Actual 和 Expected 的计算就较为准确。计算 Δ 值并与门限值 γ 作比较,若 Δ 小于门限值 γ , 在第二个 RTT 的开始将 Cwnd 增加一倍,否则则慢启动结束,将 Cwnd 减小 1/8,进入拥塞避免阶段。

(2)拥塞避免:为了避免拥塞, Vegas 将 Δ 与门限值 α 和 β 比较,根据公式(2)调整拥塞窗口的大小。

$$Cwnd = \begin{cases} Cwnd - 1, \Delta > \beta \\ Cwnd + 1, \Delta < \alpha \\ Cwnd, otherwise \end{cases} \quad (2)$$

1.2 DEMO-Vegas

移动节点在基于 Mobile IP 的网络中发生切换时, DEMO-Vegas^[7] 算法使接收方在 tcp 头的可选字段上扩充 1bit 的切换通知来告知移动节点即将发生切换,收到切换通知后发送方暂停数据的传输。当切换完成时接收方再重置切换通知比特,发送方收到切换完成的通知后更新 BaseRTT,并恢复数据传输。

DEMO-Vegas 中,发送方能够感知切换的发生,暂停数据的传输,在切换完成后更新 BaseRTT 使得

DEMO-Vegas 能够有效地应对垂直切换后链路时延发生变化的情况。然而 DEMO-Vegas 仅仅是更新了 BaseRTT,拥塞窗口仍然保持垂直切换前的大小。通过 TCP Vegas 的拥塞控制算法来调整拥塞窗口到稳定的大小需要一个相对漫长的过程。

1.3 Freeze TCPv2

Freeze TCPv2^[8] 是 Freeze TCP^[9] 的改进版本。如果作为接收端的移动节点信号强度低于门限值时,接收端向发送端发送一个 ZWA(零窗口大小通告)。收到此通告,发送方将发送窗口置零,停止超时计时器并暂停数据传输。当切换完成时,接收方再向发送方发送一个 PACK(切换完成通知)。切换完成后,发送方发送一个 TCP 报文并以新的传输时间 CurRTT 更新 BaseRTT。如果 CurRTT 大于 PrevRTT(切换前的 RTT),则发送方认为垂直切换后接入网传输带宽变小,发送方恢复发送前的 Cwnd 大小,并根据 TCP Vegas 的拥塞控制算法线性地减小传输窗口的大小。如果 CurRTT 小于 PrevRTT,则认为垂直切换后接入网传输带宽变大,按公式(3)调整 Cwnd 的大小。

$$Cwnd + = \frac{PacketSize}{|PrevRTT - CurRTT|} \quad (3)$$

与 DEMO-Vegas 相比, Freeze TCPv2 增加了对向下切换后接入网络带宽的估计,在一定程度上提高了带宽的利用率。不足之处有三点:

第一、向上切换后并没有相应的策略调整传输窗口的大小,仅仅依靠 TCP Vegas 的拥塞避免机制缓慢地减小发送窗口,使得许多数据包积压在链路各节点的缓存中,增加了传输的时延。

第二、Freeze TCPv2 通过比较 PrevRTT 与 CurRTT 来估算垂直切换后带宽的变化有一个前提条件,即垂直切换前后从无线接入点到相关通信节点的时延必须一致。

第三、若切换完成通知丢失,发送方将误认为切换仍在进行中并一直保持着等待状态。

以上三点严重制约了 Freeze TCPv2 算法的应用。

2 改进算法 B-Evegas

B_Evegas (Bandwidth Estimation Vegas) 算法对 DEMO-Vegas 与 Freeze TCPv2 存在的问题进行改进。B-Evegas 算法的主要思想是在垂直切换后通过 RTT 来估算网络可用带宽,直接设定拥塞窗口值同时引入了快速调整机制,使得拥塞窗口的大小迅速收敛到稳定值。整个算法分为传输暂停、带宽估计、分段传输和快速恢复 4 个部分。

2.1 传输暂停

在本方案中假设作为 TCP 接收方的移动终端能

从链路层收到即将发生垂直切换的通知。当收到此通知接收方向发送方发送一个切换通知。这个特殊的 ACK 在 TCP 头的可选字段上扩充了 1 bit 的切换通知。收到切换通知后,发送方停止超时计时器并暂停数据传输。当切换完成时,接收端恢复发送 ACK。收到新的 ACK 后发送方连续发送 2 个 tcp 报文测量新链路的往返时延,这两个报文的往返时延分别记为 RTT_k 、 RTT_{k+1} 。垂直切换后 $BaseRTT = \min\{RTT_k, RTT_{k+1}\}$,发送方恢复数据的发送。整个过程如图 1 所示。

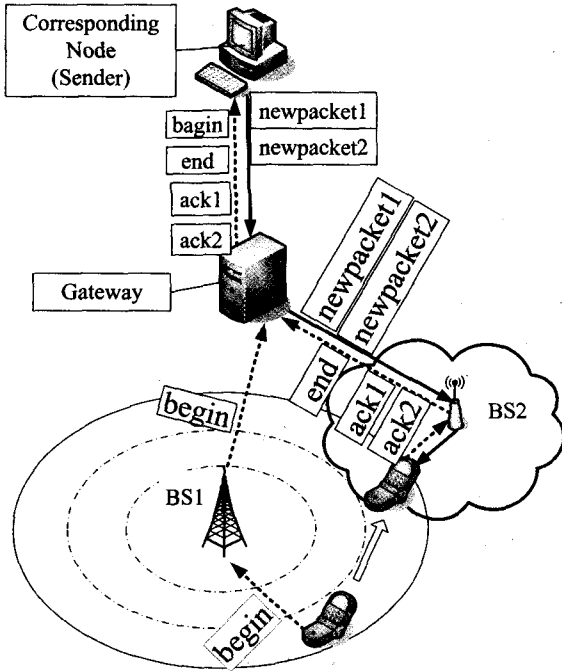


图 1 B_Evegas 算法示意图

2.2 带宽估计

图 1 中假设链路的带宽瓶颈为 BS 到移动终端之间的链路,所以可以认为 newpacket1 与 newpacket2 同时到达 BS1 但是 ack1 与 ack2 之间却有一定的时间间隔。由于稳态时的拥塞窗口的大小约等于带宽时延积^[10],垂直切换后发送端按公式(4)调整拥塞窗口的大小,并恢复数据的发送。

$$\begin{aligned} NewCwnd &= BaseRTT \cdot B \\ &= BaseRTT \frac{PacketSize}{|RTT_{k+1} - RTT_k|} \end{aligned} \quad (4)$$

若直接按照公式(4)设置拥塞窗口大小可能会产生两个问题:

第一、拥塞窗口的突然变大可能导致带宽瓶颈处缓存队列过大。

第二、在复杂网络环境下数据包的到达具有不确定性,式(4)所估算的拥塞窗口存在着一定概率的不准确性。

针对这两个问题,B_Evegas 在 Vegas 的基础上提出了分段增加与快速调整算法。

2.3 分段增加算法

向下切换后 Cwnd 的突然增加、大量数据包的涌入会在链路节点的缓存处增加大小为 $(NewCwnd - OldCwnd) \cdot PacketSize = NewBDP - OldBDP$ 的缓存队列^[11]。对于大带宽时延积的链路,这些暂时性的缓存队列会有溢出的危险。同时,若 NewCwnd 小于稳定状态的 Cwnd,而暂时性的缓存队列却很长,发送方将进入拥塞避免状态,只能线性增加拥塞窗口(慢启动阶段为指数增长)到稳定值,效率低下^[12]。针对这个问题,B_Evegas 采用了分段增加拥塞窗口大小的策略,在一个 RTT 内,分多次将拥塞窗口增加到 NewCwnd,避免暂时性缓存队列过长。分段增加算法伪代码如下:

```
start cwnd increasement in  $RTT_i$ 
 $k = 0$ 
while  $\left( \left( t = RTT_i + k \frac{RTT}{n} \right) \&\& k < n \right)$ 
{  $Cwnd = Cwnd + \frac{NewCwnd - OldCwnd}{n}$ 
 $k++$ 
end
```

其中 n 是分散系数,其取值范围是 $[1, NewCwnd - OldCwnd]$,考虑运算复杂度, n 的值不易取得太大,一般可取 $n = 8$,即将暂时性缓存队列长度减小到约为改进前的 $1/8$ 。

2.4 快速恢复算法

如式(2)所示,Vegas 拥塞避免算法通过估算实际吞吐量与期望吞吐量的差值在每个调整 RTT 内增加或减小拥塞窗口。当网络环境发生突变,出现拥塞窗口远大于 BDP(带宽时延积)时,Vegas 原有的拥塞避免算法只能线性地减小拥塞窗口,效率低下。快速调整算法按公式(5)调整拥塞窗口的大小,使得拥塞窗口可以指数地收敛到稳定值。

$$Cwnd = \begin{cases} \frac{Cwnd}{2}, & \frac{Cwnd}{2} < \Delta \\ Cwnd - 1, & \beta < \Delta < \frac{Cwnd}{2} \\ Cwnd + 1, & \Delta < \alpha \\ Cwnd, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

3 仿真及性能分析

采用 NS2 仿真软件在 Linux 操作系统下进行仿真。假设低带宽网络传输速率为 256Kbps,传播时延是 45ms,高带宽网络的传输速率为 2Mbps,传播时延是 40ms,数据包的大小均为 1024bytes,各节点的缓存足够大。CN (Corresponding Node) 与 MN (Mobile Node) 之间传输持续的 FTP 业务流。仿真时间持续 50s,垂直切换开始于 19s,结束于 20s。对采用 DEMO-

Vegas, Freeze TCPv2 和改进算法 B-Evegas 的 TCP 连接在发生垂直切换后的吞吐量和时延进行比较。三种算法中参数设定如下: $\gamma=1, \alpha=2, \beta=3$ 。以上参数选择会对算法结果产生较大影响,但对验证算法的有效性不会产生结论性改变。

3.1 吞吐量比较

吞吐量是指单位时间内成功传送数据的数量,体现了对带宽的利用能力。图2、图3比较了在发生垂直切换的整个过程中三种算法的吞吐量。

由图2可以看出,向上切换后三种算法下的 TCP 连接吞吐量并没有明显的差异。这是因为 B-EVegas 算法使拥塞窗口调整到接近 BDP,而 DEMO Vegas, Freeze TCPv2 这两种算法在向上切换后,拥塞窗口都远大于 BDP,此时三种算法的 TCP 连接吞吐量都已经达到链路的饱和值。

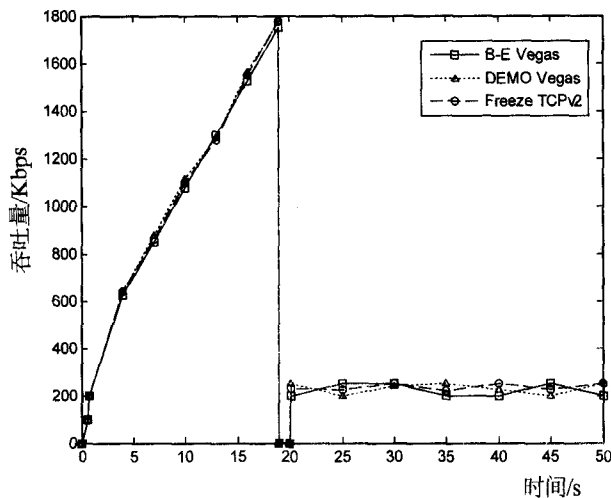


图2 向上切换后吞吐量比较

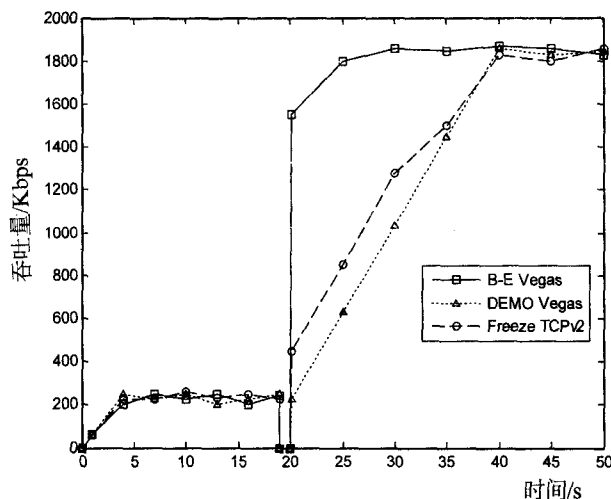


图3 向下切换后吞吐量比较

在图3中,向下切换后 B-EVegas 算法的 TCP 连接吞吐量很快增加到饱和值,显著地提高了带宽的利用率,DEMO Vegas, Freeze TCPv2 这两种算法却用了较长的时间。这是由于 B-EVegas 算法的估算及快速调

整策略使发送端的拥塞窗口很快地调整到了接近 BDP 的值,而其它两种算法只能通过 TCP Vegas 的拥塞避免算法缓慢地增加拥塞窗口。

3.2 传输时延比较

时延是指从 TCP 连接的发送端发出报文到收到相应 ACK 的时间。图4、图5比较了在发生垂直切换的整个过程中三种算法的数据包时延。

在图4中,DEMO Vegas 与 Freeze TCPv2 算法在向上切换后数据包的时延突然增加,并且下降速度非常缓慢。这是由于向上切换后拥塞窗口都远大于 BDP,大量的数据包堆积在链路各节点的缓存中,这使得数据包的时延大大增加,并且有数据包溢出,产生丢包的危险。运用 B-EVegas 算法向上切换后数据包的时延要远小于 DEMO Vegas, Freeze TCPv2 算法。

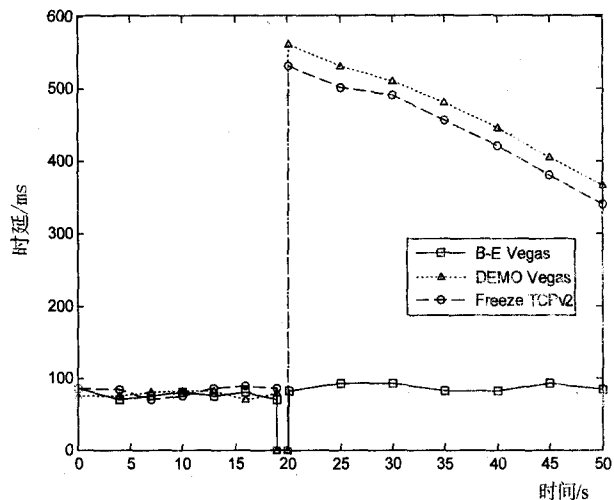


图4 向上切换后数据包时延比较

在图5中,向下切换后3种算法下的数据包传输时延并没有明显区别。由低速网络切换到高速网络中后,DEMO Vegas, Freeze TCPv2 两种算法的拥塞窗口过小,而 B-EVegas 算法的拥塞窗口是接近 BDP,三种算法都没有使网络产生拥塞。

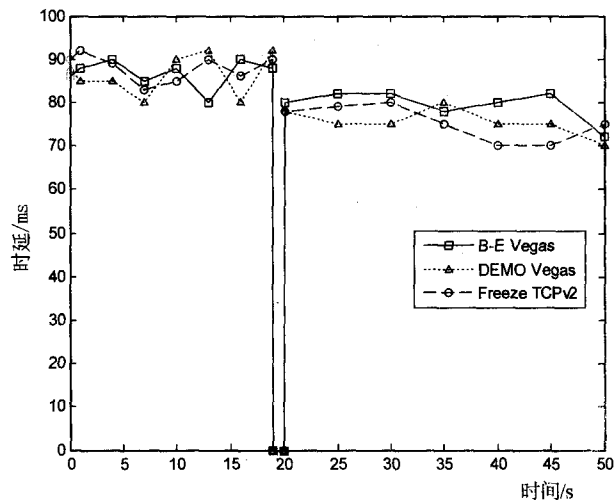


图5 向下切换后数据包时延比较

4 结束语

文中提出在 TCP Vegas 基础上改进的 B_Evegas 算法,有效地提高了垂直切换发生后 TCP 连接的传输性能。仿真结果表明,改进后的算法与 DEMO-Vegas、Freeze TCPv2 相比在向上切换时吞吐量相当,减小了传输时延,向下切换时,传输时延相当,提高了吞吐量。文中提出的 B_Evegas 算法的不足之处在于,传输层需要数据链路层提供切换通知,这破坏了网络协议各层的独立性,另外当网络环境复杂时快速恢复算法可能会使拥塞窗口的大小产生较大的抖动,这是下一步研究要解决的问题。

参考文献:

- [1] 谢慧婷,孙力娟,肖 甫,等. 卫星网络控制系统体系结构研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(10):207-210.
- [2] 孙利民,李 波,周新运. 无线传感器网络的拥塞控制技术[J]. 计算机研究与发展,2008,45(1):63-72.
- [3] 沈 奔,秦 军,万 丽. 无线 Ad Hoc 网络中 AODV 路由算法的研究与改进[J]. 计算机技术与发展,2011,21(3):150-153.
- [4] Caserri C, Meo M. A new approach to model the stationary behavior of TCP connections[C]// Proc of Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. [s. l.]: IEEE Computer Society,2000:367-375.

(上接第 87 页)

很大噪声,不能清楚观察到图像边缘;Canny 边缘检测边缘定位能力较好,但是抑噪能力不够,提取出的边缘存在较多的假边缘;文中的算法检测出的边缘定位准确、平滑,边缘细节保持较完整,有较强的抗噪能力,方便并行实现,其效果明显优于前两种检测算法。

4 结束语

由实验结果可以知道,经改进的基于多结构元的数学形态学边缘检测算法处理并进行细化后的图像得到的边缘,其定位准确且较平滑,轮廓清晰,边缘细节保持较完整,比较容易并行实现,而且由于此种边缘检测算法抗噪能力较强,性噪比和单边缘响应之间的矛盾得到较好的处理;文中算法的思想来源于 Canny 边缘检测算法,而算法得到的效果比 Canny 算法得到的效果要好。

参考文献:

- [1] 章毓晋. 图像处理和分析[M]. 北京:清华大学出版社,1999.
- [2] Lee J S J, Haralick R M, Shpiro L G. Morphologic edge detection[J]. IEEE Trans on Robotics Automat, 1987(3):140-

- [5] Brakmo L S, Peterson L L. TCP Vegas: end to end congestion avoidance on a global internet[J]. IEEE J Select Areas in Communications, 1995, 13(10):1465-1480.
- [6] Mo J, La R J, Anantharam V, et al. Analysis and comparison of TCP Reno and Vegas[C]//Proc NFOCOM'99. [s. l.]: [s. n.], 1999:1556-1563.
- [7] Ho Cheng-Yuan, Chan Yi-Cheng, Chen Yaw-Chung. An Efficient Mechanism of TCP-Vegas on Mobile IP Networks [C]//IEEE INFOCOM. [s. l.]: [s. n.], 2005:2776-2780.
- [8] Park M, Lee J, Koo J, et al. Freeze TCPv2: An Enhancement of Freeze TCP for Efficient Handoff in Heterogeneous Networks [C]//Information and Interaction Lecture Notes in Computer Science. [s. l.]: [s. n.], 2009:448-457.
- [9] Goff T, Moronski J, Phatak D, et al. Freeze-TCP: A True End-to-End TCP Enhancement Mechanism for Mobile Environments [C]//Proc of the IEEE INFOCOM. [s. l.]: [s. n.], 2000:1537-1545.
- [10] 顾 明,张 军,苏东林. 大带宽时延网络 TCP Vegas 自适应慢启动算法[J]. 电讯技术,2007,47(2):27-30.
- [11] Vanichpun S, Feng Wuchun. On the transient behavior of TCP Vegas [C]//Proc of the 11th International Conference on Computer Communications and Networks. [s. l.]: IEEE Press, 2002:504-508.
- [12] Brakmo L S, Peterson L L. TCP Vegas Protocols[M]. [s. l.]: IEEE Press, 2002.

156.

- [3] 崔 屹. 图像处理与分析-数学形态学方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [4] Maragos P. Differential morphology and image processing[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1996, 5(6):922-937.
- [5] 王慧锋,战桂礼,罗晓明. 基于数学形态学的边缘检测算法研究及应用[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(9):223-226.
- [6] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Trans on PAMI, 1986, 8(6):679-698.
- [7] 胡媛媛,蔡光程. 基于多结构元多尺度的形态学边缘检测[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(11):97-99.
- [8] 夏 平,刘馨琼,向学军,等. 基于形态学梯度的图像边缘检测算法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(12):107-109.
- [9] 肖 梅,韩崇昭,张 雷. 基于多尺度轮廓结构元素的数学形态学边缘检测[J]. 西安交通大学学报, 2005, 39(6):659-660.
- [10] 史绍强. 一种改进型的汉字字符图像细化算法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(9):88-91.
- [11] 王 娜,杜世培. 基于数学形态学的细化算法[J]. 贵州工业大学学报(自然科学版), 2007, 36(2):60-64.
- [12] 王晓丹,吴崇明. 基于 MATLAB 的系统分析与设计-图像处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2000.