دانشگاه یزد

دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی کامپیوتر

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی فناوری اطلاعات، گرایش شبکه‌های کامپیوتری

پیاده‌سازی یک روش کنترل ازدحام بهبود یافته در لایه انتقال با استفاده از کنترل بازخورد

استاد راهنما: دکتر کیارش میزانیان

استاد مشاور: دکتر قاسم میرجلیلی

پژوهش و نگارش: پویا خوشخو

اسفند ماه ۱۳۹۲

کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه / رساله متعلق به دانشگاه یزد است و هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی از این پایان‌نامه / رساله برای تولید دانش فنی، ثبت اختراع، ثبت اثر بدیع هنری، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس و ارائه مقاله در سمینارها و مجلات علمی از این پایان‌نامه / رساله منوط به موافقت کتبی دانشگاه یزد است.

تقدیم با بوسه بر دستان پدرم

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی سخاوت، سکوت، مهربانی و

پدرم راه تمام زندگیست

پدرم دلخوشی همیشگیست

تقدیم به مادر عزیزتر از جانم

مادرم هستی من ز هستی توست تا هستم و هستی دارمت دوست

گلسار جاودانی مادر است

چشم سار مهربانی مادر است

چکیده

امروزه استفاده از پشته‌ی پروتکلی TCP/IP در شبکه‌های رایانه‌ایی به دلیل سهولت کاربرد و صرفه‌ی اقتصادی بالا، بسیار فراگیر و محبوب شده است. تحقیقات انجام شده بر روی جریان‌های اطلاعاتی نشان می‌دهد که، ٪۹۹.۹۱ از داده‌ها به کمک پروتکل اترنت و IP منتقل می‌شوند. از سوی دیگر شبکه‌های مراکز داده، میزبان طیف گسترده‌ای از کاربردها هستند. انتقال اطلاعات کوچک با تاخیرهای کوتاه و قابل پیش‌بینی؛ و بهره‌وری بالا در امر انتقال اطلاعات با حجم بالا از پارامترهای اساسی در محاسبه‌ی گذردهی این نوع از شبکه‌ها به حساب می‌آیند. این در حالی است که نتایج تحقیقات نشان داده؛ استفاده از پروتکل‌های TCP در مراکز داده افت شدید گذردهی در گلوگاه را به همراه دارند.

در همین راستا راه‌کارهای نوین کنترل ازدحام در مراکز داده مبتنی بر اعلان صریح ازدحام پیاده‌سازی شده است و هم اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله‌ی مهمترین راه‌کارها می‌توان به پروتکل‌های DCTCP، DT-DCTCP، D^2TCP و معماری HULL اشاره کرد.

با توجه به اهمیت بالای موضوع کنترل ازدحام در مراکز داده، در این پژوهش، به این موضوع پرداخته شده است. یکی از فاکتورهای اساسی در ارزیابی روش کنترل ازدحام در مراکز داده، کاهش تاخیر انتها به انتها است. بیشترین سهم از میزان تاخیر انتها به انتها، به تاخیر صف در سوئیچ‌های شبکه تعلق می‌گیرد. هدف نهایی از این پژوهش نیز بر روی کاهش میانگین طول صف گلوگاه استوار خواهد بود و در کنار این مهم، حفظ گذردهی شبکه نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. کارایی الگوریتم DCTCP و همچنین روش پیشنهادی به کمک تحلیل ریاضی و همچنین شبیه‌سازی در نرم‌افزار NS2 بررسی شده است. نهایتا نتایج حاصل از تحلیل ریاضی و شبیه‌سازی برتری روش پیشنهاد شده را نسبت به پروتکل DCTCP نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: مراکز داده، اعلان صریح ازدحام، کنترل ازدحام، پردازش ابری، DCTCP، مدیریت پویای صف، سوئیچ

فهرست مطالب

۱ مقدمه ۱

۱-۱ پیشگفتار ۲

۱-۲ کنترل ازدحام و مراکز داده ۲

۱-۳ کارهای انجام شده ۳

۱-۴ اهداف و نتایج حاصل از این پایان‌نامه ۵

۱-۵ ساختار پایان‌نامه ۶

۲ مفاهیم پایه ۷

۲-۱ مقدمه ۸

۲-۲ کنترل ازدحام در شبکه‌های رایانه‌ای ۱۰

۲-۲-۱ باورهای اشتباه در مورد کنترل ازدحام ۱۱

۲-۳ همگام‌سازی پنجره ارسال و دریافت ۱۳

۲-۴ تشدید ازدحام ۱۴

۲-۵ اهداف و معیارهای ارزیابی روش کنترل ازدحام ۱۴

۲-۶ دسته‌بندی الگوریتم‌های کنترل ازدحام ۱۶

۲-۶-۱ رویکردهای مقابله با ازدحام و کنترل منابع ۱۸

۲-۶-۲ راه‌کارهای کنترل منابع مبتنی بر کاهش تقاضا ۱۹

۲-۶-۳ جایگاه کنترل منابع ۲۰

۳ مروری بر پروتکل‌های کنترل ازدحام ۲۲

۳-۱ پیشگفتار ۲۳

۳-۲ دسته‌بندی روش‌های کنترل ازدحام در لایه انتقال ۲۳

۳-۲-۱ کنترل ازدحام بر پایه مهلت زمانی ۲۳

۲-۲-۳ اجتناب از ازدحام بر پایه اعلان صریح ازدحام ۲۸
۲-۳-۳ اجتناب از ازدحام بر پایه تاخیر ۳۲
۴ مراکز داده ۳۶
۴-۱ پیشگفتار ۳۷
۴-۲ معماری تقسیم و تجمیع ۳۷
۴-۳ جریان‌های داده‌ای در مراکز داده ۳۹
۴-۴ بررسی عوامل اصلی ایجاد اختلال در مراکز داده ۴۲
۴-۴-۱ سوئیچ ۴۲
۴-۴-۲ ازدحام تجمعی لحظه‌ای ۴۲
۴-۴-۳ افزایش طول بافر ۴۳
۴-۴-۴ حافظه تحت فشار ۴۴
۴-۵ معرفی پروتکل‌های کنترل ازدحام در مراکز داده ۴۵
۴-۵-۱ معرفی پروتکل DCTCP ۴۵
۴-۵-۲ معرفی پروتکل Double Threshold DCTCP (DT-DCTCP) ۵۴
۴-۵-۳ معرفی پروتکل Deadline-Aware Datacenter TCP (D^2TCP) ۵۵
۴-۵-۱ معرفی معماری HULL ۵۸
۵ روش کنترل ازدحام پیشنهادی با استفاده از کنترل بازخورد ۶۲
۵-۱ پیشگفتار ۶۳
۵-۲ بحث در مورد نقاط ضعف و فرصت‌های موجود ۶۵
۵-۲-۱ سرعت جستجو ۶۵
۵-۲-۲ حذف صف ۶۶
۵-۳ معرفی روش پیشنهادی ۶۷
۵-۳-۱ پارامترهای توقف فاز پرهیز از ازدحام ۶۷

۵-۳-۲ پارامتر کمکی توقف زودهنگام ۶۸
۵-۳-۳ تحلیل ریاضی پارامتر توقف و پارامتر توقف کمکی ۶۹
۵-۳-۴ اصلاح فاز پرهیز از ازدحام ۷۱
۵-۳-۵ راهکار پیشنهادی به منظور افزایش سرعت جستجو ۷۴
۵-۳-۶ مقایسه فاز پرهیز ازدحام اصلاح شده و فاز کشف ظرفیت آزاد ۷۶
۵-۴ شبیه‌سازی و ارزیابی ۷۷
۵-۴-۱ تغییرات اعمال شده در نرم‌افزار NS2 ..... ۷۷
۵-۴-۲ نحوه پیاده‌سازی الگوریتم پرهیز از ازدحام ۷۷
۵-۴-۳ نحوه پیاده‌سازی الگوریتم کشف ظرفیت آزاد ۷۸
۵-۴-۴ معیارهای اندازه‌گیری گذردهی ۷۹
۵-۴-۵ آرایش گره‌ها در شبیه‌ساز NS2 ..... ۸۰
۵-۴-۶ مقایسه دامنه نوسانات طول صف ۸۱
۵-۴-۷ ارزیابی روش پیشنهادی از لحاظ پیچیدگی پردازشی در سرویس‌دهنده ۸۷
۵-۴-۸ ارزیابی روش پیشنهادی از لحاظ پیچیدگی پیاده‌سازی ۸۷
۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۸
۶-۱ نتیجه‌گیری ۸۹
۶-۲ پیشنهادات ۹۰
۷ فهرست اختصارات ۹۲
۸ فهرست مراجع ۹۳

فهرست اشکال

شکل ۲-۱: مقایسه‌ی گذردهی شبکه با/بدون روش کنترل ازدحام ۱۱

شکل ۲-۲: تاثیر پیوندهای ناهمگن بر ازدحام در شبکه ۱۲

شکل ۲-۳: ازدحام در شبکه‌های همگن ۱۲

شکل ۲-۴: روش پنجره لغزان ۱۳

شکل ۲-۵: رویکردهای مقابله با ازدحام ۱۸

شکل ۳-۱: روش آغاز آهسته و فاز پرهیز از ازدحام ۲۵

شکل ۳-۲: افزایش نمای Packet Loss در صورت افزایش سربار مسیریاب ۲۵

شکل ۳-۳: روش رشد و حرکت پنجره لغزان در TCP Reno ۲۶

شکل ۳-۴: نمایش فازهای آغاز آهسته و پرهیز از ازدحام در پروتکل Reno ۲۷

شکل ۳-۵: فاز بازیابی سریع در TCP Reno ۲۷

شکل ۳-۶: روش رشد و حرکت پنجره لغزان در TCP NewReno ۲۸

شکل ۳-۷: نمایش فازهای آغاز آهسته و پرهیز از ازدحام در TCP DUAL ۳۳

شکل ۴-۱: ساختار معماری تقسیم و تجمیع ۳۸

شکل ۴-۲: تابع توزیع احتمال اندازه جریان‌ها و تعلق بایت‌ها به جریان خاص ۴۰

شکل ۴-۳: ساختار توزیع شده داده و پردازش در مراکز داده در مقابل ساختار سنتی ۴۱

شکل ۴-۴: نمای کلی مشکلات در سوئیچ ۴۳

شکل ۴-۵: مقایسه روش صف RED و روش صف DCTCP ۴۷

شکل ۴-۶: ماشین حالت ارسال بسته‌های Delayed Ack در سمت گیرنده DCTCP ۴۸

شکل ۴-۷: محاسبه میزان نوسانات طول صف در سوئیچ ۵۱

شکل ۴-۸: مقایسه حاصل از مقایسه تحلیل ریاضی و شبیه‌سازی DCTCP [۱] ۵۴

شکل ۴-۹: روش علامت‌گذاری بسته‌ها در DCTCP و DT-DCTCP ۵۴

شکل ۴-۱۰: مقایسه الگوریتم کنترل ازدحام در دو حالت آگاه/ ناآگاه از ضرب‌الاجل، جریان‌های ناهمگام ۵۵
شکل ۴-۱۱: مقایسه الگوریتم کنترل ازدحام در دو حالت آگاه و ناآگاه از ضرب‌الاجل، جریان‌های همگام ۵۶
شکل ۴-۱۲: اصلاح گاما بر روی پارامتر α ۵۷
شکل ۴-۱۳: نمای کلی اجزاء معماری HULL ۵۹
شکل ۴-۱۴: ساختار و نحوه‌ی قرارگیری صف شبح و یکسان‌ساز بسته‌ها در مراکز داده ۶۱
شکل ۵-۱: فاز پرهیز از ازدحام در TCP Standard ۶۵
شکل ۵-۲: نوسانات طول صف در سوئیچ با توجه به پارامتر PCA و EPCA ۶۹
شکل ۵-۳: مقایسه روند رشد پنجره ارسال در فاز پرهیز از ازدحام با روش پیشنهادی ۷۳
شکل ۵-۴: فاز کشف ظرفیت آزاد ۷۶
شکل ۵-۵: آرایش گره‌ها در شبیه‌ساز NS2 ..... ۸۰
شکل ۵-۶: مقایسه طول صف DCTCP و روش پیشنهادی با پارامتر PCA برای N=10 ..... ۸۱
شکل ۵-۷: مقایسه طول صف DCTCP و روش پیشنهادی با پارامتر PCA برای N=40 ..... ۸۲
شکل ۵-۸: مقایسه طول صف DCTCP و روش پیشنهادی با پارامتر EPCA برای N=10 ..... ۸۲
شکل ۵-۹: مقایسه طول صف DCTCP و روش پیشنهادی با پارامتر EPCA برای N=40 ..... ۸۳
شکل ۵-۱۰: مقایسه طول صف DCTCP و روش پیشنهادی با پارامترهای PCA، EPCA برای N=10 ..... ۸۴
شکل ۵-۱۱: مقایسه طول صف DCTCP و روش پیشنهادی با پارامترهای PCA، EPCA برای N=40 ..... ۸۴
شکل ۵-۱۲: مقایسه طول صف DCTCP و روش پیشنهادی با پارامترهای PCA، IBD EPCA برای N=10 و N=5 ..... ۸۵
شکل ۵-۱۳: مقایسه گذردهی کانال برای DCTCP و روش پیشنهادی ۸۵

شکل ۵-۱۴: مقایسه DCTCP و روش پیشنهادی با پارامترهای PCA، EPCA برای N=40 وN=20
۸۶
شکل ۵-۱۵: مقایسه گذردهی کانال برای DCTCP و روش پیشنهادی ۸۶

فهرست جداول

جدول ۵-۱: مقایسه روابط حداکثر طول صف و پارامتر α در روش پیشنهادی و DCTCP ۷۱

جدول ۵-۲: مقایسه پیچیدگی پیاده‌سازی روش پیشنهادی با کارهای گذشته ۸۷

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ پیشگفتار

امروزه مراکز داده[۱] بزرگترین مراجع ذخیره‌سازی و پردازش اطلاعات در دنیای اینترنت و شبکه به شمار می‌روند. بسیاری از نیازهای روزمره، (مانند: موتورهای جستجو، شبکه‌های مجازی، بانکداری الکترونیک و به طور کلی صدها خدمت دیگر در زمینه‌ی فناوری اطلاعات) که به سادگی در اختیار کاربران قرار دارند، بدون حضور مراکز داده نمی‌توانند به فعالیت خود ادامه دهند [۱].

به دلیل نقش کلیدی و بسیار ارزشمند مراکز داده، در یک دهه گذشته تلاش‌های فراوانی در راستای بهبود و توسعه ارکان مختلف مراکز داده صورت گرفته و همچنان با شتاب فزاینده‌ای روبه جلو خواهد بود.

زمینه‌های تحقیقاتی در مراکز داده طیف بسیار وسیعی را شامل می‌شوند، که این خود باعث افزایش جذابیت و کشش در این زمینه‌ی تحقیقاتی شده است. از جمله می‌توان به بهبود سخت‌افزار، برنامه‌های کاربردی، پروتکل‌های شبکه، ساختار مراکز داده و دهها زمینه‌ی تحقیقاتی دیگر در این زمینه اشاره کرد [۲].

در این راستا در پایان‌نامه پیش‌رو روش‌های کنترل ازدحام در لایه‌ی انتقال شبکه‌های مراکز داده بررسی می‌گردد. نهایتا با توجه به کارهای پیشین، یک روش بهبود یافته پرهیز از ازدحام در کنترل ازدحام را معرفی خواهیم کرد.

۱-۲ کنترل ازدحام و مراکز داده

در این نوشتار به اختصار تاریخچه و روند تکاملی روش‌های کنترل ازدحام[۲] بررسی خواهد شد، سعی بر این است، که خواننده در وهله‌ی نخست با مفهوم کنترل ازدحام و لزوم استفاده از این روش آشنا شود. در وهله‌ی دوم با روش‌های کنترل ازدحام و روند تکاملی آنها آشنا خواهد شد.

[۱] Data Centers

[۲] Congestion Control

روش‌های کنترل ازدحام در سه دسته اصلی تقسیم شده است و دسته‌ها یک به یک بررسی می‌گردد و به تشریح چند روش نمونه خواهیم پرداخت.

در نهایت با ساختار برنامه‌های کاربردی توزیع شده در مراکز داده آشنا شده و معماری تقسیم و تجمیع[۳] در این نوع از شبکه‌ها بررسی خواهد شد [۱]. مشکلات و موانع موجود و همچنین روش‌های مقابله با مشکلات بررسی شده است.

۱-۳ کارهای انجام شده

ارائه روش‌های نوین مقابله با ازدحام و کنترل مناسب و دقیق منابع مشترک به عنوان یکی از موثرترین راه کارها در جهت کاهش مشکلات و افزایش گذردهی[۴] مطرح شده‌اند [۱ و۳ و ۴]. نظر به اهمیت بالای موضوع روش‌های کنترل ازدحام بالاخص در مراکز داده، تحقیقات گسترده‌ای در جهت بهبود و گسترش فناوری‌های نوین به منظور پاسخگویی به نیازهای جدید در جریان است. علیزاده در مقاله [۵] نشان دادند که روش‌های کنترل ازدحام سنتی[۵] (Standard TCP) در مراکز داده باعث افت شدید گذردهی، ایجاد نوسانات شدید تاخیر[۶] و بروز ناپایداری و از دست رفتن بسته[۷] در این نوع از شبکه‌ها می‌شود.

بهبود عملکرد روش‌های کنترل ازدحام در مراکز داده به دلیل حساسیت بالای پاسخگویی به کاربران و لزوم حفظ گذردهی بالا و همچنین ارائه خدمات پیش از اتمام ضرب‌الاجل[۸] از اهمیت بسزایی برخوردار است. در همین راستا استفاده از شیوه‌های جدید در بهبود روش‌های کنترل ازدحام بسیار حیاتی است. در مقاله‌های [۱ و ۶ و ۷ و ۸] به منظور بهبود روش کنترل ازدحام از تکنیک

---

[۳] Partition/Aggregate

[۴] Throughput

[۵] روش‌های کنترل ازدحام که به طور معمول در شبکه اینترنت و شبکه‌های محلی استفاده می‌شوند.

[۶] High Jitter

[۷] Packet Loss

[۸] Deadline Aware Service

اعلان صریح ازدحام استفاده شده است. از نمونه تکنیک‌های سخت‌افزاری می‌توان به صف شبح[۹] و یا یکسان‌ساز نرخ بسته[۱۰] [۹] اشاره کرد.

روش‌های کنترل ازدحام در لایه‌ی پیوند داده و لایه‌ی فیزیکی پیاده‌سازی شده است. از جمله می‌توان به استاندارد IEEE 802.1Qau یا روش کنترل ازدحام چندسطحی[۱۱] اشاره کرد [۱۰].

دسته‌ی دیگر از روش‌های کنترل ازدحام در لایه‌ی انتقال قرار می‌گیرند و به کمک بازخورد دریافتی از شبکه نرخ ارسال خود را کنترل و با آگاهی نسبی از وضعیت و میزان بارکاری شبکه از ازدحام جلوگیری خواهند کرد. به عنوان نمونه می‌توان به پروتکل‌های DCTCP و یا DT-DCTCP اشاره کرد [۱ و ۷]. گروه دیگری از روش‌های کنترل ازدحام یک قدم دیگر روبه‌جلو می‌روند و به منظور افزایش گذردهی موثر گلوگاه، منابع را به تناسب نیاز هر جریان و با هدف افزایش گذردهی کل شبکه تخصیص خواهند داد. البته این دسته از الگوریتم‌ها به دلیل پیچیدگی بالا در پیاده‌سازی و نبود روش‌های عملیاتی در تجهیزات شبکه تا لحظه نگارش این نوشتار پیاده‌سازی نشده‌اند. از آن جمله می‌توان به D^2TCP، D^3 و یا PDQ اشاره کرد [۳ و ۴].

دسته‌ی دیگری از روش‌های کنترل ازدحام در لایه‌ی کاربرد[۱۲] قرار می‌گیرند. به دلیل عدم اطلاع لایه‌ی کاربرد از وضعیت ازدحام در شبکه نمی‌توانند مشکلات را به صورت ریشه‌ای حل کنند. به عنوان نمونه افزودن تاخیرهای تصادفی به جریان‌ها احتمال همگام شدن جریان‌ها را کاهش می‌دهد، که در کاهش ازدحام موثر است. فیسبوک به صورت اختصاصی برای انتقال اطلاعات از پروتکل UDP بهره گرفته و روش‌های کنترل ازدحام را در لایه کاربرد پیاده‌سازی کرده است [۱۱].

---

[۹] Phantom Queue

[۱۰] Packet Pacer

[۱۱] Quantized Congestion Notification

[۱۲] Application layer in TCP/IP Stack Protocol

۱-۴ اهداف و نتایج حاصل از این پایان‌نامه

با توجه به اهمیت بحث کنترل ازدحام و گذردهی در شبکه‌های مراکز داده، در این پایان‌نامه روش کنترل اندازه پنجره ارسال در فاز پرهیز از ازدحام پروتکل DCTCP اصلاح شده است.

با توجه به قابلیت‌ها و ظرفیت بالای روش اعلان صریح ازدحام در بهبود عملکرد روش‌های کنترل ازدحام، فاز پرهیز از ازدحام در پرتکل DCTCP اصلاح شد. هدف از اصلاح این فاز، کاهش میانگین طول صف و همچنین کاهش دامنه نوسانات طول صف در گلوگاه است. همچنین فاز جدید کشف ظرفیت آزاد به منظور دسترسی بهینه به منابع شبکه در هنگام افت ناگهانی گذردهی شبکه پیشنهاد شد. گذردهی گلوگاه، می‌تواند به دلیل اتمام گروهی از جریان‌های پرس و جو[۱۳]، و یا اتمام جریان‌های پس‌زمینه[۱۴] کاهش می‌یابد.

در این روش با توجه به بازخورد دریافتی از تجهیزات شبکه، میزان ازدحام در شبکه تخمین زده می‌شود، و با استفاده از این پارامتر نرخ ارسال داده کنترل می‌شود. آخرین اندازه پنجره ارسال در حالتی که شبکه دچار ازدحام نیست ثبت می‌شود، که در فاز پرهیز از ازدحام اصلاح شده (در روش پیشنهادی) استفاده می‌شود. ضمنا از این پارامتر برای تشخیص آزاد شدن منابع در کانال استفاده شده، که به کمک آن عامل TCP در روش پیشنهادی وارد فاز کشف ظرفیت آزاد خواهد شد. روش پیشنهادی در محیط شبیه‌ساز NS2 تحلیل و پیاده‌سازی شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که، دامنه نوسانات و میانگین طول صف در گلوگاه نسبت به الگوریتم مرجع DCTCP، کاهش یافت.

[۱۳] Query Traffic

[۱۴] Background Traffic

۱-۵ ساختار پایان‌نامه

در فصل دوم به مفهوم و لزوم استفاده از روش‌های کنترل ازدحام خواهیم پرداخت. در فصل سوم الگوریتم‌های کنترل ازدحام دسته‌بندی شده و برای هر دسته تعدادی از روش‌ها بررسی خواهد شد. در فصل چهارم بر روی مراکز داده تمرکز خواهیم کرد و مشکلات و نقاط ضعف در مراکز داده بررسی می‌شود. در ادامه فصل پروتکل‌های کنترل ازدحام در این نوع از شبکه‌ها تشریح می‌گردد. در فصل پنجم ایده‌ی پیشنهادی بیان می‌شود. تحلیل ریاضی روش پیشنهادی مطرح شد و در شبیه‌ساز NS2 پیاده‌سازی گردید. سپس نتایج حاصل از تحلیل ریاضی و شبیه‌سازی با پروتکل DCTCP مقایسه شد. در فصل آخر پایان‌نامه جمع‌بندی شد و پیشنهاداتی در جهت فعالیت‌های آینده مطرح گردید.

فصل دوم:
مفاهیم پایه

۲-۱ مقدمه

برای سال‌های متمادی کنترل ازدحام یکی از مباحث و مسائل دشوار در شبکه‌های رایانه‌ای بوده، و در همین راستا تلاش‌های فراوانی به منظور بهبود و جلوگیری از ازدحام صورت گرفته است. متناسب با گسترش و افزایش کاربران شبکه و گستردگی کاربردها مسائل جدیدی در این حوزه مطرح گردیده است.

برنامه‌های کاربردی به منظور انتقال امن اطلاعات از TCP[۱۵] استفاده می‌کنند [۱]. یکی از قابلیت‌های کلیدی در TCP امکان ایجاد تونل مجازی دوطرفه[۱۶] به منظور انتقال مطمئن اطلاعات بین دو میزبان در شبکه است. نکته جالب اینکه TCP بر پایه‌ی IP پیاده‌سازی شده است و IP سرویس بهترین تلاش[۱۷] را ارائه کرده و تضمینی برای انتقال اطلاعات نخواهد داد.

TCP استاندارد، روش‌های کنترل جریان[۱۸] و کنترل ازدحام را با بهره‌گیری از روش پنجره لغزان[۱۹] پیاده‌سازی می‌نماید. کنترل جریان داده یکی از مهمترین بخش‌های TCP است، که در ادامه به شرح مسئولیت‌های این بخش می‌پردازیم.

۱. TCP قبل از ارسال داده، آن را بافر کرده و به هر بایت بافر شده یک شماره ترتیب[۲۰] یکتا اختصاص خواهد داد. سپس بلوک‌های[۲۱] از داده را در یک بسته[۲۲] قرار می‌دهد و شماره ترتیب اولین و آخرین بایت موجود در بلوک را نیز در سرآیند[۲۳] بسته اضافه می‌نماید.

---

[۱۵] Transmission Control Protocol
[۱۶] Full-Duplex
[۱۷] Best-effort
[۱۸] Flow Control
[۱۹] Sliding Window
[۲۰] Sequence number
[۲۱] Block
[۲۲] Packet
[۲۳] Header