بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل

طراحی یک کنترلگر مد لغزشی تطبیقی برای کنترل ازدحام شبکه با سرویس های تفکیک شده در مقیاس بزرگ به همراه عدم قطعیت غیرخطی

حسین شکوهی نژاد

استاد راهنما:

دکتر وحید جوهری مجد

استاد مشاور:

دکتر محمد تقی حمیدی بهشتی

زمستان ۱۳۹۰

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای حسین شکوهی نژاد پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان طراحی یك كنترلگر مدلغزشی تطبیقی برای کنترل ازدحام شبکه با سرویس های تفکیك شده در مقیاس وسیع به همراه عدم قطعیت غیر خطی در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۵ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد کنترل پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر وحید جوهری مجد	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر کامران اکبری مورنانی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر علی اکبر جلالی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر کامران اکبری مورنانی	استادیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تائید است
امضای استاد راهنما:
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
دانشگاه تربیت مدرس

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته **مهندسی برق کنترل** است که در سال **۱۳۹۰** در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای **دکتر وحید جوهری مجد** و مشاوره جناب آقای **دکتر محمد تقی حمیدی بهشتی** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **حسین شکوهی نژاد** دانشجوی رشته مهندسی برق کنترل مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

حسین شکوهی نژاد

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸٤/٤/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

حسین شکوهی نژاد

تقدیم به

پدر و مادر دلسوز و همسر مهربانم

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که با فضل بی پایانش، توفیق دیگری نصیبم کرد تا بتوانم این پایان نامه را به نتایج مورد نظر برسانم. تشکر ویژه دارم از زحمات بی دریغ استاد ارجمند جناب آقای دکتر وحید جوهری مجد که در تحقیق و آماده سازی این پایان نامه همواره مرا راهنمایی نمودند. همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر بهشتی که از نظرات ارزنده و مفید ایشان استفاده نمودم، کمال قدردانی را دارم.
از پدر و مادر مهربانم که همواره مرا در زندگی و تحصیل یاری نمودند، تشکر می‌کنم و در پایان از همسرم که با صبوری و شوق در تکمیل این پایان نامه مرا یاری نمود، قدردانی می‌کنم.

حسین شکوهی نژاد
۱۳۹۰

چکیده

در این تحقیق پس از طرح مسئله کنترل ازدحام در شبکه‌های کامپیوتری، موضوع کنترل ازدحام شبکه‌های TCP/IP با سرویس‌های تفکیک شده مورد بررسی قرار گرفته شده است. برای سرویس ممتاز استراتژی کنترل به کنترل پهنای باند (ظرفیت لینک) ختم می‌شود ولی در سرویس‌های معمولی و بهترین تلاش علاوه بر کنترل پهنای باند، ازدحام ورودی به هرگره نیز کنترل می‌شود. برای غلبه بر نایقینی‌های مدل و همچنین تخمین ازدحام وارد شده به هر گره، تکنیک کنترل پهنای باند در هر مسیریاب مبتنی بر مد لغزشی تطبیقی انتخاب می گردد. برخلاف روش‌های موجود که هیچ راهکاری برای طراحی پارامترهای کنترل کننده ی پهنای باند ارائه نشده است، در روش پیشنهادی این پارامترها توسط نامساوی‌های ماتریسی خطی (LMI) طوری طراحی می‌شوند که دینامیک خطای کل شبکه پایدار باشد. در نهایت برای کنترل ازدحام وارد شده به هر گره در سرویس‌های معمولی و بهترین تلاش، یک الگوریتم جدید مبتنی بر نشانه دار کردن بسته‌ها و برگرفته شده از الگوریتم RED ارائه می‌شود.

کلید واژه: کنترل ازدحام، شبکه‌های TCP/IP، سرویس‌های تفکیک شده، کنترل مد لغزشی تطبیقی، نامساوی‌های ماتریسی خطی (LMI).

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست شکل‌ها ..... د

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- تاریخچه ۱

۱-۳- نقد و بررسی شیوه‌های نوین ۳

۱-۴- هدف از انجام تحقیق ۵

۱-۵- نوآوری تحقیق ۵

۱-۶- ساختار گزارش ۵

فصل ۲- شبکه‌های TCP و مسئله ی کنترل ازدحام ۷

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- مروری بر شبکه‌های کامپیوتری ۷

۲-۲-۱- اهداف و مزایای شبکه‌های کامپیوتری ۷

۲-۲-۲- ساختار شبکه‌های کامپیوتری ۸

۲-۲-۳- معماری شبکه ۸

۲-۲-۴- مدل مرجع OSI ۸

۲-۲-۵- مدل TCP ۱۰

۲-۳- کنترل ازدحام در شبکه‌های TCP ۱۲

۲-۳-۱- مفهوم ازدحام ۱۲

۲-۳-۲- الگوریتم‌های دینامیکی در سمت منبع شبکه‌های TCP ۱۳

۲-۳-۲-۱- الگوریتم TCP Tahoe ۱۴

۲-۳-۲-۲- الگوریتم TCP Reno ۱۴

۲-۳-۲-۳- الگوریتم TCP Vegas ۱۵

۲-۳-۳- الگوریتم‌های دینامیکی در سمت مسیریاب شبکه‌های TCP ۱۶

۲-۳-۳-۱- الگوریتم Drop Tail ۱۶

۲-۳-۳-۲- الگوریتم RED ۱۷

۲-۳-۳-۳- مکانیزم ECN ۱۸

۲-۳-۴- روش‌های مهندسی کنترل برای کنترل ازدحام شبکه‌های TCP ۱۸

۲-۳-۴-۱- مدل جریان سیال ۱۹

۲-۳-۴-۲- روش مبتنی بر الگوریتم RED ۲۲

۲-۳-۴-۳- کنترل کننده ی تناسبی ۲۳

۲-۳-۴-۴- کنترل کننده ی تناسبی- انتگرالی ۲۴

۲-۳-۴-۵- کنترل کننده ی مد لغزشی ۲۴
۲-۴- نتیجه گیری ۲۶
فصل ۳- شبکه‌های با سرویس‌های تفکیک شده ۲۷
۳-۱- مقدمه ۲۷
۳-۲- مفهوم کیفیت سرویس ۲۷
۳-۳- سرویس مجتمع و RSVP ۲۹
۳-۴- سرویس‌های تفکیک شده ۳۰
۳-۵- کنترل ازدحام شبکه‌های تفکیک شده ۳۲
۳-۵-۱- الگوریتم RED ۳۲
۳-۵-۲- کنترل کننده ی غیرخطی تطبیقی ۳۳
۳-۵-۲-۱- استراتژی کنترل برای سرویس ممتاز ۳۴
۳-۵-۲-۲- استراتژی کنترل برای سرویس معمولی ۳۶
۳-۵-۲-۳- استراتژی کنترل برای سرویس بهترین تلاش ۳۷
۳-۵-۳- کنترل کننده ی مد لغزشی ۳۷
۳-۵-۴- کنترل مد لغزشی مرتبه دو ۳۸
۳-۵-۵- کنترل کننده ی مد لغزشی مقیاس بزرگ با نگرش کنترل توزیع شده ی گام به گام ۴۰
۳-۶- کنترل کننده ی غیرخطی تطبیقی برای شبکه‌های تفکیک شده مقیاس بزرگ ۴۱
۳-۷- نتیجه گیری ۴۲
فصل ۴- طراحی استراتژی کنترل برای کنترل ازدحام شبکه‌های TCP/IP با سرویس‌های تفکیک شده در مقیاس بزرگ ۴۳
۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- پایداری سیستم‌های خطی همراه با تأخیر چندگانه ۴۴
۴-۳- طراحی کنترلگر مد لغزشی تطبیقی برای سرویس ممتاز ۴۷
۴-۳-۱- پیکره بندی کنترلگر ۴۷
۴-۳-۲- اثبات پایداری برای یک گره ۴۹
۴-۳-۳- اثبات پایداری برای شبکه مقیاس بزرگ و بدست آوردن پارامترهای طراحی ۵۰
۴-۴- طراحی استراتژی کنترل برای سرویس معمولی ۵۲
۴-۴-۱- کنترل پهنای باند ۵۲
۴-۴-۲- تنظیم ازدحام ورودی به هر گره ۵۴
۴-۵- طراحی استراتژی کنترل برای سرویس بهترین تلاش ۵۶
۴-۶- نتیجه گیری ۵۷
فصل ۵- شبیه سازی ۵۸
۵-۱- مقدمه ۵۸
۵-۲- توپولوژی زیرشبکه ی مفروضی ۵۸

۵-۳- نتایج شبیه سازی به ازای مرجع ثابت ۶۰
۵-۴- نتایج شبیه سازی برای مرجع متغیر با زمان ۶۳
۵-۵- نتیجه گیری ۶۵
فصل ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۶
۶-۱- نتیجه گیری ۶۶
۶-۲- پیشنهادات ۶۶
فهرست مراجع ۶۸
واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۷۱
واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۷۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱ مقایسه لایه‌ها در دو مدل OSI و TCP ۱۰
شکل۲-۲ پاسخ گیرنده به دریافت یک یا چند بسته [۳۹] ۱۱
شکل۲-۳ تأثیر ازدحام بر کارایی شبکه [۳۸] ۱۳
شکل ۲-۴ عملکرد الگوریتم TCP Reno ۱۵
شکل ۲-۵ بلوک دیاگرام مدل کنترل تراکم در TCP Reno [۵] ۲۱
شکل ۲-۶ بلوک دیاگرام خطی شده مدل TCP Reno [۵] ۲۲
شکل ۲-۷ بلوک دیاگرام حلقه بسته [۵] ۲۲
شکل ۲-۸ بلوک دیاگرام کنترل کننده ی مبتنی بر RED [۵] ۲۳
شکل ۲-۹ بلوک دیاگرام خطی شده متغیر با زمان مدل TCP Reno [۱۳] ۲۴
شکل ۳-۱ عملیات سیگنالینگ RSVP ۲۹
شکل ۳-۲ الگوریتم RED برای سرویس‌های تفکیک شده[۴۱] ۳۲
شکل ۳-۳ ساختار کلی کنترلی شبکه‌های تفکیک شده [۲۵] ۳۴
شکل ۳-۴ طول صف سرویس ممتاز با کنترل کننده‌های مد لغزشی مرتبه دو متفاوت[۲۹] ۳۹
شکل ۳-۵ نگرش گام به گام (a) و نگرش انتها به انتها (b) [۳۰] ۴۰
شکل۴-۱ استراتژی کنترل برای یک گره از شبکه ی TCP/IP با سرویس تفکیک شده ۴۴
شکل۴-۲ کنترل نرخ جریان ازدحام ورودی به گره در شبکه‌های TCP/IP با روش ECN [۵] ۵۵
شکل ۴-۳ الگوریتم نشانه دار شدن بسته‌ها در سرویس معمولی ۵۶
شکل ۵-۱ توپولوژی شبکه با چهار گره ۵۸
شکل ۵-۲ طول صف هر گره برای مرجع ثابت در سرویس ممتاز ۶۰
شکل ۵-۳ طول صف هر گره برای مرجع ثابت در سرویس معمولی ۶۱
شکل ۵-۴ طول صف هر گره برای مرجع ثابت در سرویس بهترین تلاش ۶۱
شکل ۵-۵ خطای تخمین در گره ی اول ۶۲
شکل ۵-۶ ظرفیت بکار گرفته نشده در گره اول ۶۲
شکل ۵-۷ طول صف به ازای مرجع متغیر با زمان برای سرویس ممتاز ۶۳
شکل ۵-۸ طول صف به ازای مرجع متغیر با زمان برای سرویس معمولی ۶۴
شکل ۵-۹ طول صف به ازای مرجع متغیر با زمان برای سرویس بهترین تلاش ۶۴

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

با توجه به اهمیت روز افزون استفاده از اینترنت و تقاضا برای سرویس‌های حساس به زمان مانند صدا و تصویر نیاز به طراحی و استفاده از الگوریتم‌های کنترلی مناسب برای کنترل ازدحام[1] شبکه امری ضروری به نظر می‌رسد. ازدحام در یک شبکه هنگامی رخ می‌دهد که بسته‌ها با سرعتی بالاتر از آنچه بتوان انها را انتقال داد به درگاه خروجی وارد شوند. وقتی شبکه دچار ازدحام می‌شود، بسته هایی از بین می‌روند، پهنای باند تلف می‌شود، تأخیرهای نامعقول پدید می‌آید و به طور کلی کارایی شبکه کاهش می‌یابد.

از آنجا که همواره منابع سخت افزاری محدود هستند, افزایش پهنای باند و یا ظرفیت حافظه مسیریاب‌ها در هنگام وقوع ازدحام جوابگو نمی‌باشند. یکی از مکانیزم‌های مهم تأمین کیفیت سرویس و جلوگیری از وقوع ازدحام در شبکه‌های کامپیوتری استفاده از مکانیزم سرویس‌های تفکیک شده[2] با مدیریت فعال صف[3] می‌باشد.

۱-۲- تاریخچه

ایده ی الگوریتم‌های دینامیکی برای کنترل ترافیک شبکه‌های کامپیوتری اولین بار در سال ۱۹۸۸ در [۱] مطرح شد و به الگوریتم TCP Tahoe معروف می‌باشد. در سال‌های بعد برای بهبود این الگوریتم، الگوریتم‌های متفاوتی مانند TCP Reno و TCP Vegas [۲] ارائه گردید . این الگوریتم‌ها در سمت منابع TCP اعمال می‌شود و در کاهش وقوع ازدحام در این شبکه‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند. با توجه به مشکلات و کاستی هایی که الگوریتم‌های در سمت منابع داشتند، الگوریتم هایی برای کنترل ازدحام در سمت مسیریاب[4]ها پیاده سازی شد. این الگوریتم‌ها اساساً متکی به سنجش ازدحام از طریق اندازه گیری طول صف در مسیریاب‌ها هستند و روش هایی که بر این اساس عمل می‌کنند الگوریتم مدیریت فعال صف نامیده می‌شوند. مهمترین و معروف ترین این الگوریتم ها، الگوریتم RED[5] نام دارد که در[۳] ارائه گردید.

ورود مهندسین کنترل در حیطه‌ی کنترل ازدحام شبکه‌های کامپیوتری زمانی بود که مدل‌های متفاوتی در توصیف رفتار شبکه‌های کامپیوتری ارائه گردید. به عنوان مثال در [۴-۹] برای توصیف رفتار

---

[1] Congestion Control
[2] Differentiated Services
[3] Active Queue Management
[4] Router
[5] Random Early Detection

شبکه‌های TCP بر پایه ی مدیریت فعال صف مدل‌هایی ارائه گردید. با توجه مدل‌های معرفی شده، مهندسین کنترل روش‌های متفاوتی را برای کنترل ترافیک شبکه‌های کامپیوتری ارائه دادند که در مقایسه با روش‌های قبلی از مزایای نسبی برخوردارند. در [۱۰ و ۱۱] با ایده ی تئوری فیدبک مقاوم[۱]، کنترل کننده‌ای برای کنترل ترافیک شبکه با وجود عدم قطعیت[۲] در مدل طراحی شده است. همچنین در مقاله ی [۱۲] با روش کنترل پیش بین مبتنی بر مدل (MPC)[۳] کنترل کننده‌ای برای مهار ترافیک شبکه‌های با پروتکل کنترل انتقال (TCP)[۴] طراحی شده است. برای غلبه بر نا یقینی‌ها و همچنین سرعت بالای پاسخ در[۱۳-۱۶] کنترل کننده ی بر مبنای مد لغزشی[۵] برای شبکه‌های TCP ارائه شده است. در [۱۷] با فرض تغییر پارامترهای شبکه TCP بر اساس پروسه ی مارکوف جامپ[۶]، کنترل کننده‌ای برای این شبکه‌ها طراحی شده است. در [۱۸-۲۰] کنترل ازدحام بر اساس تئوری بازی‌ها[۷] برای مدل دینامیکی لینک مورد بررسی قرار گرفته است.

به دلیل مشکلات پیاده سازی و توسعه سرویس‌های مجتمع[۸]، سرویس‌های تفکیک شده برای بالا بردن کیفیت سرویس در شبکه‌های پروتکل اینترنتی (IP)[۹] در سال ۱۹۹۸ پیشنهاد شد. وظیفه اصلی سرویس‌های تفکیک شده استانداردسازی مجموعه ساده‌ای از مکانیزم‌ها برای کار با بسته‌های اطلاعاتی است که دارای اولویت‌های مختلفی هستند. این اولویت‌ها توسط یک فیلد DS[۱۰] در سرآیند[۱۱] IP هر بسته مشخص می‌شوند. ذکر این نکته لازم است که در سرویس‌های تفکیک شده، دسته بندی بسته‌های اطلاعات در لبه‌های شبکه انجام می‌شود تا از پیچیدگی عملکردی در هسته شبکه کاسته شده و مقیاس عملکردی بهتری ارائه دهد.

قبل ار معرفی سرویس‌های تفکیک شده، همه الگوریتم‌های کنترل ازدحام مطرح شده در اینترنت با بسته‌های داده و ازدحام شبکه به صورت یکسان برخورد کرده و اولویت خاصی برای کاربردهای مختلف قائل نمی‌شدند. در صورتی که سرویس‌های تفکیک شده جهت تضمین کیفیت سرویس[۱۲] خود به ویژگی‌های مختلفی نیاز دارند. به عنوان مثال یک فایل داده‌ی اطلاعاتی نیازمند رسیدن تمامی بسته‌های آن به مقصد به صورت صحیح می‌باشد (بدون مطرح بودن تاخیر) و برای بسته‌های یک مکالمه‌ی صوتی مهمترین مسئله رسیدن بسته‌ها با کمترین تاخیر است.

---

[1] Robust Feedback Theorem
[2] Uncertainty
[3] Model Predictive Control
[4] Transmission Control Protocol
[5] Sliding Mode
[6] Markovian Jump
[7] Games Theorem
[8] Integrated Services
[9] Internet Protocol
[10] Differentiated Services Field
[11] Header
[12] Quality Of Service

با افزایش حجم اطلاعات همزمان ارسالی توسط این سرویس‌ها نیاز به معرفی مکانیزم‌های کنترلی برای جلوگیری از ازدحام در این شبکه‌ها احساس شد. به همین خاطر مهندسین با ارائه روش‌های مختلف کنترلی چه در سمت فرستنده‌ها و چه در قسمت مسیریاب‌ها سعی در کنترل بار ازدحامی این سرویس‌ها داشته اند. برای اولین بار در سال ۲۰۰۱ در مقاله ی [۲۱] یک استراتژی کنترلی در مسیریاب شبکه‌های تفکیک شده توسط مهندسین کنترل طراحی شد. در این مقاله فرض شده است که شبکه دارای سه سرویس اطلاعات ممتاز[1]، معمولی[2] و بهترین تلاش[3] می‌باشد و با توجه به میزان اهمیت هر سرویس، استراتژی متفاوتی برای هر سرویس طراحی شده است. در ادامه ی کارهای کنترلی در این زمینه در [۲۲-۲۴] با استفاده از منطق فازی کنترل کننده بر مبنای الگوریتم RED برای این شبکه‌ها ارائه شد. مقاله‌ی [۲۱] توسط نویسندگان آن در سال ۲۰۰۶ تکمیل شد [۲۵] و تمام کارهای کنترلی که تا کنون برای شبکه‌های تفکیک شده انجام شده است، از ایده ی این مقاله برگرفته شده است. در [۲۶] با در نظر گرفتن عدم قطعیت در مدل، کنترل کننده ی H_∞ برای این شبکه‌ها طراحی شد. همچنین در [۲۷ و ۲۸] بر مبنای کنترل مد لغزشی و با در نظر گرفتن تأخیر در نرخ ارسال اطلاعات، کنترل کننده برای شبکه‌های با سرویس‌های تفکیک شده طراحی شده است. در مقاله‌ی [۲۹] نگارنده به ارائه‌ی کنترل کننده‌ی مد لغزشی مرتبه دو برای این شبکه‌ها پرداخته است تا مشکل پدیده‌ی وزوز[4] به نحو مطلوبی حل شود.

۱-۳- نقد و بررسی شیوه‌های نوین

مدل‌های ارائه شده برای توصیف طول صف و یا طول پنجره شبکه‌های TCP تقریبی هستند. لذا برای طراحی کنترل کننده به منظور کنترل ترافیک این شبکه‌ها بر مبنای مدل، باید عدم قطعیت در مدل نیز درنظر گرفته شود و کنترل کننده باید در برابر این عدم قطعیت‌ها مقاوم باشد. به همین منظور در [۲۷ و ۲۸] از ایده ی کنترل مد لغزشی برای کنترل ترافیک شبه‌های تفکیک شده استفاده شده است ولی نرخ اطلاعات ورودی مستقیماً در معادلات به کار گرفته شده است. این در حالی است که نرخ اطلاعات ورودی در دسترس نمی‌باشد و نیاز به تخمین آن داریم. همچنین کنترل کننده هایی که قبلاً برای کنترل ترافیک شبکه‌های تفکیک شده طراحی می‌شد، تنها به بررسی پایداری در یک گره ختم می‌شد و با توجه به اینکه شبکه‌های کامپیوتری از چندین گره تشکیل شده اند و دینامیک هر گره تحت تأثیر دینامیک دیگر گره‌های موجود در شبکه می‌باشند ، بررسی پایداری کل شبکه با وجود کنترل کننده ها، ضروری به نظر می‌رسد. در [۳۰] برای اولین بار یک مدل برای شبکه‌های تفکیک شده در مقیاس بزرگ ارائه شده در این مقاله با طراحی کنترل کننده بر مبنای مد لغزشی برای یک گره به بررسی پایداری گره پرداخته و

[1] Premium
[2] Ordinary
[3] Best Effort
[4] Chattering

سپس با توجه به مدل مقیاس بزرگ، برای یک شبکه ی خاص با توپولوژی مش[1] و استراتژی گام به گام[2]، پایداری کل شبکه را مورد بررسی قرار داده است دراین مقاله فرض شده است که فاصله ی گره‌ها با هم برابر و در نتیجه تأخیر یکسان می‌باشد. در ادامه ی بررسی پایداری شبکه‌های تفکیک شده در مقیاس بزرگ و در مسیر تکمیل مقاله ی قبل، در [۳۱] پایداری مقیاس بزرگ با هر نوع توپولوژی دلخواه بررسی شده است. در نهایت به عنوان آخرین کاری که در این زمینه انجام شده است در سال ۲۰۱۰ نویسنده برای شبکه‌های سیار به ارائه ی کنترل کننده و تحلیل پایداری مقیاس بزرگ پرداخته شده است در این شبکه‌ها تعداد گره‌های فعال قرار گرفته شده در یک زیرشبکه از شبکه به طور تصادفی تغییرپذیر هستند[۳۲]. از نقاط ضعف مقاله‌های اخیر این است که هیچ راهکار مشخصی برای بدست آوردن پارامترهای طراحی ارائه داده نشده است بلکه فقط به تحلیل پایداری به ازای مقادیر پارامترهای از پیش تعیین شده پرداخته شده است.

از جمله کارهای شاخصی که در ایران در زمینه ی کنترل ترافیک شبکه‌های تفکیک شده انجام شده می‌توان به مراجع [۳۳-۳۷] اشاره کرد. هر یک از این کارها به نوبه ی خود کارهای ارزشمندی به حساب می‌آیند ولی در عین حال کاستی هایی نیز دارند. در [۳۳] نویسنده به ارائه ی یک کنترل کننده ی مقاوم برای یک گره از شبکه پرداخته است. در [۳۶] با نگرش کنترل مد لغزشی به طراحی کنترل کننده پرداخته است و به عنون کار جانبی محدوده ی بهترین مقدار ضریب ورودی کنترل سوئیچینگ را بدست آورده است. در نهایت در [۳۷] نویسنده با نگرش کنترل مقاوم، برای سرویس ممتاز کنترل کننده ی پهنای باند طراحی کرده است و در ادامه برای سرویس معمولی با توجه به مدل TCP Reno، به کنترل کننده ی ازدحام پرداخته است. مشکل بزرگی که در این کار وجود دارد این است که مدل خطی شده ی TCP Reno تنها برای زمانی اعتبار دارد که پارامترهای شبکه ثابت باشند[۵]. این در حالی است که در سرویس معمولی ظرفیت لینک در هر لحظه مقدار متغیری را به خود می‌گیرد و دیگر مدل خطی شده اعتبار ندارد. از دیگر کاستی‌های این کارها عدم بررسی پایداری در مقیاس بزرگ با وجود کنترل کننده ی طراحی شده می‌باشد.

در تمام کارهای انجام شده قبلی برای شبکه‌های با سرویس‌های تفکیک شده تنها برای سرویس‌های ممتاز و معمولی استراتژی کنترل طراحی شده است این در حالی است که بخش عظیمی از اطلاعات در اینترنت در غالب سرویس بهترین تلاش ارسال می‌شوند و طراحی کنترل کننده ی ترافیک برای این سرویس نیز الزامی می‌باشد همچنین در کارهای قبلی راهکار مناسبی برای چگونگی تنظیم ازدحام معمولی وارد شده به گره نشده است.

[1] Mesh Topology
[2] Hop by Hop

۱-۴- هدف از انجام تحقیق

با توجه به اینکه امروزه خدمات بسیار زیادی بر زمینه‌ی شبکه‌های کامپیوتری ارائه می‌گردد، تضمین کیفیت سرویس در شبکه‌های کامپیوتری اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده است. ارائه خدماتی چون انتقال صوت، انتقال فایل، چت، ویدئو کنفرانس، کنترل ربات از راه دور و بسیاری خدمات دیگر هر یک الزامات خاص خود را برای تضمین کیفیت می‌طلبند که در نتیجه طراحان شبکه‌ها را به خود مشغول داشته است. بر اساس این موضوع، طراحی شبکه‌هایی با راندمان بالا و کیفیت تضمین شده برای هر سرویس از بخش‌های جذاب تحقیقاتی در این چند سال تبدیل شده است و پیش‌بینی می‌شود که این روند ادامه داشته باشد.

در ساله‌ای اخیر تلاش‌های فراوانی برای طراحی یک کنترل کننده جامع برای سرویس‌های تفکیک شده به منظور بالابردن کیفیت سرویس انجام پذیرفته است. هر یک از این طرح‌ها گرچه موجب بهبود عملکرد سرویس شده اند اما به نوبه خود دارای ضعف‌هایی نیز بوده اند که اکنون نیز پژوهشگران برآنند تا با ارائه راهکارهای جدید بر این مشکلات فائق آیند.

در این پژوهش سعی بر آن است تا با طراحی یک استراتژی جامع برای سه سرویس ممتاز، معمولی و بهترین تلاش برای هر گره از شبکه‌های TCP/IP با سرویس‌های تفکیک شده، پایداری کل شبکه با توجه به مدل مقیاس بزرگ در حضور تأخیر در ارسال تضمین شود.

۱-۵- نوآوری تحقیق

در این پژوهش برای کنترل پهنای باند از ایده ی کنترل مد لغزشی تطبیقی بهره می‌جوییم که بر خلاف کنترل کننده‌های طراحی شده در[۳۱] بتواند بر نایقینی‌ها و اغتشاشات ناخواسته در شبکه غلبه کند. همچنین بر خلاف کار انجام شده در [۳۰و۳۱] که هیچ راهکاری برای بدست آوردن پارامترهای کنترل کننده ی پهنای باند ارائه نشده است در این پژوهش با استفاده از نامساوی‌های ماتریسی این پارامترها طوری طراحی می‌شوند که دینامیک خطای کل شبکه پایدار باشند. سپس با توجه به اینکه در همه ی کارهای قبلی هیچ روش مشخصی برای تنظیم ازدحام ارائه نشده است در این پژوهش ، احتمال نشانه دار شدن بسته‌ها در مسیریاب برای سرویس‌های معمولی و بهترین تلاش را به نحوی طراحی می‌کنیم که فرستنده نرخ ارسال اطلاعات خود را تنظیم کند.

۱-۶- ساختار گزارش

در این گزارش ابتدا در فصل دو با معرفی شبکه‌های کامپیوتری و پروتکل‌های حاکم بر آن, به بررسی الگوریتم‌ها و اصول کلی حاکم بر کنترل ازدحام در شبکه‌های TCP/IP پرداخته می‌شود. سپس در فصل سه ابتدا به معرفی انواع سرویس‌ها برای رسیدن به کیفیت سرویس مطلوب پرداخته و سپس به بررسی جدیدترین روش‌های مطرح شده برای کنترل ازدحام در شبکه‌های کامپیوتری با سرویس‌های تفکیک شده می‌پردازیم و نقاط ضعف و قوت هر یک از آنها را مورد بررسی قرار خواهیم داد. در فصل چهارم به

ارائه ی یک کنترل کننده‌ی کامل برای کنترل ترافیک شبکه‌های TCP/IP با سرویس‌های تفکیک شده در یک گره می‌پردازیم به طوری که پایداری کل شبکه تضمین شود. در فصل پنجم با ارائه نتایج شبیه سازی نشان می‌دهیم که کنترل کننده ی پیشنهادی به خوبی می‌تواند طول صف این سرویس‌ها را, بر روی مقدار مرجع تنظیم نماید. در فصل پایانی نیز با جمع بندی نتایج این پژوهش اشاره‌ای به فعالیت‌های باز تحقیقاتی در این زمینه خواهیم داشت.

فصل ۲ - شبکه‌های TCP و مسئله ی کنترل ازدحام

۲-۱- مقدمه

قرن حاضر، قرن ارتباطات نام دارد. با پیدایش کامپیوتر و فن آوری‌های ارتباطات، بسیاری از مشکلات زندگی انسان‌ها رفع شده است. شبکه‌های کامپیوتری که از اتصال چندین کامپیوتر در نقاط مختلف بوجود می‌آیند، نقش بسیار مهمی در انتقال اطلاعات و نزدیکی انسان‌ها به یکدیگر داشته اند. با استفاده از امکانات شبکه‌های کامپیوتری و اینترنت، امکان استفاده از سرویس زیادی نظیر: تبادل اطلاعات، ارسال نامه‌های الکترونیکی، انتقال فایل، کنفرانس‌های صوتی و تصویری، آموزش از راه دور، تبادل داده‌های تجاری و غیره فراهم شده است. شبکه‌های کامپیوتری جهت استفاده مشترک از منابع و برقراری ارتباط بین کاربران بوجود می‌آیند. در این فصل ابتدا به ذکر مفاهیم اولیه شبکه‌های کامپیوتری می‌پردازیم و سپس با مطرح کردن مسئله ی ازدحام، کارهای شاخصی که تا به حال در زمینه ی کنترل ازدحام در شبکه‌های کامپیوتری انجام شده است به اختصار مرور می‌کنیم.

۲-۲- مروری بر شبکه‌های کامپیوتری

۲-۲-۱- اهداف و مزایای شبکه‌های کامپیوتری

در اتصال کامپیوترها و ایجاد شبکه‌های کامپیوتری، اهداف زیر مد نظر می‌باشد:

۱- **به اشتراک گذاری منابع** : یکی از مزایای عمده شبکه‌های کامپیوتری تقسیم منابع می‌باشد. در یک شبکه کامپیوتری، کلیه کاربران شبکه در صورتی که مجاز به استفاده از شبکه باشند، می‌توانند به منابع موجود در شبکه نظیر برنامه‌های کاربردی، بانک‌های اطلاعاتی و تجهیزات سخت افزاری نظیر چاپگر، مودم و غیره دسترسی پیدا نمایند.

۲- **قابلیت اطمینان بالا** : یکی از روش‌های افزایش قابلیت اطمینان، استفاده از شبکه‌های کامپیوتری و سیستم‌های توزیع شده می‌باشد. در این حالت منابع مهم بر روی چندین ایستگاه شبکه نصب می‌شوند که در صورت خرابی یکی از سیستم ها، بتوان از طریق سایر ایستگاه‌های شبکه به منابع دسترسی پیدا نمود.

۳- **صرفه جویی مالی** : هرچند نصب و راه اندازی شبکه‌های کامپیوتری خود نیاز به هزینه و امکانات نرم افزاری و سخت افزاری خاص خود دارد، ولی در کل می‌توان به این نتیجه رسید که شبکه‌های کامپیوتری باعث صرفه جویی در هزینه‌ها می‌گردد.

۴- **ایجاد ارتباط بین مردم**: یکی دیگر از اهداف مهم شبکه‌های کامپیوتری، ایجاد ارتباط بین مردم می‌باشد. این مسأله با گسترش سریع اینترنت و سرویس‌های متنوع آن به خوبی مشاهده می‌شود. به عنوان مثال با کمک سرویس پست الکترونیکی، کاربران مختلف در سطح شبکه

اینترنت که ممکن است در فواصل بسیار دوری از هم قرار داشته باشند، قادر به ارسال نامه‌های الکترونیکی به یکدیگر می‌باشند[۳۸].

۲-۲-۲ - ساختار شبکه‌های کامپیوتری

شبکه‌های کامپیوتری از دو قسمت اصلی تشکیل شده اند که عبارتند از زیر شبکه[۱] و کامپیوترهای میزبان[۲]. وظیفه اصلی زیر شبکه، انتقال و هدایت پیام‌ها و اطلاعات کاربران از مبدأ به مقصد است. کاربران شبکه از طریق کامپیوترهای میزبان اطلاعات ارسالی خود را به زیر شبکه می‌فرستند و زیر شبکه نیز اطلاعتی دریافتی را به سمت مقصد هدایت و مسیریابی می‌کنند.

زیرشبکه خود نیز از دو قسمت تشکیل می‌شود که عبارتند از: خطوط انتقال و گره‌های شبکه. گره‌های شبکه با نام‌های مرکز سوئیچ و IMP[۳] نیز شناخته می‌شوند. هر بسته ارسالی کامپیوترهای میزبان، بعد از ورود به زیر شبکه تحویل گره‌های شبکه می‌شوند و در آنجا منتظر می‌ماند تا عملیات سوئیچینگ یا مسیریابی بر روی آن انجام شود و کانال خروجی مناسب آن پیدا گردد. سپس از طریق کانال خروجی تحویل گره یا کامپیوتر میزبان بعدی می‌شود[۳۸].

۲-۲-۳ - معماری شبکه

در شبکه‌های کامپیوتری جهت برقراری ارتباط و تبادل اطلاعات بین دو کامپیوتر میزبان، یکسری عملیات باید انجام شود. جهت کاهش پیچیدگی شبکه و افزایش انعطاف پذیری[۴] آن در مقابل تغییرات احتمالی، عملیات یک شبکه به صورت لایه‌های مختلفی تقسیم بندی می‌شوند، به طوری که هر لایه بر روی لایه دیگری قرار دارد و با آن در ارتباط است. هر لایه شبکه وظایف خاص خود را بر عهده دارد و از لایه‌های دیگر مستقل می‌باشد. در مدل لایه‌ای شبکه هر لایه از سرویس لایه ی پایین تر خود استفاده می‌نماید و به لایه ی بالاتر خود سرویس می‌دهد. در مدل لایه‌ای شبکه، کاربران شبکه از طریق بالاترین لایه شبکه، برای ارسال به شبکه و تحویل به مقصد، باید از لایه‌های مختلف شبکه عبور نماید تا به پایین ترین لایه برسد و از طریق محیط فیزیکی وارد زیرشبکه گردد.

۲-۲-۴ - مدل مرجع OSI

مدل OSI[۵] برای اتصال سیستم‌های باز به یکدیگر ارائه شده است. یک سیستم باز در حقیقت مجموعه‌ای از پروتکل هایی می‌باشند که امکان اتصال دو سیستم مختلف به یکدیگر را صرفنظر از معماری لایه‌های پایینی آنها فراهم می‌آورد. این مدل دارای هفت لایه می‌باشد[۳۸]:

---

[1] Subnet
[2] Host
[3]- Interface Message Processor
[4] Flexibility
[5] Open Systems Interconnection