بسم الله الرحمن الرحيم

٤٨٩٥٢

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

۱۳۸۲ /۳/ ۳۰

عنوان:

زمانبندی سوئیچهای با بافر ورودی ATM/IP برای تضمین تاخیر در ارسال بسته ها

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

نگارش: سید وحید ازهری

استاد راهنما: دکتر ناصر یزدانی

استاد مشاور: دکتر محمد رضا موحدین

٤٨٩٥٢

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در مهندسی معماری کامپیوتر

اسفند ۱۳۸۱

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

عنوان:
زمانبندی سوئیچهای با بافر ورودی ATM/IP برای تضمین تاخیر در ارسال بسته ها

نگارش: سید وحید ازهری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در مهندسی معماری کامپیوتر

از این پایان نامه در تاریخ ۸۱/۱۲/۱۵ در مقابل هیئت داوران دفاع بعمل آمده، مورد تصویب قرارگرفته است.

محل امضاء
دانشکده فنی دانشگاه تهران
تحصیلات تکمیلی

معاونت تحصیلات تکمیلی دانشکده:	**دکتر جواد فیض**
مدیر گروه آموزشی:	**دکتر پرویز جبه دار مارالانی**
سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه:	**دکتر حمیدرضا جمالی**
استاد راهنما:	**دکتر ناصر یزدانی**
استاد مشاور:	**دکتر محمدرضا موحدین**
عضو هیئت داوران:	**دکتر ناصر رضایی**
عضو هیئت داوران:	**دکتر رسول جلیلی**
عضو هیئت داوران:	**دکتر امید فاطمی**

تقدیم به

خداوند که یاریم نمود

پدرم و مادرم

همسرم

چکیده

در شبکه های کامپیوتری وظیفه سوئیچها مسیردهی بسته های اطلاعات است. با توجه به نیازهای شبکه های کامپیوتری امروزی، سوئیچها باید سریع باشند و بتوانند ضمانت سرویس مناسبی برای جریانهای اطلاعات فراهم نمایند. از جمله کاربردهایی که به ضمانت سرویس نیازمندند، کاربردهای بلادرنگ میباشند که نیاز به ضمانت تاخیر دارند. در این پایان نامه طرحی برای فراهم نمودن ضمانت تاخیر بصورت best-effort در سوئیچهای بافر ورودی ارائه میشود. ضمانت best-effort بدلیل سادگی پیاده سازی آن در سخت افزار و درنتیجه سرعت بیشتر سوئیچ انتخاب شده است. انتخاب سوئیچهای بافر ورودی بدلیل نبود مشکل پهنای باند و درنتیجه سرعت بیشتر آنهاست. سوئیچهای بافر ورودی که از FIFO بعنوان صف ورودی استفاده میکنند دارای مشکل HoL هستند که بازدهی آنها را به ۵۸/۶٪ محدود میکند. با استفاده از تکنیک VOQ و الگوریتمهای زمانبندی وزندار میتوان بازدهی را به ۱۰۰٪ افزایش داد. برای فراهم نمودن ضمانت تاخیر best-effort دو الگوریتم زمانبندی بنامهای DiSLIP و LOGEDF ارائه شده، خواص و کارایی آنها مورد بررسی قرار میگیرد. بررسی کارایی زمانبندها با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری و تحت الگوهای ترافیکی برنولی یکنواخت، انفجاری، و ترافیک شبیه سازی شده اینترنت انجام میشود. با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری مشاهده خواهد شد که تعداد اتصالات برقرار شده توسط زمانبند از پارامترهای مهم و موثر در کارایی الگوریتم زمانبند میباشد؛ بطوریکه تحت بار بیش از ۹۰٪ کوچکترین تغییرات این پارامتر میتواند مقادیر تاخیر میانگین سلولولهای اطلاعات و بازدهی سوئیچ را تا حد زیادی تغییر دهد. بدلیل بهتر بودن، کارایی LOGEDF تحت تسریع مورد بررسی قرار میگیرد. با توجه به این بررسی، تاثیر تسریع بر کارایی سوئیچ بیش از تاثیر الگوریتم زمانبندی میباشد. زمانبند LOGEDF از نظر تاخیر و مساحت سخت افزار مقیاسپذیر است یعنی پیاده سازی آن در اندازه-های بزرگ قابل انجام است؛ بطوریکه تاخیر آن بصورت لگاریتمی و مساحت آن بصورت خطی با تعداد ورودیها تغییر میکند. همچنین دارای ساختاری درختی و بسیار منظم و ساده میباشد. تاخیر و مساحت سخت افزار این زمانبند برای اندازه های مختلف سوئیچ بدست آمده است. با استفاده از این زمانبند میتوان به نرخی برابر با ۹Gbps بازای هر خط در یک سوئیچ ۳۲×۳۲ بافر ورودی رسید.

پیشگفتار

• مقدمه و انگیزه

با بکارگیری تکنولوژی WDM[1] میتوان داده‌ها را برروی فیبر نوری با نرخ بالا انتقال داد. اکنون نرخ انتقال داده روی یک فیبر نوری بین محدوده OC۴۸c(۲/۵Gbps) تا OC۷۶۸c(۴۰Gbps) متغیر است. اگرچه تکنولوژی فیبر نوری انتقال اطلاعات را با پهنای باندی بسیار زیاد ممکن ساخته، اما هنوز یک مشکل اساسی باقیست و آن مسیریابی بسته‌های حاوی اطلاعات است. همانطور که میدانیم از وظایف اصلی شبکه‌های کامپیوتری انتقال بسته‌ها بین مبدا[2] و مقصد است. به این عمل مسیریابی[3] گفته میشود. اینکار در شبکه‌های کامپیوتری بعهده سویچها و روترهاست. علیرغم استفاده از تکنولوژی پرسرعت نوری برای خطوط انتقال، سویچها هنوز با استفاده از تکنولوژی الکترونیک ساخته میشوند که اساسا کندتر از تکنولوژی نوری میباشد. بسته‌هایی که به یک سوئیچ میرسند باید در بافرهای الکترونیکی که همان حافظه‌های RAM هستند ذخیره شوند. امروزه سریعترین حافظه‌های مقرون به صرفه زمان دستیابی در حد ۵ns دارند [۱]؛ کندی بیش از حد حافظه‌های RAM در مقایسه با سرعت خطوط از دیگر مشکلات سویچها میباشد.

علاوه بر مسئله سرعت، کیفیت سرویس دهی[3] به بسته‌های مختلف نیز روز به روز اهمیت بیشتری پیدا میکند. این اهمیت یافتن بدلیل تنوعی است که در کاربردهای شبکه بوجود آمده است. کاربردهای متفاوت به کیفیت سرویس دهی متناسب با خود نیاز دارند. بعنوان مثال، در کاربردهای بلادرنگ بسته‌های[4] مربوط به جریانهای[5] اطلاعاتی تولید شده باید قبل از مدت زمان

---

[1] Wavelength Division Multiplexing

[2] Routing

[3] Quality of Service

[4] Packet

[5] Flow

خاصی به مقصد خود برسند. کاربردهایی چون ویدیو کنفرانس[1] احتیاج به یک حداقل پهنای باند[2] و یک محدوده مجاز تاخیر دارند. در واقع بسته‌های اینگونه جریانها باید سهم معینی از پهنای باند شبکه را دریافت کنند و تاخیرشان نیز نباید از محدوده معینی تجاوز نماید.

با توجه به نیازهای امروزی کاربردها، شبکه‌های کامپیوتری باید بتوانند سرویسی را که به یک جریان اختصاص میدهند ضمانت کنند. ضمانت سرویس[3] میتواند پارامترهایی چون تاخیر بسته‌ها، پهنای باند اختصاص داده شده به یک جریان، و احتمال مفقود شدن[4] بسته‌های یک جریان یا هر ترکیبی از اینها را شامل شود [۲]. ضمانت کردن سرویس نیازمند مکانیزمهای متعددی از جمله سیاست سرویس[5] دهی مناسب میباشد. سیاست سرویس دهی مجموعه قوانینی است که بر طبق آن از بین بسته‌های موجود برای ارسال بر روی یک خط خروجی سوئیچ تنها یک بسته انتخاب میشود بگونه‌ایکه ضمانت داده شده فراهم گردد. در سویچها اینکار بعهده زمانبند[6] میباشد. در بسیاری از موارد زمانبند سوئیچ بدلیل پیچیدگی الگوریتم آن، در مقایسه با حافظه‌ها گلوگاه اصلی[7] سوئیچ بشمار میرود.

از دیگر مکانیزمهای ضمانت سرویس، کنترل پذیرش[8] است [۲] [۳] [۴]. این مکانیزم با توجه به پارامترهای سرویس یک جریان و ظرفیت خالی منابع موجود در طول مسیر، این جریان را جهت ارسال میپذیرد یا رد میکند. مکانیزم دیگر پروتکلهای رزرو منبع[9] هستند. این پروتکلها در طی یک مسیر مشخص منابعی را که یک جریان به آنها احتیاج دارد رزرو میکنند؛ RSVP[10] یکی از این پروتکلهاست [۵]. مکانیزم دیگری که در لبه‌های ورودی شبکه بکار گرفته میشود شکل دهی

---

[1] Video Conference
[2] Bandwidth (BW)
[3] Service Guarantee
[4] Loss Probability
[5] Service Policy
[6] Scheduler
[7] Bottleneck
[8] Call Admission Control (CAC)
[9] Resource Reservation Protocol
[10] ReSource reserVation Protocol

ترافیک[1] نام دارد [۶] [۷]. این مکانیزم باعث میشود تا مکانیزمهای رزرو منبع و کنترل پذیرش بتوانند راحتتر و بهینه عمل کنند. این مکانیزم ترافیک ورودی به شبکه را شکل دهی یا کنترل میکند بطوریکه از مدل خاصی پیروی کند. مکانیزمهای فوق باعث پیچیده‌تر شدن طراحی سویچها و درنتیجه کندتر شدن آنها میگردند. بنابراین باید سعی شود بین دقت کیفیت سرویس و سرعت ارسال بسته‌ها تعادلی برقرار گردد.

انگیزه اصلی ما در این رساله، طراحی یک سوئیچ ساده و پرسرعت است که از یک طرف بتواند بدون اینکه گلوگاه سیستم محسوب شود بسته‌ها را مسیردهی نموده، از طرف دیگر قادر باشد به جریانهای مختلف سرویسهای متفاوتی ارائه نماید. این سرویس دهی مبتنی بر ضمانت تاخیر بسته‌ها با استفاده از سیاست سرویس دهی EDF[2] است. برخی کاربردها که میتوانند از سیاست سرویس دهی EDF بهره برداری کنند عبارتند از: ویدیو کنفرانس، VOIP[3]، کنترل از راه دور سیستمهای حساس به زمان متصل به شبکه، و بطور کلی تمامی کاربردهای بلادرنگ. میخواهیم ضمانت سرویس بگونه‌ای باشد تا گرفتار روشهای پیچیده کنترل پذیرش و شکل دهی ترافیک نشویم و بتوانیم سوئیچی پرسرعت ارائه نماییم. در سیاست سرویس دهی EDF، به بسته‌های اطلاعات یک فرجه[4] نسبت داده میشود و بسته‌هاییکه فرجه شان نزدیکتر است برای ارسال اولویت بالاتری دارند. فرجه نسبت داده شده به یک بسته از روی کیفیت سرویسی که جریان حاوی آن بسته درخواست نموده بدست می‌آید.

- **ساختار پایان نامه**

در فصل نخست این پایان نامه پس از بیان مسئله و تعاریف لازم مقدمه‌ای بر مبحث QoS[5] ارائه میشود. سپس به بررسی معماریهای مختلف سویچها میپردازیم و امتیازات و معایب هر معماری را از جنبه سرعت و سادگی پشتیبانی QoS مورد بررسی اجمالی قرار میدهیم. در ادامه مروری

---

[1] Traffic Shaping

[2] Earliest Deadline First

[3] Voice Over IP

[4] Deadline

[5] Quality of Service

خواهیم داشت بر الگوریتمهای مختلف زمانبندی برای سوئیچهایی که از معماری بافر ورودی[1] استفاده میکنند. این معماری برای سویچهای طراحی شده در این پایان نامه بکار رفته است.

در فصل دوم اولین الگوریتم زمانبندی خود را ارائه میکنیم. این الگوریتم کهDiSLIP نام دارد بر مبنای یکی از الگوریتمهای زمانبندی خوب، و شناخته شده بنام iSLIP [۸] طراحی شده است. ابتدا الگوریتم زمانبندی iSLIP را تشریح میکنیم. سپس الگوریتم زمانبندی جدید DiSLIP مورد بررسی قرار میگیرد. بدنبال آن کارایی الگوریتم DiSLIP تحت مدلهای مختلف ترافیک برنولی یکنواخت[2]، انفجاری[3]، و ترافیک شبیه سازی شده اینترنت ارزیابی میشود و در پایان نیز اشاره‌ای به پیاده‌سازی زمانبند خواهیم نمود.

فصل سوم به دومین الگوریتم زمانبندی بنام LOGEDF اختصاص دارد. در این فصل پس از بیان الگوریتم زمانبندی و بررسی خواص آن کارایی زمانبند تحت سه الگوی ترافیک مختلف برنولی یکنواخت، برست یا انفجاری، و اینترنت با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری بدست خواهد آمد. در ادامه، به مسائل مربوط به پیاده‌سازی زمانبند پرداخته خواهد شد و دیاگرامی از سخت افزار LOGEDF بهمراه نتایج سنتز زمانبند از جنبه تاخیر و مساحت ارائه خواهد شد.

فصل چهارم به بررسی اثر تسریع[4] بر روی کارایی زمانبند LOGEDF میپردازد و با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری کارایی LOGEDF با تسریعی برابر دو بدست خواهد آمد. همچنین در این فصل به پیچیدگیهایی که اضافه کردن تسریع بر سخت افزار سوئیچ اعمال میکند اشاره خواهد شد.

در نهایت در فصل پنجم به نتیجه گیری میپردازیم و به کارهایی که میتوان در جهت تکمیل این تحقیق انجام داد بطور خلاصه اشاره خواهیم نمود.

---

[1] Input Queued

[2] Bernoulli iid

[3] Bursty

[4] Speedup

تقدیر و تشکر

لازمست قبل از هر چیز از زحماتیکه افراد مختلف برای به ثمر رسیدن این رساله کشیده اند تشکر کنم. از جناب آقای دکتر یزدانی استاد راهنمای محترم و جناب آقای دکتر موحدین استاد مشاور گرامی بخاطر تقبل این مسئولیت تشکر میکنم. همچنین از آقای مهندس زارع همکلاسی عزیز بخاطر بحثهای مفید و بسیاری که با هم داشتیم و کمکهایی که در زمینه شبیه سازیها نمودند قدردانی مینمایم. خداوند را نیز بخاطر عنایت توفیق در اینکار شکر میکنم. و در پایان از همه همدانشکده ایها و خانواده ام تشکر میکنم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار	ب
۱ فصل اول مقدمه	۱
۱-۱ بیان مسئله	۱
۱-۲ پیش زمینه و کارهای انجام شده قبلی	۵
۱-۲-۱ مقدمه‌ای بر QoS	۵
۱-۲-۱-۱ سیاستهای سرویس دهی Earliest Deadline First	۸
۱-۲-۲ معماریهای موجود برای سوئیچها	۹
۱-۲-۲-۱ سوئیچهای بافر خروجی و حافظه مشترک	۹
۱-۲-۲-۲ سوئیچهای بافر ورودی	۱۰
۱-۲-۲-۳ سوئیچهای بافر ورودی-خروجی	۱۱
۱-۲-۳ الگوریتمهای موجود برای زمانبندی سوئیچها	۱۳
۱-۲-۳-۱ زمانبندی سوئیچهای OQ	۱۳
۱-۲-۳-۲ زمانبندی سوئیچهای CIOQ	۱۴
۱-۲-۳-۲-۱ زمانبندی پویا	۱۴
۱-۲-۳-۲-۲ زمانبندی ایستا	۲۰
۲ فصل دوم الگوریتم زمانبندی DiSLIP	۲۳
۲-۱ مقدمه	۲۳
۲-۲ الگوریتم زمانبندی iSLIP	۲۴
۲-۳ الگوریتم زمانبندی DiSLIP	۲۶
۲-۴ اندازه‌گیری کارایی DiSLIP	۲۹

۲-۴-۱ترافیک برنولی یکنواخت (iid)	۲۹
۲-۴-۲ ترافیک انفجاری یا برست	۳۹
۲-۴-۳ ترافیک شبیه سازی شده اینترنت	۴۷
۲-۵ پیاده‌سازی DiSLIP	۵۰
۳ فصل سوم الگوریتم زمانبندی LOGEDF	۵۱
۳-۱ مقدمه	۵۱
۳-۲ الگوریتم زمانبندی LOGEDF	۵۲
۳-۳ اندازه‌گیری کارایی LOGEDF	۵۸
۳-۳-۱ ترافیک برنولی یکنواخت (iid)	۵۸
۳-۳-۲ ترافیک انفجاری یا برست (Burst)	۶۳
۳-۳-۳ ترافیک شبیه سازی شده اینترنت	۶۷
۳-۴ پیاده‌سازی LOGEDF	۷۱
۴ فصل چهارم بررسی اثر تسریع	۷۵
۴-۱ مقدمه	۷۵
۴-۲ مفهوم تسریع و تأثیر آن برسوئیچ و کارایی زمانبند	۷۶
۴-۳ بررسی نتایج شبیه‌سازی	۷۷
۵ فصل پنجم نتیجه گیری	۸۱
۵-۱ خلاصه مباحث جدید	۸۱
۵-۲ تحقیقات آتی	۸۴
مراجع	۸۵
فهرست اعلام	۸۹
پیوست الف مدلهای ترافیکی	۹۳

الف-۱ مدل ترافیک برنولی یکنواخت iid ۹۳
الف-۲ مدل ترافیک انفجاری یکنواخت ۹۴
الف-۳ مدل ترافیک اینترنت ۹۶

فهرست جداول

عنوان جدول	صفحه
جدول۲-۱ بازدهی الگوریتمهای زمانبندی مطرح شده و iSLIP تحت ترافیک انفجاری و برنولی iid .	۴۹
جدول ۲-۲ حداکثر طول VOQبرای زمانبندهای مطرح شده و iSLIP تحت ترافیک برنولی iid، انفجاری و اینترنت.	۵۰
جدول ۳-۱ بازدهی الگوریتمهای زمانبندی مطرح شده و iSLIP تحت ترافیک انفجاری و برنولی iid.	۷۰
جدول ۳-۲ حداکثر طول VOQ برای زمانبندهای مطرح شده و iSLIP تحت ترافیک برنولی iid، انفجاری و اینترنت.	۷۰
جدول ۳-۳ مساحت و تأخیر زمانبند LOGEDF برای اندازه‌های مختلف سوئیچ برای سلولهای حداقل یاب ۸ بیتی.	۷۴
جدول الف-۱ فراوانی طول برستها برای ترافیک اینترنت	۹۷

فهرست شکلها

عنوان شکل	صفحه
شکل ۱-۱ مثالی از مسئله BGM و دو جواب برای آن	۳
شکل ۱-۲ نمونه ای ۳×۳ از یک سوئیچ با پورتهای ورودی و خروجی و صفهای ورودی	۳
شکل ۱-۳ ساختار یک سوئیچ ۴×۴ بافر خروجی	۱۰
شکل ۱-۴ محل پیاده سازی سیاستهای سرویس دهی مربوط به QoSدر یک سوئیچ بافر خروجی	۱۰
شکل ۱-۵ ساختار یک سوئیچ ۴×۴ بافر ورودی که از crossbarجهت ارسال بسته ها به پورتهای خروجی استفاده میکند.	۱۱
شکل ۱-۶ ساختار یک سوئیچ ۴×۴ بافر ورودی خروجی	۱۲
شکل ۱-۷ نقاط سرویس دهی در یک، سوئیچ CIOQ	۱۳
شکل ۱-۸ رزرو روزنه های زمانی در زمانبندی ایستا	۲۱
شکل ۲-۱ شبه کد الگوریتم زمانبندی DiSLIP	۲۸
شکل ۲-۲ ساختار مرتب کننده بچر (Batcher)با ۸ ورودی	۲۹
شکل ۲-۳ مقایسه بازدهی سوئیچ IQبا اندازه۳۲×۳۲ با استفاده از الگوریتمهای زمانبندی DiSLIP، DiSLIP_EER، DiSLIP_ERE و iSLIP.	۳۱
شکل ۲-۴ مقایسه تاخیر میانگین و انحراف معیار استاندارد آن برحسب زمان سلول و تحت بار ثابت ۹۹٪ و ترافیک برنولی برای چند الگوریتم زمانبندی و سوئیچ بافر خروجی برحسب کلاس MTD سلولها.	۳۲
شکل ۲-۵ مقایسه تاخیر سلولها برای الگوریتمهای زمانبندی پویا مختلف و DiSLIP_EREتحت بار ثابت ۹۹٪ و ترافیک برنولی iidبرحسب حداکثر تاخیر قابل قبول آنها	۳۳
شکل ۲-۶ تاخیر میانگین سلولهای کلاسهای مختلف MTDتحت بارهای مختلف و ترافیک برنولی iid برای DiSLIP.	۳۴
شکل ۲-۷ تاخیر میانگین بین همه کلاسهای MTDبرحسب بار سوئیچ تحت ترافیک برنولی iid.	۳۵
شکل ۲-۸ مقایسه تاخیر سلولها برای الگوریتمهای زمانبندی پویا مختلف و DiSLIP_ERE تحت ترافیک برنولی iid برحسب بار شبکه	۳۵
شکل ۲-۹ میانگین تعداد اتصالات در هر تناظر برای الگوریتمهای DiSLIPو iSLIPتحت بار ۹۹٪ و ۹۰٪ و ترافیک برنولی iid.	۳۷
شکل ۲-۱۰ حداکثر طول VOQتحت بارهای مختلف و ترافیک برنولی iidبرای زمانبندهای DiSLIPو iSLIP.	۳۸
شکل ۲-۱۱ تاخیر میانگین بین همه کلاسهای MTDبرحسب بار سوئیچ تحت ترافیک برنولی iid برای اندازه های مختلف سوئیچ ۱۶×۱۶، ۳۲×۳۲، و ۶۴×۶۴ و زمانبند DiSLIP.	۳۸