

اللَّهُمَّ اللَّهُمَّ اللَّهُمَّ

## مبانی تحلیلی شبکه‌های کامپیوتری



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

# مبانی تحلیلی شبکه های کامپیوتری

عبدالرسول قاسمی

استادیار مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

## مبانی تحلیلی شبکه‌های کامپیوتری

## پیشگفتار

شبکه‌های کامپیوتری یا شبکه‌های داده یکی از دروس اصلی دانشجویان مهندسی کامپیوتر، مهندسی برق و مخابرات و مهندسی فناوری اطلاعات محسوب می‌شود. هدف اصلی از ارائه دروس مرتبط با این حوزه دانش، درک جامع و عمیق از عملکرد یک شبکه با دیدگاه سیستمی است. از طرف دیگر مفاهیم مرتبط با شبکه‌های کامپیوتری وابستگی زیادی به فناوری‌های جاری متداول مورد استفاده دارد. هدف از نگارش این کتاب تدوین مرجعی است که مبانی تحلیلی شبکه‌های کامپیوتری را مستقل از فناوری ارائه کند و بتواند نیازمندی‌های پایه محققین این زمینه را فراهم آورد. از این رو با فرض آشنا بودن خواننده با مفاهیم اولیه پشته پروتکلی، در این کتاب عملکرد شبکه‌های کامپیوتری با نگاه اختصاص منابع شبکه با دید یکپارچه بررسی شده است. مطالب در راستای تفهیم مبانی تحلیلی و تقویت تفکر شبکه‌ای، که در آن عملکرد تمامی اجزای شبکه در راستای برآورد هدف نهایی شبکه تفسیر می‌شود، تنظیم شده است. رویکرد کلی کتاب ارائه مفاهیم و مبانی اساسی شبکه‌های کامپیوتری با در نظر گرفتن مراحل تکامل و بلوغ این شبکه‌ها برای برآورده ساختن نیازمندی‌های کاربران و بهره‌وری بیشینه از منابع شبکه است. مطالب در هفت فصل معماری شبکه، ارزیابی عملکرد شبکه با محاسبه تأخیر، بهینه‌سازی شبکه، اصول اختصاص منابع، مکانیزم‌های تخصیص منابع در ابر شبکه، مکانیزم‌های مدیریت ازدحام و تحلیل یکپارچه عملکرد شبکه سازماندهی شده است.

در فصل اول در مورد مراحل تکامل شبکه‌های کامپیوتری و چگونگی ارزیابی معماری شبکه بحث می‌کنیم. فصل دوم به بیان مبانی اولیه در مورد نظریه صف‌ها و مدل‌های ترافیک شبکه می‌پردازد. در فصل سوم ضمن بیان اصول اولیه بهینه‌سازی خطی و غیرخطی نمونه‌های مختلفی از کاربردهای نظریه بهینه‌سازی در تحلیل و طراحی شبکه مطرح می‌شود. در فصل چهارم مساله تخصیص منابع از دیدگاه بهینه‌سازی مجموع بهره‌وری کاربران از منابع شبکه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل‌های پنجم و ششم مکانیزم‌های تخصیص منابع در ابر شبکه و مکانیزم‌های مدیریت ازدحام در نقطه انتهایی بررسی و تحلیل می‌شوند. در انتها در فصل هفتم تحلیل یکپارچه اثر مکانیزم‌های طراحی شده در ابر شبکه و نقطه انتهایی در چارچوب تحلیل بین‌لایه‌ای پشته پروتکلی ارائه می‌شود.

امید است که مطالب کتاب مورد استفاده دانشجویان و محققین فعال در این حوزه قرار گیرد و خوانندگان ارجمند نویسنده را از نظرات ارزشمند خود محروم نکنند.

## مبانی تحلیلی شبکه‌های کامپیوتری

## فهرست مطالب

### فصل اول: معماری شبکه

۱	
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ پیدایش شبکه‌های کامپیوتری
۳	۱-۲-۱ لایه‌بندی برای تجزیه مساله
۵	۲-۲-۱ مقیاس‌پذیری
۷	۳-۲-۱ راهکار توزیع شده
۸	۴-۲-۱ ارزیابی عملکرد شبکه
۹	۵-۲-۱ نیازمندی‌ها و انتظارات جدید
۱۰	۳-۱ گذر به کاربردهای چند رسانه‌ای
۱۲	۱-۳-۱ ارزیابی معماری شبکه
۱۵	۲-۳-۱ پشتیبانی از کلاس‌های خدمت مختلف
۱۸	۳-۳-۱ معماری خدمت تفاضلی یا خدمت مجتمع
۲۰	۴-۳-۱ کاربردهای تطبیقی
۲۱	۵-۳-۱ ارزیابی بهره‌وری شبکه: نگاهی نو به پشته پروتکلی
۲۲	۴-۱ گذر به معماری هم‌تا به هم‌تا
۲۳	۱-۴-۱ زمان توزیع فایل با مدل جریان سیال
۳۱	۲-۴-۱ ارسال قطعه‌ای فایل در معماری هم‌تا به هم‌تا
۳۲	۵-۱ نتیجه‌گیری
۳۴	مراجع

### فصل دوم: ارزیابی عملکرد شبکه با محاسبه تاخیر

۳۵	
۳۵	۱-۲ مقدمه
۳۵	۲-۲ نظریه صف برای تحلیل شبکه
۳۶	۳-۲ فرآیند شمارشی پواسون
۳۹	۴-۲ ویژگی‌هایی از فرآیند پواسون
۴۲	۵-۲ قضیه لیتل
۴۷	۶-۲ تحلیل صف M/M/1
۵۴	۷-۲ شبیه‌سازی صف M/M/1
۵۸	۸-۲ تحلیل صف M/M/1 با بافر محدود
۶۸	۹-۲ صف M/M/1 با اولویت

## مبانی تحلیلی شبکه‌های کامپیوتری

۷۰	۱۰-۲ ارزیابی عملکرد شبکه با تحلیل صف
۷۵	۱۱-۲ مدل‌های خودمشابه برای ترافیک شبکه
۷۸	۱-۱۱-۲ تابع توزیع ترافیک کاربر
۷۹	۲-۱۱-۲ اثر خود مشابهتی ترافیک بر رفتار شبکه
۸۰	۱۲-۲ طراحی شبکه بر مبنای تأخیر
۸۳	۱۳-۲ نتیجه‌گیری
۸۴	تمرین‌ها
۸۵	مراجع

### فصل سوم: بهینه‌سازی شبکه

۸۷	۱-۳ مقدمه
۸۷	۲-۳ مفاهیم اولیه بهینه‌سازی
۸۹	۳-۳ مجموعه و تابع محدب
۹۴	۴-۳ بهینه محلی و سراسری
۹۸	۵-۳ حل عددی بهینه‌سازی غیرمقید
۱۰۱	۶-۳ بهینه‌سازی خطی
۱۰۵	۷-۳ بهینه‌سازی غیرخطی مقید با روش لاگرانژ
۱۰۹	۸-۳ شرایط KKT برای مسایل محدب
۱۱۲	۹-۳ مسیریابی بهینه
۱۱۳	۱-۹-۳ شرط لازم برای بهینگی مسیریابی
۱۱۷	۲-۹-۳ مسیریابی بهینه با روش تکراری
۱۲۵	۱۰-۳ بهینه‌سازی با متغیرهای تصمیم‌گیری صحیح
۱۳۷	۱۱-۳ نتیجه‌گیری
۱۳۸	تمرین‌ها
۱۳۹	مراجع

### فصل چهارم: اصول اختصاص منابع

۱۴۱	۱-۴ مقدمه
۱۴۱	۲-۴ مساله تخصیص منابع
۱۴۲	۱-۲-۴ رفتار کاربر نهایی و ابر شبکه
۱۴۴	۲-۲-۴ معیارهای ارزیابی
۱۴۷	۳-۴ بیشینه‌کردن بهره‌وری شبکه



۱۴۸	۴-۴ انصاف در دسترسی به منابع
۱۴۹	۴-۴-۱ معیار انصاف Max-Min
۱۵۳	۴-۴-۲ معیار انصاف تناسبی
۱۵۷	۴-۴-۳ معیار انصاف حداقل تاخیر بالقوه
۱۵۸	۴-۴-۴ معیار انصاف آلفا
۱۶۰	۴-۴-۵ سایر معیارهای انصاف
۱۶۱	۴-۵ تخصیص منابع در قالب پیشینه‌سازی بهره‌وری شبکه
۱۶۳	۴-۶ هزینه انصاف
۱۶۸	۴-۷ فرمول‌بندی مساله اولیه
۱۷۴	۴-۸ فرمول‌بندی مساله دوگان
۱۷۷	۴-۹ مساله Kelly
۱۸۰	۴-۱۰ پایداری شبکه
۱۸۱	۴-۱۱ نتیجه‌گیری
۱۸۲	تمرین‌ها
۱۸۳	مراجع

## فصل پنجم: مکانیزم‌های اختصاص منابع در شبکه

۱۸۵	۵-۱ مقدمه
۱۸۵	۵-۲ شبکه پاسخگو
۱۸۷	۵-۳ مکانیزم‌های مدیریت صف
۱۸۸	۵-۳-۱ ناکارآمدی دورریز انتهای صف در کنار TCP
۱۸۹	۵-۳-۲ مکانیزم RED
۱۹۶	۵-۳-۳ نقد و بهبود مکانیزم RED
۱۹۷	۵-۳-۴ مکانیزم SRED
۲۰۱	۵-۳-۵ مکانیزم DRED
۲۰۳	۵-۳-۶ مکانیزم BLUE
۲۰۸	۵-۳-۷ ارزیابی عملکرد مکانیزم‌های RED، FRED، SRED و BLUE
۲۱۴	۵-۳-۸ مکانیزم CHOKe
۲۲۲	۵-۳-۹ مکانیزم REM
۲۲۵	۵-۴ زمانبندی جریان‌ها
۲۲۶	۵-۴-۱ مکانیزم چرخشی یا Round Robin
۲۲۹	۵-۴-۲ مکانیزم تسهیم کلی پردازنده یا GPS

۲۳۲	۳-۴-۵ مکانیزم WFQ
۲۴۳	۴-۴-۵ مکانیزم WF <sup>2</sup> Q
۲۴۷	۵-۴-۵ مکانیزم خود ساعت SCFQ
۲۴۹	۶-۴-۵ کران تاخیر در مکانیزم‌های زمانبندی
۲۵۴	۷-۴-۵ مکانیزم‌های بدون حالت
۲۵۸	۵-۵ نتیجه‌گیری
۲۵۹	تمرین‌ها
۲۶۰	مراجع
۲۶۲	پیوست: کد شبیه‌سازی مکانیزم WFQ

## فصل ششم: مکانیزم‌های مدیریت ازدحام

۲۷۹	۱-۶ مقدمه
۲۷۹	۲-۶ مفاهیم اولیه
۲۸۰	۳-۶ رویکرد نظریه کنترل به ازدحام
۲۸۲	۴-۶ بررسی رفتار همگرایی
۲۸۹	۵-۶ کنترل ازدحام اینترنت
۲۹۳	۱-۵-۶ پیاده‌سازی AIMD در پروتکل TCP
۲۹۴	۲-۵-۶ مکانیزم شروع آهسته
۲۹۷	۳-۵-۶ مکانیزم ارسال و ترمیم سریع
۲۹۸	۶-۶ تحلیل عملکرد پروتکل TCP-Reno
۳۰۰	۱-۶-۶ تغییرات نرخ جریان با TCP-Reno
۳۰۰	۲-۶-۶ تحلیل TCP Reno در قالب بیشینه‌سازی بهره‌وری منابع
۳۰۳	۷-۶ پیشگیری از ازدحام با TCP-Vegas
۳۰۴	۸-۶ تحلیل عملکرد TCP-Vegas
۳۰۷	۹-۶ نتیجه‌گیری
۳۰۹	تمرین‌ها
۳۱۰	مراجع

## فصل هفتم: تحلیل یکپارچه عملکرد شبکه

۳۱۳	۱-۷ مقدمه
۳۱۳	۲-۷ تحلیل بین‌لایه‌ای برای بهینه‌سازی بهره‌وری منابع

۳۱۷	۳-۷ تحلیل توأم TCP و الگوریتم‌های مدیریت صف در شبکه سیمی
۳۲۰	۴-۷ کنترل توأم ازدحام و توان در شبکه بی سیم
۳۳۵	۵-۷ تخصیص منصفانه منابع در شبکه هم‌تا به هم‌تا
۳۴۰	۶-۷ نتیجه‌گیری
۳۴۱	تمرین‌ها
۳۴۲	مراجع

## مبانی تحلیلی شبکه‌های کامپیوتری