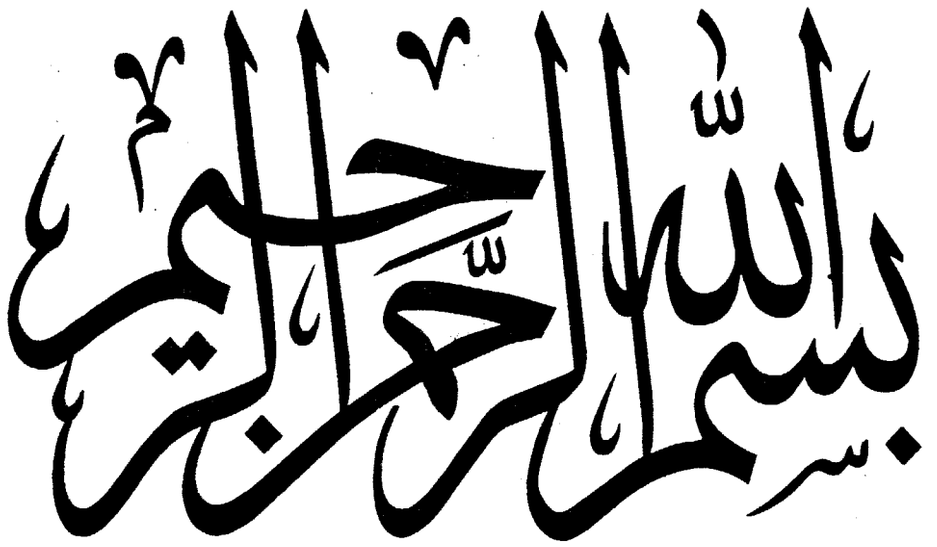


٣٠٣١٢

دانشگاه علم وصنعت ایران
دانشکده مهندسی کامپیوتر

۱۳۷۹ /۵/ ۲۱
مرکز اطلاعات مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

اندازه‌گیری و آنالیز تاخیر بسته‌ها در اینترنت بصورت مبدا-مقصد

Measurements and Analysis Of End-to-End Internet Packet Delay

مسعود ذبیحی نوری

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی کامپیوتر

۱۷۱۹۵

استاد راهنما: دکتر مرتضی آنالوئی

۳۰۳۱۲

بهمن ۱۳۷۸

تقدیم به

روح پرفروغ پدرم

و

مادر بزرگوارم

چکیده

با گسترش شبکهٔ اینترنت، تحقیقات زیادی برای افزایش کیفیت سرویسهای مختلف اینترنت انجام شده است. اکثر برنامه‌های کاربردی یا بعبارت دیگر سرویسهایی که کاربران از آنها استفاده می‌کنند در مدل OSI بر روی لایه چهارم قرار می‌گیرند. اطلاعاتی که کاربران از طریق این لایه‌ها مبادله می‌کنند، تحت تاثیر عوامل مختلف هستند که در هر لایه بوسیلهٔ پارامترهای خاص آن لایه کنترل می‌شوند.

از جمله عوامل تاثیرگذار بر کیفیت سرویسهای شبکه اینترنت، تاخیر بسته‌ها در شبکه می‌باشد. در این پروژه سعی شده است که رفتار تاخیر و پارامترهای تاثیرگذار بر آن اندازه‌گیری و آنالیز شوند تا بتوان با استفاده از الگوهای رفتاری بدست آمده پارامترهای قراردادهای مورد استفاده را تنظیم نمود. قرارداد TCP از جمله قراردادهایی است که به وفور از آن استفاده می‌شود. اندازه‌گیری و آنالیز تاخیر بسته‌ها بر روی این لایه و به صورت مبدا-مقصد هدف اصلی این پروژه می‌باشد.

جمع آوری داده‌های مورد نیاز در این پروژه توسط سه برنامه انجام شده است. دو برنامه مکمل یکدیگر و به صورت سرویس دهنده و سرویس گیرنده هستند. برنامهٔ سرویس گیرنده بسته‌ها را از طریق ساختار سوکتها و از درگاه خاصی ارسال و برنامه سرویس دهنده از طریق همین ساختار و همان درگاه خاص بسته‌ها را دریافت می‌کند. برنامهٔ سوم، برنامهٔ tcpdump است که برای ثبت اطلاعات مربوط به بسته‌ها می‌باشد و در هر دو سیستم فرستنده و گیرنده نصب می‌شود. فایلهای ثبت شده توسط برنامهٔ tcpdump بعنوان ورودی آنالیز کننده تاخیر می‌باشد.

این فایلها بوسیلهٔ برنامهٔ tcpanaly آنالیز جزئی می‌شوند و سپس نتایج این آنالیزهای جزئی در کنار یکدیگر مورد آنالیز قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از این آنالیز کلی وابسته به هیچ ارتباط خاصی نمی‌باشد و رفتار کلی تاخیر در شبکه را نشان می‌دهد.

برای افزایش صحت اندازه‌گیریها و آنالیزها، هر پروسه اطلاعات مربوط به خودش را کالیبره می‌کند. از مهمترین اطلاعات مورد استفاده در آنالیز تاخیر برچسبهای زمانی ثبت شده در فرستنده و گیرنده می‌باشند، به همین دلیل کالیبراسیون این برچسبها از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر آنالیز تاخیر می‌باشد. در شبکه اینترنت عاملی که همیشه می‌تواند محدود کننده نرخ ارسال و در نتیجه ایجاد تاخیر باشد، میزان پهنای باند گلوگاه مسیر عبور بسته‌ها می‌باشد. بنابراین از عوامل تاخیرزا و موثر در نحوه ارسال بسته‌ها پهنای باند گلوگاه است.

در انتها الگوهای دو نوع تاخیر تک-مسیر(OTT) و دو طرفه(RTT) مورد بررسی قرار می‌گیرد. با استفاده از این الگوها می‌توان نحوهٔ تنظیم کنترل کننده‌های نرخ ارسال بسته‌ها را تعیین نمود. پویایی شبکه علاوه بر تاثیر بر تاخیر بسته‌ها، رفتارهای مختلفی را موجب می‌شود. فشردگی زمانی بسته‌ها، تغییر صفها در فاصله‌های زمانی معین و پهنای باند در دسترس جز عواملی هستند که با توجه به پویایی شبکه به گونه‌های مختلف و مقیاسهای متفاوت ایجاد می‌شوند که به کمک برچسبهای زمانی ثبت شده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

تقدیر و تشکر

سپاس خدائی که ما را تادیب نمود تا شکرگزار و قدردان باشیم. به رسم ادب و احترام مراتب سپاس و قدردانی خود را به حضور تمام کسانیکه در تربیت علمی و اخلاقی اینجانب متحمل زحمت شده‌اند، بخصوص استاد گرانقدر جناب آقای دکتر مرتضی آنالوئی، تقدیم می‌دارم. همچنین از اعضاء کمیته داوری جناب آقای دکتر عادل رحمانی و جناب آقای دکتر حسن طاهری که با حضور در جلسه دفاعیه زمینه ارائه پربار پروژه را فراهم نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

فهرست :

صفحه

مقدمه: روش اندازه‌گیری و آنالیز تاخیر ۱

۱ـ۱ـ روشهای اندازه‌گیری ۳

۱ـ۱ـ۱ـ مسائلی که در اندازه‌گیریها باید در نظر گرفته شود ۳

۱ـ۱ـ۲ـ استفاده از TCP ٤

۱ـ۱ـ۳ـ دنبال نمودن بسته‌ها در فرستنده و گیرنده ٦

۱ـ۱ـ٤ـ روشهای تجزیه و تحلیل ۷

۱ـ۲ـ مروری بر TCP ۹

۱ـ۲ـ۱ـ راههای تبادل داده ۹

۱ـ۲ـ۲ـ دستیابی به کارایی مناسب ۱۰

۱ـ۲ـ۳ـ کنترل ازدحام ۱۱

۱ـ۲ـ٤ـ شروع کند(آرام) ۱۲

۱ـ۲ـ٥ـ Self_Clocking ۱۳

۱ـ۲ـ٦ـ عکس‌العمل TCP در برابر ازدحام ۱٥

۱ـ۲ـ۷ـ بازیابی و ارسال مجدد سریع ۱٦

روش قیاسی برای کالیبراسیون ساعتها ۱۸

۲ـ۱ـ مشخصه‌های قیاسی بین دو ساعت ۱۹

۲ـ۱ـ۱ـ میزان دقت ۱۹

۲ـ۱ـ۲ـ میزان تفاوت(آفست) ۱۹

۲ـ۱ـ۳ـ میزان انحراف (مورب بودن) و میزان رانش ۲۰

۲ـ۱ـ٤ـ دقیق بودن ساعتها ۲۰

۲ـ۲ـ روش تشخیص دقت ساعت ۲۰

۲ـ۲ـ۱ـ الگوریتم تشخیص دقت ساعت ۲۰

۲ـ۳ـ اختلاف زمانی بین دو ساعت ۲۱

۲ـ۳ـ۱ـ الگوریتم تخمین اختلاف زمانی ساعتها ۲۱

فهرست

صفحه

۴ـ۲ـ تشخیص تغییرات ساعت ۲۳

۱ـ۴ـ۲ـ روش گرافیکی تشخیص تغییر ساعت ۲۳

۲ـ۴ـ۲ـ حذف نویز از OTT ۲۳

۳ـ۴ـ۲ـ الگوریتم تشخیص تغییر ساعت ۲۵

۵ـ۲ـ تعیین اختلاف فرکانسی بین دو ساعت (میزان انحراف بین دو ساعت) . ۲۷

۱ـ۵ـ۲ـ روش تشخیص انحراف ساعت فرستنده وگیرنده نسبت به یکدیگر ۲۸

۲ـ۵ـ۲ـ تایید انحراف بر اساس آزمایش جمع حداقل‌ها ۲۹

۳ـ۵ـ۲ـ نحوه آزمایش برای انحراف باشیب مثبت ۳۱

۴ـ۵ـ۲ـ تشخیص شیب انحراف ۳۱

۵ـ۵ـ۲ـ حذف انحراف نسبی ساعتها ۳۳

پهنای باند گلوگاه ۳۴

۱ـ۳ـ پهنای باند گلوگاه کمیتی اصلی ۳۵

۲ـ۳ـ روش زوج بسته‌ای ۳۶

۳ـ۳ـ اندازه‌گیری متکی بر فرستنده (SBPP) و گیرنده (RBPP) ۳۷

۴ـ۳ـ مشکلات روش زوج بسته‌ای ۳۸

۱ـ۴ـ۳ـ دریافت نامرتب بسته‌ها ۳۸

۲ـ۴ـ۳ـ محدودیت ناشی از میزان دقت ساعتها ۳۸

۳ـ۴ـ۳ـ تغییر پهنای باند گلوگاه ۳۹

۴ـ۴ـ۳ـ اتصالهای چند کاناله ۴۰

۵ـ۳ـ تخمین حداکثر نرخ عبور داده از بستر شبکه ۴۰

۶ـ۳ـ روشی مطمئن برای تخمین پهنای باند گلوگاه ۴۲

۱ـ۶ـ۳ـ برآورد تخمین پهنای باند گلوگاه ۴۳

۲ـ۶ـ۳ـ جستجو بدنبال مدهای پهنای باند گلوگاه ۴۵

تاخیر بسته‌ها ۴۸

فهرست | صفحه

۱ـ٤ـ تغییرات RTT ٤٩
۱ـ۱ـ٤ـ نقش RTTها ٤٩
۲ـ۱ـ٤ـ ملاحظات در اندازه‌گیری RTT ٥٠
۳ـ۱ـ٤ـ کرانه‌های RTT ٥١
٤ـ۱ـ٤ـ تغییرات RTT در ارتباطات ٥٢
۲ـ٤ـ تغییرات OTT ٥٧
۱ـ ۲ـ٤ـ چرا کرانه‌های OTT آنالیز نمی‌شوند؟ ٥٧
۲ـ۲ـ٤ـ محدوده تغییرات OTT ٥٨
۳ـ۲ـ٤ـ تغییرات OTT در مسیر قرینه ٥٨
٤ـ۲ـ٤ـ رابطه میان نرخ گم‌شدن بسته‌ها و تغییرات OTT ٦١
٥ـ۲ـ٤ـ رشد تدریجی تغییرات OTT ٦٢
٦ـ۲ـ٤ـ حذف بار از OTTها ٦٣
۳ـ٤ـ فشردگی زمانی ٦٧
۱ـ۳ـ٤ـ فشردگی تصدیق ٦٨
۲ـ۳ـ٤ـ فشردگی زمانی بسته‌های داده ٧١
۳ـ۳ـ٤ـ فشردگی گیرنده ٧٢
٤ـ٤ـ آنالیز صف ٧٣
٥ـ٤ـ پهنای باند در دسترس ٧٨
نتایج و پیشنهادات ٨٤
پیوست۱: مروری بر قرارداد NTP ٨٦
پیوست۲: داده‌های خام جمع‌آوری شده ٩١
پیوست۳: توزیع پاراتو ٩٢
پیوست٤: توابع و اشیاء اصلی ٩٣

فهرست

صفحه

مراجع ۱۰۱

فهرست شکلها و نمودارها :

صفحه

شکل ۰ـ۱ـ نمای کلی روش اندازه‌گیری و آنالیز ۱ـ۳

شکل ۱ـ۱ـ مدل self_clocking بر گرفته از مرجع [Ja88] ۱٤

شکل ۱ـ۲ـ نمودار OTT دو مسیر رفت وبرگشت. در این شکل بسته‌های ارسالی توپر و بسته‌های دریافتی توخالی هستند. ۲٤

شکل ۲ـ۲ـ همان شکل ۱ـ۲ بعد از حذف اعضا نویزدار ۲۵

شکل ۳ـ۲ـ نمودار OTT نشان دهنده انحراف بین دو ساعت..... ۲۷

شکل ٤ـ۲ـ توزیع R(n,k) به ازای n=15..... ۳۰

شکل ۱ـ٤ـ توزیع نسبت ماگزیمم RTT به مینیمم RTT..... ۵۲

شکل ۲ـ٤ـ توزیع مکمل نسبت ماگزیمم RTT به مینیمم RTT (در مقیاس لگاریتمی) ۵۳

شکل ۳ـ٤ـ توزیع نسبت معکوس (نسبت مینیمم RTT به ماگزیمم RTT) ۵۳

شکل ٤ـ٤ـ نمودار کوانتایل از مینیمم RTT به ماگزیمم RTT (محور yها) و توزیع نرمال (محور xها) .. ۵٤

شکل ۵ـ٤ـ توزیع IQRهای RTT..... ۵۵

شکل ٦ـ٤ـ توزیع IQRهای RTT که با مینیمم RTT نرمالیزه شده‌اند ۵۵

شکل ۷ـ٤ـ توزیع تفاضل ماگزیمم RTT ومینیمم RTT که با IQR نرمالیزه شده است ۵٦

شکل ۸ـ٤ـ توزیع‌های IQR و ماگزیمم ـ مینیمم تغییرات OTT..... ۵۸

شکل ۹ـ٤ـ نمودار دانه‌ای از تغییرات IQR بسته‌های دادهٔ بی‌بار برحسب تغییرات IQR بسته‌های تصدیق ٦۱

شکل ۱۰ـ٤ـ چگونگی تغییر IQR تغییرات OTT نرمالیزه شدهٔ بسته‌های تصدیق با زمان است..... ٦۲

شکل ۱۱ـ٤ـ چگونگی تغییر IQR تغییرات OTT خام بسته‌های تصدیق برحسب زمان..... ٦۳

شکل ۱۲ـ٤ـ نمودار OTTها زمانیکه پهنای باند گلوگاه اشتباها خیلی کوچک تخمین زده شده است. ٦۵

شکل ۱۳ـ٤ـ نمودار OTTها زمانیکه تغییر پهنای باند گلوگاه تشخیص داده نشده است. ٦۵

شکل ۱٤ـ٤ـ نمودار OTTهای مجازی که صف ارتباط آنها را باردار نموده است..... ٦٦

شکل ۱۵ـ٤ـ نمودار بزرگ شدهٔ OTTهای تنظیم شده در شکل (۱٤ـ٤). ٦٦

شکل ۱٦ـ٤ـ نمودار زوج بسته‌های نشان دهندهٔ فشردگی تصدیق..... ٦۹

شکل ۱۷ـ٤ـ فشردگی زمانی بسته‌های داده ۷۱

شکل ۱۸ـ٤ـ نمودار فشردگی نوع اصلی گیرنده ۷۲

شکل۱۹ـ٤ـ نمودار OTT بسته‌های تصدیق برای ارتباطی با $\hat{\tau} = 4\sec$ برای ΔQ_τ ۷۵

شکل ۲۰ـ٤ـ نمودار OTT بسته‌های تصدیق برای ارتباطی با $\hat{\tau} = 1\sec$ برای Q_τ^{Max} ۷٦

شکل۲۱ـ٤ـ بخشی از ارتباطهای نرمالیزه شده با فاصله زمانی شامل تغییرات پایدار تاخیر ۷۷

شکل۲۲ـ٤ـ بخشی از ارتباطهای نرمالیزه شده با فاصله زمانی شامل ماگزیمم حداکثر تاخیر ۷۷

شکل ۲۳ـ٤ـ توزیع نسبت پهنای باند در دسترس(β) ۸۳

فهرست شکلها و نمودارها

صفحه

شکل ۱ـ۱پ ـ مدل پیاده‌سازی قرارداد NTP ۸۸
شکل ۲ـ۱پ ـ سرآمد بسته‌های NTP ۸۹
شکل ۳ـ۱پ ـ آفست بر حسب تاخیر(RTT) ۹۰

مقدمه: روش اندازه‌گیری و آنالیز تاخیر

با رشد روز افزون شبکه اینترنت، اندازه‌گیری وتعیین مشخصه‌های پویای اینترنت مشکلتر شده است. بخشی از این مشکل مربوط به تغییر سریع شبکه‌ها می‌باشد. شبکه‌های اینترنتی در دهۀ اخیر هر سال بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد رشد داشته‌اند. همچنین قراردادها و الگوریتم‌های استفاده شده در آنها در مدتی کمتر از سال و حتی ماه تغییر یافته‌اند[Pa94b,CBP94].

مشکل دیگر، گوناگونی شبکه‌های موجود در شبکه اینترنت و افزایش آنها می‌باشد. این گوناگونی باعث ایجاد مشکلات زیادی در اندازه‌گیری رفتارهای مختلف موجود در شبکه می‌شود. در این بخش انواع مختلف ترافیکها و تحقیقاتی که بر روی آنها انجام شده است. مطرح و بررسی می‌شود. در شبکۀ اینترنت به روشهای مختلفی می‌توان تاخیر را اندازه‌گیری و مورد آنالیز قرار داد. در این پروژه اندازه‌گیری و آنالیز تاخیر بسته‌ها بصورت مبدا-مقصد[1]، انجام شده است. شاید بتوان گفت که این نوع اندازه‌گیری بیشترین مشکلات مربوط به گوناگونی شبکه‌ها در اینترنت را بهمراه خود دارد.

در این نوع اندازه‌گیری، تاخیر از نظر کاربر انتهایی در مبدا و مقصد مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای کاربران شبکه اینترنت، شبکه مانند جعبه‌ای است که داده‌ها از میان آن به سیستم‌ها و کاربران مختلف می‌رسد. آنالیز مسائل گوناگون شبکه، بخصوص تاخیر، بصورت مبدا-مقصد با توجه به گوناگونی مسیرها و قراردادهای مختلف شبکه پدیدۀ پیچیده‌ای می‌باشد.

---

[1] end-to-end

تعداد کمی از تحقیقاتی که تاکنون انجام شده‌اند بصورت مبدا-مقصد می‌باشند. از جمله تحقیقاتی که بصورت مبدا-مقصد انجام شده‌اند عبارتند از: تحقیقات مغول[1] در بررسی فشردگی زمانی بسته‌های تصدیق [MO92]. تحقیقات بولت[2] برای آنالیز الگوهای تاخیر و گم شدن بسته‌ها و تحقیقات کلفی[3] که مشخصه‌های تاخیر تک-مسیر[4] را مورد بررسی قرار گرفته است. آنالیزهایی که در این تحقیقات انجام شده‌اند بصورت دستی بوده و در بیشتر آنها گوناگونی شبکه در نظر گرفته نشده است. با توجه به اینکه آنالیز داده‌های جمع آوری شده در آنها بصورت دستی بوده، می‌توان بطور منطقی نتیجه گرفت که این روش‌ها در مسیرهای محدودی قابل استفاده می‌باشند. آخرین تحقیقاتی که بصورت مبدا-مقصد انجام شده، تحقیقات پاکسون[5] می‌باشد[Pa97b]. پاکسون مسیریابی و پویایی بسته‌ها را به روش مذکور انجام داده و برای آنالیز ارتباطات برنامه‌ای را تهیه و تنظیم نموده است. پاکسون رفتار قرارداد TCP[6] را بطور کامل در آنالیز بسته‌ها در نظر گرفت. در این پروژه با توجه به تحقیقات پاکسون، روش مناسبی را برای اندازه‌گیری و آنالیز تاخیر انتخاب نمودیم.

اولین نکته قابل توجه در اندازه‌گیری تاخیر و سایر پارامترهای شبکه، کالیبره نمودن اندازه‌گیری است. هدف از کالیبراسیون تشخیص خطای اندازه‌گیری و تصحیح و یا حذف خطا از داده‌های بدست آمده می‌باشد. با توجه به اهمیت رفتار TCP در آنالیز بسته‌ها و گستردگی آن، در راستای این پروژه، پروژهٔ کارشناسی برای بررسی آن تعریف و انجام شد[محبی-۷۸]. در این پروژه الگوریتم‌های مختلف کنترل ازدحام، کنترل جریان، اجتناب از ازدحام و پیاده سازیهای مختلف آنها مورد بررسی قرار گرفت.

در اندازه‌گیری انواع تاخیر، بخصوص تاخیر تک-مسیر بسته‌ها، صحت و هماهنگی بین ساعتهای مبدا و مقصد اهمیت زیادی پیدا می‌کند. بنابراین برای دستیابی به تحلیلی صحیح ابتدا باید اندازه‌گیریهای دقیقی داشت. به همین دلیل ساعتهای مبدا و مقصد باید نسبت به یکدیگر کالیبره شوند. در فصل ۲ جزئیات کالیبره نمودن ساعتهای مبدا و مقصد توضیح داده خواهد شد.

همچنین به منظور ارزیابی صحیح تاخیر بسته‌ها باید پهنای باند گلوگاه[7] هر ارتباط مشخص شود. پهنای باند گلوگاه، حداکثر نرخی است که بسته‌ها می‌توانند از بستر ارتباطی شبکه عبور کنند. این نرخ نقش اساسی در تعیین فاصلهٔ زمانی ارسال بسته‌ها دارد. زیرا هنگامیکه این فاصلهٔ زمانی کوچک و نرخ ارسال بسته‌ها بیش از پهنای باند گلوگاه باشد، بسته‌ها الزاما در صف قرار خواهند گرفت. وضعیت شبکه در چنین حالتی تحت تاثیر این بسته‌ها قرار می‌گیرد. بنابراین وضعیت شبکه را در دو حالت، حالت اخیر و حالتی که

---

[1] Mogol

[2] Bolot

[3] Claffy

[4] One-way delay

[5] Paxon

[6] Transmission Control Protocol

[7] Bottelneck Bandwidth

نرخ ارسال بسته‌ها کمتر از پهنای باند گلوگاه است، باید مورد بررسی قرار داد. در فصل ۳ ابتدا توضیح مختصری در مورد روش زوج بسته‌ای[۱] در تعیین پهنای باند گلوگاه ارائه می‌شود و سپس این روش توسعه داده و روش مطمئن‌تری[۲] بنام "Packet Bunch Modes" (PBM) برای تعیین پهنای باند گلوگاه بدست می‌آید.

در فصل ٤ الگوهای تاخیر در شبکه اینترنت آنالیز می‌شوند. در این فصل تغییرات و کرانه‌های زمانهای رفت و برگشت بسته (RTT[۳])، زمانهای انتقالهای تک-مسیر (OTT[٤])، تقارن تغییرات OTT در دو مسیر رفت و برگشت، انواع فشردگی زمانی، فاصله‌های زمانی که در آنها صفها ایجاد می‌شوند و میزان پهنای باند در دسترس[٥] مسیرهای انتقال داده در شبکه اینترنت مورد بررسی قرار می‌گیرد. در آخرین فصل خلاصه‌ای از گزارش پروژه و پیشنهادهایی برای ادامهٔ پروژه و کارهای آتی ارائه می‌شود.

در ادامهٔ این فصل ابتدا به روشهای اندازه‌گیری استفاده شده در این پروژه اشاره می‌شود و سپس مرور مختصری بر رفتار قرارداد TCP خواهد شد.

۱ـ۱ـ روشهای اندازه‌گیری

در این بخش نحوهٔ آزمایشهای انجام شده برای اندازه‌گیری تاخیر و چگونگی آنالیز آنها مورد بحث قرار می‌گیرد. نمای کلی روش اندازه‌گیری و آنالیز در شکل ۰ـ۱ نشان داده شده است.

۱ـ۱ـ۱ـ مسائلی که در اندازه‌گیریها باید در نظر گرفته شود

در این پروژه برای اندازه‌گیری تاخیر از انتقال فایلهای ۱۰۰ کیلو بایتی از لایهٔ TCP در مسیرهای مختلف اینترنت استفاده می‌شود. در بخش ۲ـ۱ـ۱ علل استفاده از TCP بیان خواهد شد. فایلها بطور یکطرفه منتقل می‌شوند، یعنی داده‌های فایل تنها در یک مسیر جریان پیدا می‌کنند. چنین ارتباطهایی به نام انتقال فله‌ای[٦] شناخته می‌شوند[DJCME92,Pa94a]. در شبکهٔ اینترنت کلاسهای مختلف ارتباطی مانند چند قالبی[۷]، درخواست/پاسخ[۸]، محاوره‌ای[۹]، بلادرنگ[۱۰] وجود دارد. تمام این ارتباطها برای ارسال داده‌های خود، داده‌ها را

---

[۱] Packet pair

[۲] Robust

[۳] Round-Trip Time

[٤] One-way Transit Time

[٥] Available Bandwidth

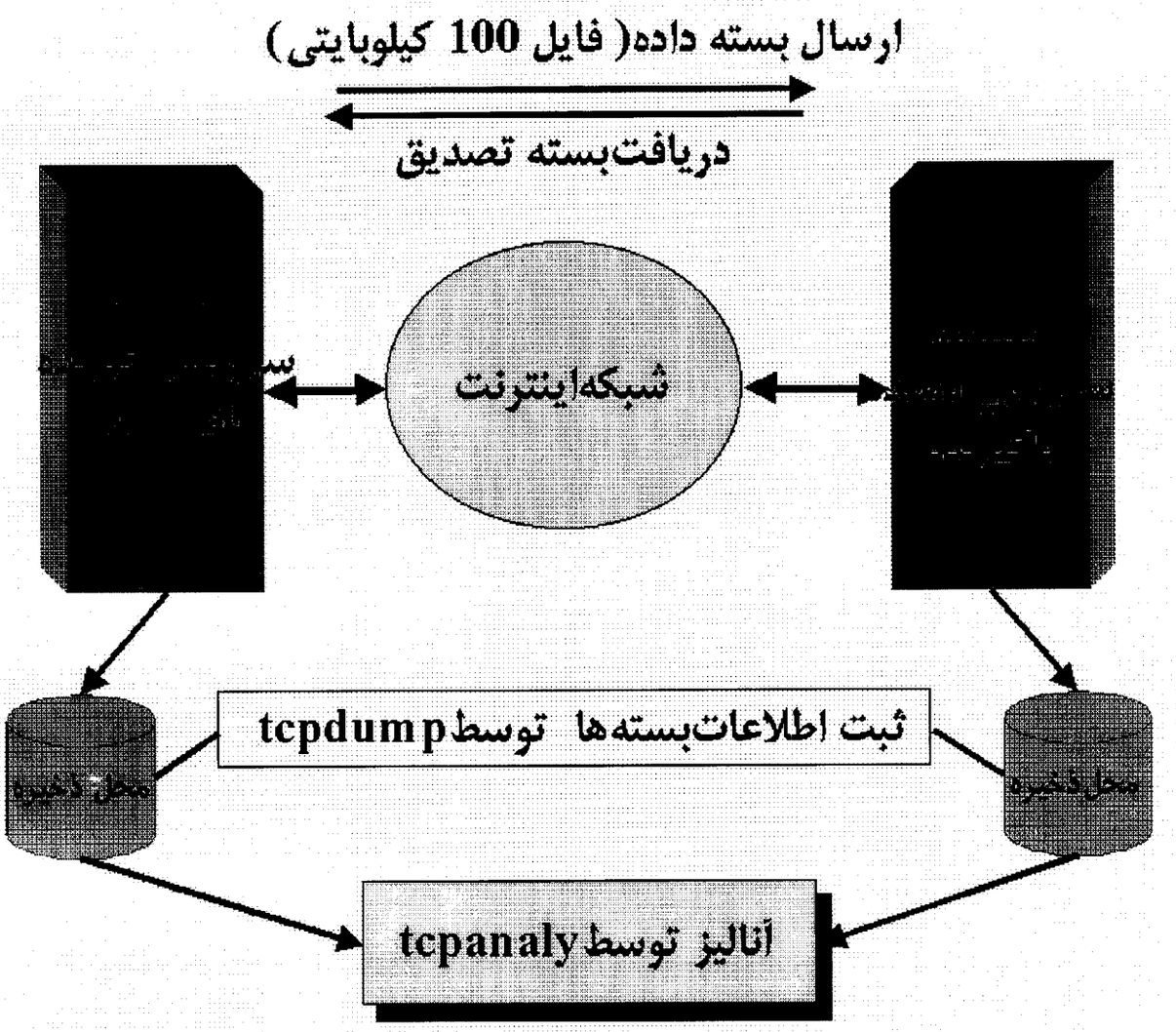
[٦] Bulk transfers

[۷] Multicast

[۸] request/response

[۹] interactive

[۱۰] real-time



شکل ۰ـ۱ـ نمای کلی روش اندازه‌گیری و آنالیز