

اینترنت: مدل‌بندی ترافیک برای بهتر اداره‌کردن آنها

نویسنده: فرانسوا باچلی^۱

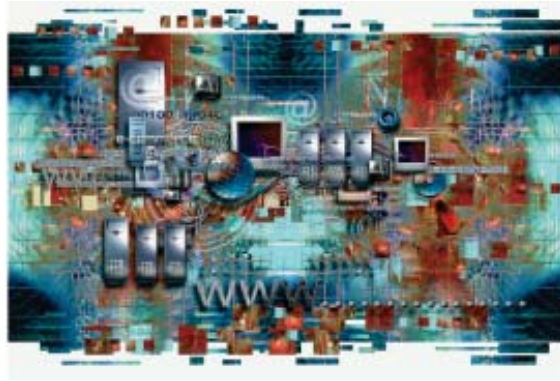
مترجم: فائزه توتونیان

ویراستاران: فرج‌الله محمودی، ارسلان شادمان

متخصصین شبکه‌های ارتباطی می‌کوشند تا خصوصیات آماری ترافیک داده‌هایی را که باید به مقصد برسانند، خوب بفهمند. اداره این شبکه‌ها و توسعه آنها به این مطلب بستگی دارد.

شبکه‌های ارتباطی (تلفن، اینترنت، شبکه‌های محلی و غیره) در طی دهه‌های اخیر، توسعه فوق‌العاده‌ای یافته‌اند. برای متصدیان آنها سؤال اصلی این است که بتوانند جریان اطلاعات را به طریق بهینه کنترل کنند، تا از هرگونه تنگنا جلوگیری به عمل آورند و سرویسی با کیفیت خوب، قابل اعتماد، و سریع به کاربران ارائه دهند. بنابراین برای درک شیوه‌های کارآمد در کنترل گردش اطلاعات، برای تعیین ابعاد صحیح نرم‌افزارها و تجهیزات مادی لازم، شناخت عمیقی از خواص ترافیک ارتباطها در چنین شبکه‌هایی لازم می‌باشد.

^۱ Baccelli, François, *Internet: modéliser le trafic pour mieux le gérer*,
in: L'explosion des mathématiques, SMF et SMAI, Paris, 2002, p. 75-79



شبکه اینترنت همانند آنچه شبکه‌های ارتباطی در گذشته بودند، متمرکز نیستند. همچو تغییرات ساختاری انعکاس‌های عمیقی بر خصوصیات ریاضیات ترافیک داده‌ها دارند. عکس از (Getty Images)

تحلیل ریاضی ترافیک در شبکه‌های ارتباطی یک نظام نسبتاً قدیمی است. این تحلیل به سال ۱۹۱۷ با کارهایی که توسط مهندس دانمارکی آگنر. ک. ارلانگ^۱ انجام گرفت، برمی‌گردد. کار او که توسط محقق‌های بسیار دیگری دنبال شد، ابزار اصلی ریاضی جهت تعیین ابعاد توسط متصدیان و سازنده‌های شبکه‌ها را تا حدود سالهای ۱۹۹۰ فراهم ساخت.

تا سالهای ۱۹۹۰ مدل‌بندی ترافیک شبکه‌ها توسط قوانین آماری کلاسیک کفایت می‌نمود

در اصول مدل‌بندی ترافیک، روش ریاضی استفاده شده توسط ارلانگ و محقق‌ها و مهندسیین دیگر بعد از او، روش مارکوفی است. این به آن معنی است که او ترافیک را با تکیه بر یک مدل ساده از فرایندهای تصادفی، یعنی زنجیرهای مارکوف بیان کرده است، که در این مورد نظریه ریاضی کاملاً پیشرفته و توانا می‌باشد (آندره‌یی مارکوف^۲ ۱۹۲۲ - ۱۸۵۶) یک ریاضیدان روسی است که سهم بسزایی در نظریه احتمال داشته است). به طور ساده یک زنجیر مارکوف دنباله‌ای از پیشامدهای تصادفی است، که در آن احتمال یک پیشامد داده شده، فقط به پیشامد بلافاصله قبل بستگی دارد. در چارچوب شبکه‌های ارتباطی، در روش مارکوفی ارلانگ، فرض بر این است که قوانین آماری مشخص‌کننده ترافیک، قوانین پواسون هستند؛ قانون پواسون یکی از متداول‌ترین و ساده‌ترین قوانین

^۱ Agner K. Erlang

^۲ Andreï Markov

احتمال یا آمار است، نام این قانون از ریاضیدان فرانسوی دُنی پواسون^۱ (۱۸۶۰ - ۱۷۸۱) گرفته شده است. فرضیهٔ مبتنی بر قانون پواسون برای ترافیک تلفنی توجیه‌پذیر بود (در ترافیک تلفنی پیشامدهای تصادفی تلفن‌های مشترکین هستند که در لحظه‌های تصادفی رخ می‌دهند و مدت آنها نیز تصادفی است).

این نوع مدل‌بندی ترافیک اجازهٔ تدوین شیوه‌های متناسب کنترل را فراهم کرده است. تا تاریخی نسبتاً جدید، کنترل شبکه‌های ارتباطی یک کنترل پذیرشی بوده است، یعنی هنگامی که شبکه نمی‌تواند یک کیفیت خدماتی از پیش تعریف شده را تضمین کند متصدی به استفاده کننده، اجازهٔ ورود به شبکه را نمی‌دهد. این نوع کنترل مستلزم یک شناخت کاملاً دقیق از وضعیت کلی شبکه است، و در نتیجه جز برای شبکه‌هایی که به طریق مرکزی اداره می‌شوند، امکان‌پذیر نیست.

اما شبکه‌های ارتباطی امروزه دیگر شبکه‌های دیروزی نیستند. اینترنت پیشرفت شگفت‌انگیزی در پنج سال گذشته داشته است (تخمین زده‌اند که ترافیک ارتباطی صوتی ۹۰٪ ترافیک کلی در ۱۹۹۴، ۵۰٪ در ۲۰۰۰ است حال آن که فقط ۱۰٪ از آنرا در یکی دو سال آینده نشان خواهد داد). این پیشرفت اساساً وضعیتی را که بیش از نیم قرن پایدار بوده تغییر داده است. دلایل عمیق این پیشرفت سریع، در زمینهٔ پیشبرد اطلاعات و کنترل ترافیک، استفاده از قراردادهای جدید مسیریابی و کنترل غیر مرکزی است (مسیریابی IP برای قرارداد اینترنت^۲ و TCP، برای قرارداد کنترل انتقال^۳)، که شبکهٔ اینترنت را به طور نامحدودی قابل گسترش می‌سازد.

ویژگی‌های آماری ترافیک تغییر کرده‌اند. باید فهمید که چگونه و چرا؟

این تغییرات ساختاری، پیامدهایی بر ترافیک و خصوصیات آماری آن داشته است و می‌بایست که یک نظریهٔ ریاضی منطبق بر داده‌های جدید توسعه یابد. از این رو تحلیل‌های آماری انجام شده در اواسط سال‌های ۱۹۹۰ توسط پژوهشگران بل کور^۴ در ایالات متحده آمریکا و پژوهشگران مؤسسهٔ INRIA (انستیتو ملی تحقیق در انفورماتیک و

^۱ Denis Poisson

^۲ Internet Protocol

^۳ Transmission Control Protocol

^۴ Bellcore

اتوماتیک^۱) در فرانسه، ابتدا بر روی شبکه‌های محلی و سپس روی وب نشان داده‌اند که ترافیک دیگر نمی‌تواند به کمک قوانین احتمال پواسون بیان شوند. به ویژه فرایندهای تصادفی با حافظه‌های طولانی (که در آن احتمال یک پیشامد به پیشامدهایی که در گذشته نسبتاً دور رخ داده‌اند، بستگی دارد) را ملاحظه می‌کنیم که هر مدل بندی معمولی مبتنی بر فرایندهای مارکوفی کلاسیک را رد می‌کنند. اغلب این فرایندها خواص آماری دیگری هم دارند که به نام چند - فراکتالی نیز معروفند، و با این نام، بی‌نظمی فراوان آنها را بیان می‌کنند. بنابراین تمام این خواص آماری پیامدهای مهمی دارند، از جمله در مورد تعیین ابعاد حافظه‌های مسیریاب؛ در نظر نگرفتن آنها می‌تواند موجب بی‌توجهی به گم شدن بسته‌های اطلاعاتی توسط شبکه شود و اختلال‌هایی تا حد توقف در کار بوجود آورد.



کاربران شبکه‌های اینترنتی در یک کافی نت (سایبر کافی). به منظور تضمین عملکرد خوبی در شبکه، شناخت کامل خواص آماری جریان داده‌ها بر شبکه اینترنت، ضروری است.

به دنبال اولین مقالاتی که خواص آماری جدید ترافیک داده‌ها را روشن ساختند، کارهای بسیار زیادی به منظور توضیح آنها منتشر شده‌اند. امروز منشأ پدیده حافظه طولانی را که در آمار ترافیک تحقق می‌یابد، به خوبی می‌فهمیم. ضمناً توانسته‌ایم ثابت کنیم که این مسائل مستقیماً از توزیع آماری اندازه پوشه‌های موجود در کارگزارهای WEB و FTP (قرارداد انتقال فایل‌ها) و همچنین از اندازه فایل‌های تقاضا شده توسط استفاده کننده‌ها به هنگام درخواست‌های HTTP (قرارداد انتقال ابرمتن‌ها، که به هنگام کار روی وب از آن استفاده می‌شود) و FTP، ناشی می‌گردند. منحنی‌های آماری آنها، یعنی

^۱ Institut national de recherche en informatique et en automatique

منحنی‌های نمایش دهنده تعداد فایل‌های مورد مبادله یا مراجعه بر حسب اندازه، برای مقادیر بزرگ با سرعتی کمتر از یک منحنی نمایی، از دو طرف بیشینه‌هایشان کاهش می‌یابند: گفته می‌شود که قانون احتمال آنها زیر-نمایی^۱ است. آنچه که نشان داده شده است این است که انطباق و ادغام قوانین آماری زیر-نمایی که رفتار فردی کاربران شبکه‌های اینترنتی از آنها پیروی می‌کند، با توجه به تعداد فروان این کاربران، یک نتیجه مستقیم دارد و آن هم حافظه طولانی است که ترافیک سراسری را مشخص می‌نماید.

تحلیل قرارداد TCP و اثرهای آن به منظور بهبود اداره شبکه اینترنت

هنوز همه مسائل روشن نشده‌اند. کارهای فعلی حول توصیف خواص آماری ترافیک شبکه در مقیاس‌های کوچک زمان متمرکزند، به ویژه خاصیت چند-فراکتالی در مرکز توجه است. شایع‌ترین فرضیه این است که این خاصیت از قراردادهای کنترلی استفاده شده، و به ویژه از قرارداد TCP نتیجه می‌شود. اما قرارداد TCP که نزدیک به ۹۰٪ ترافیک روی اینترنت را کنترل می‌کند، از چه تشکیل می‌شود؟ این قرارداد مربوط به کنترل تطبیقی جریان ترافیک است که در آن میزان اطلاعات ارسالی از یک منبع توسط الگوریتمی فرماندهی می‌شود که آن را در طول زمان انتشار به طور خطی افزایش می‌دهد، مگر اینکه در عمل انسدادی رخ دهد؛ اما به محض این که گم شدن‌هایی مشاهده شود، الگوریتم جریان انتشار را تا نصف کاهش می‌دهد.

این کنترل تطبیقی است که هر پاسخی را در اثنای ترافیک زیاد شبکه تنظیم می‌کند. تحلیل ریاضی آن با دشواری‌های عدیده‌ای همراه است، به دلایل گوناگون از قبیل عدم تمرکز، تصادفی بودن (انسداد و گم شدن‌ها به صورت تصادفی رخ می‌دهند)، غیرخطی بودن (اثرها فقط متناسب با علت‌ها نیستند)، پیچیدگی (شبکه بسیار گسترده‌ای، که موجب برخوردهایی بین تعداد زیادی مسیرهای میانی می‌شود). بنابراین، فراهم کردن مدل‌های دربرگیرنده همه این عناصر کاری بزرگ و شایان توجه است، به ویژه در هر یک از موارد زیر: تعریف قواعد تعیین ابعاد، بهینه‌سازی جریان‌ها یا پیش‌بینی و کنترل تغییرات تصادفی کیفیت سرویس ارائه شده توسط شبکه به مشتریان.

^۱ sous-exponentielle

مبارزجویی های علمی و سرمایه گذاری های اقتصادی، که دانشگاه ها و صنایع را به تحرک وامی دارند

چنین هدفی ایجاب می کند تلاش های تحقیقاتی در زمینه های مختلف (آمار، نظریه احتمال و صف های انتظار، کنترل تطبیقی دستگاه های غیرخطی، نظریه شبکه های بزرگ تصادفی و دستگاه های پویا) انجام شوند، و ناچار از شیوه های سنتی فراتر روند. در این راستا در سال های اخیر تعداد زیادی مدل های بیش و کم ساده ارائه شده اند. برخی از این شیوه ها ویژگی چند - فراکتالی ترافیک سراسری (خاصیتی که در بالا ذکر شد) را در نظر می گیرند، برخی دیگر اجازه می دهند بررسی شود آیا تقسیم یک کانال ارتباطی بین چند جریان از داده های کنترل شده توسط TCP منصفانه است یا خیر و غیره.

پژوهش های کنونی بیشتر مربوط به تحلیل DiffServ می باشند، این روش مربوط به تفاوت گذاری بین سرویس های ارائه شده، و مبتنی بر ایجاد طبقه بندی های برتر برای مبادله داده ها است. به نظر می رسد که این روش تنها حرکت توسعه پذیر بوده و قادر به بهبود کیفیت سرویس در شبکه اینترنت است. محور مهم دیگر مربوط به تطبیق UDP^۱ می باشد که قراردادی برای استفاده از جریان داده های ویدئو (تصویری) و صوتی می باشد، یعنی جریان هایی که توسط TCP تنظیم نمی شوند، هدف این است که مدل های انتقالی برای این جریان ها طوری تعریف شوند که با TCP سازگار باشند.

در برابر این سؤال ها که مبارزه های علمی و سرمایه گذاری های اقتصادی بسیار مهمی را می طلبند، جهان دانشگاهی و جهان صنعتی چگونه خود را تجهیز می کنند؟ بیشتر گروه های بزرگ صنعتی و تکنولوژی اطلاعات و مسوولین، گروه های تحقیقاتی بسیار توانایی تشکیل داده و بر روی مدل بندی ترافیک و کنترل در شبکه های داده ها و به ویژه شبکه اینترنت متمرکز گشته اند. تلاش جهان دانشگاهی نیز در این زمینه، به ویژه در آمریکا، اروپا و در برخی کشورهای آسیایی قابل توجه است که این تلاش ها با همکاری بین ریاضیدان ها و محقق های انفورماتیک و یا مهندسين الكترونيك انجام می شود.

اسنادی که بیشترین اثر را در رشد و ارتقاء شبکه اینترنت داشته اند بدون شک IETF^۲ است که می توان با آدرس <http://www.ietf.org> با آن تماس برقرار کرد. این پایگاه برای همه، خواه طراح شبکه یا پژوهشگر یا اپراتور باز است. فعالیت ها به صورت گروه های کاری

^۱ User Datagram Protocol

^۲ Internet Engineering Task Force

با زمینه‌های مختلف نظیر مسیریابی، امنیت، ترابری، کنترل ازدحام، کاربردها و غیره انجام می‌شوند. این گروه‌های کاری مسوول ارائه توصیه‌ها و سفارش‌هایی هستند که برخی از آنها به صورت قانون (قاعده) در خواهند آمد. تعیین اعتبار این سفارش‌ها توسط مطالعات ریاضی، از نوع آنچه که در این مقاله ذکر شد، مؤلفه‌ای مهم و گاهی اوقات قاطع از سلسله کارهایی است که برای قانونی شدن توصیه‌ها به عمل می‌آید.

فرانسوا باچلی

اینریا (انستیتوی ملی تحقیق در انفورماتیک و اتوماتیک)
و دانشسرای عالی یا اکول نورمال سوپریور (گروه انفورماتیک) پاریس

چند مرجع

- K. Park et W. Willinger (eds.), *Self similar traffic analysis and performance evaluation* (Wiley, 2000).
- P. Abry, P. Flandrin, M.S. Taqqu et D. Veitch, "Wavelet for the analysis, estimation and synthesis on scaling data", dans la référence ci-dessus.
- F. P. Kelly, A. K. Maulloo et D.K.H. Tan, "Rate control in communication networks: shadow prices, proportional fairness and stability", *Journal of the Operational Research Society*, 49, pp.237-252 (1998).
- R.Riedi et J. Levy-Vehel, "Fractional brownian motion and data traffic modeling: the other end of the spectrum", *Fractals in Engineering* (Springer-Verlag, 1997).
- M. Taqqu, W. Willinger et R. Sherman, "Proof of a Fundamental result in self similar traffic modeling", *Computer Communication Review*, 27, pp. 5-23 (1997).

- F. Baccelli et D. Hong, *Interaction of TCP flows as billiards*, rapport INRIA, avril 2002.

François Baccelli
INRIA (Institut national de recherche en
informatique et automatique) et
École Normale Supérieure
(Département d'informatique), Paris