
Simulation and Evaluation of Jitter and Packet Loss Noises Influence on Covert Timing Channel Performance

M. Saadati^{1*}, M. Deghani², M. Saleh Esfahani³

1- Master Student, Imam Hossein University

2, 3- PhD, Imam hossein University

(Reccive: 2014/04/25, Accept: 2014/12/01)

Abstract

Covert timing channels are used in transmitting information in a secret way. Jitter and packet loss are two important noises that affect Covert Timing Channel performance. Several studies on evaluating capacities and robustness of covert channels were done, but all those were based on measurement in real environment or computational methods. Measurement in real environment and computational methods do not have the capacity of creating special circumstances and evaluating the channel in those circumstances. In the present research, a covert timing channel on the Internet consisting two packet losses and jitter noises was simulated using Petri-Net. Also, capacity and robustness criteria of channel were evaluated. The results of the simulation showed that weibull distribution function to modeling HTTP traffic transmitter, laplacian distribution function to modeling network jitter and bernoulli distribution function to modeling packet loss are careful enough. Also, parameters of these models obtained to optimum capacity and robustness.

Keywords:

Simulation, Network Noise, Jitter, Packet Loss, Covert Timing Channel

شبیه‌سازی و ارزیابی تأثیر نویزهای لغزش زمانی و گم‌شدن بسته بر کارایی کانال زمانبندی‌دار پوششی

مجتبی سعادت^{۱*}، مهدی دهقانی^۲، محمود صالح اصفهانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین^(ع)

۲ و ۳- استادیار دانشگاه جامع امام حسین^(ع)

(دریافت: ۹۳/۰۲/۰۵، پذیرش: ۹۳/۰۹/۱۰)

چکیده

کانال زمانبندی‌دار پوششی یکی از فناوری‌هایی است که به واسطه آن می‌توان اطلاعات را به صورت مخفیانه تبادل نمود. لغزش زمانی و گم‌شدن بسته مهم‌ترین نویزهای مؤثر بر کارایی کانال‌های زمانبندی‌دار پوششی است. مطالعات گسترده‌ای در خصوص ارزیابی کانال‌های پوششی صورت گرفته است، ولی تمام ارزیابی‌های صورت گرفته در این حوزه، تاکنون مبتنی بر اندازه‌گیری در محیط واقعی یا روش محاسباتی بوده است. در روش‌های محاسباتی و اندازه‌گیری در محیط واقعی، امکان ایجاد شرایط خاص و آزمایش و ارزیابی کانال در آن شرایط وجود ندارند. در این تحقیق کانال زمانبندی‌دار پوششی و نویزهای لغزش زمانی و گم‌شدن بسته، با استفاده از شبکه پتری شبیه‌سازی شده و معیارهای ظرفیت و استحکام آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تابع توزیع ویبول برای مدل رفتار فرستنده ترافیک HTTP، توزیع لاپلاس برای مدل رفتار لغزش زمانی شبکه و توزیع مستقل برنولی برای مدل رفتار نویز گم‌شدن بسته‌های شبکه از دقت کافی برخوردارند. علاوه بر این، پارامترهای این مدل‌ها برای بهینه‌سازی ظرفیت و استحکام کانال نیز به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، نویز شبکه، لغزش زمانی، گم‌شدن بسته، کانال زمانبندی‌دار پوششی

۱. مقدمه

موجب وارد آمدن خسارات اقتصادی و اعتباری زیادی به سازمان‌ها شود. از دیدگاه محرمانگی، سازمان‌ها باید سازوکارهای پیشگیری و تشخیصی را، برای محافظت داده‌هایشان از هرگونه حمله یا نشت اطلاعات به کارگیرند. طبق بررسی CSI/FBI، نشت اطلاعات حساس از طریق شبکه، رایج‌ترین تهدید امنیتی سازمان‌ها است [۳]. آمارها نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۳ نشت اطلاعات جایگاه اولین تهدید را در فهرست ده تهدید اول به خود اختصاص داده است [۴].

در اینجا مسئله‌ای که وجود دارد این است که روش مناسبی برای مطالعه و تحقیق بر روی انواع کانال‌های زمانبندی‌دار پوششی وجود ندارد، به طوری که بتوان کارایی کانال زمانبندی‌دار پوششی را در هر شرایطی مورد ارزیابی قرار داد. نمی‌توان شرایط اولیه مورد نیاز برای برخی از آزمایش‌هایی که برای سنجش کارایی لازم است را مهیا نمود. تهیه شبکه‌های بسیار سریع یا خاصی که دارای ویژگی‌های فنی اختصاصی هستند و به طور دائم در حال تغییر و بروز رسانی می‌باشند، بسیار مشکل است. سؤالی که وجود دارد این است که چگونه می‌توان شرایط مناسب برای مطالعه و تحقیق بر روی کانال‌های زمانبندی‌دار پوششی در شرایط مطلوب را تأمین کرد.

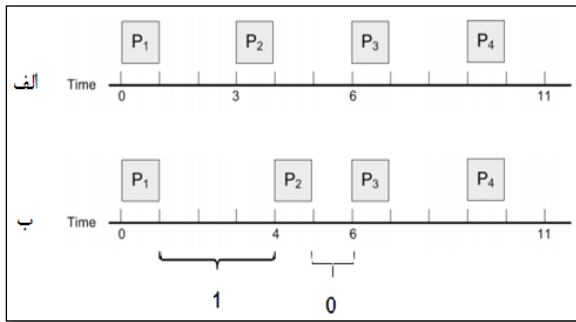
استفاده از فاصله‌های زمانی بین بسته‌ها، یکی از راه‌های پیاده‌سازی کانال‌های زمانبندی‌دار پوششی است. پیش از این تحقیقات بسیاری در خصوص ارزیابی کانال‌های پوششی صورت گرفته است، ولی تمام ارزیابی‌های صورت گرفته در این حوزه، تاکنون

شناسایی آخرین فناوری‌های مخفی‌سازی اطلاعات^۱ شامل پنهان‌نگاری^۲ و کانال‌های پوششی^۳ و مقابله با آن‌ها، از مهم‌ترین اقداماتی است که باید برای ممانعت از نشت اطلاعات در شبکه‌های رایانه‌ای انجام داد. موضوعات زیادی در خصوص پنهان‌نگاری و کانال‌های پوششی مطرح هستند که باید به آن‌ها توجه کرد. بعد از وقوع حملات ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۱ به پنتاگون و مراکز تجاری آمریکا، جرایم خبرهایی را در خصوص استفاده عوامل گروه القاعده از روش‌های پنهان‌نگاری برای ایجاد ارتباطات پنهان از دید عوامل فدرال دولت آمریکا انتشار دادند [۱]. در مورد جدیدتر، خبری مبنی بر به کارگیری ابزارهای مبتنی بر کانال پوششی و پنهان‌نگاری توسط ۱۱ تن از جاسوسان روسی برای تبادل اطلاعات محرمانه در جرایم انتشار یافت [۲].

اغلب کاربردهای کانال پوششی دارای نیت‌های بدخواهانه است. کانال‌های پوششی با ماهیت انگلی که دارند باعث مصرف منابع سیستم و نهایتاً کاهش کارایی سیستم نیز می‌گردند. نشت اطلاعات محرمانه سازمان یا اطلاعات خصوصی مشتریان سازمان می‌تواند

* رایانامه نویسنده مسئول: g8911486027@ihu.ac.ir

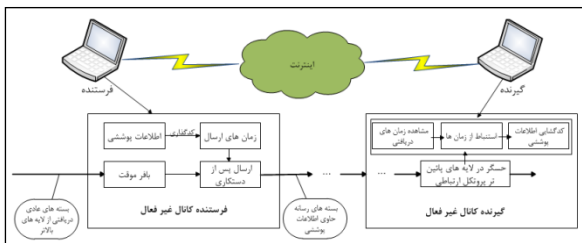
1. Information Hiding
2. Steganography
3. Covert Channels



شکل ۱. نحوه ایجاد کانال زمانبندی‌دار پوششی در بستر شبکه [۷]

۲.۲. کانال زمانبندی‌دار پوششی مبتنی بر زمان‌های بین بسته‌ها

طرح‌های کدگذاری متنوعی برای پیاده‌سازی کانال‌های زمانبندی‌دار پوششی مبتنی بر زمان‌های بین بسته‌ها ارائه شده است، اما تمامی این طرح‌ها به راحتی تشخیص داده می‌شوند [۸]. جیانویچنکو [۹] و سلک [۱۰] کانال‌هایی را ارائه کرده‌اند که تشخیص آن‌ها مشکل است. عمده کارهای صورت گرفته بر روی ترافیک TCP تمرکز کرده‌اند، زیرا آن به‌طور دائمی در اینترنت برقرار است و جریان دارد [۹، ۱۰]. البته درصدی از مطالعات در این حوزه نیز بر روی ترافیک UDP صورت گرفته است، چراکه پس از TCP بیشترین ترافیک جاری در اینترنت است. در یک کانال زمانبندی‌دار پوششی، اطلاعات با استفاده از فاصله بین بسته‌های متوالی، کدگذاری و سپس ارسال می‌گردد. زمانی که بسته‌های رسانه مورد استفاده، به‌منظور ایجاد کانال مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، فرستنده فاصله زمانی بین بسته‌های مجاور را تغییر می‌دهد تا بتواند اطلاعات را بر روی آن‌ها سوار کند. برای انجام این کار فرستنده باید بافرهایی را مهیا و تنظیم کند و بسته‌های ورودی را قبل از اینکه ارسال نماید، به‌صورت موقت در آن‌ها نگهداری کند. از اینجا به بعد به‌منظور تلخیص، بجای عبارت «کانال زمانبندی‌دار پوششی مبتنی بر زمان‌های بین بسته‌ها» از واژه «کانال» استفاده می‌گردد.



شکل ۲. طرح ارتباطی ایجاد کانال زمانبندی‌دار پوششی [۱۱]

۳.۲. خصوصیات کانال

طرح کلی ایجاد کانال در شکل ۲ دیده می‌شود. شکل ۳ ارسال اطلاعات در یک کانال را با جزئیات ارسال نشان می‌دهد. فرایند انجام کار بدین صورت است که تعداد n بسته به‌طوری که $3 < n < 5$ است، از

مبتنی بر اندازه‌گیری در محیط واقعی یا روش محاسباتی بوده است. روش‌های محاسباتی و روش‌های اندازه‌گیری در محیط واقعی، امکان ایجاد شرایط خاص و آزمون و ارزیابی کانال در آن شرایط را ندارند. در این تحقیق به‌منظور فراهم شدن امکان مطالعه و آزمایش در شرایط خاص، کانال زمانبندی‌دار پوششی مبتنی بر زمان‌های بین بسته‌ها، با استفاده از شبکه پتری رنگی شبیه‌سازی شده و معیارهای ظرفیت و استحکام آن، در شرایط مورد نظر ارزیابی خواهد شد. در بخش دوم به شرح کارهای مرتبط با این تحقیق پرداخته و در بخش سوم، پس از تعیین مدل رفتاری نویزهای کانال و مقادیر پارامترهای آن‌ها، شبیه‌سازی آن صورت خواهد گرفت. بخش چهارم به اجرای آزمایش‌ها و تحلیل و ارزیابی نتایج حاصل از شبیه‌سازی می‌پردازد. در نهایت بخش پنجم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از این تحقیق اشاره خواهد داشت.

۲. کارهای مرتبط

منظور از کانال پوششی، مخفی کردن داده‌ها در داخل رسانه‌های انتقال است، به‌طوری‌که وجود این داده‌ها قابل تشخیص نباشد و به اصل وظیفه رسانه خدشه‌ای وارد نشود. به عبارت دیگر کانال پوششی یک رسانه ارتباطی است که به‌طور ناخواسته و تصادفی در طراحی سیستم ایجاد شده است [۵]. کانال‌های پوششی به دو دسته انبارشی^۱ و زمانبندی‌دار^۲ تقسیم می‌شوند.

۲.۱. کانال زمانبندی‌دار پوششی

کانال زمانبندی‌دار پوششی به‌نوعی از کانال‌های پوششی گفته می‌شود که از علامت دادن از طریق زمان برای انتقال اطلاعات استفاده می‌کند [۶]. استفاده از زمان پاسخ یکی از منابع سیستم مثل پردازنده یا حافظه و استفاده از بستر اشتراکی شبکه برای ایجاد کانال زمانبندی‌دار پوششی، نمونه‌هایی از کانال‌های زمانبندی‌دار پوششی هستند. شکل ۱- الف) بیانگر وضعیت عادی زمان‌های بین بسته‌های در حال تبادل در داخل شبکه بوده و شکل ۱- ب) بیانگر کد کردن دو بیت اطلاعات با دست‌کاری زمان‌های عادی بین بسته‌های در حال تبادل است. این کانال‌ها داده‌های پوششی را در زمان بندی فریم‌ها، بسته‌ها یا پیام‌هایی که مستقیماً بین فرستنده و گیرنده یک ارتباط مبادله می‌شوند کدگذاری می‌نمایند. ظرفیت کانال‌های زمانبندی‌دار، اغلب کمتر از کانال‌های انبارشی فاقد نویز است، اما در عوض، تشخیص و حذف آن‌ها سخت‌تر است. کانال‌های زمانبندی‌دار پوششی را به‌طور عمده با استفاده از نرخ بسته^۳، زمان‌های بین بسته‌ها^۴، زمان بندی توالی پیام^۵، گم‌شدن بسته‌ها^۶ و بازترتیب بسته‌ها^۷ پیاده‌سازی می‌نمایند.

1. Storage
2. Timing
3. Packet Rate
4. Inter-Packet Times
5. Message Sequence Timing
6. Packet Loss
7. Reordering

صحتی دریافت نکنند؛ یعنی ممکن است گیرنده بجای مقدار «صفر»، مقدار «یک» را دریافت کند و یا به‌طور مشابه بجای مقدار «یک»، به‌واسطه وقوع خطا، مقدار «صفر» کدگشایی گردد. از یک محدوده برای مشخص کردن مقدار این انحراف در بین دو فاصله استفاده می‌گردد که آن را محدوده انحراف^۱ می‌نامند.

گم‌شدن بسته: اگر یک بسته رسانه در مسیر انتقال بین فرستنده و گیرنده در شبکه گم شود، دو فاصله مجاور یکدیگر باهم ترکیب‌شده و یک‌فاصله جدید ایجاد می‌کنند. این فاصله ترکیبی ایجاد‌شده، با هیچ‌یک از فاصله‌های ارسالی تطبیق ندارد و مقدار کدگشایی‌شده از این فاصله مقدار صحیح نخواهد بود.

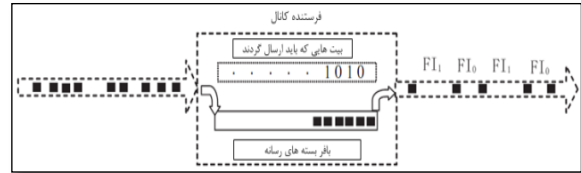
۲.۴.۱. مدل لغزش زمانی

امیر هومن صدر [۱۳] در بخشی از رساله خود اقدام به بررسی جهت تشخیص مدل لغزش زمانی کرده است، وی نشان داده است که مدل لغزش زمانی ترافیک شبکه، از توزیع لاپلاس تبعیت می‌کند. دانیل به‌طور گسترده‌ای بر روی سنجش رفتار لغزش زمانی شبکه مطالعه نموده است [۱۴]. وی در شبیه‌سازی خود با تعداد ۱۰۰۰۰ بسته، نشان داده است که مدل لغزش زمانی از توزیع لاپلاس تبعیت می‌کند. دومینگوئز و همکارانش [۱۵] نشان داده‌اند که مدل لغزش زمانی Alpha-Stable، مدلی مناسب بوده و در مواردی توزیع کوشی^۲ نتایجی را با تقریب قابل قبولی ارائه می‌دهد. ژویوی و همکارانش [۱۶] در مطالعه خود مدل دانیل [۱۴] را مورد بررسی قرار داده و آن را مدل مناسبی تشخیص داده است. بندهوپادیا و همکارانش [۱۷] نشان داده‌اند که لغزش زمانی را می‌توان بر اساس توزیع alpha-stable که خود شامل توزیع‌های گوسی، کوشی و لوی^۳ است، مدل نمود.

۲.۴.۱.۱. مدل گم‌شدن بسته

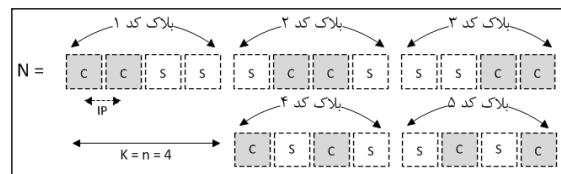
مطالعات گسترده‌ای در زمینه تشخیص مدل گم‌شدن بسته‌ها پیش‌از این صورت گرفته است. عبدالعظیمی و همکارانش در مطالعه خود، مدل گم‌شدن بسته‌ها را به دو دسته گم‌شدن بسته‌ها به‌صورت تصادفی و گم‌شدن بسته‌ها بر اساس مدل گیلبرت تقسیم‌بندی نموده است [۱۸]. در مطالعات صورت گرفته توسط انجمن صنایع ارتباطی [۱۹]، دو مدل گم‌شدن بسته‌های سیل‌آسا و مدل گم‌شدن بسته‌های ناشی از خرابی اتصالات ارائه شده است. در مطالعات شرکت سیسکو سیستم [۲۰]، به مدل گم‌شدن بسته برنولی و مدل دو وضعیتی زنجیره مارکوف که بنام مدل گیلبرت^۴ شناخته می‌شود اشاره شده است. فلین و همکارانش [۲۱]، موچاناک [۲۲] و آرنفین فلو [۲۳] نیز در مطالعات خود در این حوزه نتایجی مشابه فوق را کسب نموده‌اند. در جدول ۱ خلاصه‌ای از این نتایج ارائه شده است.

انتهای بافر برداشته می‌شود. در زمان ارسال، کدگذاری زمان‌های بین بسته‌ها بر روی آن n بسته انتخابی اعمال می‌گردد. بدین طریق بخشی از بیت‌های پوششی به سمت گیرنده ارسال می‌گردد. جهت بهبود نامحسوسی و استحکام کانال، از روش کدگذاری کم‌پشت [۱۲]، بر روی روش فاصله بین بسته‌ها استفاده شده است.



شکل ۳. انتقال اطلاعات در یک کانال با استفاده از بافرینگ [۱۱]

در این روش از تعداد کل بسته‌های موجود در کلمه‌کد، بخشی از آن به کار گرفته می‌شود؛ یعنی در این مطالعه از تعداد ۴ بسته‌ای که در هر کلمه کد قرار دارد، از ۲ بسته مجاور یکدیگر و دو بسته مستقل و غیر مجاور استفاده می‌شود و در هر یک از این حالات، ۲ بسته دیگر بدون هیچ تغییری به مقصد ارسال می‌گردد. در واقع می‌توان گفت که پنج حالت مختلف برای کدگذاری مطرح است. شکل ۴ این حالات را نشان می‌دهد. همچنین برای افزایش بیشتر نرخ نامحسوسی کانال، انتخاب این پنج حالت، به‌صورت تصادفی انجام می‌شود. نکته قابل توجه اینکه در سمت گیرنده کانال، ضرورت دارد زمان‌های وصول کلیه بسته‌های دریافتی تحت نظر قرار گیرد تا بتوان بسته‌های حاوی اطلاعات پوششی را مشخص و اطلاعات پوششی را از آن‌ها استخراج نمود.



شکل ۴. حالات مختلف کدگذاری کم‌پشت زمان‌های بین بسته‌ها

۲.۴.۲. نوبت‌های شبکه

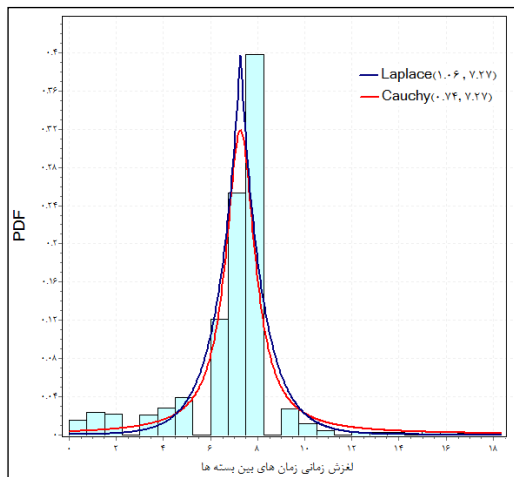
گیرنده اطلاعات را بر اساس مشاهده فاصله بین دو بسته رسانه مجاور یکدیگری که دریافت می‌کند، کدگشایی می‌کند. البته اطلاعات کدگشایی‌شده ممکن است به‌طور کامل صحیح نباشند. دو عامل ممکن است باعث ایجاد خطا در اطلاعات کدگشایی‌شده توسط گیرنده شود.

لغزش زمانی: این عامل همیشه در شبکه وجود دارد و نشان می‌دهد که تأخیرها در مورد بسته‌های مختلف، باهم متفاوت هستند و آن تأخیر در بین زمان‌های بین بسته‌های ارسالی از فرستنده و نظیر به نظیر آن، در سمت گیرنده نیز با یکدیگر تفاوت دارند. اگر اندازه لغزش زمانی بسیار زیاد شود، گیرنده ممکن است مقدار

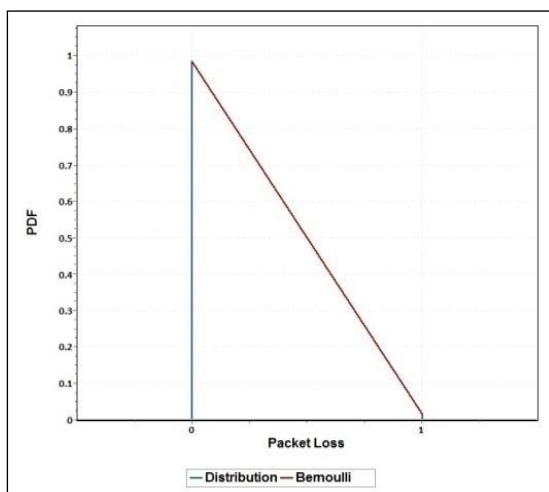
1. Deviation Range
2. Cauchy
3. Levy
4. Gilbert Model

۳.۱. مدل نوبزهای شبکه

جهت اطمینان از صحت نتایج تحقیق‌های پیش‌ازاین، اقدام به آزمایش بر روی مدل لغزش زمانی شبکه در شرایط مختلف نمودیم. لغزش‌های زمانی بین بسته‌ها، در ۵۰ سری داده‌ای که هر سری شامل ۵۰۰ بسته بود در بازه‌های زمانی متفاوتی از شبانه‌روز گردآوری گردید، شکل ۵ نتایج حاصل از آزمون نکوتی برازش بر روی داده‌های لغزش زمانی شبکه را نشان می‌دهد. در این بررسی مشاهده گردید که مدل لغزش زمانی در شبکه‌های مبتنی بر IP به‌طور معمول از توزیع لاپلاس تبعیت می‌نماید. به‌منظور انتخاب مدل مناسب گم‌شدن بسته‌ها آزمایش‌هایی لازم انجام شد. با توجه به نوع و ویژگی‌های کانال مشاهده گردید که مدل گم‌شدن بسته‌ها از نوع سیل آسا نیست، از طرفی خروجی آزمون نکوتی برازش، نشان داد که مدل رفتاری گم‌شدن بسته‌ها از توزیع مستقل برنولی تبعیت می‌نماید. شکل ۶ این نتایج را نشان می‌دهد.



شکل ۵. نتیجه آزمون نکوتی برازش بر روی داده‌های لغزش زمانی شبکه، توزیع لاپلاس را نشان می‌دهد.



شکل ۶. نتیجه آزمون نکوتی برازش بر روی داده‌های مربوط به گم‌شدن بسته، توزیع برنولی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. انواع مدل‌های گم‌شدن بسته در مطالعات پیشین در یک نگاه

ردیف	رفتار گم‌شدن بسته‌ها	روش مدل‌سازی
۱	گم‌شدن بسته به‌صورت غیر سیل آسا (تصادفی)	مدل برنولی یا مدل مستقل
۲	گم‌شدن بسته به‌صورت سیل آسا	مدل دو وضعیتی گیلبرت

۲.۵. شبکه پتری رنگی

شبکه پتری رنگی ابزاری مناسبی برای مدل‌سازی ریاضی و گرافیکی به حساب می‌آید. از این ابزار می‌توان برای مدل‌سازی، توصیف و تحلیل سامانه‌هایی که دارای ماهیتی همزمان، غیرهمزمان، توزیع‌شده، موازی، نامعین و اتفاقی هستند استفاده نمود. در واقع شبکه‌های پتری جزء مدل‌هایی هستند که قادرند به‌صورت همزمان حالت و عملکرد یک سیستم را نشان دهند. شبکه‌های پتری رنگی علاوه بر آن که دارای ساختار و تعاریف ریاضی هستند از نمایش گرافیکی نیز برخوردارند که این ویژگی درک شبکه‌های پتری را افزایش می‌دهد. از دیگر خصوصیات مهم آن قابل اجرا بودن آن‌ها است که از همین خاصیت می‌توان برای ارزیابی رفتار و کارایی یک سیستم بهره برد. امروزه نرم‌افزارهای قوی شبیه‌سازی وجود دارند که براساس شبکه‌های پتری رنگی کار می‌کنند. این ابزارها قادرند با انواع پردازش‌ها، به بررسی مشکلات احتمالی سامانه‌ها و تولید فضای حالت پرداخته و عملکرد کلی سیستم را شبیه‌سازی نمایند.

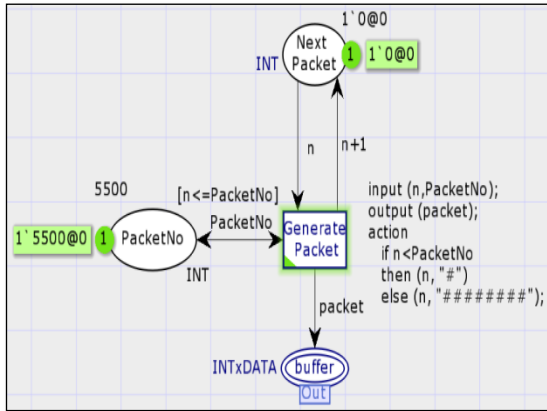
شبکه‌های پتری رنگی مبتنی بر زمان: یکی از مفاهیمی که در ارزیابی کیفی کارایی باید مورد توجه قرار گیرد، بحث زمان است. در شبکه‌های پتری رنگی مفهوم زمان از طریق عنصری به نام «ساعت سرتاسری» معرفی می‌شود. مقادیری که این ساعت اختیار می‌کند، بیان‌کننده‌ی زمان مدل است. این زمان می‌تواند یک عدد صحیح باشد که نشانگر زمان گسسته است یا می‌تواند یک عدد حقیقی باشد که بیان‌کننده‌ی زمان پیوسته است. همان‌طور که می‌توان به هر نشانه^۱ مقداری منتسب کرد، می‌توان به هر نشانه مقدار زمانی نیز نسبت داد. به این مقدار زمانی مهر زمانی^۲ گفته می‌شود. مهر زمانی بیانگر اولین زمان مدل است که در آن نشانه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و به‌وسیله‌ی اجرای انتقال از مکانی که حاوی آن بوده است، حذف می‌شود. در یک شبکه پتری رنگی مبتنی بر زمان، برای آنکه یک انتقال بتواند شلیک شود، لازم است که در حالت آماده قرار گیرد. زمانی انتقال در حالت آماده است که مهر زمانی نشانه‌های مکان‌های ورودی انتقال کوچک‌تر یا مساوی با زمان فعلی مدل باشد.

۳. شبیه‌سازی کانال زمان‌بندی‌دار پوششی

به‌منظور شبیه‌سازی کانال زمان‌بندی‌دار پوششی لازم است ابتدا مدل مناسبی از انواع نوبزهای شبکه انتخاب گردد.

1. Token
2. Time Stamp

در بخش کد گذر Generate Packet، مقادیر محتوای ارسالی هر بسته تنظیم می‌گردد. برای اعلام خاتمه تبادل بسته به گیرنده از رشته "#####" استفاده گردید. همچنین محتوای تمام بسته‌های ارسالی به مقدار "n" تنظیم شده است.



شکل ۹. زیرمدل مولد بسته‌های شبکه

در حالت عادی هدف از ارتباط بین فرستنده و گیرنده و با استفاده از بستر شبکه اینترنت، تبادل محتوا (مقدار "#") است؛ اما در این کانال هیچ استفاده‌ای از محتوای ارسالی نمی‌گردد، درواقع این رفتار بخشی از طبیعت عادی ارتباط بین فرستنده و گیرنده است.

کتابچه کد: برای تهیه کتابچه کد از روش کدگذاری ترکیبی استفاده شده است. روال کار بدین‌صورت است که ابتدا پیام محرمانه‌ای که باید از طریق کانال تبادل گردد در قالب یک فایل متنی دریافت می‌گردد، این فایل در برنامه‌ی جداگانه‌ای بر اساس روش کدگذاری ترکیبی و با روش ۴- بیت به ۲- بسته تبدیل به قالب زمان‌های بین بسته‌ای می‌شود. کتابچه کد مورد استفاده در شبیه‌سازی در جدول ۲ مشاهده می‌گردد.

جدول ۲. کتابچه کد ترکیبی مورد استفاده در شبیه‌سازی

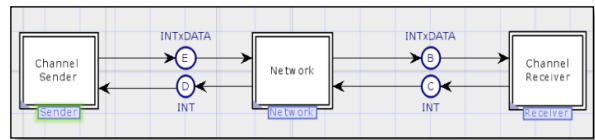
'0000': [30, 30],	'1000': [70, 70],
'0001': [30, 40],	'1001': [70, 30],
'0010': [30, 70],	'1010': [70, 40],
'0011': [30, 80],	'1011': [70, 80],
'0100': [40, 40],	'1100': [80, 80],
'0101': [40, 30],	'1101': [80, 30],
'0110': [40, 70],	'1110': [80, 40],
'0111': [40, 80],	'1111': [80, 70],

در برنامه‌ای مستقل، فایل متنی حاوی پیام محرمانه دریافت شده و با استفاده از این کتابچه کد، عمل تولید دنباله‌ای از زمان‌های بین بسته‌ها صورت می‌گیرد. این دنباله تولیدی به‌عنوان یک رشته ورودی در تابع Encoder() به‌عنوان پارامتر ورودی اول به‌کار گرفته می‌شود.

بافرینگ بسته‌ها: پس از تولید بسته‌های رسانه، این بسته‌ها باید در محلی نگه‌داشته شوند تا براساس زمان‌بندی که زیرمدل Packet Sender آن‌را معین می‌کند، جهت کدگذاری به زیرمدل

۲.۳. شبیه‌سازی کانال

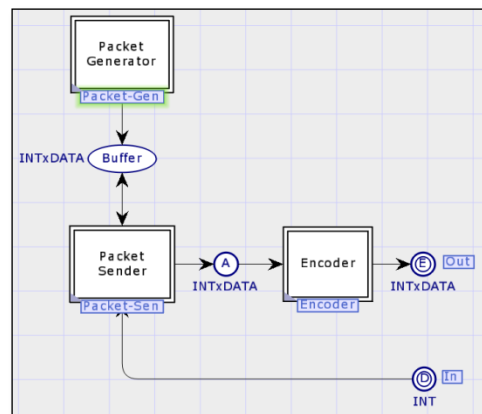
به‌منظور شبیه‌سازی کانال توسط شبکه پتری رنگی، از ابزار CPNTools استفاده نموده‌ایم. در شکل ۷ شمای کلی کانال شبیه‌سازی شده مشاهده می‌گردد. این مدل شامل سه زیرمدل اصلی فرستنده کانال، شبکه اینترنت و گیرنده کانال است.



شکل ۷. شمای کلی کانال شبیه‌سازی شده با ابزار CPNTool

۱.۲.۳. مدل فرستنده کانال

مدل فرستنده کانال دارای چند بخش اصلی، ورودی‌ها و خروجی‌هایی است. مولد اولیه بسته‌های رسانه، کتابچه کد، بافرینگ بسته‌ها، زیرمدل کدگذاری و توابع بخش فرستنده از مهم‌ترین بخش‌های این مدل است. شکل ۸ مدل فرستنده کانال را نشان می‌دهد. در مدل فرستنده ابتدا ترافیک اولیه ایجاد و سپس بافر می‌گردد، پس‌از آن بر اساس سازوکارهای کنترل زمانی، بسته‌ها به مدل کدگذاری وارد می‌شود. در این مدل ابتدا رفتار ترافیک بر اساس توزیع ویبول^۱ تغییر یافته و پس از کدگذاری، ترافیک از سوی فرستنده به مدل شبکه ارسال می‌گردد.



شکل ۸. مدل فرستنده کانال

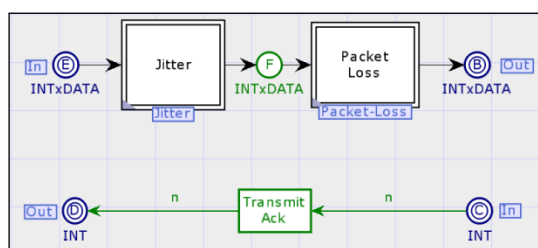
زیرمدل مولد اولیه بسته: در این بخش، بسته‌های شبکه با داشتن پارامترهای شماره ترتیب^۲، فاصله زمانی با بسته‌ی قبل از خود و محتوایی که هر بسته انتقال می‌دهد، تولید می‌گردد. شکل ۹ زیرمدل مولد بسته‌های شبکه را نشان می‌دهد. در مکان PacketNo و مقادیردهی‌های اولیه صورت می‌گیرد، تعامل بین مکان NextPacket و گذر Generate Packet باعث تولید تعدادی بسته بنا به تنظیمات اولیه مکان PacketNo می‌شود. در اینجا ۵۵۰۰ بسته تولید می‌گردد.

1. Weibull Distribution
2. Sequence Number

پارامتر اول تابع Encoder()، همان دنباله کتابچه کد است که بنا بر نیاز می‌تواند با مقادیر دیگری جابه‌جا گردد. لازم است یک بلوک ۵ عضوی بسازیم که ۲ عضو آن کدگذاری شده و ۳ عضو دیگر از توزیع ویبول پیروی نمایند. از این‌رو در تابعی ابتدا ۲ عضو از ابتدای کتابچه کد را واکنشی کرده و ۳ عضو دیگر با استفاده از تابع ویبول تولید می‌گردد. سپس در ۵ حالت مختلف که بر مبنای زمان‌های بین بسته‌ها است، این ۵ عضو تحت عمل چینش قرار گرفتند. در واقع ۵ چینش مختلف تولید می‌گردد که در هر فراخوانی یکی از بلوک‌های پنج‌گانه به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. در نهایت در هر مرحله که یک بسته به زیرمدل کدگذاری وارد می‌شود، یکی از عضوهای بلوک انتخاب‌شده توسط تابع Encoder() بازگردانده می‌شود. مقدار بازگشتی از مدل فرستنده کانال خارج شده و از طریق مدل شبکه اینترنت به سوی مدل گیرنده ارسال می‌گردد.

۳.۲.۲. مدل شبکه اینترنت

مدل شبکه اینترنت دارای چند زیرمدل، ورودی‌ها و خروجی‌هایی است. زیرمدل لغزش زمانی و زیرمدل گم‌شدن بسته از مهم‌ترین بخش‌های این مدل است که در ادامه به تشریح آن‌ها خواهیم پرداخت. شکل ۱۲ مدل شبکه اینترنت را نشان می‌دهد. در این مدل بسته‌هایی که فرستنده ارسال می‌کند، ابتدا تحت تأثیر لغزش زمانی شبکه قرار گرفته و سپس نویز گم‌شدن بسته‌ها بر روی آن‌ها اعمال می‌گردد. در نهایت بسته‌ها به گیرنده تحویل می‌گردد. در این مقاله از روش انتها به انتهای پویا جهت مدل نمودن رفتار ابر اینترنت استفاده گردید.

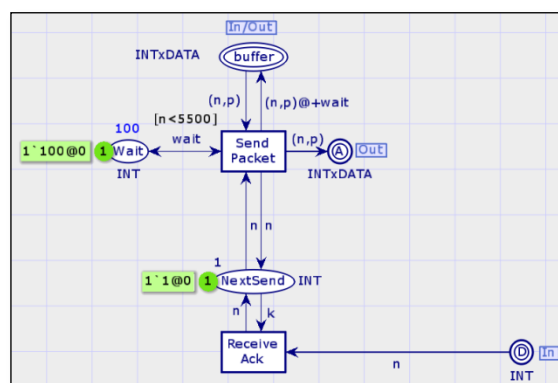


شکل ۱۲. مدل شبکه اینترنت

زیرمدل لغزش زمانی: زیرمدل لغزش زمانی متشکل از گذری است که دارای یک تابع زمانی است. تابع Jitter() تابعی است که برای مدل‌سازی رفتار لغزش زمانی شبکه از آن استفاده شده است. شکل ۱۳ زیرمدل لغزش زمانی شبکه را نشان می‌دهد. در واقع ابتدا لغزش زمانی شبکه بر روی فاصله زمانی بین بسته‌های ارسالی توسط فرستنده اعمال شده و سپس در گذر بعدی خروجی زیرمدل لغزش زمانی شبکه تحت نویز گم‌شدن بسته قرار گرفته است. به منظور مدل کردن رفتار لغزش زمانی شبکه با استفاده از توابع تولید اعداد تصادفی، داده‌هایی بر اساس توزیع لاپلاس و سایر توزیع‌هایی که در آزمایش‌ها مورد نیاز است، ایجاد شد. همچنین داده‌های ناشی از

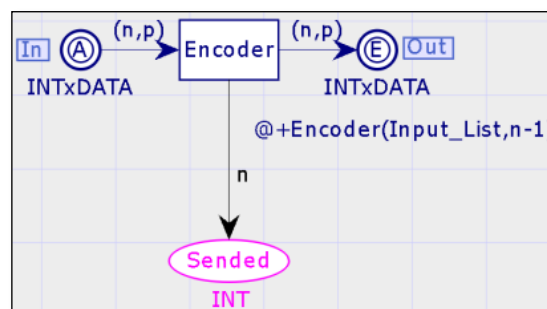
کدگذاری ارسالی گردد. مکان Buffer محلی است که به‌عنوان بافر این نقش را بر عهده دارد. در این مکان نشانه‌هایی از جنس INTxDATA قابل نگهداری هستند.

زیرمدل ارسال بسته: آخرین مقادیری که از مکان NextSend به گذر Send Packet ارسال می‌گردد، بیانگر این است که کدام بسته و با چه شماره ترتیبی به زیرمدل کدگذاری ارسال گردد. پس از اینکه بسته Ack مربوط به بسته قبلی ارسالی، از سوی گیرنده به سوی فرستنده ارسال شد، فرستنده اقدام به ارسال بسته بعدی می‌نماید و در صورت گم‌شدن بسته قبلی، آن بسته را تکرار خواهد نمود. شکل ۱۰ زیرمدل ارسال‌کننده بسته‌های شبکه را نشان می‌دهد. گذر Send Packet در صورتی اقدام به ارسال بسته می‌کند که علاوه بر این که نشانه موردنظر در بافر وجود داشته باشد، شرط پاسگان^۱ آن گذر نیز مانعی ایجاد نکند. از پاسگان در اینجا به‌منظور کنترل تعداد ارسال‌ها استفاده شده است. تأخیر wait اگر نباشد تا زمانی که ack یک بسته ارسالی نرسیده باشد و مقدار NextSend همان مقدار قبلی باشد، مرتباً همان بسته که ارسال شده است، به‌صورت تکراری ارسال می‌گردد.

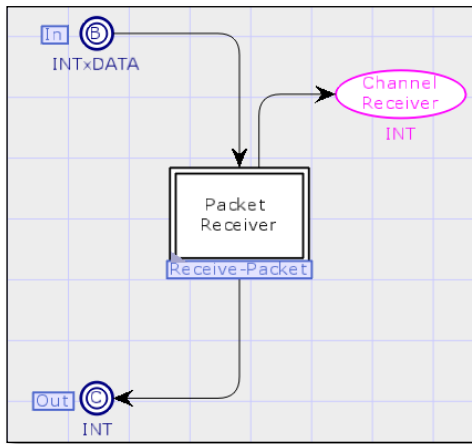


شکل ۱۰. زیرمدل ارسال‌کننده بسته‌های شبکه

زیرمدل کدگذاری: در این زیرمدل از تابع زمانی Encoder() که بر روی گذر Encoder قرار گرفته برای کدگذاری استفاده شده است. شکل ۱۱ زیرمدل کدگذاری کانال را نشان می‌دهد.

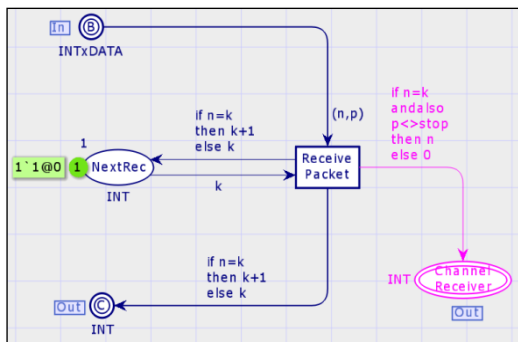


شکل ۱۱. زیرمدل کدگذاری کانال



شکل ۱۵. مدل گیرنده کانال

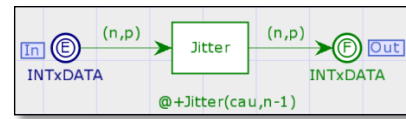
زیرمدل گیرنده بسته: از مکان `NextRec` به همراه دو کمان متصل، برای ایجاد یک شمارنده استفاده شده است. مقدار اولیه این شمارنده "۱" تنظیم شده است. این بدان معنی است که اولین بسته‌ای را که دریافت می‌کند با مقدار "۱" مقایسه می‌کند، در صورتی که مقدار شماره ترتیب اولین بسته دریافتی با مقدار اولیه مکان `NextRec` برابر باشد، به مقدار `K` یک واحد اضافه می‌کند؛ یعنی مقدار شمارنده یکی افزایش یافته است. شکل ۱۶ زیرمدل گیرنده بسته را نشان می‌دهد. بر روی کمان خروجی گذر `Receive packet` به مکان `C`، شرطی قرار دارد، در این شرط بررسی می‌گردد که اگر $n=k$ باشد، به مقدار `k` یک واحد اضافه نماید. مقدار $k+1$ از طریق مکان `C` و مدل شبکه اینترنت به مدل فرستنده انتقال داده می‌شود. مقدار ارسالی بیانگر شماره ترتیب بسته‌ای است که باید در مرحله بعدی توسط فرستنده، به سوی گیرنده ارسال گردد.



شکل ۱۶. زیرمدل گیرنده بسته

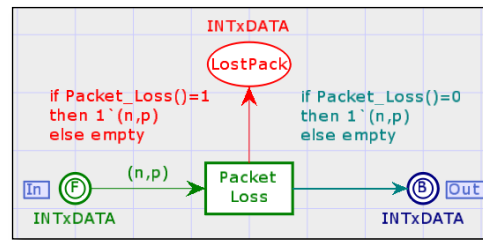
مکان گیرنده کانال: از طرفی اگر $n=k$ باشد به‌طور همزمان با سایر خروجی‌های گذر `Receive packet`، با استفاده از شرط ایجاد شده بر روی کمان متصل به مکان `Channel Receiver`، شماره ترتیب و متغیر زمان این مدل در مکان `Channel Receiver` وارد شده و گردآوری می‌گردد. آنچه در این مکان جمع‌آوری می‌شود در واقع همان شماره ترتیب و فاصله زمانی بین بسته‌ها است. این داده‌ها جهت بررسی ظرفیت، خطای انتقال، خطای کدگذاری و سایر

آزمایش‌های فضای واقعی نیز به‌منظور به‌کارگیری در تولید لغزش زمانی شبکه آماده‌سازی گردید. این داده‌ها به‌عنوان پارامتر اول تابع `Jitter()` به‌کار گرفته شده‌اند.



شکل ۱۳. زیرمدل نویز لغزش زمانی شبکه

زیرمدل گم‌شدن بسته: محدوده نرخ گم‌شدن بسته‌ها در شرایط عادی شبکه بین صفر تا 0.05% است. در اینجا مقدار اولیه آن 0.25% تنظیم گردید. شکل ۱۴ مدل گم‌شدن بسته‌های شبکه را نشان می‌دهد. بر روی کمان ورودی به مکان `B`، تابع `packet_Loss()` نمودن رفتار گم‌شدن بسته‌ها پیاده شده است. تابع `LostPack` خود، از توزیع مستقل برنولی استفاده می‌کند. مکان بسته‌های گم‌شده و تعداد آن‌ها را نگهداری می‌کند.



شکل ۱۴. زیرمدل نویز گم‌شدن بسته

گذر Transmit Ack: در مدل شبکه اینترنت، مکان `C` بسته‌های `Ack` دریافتی از مدل گیرنده را به گذر `Transmit Ack` انتقال می‌دهد. مکان `D` بسته‌های `Ack` دریافتی از گذر `Transmit Ack` را به مدل فرستنده کانال ارسال می‌نماید. در واقع گذر `Transmit Ack` به همراه مکان‌های `C`، `D` و کمان‌های مرتبط، مسیری است که گیرنده بسته از آن طریق تأییدیه دریافت بسته‌های قبلی را به فرستنده ارسال می‌نماید. در شکل ۱۲ گذر `Transmit Ack`، کمان‌ها و مکان‌های مرتبط نشان داده شده است.

۳.۲.۳. مدل گیرنده کانال

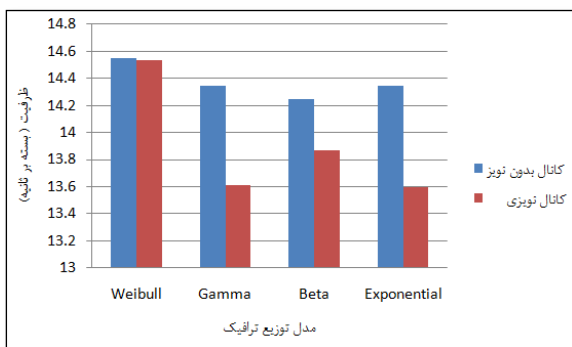
زیرمدل گیرنده بسته و مکان گیرنده کانال مهم‌ترین بخش‌های این مدل هستند که در ادامه تشریح خواهند شد. شکل ۱۵ مدل گیرنده کانال را نشان می‌دهد. مدل گیرنده کانال، از طریق مکان `B` بسته‌های ارسالی توسط مدل شبکه اینترنت را دریافت می‌نماید. پس از بررسی بسته‌ها، آن‌هایی را که موردنیاز است و قبلاً دریافت نکرده است را برداشته و سایرین را دور می‌ریزد. در ادامه شماره ترتیب بسته‌های موردنیاز خود را به ترتیب از طریق مدل شبکه اینترنت به فرستنده کانال می‌فرستد و از این طریق به فرستنده می‌فهماند که چه بسته‌ای با چه شماره ترتیبی را نیاز دارد.

آزمایش ۱: تأثیر مدل ترافیک فرستنده بر ظرفیت کانال

برای انجام این آزمایش پارامترهای توزیع‌های ویبول، گاما، بتا و نمایی به دست آمد و مورداستفاده قرار گرفت. جدول ۴ نتایج آزمایش را نشان می‌دهد. شکل ۱۷ نیز نمودار اثرات ناشی از تغییر در مدل ترافیک عادی فرستنده بر ظرفیت کانال را نشان می‌دهد.

جدول ۴. بررسی اثر مدل ترافیک عادی فرستنده بر روی ظرفیت کانال

توزیع	Weibull (0.00512, 0.32868)	Gamma (0.09757, 0.21322)	Beta (10.935, 0.24418)	Exponential (48.07)
زمان شبیه‌سازی (ثانیه)	۱۳۷,۶۵۲	۱۴۶,۹۶۰۳	۱۴۴,۳۰۶۷	۱۴۷,۱۲۸
بسته‌های عضو کانال	۲۰۰۰,۴۳	۲۰۰۰,۶۵۱	۲۰۰۰,۳۱۷	۲۰۰۰,۵۹
ظرفیت کانال بدون نویز	۱۴,۵۴۶۱	۱۴,۳۴۵۷	۱۴,۲۴۵۱	۱۴,۳۴۶۹
ظرفیت کانال با نویز	۱۴,۵۳۲۴	۱۳,۶۱۳۶	۱۳,۸۶۵۸	۱۳,۵۹۹۰



شکل ۱۷. نمودار تأثیر مدل ترافیک عادی فرستنده بر ظرفیت کانال

تحلیل نتایج آزمایش ۱

داده‌های جدول ۴ و شکل ۱۷ نشان می‌دهد که ظرفیت کانال پوششی، زمانی که مدل فرستنده از توزیع ویبول پیروی می‌کند نسبت به شرایطی که از توزیع‌های گاما، بتا و نمایی استفاده می‌کند بیشتر است. در این شرایط مقدار ظرفیت کانال نویزی ۱۴,۵۳۲۴ بسته بر ثانیه به دست آمد. این در حالی است که ظرفیت کانال در سایر توزیع‌ها، نزدیک به ۱ بسته بر ثانیه کمتر از این مقدار است. این تفاوت آشکار در ظرفیت بیانگر اثر قابل توجه به کارگیری توزیع ویبول در زمان مدل کردن رفتار عادی فرستنده کانال است. در شرایطی که کانال دارای نویز است، ظرفیت کانال در حد ناچیزی کمتر از شرایطی است که کانال عاری از نویز است.

نیازمندی‌های آماری کانال استفاده می‌شود. مکان گیرنده کانال در شکل ۱۶ قابل مشاهده است.

۴.۲.۳. درستی سنجی مدل

آخرین گامی که در خاتمه مدل‌سازی و شبیه‌سازی باید انجام داد، بررسی صحت عملکرد مدل است. به این منظور مدل نهایی ایجادشده، با استفاده از ابزار State Space موجود در CPNTools تحت عمل درستی سنجی قرار گرفت. آزمایش‌های درستی یابی وقوع هیچ خطایی را نشان نمی‌دهد و صحت عملکرد مدل را تأیید می‌نماید.

۴. آزمایش‌ها و تحلیل نتایج

برای اجرای مدل شبیه‌سازی شده، مفروضاتی وجود دارد که باید مشخص گردند. آزمایش‌های این تحقیق بر روی سه موضوع تمرکز دارند. بر اساس هر کدام از این موضوع‌ها، مفروضات ویژه‌ای بر مدل شبیه‌سازی شده حاکم خواهد بود. در ادامه ابتدا این شرایط و مفروضات تعیین شده و سپس آزمایش‌ها انجام می‌شوند.

۴.۱. تأثیر مدل و پارامترهای ترافیک فرستنده بر کارایی

کانال

یکی از رفتارهایی که مانع کاهش یا از بین رفتن نامحسوسی کانال می‌گردد، پیروی رفتار پروتکل ارتباطی مورداستفاده در کانال، از رفتار عادی همان پروتکل در شبکه اینترنت است. ابهامی که وجود دارد این است که مدل ترافیک فرستنده آیا علاوه بر نامحسوسی بر روی معیارهای ظرفیت و استحکام کانال نیز اثری خواهد داشت. در این آزمایش‌ها فرضیاتی مطرح است که جدول ۳ شرایط انجام آزمایش، مقادیر و پارامترهای ثابت را نشان می‌دهد. آزمایش‌ها نشان داد که ترافیک HTTP از مدل ویبول پیروی می‌کند. به منظور بررسی تأثیرات ناشی از انتخاب مدل ترافیک عادی در شبکه، مدل فرستنده با استفاده از توزیع‌های ویبول، گاما، بتا و نمایی و با پارامترهای مختلف ایجاد گردید. در ادامه با به کارگیری مدل شبیه‌سازی شده و فرضیات ارائه شده در جدول ۳ آزمایش‌ها انجام خواهد شد.

جدول ۳. شرایط انجام آزمایش، مقادیر و پارامترهای ثابت

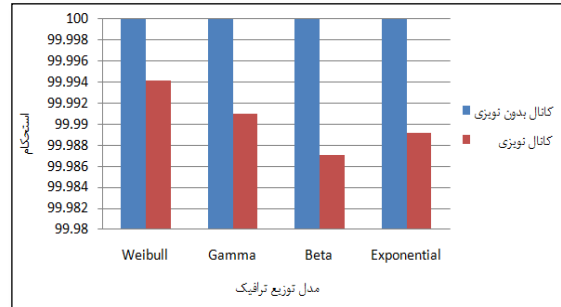
شرایط آزمایش	مقادیر یا پارامترها
تعداد بسته‌ها	۵۰۰
مدل لغزش زمانی	Laplace(1.06,7.27)
مدل گم‌شدن بسته	Bernoulli(0.00025)
ظرفیت هر بلوک	۵
کدگذاری	کم‌پشت، ۲ بسته از ۵ بسته

آزمایش ۲: تأثیر مدل ترافیک فرستنده بر استحکام کانال

با توجه به اینکه از روش کدگذاری ۴- بیت به ۲- بسته استفاده شده است، در نتیجه هر بسته بیانگر دو بیت اطلاعات است، لذا اگر برای مثال یک بسته گم شود، این به معنی از دست دادن دو بیت اطلاعات پوششی است. خطای انتقال کانال عبارت است از حاصل تقسیم تعداد بسته‌های گم‌شده کانال بر زمان کل (ثانیه). جدول ۵ نتایج حاصل از تغییر مدل‌های ترافیک عادی فرستنده بر روی استحکام کانال را نشان می‌دهد. شکل ۱۸ نمودار تأثیر تغییر مدل ترافیک عادی فرستنده بر روی استحکام کانال را در دو حالت کانال نویزی و کانال فاقد نویز نشان می‌دهد.

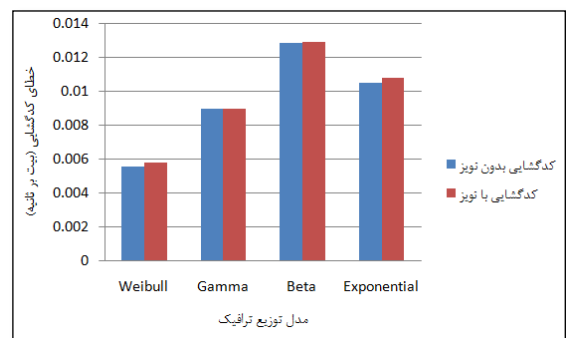
جدول ۵. اثر مدل ترافیک عادی فرستنده بر روی استحکام کانال

توزیع	Weibull (0.00512, 0.32868)	Gamma (0.09757, 0.21322)	Beta (10.935, 0.24418)	Exponential (48.07)
خطای کدگذاری با نویز	۰.۰۰۵۸۳۱۲۰	۰.۰۰۰۹۰	۰.۰۱۲۹	۰.۰۱۰۸۰
خطای کدگذاری بدون نویز	۰.۰۰۵۵۸۵	۰.۰۰۰۸۹۷۸	۰.۰۱۲۸۶۹۰	۰.۰۱۰۵۳
استحکام کانال نویزی	۹۹.۹۹۴۱	۹۹.۹۹۱۰	۹۹.۹۸۷۱	۹۹.۹۸۹۲
استحکام کانال بدون نویز	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰



شکل ۱۸. نمودار تأثیر تغییر مدل ترافیک عادی فرستنده بر استحکام کانال

شکل ۱۹ نمودار تأثیر مدل ترافیک عادی فرستنده بر خطای کدگذاری کانال را در دو وضعیت کانال نویزی و کانال فاقد نویز نشان می‌دهد.



شکل ۱۹. تأثیر مدل ترافیک عادی فرستنده بر خطای کدگذاری کانال

تحلیل نتایج آزمایش ۲

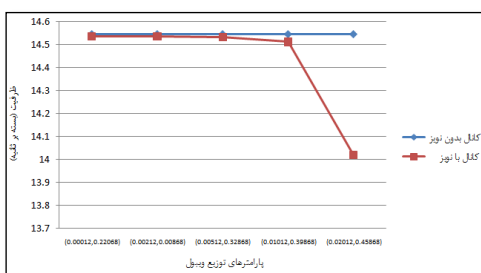
نتایج نشان می‌دهد که استفاده از توزیع ویبول برای مدل نمودن رفتار فرستنده کانال، در ترافیک HTTP بیشترین نرخ استحکام را دارد و بالعکس استفاده از توزیع بتا بیشترین خطا را تولید کرده و کانال در این شرایط کمترین استحکام را دارد. نرخ استحکام کانال نویزی در وضعیت به‌کارگیری توزیع بتا ۹۸/۷۱ به دست آمد، همین نرخ در وضعیت به‌کارگیری توزیع ویبول ۹۹/۴۲ به دست آمد. در این آزمایش نرخ خطای لغزش زمانی شبکه و گم‌شدن تغییر جدی ندارد. لذا منحنی خطای کدگذاری در وضعیت نویزی و فاقد نویز، دارای شیب متناسبی نسبت به هم هستند؛ اما سؤال این است که اگر نرخ خطای لغزش زمانی و گم‌شدن بسته‌ها ثابت است، پس علت کاهش شدید استحکام مدل‌های دیگر نسبت به ویبول چیست؟ بررسی نشان داد که این خطا ناشی از محدوده داده‌های تولیدشده توسط توزیع‌ها است. هرچه دامنه اعداد تولیدی توسط این توزیع‌ها گسترده‌تر باشد، نرخ خطا نیز بیشتر خواهد بود. پیش‌ازاین تصور این بود که استفاده از توزیع ویبول فقط باعث افزایش نرخ نامحسوسی کانال خواهد شد؛ اما این آزمایش نشان داد که به‌کارگیری این توزیع باعث بهبود استحکام و ظرفیت کانال نسبت به سایر توزیع‌ها خواهد شد.

آزمایش ۳: تأثیر پارامترهای مدل فرستنده بر ظرفیت کانال

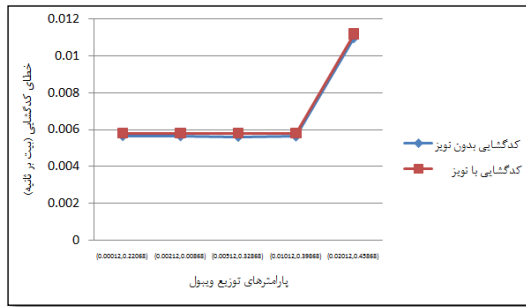
به‌منظور ارزیابی اثر ناشی از تغییر پارامتر توزیع ویبول بر روی ظرفیت و استحکام کانال، تعداد ۵۰۰ آزمایش صورت گرفت. این آزمایش‌ها براساس فرضیات جدول ۳ انجام شد. در این آزمایش پارامترهای توزیع ویبول به‌صورت یکنواخت افزایش یافته‌اند. جدول ۶ چکیده‌ای از نتایج حاصل را نشان می‌دهد. شکل ۲۰ نتایج حاصل از تغییر پارامترهای مدل فرستنده یعنی توزیع ویبول را بر روی ظرفیت کانال نویزی و ظرفیت کانال عاری از نویز نشان می‌دهد.

جدول ۶. نتایج آزمایش پارامترهای مدل فرستنده بر روی ظرفیت کانال

پارامترهای توزیع ویبول	(0.00012, 0.22068)	(0.00212, 0.00868)	(0.00512, 0.32868)	(0.01012, 0.39868)	(0.02012, 0.45868)
زمان شبیه‌سازی (ثانیه)	۱۴۲,۶۲۶	۱۳۷,۶۵۵	۱۳۷,۶۲۷	۱۳۷,۶۲۱	۱۳۷,۶۲۰
ظرفیت کانال بدون نویز	۱۴,۵۴۶	۱۴,۵۴۶	۱۴,۵۴۶	۱۴,۵۴۶	۱۴,۵۴۶
ظرفیت کانال با نویز	۱۴,۰۱۸۳	۱۴,۵۱۲۰	۱۴,۵۳۲۲	۱۴,۵۳۵۵	۱۴,۵۳۵۴



شکل ۲۰. نمودار تغییر پارامترهای مدل فرستنده و اثر آن بر ظرفیت کانال



شکل ۲۲. نمودار پارامترهای مدل فرستنده و اثر آن بر خطای کدگشایی

تحلیل نتایج آزمایش ۴

داده‌های جدول ۷ و شکل ۲۱ نشان داد که زمانی که توزیع ویبول با پارامترهای (۰/۴۵۸۶۸ و ۰/۰۲۰۱۲) برای ایجاد رفتار عادی ترافیک HTTP در سمت فرستنده کانال مورد استفاده قرار گرفت، نرخ استحکام کانال به شدت کاهش یافت. عمده دلیل این رفتار ناشی از خطای کدگشایی است. نرخ خطای کدگشایی کانال نویزی وقتی که پارامترها به مقادیر (۰/۴۵۸۶۸ و ۰/۰۲۰۱۲) تنظیم شد، افزایش یافته است و از مقدار ۰/۰۵۸ به ۰/۱۱۲ بیت بر ثانیه رسیده است. این افزایش نرخ خطا باعث کاهش استحکام کانال به اندازه ۰/۵۴٪ شده است.

بررسی‌های بیشتر نشان داد که علت این خطا در کدگشایی این است که تغییر پارامترهای توزیع ویبول باعث شده است که به یکباره برخی مقادیر زمانی تولید شده توسط این توزیع، خارج از محدوده $2DR$ قرار گیرد، در نتیجه به یکباره نرخ خطای کدگشایی افزایش یافته است. در اصل با تغییر پارامترهای توزیع ویبول، شکل منحنی تابع توزیع احتمال ویبول در راستای محور X کمی کشیده تر شده است.

۲.۴. تأثیر مدل و پارامترهای لغزش زمانی بر کارایی کانال

از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کارایی یک ارتباط انتها به انتهای پویا نویز لغزش زمانی است. در این قسمت ابتدا به معرفی فرضیات آزمایش پرداخته و در ادامه آزمایش‌های سنجش کارایی را انجام می‌دهیم. جدول ۸ فرضیات، پارامترها و مقادیر اولیه شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

آزمایش ۵: تأثیر مدل لغزش زمانی بر ظرفیت کانال

نتایج آزمایش‌های مربوط به مدل لغزش زمانی نشان داد که توزیع لاپلاس به خوبی قادر به مدل نمودن رفتار لغزش زمانی شبکه است. در ادامه آزمایش‌های کارایی بر روی توزیع‌های لاپلاس، نرمال، لجستیک و کوشی انجام شده است.

تحلیل نتایج آزمایش ۳

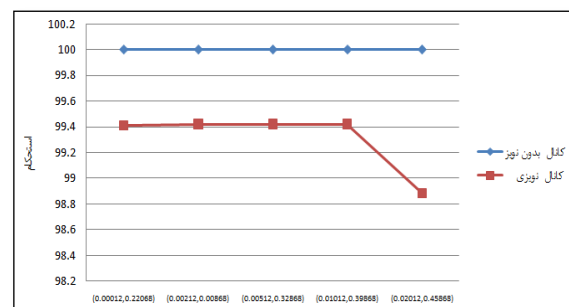
نتایج نشان می‌دهد که استفاده از پارامترهای مختلف توزیع ویبول تأثیر قابل توجهی بر ظرفیت کانال دارد. مقادیر ظرفیت به دست آمده در ستون چهارم و ستون پنجم جدول ۶ نشان می‌دهد که اگر میزان انحراف مقادیر پارامتر توزیع ویبول از آستانه‌ای خارج گردد، به شدت بر روی ظرفیت کانال تأثیر گذاشته و آن را کاهش می‌دهد. در اینجا بین مقادیر ستون چهارم و پنجم نزدیک به ۰/۵ بسته بر ثانیه اختلاف در ظرفیت کانال وجود دارد. لذا در انتخاب پارامترهای توزیع ویبول دقت بسیاری لازم است.

آزمایش ۴: تأثیر پارامترهای مدل فرستنده بر استحکام کانال

تغییر در پارامترهای مدل فرستنده ممکن است بر روی خطای کدگشایی تأثیر داشته باشد. جدول ۷ نتایج و داده‌های ناشی از آزمایش بررسی اثر تغییر پارامترهای توزیع ویبول را بر روی استحکام کانال به همراه نرخ خطاها نشان می‌دهد. در شکل ۲۱ به‌طور واضح‌تری اثرات ناشی از تغییر پارامترهای توزیع ویبول بر روی استحکام کانال قابل مشاهده است.

جدول ۷. نتایج آزمایش پارامترهای مدل فرستنده بر روی استحکام کانال

پارامترهای توزیع ویبول	(0.00012, 0.22068)	(0.00212, 0.00868)	(0.00512, 0.32868)	(0.01012, 0.39868)	(0.02012, 0.45868)
خطای کدگشایی با نویز	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۵۸	۰/۰۱۱۲
خطای کدگشایی بدون نویز	۰/۰۰۵۶۵	۰/۰۰۵۶۴	۰/۰۰۵۶۱	۰/۰۰۵۶۳	۰/۰۱۱۰
استحکام کانال نویزی	۹۹/۴۱۰	۹۹/۴۲۱	۹۹/۴۲۱	۹۹/۴۲۱	۹۸/۸۸۵
استحکام کانال بدون نویز	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰



شکل ۲۱. نمودار اثر پارامترهای مدل فرستنده بر استحکام کانال

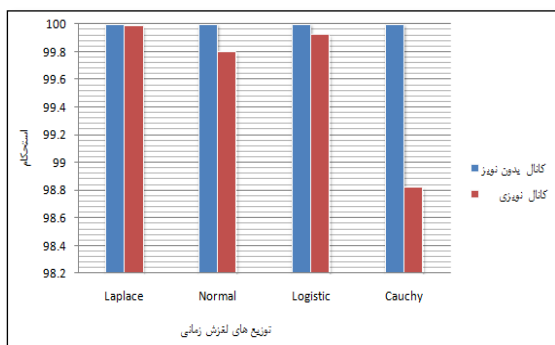
شکل ۲۲ نتایج دقیق‌تری از خطاهای کدگشایی کانال در دو وضعیت دارای نویز و عاری از نویز با توجه به تغییر پارامترهای توزیع ویبول را نشان می‌دهد.

مخرب این لغزش زمانی در کدگشایی در سمت گیرنده، تمرکز گردید. تا پیش‌ازاین در سایر آزمایش‌ها چون از مدل نویز مناسب لاپلاس استفاده می‌شد، خطای رخ داده در حد قابل قبول بود و به‌طور مستقل بر روی آن بحث نشد؛ اما در این قسمت، به‌واسطه رخداد خطاهای گسترده از سوی این نویز، بر روی آن تمرکز بیشتری شده است. انتخاب پارامترهای مناسب برای مدل نمودن لغزش زمانی شبکه حیاتی است. در غیر این صورت نرخ خطا از حد متعارف بیشتر شده و کدگشایی نتایج مورد انتظار را تأمین نمی‌کند و درنهایت کانال کارایی خود را از دست خواهد داد.

در این آزمایش مدل شبیه‌سازی شده برای هر یک از توزیع‌های لاپلاس، نرمال، لجستیک و کوشی، ۱۰۰ بار اجرا گردید و خطاهای گم‌شدن بسته، لغزش زمانی و کدگشایی موردسنجش قرار گرفت. جدول ۱۰ نتایج حاصل از آزمایش‌ها بر روی استحکام کانال را نشان می‌دهد. همان‌گونه که شکل ۲۴ نشان می‌دهد، در زمان به‌کارگیری کانال پوششی بر روی این توزیع‌ها، توزیع کوشی دارای پایین‌ترین سطح استحکام است و توزیع لاپلاس بالاترین نرخ استحکام را دارد. در شکل ۲۵ نرخ وقوع خطاهای کدگشایی، گم‌شدن بسته و لغزش زمانی برای توزیع‌های کوشی، لجستیک، نرمال و لاپلاس مشاهده می‌گردد. توزیع کوشی دارای بالاترین نرخ خطای کدگشایی است.

جدول ۱۰. بررسی اثر مدل نویز لغزش زمانی بر روی استحکام کانال

توزیع لغزش زمانی	Laplace (1.0661, 7.3515)	Normal (1.3266, 7.3515)	Logistic (0.73137, 7.3515)	Cauchy (0.59748, 7.3454)
خطای گم‌شدن بسته (بسته بر ثانیه)	۰.۰۰۱۹	۰.۰۰۱۸	۰.۰۰۱۹	۰.۰۰۱۹
خطای لغزش زمانی (بسته بر ثانیه)	۰.۰۰۵۹	۰.۰۰۹۷۵	۰.۰۰۳۶۵	۰.۵۸۸
خطای کدگشایی (بیت بر ثانیه)	۰.۰۱۵۶	۰.۱۹۸۶	۰.۰۷۶۸	۱.۱۷۹۸
استحکام کانال نویزی	۹۹.۹۸۴۴	۹۹.۸۰۱۴	۹۹.۹۲۳۲	۹۸.۸۲۰۲
استحکام کانال بدون نویز	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰



شکل ۲۴. توزیع‌های مختلف لغزش زمانی و اثر آن‌ها بر استحکام کانال

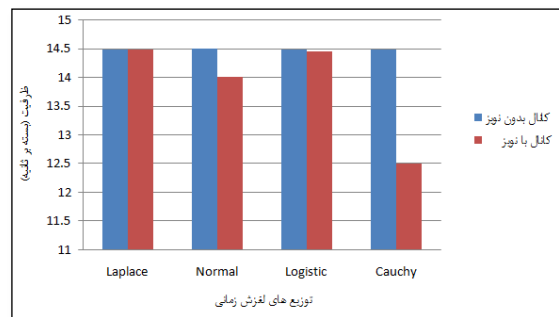
جدول ۸. شرایط انجام آزمایش، مقادیر و پارامترهای ثابت

شرایط آزمایش	مقادیر یا پارامترها
تعداد بسته‌ها	۵۰۰۰
مدل فرستنده	weibull(0.00512,0.32868)
مدل گم‌شدن بسته	bernoulli(0.00025)
ظرفیت هر بلوک	۵
روش کدگذاری	کم‌پشت، ۲ بسته از ۵ بسته

جدول ۹ نتایج ناشی از آزمایش بررسی اثر مدل‌های نویز لغزش زمانی بر روی ظرفیت کانال را نشان می‌دهد. شکل ۲۳ نیز نمودار نتایج حاصل از این آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول ۹. بررسی اثر مدل نویز لغزش زمانی بر روی ظرفیت کانال

توزیع لغزش زمانی	Laplace (1.0661, 7.3515)	Normal (1.3266, 7.3515)	Logistic (0.73137, 7.3515)	Cauchy (0.59748, 7.3454)
زمان شبیه‌سازی (ثانیه)	۱۳۴.۹۸۷	۱۴۲.۷۹۳	۱۳۸.۱۵۲	۱۴۳.۴۱۳
ظرفیت کانال با نویز	۱۴.۴۹۱۹	۱۴.۰۱۱۴	۱۴.۴۵۹۸	۱۲.۴۹۱۹
ظرفیت کانال بدون نویز	۱۴.۴۹۳۷	۱۴.۴۹۴۵	۱۴.۴۹۱۲	۱۴.۴۹۲۱



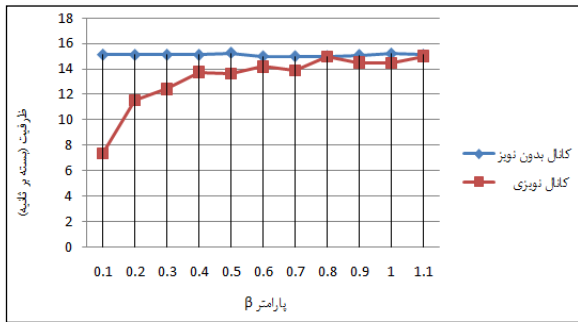
شکل ۲۳. نمودار توزیع‌های مختلف لغزش زمانی و اثر آن بر ظرفیت کانال

تحلیل نتایج آزمایش ۵

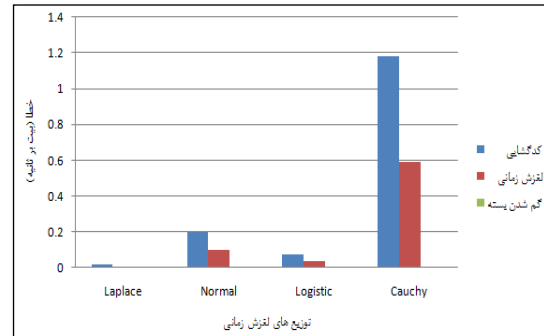
این آزمایش نشان داد که توزیع لاپلاس بیشترین ظرفیت را برای کانال پوششی تأمین می‌نماید. توزیع نرمال و کوشی به‌خوبی قادر به مدل نمودن رفتار لغزش زمانی شبکه نیستند و توزیع لجستیک با تقریب مناسب‌تری نسبت به دو توزیع دیگر، قادر به مدل نمودن رفتار لغزش زمانی شبکه است.

آزمایش ۶: تأثیر مدل لغزش زمانی بر استحکام کانال

استحکام نقطه مقابل نرخ خطاست. پس اندازه‌گیری نرخ خطا به‌نوعی همان اندازه‌گیری استحکام است. در ادامه به‌منظور سنجش میزان استحکام کانال با توجه به تغییرات لغزش زمانی، بر روی اثرات



شکل ۲۶. نمودار اثر پارامتر β توزیع لاپلاس بر روی ظرفیت کانال



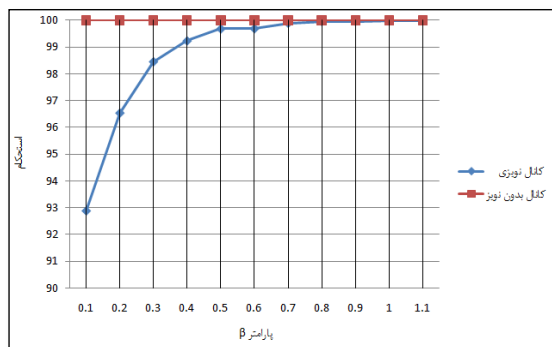
شکل ۲۵. نمودار توزیع‌های مختلف لغزش زمانی و انواع خطاهای کانال

آزمایش ۸: تأثیر پارامترهای مدل لغزش زمانی بر استحکام کانال

در این آزمایش انواع خطاهای ناشی از نوسان پارامتر β توزیع لاپلاس، موردسنجش قرار گرفت. خطای لغزش زمانی، به‌طور مستقل بررسی شد. جدول ۱۱ نتایج آزمایش تغییر پارامتر β توزیع لاپلاس، با میانه ۷/۳۵۱۵ را بر روی استحکام کانال پوششی نشان می‌دهد. شکل ۲۷ نتایج این آزمایش را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۱. نتایج آزمایش پارامتر β توزیع لاپلاس، بر روی استحکام کانال

توزیع لاپلاس	محدوده نوسان لغزش زمانی	خطای لغزش زمانی (بیت بر ثانیه)	خطای کدگشایی (بیت بر ثانیه)	خطای گم‌شدن بسته (بیت بر ثانیه)	استحکام کانال نویزی (بیت بر ثانیه)
۰/۱	۱۸۳	۷/۱۰۸۱	۷/۱۱۶۷	۰/۰۰۴۳	۹۲/۸۷۹
۰/۲	۹۶	۳/۴۴۷۸	۳/۴۵۶۸	۰/۰۰۴۵	۹۶/۵۳۸۷
۰/۳	۵۴	۱/۵۳۱	۱/۵۳۹۴	۰/۰۰۴۲	۹۸/۴۵۶۴
۰/۴	۴۰	۰/۷۵۲	۰/۷۶۰۸	۰/۰۰۴۴	۹۹/۲۳۴۸
۰/۵	۳۳	۰/۳۰۴۲	۰/۳۱۲۷	۰/۰۰۴۲	۹۹/۶۸۳۱
۰/۶	۳۱	۰/۲۹۵۶	۰/۳۰۴۲	۰/۰۰۴۳	۹۹/۶۹۱۵
۰/۷	۲۴	۰/۰۸۹۴	۰/۰۹۷۸	۰/۰۰۴۲	۹۹/۸۹۸
۰/۸	۲۲	۰/۰۲۷	۰/۰۳۶	۰/۰۰۴۵	۹۹/۹۵۹۵
۰/۹	۲۱	۰/۰۲۰۳	۰/۰۲۹۱	۰/۰۰۴۴	۹۹/۹۶۶۵
۱/۰	۱۶	۰/۰۱۱۶	۰/۰۲۰۲	۰/۰۰۴۳	۹۹/۹۷۵۵
۱/۱	۱۴	۰/۰۰۲۹	۰/۰۱۱۸	۰/۰۰۴۲	۹۹/۹۸۲۳



شکل ۲۷. نمودار پارامتر β توزیع لاپلاس و رابطه آن با استحکام کانال

تحلیل نتایج آزمایش ۶

نتایج آزمایش‌ها بر روی استحکام کانال نشان داد که توزیع لاپلاس دارای کمترین نرخ خطا و بیشترین نرخ استحکام است. توزیع‌های لجستیک و نرمال پس از آن قرار دارند. در بررسی داده‌های تولیدی توسط مولد اعداد تصادفی کوشی ملاحظه شد که پراکندگی بیش از حد داده‌های تولیدی، باعث خروج فاصله‌های زمانی بین بسته‌ها از محدوده 2DR شده است. این رخداد باعث وقوع خطای معکوس شدن بیت شده است. در نتیجه داده‌های پوششی دریافتی مقادیر صحیحی نیستند. در این بررسی مشاهده شد که هر چه شکل منحنی تابع تیزتر و دارای قاعده باریک‌تری باشد، نتایج مناسب‌تری تولید می‌کند و نرخ خطای کدگشایی کاهش می‌یابد. در این آزمایش بیشترین نرخ خطا مربوط به خطای کدگشایی است و نرخ خطای گم‌شدن بسته تغییر محسوسی پیدا نکرد.

آزمایش ۷: تأثیر پارامترهای مدل لغزش زمانی بر ظرفیت کانال

بررسی‌ها نشان داد که توزیع لاپلاس قادر به مدل نمودن رفتار لغزش زمانی شبکه است. تغییر پارامترهای آن ممکن است بر کیفیت رفتار مدل اثر داشته باشد. برای سنجش اثرات ناشی از تغییر پارامترهای توزیع لاپلاس، این آزمایش صورت گرفت. توزیع لاپلاس دارای دو پارامتر اصلی است، یکی از پارامترهای آن همان میانه است که بنا بر آزمایش‌هایی که انجام شد، مقدار آن ۷/۳۵۱۵ میلی‌ثانیه به دست آمد. پارامتر دوم آن β بنام پارامتر مقیاس خوانده می‌شود. در این آزمایش بر روی پارامتر β تمرکز گردید. آزمایش بررسی اثر تغییر پارامتر β توزیع لاپلاس با میانه ۷/۳۵۱۵ بر روی ظرفیت کانال انجام شد. شکل ۲۶ اثرات ناشی از تغییر پارامتر β توزیع لاپلاس، با میانه ۷/۳۵۱۵ بر روی ظرفیت کانال پوششی را نشان می‌دهد

تحلیل نتایج آزمایش ۷

مشاهده شد که افزایش مقادیر β ، باعث محدودتر شدن یا کاهش دامنه نوسان لغزش زمانی نسبت به میانه گردید. این کاهش دامنه نوسان لغزش زمانی باعث شد که تعداد بیشتری از فاصله زمانی بین بسته‌ها در محدوده 2DR قرار گیرند. بدین سبب ظرفیت کانال افزایش یافت.

آزمایش ۹: تأثیر پارامتر مدل گم‌شدن بسته بر ظرفیت کانال بررسی‌ها نشان داد که توزیع برنولی قادر به مدل نمودن رفتار گم‌شدن بسته‌ها در شبکه‌های رایانه‌ای است. تغییر پارامتر این توزیع ممکن است بر ظرفیت کانال پوششی اثر داشته باشد. توزیع برنولی دارای یک پارامتر اصلی است، پارامتر ورودی این توزیع، "P" در اصل احتمال موفقیت، یعنی احتمال وقوع رخداد "۱" را مشخص می‌کند. در اینجا این پارامتر بیانگر نرخ گم‌شدن بسته است.

یادآوری می‌گردد که نرخ گم‌شدن بسته در شرایط عادی شبکه بین ۰ تا ۰٫۰۱۰۵٪ تخمین زده شده است. در شکل ۲۹ تغییرات پارامتر نرخ گم‌شدن بسته توزیع برنولی و تأثیر آن بر ظرفیت کانال مشاهده می‌گردد.



شکل ۲۹. نمودار پارامتر (P) توزیع برنولی و رابطه آن با ظرفیت کانال

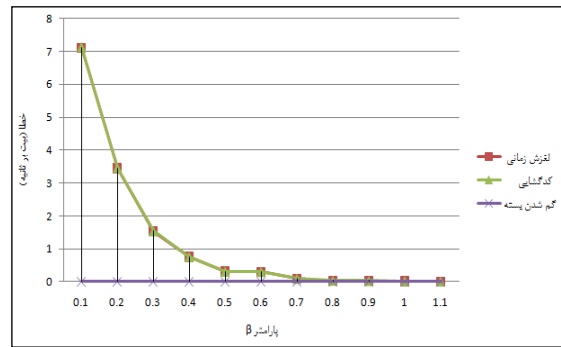
تحلیل نتایج آزمایش ۹

افزایش نرخ وقوع خطای گم‌شدن بسته، تأثیراتی را بر زمان شبیه‌سازی و ظرفیت کانال گذاشته است. وقتی مقدار P صفر است، نرخ خطای گم‌شدن بسته صفر است. در این صورت فقط نویز لغزش زمانی می‌تواند ظرفیت کانال را کاهش دهد. نتایج نشان می‌دهد که هر چه مقدار پارامتر P کوچک‌تر باشد، ظرفیت کانال به مقدار اسمی خود نزدیک‌تر خواهد شد.

آزمایش ۱۰: تأثیر پارامتر مدل گم‌شدن بسته بر استحکام کانال

نرخ گم‌شدن بسته در بازه [0 0.2] تغییر یافت و مدل شبیه‌سازی شده اجرا گردید. جدول ۱۳ نتایج حاصل از این آزمایش را نشان می‌دهد. شکل ۳۰ به خوبی تأثیر افزایش شدت نویز گم‌شدن بسته را بر روی استحکام کانال نشان می‌دهد. زمانی که P صفر است، کانال دارای استحکام نزدیک به ۱۰۰ است، اما با افزایش مقدار P سطح استحکام کانال به تدریج کاهش یافته و زمانی که P به مقدار ۰٫۲ رسید، استحکام کانال به پایین‌ترین سطح خود می‌رسد. به کارگیری پارامتر نرخ گم‌شدن بسته مناسب با توجه به وضعیت به کارگیری مدل شبیه‌سازی شده دارای اهمیت است. در شکل ۳۱ نمودار تغییر پارامتر P توزیع برنولی و تأثیر آن بر خطاهای کانال پوششی مشاهده می‌گردد.

در این آزمایش بر روی محدوده نوسان لغزش زمانی، خطای لغزش زمانی، خطای کدگشایی و خطای گم‌شدن بسته و اثر هر یک بر روی استحکام کانال با توجه به تغییر پارامتر β مطالعه گردید. در شکل ۲۸ تغییر پارامتر β توزیع لاپلاس و رابطه آن با انواع خطاهای کانال پوششی مشاهده می‌گردد.



شکل ۲۸. نمودار پارامتر β توزیع لاپلاس و رابطه آن با انواع خطاهای کانال

تحلیل نتایج آزمایش ۸

قاعده این است که ایجاد یا افزایش خطا، باعث کاهش استحکام می‌گردد. اثرات ناشی از خطای لغزش زمانی شبکه، باعث کاهش شدید استحکام کانال شده است. زمانی که مقدار β برابر ۰٫۱ است، بیشترین نرخ خطا یعنی ۷٫۱۱۶۷ بیت بر ثانیه خطای کدگشایی رخ داده است. این مقدار خطا باعث کاهش شدید استحکام کانال شده و کانال در عمل قابل بهره‌برداری نخواهد بود. به تدریج با افزایش مقدار β ، نرخ این خطا کاهش یافت تا جایی که وقتی مقدار β به ۱٫۱ رسید، محدوده نوسان لغزش زمانی به ۱۴ms محدود شد. می‌توان گفت هر چه مقدار پارامتر β بیشتر شود محدوده نوسان لغزش زمانی بسته‌تر می‌شود. به طور قطع نرخ استحکام کانال بالاتر خواهد رفت. در این آزمایش نرخ خطای گم‌شدن بسته نوسان ویژه‌ای نداشت.

۳.۴. تأثیر پارامتر مدل گم‌شدن بسته بر کارایی کانال

یکی دیگر از نویزهای مهم و مؤثر بر کارایی یک ارتباط انتها به انتها، پویا، نویز گم‌شدن بسته‌ها است. در این قسمت ابتدا به بیان فرضیات آزمایش پرداخته و در ادامه آزمایش‌های سنجش کارایی را انجام خواهیم دادیم. جدول ۱۲ فرضیات، پارامترها و مقادیر اولیه مورد استفاده در شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۲. شرایط انجام آزمایش، مقادیر و پارامترهای ثابت

مقادیر یا پارامترها	شرایط آزمایش
۵۰۰۰	تعداد بسته‌ها
weibull(0.00512,0.32868)	مدل فرستنده
Laplac(1.0661,7.3515)	مدل لغزش زمانی
۵	ظرفیت هر بلوک
کم‌پشت، ۲ بسته از ۵ بسته	روش کدگذاری

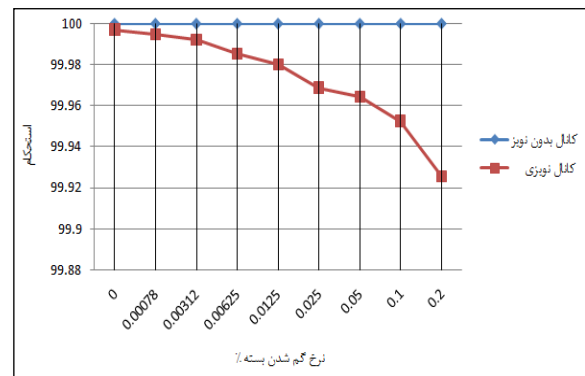
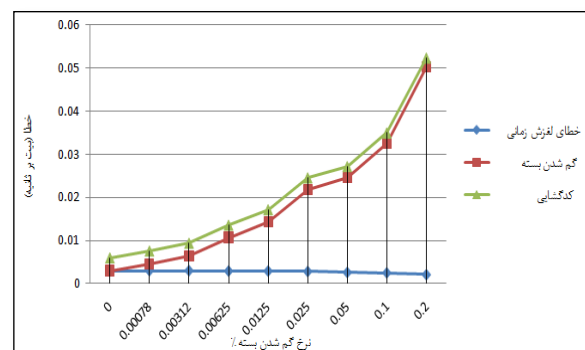
جدول ۱۳. نتایج آزمایش تغییر پارامتر P و اثر آن بر استحکام کانال

توزیع برنولی	تعداد بسته‌های گم شده	خطای لغزش زمانی (بیت بر ثانیه)	خطای گم شدن بسته (بیت بر ثانیه)	خطای کدگذاری (بیت بر ثانیه)	استحکام کانال
۰٪	۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۹۹/۹۹۷۰
۰/۰۰۰۷۸	۰/۲۵۵۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۷۶	۹۹/۹۹۴۶
۰/۰۰۳۱۲	۰/۵۶۷۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۹۴	۹۹/۹۹۱۹
۰/۰۰۶۲۵	۱/۳۴۱۲	۰/۰۰۲۹	۰/۰۱۰۷	۰/۰۱۳۶	۹۹/۹۸۵۴
۰/۰۱۲۵	۱/۹۷۹۱	۰/۰۰۲۹	۰/۰۱۴۳	۰/۰۱۷۲	۹۹/۹۸۰۰
۰/۰۲۵	۳/۳۹۳۲	۰/۰۰۲۸	۰/۰۲۱۸	۰/۰۲۴۶	۹۹/۹۶۸۷
۰/۰۵	۴/۲۰۹۱	۰/۰۰۲۶	۰/۰۲۴۶	۰/۰۲۷۲	۹۹/۹۶۴۴
۰/۱	۶/۰۹۱۸	۰/۰۰۲۵	۰/۰۳۲۵	۰/۰۳۵	۹۹/۹۵۲۵
۰/۲	۱۱/۲۹۰۸	۰/۰۰۲۱	۰/۰۵۰۳	۰/۰۵۲۴	۹۹/۹۲۵۶

۵. نتیجه گیری

استفاده از روش‌های تحلیلی برای مطالعه در حوزه کانال‌های زمانبندی‌دار پوششی، بعضی شرایط خاص را پوشش نمی‌دهد. به کارگیری روش پیاده‌سازی به منظور ارزیابی کارایی روش‌های نوین در این حوزه مطلوب نبوده و به علت برخی ملاحظات، پیشنهاد نمی‌گردد. می‌توان از آزمایشگاه‌های مجهز برای تحقیق در این حوزه و برای هر شرایط فیزیکی استفاده نمود. تجربه نشان می‌دهد که این روش بسیار پرهزینه بوده و بروز رسانی تجهیزات و تأمین آن‌ها، به واسطه هزینه‌های سنگین اعتباری ممکن نیست. یکی از راه‌های بسیار ارزشمند برای مطالعه بر روی کانال‌های زمانبندی‌دار پوششی، استفاده از شبیه‌سازی است. تأمین بستر شبیه‌سازی در کشور، هزینه‌های نداشته و به راحتی می‌توان بستر مناسب برای مطالعه در این حوزه را از طریق شبیه‌سازی تأمین نمود. مطالعات پیش‌ازین و آزمایش‌های عملی نشان داد که مدل رفتار فرستنده کانال پوششی برای ارسال ترافیک HTTP، باید از توزیع ویبول تبعیت نماید تا ظرفیت و استحکام کانال نیز در بالاترین سطح بماند. مشاهده شد که به کارگیری توزیع لاپلاس می‌تواند به خوبی رفتار لغزش زمانی شبکه را مدل نماید و توزیع مستقل برنولی قادر به مدل نمودن رفتار نویز گم شدن بسته‌های شبکه است.

ارزیابی کارایی نشان داد که در بین توزیع‌های گاما، بتا، نمایی و ویبول، توزیع ویبول با پارامترهای (۰/۳۲۸۶۸ و ۰/۰۰۵۱۲) بهترین کارایی را در تأمین استحکام و ظرفیت فرستنده کانال دارد. با توجه به فرضیات آزمایش، توزیع لاپلاس با پارامترهای (۱/۰۶۶۱ و ۷/۳۵۱۵) قادر است به خوبی رفتار لغزش زمانی شبکه را مدل نماید. همچنین توزیع مستقل برنولی را می‌توان جهت مدل نمودن رفتار نویز گم شدن بسته‌ها به کار برد. دیدیم که با به کارگیری روش شبیه‌سازی، به خوبی می‌توان بر روی کانال‌های پوششی مطالعه و تحقیق نمود. نگرانی‌هایی که پیش‌ازین در مورد قابلیت‌های شبیه‌سازی با ابزار CPNTools وجود داشت برطرف شد. کانال به خوبی مدل‌سازی و شبیه‌سازی شد و مورد درستی سنجی قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی این مدل، راه را برای ادامه مطالعه بر روی این کانال‌ها از این طریق هموار ساخت.

شکل ۳۰. نمودار پارامتر P توزیع برنولی و رابطه آن با استحکام کانالشکل ۳۱. نمودار پارامتر P توزیع برنولی و تأثیر آن بر خطاهای کانال

تحلیل نتایج آزمایش ۱۰

این آزمایش نشان داد که انتخاب پارامتر P مناسب برای مدل نمودن رفتار مناسبی از مدل گم شدن بسته‌ها، دارای اهمیت است؛ زیرا در صورتی که این پارامتر به مقدار نادرستی تنظیم گردد، باعث خواهد شد که نتیجه شبیه‌سازی مقدار نادرستی باشد؛ و متناسب با آن اگر کانالی طراحی و پیاده‌سازی گردد، این کانال استحکام قابل قبولی در برابر وقوع خطاها نخواهد داشت. پیش‌ازین محدوده‌ای برای نرخ گم شدن بسته به دست آمد، اما انتخاب مقدار آن برای هر کاربردی باید با آزمایش‌های متعدد در همان فضای کاربردی خاص صورت گیرد.

۵. مراجع

- [1] A. E. Cha and J. Krim. (2001) Terrorists' Online Methods Elusive U.S. Agencies Seek Experts' Help in Tracing Encrypted Messages. 14 .
- [2] K. Eaton, "Deep Inside Alleged Russian Spies," Tech and Techniques, 2010.
- [3] K. Borders and A. Prakash, "Towards Quantification of Network-Based Information Leaks Via HTTP," USENIX Workshop on Hot Topics in Security, vol. 3, 2008.
- [4] W. Security, "WhiteHat Website Security Statistic Report," 2013.
- [5] V. D. Gligor, "A Guide to Understanding Covert Channel Analysis of Trusted Systems," National Computer Security Center, Meade, Maryland, NCSC-TG-030, 1993.
- [6] R. A. Kemmerer, "Shared resource matrix methodology: A practical approach to identifying covert channels," ACM Transactions on Computer Systems, vol. 1, pp. 2, 277-56, 1983.
- [7] R. J. Walls, K. Kothari, and M. Wright, "Liquid: A detection-resistant covert timing channel based on IPD shaping," Elsevier Computer Networks, vol. 55, pp. 1217-1228, 2011.
- [8] S. Gianvecchio and H. Wang, "Detecting covert timing channels: an entropy-based approach," in CCS'07: Proceedings of the 14th ACM conference on Computer and Communications Security, NY, USA, 2007, pp. 307-316.
- [9] S. Gianvecchio, H. Wang, D. Wijesekera, and S. Jajodia, "Model-Based Covert Timing Channels: Automated Modeling and Evasion," in Proceedings of Recent Advances in Intrusion Detection (RAID) Symposium, 2008.
- [10] S. H. Sellke, C.C. Wang, S. Bagchi, and N. B. Shroff, "Covert TCP/IP Timing Channels: Theory to Implementation," in Proceedings of the 28th Conference on Computer Communications (INFOCOM), 2009.
- [11] X. Zi, L. Yao, L. Pan, and J. Li, "Implementing a passive network covert timing channel," Elsevier computers & security, pp. 686-696, 2010.
- [12] S. Zander, "Performance of Selected Noisy Covert Channels and Their Countermeasures in IP Networks," PhD Thesis, Centre for Advanced Internet Architectures Faculty of Information and Communication Technologies, Swinburne University of Technology, Melbourne, 2010.
- [13] A. HoumanSadr, "Design, Analysis, and Implementation of Effective Network flow Watermarking Schemes," PhD Thesis, Illinois Urbana-Champaign, 2012.
- [14] E. J. Daniel, C. M. White, and K. A. Teague, "An Inter-arrival Delay Jitter Model using Multi-Structure Network Delay Characteristics for Packet Networks," presented at the 37th Asilomar Conference on Signal, Systems, and Computers, New York, 2003.
- [15] L. R. Domínguez, D. T. Roman, D. M. Rodríguez, and C. V. Rosales, "Jitter in IP Networks: A Cauchy Approach," IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, vol. 14, 2010.
- [16] Z. pi, E. Kwon, D. Kim, and D. Kim, "Forward link voip packet delay jitter model," Samsung Electronics Co. C30-20060719-006, 2006.
- [17] T. K. Bandhopadhyaya, M. Saxena, and A. Tiwari, "Jitter's Alpha Stable Distribution Behavior," Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE), vol. 3, 2013.
- [18] A. Abdolazimi, M. Mohamadi, B. N. Sharif, and A. Akbari, "Combination of several methods for the recovery of lost packets and its application in distributed speech recognition," presented at the the Third International Conference on Information and Knowledge Technology, Ferdowsi University of Mashhad, 2007.
- [19] T. I. Association, "Network Model for Evaluating Multimedia Transmission Performance Over Internet Protocol," vol. PN-3-0062-RV1, ed. to be published as ANSI/TIA 921 A, 2007.
- [20] I. Cisco Systems, "Packet Loss Model," vol. TR41.3.3/00-02-005, ed: Ram Jagadeesan, 2000.
- [21] R. Flynn and E. Jones, "Robust distributed speech recognition in noise and packet loss conditions," Digital Signal Processing, pp. 1559-1571, 2010.
- [22] J. Mochinac, P. Kocan, and B. Hrušovsk, "Packet loss modeling," in proceedings of The 10th Scientific Conference of Young Researchers, Kosice Slovakia, 2010.
- [23] A. Flo, "User-Perceived Quality of Service in Video on Demand Services," Master of Science, Department of Telematics, University of Science and Technology, Norwegian, 2006.