سال دوم، شماره‌های۵و٦، پاییز و زمستان ۱۳۸۹
صص: ۷۳- ٦۷

فصلنامه علمی- پژوهشی
فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

کنترل مود لغزشی برای ازدحام در شبکه های TCP/IP

روح اله برزمینی▪ * **مسعود شفیعی****

* دانشجوی دکتری، دانشکده‌ی مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

**استاد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰٦/۱۹

چکیده

پدیده ازدحام یکی از مشکلات مهم پیش روی طراحان شبکه های کامپیوتری است و در سالهای اخیر باعث کاهش کارایی شبکه‌ها شده است. تاکنون روش‌های مختلفی به منظور پیشگیری و کنترل این پدیده پیشنهاد شده‌اند که بر اساس تئوری کنترل می‌باشند. بدین منظور می‌توان ساختار حلقه بسته فرایند انتقال داده‌ها در شبکه‌های کامپیوتری را بدین صورت در نظر گرفت که در آن، کنترل‌کننده‌ای از خانواده مدیریت پویای صف[1] (AQM) به منظور پیاده سازی در مسیر یاب‌های شبکه طراحی شده و بقیه شبکه از دید مسیر یاب، به عنوان سیستم هدف کنترل یا پلنت تعریف می شود. در زمینه‌ی طراحی کنترل‌کننده AQM، تحقیقات بسیاری صورت گرفته است و کنترل‌کننده‌های متعددی طراحی شده است. در این مقاله کنترل مود لغزشی بعنوان کنترل‌کننده AQM معرفی شده است. کنترل مود لغزشی در مقابل نامعینی‌های مدل‌سازی و اغتشاشات وارد شده تا حدود زیادی مقاوم است. در کنترل مود لغزشی، مسیرهای حالت باید به یک سطح از پیش تعریف شده (سطح لغزش)، در یک مدت زمان محدود رسیده و در طول زمان در همان سطح باقی بماند. حرکت بر روی سطح لغزش، مستقل از نامعینی‌ها می‌باشد؛ لذا این تکنیک یکی از روش‌های کنترل مقاوم می‌باشد. بعد از پیاده سازی کنترل مود لغزشی بر روی مدل شبکه، به کمک نرم افزار Matlab نحوه رفتار شبکه را در حضور این کنترل کننده مورد بررسی قرار گرفته شد و نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از چند کنترل کننده دیگر مقایسه گردید.

کلیدواژگان: کنترل ازدحام، مدیریت پویای صف، کنترل مود لغزشی، TCP/IP.

۱- مقدمه

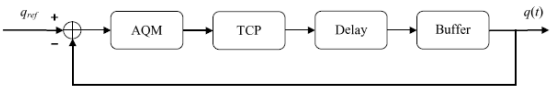
امروزه اکثر شبکه های کامپیوتری بزرگ و اغلب سیستم های عامل موجود از پروتکل TCP/IP ، استفاده می نمایند. اینترنت بعنوان بزرگترین شبکه موجود، از پروتکل فوق بمنظور ارتباط دستگاه های متفاوت استفاده می نماید. به دلیل ظرفیت محدود بافر مسیریاب ها و محدودیت پهنای باند، در هنگامی که درخواست سرویس در شبکه افزایش می یابد منابع شبکه قادر به پاسخگویی نخواهند بود و اگر روش مناسبی برای تنظیم و مدیریت ترافیک وجود نداشته باشد ممکن است شبکه به کلی ناپایدار شود. در این شرایط طول صف تشکیل شده در مسیریاب ها -که متشکل از بسته هایی است که می خواهند از آن مسیریاب/گلوگاه عبور کنند- آنقدر بزرگ می شود که تأخیر رسیدن بسته ها به مقصد از حد مجاز بیشتر می شود، حتی ممکن است شرایطی پیش آید که دیگر هیچ بسته داده ای به مقصد نرسد. پس مسأله پایدارسازی طول صف در یک مقدار از پیش تعیین شده از اهمیت بالایی برخوردار است. به دلیل توانایی ذاتی علم کنترل در بحث پایدارسازی، ورود آن به حیطه کنترل ترافیک در شبکه های مخابراتی طبیعی به نظر می

▪ نویسنده عهده‌دار مکاتبات (barzamini@aut.ac.ir)

1. Active Queue Management (AQM)

رسد. اصولا مهمترین بحث در حیطه تئوری کنترل همین پایداری و پایدارسازی سیستم های دینامیکی است. از آنجا که شبکه های مخابراتی را می توان به صورت یک سیستم دینامیکی مدل نمود، علم کنترل در این زمینه توانسته بسیار مشکل گشا باشد.

تاکنون روش‌های مختلفی به منظور پیشگیری و کنترل پدیده ازدحام پیشنهاد شده‌اند که عمدتاً روش‌های شهودی می باشند[۱،۲]. در کنار این روش‌ها، از اواخر دهه ۱۹۹۰ میلادی، ایده به کارگیری مفاهیم تئوری کنترل در حل مسائل کنترل ازدحام مورد توجه قرار گرفته است، که هدف از آن‌ها استفاده از ابزارهای موجود در مهندسی کنترل به منظور تحلیل و طراحی کنترل‌کننده‌های ازدحام مناسب برای شبکه‌ها به عنوان سیستم‌های حلقه بسته است[۳]. به طور کلی، برای حل این مساله با نگرش سیستمی و استفاده از تئوری کنترل می‌توان ساختار حلقه بسته فرایند انتقال داده‌ها در شبکه‌های کامپیوتری را بدین صورت در نظر گرفت که در آن، کنترل‌کننده‌ای از خانواده مدیریت پویای صف به منظور پیاده سازی در مسیر یاب‌های شبکه طراحی شده و بقیه شبکه از دید مسیر یاب، به عنوان سیستم هدف کنترل یا پلنت تعریف می‌شود [٤،٥،٦]. در این روش‌ها، دینامیک شار در TCP و AQM بر حسب تئوری کنترل به صورت یک سیستم دارای پس خورد، مدل و آنالیز می‌شوند(شکل (۱)). سپس با استفاده از تئوری کنترل، الگوریتم های AQM برای افزایش سرعت پاسخ (کارایی کوتاه مدت) و بهبود پایداری و مقاوم بودن (کارایی بلند مدت) در کنترل رفتار ازدحام در شبکه طراحی می‌شوند. این اهداف اغلب با تنظیم طول هدف صف حول یک مقدار مطلوب به دست می‌آید.



شکل (۱) دیاگرام بلوکی یک سیستم TCP/AQM

اجزای این مدل عبارتند از:

- یک پلنت که مبین مجموعه‌ای از زیر سیستم‌هایی مانند منابع TCP، مسیر یاب‌ها و گیرنده‌های TCP می‌باشد، که به ترتیب کار ارسال، پردازش، مسیریابی و دریافت بسته‌های TCP را انجام می‌دهند.
- یک کنترل‌کننده AQM که نرخ رسیدن بسته‌ها به صف مسیر یاب را با به دست آوردن احتمال انداختن بسته‌ها به عنوان سیگنال کنترلی، کنترل می‌کنند.
- متغیر کنترلی که می‌تواند طول صف یا نرخ داده رسیده به مسیر یاب باشد و با q نمایش داده می‌شود.
- طول صف/ نرخ داده مطلوب در هر مسیر یاب (ورودی مرجع) که با qref نمایش داده می‌شود.
- سیگنال پس خورد که نمونه‌گیری شده خروجی (طول صف) است و برای محاسبه ترم خطا به کار می‌رود.

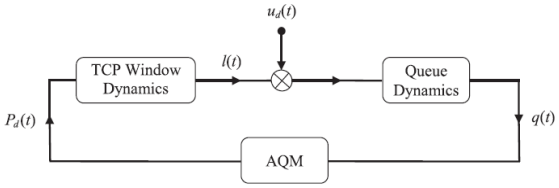
از این رو، برای کنترل چنین سیستمی ابتدا باید مدل مناسبی از پلنت به دست آید و سپس بر این اساس، کنترل‌کننده AQM طراحی شود.

یکی از تکنیک‌های کنترلی که امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته، کنترل مود لغزشی است؛ چرا که این تکنیک در مقابل نامعینی‌های مدل‌سازی و اغتشاشات وارد شده تا حدود زیادی مقاوم است. در کنترل مود لغزشی، مسیرهای حالت باید به یک سطح از پیش تعریف شده (سطح لغزش)، در یک مدت زمان محدود رسیده و در طول زمان در همان سطح باقی بماند. حرکت بر روی سطح لغزش، مستقل از نامعینی‌ها می‌باشد؛ لذا این تکنیک یکی از روش‌های کنترل مقاوم می‌باشد. با استفاده از یک مدل مرتبه پایین‌تر، سطح لغزش به گونه‌ای طراحی می‌شود که اهداف کنترل بدست آید[۸،۷]. در این مقاله، ابتدا مدل شبکه های TCP/IP ارائه می شود. سپس به بررسی کنترل مود لغزشی در مورد یک سیستم مرتبه دوم نمونه می‌پردازیم. در بخش چهارم، کنترل مود لغزشی را بر روی شبکه TCP/IP پیاده سازی کرده و نتایج بدست آمده را با نتایج حاصل از چند کنترل کننده دیگر مقایسه می‌کنیم.

۲- دینامیک شبکه در فاز اجتناب از ازدحام

در سال‌های اخیر چندین مدل ریاضی از شبکه‌های متشکل از شارهای TCP که روش‌های مدیریت پویای صف را پشتیبانی می‌کنند، پیشنهاد شده است، که می توان از آنها برای طراحی و آنالیز روش‌های مدیریت پویای صف مبتنی بر مبنای تئوری کنترل استفاده نمود. یکی از معروف‌ترین این مدل‌ها، مدل مطرح شده در [۹] و فرم ساده شده آن در [٤] است. این مدل متشکل

از دو معادله دیفرانسیل تاخیردار است که براساس آنالیز شار- سیالی و معادلات دیفرانسیل تصادفی به دست آمده است. پس از آن، این مدل بهبود داده شده است تا اثر شارهای غیر پاسخگو را نیز در بر بگیرد. شکل (۲)، دیاگرام بلوکی این مدل را برای حالت وجود یک صف در ورودی خط گلوگاه نشان می‌دهد، که با شارهای TCP همسان و طویل المدت و شارهای کوتاه مدت و غیرپاسخگو u تغذیه می‌شود. شارهای غیرپاسخگو عمدتاً شامل شارهای کوتاه مدت TCP و شارهای UDP[1] هستند. همانطور که از شکل (۲) مشخص است، شارهای طویل المدت تحت کنترل مستقیم پویای صف قرار دارند؛ در حالی که، اثر این کنترل بر شارهای غیر پاسخگو، غیر مستقیم است.



شکل ۲: مدل دینامیکی کنترل ازدحام TCP به همراه AQM

بر اساس توضیحات داده شده، معادله دیفرانسیل توصیف‌کننده رفتار یک شار طویل المدت (در استراتژی افزایش جمع شونده – کاهش ضربی) برای شبکه TCP به صورت زیر است[٤]:

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R(t)} - \frac{W(t)W(t-R(t))}{2} p(t-R(t))$$

$$\dot{q}(t) = \begin{cases} -C(t) + \frac{N(t)}{R(t)} W(t), & q > 0 \\ \max(0, -C(t) + \frac{N(t)}{R(t)} W(t)) & q = 0 \end{cases} \quad (1)$$

که در آن، W اندازه پنجره ازدحام بر حسب بسته، $R = q/C + T_p$ زمان مسافت چرخشی بر حسب ثانیه و p احتمال انداخته‌شدن یا علامت‌گذاری شدن بسته‌هاست. همچنین q و C به ترتیب عبارتند از طول صف در مسیریاب میانی مربوط به خط گلوگاه (بر حسب بسته).

۳- کنترل مود لغزشی استاندارد

سیستم مرتبه دو زیر را در نظر بگیرید[۸]:

$$\dot{x}_1 = x_2$$
$$\dot{x}_2 = h(x) + g(x)u \quad (2)$$

که h و g توابع غیرخطی نامعلوم بوده و داریم:

$$g(x) \geq g_0 > 0 \qquad \forall x \quad (3)$$

هدف یافتن یک قانون فیدبک حالت است به گونه‌ای که مبدا پایدار گردد (فرض می‌کنیم که مبدا نقطه تعادل سیستم فوق است. در غیر این‌صورت، می‌توان با یک تبدیل ساده، نقطه تعادل را در مبدا قرار داد). فرض کنید قانون کنترلی را طراحی کرده‌ایم که حرکت سیستم را به سطح لغزش[۲] $s = wx_1 + x_2$ محدود می‌سازد. در این سطح، حرکت سیستم با معادله $\dot{x}_1 = -wx_1$ هدایت خواهد شد. با انتخاب $w > 0$، حرکت $x(t)$ به سمت صفر تضمین شده خواهد بود. توجه کنید که سرعت همگرایی را می‌توان با انتخاب w کنترل نمود. حرکت بر روی سطح لغزش s، مستقل از h و g خواهد بود. سوال اساسی این است که چگونه می‌توان مسیرهای حالت را به سطح $s = 0$ رساند و در آن‌جا نگه داشت؟

قانون پایداری لیاپانوف را می‌توان در پاسخ به پرسش فوق به کار گرفت. بنا به قانون لیاپانوف، باید یک تابع کاندید معین مثبت تعریف کرده و مشتق آن را کوچکتر از صفر قرار دهیم. بدین وسیله می‌توان به یک قانون کنترلی رسید که رفتن به سطح لغزش و ماندن در آن‌جا را تضمین می‌کند. مثلا فرض کنید تابع معین مثبت زیر را به عنوان تابع لیاپانوف تعریف کنیم:

$$V = \frac{1}{2}\rho s^2 + \varepsilon |s| \quad (4)$$

که در آن ρ و ε اعداد ثابت مثبت است. بنابراین داریم:

$$\dot{V} = \rho s\dot{s} + \varepsilon s\dot{s}\,\mathrm{sgn}(s) = \dot{s}[\rho s + \varepsilon\,\mathrm{sgn}(s)] \quad (5)$$

لذا برای این‌که تابع فوق منفی شود می‌توان فرض کرد:

$$s = -\frac{1}{\rho}[\dot{s} + \varepsilon\,\mathrm{sgn}(s)] \quad \rightarrow \dot{V} = -\dot{s}^2 \quad (6)$$

با در نظر گرفتن این‌که $\dot{s} = w\dot{x}_1 + \dot{x}_2 = wx_2 + h(x) + g(x)u$، قانون کنترل را به صورت زیر بدست می‌آوریم:

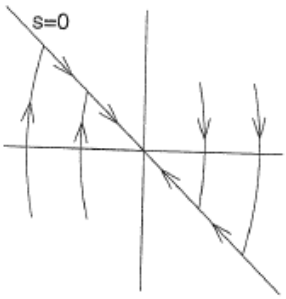
$$s = -\frac{1}{\rho}[wx_2 + h(x) + g(x)u + \varepsilon\,\mathrm{sgn}(s)]$$

$$\rightarrow u = \frac{1}{g(x)}[-\rho s - wx_2 - h(x) - \varepsilon\,\mathrm{sgn}(s)] \quad (7)$$

با اعمال سیگنال کنترل فوق می‌توان انتظار داشت که سیستم به حالت تعادل پایدار رسیده و بر روی سطح لغزش از پیش تعریف شده حرکت نماید. ولی سرعت حرکت به سمت نقطه تعادل و مقدار سیگنال کنترل مقادیری نامعلوم هستند. یک صفحه فاز[۳] نمونه تحت کنترل مود لغزشی در شکل (۳) نشان داده شده است.

1. User Datagram Protocol (UDP)

2. Sliding Surface (or Manifold)
3. Phase Portrait



شکل ۳:یک صفحه فاز نمونه تحت کنترل مود لغزشی[۸]

٤- طراحی کنترل مود لغزشی

حال بمنظور طراحی کنترل مود لغزشی استاندارد برای سیستم TCP با انتخاب مدل بیان شده در معادله شماره (۱) و $x_1 = q(t) - q_0$ و $x_2 = \dot{x}_1$ بعنوان حالتهای سیستم، می توان سطح لغزش را به صورت زیر انتخاب کرد:

$$s(t) = x_1 + \dot{x}_1 = 0 \qquad (8)$$

$$V(t) = \frac{1}{2} s^2(t) \;,\; \dot{V}(t) < 0 \Rightarrow s(t)\dot{s}(t) < 0 \qquad (9)$$

حال بمنظور طراحی یک کنترل کننده مقاوم فرض می کنیم:

$$\dot{s}(t) = -k_1 s - k_2 \,\mathrm{sgn}(s) \qquad (10)$$

جایی که k_1 و k_2 پارامترهای طراحی هستند.

$$\ddot{x}_1 = -\dot{x}_1 - k_1 s - k_2 \,\mathrm{sgn}(s) \Rightarrow$$

$$\ddot{x}_1 = \dot{q}(t) = -\dot{x}_1 - k_1 s - k_2 \,\mathrm{sgn}(s) \qquad (11)$$

با جایگذاری $\dot{q}(t)$ از رابطه(۷) **Error! Reference source not found.**:

$$\dot{q}(t) = -\dot{C}(t) + \frac{\dot{N}(t)}{R(t)} W(t) - \frac{N(t)\dot{R}(t)}{R^2(t)} W(t) + \frac{N(t)}{R(t)} \dot{W}(t) \qquad (12)$$

با جایگذاری $\dot{q}(t)$ از رابطه(۱۲):

$$\frac{N(t)}{R(t)} \dot{W}(t) = \dot{C}(t) - \frac{\dot{N}(t)}{R(t)} W(t) + \frac{N(t)\dot{R}(t)}{R^2(t)} W(t) - \dot{x}_1 - k_1 s - k_2 \,\mathrm{sgn}(s) \qquad (13)$$

با جایگذاری $\dot{W}(t)$ از رابطه (۷):

$$\frac{1}{R(t)} - \frac{W(t)}{2} \frac{W(t - R(t))}{R(t - R(t))} p(t - R(t)) = \frac{R(t)}{N(t)} \dot{C}(t) - \frac{\dot{N}(t)}{R(t)} W(t) + \frac{N(t)\dot{R}(t)}{R^2(t)} W(t) - \dot{x}_1 - k_1 s - k_2 \,\mathrm{sgn}(s) \qquad (14)$$

$$p(t - R(t)) = -\frac{2(R(t - R(t))}{W(t) W(t - R(t))} \left(-\frac{1}{R(t)} + \frac{R(t)}{N(t)} \dot{C}(t) - \frac{\dot{N}(t)}{R(t)} W(t) + \frac{N(t)\dot{R}(t)}{R^2(t)} W(t) - \dot{x}_1 - k_1 s - k_2 \,\mathrm{sgn}(s) \right) \qquad (15)$$

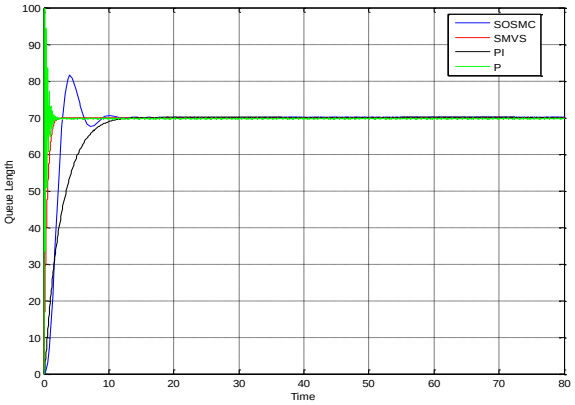
$\dot{N}(t), \dot{R}(t), \dot{C}(t)$ نامعینی هایی هستند که باید باند بالایی آنها معلوم باشد. $p(t - R(t))$ احتمال دور ریختن بسته است و یا بعبارتی سیگنال کنترلی می باشد.

٥- شبیه سازی و مقایسه

برای مقایسه روش پیشنهادی با روشهای قبلی دو سناریوی مختلف در محیط شبیه‌سازیMATLAB در این مقاله آورده شده است.

سناریوی اول

شبکه ای با پارامترهای N= 60 جریان، C= 3750 Packets/s ، $R_0 = 0.246\ s$ و صف مطلوب ۷۰ بسته، مانند [٤] در نظر بگیرید. حال کنترل کننده بدست آمده در این مقاله را با شرایط بالا شبیه‌سازی کرده و نتایج را با چند کنترل کننده دیگر مقایسه خواهیم کرد. نتایج را با کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم و کنترل کننده های P و PI از مرجع [٤] مقایسه می‌کنیم.

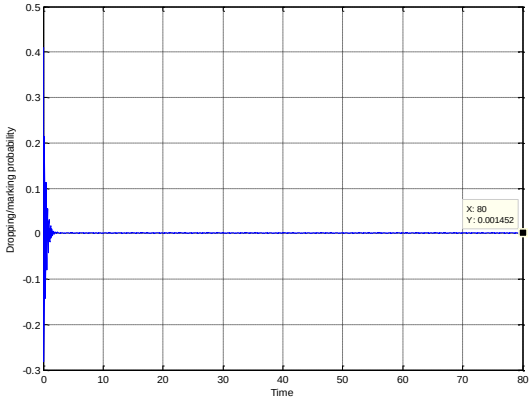


شکل ٤: مقایسه پاسخهای به کنترل کننده های مختلف

همانطور که در شکل (٤) دیده می‌شود، کنترل کننده P دارای سریعترین و در عین حال نوسانی ترین پاسخ می‌باشد. البته می-توان با کم کردن مقدار بهره، میزان نوسانات را تا حدودی کاهش داد، ولی این کار باعث کاهش سرعت و حتی نرسیدن به تعداد صف مطلوب می‌شود. بعد از کنترل کننده P، کنترل کننده مود لغزشی استاندارد (SMVS) دارای سریعترین پاسخ و بدون فراجهش است. سرعت بالای آن به خاطر نوع طراحی آن است که برای رسیدن به حالت ماندگار، سوئیچ‌های زیادی انجام می-دهد و اثر این سوئیچ‌ها در سیگنال کنترلی به راحتی قابل مشاهده است.

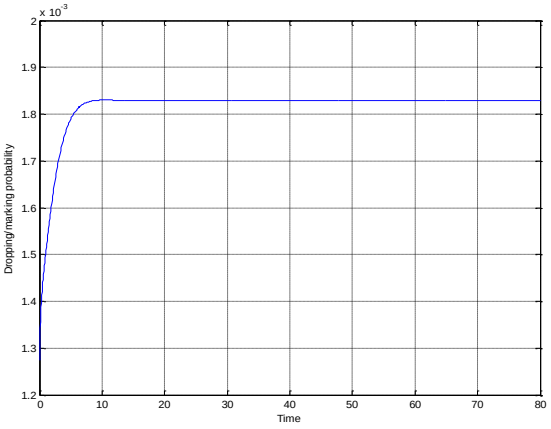
کنترل کنندههای مود لغزشی مرتبه دوم (SOSMC) و PI دارای پاسخ‌های نسبتا کندتری هستند و در حدود ۱۵ ثانیه به حالت ماندگار می‌رسند. علت این پاسخ کند به خاطر انتگرال‌گیری است که در هر دو کنترل کننده به کار گرفته شده است.

سیگنال‌های کنترلی برای کنترل کننده های فوق در شکلهای بعدی آورده شده است.



شکل ۵: سیگنال کنترلی در کنترل کننده P

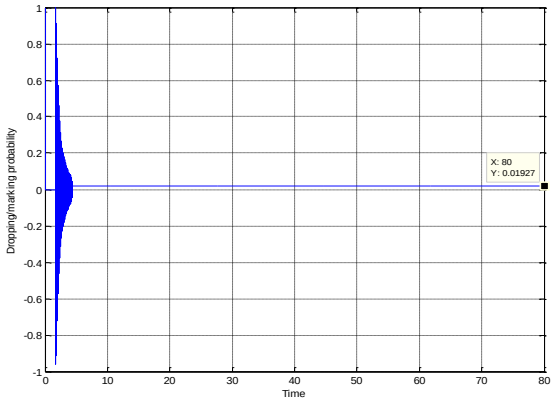
سیگنال کنترل در مورد کنترل کننده P، دارای نوسانات زیادی در شروع کار است و حتی در لحظاتی منفی نیز می‌شود. علت منفی شدن سیگنال کنترلی آن است که کنترل کننده P تنها از یک بهره تشکیل شده و چنانچه ورودی آن منفی شود، خروجی منفی خواهد شد.



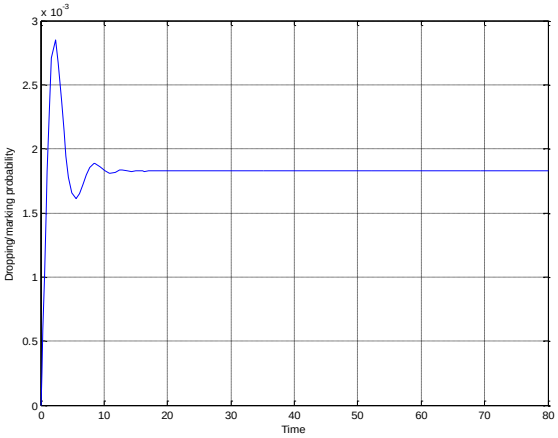
شکل ۶: سیگنال کنترلی در کنترل کننده PI

سیگنال کنترل در مورد کنترل کننده PI مقدار معقول و مناسبی دارد و بدون نوسان در نهایت به حدود ۰,۰۰۲ می‌رسد. علت هموار بودن سیگنال استفاده از یک انتگرال‌گیر است که خطاها را جمع نموده و مانع از تغییرات سریع می‌شود.

سیگنال کنترلی در کنترل کننده SMVS نیز با سرعت زیاد همگرا شده است و کارآمدی این کنترل کننده را نشان می‌دهد (شکل(۷)).



شکل ۷: سیگنال کنترلی در کنترل کننده SMVS



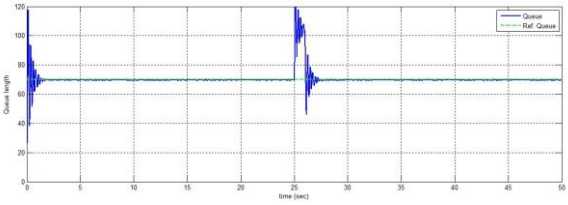
شکل ۸: سیگنال کنترلی در کنترل کننده SOSMC

سیگنال کنترل در مورد کنترل کننده SOSMC تغییرات و مقدار مطلوبی دارد. در نهایت می‌توان گفت که کمترین میزان نوسان سیگنال کنترلی مربوط به کنترل کننده های SOSMC و PI است. مقدار نهایی هر دو سیگنال در حدود ۰,۰۰۲ است ولی کند هستند. سیگنال‌های کنترلی مربوط به کنترل کننده های SMVS و P دارای نوسان زیادی هستند ولی سریع هستند.

سناریوی دوم

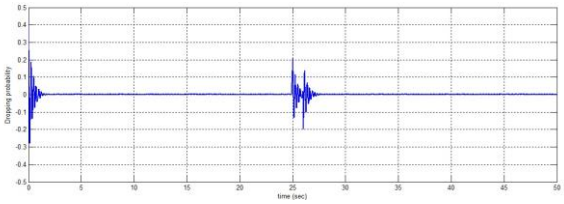
شبکه ای با پارامترهای که دارای نا معینی هستند با مقادیر $N = 60 \pm 6$ جریان، Packets/s $C = 3750 \pm 375$ و $R_0 = 0.246 \pm 0.02\,s$ را در نظر بگیرید. برای بررسی تاثیر جریان‌های لحظه‌ای در ثانیه ۲۵ یک جریان به اندازه نصف طول صف نامی به شبکه وارد می شود. همچنین برای بررسی تاثیر اغتشاش در ورودی به صورت تصادفی ۱۰٪ به ورودی اضافه و کم می کنیم. حال با شرایط فوق سعی بر آن است کنترل کننده مود لغزشی استاندارد پیشنهادی را شبیه‌سازی کرده و نتایج را با چند کنترل کننده دیگر مقایسه کنیم. در شکل زیر

نحوه کنترل و نحوه در نظر گرفتن نا معینی ها با کنترل کننده های مختلف آورده شده است.



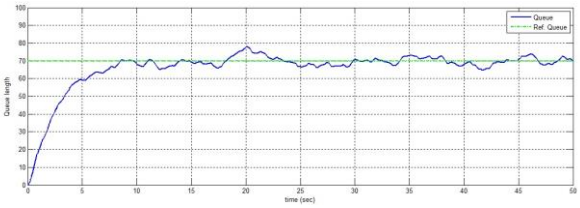
شکل ۹: پاسخ کنترل کننده P

پاسخ کنترل کننده P در شکل(۹) نمایش داده شده است. پاسخ کنترل کننده P مطلوب می باشد و طول صف پس از نوساناتی بزرگ ابتدایی به مقدار مطلوب رسیده است. سیگنال کنترلی کنترل کننده P در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۱۰: سیگنال کنترلی در کنترل کننده P

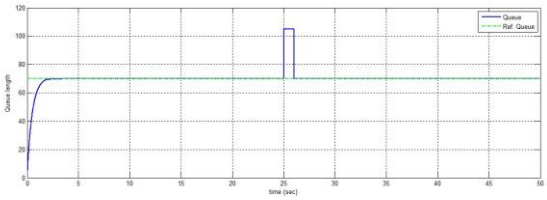
کنترل کننده PI دارای پاسخی مناسب است. در شکل(۱۰) پاسخ کنترل کننده PI برای این حالت آورده شده است.



شکل ۱۱: پاسخ کنترل کننده PI

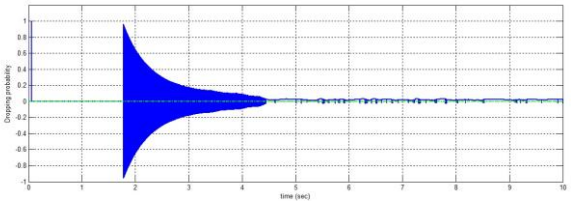
سیگنال کنترلی کنترل کننده PI درشکل(۱۱) آورده شده است. سیگنال کنترلی هیچگاه منفی نمی شود و تغییراتی آرام دارد که نشان دهنده کارایی بالا برای این کنترل کننده می باشد.

در شکل(۱۲) پاسخ کنترل کننده مود لغزشی استاندارد آورده شده است. پاسخ کنترل کننده مود لغزشی استاندارد مطلوب می باشد و طول صف در زمانی کم به مقدار مطلوب می رسد. همانطور که ملاحظه می شود در ثانیه ۲۵ ورودی ناگهانی عینا به خروجی انتقال داده شده است.



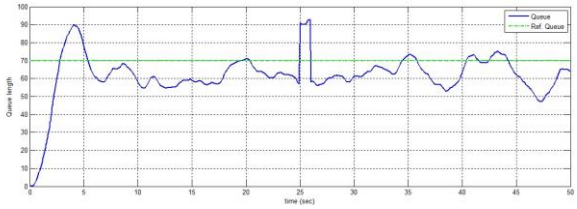
شکل ۱۲: پاسخ کنترل کننده مود لغزشی استاندارد

در شکل زیر سیگنال کنترلی کنترل کننده مود لغزشی استاندارد آورده شده است.



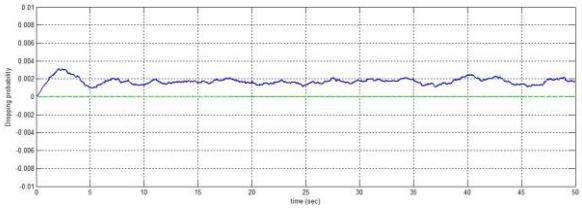
شکل ۱۳: سیگنال کنترلی کنترل کننده مود لغزشی استاندارد

همانطور که درشکل(۱٤) نشان داده شده است، پاسخ کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم اگرچه با نوساناتی همراه است ولی مناسب است و به طول صف مطلوب رسیده است.



شکل ۱٤: پاسخ کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم

شکل (**۱۵شکل** (۰-۱) سیگنال کنترلی کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم را نشان می دهد.



شکل (۰-۱) سیگنال کنترلی کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم

همانطور که دیده می‌شود که پاسخ کنترل کننده مود لغزشی استاندارد و P مطلوب می باشد و طول صف در زمانی کم به مقدار مطلوب می رسد. پاسخ کنترل کننده مود لغزشی مرتبه دوم (SOSMC) و PI مناسب است. هر چند که هر دو کنترل کننده دارای سیگنال‌های کنترلی به یک میزان می‌باشند، ولی پاسخ کنترل کننده PI تا حدودی هموارتر بوده و اثر اغتشاش وارد شده را بهتر دفع می‌کند.

٦- نتیجه گیری

در این مقاله یک کنترل کننده مود لغزشی استاندارد برای یک شبکه TCP/IP ارائه گردید. برای این که کارایی روش پیشنهادی بررسی گردد، نتایج آن را در شرایط متفاوت با کنترل کننده های مختلف مقایسه گردید. کنترل کننده مود لغزشی

مرتبه دوم از مرجع و کنترل کننـده هـای P و PI را بـرای ایـن مقایسه استفاده کردیم. نتایج این مقایسه گواه بـر کـارایی روش پیشنهادی در همه شرایط می باشد. کنترل کننـده مـود لغزشـی استاندارد، در اکثر موارد پاسخ‌های مطلـوب و سـریعی داشـت. یک کنترل کننده ترکیبی مـود لغزشـی اسـتاندارد و مرتبـه دوم برای یک شبکه TCP/IP می تواند از کا های آینده باشد.

۷- سپاسگزاری

بخش‌هایی از این مقاله با حمایت مرکز تحقیقات مخابرات ایران اجرا شده است؛ از این رو نگارندگان بر خود لازم می-دانند از پشتیبانی‌های آن مرکز صمیمانه سپاسگزاری کنند.

مراجع

[1] Nagle J., "Congestion Control in IP/TCP Internetworks", RFC 896, FACC, January 1984.

[2] Jacobson V., Karels M. J. Congestion Avoidance and Control (1988). Proceedings of the Sigcomm '88 Symposium, vol.18(4): pp.314–329. Stanford, CA. August, 1988. This paper originated many of the congestion avoidance algorithms used in TCP/IP.

[3] Barzamini R., Shafiee M. (2011). LMI Based Switching Congestion Controller for Multiple Bottleneck Packet Switching Networks. Journal of American Science, 2011;7(6), pp. 254-261.

[4] Hollot C.V., Misra V., Towsley D., Gong W.B., Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows, IEEE Transactions on Automatic Control 47 (6) (2002) 945-959.

[5] Barzamini R., Shafiee M. (2011). Adaptive Generalized Minimum Variance Congestion Controller for Dynamic TCP/AQM Networks. Accepted for publication in Elsevier Journal of Computer Communications (COMCOM).doi:10.1016/j.comcom.2011.08.010.

[6] Fengyuan Ren, Chuang Lin, and Xunhe Yin, "Design a congestion controller based on sliding mode variable structure control," Computer Communications, vol. 28, pp. 1050-1061, 2005.

[7] Zinober, A.S.I., ed (1990). Deterministic control of uncertain systems, London: Peter Peregrinus Press. ISBN 978-0863411700.

[8] Hassan K. Khalil, Nonlinear Systems, 3rd ed. New Jersey, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.

[9] V. Misra, W.B. Gong, and D. Towsley, “Fluid-based Analysis of a Network of AQM Routers Supporting TCP Flows with an Application to RED”, Proceedings of ACM/SIGCOMM, pp. 151–160, 2000.