Archive of SID

مجله کنترل ۱۳۸۷، جلد ۲، شماره ۱، صفحه ۲۵-۲۰

مسیریابی تطبیقی در شبکه‌های کامپیوتری بر اساس سیستم فازی

سارا خدایاری فرد، کارولوکس
دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران
s.khodayari@gmail.com, Lucas@ipm.ir

چکیده: در این مقاله به کمک یک سیستم فازی عمل مسیریابی در شبکه صورت می‌گیرد. ترافیک موجود در شبکه به هنگام مسیریابی، بر روی نودهای شبکه به طور متوازن توزیع می‌شود. سیستم فازی مورد نظر به طور تناوبی اطلاعاتی را از شبکه دریافت داشته و بر اساس آن در مورد وضعیت ترافیکی شبکه تصمیم گرفته و بار را به جاهای کم‌ترافیک‌تر می‌فرستد. در پایان، نتایج شبیه‌سازیها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و کارکرد سیستم فازی مورد نظر با چند روش دیگر مقایسه شده است. دیده می‌شود که این سیستم از کارآیی و توان عملیاتی بالایی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: سیستم فازی، مسیریابی، مسیریابی تطبیقی، شبکه‌های کامپیوتری

Abstract: In this paper, routing in computer networks is performed using a fuzzy logic strategy. The present network traffic is evenly distributed during the routing. The fuzzy based system will periodically receive the information from the network and based on this information will divert the load to other parts of the network. Simulation results are used to show the performance of the proposed method and comparison results are also provided.

Keywords: Fuzzy system, Routing, Adaptive Routing, Computer Networks.

۱. مقدمه

با توجه به پیشرفت و گسترش روزبروز شبکه‌های کامپیوتری و افزایش نیاز به آنها در سراسر زمینه‌ها، بحث مسیریابی[1] حائز اهمیت است. از این رو تکنیکهای مربوط به کنترل شبکه نقش اساسی در این زمینه ایفا می‌کنند. مسیریابی بسته‌های داده[2] یکی از مسایل مهم و اساسی تکنیکهای کنترل شبکه است که بر روی کارآیی شبکه تأثیر فراوان دارد. مساله انتقال بسته‌های داده در شبکه‌های کامپیوتری و همچنین کنترل ترافیک بسته‌ها، یکی از مسایل مهم و مورد توجه محققین علم شبکه است و از جمله مسایلی است که با وجود تحقیقات فراوانی که انجام شده، همچنان زمینه تحقیق و بررسیهای گسترده زیادی در آن وجود دارد.

یک الگوریتم خوب مسیریابی باید بدون اطلاع از توپولوژی کل شبکه، بهترین و کاراترین مسیر را پیدا کند. این بهترین مسیر بر اساس وضعیت ترافیکی شبکه و نیز خراب شدن ارتباطات[3] درون شبکه که منجر به تغییرات توپولوژیکی درون شبکه می‌شود، تغییر می‌کند.

۲. مروری بر مسأله مسیریابی

۲.۱. الگوریتمهای مسیریابی

امروزه یکی از الگوریتم‌های خوب و مرسوم مسیریابی در شبکه‌های ارتباطی، پیدا کردن کوتاهترین مسیر است. در این الگوریتم‌ها، کوتاهترین مسیر براساس هزینه لینک[4] محاسبه می‌شود[۵]. الگوریتم‌های کوتاهترین مسیر، استاتیک هستند؛ به این شکل که هزینه لینک ثابت در نظر گرفته می‌شود که البته با واقعیت تناسبی ندارد. راه دیگر آن است که الگوریتم را نیمه استاتیک در نظر گرفت. به این شکل که هزینه لینکها را در یک مدتی محاسبه نموده و در یک فاصله کوتاه زمانی آن را ثابت فرض کرد و پس از گذشت فاصله زمانی مشخص، مجدد هزینه‌ها را به‌روز کرد تا تغییرات احتمالی توپولوژیکی یا خرابیهای شبکه و همچنین ترافیک شبکه لحاظ شود. الگوریتم‌های کوتاهترین مسیر به طور عمده در دو دسته تقسیم بندی می‌شوند: بردار فاصله[5] (که همان الگوریتم Bellman-Ford است) و حالت لینک[6][۵]. در این پروژه از الگوریتم بردار فاصله استفاده شده است.

[1] Routing
[2] Packet
[3] Link
[4] Link Cost
[5] Distance-Vector
[6] Link-State

www.SID.ir

Archive of SID

الگوریتم بردار فاصله در مقایسه با الگوریتم حالت لینک، اطلاعات بسیارکمتری را در خود ذخیره می‌کند. در الگوریتم بردار فاصله، هر جدول مسیریابی در هر نود شبکه دارای اطلاعات نود مقصد، فاصله تخمینی تا آن نود که همان هزینه رسیدن به آن نود است و همچنین نودی که در گام بعدی باید به آن برود، ذخیره شده است[۵]. محاسبه کوتاهترین فاصله بر اساس پیدا کردن مینیمم هزینه لینک‌ها تا مقصد است. جزئیات بیشتر در زمینه الگوریتم کوتاهترین مسیر را می‌توان در[۲و۵] ملاحظه نمود.

در پیاده سازی انجام شده در این مقاله، هزینه لینک‌ها هر ۱ ثانیه یک بار، به روز می‌شوند.

۲.۲. پارامترهای مسیریابی

ساده ترین پارامتری که می‌توان برای ارزیابی کیفیت مسیریابی درنظر گرفت و همچنین تصمیمهای مهم برای چگونگی مسیریابی را بر اساس آن انجام داد، تعداد قدمهایی است که هر بسته داده برمی‌دارد. پارامترهای دیگری از قبیل تأخیر لینک‌ها، عرض باند لینک‌ها، سایز صف[1] هر لینک و یا تأخیر توزیع بسته‌ها، وجود دارد که می‌تواند در کارآیی نحوه مسیریابی تاثیر بسزایی گذارد. با قرار دادن یک سری برچسب‌های زمانی بر روی بسته‌ها و زمانی که برای رسیدن به مقصد سپری می‌کنند، می‌توان تقریب خوبی از تأخیری که در ارتباطات شبکه موجود است، بدست آورد. در شبیه سازیهای انجام شده، برای هر لینک یک صف در نظر گرفته شده است. هنگامی که نودی، یک لینک را برای فرستادن بسته داده انتخاب کند، بسته وارد صف مربوط به آن لینک می‌شود و برای انتقال، منتظر می‌شود تا نوبت به او برسد. ظرفیت لینک‌ها نیز یک مسأله مهم و مورد توجه است.

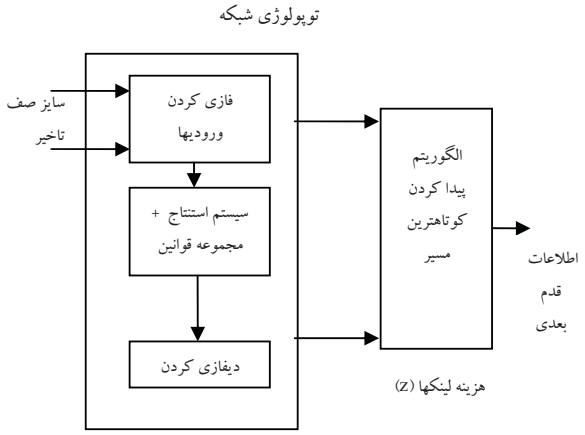
معمولا در الگوریتم‌های مسیریابی هدف علاوه بر فرستادن بسته از یک راه کوتاه، تنظیم حجم بار بر روی لینکها نیز می‌باشد که این مستلزم داشتن مکانیزم کنترل ترافیک شبکه است. از آنجایی که بار موجود در شبکه کاملاً متغیر است و مبدأها و مقصدها نیز متفاوت می‌باشند، مکانیزم کنترل ترافیک باید کاملاً دینامیک باشد تا کارآیی مسیریابی بهینه شود.

در اینجا کنترل ترافیک، به کمک یک سیستم فازی انجام می‌شود که در شرایط مختلف بار در شبکه، به خوبی کار می‌کند. توسط این روش، توان عملیاتی[2] و کارآیی شبکه نیز به علت بهره‌دهی مناسب منابع، افزایش می‌یابد

۳. سیستم فازی جهت کنترل ترافیک

سیستم‌هایی از قبیل فازی که بر اساس دانش وتجربه انسانی عمل می‌کنند، در بسیاری از کاربردها، عملکرد قابل توجه و مناسبی داشته‌اند. در جایی که عدم قطعیت وجود دارد و نیز می‌توان یک سری اطلاعات در مورد کارکرد را از فرد خبره استخراج نمود، چنین سیستم‌هایی قابلیت خوبی از خود نشان می‌دهند[۲]. در منطق فازی از محدوده‌های صلب و مشخص اجتناب شده و نگاهی که بر روی داده‌ها وجود دارد، نگاهی پیوسته است. یک سیستم فازی با سیستم استنتاج[3] آن، که حاوی قاعده‌های استنتاج، توابع عضویت ورودیهای فازی شده و خروجیهای دیفازی شده، شناخته می‌شود.

در مسأله مورد بررسی، سیستم فازی ترسیم شده در شکل(۱) جهت کنترل ترافیک در نظر گرفته شده است که مشخصات آن به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد.



شکل ۱- بدست آوردن هزینه لینکها به کمک سیستم فازی

در اینجا خود عمل مسیریابی از روش متداول پیدا کردن کوتاهترین مسیر و بوسیله جدول مسیریابی[4] صورت می‌گیرد. با این تفاوت که این جداول هر یک ثانیه یک بار، بوسیله اطلاعات جدید بدست آمده از شبکه به روز می‌شوند و بر اساس این اطلاعات ترافیکی تصمیم‌گیری جهت برداشتن قدم بعدی برای هر بسته داده، صورت می‌گیرد. این تصمیم گیری به این صورت است که در هر مرحله، تأخیر سایز صف هر لینک، به عنوان ورودی سیستم فازی، داده می‌شوند. همانطور که در شکل پیداست، فازی شده این ورودیها در سیستم استنتاج مورد تحلیل قرار گرفته و بر اساس قواعد استنتاج طراحی شده، هزینه لینکها به عنوان خروجی سیستم فازی تولید می‌شوند. هزینه محاسبه شده جدید، دیفازی شده و بعنوان ورودی الگوریتم پیدا کردن کوتاهترین مسیر داده می‌شود. الگوریتم کوتاهترین مسیر با دریافت این اطلاعات ترافیکی جدید و داشتن توپولوژی شبکه، بهترین قدم بعدی که کمترین هزینه و زمان را در بر دارد، انتخاب می‌کند.

[1] Queue Size
[2] Throughput
[3] Inference System
[4] Routing Table

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- قواعد فازی برای کنترل ترافیک شبکه

تأخیر / سایز صف	خیلی کوچک	کوچک	متوسط	بزرگ	خیلی بزرگ
خیلی کوچک	خیلی کم	خیلی کم	کم	کم	متوسط
کوچک	خیلی کم	کم	کم	متوسط	متوسط
متوسط	کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد
بزرگ	کم	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد
خیلی بزرگ	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد

۳.۱. سیستم فازی

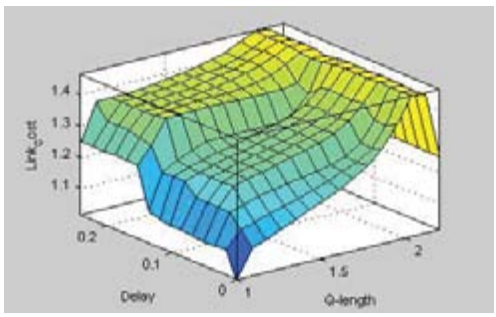
در سیستم فازی مطرح شده از روش استنتاج ممدانی[1] بهره گرفته شده است. در روش استنتاج ممدانی، عملیات and بر اساس مینمم گیری و عمل دیفازی کردن بوسیله روش مرکز ثقل[2] صورت می‌پذیرد. سیستم استنتاج ممدانی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\max(\min(\mu, \overline{\mu_W}(Z))) \qquad \text{for all z}$$

در این ترکیب، μ مجموعه توابع عضویت ورودی و $\overline{\mu_W}(Z)$ تابع عضویت خروجی است. سیستم فازی مورد نظر به کمک نرم افزار MATLAB طراحی و پیاده سازی شد.

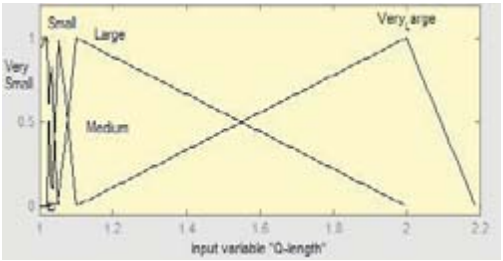
۳.۲. توابع عضویت

توابع عضویت مربوط به ورودیهای سایز صف و تأخیر لینک و خروجی هزینه لینک، همگی تابع عضویت مثلثی انتخاب شدند. رابطه بین توابع عضویت ورودیها و خروجی، در شکل(۲) آورده شده است.

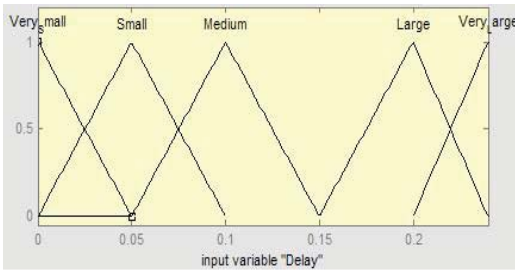


شکل ۲- رابطه بین توابع عضویت ورودیها و خروجی

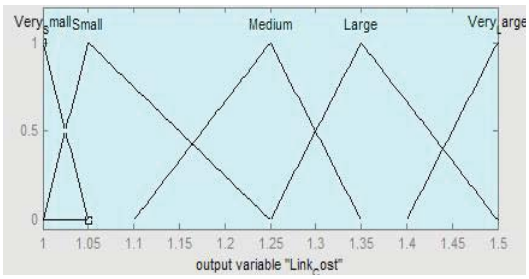
در شکل (۳) تمامی توابع عضویت ورودیها و خروجی به کار رفته نمایش داده شده‌اند.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل۳- (الف) تابع عضویت سایز صف (ب) تابع عضویت تأخیر(ج) تابع عضویت هزینه لینک

۳.۳. مجموعه قواعد فازی[3]

قواعد مورد استفاده در سیستم فازی، به کمک فرد خبره استخراج شده است [۲]. این قواعد در جدول(۱) آورده شده‌اند. در این جدول، ردیفها سایز صف و ستونها میزان تأخیر لینک را نمایش می‌دهند. خروجی سیستم فازی که هزینه لینکهاست داخل جدول را پر کرده‌اند.

٤. جزئیات الگوریتم

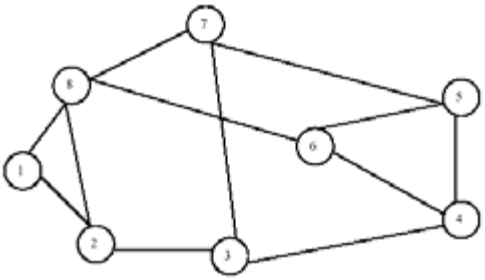
٤.۱. توصیف کارکرد

در شبیه سازیها دو شبکه به عنوان شبکه‌های نمونه که در [۲] و [۶] استفاده شده بودند، مورد آزمایش قرار گرفتند که در شکل (۴) و (۵) ترسیم شده‌اند.

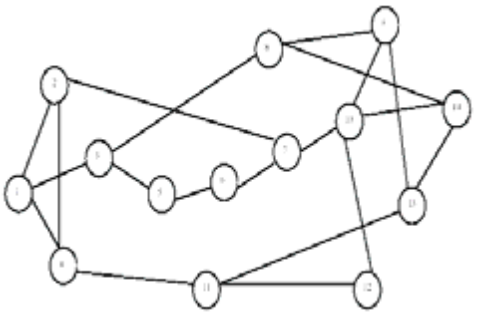
[1] Mamdani Inference Method
[2] Centroid Defuzzifier
[3] Rule Base

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- شبکه مورد آزمایش با ۸ نود



شکل ۵- شبکه مورد آزمایش با ۱۴ نود

در هر دو مورد عرض باند لینکهای شبکه 1.5MBPS و تأخیر توزیع در لینک[1] ۱.۵ میلی ثانیه در نظر گرفته شده است. ماکزیمم سایز ممکن برای صف هم ۵۰ کیلوبایت محسوب شد. کل زمان شبیه سازی هم ۳۰ ثانیه می‌باشد. برای محاسبه تأخیر لینک‌ها از بسته‌های آزمایشی استفاده شد. به این شکل که هر ۰.۰۵ ثانیه یک بار همه نودها برای به دست آوردن تأخیر لینک‌های متصل به خود، بسته‌های آزمایشی که اندازه آنها ۱۰۰ کیلوبایت است به نودهای همسایه خود می‌فرستند. هر بسته آزمایشی، برچسب زمانی دارد که با گذشت زمان به آن افزوده می‌شود. میزان زمانی که این بسته در صف لینک منتظر بماند، نشانگر وضعیت ترافیکی شبکه است. از طرفی هر ۰.۰۰۵ ثانیه یک بار هم بسته‌های داده که سایز آنها بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلو بایت در هر شبیه سازی متغیر بود، با مبدأها و مقاصد تصادفی تولید شده وارد شبکه می‌شوند. بسته‌های داده با برداشتن قدم‌های پی در پی در هر تکرار، خود را به مقصد می‌رسانند. اگر بسته‌ای در حین عبور از لینکها به ترافیک برخورد کند، زمان رسیدن آن به مقصد زیاد می‌شود و این زمان، روی متوسط زمان رسیدن به مقصد[2] که یکی از پارامترهای ارزیابی است، تأثیر دارد. بسته‌های داده بر بسته‌های آزمایشی هیچ گونه حق تقدمی ندارند و برای جای گرفتن در صف، از اولویت یکسانی برخوردارند. بدین شکل، بسته‌های آزمایشی به خوبی می‌توانند تخمین مناسبی از وضعیت ترافیکی شبکه به دست آورند. هر نود در بازه زمانی یک ثانیه، بر روی زمان رسیدن بسته‌های آزمایشی متوسط گیری نموده و این متوسط زمانی را به عنوان تاخیر هر لینک قرار می‌دهد. به این شکل تأخیر هر لینک، محاسبه شده و بعنوان ورودی سیستم فازی داده می‌شود. سایز صف هر لینک هم با ورود و خروج بسته‌ها به روز می‌شود و به هنگام به روز شدن جدول مسیریابی در هر ثانیه یک بار به سیستم فازی داده می‌شود. سیستم فازی بر اساس این اطلاعات، وضعیت ترافیکی شبکه را به دست آورده و با اعمال آن بر روی شبکه از طریق هزینه لینکها، در نوع توزیع بار بر روی نودها تأثیر می‌گذارد.

۴.۲. ملاکهای ارزیابی

ملاکهای ارزیابی گوناگونی می‌تواند جهت ارزش‌گذاری بر روشهای مختلف مسیریابی به کار رود. هر کدام از این ملاکها بسته به نوع کاربردی که شبکه دارد و اهمیت اصلی آن، ویژگی‌های مختلف شبکه را توصیف می‌کند. به عنوان مثال در برخی کاربردهای امنیتی یا نظامی مسأله تضمین رسیدن بسته‌ها به مقصد، از هر امر دیگری مهم تر است. بنابراین در چنین کاربردی تمرکز اصلی در رساندن بسته‌هاست؛ ولو اینکه این کار با هزینه بالا و زمان طولانی صورت پذیرد. در کاربردهای دیگری ممکن است سرعت رسیدن داده‌ها در درجه اول اهمیت باشد. بنابراین حتی اگر لازم باشد مقداری داده از دست برود، باید سرعت انتقال اطلاعات پایین نیاید. در کل ملاکهایی مانند سایز صفها، توان عملیاتی، متوسط زمان رسیدن بسته‌ها، تعداد قدمهای برداشته شده تا مقصد و تأخیر می‌توانند ملاکهایی برای ارزیابی عملکرد شبکه باشند. در اینجا ارزیابی بر اساس متوسط زمان رسیدن بسته‌ها به مقصد و نیز توان عملیاتی شبکه بررسی شد.

۴.۳. نتایج آزمایشها و تحلیل

در آزمایشهای صورت گرفته، روشهای مختلف برآورد هزینه لینکهای شبکه و کنترل ترافیک مورد آزمایش قرار گرفت. طبق آنچه در [۲] صورت گرفته بود، محاسبه هزینه لینکها بر اساس ترکیبی از طول صف و تأخیر لینکها انجام شد. از بین تمامی‌ترکیبها سه نوع آن برای مقایسه با سیستم فازی مورد نظر برای کنترل ترافیک، انتخاب شده است. بسته‌های داده به طور تصادفی از بین چند مبدأ به مقاصدی انتخاب شده‌اند که موجب افزایش ترافیک در مسیرهای خاصی بشوند. با بررسی این حالات خاص، می‌توان راه حل را برای شرایط بدتر نیز تعمیم داد. در آزمایشهای مختلف بر روی دو شبکه مطرح شده، اندازه بسته‌های اطلاعاتی از کم به زیاد مورد تست قرار گرفتند. اندازه بسته‌ها در هر سری شبیه سازی ثابت در نظر گرفته شد. نتایج این آزمایشها به تفکیک شبکه ۱ که در شکل (۴) و شبکه ۲ که در شکل (۵) ترسیم شده در جداول(۲)، (۳)، (۴) و (۵) آورده شده است. دیده می‌شود که توان عملیاتی شبکه‌هایی که از سیستم فازی طرح شده استفاده کرده‌اند، تقریباً در تمامی موارد و در هر دو شبکه، از سایر روشها برتری جسته است. همچنین با مقایسه متوسط زمان رسیدن بسته‌ها، می‌بینیم که در مواردی که از سیستم فازی استفاده شده، بسته‌ها سریع‌تر منتقل

[1] Propagation Delay
[2] Average Delivery Time

www.SID.ir

Archive of SID

شده‌اند و این زمان نیز، در هر دو مورد آزمایش، از بقیه روشها کمتر است که این امر قابلیت سیستم فازی در توزیع بار و انتقال سریع داده را می‌رساند.

جدول۲ – توان عملیاتی به دست آمده برای روشهای مختلف در شبکه ۱

سایز بسته‌ها (بایت)	توان عملیاتی صف به تنهایی(٪)	توان عملیاتی ۰.۸صف+۰.۲تأخیر(٪)	توان عملیاتی ۰.۵صف+۰.۵تأخیر(٪)	توان عملیاتی فازی (٪)
۸۰۰	۵۹.۱۶	۸۳.۹۱	۹۶.۳۴	۹۴.۲۲
۹۰۰	۵۱.۷۸	۷۶.۶۳	۸۲.۶۴	۹۰.۲۱
۱۰۰۰	۴۷.۹۱	۷۱.۶۶	۷۶.۵۴	۸۲.۲۱

جدول۳– توان عملیاتی به دست آمده برای روشهای مختلف در شبکه ۲

سایز بسته‌ها (بایت)	توان عملیاتی صف به تنهایی(٪)	توان عملیاتی ۰.۸صف+۰.۲تأخیر(٪)	توان عملیاتی ۰.۵صف+۰.۵تأخیر(٪)	توان عملیاتی فازی (٪)
۹۰۰	۵۵.۵۶	۸۱.۸۲	۹۵.۵۵	۹۵.۱۶
۹۵۰	۵۶.۴۶		۸۲.۹۳	۹۱.۷۹
۱۰۰۰	۵۳.۳۳	۷۷.۶۸	۸۷.۹۷	۸۸.۲۱

جدول۴– متوسط زمان رسیدن به مقصد برای روشهای مختلف در شبکه ۱

سایز بسته‌ها (بایت)	متوسط زمان رسیدن صف به تنهایی(ثانیه)	متوسط زمان رسیدن ۰.۸صف+۰.۲تأخیر(ثانیه)	متوسط زمان رسیدن ۰.۵صف+۰.۵تأخیر(ثانیه)	متوسط زمان رسیدن فازی (ثانیه)
۸۰۰	۱.۶۷	۱.۳۲	۰.۹۱	۰.۷۶
۹۰۰	۱.۵۸	۱.۲۶	۱.۱۴	۰.۸۶
۱۰۰۰	۱.۷۵	۱.۴۷	۱.۳۳	۱.۰۳

جدول۵– متوسط زمان رسیدن به مقصد برای روشهای مختلف در شبکه ۲

سایز بسته‌ها (بایت)	متوسط زمان رسیدن صف به تنهایی(ثانیه)	متوسط زمان رسیدن ۰.۸صف+۰.۲تأخیر(ثانیه)	متوسط زمان رسیدن ۰.۵صف+۰.۵تأخیر(ثانیه)	متوسط زمان رسیدن فازی(ثانیه)
۹۰۰	۲.۰۱	۱.۳۴	۰.۸۳	۰.۷۸
۹۵۰	۱.۹۲		۱.۰۲	۰.۷۹
۱۰۰۰	۱.۹۷	۱.۳۷	۱.۰۹	۰.۸۱

۵. نتیجه گیری

در این مقاله مسیریابی در شبکه‌های کامپیوتری به کمک استفاده از یک سیستم فازی مورد بررسی قرار گرفت. سیستم فازی مورد نظر درشرایط مختلف شبکه‌ای و سطوح مختلف بار، در مقایسه با سایر روشها، توان عملیاتی بالاتر واستفاده بهینه تری از منابع شبکه نشان داد. با تغییر سطح بار در شبکه، هزینه‌های مربوط به لینکها براساس ترافیک موجود باید تغییر کنند تا بهره بالاتری در کارآیی شبکه ایجاد شود و این در سیستم فازی طرح شده، به شکلی انجام شد که در مقایسه با سایر روشهای ترکیبی، با تغییر سطح بار و نیز توپولوژی شبکه، بهترین نتیجه حاصل شود. در کارهای بعدی باید بر روی سیستم فازی طرح شده تنظیماتی صورت گیرد تا منابع بیشتری از شبکه بهینه مصرف شوند. همچنین باید بر روی سرعت همگرایی شبیه سازی کار شود تا زمان آن کمتر شود.

مراجع

[1] L. Peshkin & V. Savova, "*Reinforcement Learning for Adaptive Routing*", In Proc. of the International. Joint Conf. on Neural Networks, IJCNN, 2002.

www.SID.ir

Archive of SID

[2] A. Pasupuleti, A. V. Mathew, N. Shenoy and S. A. Dianat, *"A Fuzzy System for Adaptive Network Routing"*, Proceedings of SPIE Vol. #4740, SPIE's 16th Annual International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation, and Controls, Orlando, Florida USA. 1-5 April 2002

[3] J. Boyan and M. L. Littman, *"Packet Routing in Dynamically Changing Networks: A Reinforcement Approach"*, Advances in Neural Information Processing Systems, volume 7, pages 671-378, 1994.

[4] Bruce S. Davie, Larry L. Peterson, *"Computer Networks: A Systems Approach"* Morgan Kaufmann, second edition, June 2000.

[5] D. W. Glazer and C. Tropper, *"A New Metric for Dynamic Routing Algorithm"*, IEEE Transactions on Communications, Vol. 38, No. 3, March 1990.

[6] M. Kara, H. Karabelli & N. Duru, *"Fuzzy Based Routing In Packet Switching Networks"*, International XII, Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks – TAINN 2003.

[7] Chiang Kang Tan, *"The Use of Fuzzy Metric in QoS Based OSPF Network"*,
http://www.ee.ucl.ac.uk/~lsacks/tcomsmsc/projects/pastproj/ck_tan.pdf, 2000/2001.

www.SID.ir