

تاثیر کاهش مصرف توان در موتورهای جستجوی آدرس IP، مبتنی بر حافظه‌های سه مقداری پذیر براساس محتوی (TCAM)، با بکارگیری تکنیک فعال سازی چند سطحی

حسین محتشمی
کارشناس ارشد معماری سیستمهای کامپیوتری، دانشگاه شهید بهشتی

حمیدرضا مهینی
دانشجوی کارشناسی ارشد ICT، دانشگاه علم و صنعت ایران

رضا برنگی
استادیار، دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران
rberangi@iust.ac.ir

علیرضا مهینی
عضو هیات علمی تمام وقت دانشگاه آزاد اسلامی گرگان
mahini@comp.iust.ac.ir

ماکزیمم توان مصرفی در یک سلول TCAM، به هنگام فعال شدن سلول جهت انجام تطابق صورت می‌گیرد. که در TCAM های امروزی این مقدار حدوداً برابر ۱۲ تا ۱۵ وات در هر تراشه می‌باشد [2]. با توجه به روند رو به رشد ورودی های جداول مسییر، مسیریاب‌های امروزی چیزی حدود ۸ تا ۱۰ تراشه از سلول‌های TCAM را در درون خود جای داده اند [3]. استفاده‌ی تعداد زیادی از این تراشه‌ها نه تنها باعث افزایش توان مصرفی می‌شود بلکه بعلاوه افزایش اتلاف حرارتی، هزینه‌ی خنک سازی را نیز افزایش می‌دهد همچنین سبب می‌شود تا در طراحی مسیریاب، تعداد پورت‌ها نیز محدودتر شوند [4]. تحقیقات اخیر، با استفاده فشرده سازی جداول [5] و [6]، روش‌هایی را جهت بهینه سازی در مصرف توان TCAM ها ارائه می‌دهند. در ادامه به بررسی روش‌های سخت‌افزاری موجود که مبتنی بر TCAM می‌باشند، خواهیم پرداخت.

۲- روش مرجع

ساده ترین حالت ممکنه برای پیاده سازی سخت‌افزاری IP lookup مبتنی بر TCAM این روش است [7]. در این روش پیشنهادها به ترتیب طولشان در جدولی که هر سطر آن شامل یک کلمه‌ی TCAM است ذخیره می‌شوند، اندازه‌ی هر کلمه W بیت می‌باشد که در آن W ماکزیمم طول پیشنهاد بوده و پورت‌های خروجی متناظر با هر سطر در جدول TCAM در یک SRAM ذخیره می‌شوند. اگر تعداد پورت‌های خروجی مسیریاب برابر N باشد طول هر کلمه‌ی RAM برابر با $\lceil \log_2 N \rceil$ خواهد بود. در شکل (۱) معماری روش پایه به نمایش در آمده است.

۳- روش LIU

این روش از لحاظ معماری شبیه روش مرجع است با این تفاوت که در این روش با استفاده از تکنیک‌های پیرایش و گسترش پوشش، تعداد پیشنهادهای درون جدول کاهش داده شده اند.

چکیده

با توجه به افزایش چشمگیر ورودی‌های جداول مسییر، نیاز مبرمی به استفاده‌ی بهینه از حافظه در مسیریاب‌ها، احساس می‌شود. فاصله‌ی بین حافظه‌ی واقعی مورد نیاز و عدم توانایی در پشتیبانی محصولات تجاری ارائه شده در این راستا، محققان را بر آن داشت تا به کمک خصوصیات موجود در پیشوندهای جداول مسییر از فضای ذخیره‌سازی در TCAM ها به نحو مطلوبتری استفاده نمایند. ولی مساله‌ی مصرف توان در سلول‌های TCAM حلاوت استفاده از آن را دست نیافتنی می‌نماید.

در این مقاله، ساختارها و روش‌های موجود سخت‌افزاری مبتنی بر TCAM که جهت جستجوی آدرس بکار می‌روند، بررسی شده و در با بکارگیری تکنیک فعال سازی چند سطحی مصرف توان در هر یک از این روش‌ها بهبود داده شده است که این موضوع به کمک شبیه سازی روش‌ها و ارائه‌ی پارامترهایی جهت ارزیابی تکنیک بکار گرفته شده مورد بحث و کنکاش قرار گرفته است.

کلمات کلیدی

جستجوی آدرس IP، مسیریاب، حافظه‌های سه مقداری آدرس پذیر براساس محتوی، و تطابق مبتنی با بلندترین پیشنهاد.

۱- مقدمه

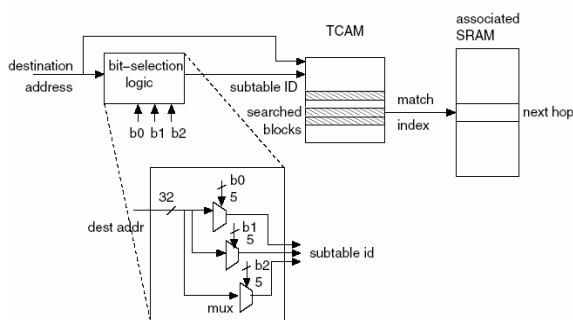
در مسیریاب‌های مدرن اینترنت، استفاده از ابزاری که بتوان توسط آن حداقل زمان جستجو را صرف نمود، ضروری و اجتناب ناپذیر به نظر می‌آید. این ابزار چیزی بجز TCAM نمی‌تواند باشد زیرا TCAM عملیات جستجو را در یک سیکل ساعت به انجام می‌رساند این در حالیکه آرایه‌های بزرگ TCAM دارای مصرف توان بالا و اتلاف حرارتی بسیار می‌باشند. از این رو خصوصیت مقیاس پذیری در آنها نیز محدود می‌شود [1].

یک PLUT و بخش دوم، زمان مصرفی در واحد Selector است. به روز رسانی PLUT ها.

۵- روش Bit selection

در این روش [4] جدول مسیر به K جدول همسایز تقسیم می شود که هر کدام از این جداول، Bucket نامیده می شود و به کمک یک واحد انتخابگر در هر جستجو تنها، جداولی که امکان تطابق در آنها وجود دارد، فعال می شوند.

معماری ارائه شده در این روش که در شکل (۳) به تصویر کشیده شده است یک معماری دو سطحی است. در سطح اول، به کمک تعداد ثابتی از بیت های ورودی-که در این روش hashing bit نامیده می شوند- و یک تابع hash، bucket مربوطه مشخص می گردد و در سطح دوم، bucket انتخاب شده مورد جستجو قرار می گیرد. البته ارائه کنندگان این روش تنها پیشنهادهایی را که طولشان بین ۱۶ و ۲۴ است را در دو سطح جستجو می کنند و سایر پیشنهونها را در یک قطعه‌ی مجزا قرار داده و عملیات مرتبط با آنها را در بلوک های مربوط به آن قطعه انجام می دهند.

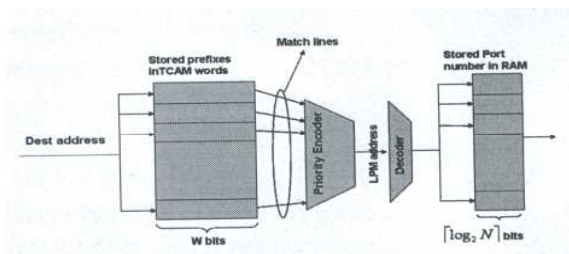


شکل (۳) معماری پیشنهادی در روش Bit selection

۶- روش مبتنی بر (Page Enable Block) PEB

این روش [1]، به کمک الگوریتم Espresso به خلاصه سازی جدول در تعداد سطرها می پردازد و با ارائه ی یک معماری دو سطحی در جهت خلاصه سازی ستون جدول، نیز گام برمی دارد. در این روش پیشنهونها بر اساس طولانی ترین پیشوند جزئی مشترک (Largest Common Sub prefix) یا LCS طبقه بندی می شوند. LCS یک پیشوند، طولانی ترین پیشوند جزئی از آن پیشوند است که طول آن ضریبی از ۸ باشد. از طرف دیگر در [8] نشان داده شده که تعداد اعضای هر مجموعه ی LCS نهایتاً ۲۵۶ عدد خواهد بود لذا از پیچیدگی زمانی اجرای عملیات به روز رسانی، در این روش، به طور قابل ملاحظه‌ای کاسته شده است.

در این روش برای پیاده سازی تکنیک گسترش پوشش، ابتدا مجموعه ی پیشنهونهای با طول برابر و hop بعدی یکسان پیدا می شوند. سپس با استفاده از الگوریتم ساده سازی منطقی Espresso، کوچکترین مجموعه ی پوشا پیدا می شود.

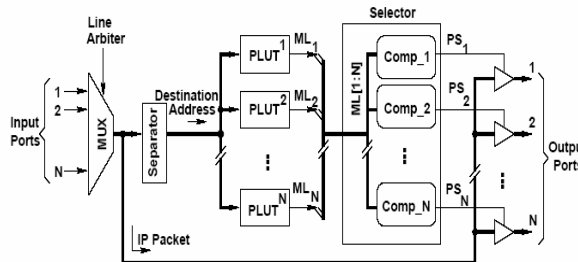


شکل (۱) معماری پایه مبتنی بر TCAM

اگرچه عملیات پیرایش در هر به روز رسانی می بایست انجام شود ولی با این وجود زمان انجام این تکنیک در حد نسبتاً مطلوبی می باشد در حالیکه بکارگیری تکنیک گسترش پوشش در برابر تکنیک پیرایش بسیار پیچیده تر و زمانبرتر است.

۴- روش IFPLUT (Partioned LookUp Table) IP Forwarding based on

این روش [6] با جزئ بندی جدول مسیر و ایجاد امکان پردازش موازی بر روی جداول به حل مساله ی LPM می پردازد. ارائه دهندگان این روش، پیشنهونها را بر اساس شناسه ی hop بعدیشان که همان پورت خروجی می باشد، تقسیم می نماید و قطعه های تقسیم بندی شده را به صورت جداولی مجزا از هم در نظر گرفته و هر کدام از این جداول را جدول جزئی مسیر می نامند و با نماد PLUT، آن را نمایش می دهند. معماری پیشنهادی آنها نیز در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲) معماری مسیریاب IFPLUT

بدین ترتیب زمان جستجو در این روش را می توان به دو بخش تقسیم نمود. بخش اول عبارت است از زمان اجرای الگوریتم جستجو در

۸- فاکتور بهینه سازی توان (POF)

برای بدست آوردن معیارهای ارزیابی و مقایسه و بررسی‌های آماری و نموداری نتایج، به تعاریف معیارهای زیر می‌پردازیم.

EPS: از آنجاییکه توان مصرفی در هر جستجو با تعداد بیت‌های فعال شده از جدول رابطه‌ی مستقیم دارد، EPS که تعداد بیت‌های فعال در هر جستجو می‌باشد. به عنوان مثال اگر از مدل مرجع برای جستجو استفاده شود خواهیم داشت:

$$EPS = S \times W \quad (1)$$

که در آن S تعداد سطرهای موجود در جدول TCAM و W طول آدرس (برای IPv4 برابر ۳۲) می‌باشد. مقدار EPS در مدل مرجع که بیشترین مقدار ممکن برای EPS خواهد بود را EPS_{max} می‌نامیم.

MEPS: میانگین EPS ها برای جستجوی مجموعه‌ای از آدرس‌ها را MEPS می‌نامیم. در صورتیکه جستجو در جدول برای m عدد آدرس انجام شود رابطه‌ی زیر برقرار خواهد بود:

$$MEPS = \sum_{i=1}^m EPS_i / m \quad (2)$$

توجه داشته باشید که بیشترین مقدار MEPS نیز از آن مدل مرجع خواهد بود. بنابراین می‌توان گفت:

$$MEPS_{max} = EPS_{max} \quad (3)$$

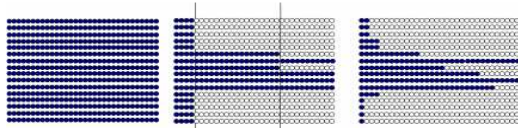
POF: فاکتور بهینه‌سازی توان عبارت است از درصد بهینه‌سازی توان مصرفی، که برابر است با نسبت میانگین صرفه جویی توان در هر جستجو به بیشترین حد ممکن مصرف توان. اگر فرض کنیم که هر سلول TCAM در هنگام فعال شدن P وات توان مصرف کند، می‌توان گفت که برای جستجوی m آدرس در جدول POF از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$POF = \frac{(MEPS_{max} - MEPS) \times p}{MEPS_{max} \times p} \times 100 \quad (4)$$

$$= \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^m EPS_i}{EPS_{max}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^m EPS_i}{S \times W}\right) \times 100$$

بدین ترتیب برای مدل مرجع POF برابر صفر خواهد بود. با توجه به تعریف POF، می‌توان برای ارزیابی روش‌های بهینه‌سازی توان به محاسبه‌ی POF آن روش‌ها و بحث بر روی آن پرداخت.

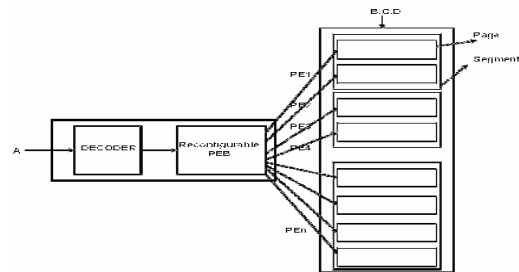
در شکل‌های (۷-الف، ب و ج) نتیجه‌ی استفاده از MSTCAM به صورت نمایشی نشان داده شده است. در این شکل‌های سلول‌های فعال جهت جستجو به صورت پررنگ به نمایش در آمده اند.



الف- یک سطحی ب- سه سطحی ج- ۲۲ سطحی

شکل (۷) سلول‌های فعال شده در یک جستجو به ازای سطوح مختلف

همانطور که در شکل (۴) ملاحظه می‌نمایید، این روش از یک معماری دو سطحی استفاده می‌کند. در سطح اول ۸ بیت پرارزش آدرس به رمزگشا (Decoder) و یک واحد سخت افزاری قابل انعطاف که PEB نام دارد فرستاده می‌شود. وظیفه‌ی PEB فعال کردن خطوط فعال سازی سطرهای مورد نیاز در جدول TCAM سطح دوم می‌باشد. در معماری ارائه شده برای این روش، هیچ طرحی برای ساختار PEB ارائه نشده است، البته در [۹ و ۱۰] ساختاری برای PEB پیشنهاد شده و روی مشکلات ناشی از استفاده‌ی آن بحث شده است. سطح دوم، یک جدول TCAM با کلمات حافظه‌ی ۲۴ بیتی می‌باشد که در آن پیشوندها ذخیره شده‌اند.



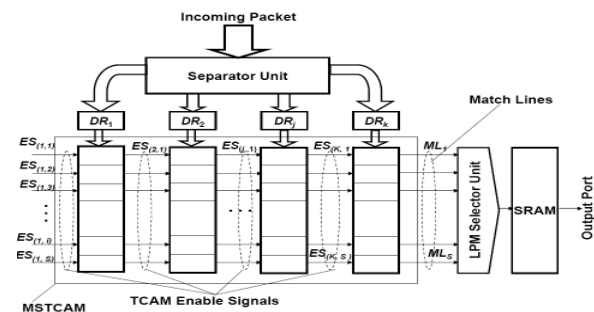
شکل (۴) معماری روش مبتنی بر PEB

۷- تکنیک MLET

این تکنیک که در معماری ارائه شده در [۹] استفاده شده است با اعمال یک مکانیزم فعال سازی چند سطحی (MLET) تعداد سلول‌های حافظه‌ی فعال شده، در هر جستجو را کاهش می‌دهد.

در معماری مبتنی بر MLET به جای استفاده از ساختار یک پارچه‌ی TCAM به صورت آرایه‌ای، از جدول TCAM چند سطحی (MSTCAM) استفاده می‌شود. ساختار کلی معماری ارائه شده که مبتنی بر MSTCAM می‌باشد را در شکل (۶) مشاهده می‌فرمایید. یک جدول MSTCAM جدولی است که در آن فعال شدن سطح i ام از سطر مورد نظر بستگی به منطبق بودن سطوح قبلی در آن سطر دارد. البته سطح اول همیشه فعال خواهد بود.

در ادامه به معرفی معیاری جهت ارزیابی مصرف توان خواهیم پرداخت. این معیارها در [۹] به طور کامل ارائه شده اند.



شکل (۶) تکنیک MLET

در معماری مسیریاب‌های مبتنی بر TCAM روشی که بتواند کمترین تعداد ماجول حافظه را در عملیات جستجو فعال نماید کارآمدترین روش از لحاظ مصرف توان خواهد بود.

در بین معماری های ارائه داده شده، صرفه نظر از هزینه‌ی سخت‌افزاری پیاده‌سازی، بهترین تکنیک از لحاظ میزان توان مصرفی، MLET می باشد. در این تکنیک به کمک فعال‌سازی چند سطحی، ساده‌تر از آنچه توسط روش‌های دیگر ارائه شده، تا حد قابل توجهی مصرف توان واحد جستجوی مسیر در مسیریاب‌های مبتنی بر TCAM، کاهش داده خواهد شد.

مراجع

- [1] V. C. Ravikumar, Rabi N. Mahapatra, "TCAM Architecture for IP lookup Using Prefix Properties," *IEEE Micro*, vol. 24, no. 2, April 2004, pp. 60-69.
- [2] F. Baboescu, S. Rajgopal, L. Huang, N. Richardson, "Hardware Implementation of a Tree Based IP lookup Algorithm for OC-768 and beyond," *DesignCon*, 2005.
- [3] R. Panigrahy and S. Sharma, "Reducing TCAM Power Consumption and Increasing Throughput," *Proc. 10th Symp. High-Performance Interconnects*, IEEE CS Press, pp. 107-112, 2002.
- [4] F. Zane, G. Narlikar, and A. Basu, "CoolCAMs: Power-Efficient TCAMs for Forwarding Engines," *Proc. IEEE Infocom 2003*, IEEE Press, 2003, pp. 42-52.
- [5] M.J. Akhbarizadeh and M. Nourani, "An IP Packet Forwarding Technique Based on Partitioned Lookup Table," *Proc. IEEE Int'l Conf. Comm. (ICC 02)*, IEEE Press, 2002, pp. 2263-2267.
- [6] H. Liu, "Routing Table Compaction in Ternary CAM," *IEEE Micro*, vol. 22, no. 1, Jan.-Feb. 2002, pp. 58-64.
- [7] M.J. Akhbarizadeh and M. Nourani, D.S. Vijayasarithi, P.T. Balsara "PCAM: A Ternary CAM Optimized for Longest Prefix Matching Tasks," *IEEE International Conference on Computer Design*, April, 2004, pp. 6-11.
- [8] V.C. Ravikumar, Rabi N. Mahapatra, L.N. Bhuyan, "EaseCAM: An Energy and Storage Efficient Router Architecture for IP lookup," *IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTERS*, VOL. 54, NO. 5, MAY 2005, pp 521-534.
- [9] علیرضا مهینی، رضا برنگی و حمید رضا مهینی، " روشی جهت بهینه سازی توان مصرفی موتورهای جستجوی آدرس مبتنی بر حافظه های سه مقداری آدرس پذیر براساس محتوی (TCAM)، در مسیریاب های اینترنت"، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی کامپیوتر، انجمن کامپیوتر ایران، ۱۳۸۵، صفحات ۷۴۸ الی ۷۵۵.
- [۱۰] مهینی، علیرضا، ارائه‌ی روشی سخت افزاری برای جستجوی آدرس در مسیریاب‌های اینترنت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، آذر ۱۳۸۴.
- [11] P. Gupta, "Algorithms for Routing Lookups and Packet Classification," *doctoral dissertation*, Dept. Computer Science, Stanford Univ., 2000.
- [12] D.E. Taylor, "MODELS, ALGORITHMS, AND ARCHITECTURES FOR SCALABLE PACKET CLASSIFICATION," *Doctoral Thesis*, Washington Univ. August 2004.

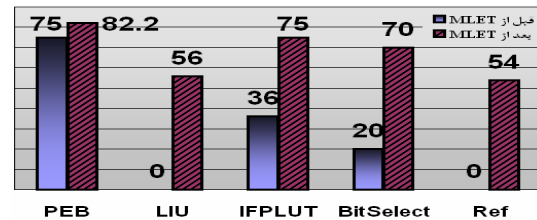
به منظور ارزیابی دقیق‌تر، از پیشوندهای جدول مسیر در مسیریاب Telstra استفاده نموده و با کمک شبیه‌سازی نرم‌افزاری، به ارزیابی روشهای مطرح شده خواهیم پرداخت.

۹- مقایسه‌ی روش‌ها در مصرف توان

در این بخش به کمک شبیه‌سازی روش‌های موجود تاثیر بکارگیری روش MLET را در هر یک نشان خواهیم داد. در شبیه‌سازی های انجام شده، تعداد ۳۱۰۰۰ پیشوند از پیشوندهای مسیریاب Telstra به عنوان ورودی جداول مسیر در نظر گرفته شده سپس نتایجی که مشاهده خواهید فرمود بر اساس جستجوی ۱۰۰۰۰ عدد آدرس که به صورت تصادفی از لیست آدرس‌های مورد جستجو در مسیریاب انتخاب شده اند، بدست آمده است.

۹-۱- مصرف توان قبل از بکارگیری تکنیک MLET

در این بخش روش‌های موجود را در رابطه با بکارگیری مکانیزم فعال‌سازی مربوط به هر روش بررسی خواهیم کرد. در شکل (۸) نتایج به دست آمده به کمک شبیه‌سازی را برای روش‌هایی که بررسی کریم ملاحظه می‌نمایید.



شکل (۸) POF بدست آمده هر روش قبل و بعد از بکارگیری MLET

۹-۲- مصرف توان پس از بکارگیری تکنیک MLET

در این بخش ما با فرض اینکه در هر کدام از روش‌های بررسی شده از تکنیک MLET استفاده نماییم، این روش‌ها را شبیه‌سازی نموده و نتایج را در شکل (۸) به تصویر کشیده‌ایم. در این شبیه‌سازی از MLET چهار سطحی با طول سطوح برابر استفاده شده است. لازم به ذکر است که POF بدست آمده در این نمودار فقط ناشی از اعمال مکانیزم فعال‌سازی جدول در هر روش می‌باشد و تکنیک‌های فشرده‌سازی جدول در آن دخالت داده نشده است.

۱۰- نتیجه گیری

بررسی الگوریتم‌ها و روشهای موجود جهت جستجوی آدرس IP که در [11, 12] مقللاًبه آنها اشاره شده، نشان می‌دهد که استفاده از TCAM در موتورهای جستجو سریعترین راه برای پیاده‌سازی عملیات جستجو می‌باشد.