

یک معماری شبکه روی تراشه با کارایی بالا برای ارتباطات چندپخشی

محمد علائی

گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران، alaeim@vru.ac.ir

چکیده - در این مقاله، یک معماری شبکه روی تراشه با کارایی بالا و هزینه پایین شامل یک الگوریتم مسیریابی چندپخشی برای همبندی توری دوسطحی پیشنهاد می‌شود. همبندی توری دوسطحی زیرساخت کارآمدی برای ارتباطات چندپخشی با مصرف توان و تأخیر پایین ایجاد می‌کند. در معماری پیشنهادی، سطح اول همبندی که بر اساس ساختار توری می‌باشد، ناحیه‌بندی می‌شود و ناحیه‌ها از طریق پیوندهای سطح دوم با یکدیگر در ارتباط هستند. الگوریتم مسیریابی در معماری پیشنهادی به صورت چندپخشی مبتنی بر درخت و نیز، چندپخشی مبتنی بر مسیر عمل می‌کند و از ارتباطات سطح دوم برای ارسال بسته‌های چندپخشی بین نواحی استفاده می‌کند. الگوریتم پیشنهادی، خطا و ازدحام در شبکه را به صورت پویا تشخیص می‌دهد و مسیر جایگزین پیدا می‌کند. نتایج ارزیابی از نظر بهره‌وری، تأخیر و مصرف توان نشان می‌دهد که در مقایسه با معماری‌های مشابه، معماری پیشنهادی کارایی بالاتری، به ویژه برای چندپخشی متراکم و همه‌پخشی، ارائه می‌دهد. کلید واژه - شبکه روی تراشه، همبندی دوسطحی، ارتباطات چندپخشی، الگوریتم‌های مسیریابی پویا.

پخشی برای هر دو نوع پیام تک‌پخشی و چندپخشی استفاده می‌کند اما به دلیل تولید چندین نسخه از آن بسته و افزایش ازدحام شبکه، کارآمد نیست. این نسخه‌ها، به ویژه برای حجم بالای پیام‌های چندپخشی، منجر به تأخیر زیاد و مصرف زیاد انرژی می‌شوند. در چندپخشی مبتنی بر درخت، یک درخت پوشا به صورتی ساخته می‌شود که گره مبدأ ریشه و گره‌های مقصد برگ‌ها باشند. یک پیام در شاخه‌ها تکثیر می‌شود و کپی‌های پیام از طریق درخت پوشا منتقل می‌شود. در حجم ترافیک بالا، بازده عملکرد الگوریتم‌های مبتنی بر درخت به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. زیرا، استفاده از بافرهای بزرگ فیزیکی و مجازی، سربار مساحت مسیریاب‌ها را زیاد می‌کند. علاوه بر این، در صورت قطع هر یک از شاخه‌ها، مسیریابی در بخشی از درخت یا حتی کل درخت متوقف می‌شود.

در الگوریتم‌های چندپخشی مبتنی بر مسیر، هر گره مبدأ، بسته‌ای شامل آدرس همه مقصدهای چندپخشی آماده می‌کند و از طریق گره‌های مجاورش، آن را به سمت اولین مقصد هدایت می‌کند. وقتی بسته به مسیریاب اولین گره مقصد رسید، آن مسیریاب، یک نسخه از بسته را به واحد پردازشی گره تحویل می‌دهد و سپس، بسته را به سمت مقصد بعدی هدایت می‌کند. در چندپخشی مبتنی بر مسیر، پیام‌ها در شبکه تکرار نمی‌شوند و لذا، باعث افزایش بار شبکه و ازدحام نمی‌شوند. با این حال، این روش تأخیر تراکنشی چندپخشی^۴ را افزایش می‌دهد. این نوع تأخیر به عنوان تعداد چرخه بین تولید پیام چندپخشی و دریافت آن توسط دورترین مقصد

۱- مقدمه

در سیستم‌های روی تراشه، ساختارهای ارتباطی روی تراشه مدولار، مقیاس‌پذیر، قابل پیکربندی مجدد و با کارایی بالا نیاز می‌باشد. اینچنین ساختارهایی توسط زیرساخت‌های گذرگاه مشترک و نقطه‌به‌نقطه قابل ارائه نیست. معماری شبکه روی تراشه ساختارهایی مقیاس‌پذیر برای ارتباطات داخلی سیستم‌های دیجیتال مدرن هستند که با بهره‌وری و سرعت بالا و مصرف توان پایین، امکان موازی‌سازی را در سطح بسیار بالایی فراهم می‌کنند.

الگوریتم‌های مسیریابی با در نظر گرفتن شرایط ازدحام، بسته‌ها را از طریق کوتاه‌ترین و کم‌هزینه‌ترین مسیرها به مقصد هدایت می‌کنند. در شبکه‌های روی تراشه، پیام‌ها می‌توانند به صورت تک-پخشی و یا چندپخشی منتقل شوند. یک پیام تک‌پخشی از یک مبدأ به یک مقصد ارسال می‌شود در حالی که، یک پیام چندپخشی از یک مبدأ به چندین مقصد ارسال می‌شود. سه رویکرد مختلف چندپخشی وجود دارد که به صورت چندپخشی بر اساس ارسال تک‌پخشی^۱، چندپخشی مبتنی بر درخت^۲ و چندپخشی مبتنی بر مسیر^۳ طبقه‌بندی می‌شوند. در چندپخشی مبتنی بر تک‌پخشی، یک بسته چندپخشی به صورت چندین بسته در گره مبدأ تکرار می‌شود که به طور جداگانه به مقصدها منتقل می‌شوند. این روش از الگوریتم‌های مسیریابی تک‌پخشی و ساختارهای مسیریاب تک-

چرخش‌ها در ردیف‌های زوج و فرد، هم برای بسته‌های چندپخشی و هم برای بسته‌های تک‌پخشی کار می‌کند.

برای مقابله با مشکل اتصال بین نورون‌ها در شبکه‌های عصبی، بسیاری از محققان شبکه‌های روی تراشه با همبندی درختی را مورد مطالعه قرار داده‌اند تا ارسال بسته چندپخشی به سادگی انجام شود [۸]. یک معماری شبکه روی تراشه سه‌بعدی با قابلیت پیکربندی مجدد برای شتاب‌دهنده‌های شبکه عصبی در [۹] ارائه شده است که یک ساختار درختی برای حمایت از چندپخشی نورون به نورون و چندپخشی حافظه به نورون‌ها را شامل می‌شود.

روش ارائه شده در SMDP [۱۰] یک الگوریتم چندپخشی مبتنی بر مسیر و بخش‌بندی می‌باشد که بر اساس موقعیت مبدأ، توری دوبعدی را به هشت بخش با اندازه‌های مختلف تقسیم می‌کند. نویسندگان در [۱۱]، MDND را به عنوان یک روش چندپخشی مبتنی بر درخت برای شبکه روی تراشه دوبعدی پیشنهاد داده‌اند. در این روش، یک بسته ارسالی از مبدأ تا حد امکان در شبکه پیش می‌رود تا به یک انشعاب برسد. سپس، یک نسخه جدید از بسته ایجاد می‌شود تا به هر دو شاخه‌ی انشعاب، یک بسته ارسال شود. این رویه تا رسانیدن بسته به همه مقصدها ادامه دارد. در [۱۲]، قابلیت‌های ترکیب الگوریتم‌های مبتنی بر درخت و مبتنی بر مسیر بررسی و یک روش مسیریابی چندپخشی ترکیبی ارائه شده است. این روش، بدون استفاده از کانال‌های مجازی و بافرهای بزرگ، امکان وقوع بن‌بست را کم می‌کند. در شبکه‌های روی تراشه بی‌سیم، می‌توان با ادغام مسیریابی چندپخشی آگاه از ازدحام و رمزگذاری، حجم بالای ارتباطات چندپخشی را به خوبی مدیریت کرد [۱۳، ۱۴].

۳- معماری پیشنهادی

معماری پیشنهادی، یک شبکه روی تراشه با کارایی بالا و کم‌هزینه برای شبکه روی تراشه با همبندی توری دوسطحی می‌باشد که توانایی مقابله با بار ترافیک بالا برای پیام‌های چندپخشی و همه‌پخشی را دارد. این معماری، شامل یک الگوریتم مسیریابی کارآمد می‌باشد که از مزایای روش‌های مسیریابی چندپخشی مبتنی بر درخت و چندپخشی مبتنی بر مسیر، بهره می‌گیرد.

در معماری پیشنهادی، شبکه با ساختار توری به چهار ناحیه مساوی تقسیم می‌شود که این ناحیه‌ها از طریق پیوندهای سطح دوم برای پیام‌های چندپخشی به یکدیگر متصل می‌شوند. شکل ۱- الف و شکل ۱- ب نمونه‌هایی از معماری پیشنهادی به ترتیب شامل

تعریف می‌شود. برای کاهش تأخیر تراکنشی چندپخشی، شبکه روی تراشه به چند ناحیه مجزا تقسیم می‌شود و هر پیام چندپخشی از طریق چندین بسته جداگانه به هر یک از این ناحیه‌ها ارسال می‌شود.

در این مقاله، با طراحی یک الگوریتم مسیریابی چندپخشی کارآمد در معماری پیشنهادی برای شبکه‌های روی تراشه با ترافیک بالا، از مزایای هر دو روش چندپخشی مبتنی بر مسیر و مبتنی بر درخت به صورت همزمان بهره‌گیری می‌شود. معماری پیشنهادی بر پایه همبندی توری دوسطحی بنا شده است تا از پیوندهای سطح دوم برای ارتباطات چندپخشی بین ناحیه‌ها استفاده کند.

ادامه این مقاله به این صورت سازماندهی شده است: در بخش دوم، پیشینه تحقیق مرور می‌شود. جزئیات معماری و مسیریابی پیشنهادی در بخش سوم توصیف می‌شوند. در بخش چهارم، نتایج ارزیابی و مقایسه معماری پیشنهادی با معماری‌های مشابه ارائه می‌شود. در نهایت، در بخش پنجم نتیجه‌گیری انجام می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

یک الگوریتم چندپخشی مبتنی بر مسیر بر اساس مسیریابی XY در [۱] ارائه شده است. این الگوریتم بسته را در مسیر X هدایت می‌کند، تا به مختصات Y اولین مقصد برسد. پس از تحویل بسته به مقصد اول، مسیریابی XY را مجدداً اجرا می‌کند.

چندین الگوریتم چندپخشی بر اساس مسیر همیلتونی ارائه شده است. به عنوان مثال، الگوریتم HAMUM [۲] که یک الگوریتم بدون بن‌بست تطبیقی است، برای شبکه روی تراشه سه‌بعدی ارائه شده است. الگوریتم دیگر، مسیریابی همیلتونی زوج و فرد، HOE [۳] می‌باشد. در این الگوریتم که بر اساس ردیف‌های زوج و فرد عمل می‌کند، اعمال محدودیت چرخش‌ها به صورت پویا انجام می‌شود.

در [۴] یک الگوریتم چندپخشی مبتنی بر مسیر برای معماری‌های جریان‌داده ارائه شده است. در این الگوریتم، با به اشتراک‌گذاری مسیرها، پهنای‌بند مورد نیاز کاهش می‌یابد. در [۵]، راهکارهایی برای تخصیص و کاهش طول‌موج برای ارسال همزمان چند بسته چندپخشی در شبکه روی تراشه نوری ارائه شده است.

یک الگوریتم زمان‌بندی کارآمد برای چندپخشی مبتنی بر درخت به منظور کنترل بار و مدیریت ازدحام در [۶] پیشنهاد شده است که از روش‌های تسهیم‌سازی بار و راه‌گزینی خزشی بهره‌برده است. نویسندگان در [۷] یک الگوریتم مسیریابی چندپخشی برای شبکه روی تراشه ناحیه‌بندی شده ارائه نموده‌اند که بر اساس اعمال

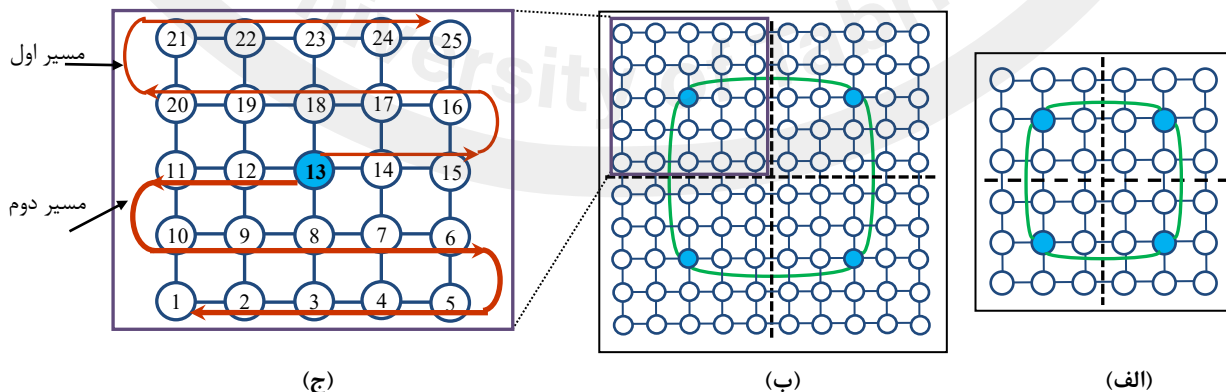
مقصدها به صورت صعودی مرتب می‌کند. هنگامی که یک مسیریاب هفت پورت یک بسته چندپخشی را دریافت می‌کند، حداکثر دو نسخه از بسته چندپخشی را با آدرس‌های مربوط به آن ناحیه آماده می‌کند: یکی با شناسه‌های مقصد کمتر از شناسه مسیریاب هفت پورت و دیگری، با شناسه‌های مقصد بیشتر از شناسه مسیریاب هفت پورت. برای مثال، در یک ناحیه با ۲۵ گره، شناسه مسیریاب هفت پورت، ۱۳ می‌باشد (شکل ۱-ج). سپس، این آدرس‌ها از بسته چندپخشی حذف می‌شوند و بسته به مسیریاب هفت پورت ناحیه بعدی در جهت عقربه‌های ساعت منتقل می‌شود. این فرآیند ادامه می‌یابد تا زمانی که هیچ شناسه مقصدی باقی نماند. با توجه به رویه الگوریتم، طول متاداده بسته چندپخشی بر اساس تعداد آدرس مقصدی که به همراه دارد، متغیر می‌باشد.

در معماری پیشنهادی، فلیت سرآیند بسته‌های چندپخشی به منظور کاهش سربارهای متادیتا، فشرده‌سازی می‌شود، از این رو، طول متادیتا یک بسته چندپخشی، پویا می‌باشد. شناسه مقصدها به صورت یک لیست پیوندی تعریف می‌شود تا در زمانی که یک بسته چندپخشی به یک مسیریاب هفت پورت یا یک مقصد در یک ناحیه می‌رسد، تعریف شود. از آنجاکه آدرس‌ها با استفاده از شناسه ناحیه و شناسه گره در مبدأ تعریف می‌شوند، آدرس‌ها بر اساس شناسه ناحیه به صورت صعودی مرتب و دسته‌بندی می‌شوند. به عنوان مثال، $\langle 1, 3 \rangle$ ، $\langle 1, 6 \rangle$ ، $\langle 1, 10 \rangle$ ، $\langle 1, 18 \rangle$ و $\langle 1, 23 \rangle$ به عنوان $\langle 1, 3, 6, 10, 18, 23 \rangle$ ذخیره می‌شوند. هنگامی که یک بسته شامل یک گروه از آدرس‌ها به ناحیه مربوطه می‌رسد، آدرس‌ها فشرده‌شده و تنها شناسه گره‌های مقصد به نسخه جدید بسته چندپخشی برای ناحیه مربوطه اضافه می‌شود. در معماری پیشنهادی با چهار مسیریاب هفت پورت، حداکثر نه بسته چندپخشی تولید می‌شود (یک پیام مبدأ و هشت تکرار آن) که با توجه به تعداد مقصد در هر تکرار، طول متادیتا در بسته‌های تکراری چندپخشی متفاوت است.

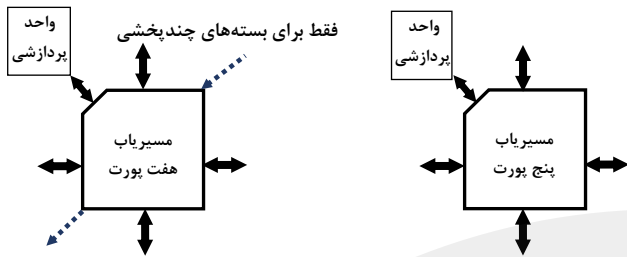
۳۶ گره و ۱۰۰ گره را نشان می‌دهند. علاوه بر مسیریاب‌های پنج پورت، هر ناحیه دارای یک مسیریاب هفت پورت است که در شکل ۱ با دایره توپر مشخص شده است. در معماری پیشنهادی، برای تمام گره‌ها یک شناسه به صورت (شناسه-گره، شناسه-ناحیه) $\langle \text{Segment-ID}, \text{Node-ID} \rangle$ تعریف می‌شود.

الگوریتم مسیریابی معماری پیشنهادی به صورت پویا و ترکیبی کار می‌کند. به طور پیش فرض، الگوریتم مسیریابی پیشنهادی برای تعیین آدرس‌های بعدی با استفاده از جدول‌ها مطابق با مسیریابی همیلتونی زوج و فرد عمل می‌کند. فقط زمانی که ازدحام یا یک خطا در پیوندی از پیش تعریف شده رخ دهد، الگوریتم مسیریابی به صورت تطبیقی مسیر جدیدی پیدا می‌کند. در الگوریتم پیشنهادی، همه بسته‌های تک‌پخشی بر اساس مسیریابی همیلتونی زوج و فرد ارسال می‌شوند.

شکل ۱-ج، ۲۵ گره شماره‌گذاری شده و نیز مسیریاب‌ها از پیش تعیین شده در یک ناحیه از همبندی نمونه شکل ۱-ب را نشان می‌دهد. تعریف شناسه‌ها در هر ناحیه از گره پایین سمت چپ شروع می‌شود. شروع شماره‌گذاری برای مسیریاب‌ها از اولین مسیریاب با مختصات (۰،۰) می‌باشد. مسیریاب‌هایی که در سطریاب زوج قرار دارند از چپ به راست برچسب داده می‌شوند و مسیریاب‌هایی که در ردیف‌های فرد قرار دارند از راست به چپ برچسب‌گذاری می‌شوند. شکل ۱-ج نشان می‌دهد که مسیر همیلتونی تعریف شده در دو جهت است: یک مسیر برای گره‌های بالای مسیریاب هفت پورت ($ID = 13$) و یک مسیر برای گره‌های پایین مسیریاب هفت پورت در نظر گرفته شده است. در هر ناحیه از این نمونه همبندی با ۱۰۰ گره، مسیریاب وسط با شماره $\langle \text{Segment-ID}, 13 \rangle$ هفت پورت دارد و برای ارسال بسته‌های چندپخشی از طریق پیوندهای سطح دوم استفاده می‌شود. هر مسیریاب مبدأ پیام‌های چندپخشی را بر اساس شناسه



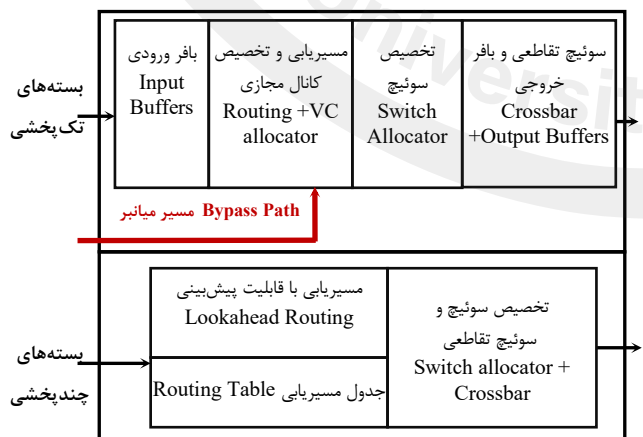
شکل ۱: (الف) معماری پیشنهادی با ۳۶ گره، (ب) معماری پیشنهادی با ۱۰۰ گره، (ج) مسیر از پیش تعریف شده در یک ناحیه



شکل ۳: مسیریاب‌های پنج پورت و هفت پورت در معماری پیشنهادی

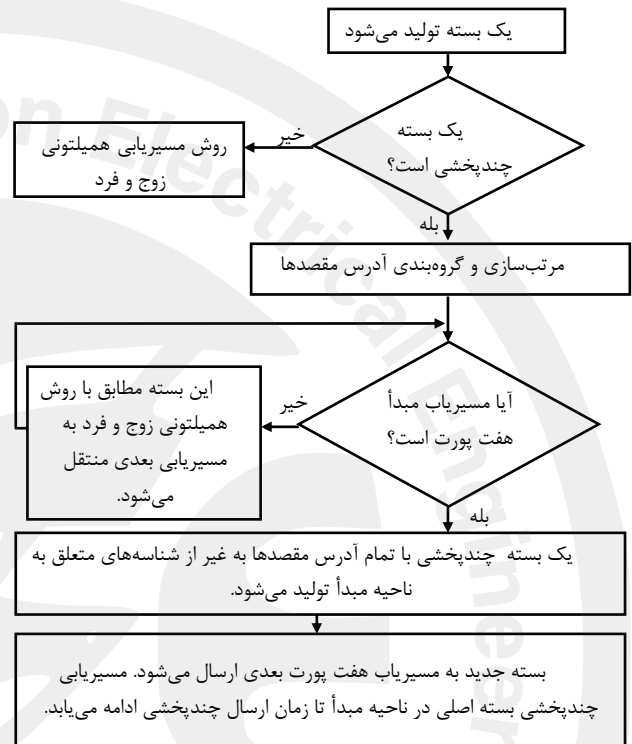
شکل ۴ ساختار خطلوله مسیریاب‌های هفت پورت معماری پیشنهادی را نشان می‌دهد که شامل دو واحد جداگانه است: یکی برای پیام‌های تک‌پخشی و دیگری برای پیام‌های چندپخشی. واحد تک‌پخشی از مسیریاب‌های معماری پیشنهادی همانند مسیریاب پایه با یک مسیر میانبر برای انتقال سریع بسته‌های کنترل استفاده می‌کند. در تمام مسیریاب‌ها، یک مسیر میانبر وجود دارد که برای بسته‌های دارای اولویت استفاده می‌شود؛ در معماری پیشنهادی به‌طور پیش‌فرض، بسته‌های کنترل و بسته‌های چندپخشی با اولویت بالا محسوب می‌شوند و با استفاده از مسیرهای میانبر سریع‌اً ارسال می‌شوند. علاوه بر این، زمانی که لازم نیست بسته‌های داده ورودی بافر شوند، فلیت‌های بسته از طریق مسیر میانبر عبور می‌کنند.

در یک مسیریاب پنج پورت، چهار مرحله خطلوله وجود دارد: (۱) بافر ورودی (۲) مسیریابی و تخصیص کانال مجازی (۳) تخصیص سوئیچ (۴) سوئیچ تقاطعی^۶ و بافر خروجی. در واحد چندپخشی مسیریاب‌های هفت پورت معماری پیشنهادی، از یک مسیر دارای بافر کمتر با دو مرحله خطلوله برای انتقال سریع بسته‌های چندپخشی و همه‌پخشی استفاده می‌شود. فلیت سرآیند^۷ بسته چندپخشی مسیرهای تأییدشده و سوئیچ تقاطعی را می‌گذراند؛ فلیت بدنه^۸ فلیت سرآیند را دنبال می‌کند و تنها مرحله سوئیچ تقاطعی را طی می‌کند.



شکل ۴: ساختار خطلوله مسیریاب معماری پیشنهادی

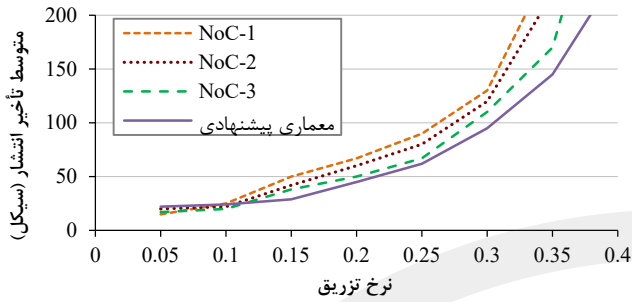
شکل ۲ فلوچارت الگوریتم مسیریابی معماری پیشنهادی را نشان می‌دهد. بعد از تولید بسته، ابتدا نوع ارسال بسته مشخص می‌شود. چنانچه بسته تک‌پخشی باشد، از الگوریتم مسیریابی همیلتونی زوج و فرد برای مسیریابی بسته استفاده می‌شود.



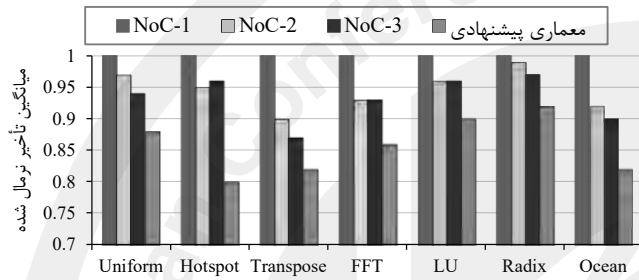
شکل ۲: فلوچارت الگوریتم مسیریابی معماری پیشنهادی

اگر بسته چندپخشی باشد، ابتدا آدرس‌های مقصدها مرتب‌سازی و گروه‌بندی می‌شوند و سپس بررسی می‌شود که آیا مسیریاب مبدأ هفت پورت می‌باشد یا خیر. اگر نباشد، برای رسیدن بسته به مسیریاب هفت پورت، مسیریابی بین گره‌ها بر اساس الگوریتم مسیریابی همیلتونی زوج و فرد انجام می‌شود. هنگامی که بسته به مسیریاب دارای هفت پورت رسید، اگر آدرس مقصدی غیر از آدرس‌های ناحیه مبدأ در آن وجود داشته باشد، یک کپی از بسته با آدرس مقصدهای ناحیه بعدی گرفته می‌شود و این بسته به مسیریاب هفت پورت ناحیه بعدی ارسال می‌شود. مسیریابی در مبدأ تا زمان اتمام مسیریابی چندپخشی مربوط به بسته ادامه دارد.

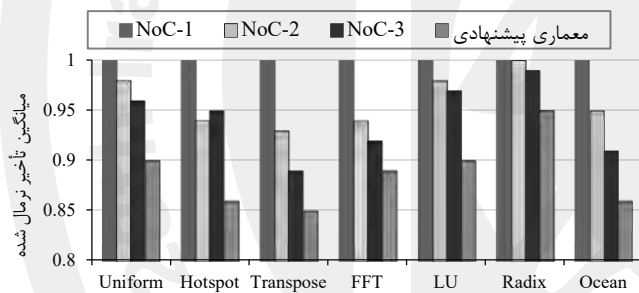
در شکل ۳، نمودار بلوکی واحد مسیریاب‌هایی با پنج و هفت پورت نشان داده شده است. هر پورت از مسیریاب هفت پورت دارای یک بافر با اندازه یک فلیت می‌باشد و دو پورت اضافی مسیریاب هفت پورت یک‌طرفه هستند (نقطه‌چین در شکل ۳). این دو پورت به مسیریاب‌های هفت پورت مجاور متصل هستند.



شکل ۵: متوسط تأخیر انتشار برای نرخ‌های مختلف تزریق در معماری‌های مورد مقایسه



شکل ۶: میانگین تأخیر برای ۱۰ مقصد چندپخششی برای الگوهای مختلف ترافیکی در معماری‌های مورد مقایسه



شکل ۷: میانگین تأخیر برای ۳۰ مقصد چندپخششی برای الگوهای مختلف ترافیکی در معماری‌های مورد مقایسه

در جدول ۲، نتایج مقایسه معماری پیشنهادی با یک شبکه روی تراشه با الگوریتم چندپخششی همیلتنونی زوج و فرد (NoC-3) در سه حالت چندپخششی پراکنده^{۱۲}، چندپخششی متراکم^{۱۳} و همه پخششی^{۱۴} در توزیع بسته یکنواخت، ارائه شده است. در حالت چندپخششی پراکنده، ۲۰ درصد از بسته‌ها به صورت چندپخششی برای ۱۰ درصد از گره‌ها به عنوان مقصد ارسال می‌شوند. در چندپخششی متراکم، ۴۰ درصد از بسته‌ها به صورت چندپخششی برای ۳۰ درصد از گره‌ها به عنوان مقصد ارسال می‌شوند.

بر اساس نتایج به دست آمده، معماری پیشنهادی در ارسال بسته‌های چندپخششی و نیز بسته‌های همه پخششی، کارایی بالاتری، از لحاظ تأخیر، مصرف توان و بهره‌وری، در مقایسه با معماری مبتنی بر الگوریتم همیلتنونی زوج و فرد، ارائه می‌دهد.

۵- نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی معماری پیشنهادی

در این بخش، کارایی معماری پیشنهادی در مقایسه با معماری‌های مشابه ارزیابی می‌گردد. برای ارزیابی، چهار معماری شبکه روی تراشه مبتنی بر توری ۱۰×۱۰ برای ارزیابی طرح چندسطحی معماری پیشنهادی انتخاب شده‌اند. یک شبکه روی تراشه بر اساس الگوریتم SMDP [۱۰] به عنوان NoC-1، یک معماری مبتنی بر رویکرد MDND [۱۱] به عنوان NoC-2 و یک شبکه روی تراشه حسب الگوریتم چندپخششی همیلتنونی زوج و فرد [۳] به عنوان NoC-3 شبیه‌سازی شده‌اند. برای شبیه‌سازی معماری شبکه روی تراشه از شبیه‌سازهای Orion و Noxim با پارامترهای معرفی شده در جدول ۱ استفاده شده است. فرض می‌شود که ۲۰ تا ۴۰ درصد از بسته‌های تولید شده بسته‌های چندپخششی هستند و نرخ تزریق ۰/۳ بسته در هر چرخه می‌باشد.

به منظور ارزیابی عملکرد معماری‌های مورد مقایسه، از الگوهای ترافیکی ساختگی یکنواخت^{۱۵}، نقطه کانونی^{۱۶} و انتقالی (ترانهاده)^{۱۱} استفاده شده است. به علاوه، برای ارزیابی با الگوهای ترافیکی واقعی، چهار برنامه کاربردی از بسته آزمون Splash-2 در نظر گرفته شده است. برای استخراج داده‌های الگوهای ترافیکی واقعی، از اجرای برنامه‌ها در محیط شبیه‌سازی M5 استفاده نمودیم.

جدول ۱: پارامترهای شبیه‌سازی معماری پیشنهادی

پارامتر	مقدار
شبکه روی تراشه مبتنی بر مش	۱۰×۱۰
عمق بافر	۴ فلیت
اندازه بسته	۸ فلیت
اندازه فلیت	۶۴ بیت
زمان راه‌اندازی اولیه	۱۰۰۰ چرخه
تعداد چرخه اجرای شبیه‌ساز	۶۰۰۰ چرخه

شکل ۵، متوسط تأخیر انتشار معماری‌های مورد نظر را با در نظر گرفتن نرخ‌های مختلف تزریق بسته در الگوی ترافیکی یکنواخت، نشان می‌دهد. برای نرخ تزریق بسیار پایین، معماری پیشنهادی تأخیر بیشتری نسبت به بقیه دارد، اما برای نرخ‌های تزریق بالاتر، همان‌طور که انتظار می‌رود، معماری پیشنهادی، به صورت سریع‌تر و کارآمدتر عمل می‌کند.

نتایج مقایسه میانگین تأخیر نرمال شده برای الگوهای ترافیکی مختلف در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است، این مقایسه، برای ۱۰۰ گره و با فرض ۳۰ درصد پیام‌های چندپخششی و نرخ تزریق ۰/۳ بسته در هر چرخه انجام شده است. همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد، معماری پیشنهادی در مقایسه با سایر معماری‌ها، به خصوص برای ترافیک نقطه کانونی، تأخیر کمتری دارد.

جدول ۲: مقایسه معماری پیشنهادی با یک معماری مبتنی بر الگوریتم چندپخشی همیلتونی زوج و فرد (NoC-3) در سه حالت چندپخشی پراکنده، چندپخشی متراکم و همه پخشی

همه پخشی		چندپخشی متراکم		چندپخشی پراکنده		
معماری پیشنهادی	NoC-3	معماری پیشنهادی	NoC-3	معماری پیشنهادی	NoC-3	
۰/۷۲	۱	۰/۷۸	۱	۰/۹۴	۱	متوسط تأخیر انتشار
۰/۸۹	۱	۰/۸۹	۱	۰/۹۵	۱	تأخیر تراکنشی
۱/۲۷	۱	۱/۱۱	۱	۱/۰۴	۱	بهره‌وری
۰/۸۹	۱	۰/۸۶	۱	۰/۹۶	۱	مصرف توان
۰/۶۴	۱	۰/۶۷	۱	۰/۹۰	۱	حاصل‌ضرب توان در تأخیر

Adaptive Routing,” *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 63, No. 3, pp. 718-733, 2014.

- [8]. T. H. Vu and A. B. Abdallah, “Low-Latency K-Means Based Multicast Routing Algorithm and Architecture for Three Dimensional Spiking Neuromorphic Chips,” *IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*, Kyoto, Japan, pp. 1-8, 2019.
- [9]. A. Firuzan, M. Modarressi, M. Daneshtalab and M. Reshadi, “Reconfigurable Network-on-Chip for 3D Neural Network Accelerators,” *Twelfth IEEE/ACM International Symposium on Networks-on-Chip (NOCS)*, Turin, pp. 1-8, 2018.
- [10]. M. R. Arun and P. A. Jisha, “SMDP- Single Message Duplicate in Partition, A Multicast routing method in mesh 2D NoC,” *Innovations in Information Embedded and Communication Systems*, pp. 676-680, 2016.
- [11]. M. R. Arun, P. A. Jisha and J. Joseb, “A Novel Energy Efficient Multicasting Approach For Mesh NoCs,” *6th International Conference on Advances in Computing & Communications, ICACC*, India, 2016.
- [12]. C. Wu, K. Lee and A. P. Su, “A Hybrid Multicast Routing Approach with Enhanced Methods for Mesh-Based Networks-on-Chip,” *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 67, No. 9, pp. 1231-1245, 2018.
- [13]. A. Karkar, T. Mak, N. Dahir, R. Al-Dujaily, K. Tong and A. Yakovlev, “Network-on-Chip Multicast Architectures Using Hybrid Wire and Surface-Wave Interconnects,” *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, Vol. 6, No. 3, pp. 357-369, 2018.
- [14]. K. Duraisamy, Y. Xue, P. Bogdan and P. P. Pande, “Multicast-Aware High-Performance Wireless Network-on-Chip Architectures,” *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, Vol. 25, No. 3, pp. 1126-1139, 2017.
- [15]. V. Catania, A. Mineo, S. Monteleone, M. Palesi and D. Patti, “Cycle-Accurate Network on Chip Simulation with Noxim,” *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, Vol. 27, No. 1, 2016.
- [16]. A. B. Kahng, B. Li, L. S. Peh and K. Samadi, “ORION 2.0: A Power-Area Simulator for Interconnection Networks,” *IEEE Transactions on VLSI Systems*, Vol. 20, No. 1, pp. 191-196, 2012.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک معماری شبکه روی تراشه با کارایی بالا شامل همبندی توری دوسطحی و یک الگوریتم مسیریابی چندپخشی مبتنی بر مسیر و درخت و پیشنهاد شده است. معماری پیشنهادی توانایی مقابله با حجم زیاد بسته‌های چندپخشی و همه پخشی را دارد. الگوریتم پیشنهادی به دلیل اعمال چندین راهکار مانند همبندی دوسطحی، ناحیه‌بندی گره‌ها، مسیرهای میانبر، الگوریتم مسیریابی نیمه‌تطبیقی و مجزا بودن ساختار خطلوله چندپخشی از ساختار خطلوله تک‌پخشی در مسیریاب، سریع و قابل اعتماد می‌باشد. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی از نظر کارایی، زمان تأخیر و توان مصرفی مخصوصاً برای ارتباطات چندپخشی متراکم و همه پخشی، کارایی بالاتری نسبت به روش‌های مسیریابی مشابه ارائه می‌دهد.

مراجع

- [1]. M. R. Arun, P. A. Jisha and J. Jose, “Novel Energy Efficient Multicasting Approach For Mesh NoCs,” *Procedia Computer Science*, Vol. 93, pp. 283-291, 2016.
- [2]. M. Ebrahimi, M. Daneshtalab, P. Liljeberg and H. Tenhunen, “HAMUM - A Novel Routing Protocol for Unicast and Multicast Traffic in MPSoCs,” *18th Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing (PDP)*, pp. 525-532, 2010.
- [3]. P. Bahrebar and D. Stroobandt, “The Hamiltonian-based odd-even turn model for maximally adaptive routing in 2D mesh networks-on-chip,” *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 45, 2015.
- [4]. C. Wu, K. Lee and A. P. Su, “A Hybrid Multicast Routing Approach with Enhanced Methods for Mesh-Based Networks-on-Chip,” *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 67, No. 9, pp. 1231-1245, 2018.
- [5]. W. Yang, Y. Chen, Z. Huang, H. Zhang and H. Gu, “Path-Based Routing and Wavelength Assignment for Multiple Multicasts in Optical Network-on-Chip,” *IEEE 5th International Conference on Data Science and Systems*, pp. 1155-1162, 2019.
- [6]. F. A. Samman, T. Hollstein and M. Glesner, “Planar adaptive network-on-chip supporting deadlock-free and efficient tree-based multicast routing method,” *Microprocessors and Microsystems*, Vol. 36, No. 6, pp. 449-461, 2012.
- [7]. M. Ebrahimi, M. Daneshtalab, P. Liljeberg and J. Plosila, “Path-Based Partitioning Methods for 3D Networks-on-Chip with Minimal

¹ Unicast-based multicasting
² Tree-based multicasting
³ Path-based multicasting
⁴ Multicast transaction delay
⁵ Wormhole switching
⁶ Crossbar switch
⁷ Header flit
⁸ Body flit
⁹ Uniform
¹⁰ Hotspot
¹¹ Transpose
¹² Sparse multicasting
¹³ Dense multicasting
¹⁴ Broadcasting