



## شبکه بر تراشه: بررسی الگوریتم های مسیریابی از دیدگاه کارآیی و میزان تاخیر

محمد بهروزیان نژاد<sup>۱</sup>، امین مهران زاده<sup>۲</sup>، ابراهیم بهروزیان نژاد<sup>۳</sup>، بهزاد ملکی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، باشگاه پژوهشگران جوان

Mohamad.behrouzian@gmail.com

<sup>۲</sup>گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

Mehranzadeh@iaud.ac.ir

<sup>۳</sup>گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر

Behrouzian.e@gmail.com

<sup>۴</sup>گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

Behzad.maleki@yahoo.com

### چکیده

تراشه های آینده می توانند شامل صدها هسته IP از پیش طراحی شده باشند که درون یک تراشه کنار هم قرار گرفته اند و یک تراشه با پیچیدگی بسیار بالا را ایجاد نموده اند. در مورد چنین تراشه هایی که دارای پیچیدگی بسیار بالایی هستند و از چند بلیون ترانزیستور تشکیل شده اند، مسایل بسیاری وجود خواهد داشت که بعنوان یکی از مهمترین مسائل می توان به نحوه ارتباطات درون تراشه ای اشاره کرد. شبکه بر تراشه به عنوان راه حلی کارآمد برای حل مساله ارتباطات درون تراشه ای و ایجاد یک بستر مناسب برای ارتباط بین هسته های درون تراشه معرفی شده است. عملکرد شبکه بر تراشه تا حد زیادی وابسته به الگوریتم مسیریابی بکار رفته در آن دارد. الگوریتم مسیریابی، مسیر بین گره مبدا و مقصد را مشخص می کند. در این مقاله مفاهیم اساسی شبکه بر تراشه و الگوریتم های مسیریابی، مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین برخی از مشهورترین الگوریتم های مورد استفاده در شبکه بر تراشه که هم از لحاظ کارآیی و هم از لحاظ تاخیر مسیریابی در شبکه قابل قبول می باشند، معرفی و مورد بررسی قرار گرفته اند.

### کلمات کلیدی

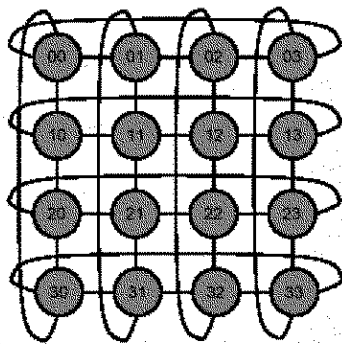
سیستم بر تراشه، شبکه بر تراشه، همبندی، الگوریتم مسیریابی.

### 1- مقدمه

قبیل قابلیت استفاده مجدد، کاهش توان مصرفی، مقاومت بیشتر در برابر نویز محیطی، کوتاه شدن زمان طراحی و کوچکتر شدن حجم مدار و غیره را دربر داشت. این تراشه ها در ابتدا از یک گذرگاه مشترک برای ارتباط بین بلوک های مجتمع شده، استفاده می کردند. در مورد چنین تراشه ای که دارای پیچیدگی بسیار بالایی است و از چند بلیون ترانزیستور تشکیل شده است، مسائل بسیاری وجود خواهد داشت که بعنوان یکی از مهمترین مسائل می توان به نحوه ارتباطات درون تراشه ای اشاره کرد. برای برطرف کردن مسائل و مشکلات مطرح شده در مورد ارتباطات درون تراشه ای، معماری شبکه بر تراشه (NOC)<sup>۲</sup> پیشنهاد شده است [1-6].

با پیشرفت تکنولوژی میکروالکترونیک مفاهیم پیاده سازی سیستم های الکترونیکی دچار تغییرات عمده ای شد. تا قبل از این تغییرات، سیستم های پیچیده با اتصال مدارات مجتمع عمومی یا مدارات مجتمع با کاربرد خاص صرفا بر روی برد پیاده سازی می شدند. همراه با افزایش تعداد ترانزیستورها و پیچیدگی مدارات مجتمع، معماری سیستم بر تراشه مطرح شد. در این روش طراحی به جای اتصالات مدارات مجتمع بر روی برد از اتصال هسته ها بر روی تراشه استفاده می شود. در واقع همان عملکرد مدارات مجتمع را اکنون هسته ها انجام می دهند. این هسته ها که به هسته های IP<sup>۱</sup> معروف هستند از طریق گذرگاه ها با یکدیگر ارتباط برقرار می کنند. این معماری مزایایی از

## 2- شبکه بر تراشه

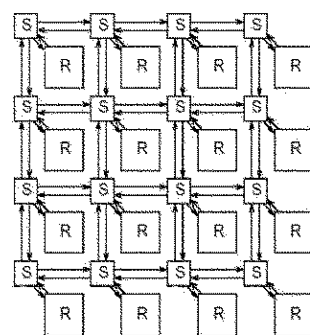


شکل (2): معماری شبکه بر تراشه مبتنی بر مش دوبعدی مدور

شبکه بر تراشه به عنوان یک راه حل خوب برای دستیابی به عملکرد بهتر و کارایی بالاتر در سیستم بر تراشه های پیچیده امروزی پیشنهاد شده است. در مقایسه با ارتباطات سنتی مبتنی بر گذرگاه مشترک در سیستم بر تراشه، راه حل شبکه بر تراشه می تواند باعث افزایش مقیاس پذیری، قابلیت اطمینان و پهنای باند قابل دسترس شود. در این طرح هسته های IP درون تراشه، توسط یک ساختار شبکه ای به هم متصل می شوند و ارتباط بین این هسته ها نیز از طریق ارسال پیام انجام می پذیرد. بدلیل اینکه این شبکه بر روی یک تراشه قرار گرفته است و سطح منابع روی تراشه نیز بسیار محدود بوده و ارتباطات در این شبکه باید با تاخیر بسیار کمی انجام شود، بنابراین در طراحی پروتکل های ارتباطی برای شبکه بر تراشه با توجه به موانع و محدودیت های موجود، نمی توان از پروتکل های ارتباطی مرسوم برای شبکه های کامپیوتری به سادگی استفاده کرد [4-7].

## 3- همبندی در شبکه بر تراشه

نحوه اتصال گره ها به یکدیگر در یک سیستم چند کامپیوتری، همبندی آن سیستم را مشخص می کند. در واقع شبکه میان ارتباطی موجود بین پردازنده های هر سیستم چند کامپیوتری را می توان بوسیله یک گراف مشخص کرد که هر گره این گراف نمایانگر یک عنصر پردازشی و هر یال آن نمایانگر کانال فیزیکی بین دو گره می باشد. پیمایش از یک گره به گره همسایه را یک گام می گویند و حداقل تعداد گام های بین هر دو گره فاصله بین آن دو گره را مشخص می کند. حداکثر مقدار (در مقیاس گام)، از حداقل فاصله های بین هر دو گره موجود در شبکه، قطر آن شبکه را مشخص می کند. شبکه های میان ارتباطی مورد استفاده در شبکه بر تراشه بر اساس نوع کاربردها معماری سیستم دارای همبندی های مختلفی می باشند [7,8]. شکل (1)، ساختار پیشنهاد شده برای شبکه بر تراشه که مبتنی بر مش دوبعدی می باشد را نشان می دهد. شکل (2) نیز همبندی Torus را نشان می دهد. S نشان دهنده سوئیچ، R نشان دهنده هسته ها یا همان منابع درون تراشه و پیکان ها نشان دهنده لینک های بین سوئیچ ها و هسته ها هستند.



شکل (1): معماری شبکه بر تراشه مبتنی بر مش دو بعدی

## 4- الگوریتم های مسیریابی در شبکه بر تراشه

در واقع ایده NOC از شبکه های کامپیوتری و سیستم های توزیع شده در مقیاس بزرگ مشتق شده است. با این حال تکنیک های مسیریابی بکار رفته برای NOC باید طراحی منحصر به فردی داشته باشند و توان عملیاتی شبکه را تضمین کنند. با توجه به موانع و محدودیت هایی که در حافظه و منابع موجود بر روی تراشه وجود دارد، تکنیک مسیریابی بکار رفته برای NOC باید منطقی ساده داشته باشد. بطور کلی کارایی شبکه بر تراشه نیز همانند هر شبکه دیگر، بطور گسترده ای وابسته به تکنیک مسیریابی بکار رفته در آن می باشد. الگوریتم مسیریابی<sup>3</sup> مسیر بین سوئیچ مبدا و مقصد را تعیین می کند. یک الگوریتم مسیریابی خوب باید عاری از بن بست<sup>4</sup>، سرگردانی<sup>5</sup> و گرسنگی<sup>6</sup> باشد [1,2,4,6].

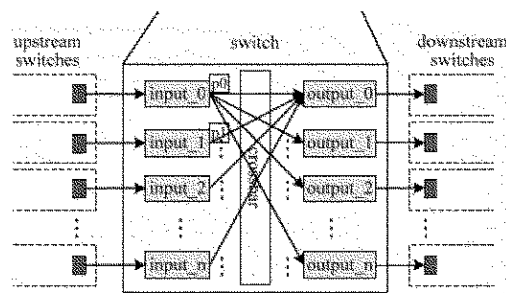
الگوریتم های مسیریابی را بطور کلی می توان به دو دسته قطعی و وقفی تقسیم بندی کرد. الگوریتم های مسیریابی قطعی<sup>7</sup> همیشه بین یک زوج از گره های مبدا و مقصد خاص، یک مسیر معین را برپا می کنند. در این الگوریتم ها در هنگام تعیین مسیر برای بسته ها، هیچ توجهی به شرایط ترافیکی شبکه نمی شود. در مقابل آن، الگوریتم های مسیریابی وقفی<sup>8</sup> قرار دارند. در الگوریتم های وقفی تصمیمات مسیریابی با توجه به شرایط ترافیکی شبکه اخذ می شود و معمولاً در این الگوریتم ها سعی می شود تا در صورت وجود ازدحام در شبکه، بسته ها از مسیرهای دیگری که دارای ازدحام کمتری هستند به سمت مقصد مسیره می شوند. الگوریتم های مسیریابی وقفی و قطعی هر کدام دارای یک سری مزایا و معایب می باشند. یکی از مهمترین مزایای الگوریتم های مسیریابی قطعی این است که بدلیل ساده بودن منطق مسیریابی، طراحی مسیریابهای آن بسیار ساده تر است و الگوریتم های قطعی در زمانی که شبکه دارای ازدحام کمی باشد، دارای تاخیر مسیریابی کمتری هستند. ولی باید توجه داشت در زمانی که ازدحام شبکه بالا می باشد، تاخیر مسیریابی الگوریتم های قطعی بسیار زیاد می باشد و این امر باعث کاهش شدید توان عملیاتی شبکه خواهد شد. این مشکل بدین دلیل بوجود می آید که الگوریتم های

این سطح درگیری را به کانال ورودی از سوئیچ پایین دستی اش انتقال می دهد. بنابراین CAIS انتخاب ورودی را در سوئیچ پایین دستی اش، با توجه به میزان سطح درگیری موجود انجام می دهد. کانال های ورودی با سطح درگیری بالاتر اولویت بالاتری نسبت به سایر کانال های ورودی با سطح پایین تر خواهند داشت. CAIS تلاش می کند تا در صورت وجود ازدحام در شبکه آن را از بین ببرد و بوسیله روان نگه داشتن ترافیک شبکه در مسیرهای با حجم بالای ترافیک، به نوبه خود باعث بهبود بهره وری در مسیریابی و کارایی شبکه شود. نتایج بدست آمده در [9] نشان می دهد که CAIS می تواند با انتخاب خروجی به صورت قطعی و یا وفقی ترکیب شود و تاخیر مسیرهدهی بسته ها را نسبت به انتخاب ورودی به روش سنتی FCFS کاهش دهد.

## 6- تکنیک انتخاب خروجی

وقتی یک بسته از یک کانال ورودی وارد سوئیچ می شود، برای ادامه مسیر خود ممکن است چندین انتخاب داشته باشد. در بخش انتخاب خروجی، از بین کانالهای خروجی موجود، یک خروجی مناسب برای هدایت بسته به سمت مقصد انتخاب می شود. اینکه کدامیک از خروجی ها باید برای هدایت بسته انتخاب و مورد استفاده قرار گیرد بطور مستقیم به نوع الگوریتم مسیریابی و سیاست انتخاب خروجی در آن الگوریتم مسیریابی بستگی دارد [9,11,12]. به عنوان مثال در شکل (3) بسته  $p_0$  از کانال ورودی  $input_0$  می تواند هریک از کانال های خروجی  $output_0, output_1, output_2, \dots, output_n$  را انتخاب کند.

قطعی در هنگام پر ازدحام بودن شبکه قادر نیستند برای اجتناب از لینک ها و مناطق پر ازدحام، از مسیرهای دیگری جهت ارسال بسته به مقصد استفاده کنند. در مقابل، الگوریتم های مسیریابی وفقی بدلیل توانایی ارائه مسیرهای دیگر در هنگام برخورد با ازدحام در لینک های شبکه می توانند تاخیر کمتری داشته باشند و باعث افزایش توان عملیاتی شبکه شوند. ولی الگوریتم های وفقی در هنگامی که شبکه دارای ترافیک کمی می باشد دارای تاخیر بیشتری نسبت به الگوریتم های قطعی خواهند بود. این امر را نیز می توان به دلیل پیچیده تر بودن منطق مسیریابی وفقی دانست [5,6,9,10]. شکل (3) بلاک دیاگرام یک سوئیچ با  $n+1$  کانال ورودی و کانال خروجی را نشان می دهد که توسط پیکان به هم متصل شده اند. در حقیقت یک سوئیچ برای مسیرهدهی بسته های درون شبکه به یک تکنیک مسیریابی نیاز دارد. به طور کلی یک تکنیک مسیریابی به دو بخش انتخاب خروجی و انتخاب ورودی تقسیم می شود.



شکل (3): بلاک دیاگرام یک سوئیچ با  $n+1$  کانال ورودی و کانال خروجی

## 5- تکنیک انتخاب ورودی

ممکن است چند کانال ورودی به طور همزمان یک کانال خروجی را برای ارسال بسته تقاضا کنند. به عنوان مثال در شکل (3) بسته  $p_0$  از کانال ورودی  $input_0$  و بسته  $p_1$  از کانال ورودی  $input_1$  می توانند به طور همزمان کانال خروجی  $output_0$  را برای ارسال بسته تقاضا کنند. در اینصورت بر سر تصاحب آن کانال خروجی درگیری و رقابت بوجود خواهد آمد. انتخاب ورودی تعیین می کند که از بین چندین کانال ورودی موجود، کدامیک از ورودی ها اولویت دسترسی به کانال خروجی را داشته باشد [4,9].

## 7- خصوصیات مهم الگوریتم های مسیریابی

- برخی از خصوصیات شبکه که مستقیماً به الگوریتم مسیریابی وابسته اند را می توان اینگونه برشمرد:
  - قابلیت اتصال<sup>11</sup>: قابلیت و توانایی مسیرهدهی بسته ها از هر مکانی به هر مقصد در شبکه.
  - قابلیت تطبیق پذیری<sup>12</sup>: توانایی ارسال بسته ها به مقصد از طریق مسیرهای متفاوت با وجود اجزا و خطوط مشغول، پر تراکم یا خطا دار.
  - عاری بودن از بن بست و سرگردانی بسته ها: توانایی تضمین اینکه بسته ها تا ابد در شبکه سرگردان نخواهند بود و در بن بست نیز گرفتار نخواهند شدند. بن بست هنگامی رخ می دهد که هیچ پیغامی بدلیل اشغال بودن مسیرهای یا کانالها نتواند به حرکت خود در شبکه ادامه دهد [12,13].
  - قابلیت تحمل پذیری خطا<sup>13</sup>: توانایی مسیریابی بسته ها با وجود اجزا معیوب و خطا دار.

الگوریتم های مسیریابی در اینگونه موارد از تکنیک FCFS<sup>9</sup> یا Round Robin استفاده می کنند. درست است که تکنیک های فوق بصورت منصفانه ای عمل می کنند ولی عیب آنها این است که شرایط ترافیکی شبکه را هنگام انتخاب ورودی در نظر نمی گیرند. برای حل این مشکل در [9] راه حلی ارائه شده است. در زمان درگیری (رقابت) برای تصاحب کانال خروجی، باید یک روش انتخاب ورودی آگاهانه<sup>10</sup> (CAIS) داشته باشیم که به عنوان بخشی از تکنیک مسیریابی در سوئیچ ها قابل اجرا باشد. هرگاه برای در اختیار گرفتن یک کانال خروجی در سوئیچ سطح درگیری (Contention Level (CL)) بوجود می آید (به عنوان مثال تعداد درخواست کانال های ورودی)، CAIS

## 8- الگوریتم های مسیریابی موجود

معماری های متعددی برای طراحی سوئیچ های NOC ارائه شده است. همچنین الگوریتم های مسیریابی متعددی جهت استفاده در NOC مطرح گردیده است [8,9,10] که به عنوان نمونه می توان به الگوریتم XY اشاره نمود. همچنین بعنوان یکی از پرکاربردترین تکنیک های سوئیچینگ مطرح شده در این زمینه می توان تکنیک سوئیچینگ wormhole را نام برد. برای جلوگیری از گسترش ازدحام در شبکه و تنظیم ترافیک در سرتاسر شبکه تکنیک مسیریابی Deflective نیز پیشنهاد شده است [12]. در این روش انتخاب خروجی بر اساس تعداد بسته های موجود در سوئیچ های همسایه صورت می گیرد و در نهایت بسته ها به سوئیچ های با ترافیک کمتر ارسال می شوند. در سوئیچینگ wormhole هر بسته به واحدهایی به نام جزء (flit) تقسیم می شود. اولین جزء، جزء سرآیند است و حاوی اطلاعات مسیریابی است. بقیه جزء ها که حاوی داده های بسته می باشند، باید همان مسیری را که جزء سرآیند طی می کند، دنبال کنند. در مدل چرخشی برای جلوگیری از بروز بن بست، از انجام برخی چرخشها توسط بسته ها ممانعت به عمل می آید تا سیکل های وابستگی بوجود نیاید و بن بست رخ ندهد. بر اساس این مدل سه الگوریتم مسیریابی تاحدی و فقی west-first و north-last و negative-first را ارائه شده است. بر اساس مدل چرخشی یک الگوریتم و فقی دیگر به نام odd-even(OE) در [10] ارائه شده است که در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

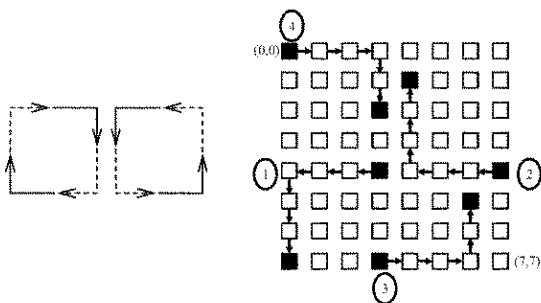
زمانی که یک بسته از درون یک شبکه توری دو بعدی عبور می کند، می تواند به چهار جهت حرکت کند: شمال، جنوب، شرق و غرب. بنابراین هشت نوع چرخش ممکن و نیز دو دور انتزاعی وجود دارد که ممکن است توسط بسته انجام گیرد. این چرخش ها در شکل (4) نشان داده شده اند. الگوریتمی که هیچ گونه محدودیتی در انجام این چرخش ها قائل نشود، الگوریتم کاملاً تطبیق پذیر نامیده می شود [14,15]، ولی اگر در انجام هر یک از این چرخش ها محدودیتی اعمال گردد، به الگوریتم حاصله تاحدی تطبیق پذیر گفته می شود. الگوریتم های کاملاً تطبیق پذیر مستعد بروز بن بست هستند، ولی اگر حداقل از دو چرخش ممانعت به عمل آید، این امکان وجود خواهد داشت که الگوریتم حاصله عاری از بن بست باشد.



شکل (4): هشت نوع چرخش ممکن در یک مش دو بعدی

## 8-1- الگوریتم مسیریابی قطعی XY

در مسیریابی قطعی، مسیر بسته ها بین مبدا و مقصد به صورت قطعی است و تغییر نمی کند. در این روش مسیر مربوط به مسیریابی قبل از ارسال بسته ها به شبکه تعیین می گردد. بسیاری از شبکه ها با این مسیریابی سازگار هستند، زیرا پیاده سازی آن آسان و ارزان است. سوئیچ ها در این مسیریابی به آسانی پیاده سازی می شوند. یک مثال از مسیریابی قطعی، مسیریابی XY است. استراتژی مسیریابی XY می تواند در همبندی MESH دوبعدی منظم به کار برده شود. موقعیت گره های MESH و مولفه های شبکه به وسیله مختصاتشان توضیح داده خواهد شد. مختصات X برای جهت افقی و مختصات Y برای جهت عمودی است. در انتخاب خروجی XY بسته ها ابتدا در بعد X پیش می روند (مسیردهی می شوند) و سپس در بعد Y مسیردهی می شوند. به عبارت دیگر در این الگوریتم مسیریابی، بسته ها ابتدا مسیر X ها را تا زمانی که شرط  $X_s = X_t$  برقرار شود، طی میکنند، سپس در جهت Y ها تا زمانیکه شرط  $Y_s = Y_t$  برقرار شود حرکت می کند تا به مقصد برسند. شکل (5) شبه کد و چند مسیر برپا شده توسط الگوریتم مسیریابی XY را نمایش می دهد [2,4,5].



```
if lx = tx and ly = ty and auxfree(LOCAL)='1' then Go Core;
elseif lx > tx and auxfree(dirx)='1' then Go X Dimension;
elseif lx = tx and ly < ty and auxfree(diry)='1' then Go Y
Dimension;
```

شکل (5): شبه کد و مسیرهای برپا شده توسط الگوریتم XY

## 8-2- الگوریتم مسیریابی Odd-Even(OE)

الگوریتم Odd-Even یکی دیگر از الگوریتم های تطبیقی می باشد که مبتنی بر مدل چرخشی عمل می نماید [10]. این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم های مسیریابی تطبیقی دیگری که از کانال مجازی استفاده نمی کنند، دارای قابلیت تطبیق پذیری بیشتری بوده و سربار کمی دارد. این الگوریتم نیز همانند دیگر الگوریتم های ارائه شده قبلی، برای اجتناب از بروز بن بست، یک سری محدودیت ها را در انجام چرخش ها اعمال می کند. در OE با ایجاد محدودیت در مکان هایی که بعضی چرخشها می توانند اتفاق بیفتند از بروز انتظار چرخه ای ممانعت به عمل می آید تا بدین ترتیب از بن بست اجتناب شود. بنابراین در این

بسته را در مد قطعی مسیره می کنیم، همان الگوریتم OE را می توان بگونه ای تغییر داد که بصورت قطعی عمل کند. این کار نیز با حذف خواص وفقی این الگوریتم به سادگی امکانپذیر می باشد. این الگوریتم قطعی را DOE می نامیم. بعنوان مثال اگر در مد وفقی OE یک بسته با آدرس مبدا و مقصد مشخص را بتوان به سمت دو مسیر  $p1$  و  $p2$  مسیره می کرد، در مد DOE این بسته همیشه فقط به سمت به سمت  $P1$  مسیره می خواهد شد. بدین دلیل در مد قطعی از این روش استفاده می شود که اولاً مبتنی بر OE بوده و عاری از بن بست است، ثانیاً دلیل سازگاری با OE برای پیاده سازی مسیریاب آن دیگر نیازی به استفاده از تجهیزات اضافی وجود ندارد، زیرا این الگوریتم مبتنی بر همان قواعد OE می باشد و تمام تجهیزات لازم جهت پشتیبانی از آن قبلاً برای OE استفاده شده است. بنابراین هم در زمان کم ازدحام بودن شبکه و هم در زمان ازدحام بالا کارایی شبکه افزایش می یابد. چراکه این الگوریتم هم از مزایای الگوریتم های قطعی و هم از مزایای الگوریتم OE استفاده می کند که دارای درجه وفقی مناسبی می باشد و برای پیاده سازی آن نیز، نیازی به سخت افزار اضافی نمی باشد

#### 8-4- الگوریتم مسیریابی DyXY

در [16] یک الگوریتم مسیریابی جدید بنام DyXY مطرح شده است، که نوعی مسیریابی بر اساس شرایط ترافیکی را معرفی می کند. در مقاله فوق ادعا شده که انتخاب کوتاهترین مسیر بین مبدا و مقصد در هر شرایط ترافیکی سبب می شود تا این الگوریتم، یک الگوریتم عاری از بن بست و در عین حال عاری از مشکل سرگردانی بسته ها باشد. در حقیقت روش DyXY را روشی تطبیق پذیر و کمینه معرفی می کند که ساختار مسیریابهای شبکه بر تراشه به صورت کارآ پیاده سازی آن را پشتیبانی می کنند. چنانچه چندین مسیر کوتاه بین مبدا و مقصد وجود داشته باشد، مسیریابهای بین راه به بسته ها کمک خواهند کرد تا بر اساس شرایط ترافیکی شبکه، تنها یکی از آن چند مسیر کمینه را انتخاب کرده و به سمت مقصد مورد نظر مسیره می شوند. جزئیات مطرح شده در این الگوریتم به قرار زیر است :

- هر مسیریاب بین راه ابتدا آدرس مقصد بسته های ورودی را می خواند، سپس آدرس مقصد را با آدرس فعلی خود مقایسه می کند.
- اگر آدرس مقصد بسته برابر با آدرس یکی از گره های همسایه مسیریاب باشد، آن بسته به سمت مسیریاب گره همسایه فرستاده می شود. در غیر این صورت مسیریاب، وارد مرحله بعدی می شود.

اگر آدرس  $X$  یا  $Y$  بسته مورد نظر برابر با آدرس  $X$  یا  $Y$  مسیریاب فعلی باشد، مسیریاب بسته را به سمت گره همسایه در همان راستای  $X$  یا  $Y$  یکسان می فرستد. در غیر این صورت مسیریاب وارد مرحله بعدی می شود. مسیریاب در این مرحله شرایط ترافیکی بافرهای

مدل هیچ یک از چرخشها حذف نمی شود. این باعث می شود که درجه تطبیق پذیر بودن این الگوریتم نسبت به الگوریتم های پیشین بسیار بیشتر باشد. همچنین این الگوریتم در ترکیب با الگوریتم ها و تکنیک های پیشین، الگوریتم های مسیریابی جدیدی را ایجاد می کند که در ادامه نمونه ای از آنها را خواهیم دید. برای ارائه این الگوریتم بیان بعضی تعاریف ضروری می باشد: در یک توری دوبعدی با ابعاد  $K_0 \times K_1$  هر گره  $X$  توسط مختصاتش یعنی  $(X_0, X_1)$  شناخته می شود که  $X_0$  مختصات بعد صفرام و  $X_1$  مختصات بعد یکم می باشد. در توری دوبعدی چهار جهت شمال، جنوب، شرق و غرب وجود دارد. تمام گره هایی که مشخصه بعد صفر آنها یکسان است در یک ستون قرار دارند و تمام گره هایی که مشخصه بعد یک آنها یکسان است در یک سطر قرار دارند. در این مدل به یک ستون زوج گفته می شود اگر مشخصه بعد صفر آن ستون عددی زوج باشد. به طور مشابه به یک ستون فرد گفته می شود اگر مشخصه بعد صفر آن ستون عددی فرد باشد. به طور کلی در OE دو قاعده اصلی وجود دارد:

- **قاعده یک :** در هر گره واقع شده در یک ستون زوج هیچ بسته ای مجاز نیست چرخش از شرق به شمال انجام دهد. همچنین در هر گره واقع شده در یک ستون فرد هیچ بسته ای مجاز نخواهد بود که چرخش شمال به غرب داشته باشد.
- **قاعده دو :** در هر گره واقع شده در یک ستون زوج هیچ بسته ای مجاز نیست چرخش از شرق به جنوب انجام دهد. همچنین در هر گره واقع شده در یک ستون فرد هیچ بسته ای مجاز نیست که چرخش جنوب به غرب انجام داشته باشد.

اثبات شده که هر الگوریتم مسیریابی که از قواعد OE استفاده نماید عاری از بن بست خواهد بود.

#### 8-3- الگوریتم مسیریابی DyAD(DOE)

ایده الگوریتم مسیر یابی DOE این است که در ترافیک پایین در مد قطعی کار کند تا تاخیر کمتری داشته باشد و هر گاه که ازدحام شبکه از یک حد معین بالاتر رفت، مسیریابی در مد وفقی انجام شود. بر طبق آخرین گزارشها الگوریتم وفقی OE نسبت به سایر الگوریتم های وفقی ارائه شده دارای کارایی بهتری می باشد. یکی دیگر از دلایل استفاده از این الگوریتم این است که بر طبق [11] تمامی الگوریتم های توسعه یافته بر اساس OE عاری از بن بست بوده و دارای درجه وفقی بسیار بالاتری نسبت به دیگر الگوریتم ها می باشند. هنگامی که لازم باشد تا

مربوطه در مسیریابهای همسایه را که در سمت مقصد قرار دارند، می‌سنجد و بسته‌ها را به سمت یک مسیریاب که کمترین حجم ترافیک را دارد می‌فرستد.

## 5-8- الگوریتم مسیریابی Duato

یکی از بهترین الگوریتم‌های مسیریابی که هم از پیچیدگی سخت افزاری کمتری برخوردار است و هم حداکثر استفاده را از کانال‌های شبکه می‌کند، الگوریتم Duato می‌باشد [2,4]. در این الگوریتم دو دسته کانال مجازی برای کانال‌های فیزیکی در نظر گرفته شده است، که در دسته اول مسیریابی کاملاً پویا صورت می‌گیرد و در صورتی که پیام نتوانست از دسته اول مسیریابی شود، احتمال وقوع بن‌بست تشخیص داده می‌شود و به سراغ دسته دوم می‌رود. در دسته دوم کانالها از الگوریتم مسیریابی XY که بدون مشکل بن‌بست است، استفاده می‌کنند. الگوریتم XY برای حل مشکل بن‌بست در شبکه Torus نیاز به حداقل دو کانال مجازی دارد، لذا اگر در کل  $N$  کانال مجازی داشته باشیم و از این الگوریتم مسیریابی استفاده کنیم، به دسته اول  $N-2$  و به دسته دوم دو کانال اختصاص می‌دهد.

## 9- نتیجه گیری

الگوریتم‌های مطرح شده برای شبکه بر تراشه مبتنی بر مش دوبعدی نه تنها به بن‌بست، سرگردانی و قحطی زدگی برخورد نمی‌کنند، بلکه در هر قدم از مسیریابی به صورت کمینه به سمت مقصد نزدیک تر می‌شوند. از مطالب عنوان شده می‌توان نتیجه می‌گرفت که الگوریتم مسیریابی مورد استفاده در شبکه بر تراشه، تاثیر بسزایی در کارایی بهتر شبکه دارد. این مقاله اهمیت الگوریتم مسیریابی و تاثیر آن را در میزان تاخیر مسیریابی و کارایی بهتر شبکه را نشان می‌دهد و در عین حال برخی از مشهورترین و کاراترین الگوریتم‌های مسیریابی مطرح شده برای شبکه بر تراشه را معرفی و مورد بررسی قرار می‌دهد. در اکثر الگوریتم‌های موجود با وجود بهبودهای قابل ملاحظه‌ای که در زمینه کاهش متوسط تاخیر و بهبود کارایی شبکه داشته‌اند همچنان نواقص و کمبودهایی در جهت بهبود هر چه بیشتر کارایی احساس می‌شود.

## مراجع

- [3] رامین رجایی، فرزانه احمدی کاخکی، بهنام گل وردزاده، "ارزیابی الگوریتم‌های مسیریابی و معرفی یک الگوریتم نیمه تطبیقی جدید برای شبکه بر روی تراشه"، سیزدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، 1389.
- [4] ابراهیم بهروزیان نژاد، محمد بهروزیان نژاد، "بررسی تکنیک انتخاب خروجی الگوریتم‌های مسیریابی قطعی و وفقی مورد استفاده در شبکه بر روی تراشه (Network On Chip)"، نخستین همایش دستاوردهای نوین در مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، 1389.
- [5] محمد بهروزیان نژاد، ابراهیم بهروزیان نژاد، "ارائه یک تکنیک انتخاب ورودی جدید جهت افزایش کارایی الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه های روی تراشه"، نخستین همایش دستاوردهای نوین در مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، 1389.
- [6] S. Kumar, A. Jantsch, J.-P. Soininen, M. Forsell, M. Millberg, J. Oberg, et al. "A network on chip architecture and design methodology", ISVLSI, pp. 117-24, USA, 2002.
- [7] F. T. Leighton, "Introductions to Parallel Algorithms and Architectures: Arrays, Trees, Hyper Cubes," Morgan Kaufman, 1992.
- [8] A. Ehsani Zonouz, M. Seyrafi, A. Asad, M. Soryani, M. Fathy and R. Berangi, "A Fault Tolerant NoC Architecture for Reliability Improvement and Latency Reduction," in Proceedings of 12<sup>th</sup> Euromicro Conference on Digital System Design (DSD), IEEE Press, August 2009, Greece, pp. 473-480.
- [9] Dong Wu, M. Bashir Al-Hashimi, T. Marcus Schmitz, "Improving Routing Efficiency for Network-on-Chip through Contention-Aware Input Selection", This EPSRC, UK, under grant EP/C512804, GR/S95770., Proceedings of the 2006 Asia and South Pacific Design Automation Conference.
- [10] G.-M. Chiu, "The odd-even turn model for adaptive routing," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 11, pp. 729-38, 2000.
- [11] J. Hu, R. Marculescu, "DyAD - Smart routing for networks-on-chip," DAC, pp. 260-263, USA, 2004.
- [12] E. Nilsson, M. Millberg, J. Oberg, and A. Jantsch, "Load distribution with the proximity congestion awareness in a network on chip," DATE, pp. 1126-7, Germany, 2003.
- [13] J. Duato, C. Yalamanchili and L.M. Ni, "Interconnection Networks: An Engineering Approach," Morgan Kaufmann, 2003.
- [14] C. J. Glass and L. M. Ni, "Maximally Fully Adaptive Routing in 2D Meshes," in Proceedings of the 1992 International Conference on Parallel Processing, August 1992, pp. 101-104.
- [15] L. Schwiebert and D. N. Jayasimha, "Optimal fully adaptive wormhole routing for meshes," in Proceedings of the 1993 ACM/IEEE conference on Supercomputing, 1993, pp. 782-791.
- [16] M. Li, Q. A. Zeng, and W. B. John, "DyXY-A Proximity Congestion-Aware Deadlock-Free Dynamic Routing Method for Network on Chip," in Proceedings of the 43rd annual conference on Design automation, 2007, pp. 849-852.

<sup>1</sup> Intellectual Property

<sup>2</sup> Network On Chip

<sup>3</sup> Routing algorithm

<sup>4</sup> Dead Lock

- [1] محمد بهروزیان نژاد، ابراهیم بهروزیان نژاد، امین مهران زاده، "بررسی کارایی الگوریتم‌های مسیریابی قطعی و نیمه تطبیقی در شبکه بر روی تراشه"، دومین همایش ملی فناوری اطلاعات، حال، آینده، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، 1389.
- [2] محمد علی جبرئیل جمالی، حبیب مطیع قادر، احمد خادم زاده، محمدحسین نژاد قوی فکر، "ارائه الگوریتم‌های مسیریابی وفقی جدید جهت کاهش تعداد گام مسیر در شبکه های روی تراشه (NoC) با همبندی Mesh و Torus"، سومین کنفرانس ملی فناوری اطلاعات و دانش، دانشگاه فردوسی مشهد، آذر ماه 1386.

- 
- <sup>5</sup> Live Lock
  - <sup>6</sup> Starvation
  - <sup>7</sup> Deterministic Routing Algorithm
  - <sup>8</sup> Adaptive Routing Algorithm
  - <sup>9</sup> First-Come-First-Served
  - <sup>10</sup> Contention-Aware Input Selection
  - <sup>11</sup> Connectivity
  - <sup>12</sup> Adaptivity
  - <sup>13</sup> Fault tolerant