

# تحليل أداء خوارزميات التوجيه الخالية من الجمود في شبكات الشرائح ثنائية الأبعاد

إعداد المهندس: عزيز جروج

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث

قسم هندسة التحكم الآلي والحاسوب

## ملخص البحث:

في هذا المقال يتم مناقشة تفاصيل بعض الخوارزميات التي تمتلك خاصية deadlock-free أي خوارزميات خالية من الجمود. إن الخوارزميات الخالية من الجمود هي خوارزمية XY (ذات التوجيه الحتمي)، التوجيه الفردي الزوجي Odd Even Routing (ذات التوجيه التكيفي القائم على نموذج الدوران)، خوارزميات الغرب أولاً West first، الشمال أخيراً North Last والسليبي أولاً Negative First (وهي تكيفية جزئياً ذات توجيه قائم على نموذج الدوران) و DyXY (ذات توجيه تكيفي ذو مسار أصغري). وبعد مقارنة أدائهم في أنماط حركة المرور المختلفة من خلال تطبيق أحمال مختلفة للشبكة، تبين أن DyXY تؤدي أفضل أداء لكنها ذات استهلاك طاقة اعلى. كما ان خوارزمية الشمال أخيراً تؤدي أفضل أداء بين خوارزميات التوجيه التكيفية جزئياً. كما أن خوارزمية XY الأكثر كفاءة في استخدام الطاقة.

## كلمات مفتاحية:

شبكات الربط على الشريحة، خوارزمية التوجيه، خالية من الجمود.

# Performance Analysis of deadlock-free 2D-NoC routing algorithms

**Eng. Aziz Jarrouj**

*Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Albaath University*

*Department of Auto control and Computers*

## **Abstract:**

In this article, we discussed detail of some algorithms which have the common characteristics that they are deadlock-free in nature. The deadlock-free algorithms are XY (a deterministic DOR routing), Odd Even Routing (Turn model based adaptive routing), West first, North Last, Negative First (Turn model based partially adaptive routing) and DyXY (minimal adaptive routing). After comparing their performances in different traffic pattern by applying different loads on network, we found that DyXY has the best performance but it consumes higher power. And North Last has the best performance among partially adaptive algorithms. And we found that XY has the best power efficient.

## **Keywords:**

Networks on the chip, routing algorithm, deadlock free.

## 1. مقدمة

بسبب التطور السريع في صناعة VLSI، فإن ملايين الأنظمة أو الميزات يمكن تقديمها في جهاز إلكتروني عن طريق تركيب ملايين الترانزستورات على رقاقة أو شريحة واحدة [1]. في هذه الأيام، يحاول مصنعو الشرائح إطلاق منتجات متعددة النوى بأعداد أكثر للنوى في النظام. وهذا قد يؤدي إلى مئات أو حتى آلاف النوى المدمجة على شريحة واحدة. بالإضافة إلى تكامل العديد من النوى ذات الأغراض العامة على general-purpose شريحة واحدة، فإن زيادة عدد الترانزستورات سيؤدي إلى تكامل أكبر للنظام من أجل النظم متعددة المعالجات على الشريحة MPSoCs. بلا شك يحتاج النظام على الشريحة والذي يملك عدد ضخم من عناوين النوى IP cores إلى نظام اتصال ملائم، قابل للتوسع، ويعرض حزمة عالية. يفشل كل من نظام الناقل Bus system وأنظمة التصالب crossbar systems بتأمين نظام اتصال فعال. لذلك فإن الشبكة على الشريحة NoC أتت واستبدلت هذين النظامين بسهولة. تمتلك الشبكة على الشريحة بعض مفاتيح التبديل التي تدعى تقنياً بالموجهات وأسلاك توجيهه. إن البنية متعددة النوى تعتبر مطلب ضروري جداً في العديد من المجالات. ستؤدي هذه البنية لزيادة مستويات سعة التوصيل لمراكز البيانات. وتتطلب التطبيقات ذات الإنتاجية الموجهة بشكل حتمي إلى اتصال بعرض حزمة عالي. يمكن لتأخير الاتصال latency أن يلعب دور جوهري في أداء الأنظمة متعددة المسالك. في أنظمة المعالجات المتعددة على الشريحة MPSoCs، يمكن أن تساعد نفعية الشبكة على الشريحة في تمكين عزل التصميم بالاستفادة من بلوكات ذات IP غير متجانسة ومن عدة مصنعين. يمكن لهذه البلوكات بوجود واجهة قياسية أن تتصل بمساعدة الشبكة على الشريحة بشكل ركب وشغل plug-and-play. يتم تطوير NOC بشكل مطرد كل عام. هناك عدد كبير من الحلول المختلفة للتطوير على مستوى مزامنة النظام الفرعي للاتصالات NOC، تكنولوجيا الاتصالات، تنظيم ربط الوصلات، تنظيم الموجه (تكنولوجيا الاتصال على مستوى الحزمة)، خوارزميات التوجيه، التحكم في التدفق [2، 3، 4]

إن خوارزمية التوجيه مفهوم تصميمي هام للشبكات على الشريحة. إن وظيفة خوارزمية التوجيه هي تحديد الطريق الفعال للمعطيات أو الرزم لتنتقل من المصدر إلى الهدف.

## 2. هدف البحث

دراسة وتحليل أداء بعض خوارزميات التوجيه ذات إمكانية التحرر من الاختناق ومقارنة أدائهم بعدة طرق تجريبية.

## 3. مواد وطرق البحث

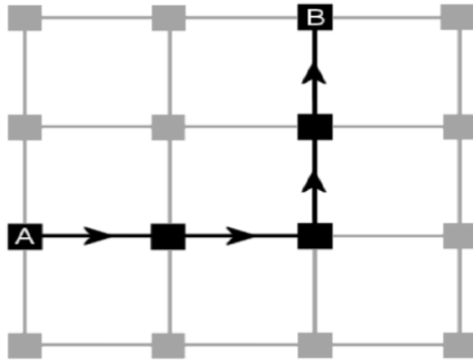
تم استخدام برنامج محاكي NIRGAM 2.1 [10] وهو محاكي يعتمد cycle accurate systemC. تم أخذ النتائج من البرنامج السابق، ثم استخدام MatLab لرسم هذه النتائج ومقارنتها.

## 4. لمحة نظرية

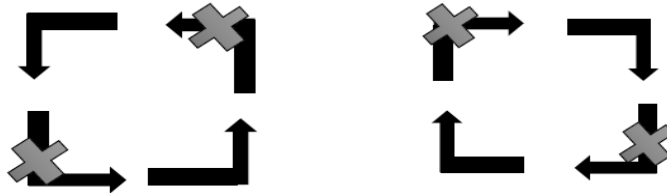
### 4.1 خوارزمية التوجيه الحتمي Deterministic Routing algorithm

تستخدم خوارزمية التوجيه الحتمية مسار توجيه ثابت طوال العملية. تأتي خوارزمية التوجيه XY ضمن خوارزمية التوجيه الحتمية. يمكن تنفيذ هذه الخوارزمية لكل من طوبولوجيا الشبكة العادية وغير المنتظمة. يطلق عليه توجيه ترتيب البعد (DOR). إنه يتبع مفهوم توجيه الحد الأدنى من الدوران. في هذا التوجيه، يتم تحديد كل عقدة أو جهاز توجيه لـ NoC من خلال إحداثيات (x, y) لتلك العقدة لشبكة ثنائية الأبعاد. وفقاً لهذه الخوارزمية، ستنقل حزم البيانات في اتجاه X نحو عمود الوجهة. بعد العثور على عمود الوجهة، ستنقل حزم البيانات إلى العقدة الوجهة. تم وصف حركة البيانات في هذه الخوارزمية في مثال في الشكل (1). تنص هذه الخوارزمية ببساطة على أنه "أولاً، ستتحرك البيانات في اتجاه X ثم في اتجاه Y". هذا هو السبب في أن اسم الخوارزمية هو خوارزمية التوجيه XY. وفقاً لهذه الخوارزمية، لا يمكن للحزم أن تتحرك أولاً في الاتجاه Y ثم في الاتجاه X. لذلك لديها بعض القيود على التوجيه أو الانعطاف. ونتيجة لذلك هي خالية من الجمود deadlock free.

كما هو مبين في الشكل (2) ووفقاً لهذه الخوارزمية، تتم مقارنة إحداثيات  $(y, x)$  لجهاز التوجيه الحالي بإحداثيات  $(y, x)$  لجهاز التوجيه الوجهة [5]. إذا كانت متساوية، فسيشير هذا إلى وصول حزم البيانات إلى وجهتها وسيتم توجيهها إلى المورد عبر المنفذ المحلي. إذا لم تكن متساوية، تتم مقارنة إحداثي  $x$  للوجهة مبدئياً بإحداثيات  $x$  لجهاز التوجيه الحالي. عندما يكون تنسيق  $x$  لجهاز التوجيه الحالي أقل من إحداثيات  $x$  لجهاز التوجيه الوجهة، سيتم إرسال حزم البيانات إلى الاتجاه الشرقي، عندما يكون الإحداثي  $x$  للموجه الحالي أكبر من إحداثيات  $x$  لجهاز التوجيه الوجهة، فسيتم توجيه الحزم باتجاه الغرب. ثم تحقق مما إذا كانت حزمة البيانات موجودة بالفعل في عمود الوجهة أم لا. إذا كان هذا الشرط الأخير صحيحاً، تتم مقارنة العنوان الراسي للوجهة بالعنوان الراسي لجهاز التوجيه الحالي. سيتم عبور حزم البيانات إلى الاتجاه الجنوبي عندما يكون العنوان الراسي لجهاز التوجيه الحالي أقل من العنوان الراسي لجهاز التوجيه الوجهة، أو إلى الشمال عندما يكون العنوان الراسي لجهاز التوجيه الحالي أكبر من العنوان الراسي لجهاز التوجيه الوجهة.

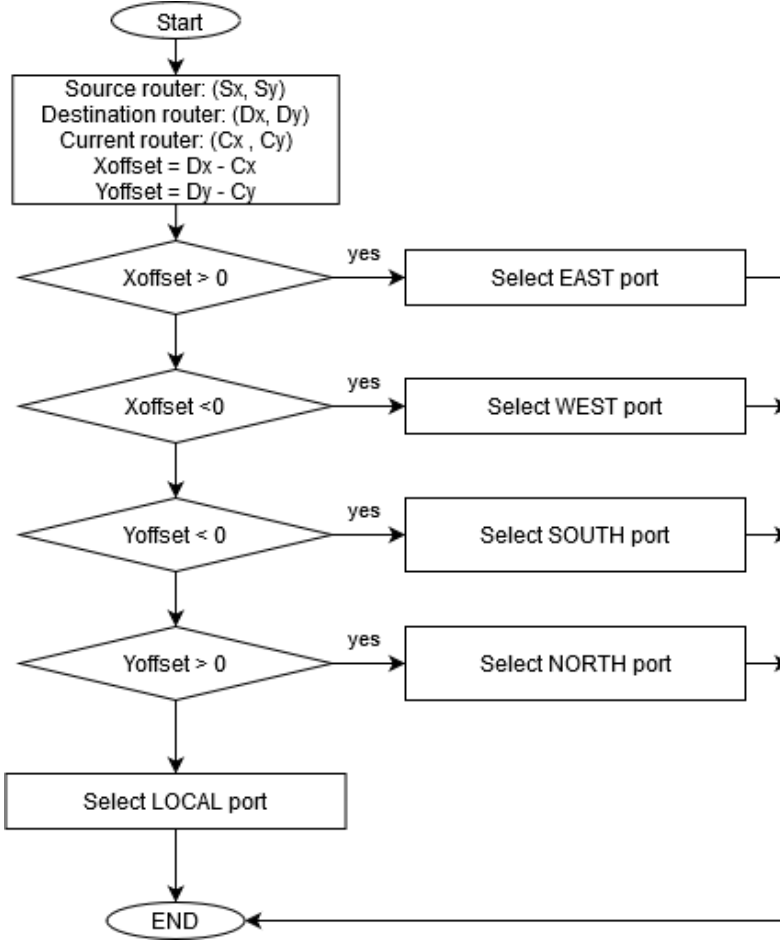


الشكل (1) المسار الموضح لتوجيه XY للمصدر A إلى الوجهة B



الشكل (2) المنعطفات المسموح بها في توجيه XY

وصف الخوارزمية:



## 4.2 خوارزميات التوجيه القائمة على نموذج الدوران Turn model Based

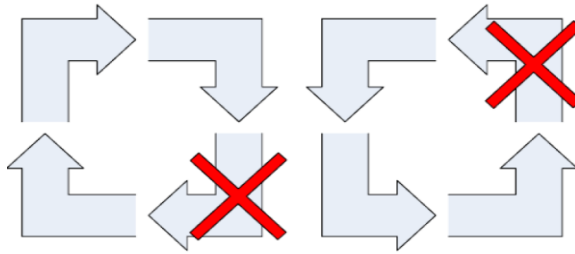
### Routing algorithms

سنناقش في هذا القسم بعض الخوارزميات التكيفية جزئياً بطبيعتها. يزيل توجيه نموذج الدوران التكيفي Adaptive turn model routing [6] الحد الأدنى من مجموعة المنعطفات اللازمة لتحقيق حرية الوصول إلى طريق مسدود مع الاحتفاظ ببعض تنوع المسار وإمكانية التكيف. مع توجيه ترتيب الأبعاد، يُسمح فقط بأربع دورات ممكنة من الثماني دورات المتاحة في شبكة ثنائية الأبعاد. يزيد توجيه نموذج الدوران من مرونة

الخوارزمية من خلال السماح بستة دورات من أصل ثمانية. يتم التخلص من دورة واحدة فقط من كل دورة. في خوارزميات التوجيه التكرارية جزئياً، سيتم حساب أكثر من مسار بين المصدر والوجهة. وفقاً لظروف ازدحام الشبكة، سيتم تحديد مسار واحد للتوجيه وفي هذا المسار يتم توجيه المسار طوال العملية. السمة المشتركة لخوارزميات التوجيه هذه هي طبيعتها الخالية من الجمود. لأنه تم توضيحه في الفصل السابق أن تقييد الانعطاف الأيمن يمكن أن يجعل خوارزمية التوجيه خالية من الجمود.

#### 4.2.1 خوارزمية التوجيه غرب أولاً West First

إنها خوارزمية توجيه تكرارية جزئياً. في الشبكة المتداخلة، يتم تطبيق اثنين من قيود التوجيه في أي عقدة، أي من الجنوب إلى الغرب والانعطاف من الشمال إلى الغرب. لا يمكن للحزم أن تأخذ منعطفاً من المنفذ الجنوبي إلى المنفذ الغربي أو المنفذ الشمالي إلى المنفذ الغربي للعقدة الموضحة في الشكل (3). وفقاً لهذه الخوارزمية، يجب أن تنتقل الرسالة أولاً في الاتجاه الغربي (إذا لزم الأمر) قبل السفر في أي اتجاه آخر. بعد السفر إلى الاتجاه الغربي، يمكنه السير بشكل تكراري عبر اتجاه الجنوب والشرق والشمال. لا يمكن توجيه الرسالة في الاتجاه الغربي لاحقاً بسبب قيود التوجيه المطبقة. يقوم التوجيه الغربي الأول بتقييد نصف المصدر والاتصال على الأقل بمسار واحد صغير بينما يمكن للأزواج المتبقية التواصل بشكل كامل بشكل تكراري [7].

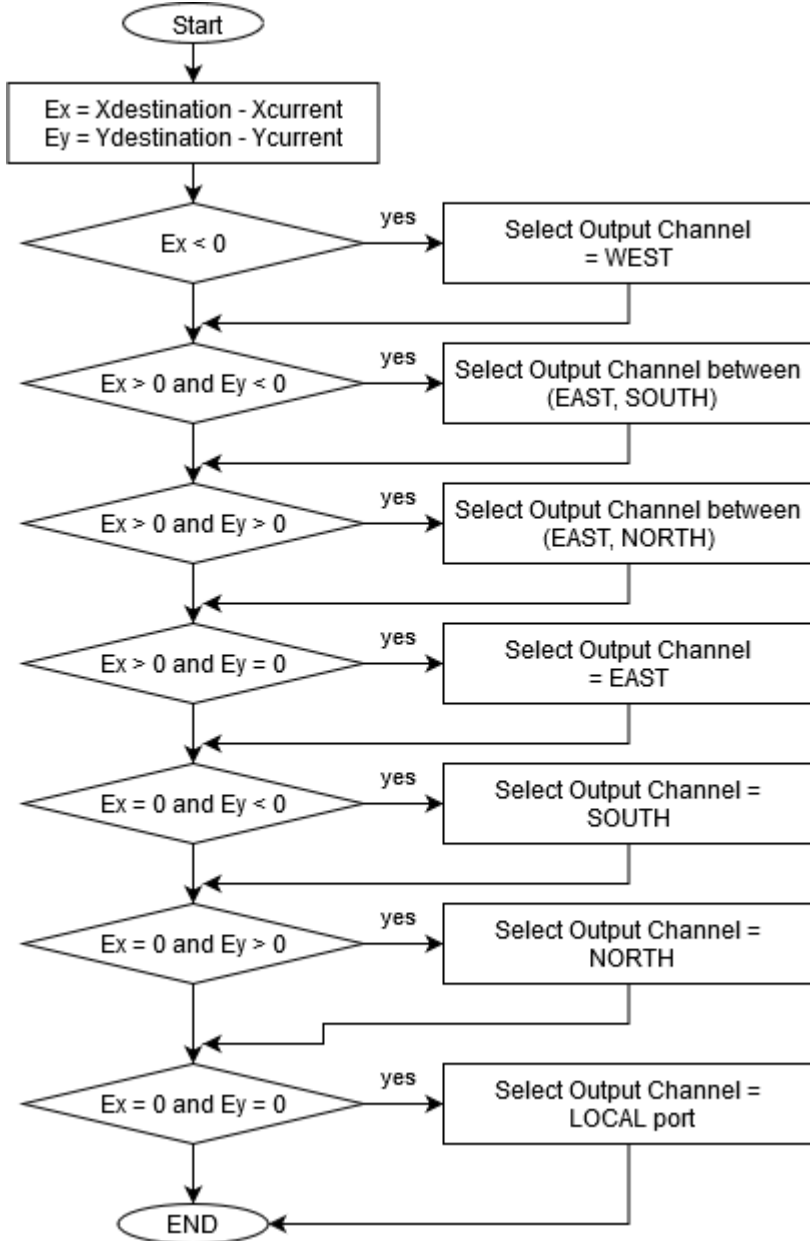


الشكل (3) المنعطفات المسموح بها في توجيه الغرب الأول

وصف الخوارزمية:

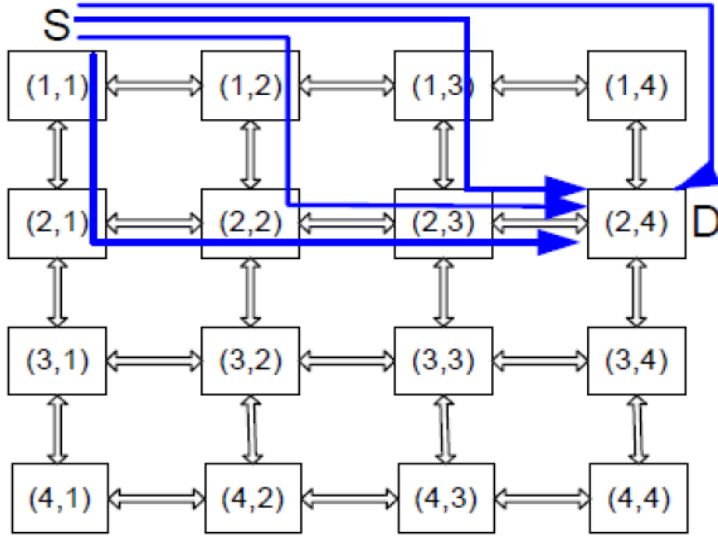
المدخلات: عنوان جهاز التوجيه الحالي Xcurrent - هو (إحداثيات X لجهاز التوجيه الحالي) و Ycurrent هو (إحداثيات Y لجهاز التوجيه الحالي).

عنوان جهاز التوجيه الوجهة-  $X_{destination}$  هو (الإحداثي  $X$  لجهاز التوجيه الوجهة) و  $Y_{destination}$  هو (إحداثيات  $Y$  لجهاز التوجيه الوجهة).



افترض في عقدة مصدر الشبكة هي (1,1) والعقدة الوجهة هي (2,4). يوضح الشكل (4) مسارات التوجيه المحتملة في خوارزمية التوجيه الغرب أولاً.





الشكل (4) مثال على توجيه الغرب الأول

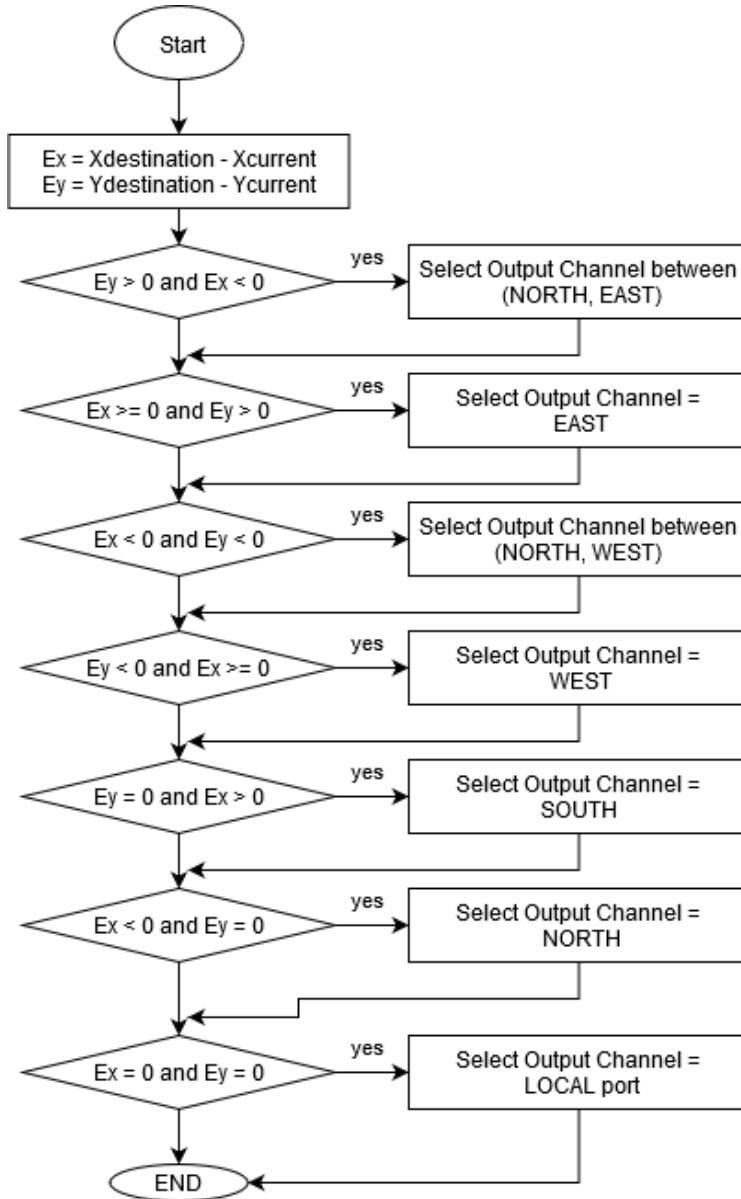
#### 4.2.2 خوارزمية توجيه الشمال أخيراً North Last

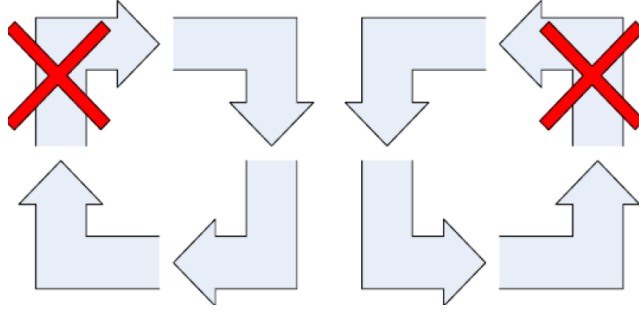
إنها خوارزمية توجيه تكيفية جزئياً. في الشبكة mesh، يتم تطبيق اثنين من قيود التوجيه على أي عقدة، أي من الشمال إلى الغرب ومن الشمال إلى الشرق. لا يمكن للحزم أن تأخذ منعطفاً من منفذ NORTH إلى منفذ WEST أو منفذ NORTH إلى منفذ EAST للعقدة الموضحة في الشكل (5). وفقاً لهذه الخوارزمية، سيتم توجيه الرسالة في الاتجاه الشمالي فقط إذا كان هذا هو الاتجاه الأخير الذي يجب الانتقال إليه. بمجرد أن تتحول الرسالة إلى الشمال، لا يُسمح بمزيد من المنعطفات؛ ومن ثم، يجب أن يكون المنعطف الشمالي أخيراً. في هذه الخوارزمية، يتم توجيه الرسالة أولاً بشكل تكيفي في اتجاه الغرب والجنوب والشرق وأخيراً في اتجاه الشمال. إذا كانت هناك حاجة في اتصال لتحريك حزمة في الاتجاه الشمالي جنباً إلى جنب مع اتجاهات أخرى، فيجب أن تنتقل هذه الحزمة في هذا الاتجاه الآخر الذي في النهاية باتجاه الشمال.

وصف الخوارزمية:

المدخلات: عنوان جهاز التوجيه الحالي -  $X_{current}$  هو (إحداثيات X لجهاز التوجيه الحالي) و  $Y_{current}$  هو (إحداثيات Y لجهاز التوجيه الحالي).

عنوان جهاز التوجيه الوجهة-  $X_{\text{destination}}$  هو (الإحداثي X لجهاز التوجيه الوجهة) و  $Y_{\text{destination}}$  هو (إحداثيات Y لجهاز التوجيه الوجهة).

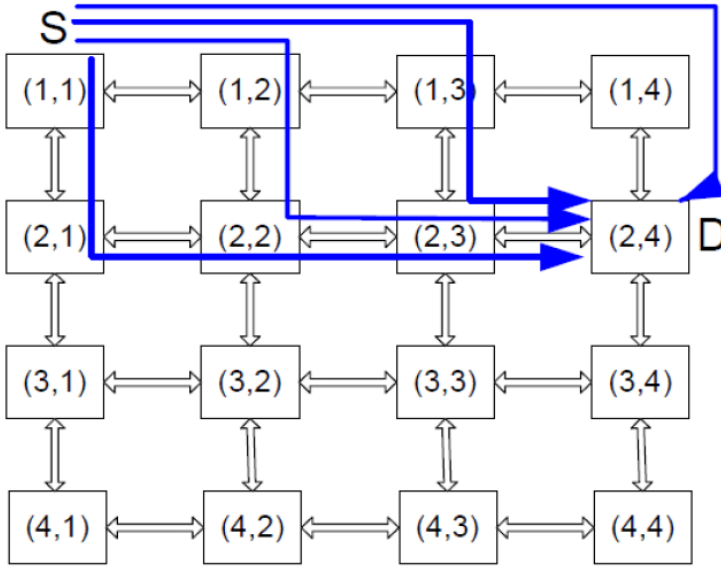




الشكل (5) المنعطفات المسموح بها في التوجيه الشمالي أخيراً

افتراض في عقدة مصدر الشبكة هي (1،1) والعقدة الوجهة هي (2،4). يوضح الشكل

(6) مسارات التوجيه المحتملة في خوارزمية التوجيه الشمال أخيراً.

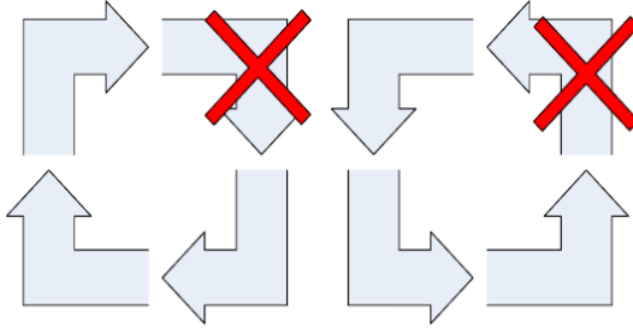


الشكل (6) مثال للتوجيه الشمال أخيراً

### 4.2.3 خوارزمية التوجيه السلبي أولاً Negative First

إنها خوارزمية توجيه تكيفية جزئياً. في الشبكة mesh، يتم تطبيق اثنين من قيود التوجيه في أي عقدة، أي من الشمال إلى الغرب والانعطاف من الشرق إلى الجنوب. لا يمكن للحزم أن تأخذ منعطفاً من المنفذ الشمالي إلى المنفذ الغربي أو المنفذ الشرقي إلى المنفذ الجنوبي للعقدة الموضحة في الشكل (7). وفقاً لهذه الخوارزمية، يمكن للرسالة أن تأخذ جميع المنعطفات الأخرى باستثناء المنعطفات من الاتجاه الإيجابي إلى الاتجاه

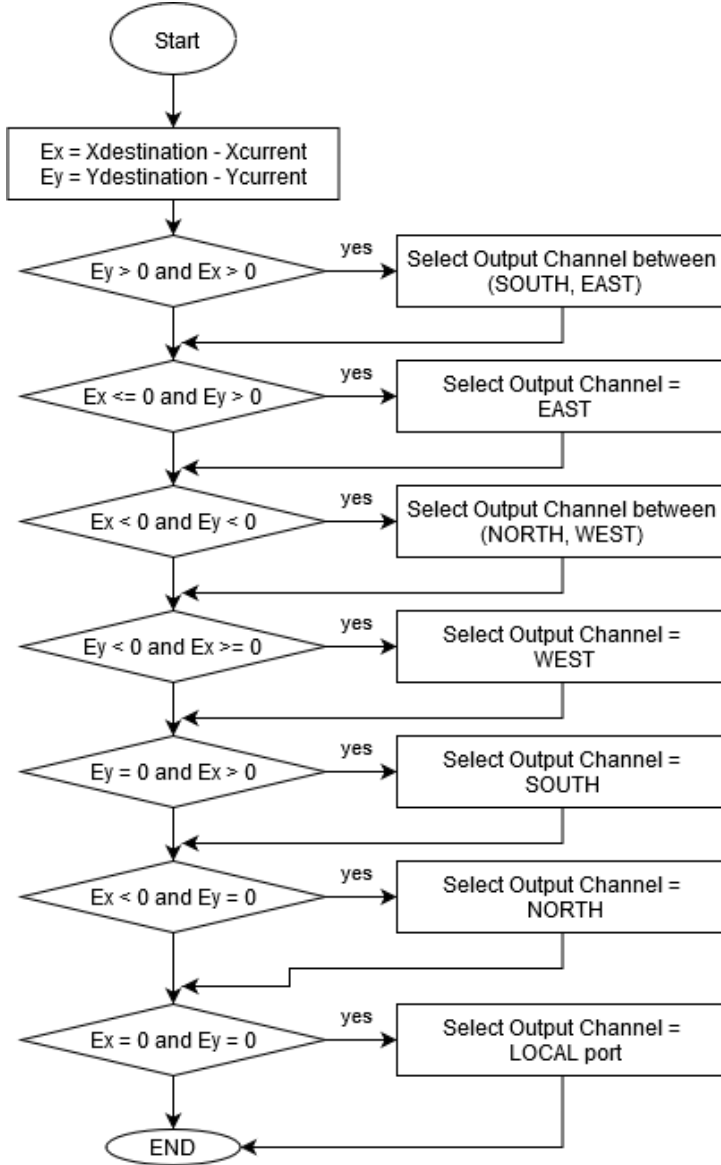
السليبي حيث تكون الاتجاهات الإيجابية في الشمال والشرق والاتجاه السالب في الجنوب والغرب. لذلك تنتقل الرسالة في الاتجاهات السلبية (الغرب والجنوب) أولاً قبل أن يُسمح لها بالسفر في اتجاهات إيجابية (شرقاً وشمالاً). في حزمة الخوارزمية هذه يتم توجيهها بشكل تكيفي في اتجاه الغرب والجنوب ثم بشكل تكيفي في اتجاه الشرق والشمال. يمكن أن تكون هذه الخوارزمية ذات مسار أصغري minimal أو غير أصغري non-minimal. لكن الإصدار غير البسيط أكثر تكيفاً وتحملاً للخطأ.



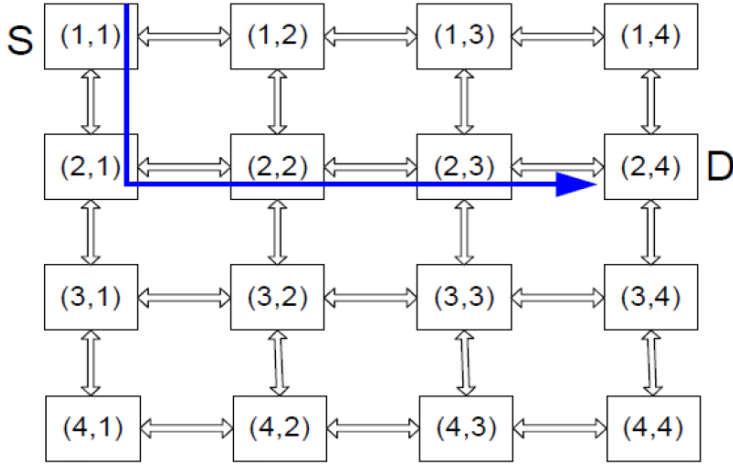
الشكل (7) المنعطفات المسموح بها في التوجيه السليبي أولاً

وصف الخوارزمية:

المدخلات: عنوان جهاز التوجيه الحالي -  $X_{current}$  هو (إحداثيات  $X$  لجهاز التوجيه الحالي) و  $Y_{current}$  هو (إحداثيات  $Y$  لجهاز التوجيه الحالي).  
 عنوان جهاز التوجيه الوجهة -  $X_{destination}$  هو (الإحداثي  $X$  لجهاز التوجيه الوجهة) و  $Y_{destination}$  هو (إحداثيات  $Y$  لجهاز التوجيه الوجهة).



افترض في عقدة مصدر الشبكة هي (1,1) والعقدة الوجهة هي (2,4). يوضح الشكل (8) مسارات التوجيه المحتملة في خوارزمية التوجيه السلبي أولاً.



الشكل (8) مثال على التوجيه السلبي أولاً

#### 4.2.4 خوارزمية التوجيه فردي زوجي OE

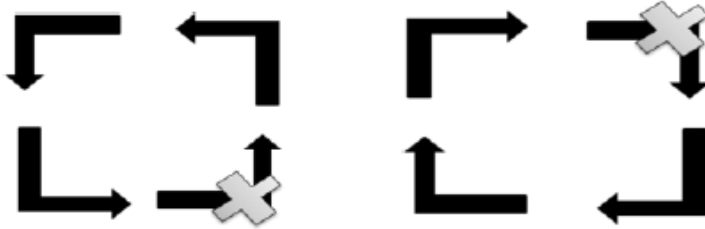
يتم اختصار توجيه OE كخوارزمية توجيه فردي زوجي Odd Even. وهي عبارة عن خوارزميات توجيه تكيفية تعتمد على نموذج turn model.

كما تمت مناقشته من قبل في خوارزمية التوجيه التكيفية، يتم حساب أكثر من مسار توجيه واحد بين عقدة المصدر والوجهة وسيتم تحديد مسار واحد للتوجيه وفقاً لظروف ازدحام الشبكة. تتغير هذه المسارات وفقاً للتغيير الديناميكي لحالة ازدحام الشبكة. تسمى خوارزمية التوجيه OE أيضاً باسم خوارزمية التوجيه الفردي والزوجي. يأتي ضمن فئة خوارزمية التوجيه التكيفية الموزعة. يعتمد على نموذج الدوران الفردي والزوجي. يقدم قيود توجيه مختلفة أو قيود تحول. نتيجة لذلك فهو خالي من الجمود. لا يتطلب نموذج الدوران الفردي والزوجي أي قناة افتراضية في طوبولوجيا الشبكة ثنائية الأبعاد [9]. في شبكة ثنائية الأبعاد، يتم التعرف على كل عقدة من خلال إحداثياتها  $(x,y)$ . وفقاً لنموذج الدوران، إذا كان عنصر البعد  $x$  الخاص به متساوياً، فسيتم اعتبار هذا العمود عموداً زوجياً وإذا كان تنسيق  $x$  للعمود رقماً فردياً، فسيتم اعتبار هذا العمود عموداً فردياً. يسمى التغيير بمقدار 90 درجة في اتجاه الانتقال على أنه منعطف. حسب اتجاه الانتقال، هناك ثمانية أنواع من المنعطفات. يمكن وصف الدوران ES بأنه انعطاف إذا كان لديه اختلاف 90

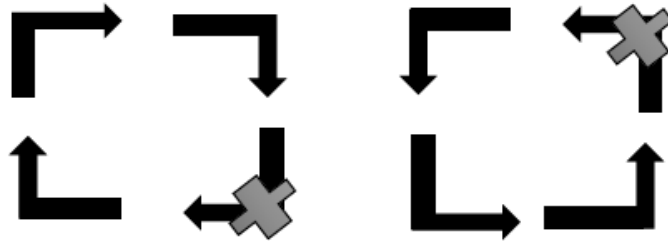
درجة في الاتجاه من الشرق إلى الجنوب. يمكن وصف دورة WS بأنها انعطاف إذا كان لديها اختلاف بمقدار 90 درجة في الاتجاه من الغرب إلى الجنوب. من هذا القبيل يمكننا وصف ستة أنواع أخرى من المنعطفات المسماة بـ EN و WN و SE و SW و NE و NW، حيث تحدد N و S و W و E الشمال والجنوب والغرب والشرق على التوالي. وفقاً لخوارزمية التوجيه OE، فإن النظريات التالية ضرورية لتجنب حالات الجمود.

النظرية 1: إذا كانت العقدة موجودة في عمود زوجي، فلا يمكن للحزم أن تأخذ دور EN كما هو موضح في الشكل (9) وإذا كانت العقدة موجودة في عمود فردي، فلا يمكن للحزم أن تأخذ أدوار NW الموضحة في الشكل (10).

النظرية 2: إذا كانت العقدة موجودة في عمود زوجي، فلا يمكن للحزم أن تأخذ أدوار ES الموضحة في الشكل (9) وإذا كانت العقدة موجودة في عمود فردي، فلا يمكن للحزم أن تأخذ دور SW كما هو موضح في الشكل (10).



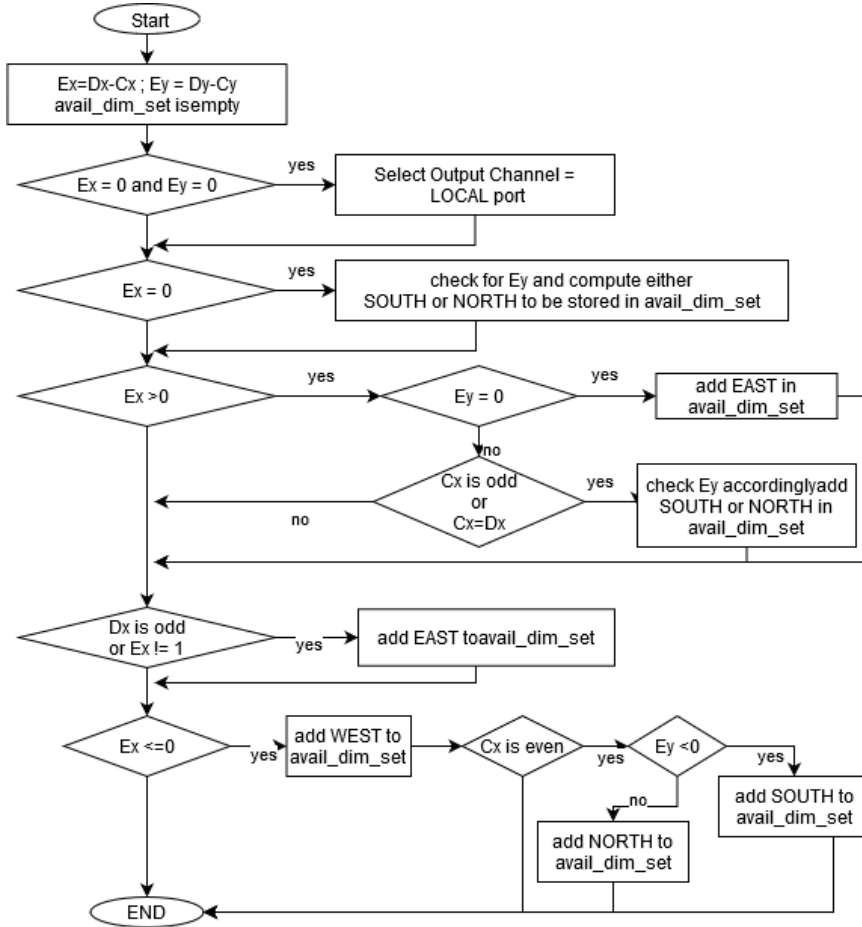
الشكل (9) المنعطفات المسموح بها للعمود الزوجي في توجيه OE



الشكل (10) المنعطفات المسموح بها للعمود الفردي في توجيه OE

الخوارزمية:

/ \* جهاز التوجيه المصدر:  $(S_y, S_x)$  ؛ جهاز التوجيه الوجهة:  $(D_y, D_x)$  ؛  
 جهاز التوجيه الحالي:  $(C_y, C_x)$  ؛  $E_x = D_x - C_x$  ؛  $E_y = D_y - C_y$  ؛  
 avail\_dim\_set هي مصفوفة تتكون من جميع اتجاهات التوجيه الممكنة \* /



### 4.3 خوارزمية التوجيه XY الديناميكية

كما نوقش سابقاً، يتميز التوجيه الحتمي ببعض مزايا البساطة في تصميم جهاز التوجيه وهناك تدهور في قيمة الإنتاجية عندما تزيد نسبة حقن الحزمة. لذلك تم تعديل خوارزمية التوجيه XY إلى خوارزمية تدرك الازدحام في الطبيعة ولها طبيعة خالية من الجمود [8]. ثبت أن القدرة على التكيف تقلل من تكوين عقدة النقطة الساخنة وتجنب المكونات



المعيية. يمكن أن تكتسب أي شبكة القدرة على التكيف من خلال مراقبة مستوى الازدحام باستمرار. يمكن الحصول على طبيعة التحرر من deadlock و livelock عن طريق إضافة بعض قيود التوجيه أو عن طريق المرور عبر أقصر طريق بين المصدر والوجهة.

5.3.1 وصف التوجيه

وفقاً لخوارزمية التوجيه الديناميكي XY، يجب أن تعبر بيانات خوارزمية التوجيه عبر طريق بين المصدر والوجهة التي لها أقل طول [9]. في حالة وجود أكثر من مسار واحد، ستختار خوارزمية التوجيه قناة إخراج للحزمة ذات قيمة ازدحام أقل.

ملخص خوارزمية التوجيه:

1. يجب تحديد وجهة الحزمة أو وحدات البيانات الواردة من الرأس.
2. تتم مقارنة إحداثيات  $(y, x)$  لجهاز التوجيه الحالي مع  $(y, x)$  لجهاز التوجيه الوجهة.

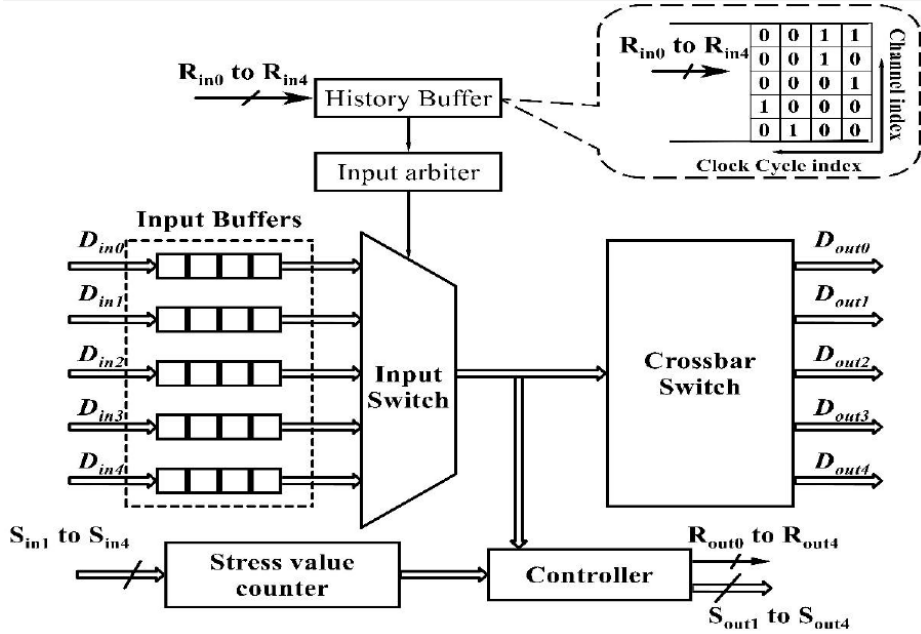
أ. إذا كان عنوان جهاز التوجيه الوجهة يساوي عنوان جهاز التوجيه الحالي، فهذا يعني أنه قد وصل إلى الوجهة. يتم تحديد المنفذ المحلي كقناة إخراج.

ب. إذا لم تكونا متساويتين، يتم التوجيه مثل خوارزمية التوجيه الثابت XY كما تمت مناقشته في الفصل 4. ستنتقل الحزم أولاً في الاتجاه X ثم في الاتجاه Y.

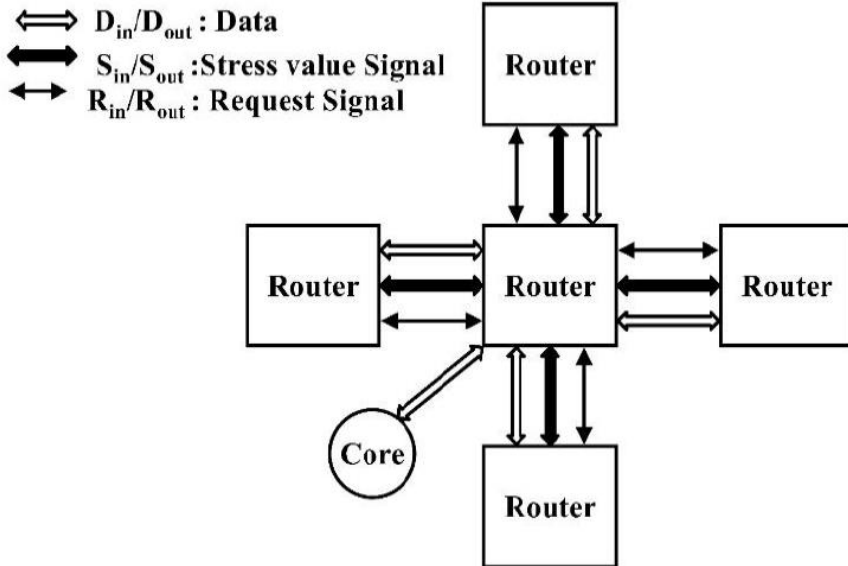
ج. تتم مقارنة قيم الإجهاد الأخرى (الازدحام) للجيران الحاليين لجهاز التوجيه وسيتم عبور حزم البيانات إلى الجار الذي يحتوي على أقل قيمة إجهاد.

يشير البارامتر الذي يسمى STRESS إلى ما إذا كان الارتباط مزدحماً أم لا بقيمته في جهاز التوجيه. هذه القيمة مهمة جداً لهذه الخوارزمية. يمكن اعتبار "طول قائمة الانتظار الفورية" لكل جهاز توجيه قيمة ضغط. ببساطة يمكننا القول أن عدد الخلايا المشغولة في جميع مخازن الإدخال المؤقتة يمكن تسميته كقيمة إجهاد. يجب على كل جهاز توجيه تخزين قيمة الضغط الفوري لجميع أجهزة التوجيه المجاورة ويتم الاحتفاظ بهذه القيمة عند التحديث من خلال نوع من الآليات التي تحركها الأحداث. تظهر بنية

جهاز التوجيه لـ DyXY في الشكل (11). كما يبين الشكل (12) التوصيل البيني للشبكة أثناء توجيهه DyXY.



الشكل (11) بنية جهاز التوجيه لتوجيه DyXY



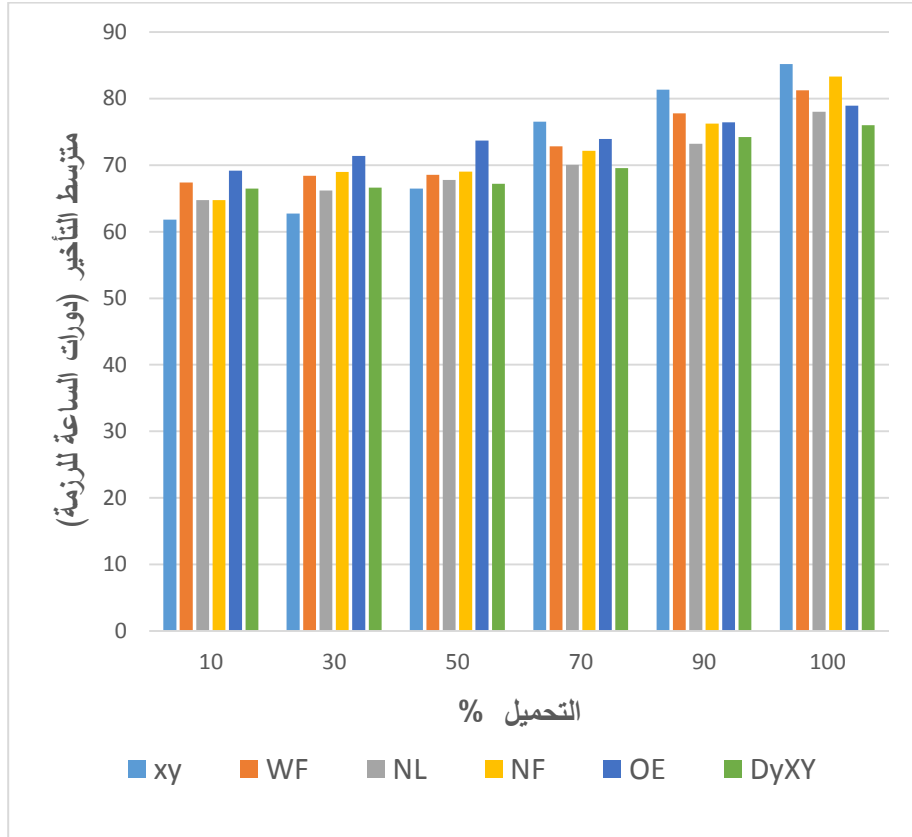
الشكل (12) التوصيل البيني للشبكة أثناء توجيهه DyXY

## 5. نتائج المحاكاة

الإعدادات التجريبية لتقييم خوارزميات التوجيه هي طوبولوجيا شبكة  $4 \times 4$  حيث يتم توصيل كل عقدة بمولد حركة المرور CBR (معدل البت الثابت) بقيمة 32 جيجابت في الثانية. عمق المخزن المؤقت (عدد المخازن المؤقتة) لقناة الإدخال FIFO هو 32. عدد القنوات الافتراضية لكل قناة فعلية هو 4. طول الوصلة 3 um. يؤخذ حجم الحزمة على أنه 20 بايت مع فاصل زمني لدورتين على مدار الساعة وتردد الساعة 1 جيجاهرتز

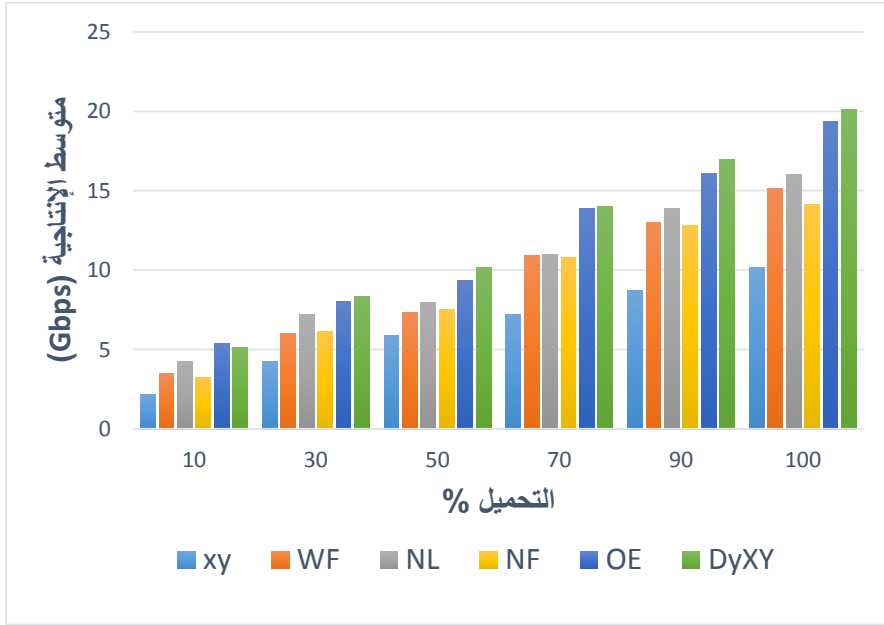
### 5.1 نتائج المحاكاة لحركة المرور الموحدة العشوائية Random uniform traffic

يبين الشكل (13) التحميل مقابل متوسط زمن الانتقال لحركة المرور الموحدة العشوائية



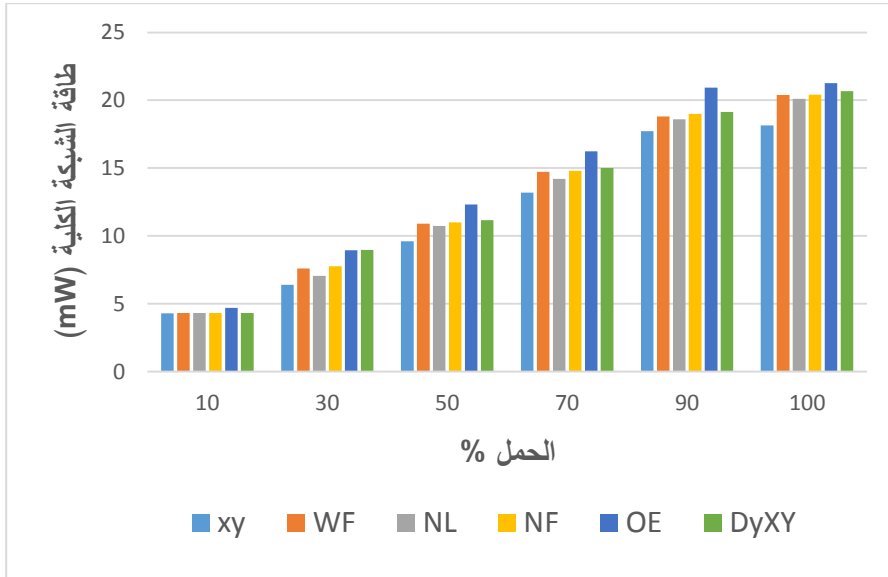
الشكل (13) متوسط زمن الانتقال مع تغير الحمل بحسب حركة المرور الموحدة العشوائية

كما يبين الشكل (14) الحمل % مقابل متوسط الإنتاجية لحركة المرور الموحدة العشوائية



الشكل (14) الحمل % مقابل متوسط الإنتاجية لحركة المرور الموحدة العشوائية

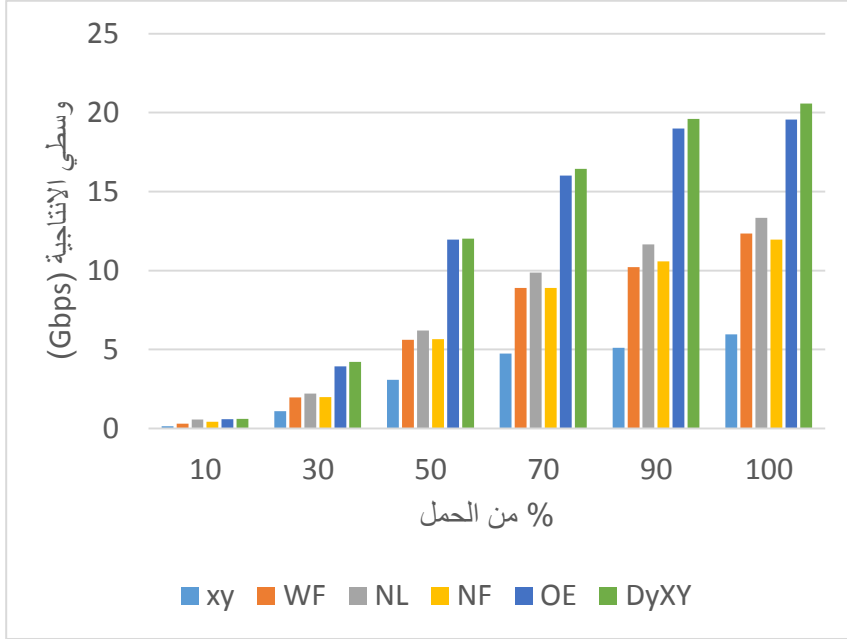
ويبين الشكل (15) الحمل % مقابل طاقة الشبكة الكلية لحركة المرور الموحدة العشوائية



الشكل (15) الحمل % مقابل طاقة الشبكة الكلية لحركة المرور الموحدة العشوائية

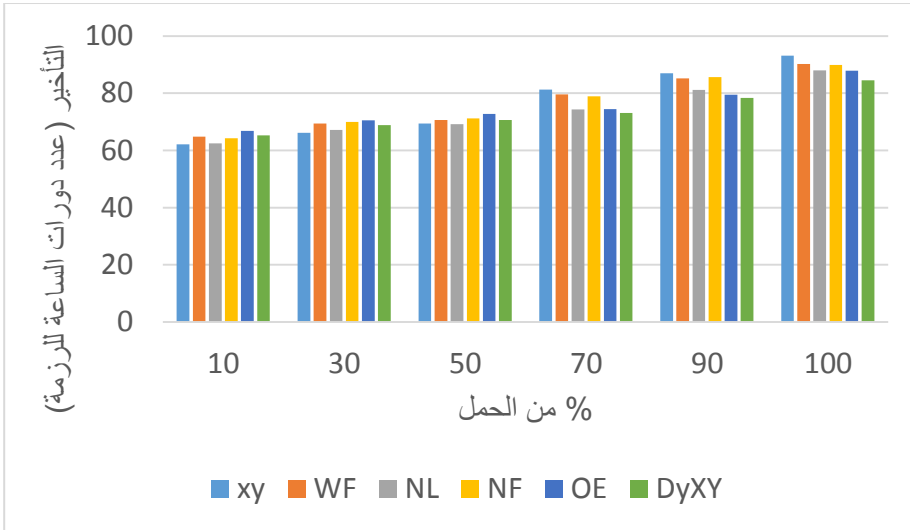
## 5.2 نتائج محاكاة نمط حركة انعكاس البتات Bit reversal traffic pattern

يبين الشكل (16) الحمل % مقابل متوسط الإنتاجية لنمط حركة انعكاس البت



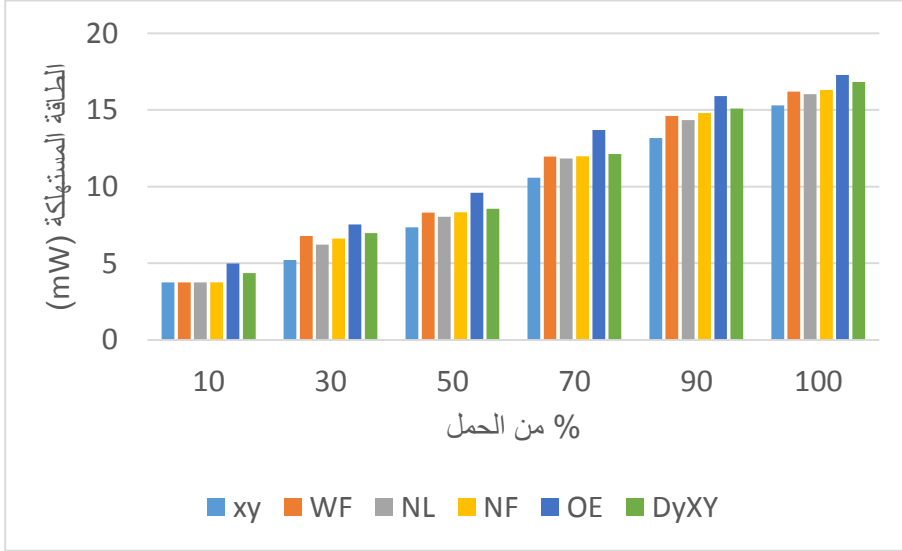
الشكل (16) الحمل % مقابل متوسط الإنتاجية لنمط حركة انعكاس البت

كما يبين الشكل (17) الحمل مقابل متوسط زمن الانتقال لنمط حركة انعكاس البت



الشكل (17) الحمل مقابل متوسط زمن الانتقال لنمط حركة انعكاس البت

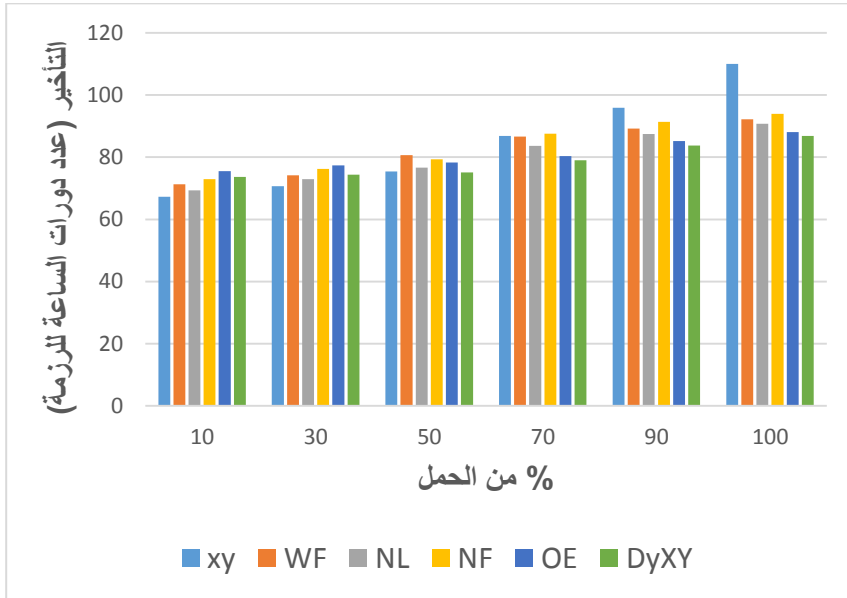
ويبين الشكل (18) % من الحمل مقابل إجمالي طاقة الشبكة لنمط حركة انعكاس البت



الشكل (18) % من الحمل مقابل إجمالي طاقة الشبكة لنمط حركة انعكاس البت

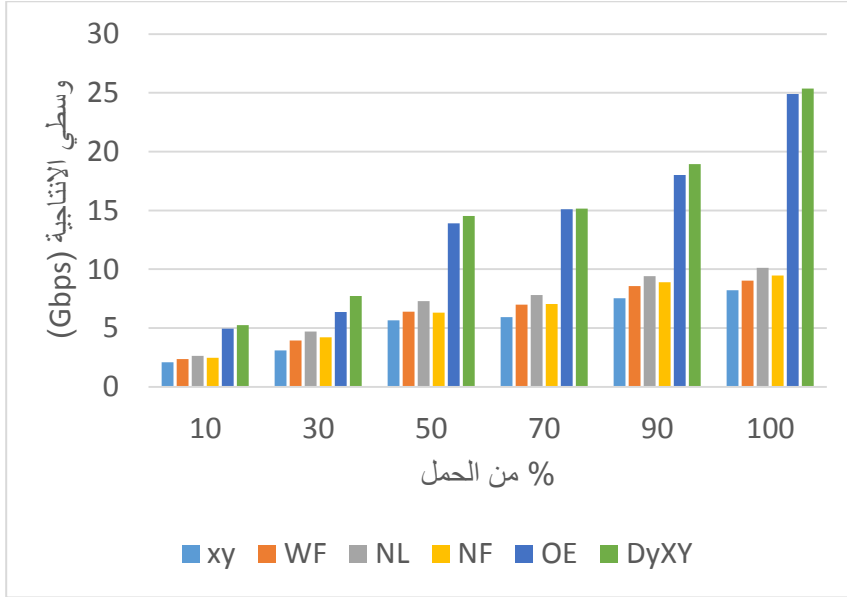
### 5.3 نتائج المحاكاة لنمط حركة تبديل البتات Bit shuffle traffic pattern

يبين الشكل (19) % من الحمل مقابل متوسط زمن الانتقال لنمط حركة تبديل البتات



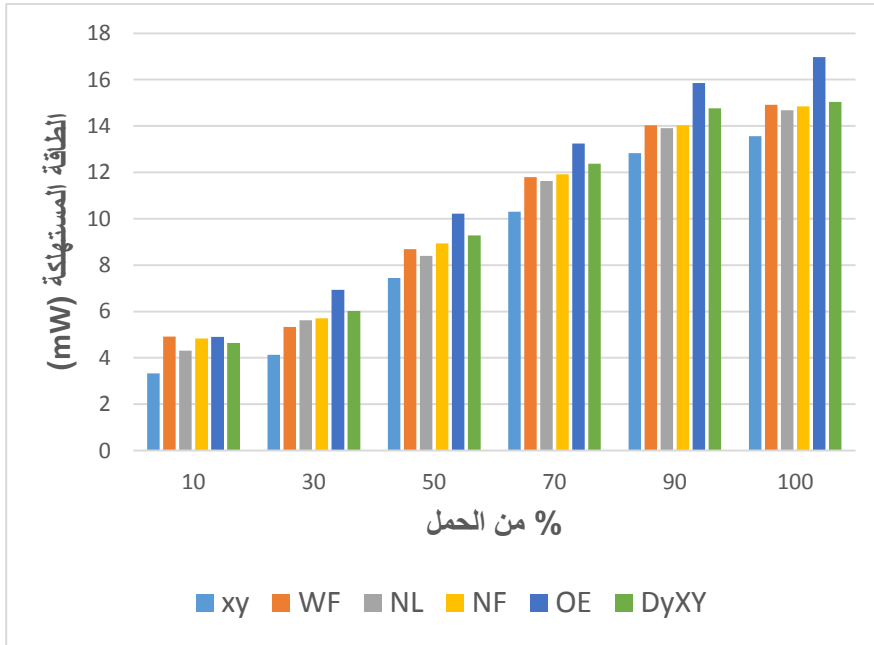
الشكل (19) % من التحميل مقابل متوسط زمن الانتقال لنمط حركة تبديل البتات

كما يبين الشكل (20) % من الحمل مقابل متوسط الإنتاجية لنمط حركة تبديل البتات



الشكل (20) % من الحمل مقابل متوسط الإنتاجية لنمط حركة تبديل البت

كما يبين الشكل (21) % من الحمل مقابل إجمالي طاقة الشبكة لنمط حركة تبديل البتات



الشكل (21) % من الحمل مقابل إجمالي طاقة الشبكة لنمط حركة تبديل البتات

## 6. المناقشة:

في محاكي NIRGAM، تنتوع النسبة المئوية للحمل (النسبة المئوية للحد الأقصى لعرض النطاق المستخدم) ووفقاً لذلك، يُلاحظ التأثير على بارامترات الأداء (متوسط زمن الانتقال، متوسط الإنتاجية وإجمالي طاقة الشبكة) لوقت الإحماء 800 دورة ساعة وإجمالي وقت المحاكاة 50000 دورة ساعة. في هذه التجربة، تنتوع النسبة المئوية للحمل من 10% إلى 100% وفي الأشكال 13 و 14 و 15 توضح نتائج المحاكاة لمتوسط زمن الوصول (عدد دورات الساعة لكل حزمة) ومتوسط الإنتاجية (بالجيجابت في الثانية) وإجمالي طاقة الشبكة (بالميلي واط) على التوالي بالنسبة للتوجيه XY، الغرب الأول، التوجيه الشمال أخيراً، التوجيه السلبي أولاً، التوجيه OE، DyXY لنمط المرور الموحد العشوائي. توضح الأشكال 16 و 17 و 18 نتائج المحاكاة لمتوسط زمن الوصول (في دورة الساعة لكل حزمة)، ومتوسط الإنتاجية (بالجيجابت في الثانية) وإجمالي طاقة الشبكة (بالميلي واط) على التوالي لـ XY، وتوجيه الغرب الأول، والتوجيه الشمال أخيراً، والتوجيه السلبي أولاً، OE، التوجيه DyXY لنمط حركة انعكاس بت. توضح الأشكال 19 و 20 و 21 نتائج المحاكاة لمتوسط زمن الوصول (في دورة الساعة لكل حزمة)، ومتوسط الإنتاجية (بالجيجابت في الثانية) وإجمالي طاقة الشبكة (بالميلي واط) على التوالي لـ XY، وتوجيه الغرب الأول، والتوجيه الشمال أخيراً، والتوجيه السلبي أولاً، OE، التوجيه DyXY لنمط حركة تبديل البتات.

مقاييس الأداء "P" هي النسبة بين متوسط الإنتاجية ومتوسط زمن الوصول. كلما كانت "P" أكبر تكون خوارزمية التوجيه أفضل.

$$P = \text{مقياس الأداء (على أساس كل قناة)} = \text{متوسط الإنتاجية} / \text{متوسط التأخير}$$

في نمط المرور الموحد العشوائي

$$P = (5.90696 / 66.4783) = 0.0885 \text{ : (تحميل بنسبة 50\%) لتوجيه XY}$$

$$P = (7.311 / 68.5387) = 0.1066 \text{ : (حمولة 50\%) لتوجيه الغرب أولاً}$$

$$P = (7.9612 / 67.7663) = 0.1174 \text{ : (حمولة 50\%) للتوجيه الشمال أخيراً}$$

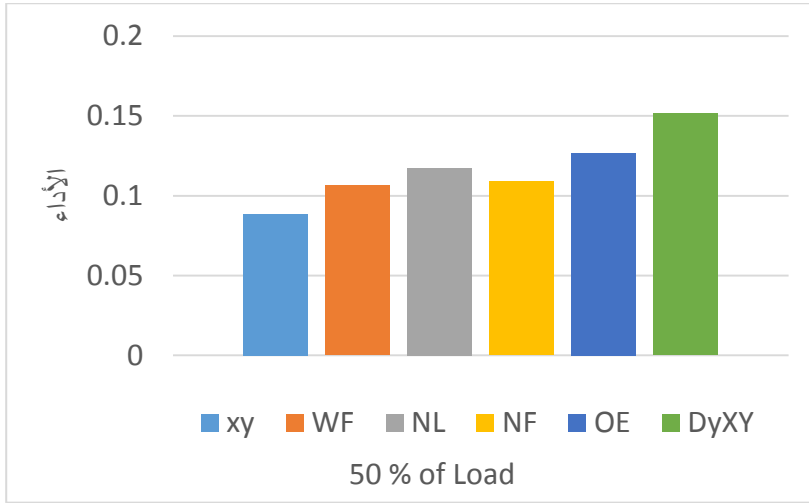


للتوجيه السلبي أولاً (حمولة 50٪):  $P = (7.521 / 69.0121) = 0.1089$

لتوجيه OE (حمل 50٪):  $P = (9.336 / 73.661) = 0.1267$

لتوجيه DyXY (تحميل بنسبة 50٪):  $P = (10.186 / 67.2065) = 0.1515$

ويبين الشكل (22) مقارنة الأداء بالنسبة لنمط حركة المرور الموحد العشوائي



الشكل (22) مقارنة الأداء بالنسبة لنمط حركة المرور الموحد العشوائي

#### في نمط حركة انعكاس البيت

لتوجيه XY (تحميل بنسبة 50٪):  $P = (3.08712 / 69.365) = 0.04450$

لتوجيه الغرب أولاً (حمولة 50٪):  $P = (5.6181 / 70.651) = 0.07951$

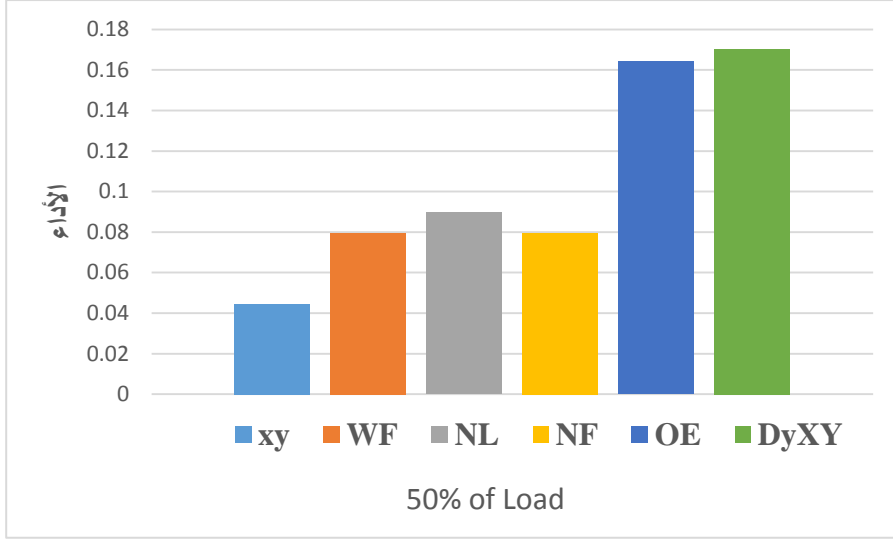
للتوجيه الشمال أخيراً (حمولة 50٪):  $P = (6.195 / 69.169) = 0.089563$

للتوجيه السلبي أولاً (حمولة 50٪):  $P = (5.6611 / 71.283) = 0.07941$

لتوجيه OE (تحميل 50٪):  $P = (11.9635 / 72.815) = 0.1642$

لتوجيه DyXY (حمولة 50٪):  $P = (12.021 / 70.597) = 0.17027$

ويبين الشكل (23) مقارنة الأداء بالنسبة لنمط حركة انعكاس البيت



الشكل (23) مقارنة الأداء بالنسبة لنمط حركة انعكاس البت

في نمط حركة تبديل البتات

لتوجيه XY (تحميل بنسبة 50٪):  $P = (5.664 / 75.367) = 0.07515$

لتوجيه الغرب أولاً (حمولة 50٪):  $P = (6.392 / 80.649) = 0.7925$

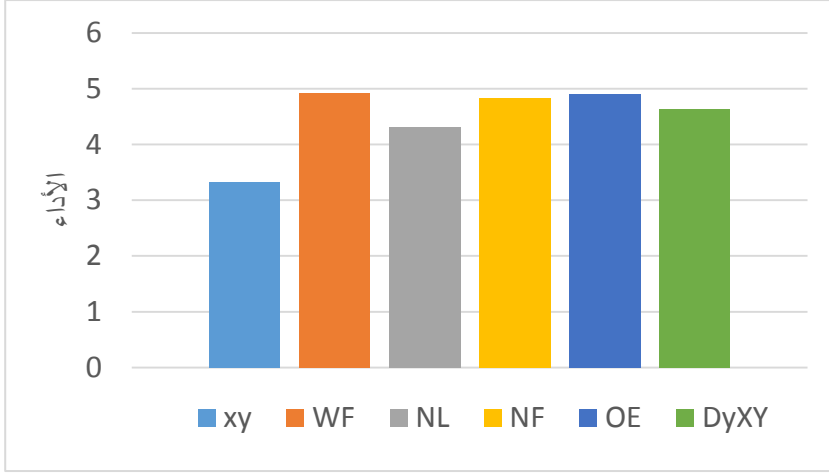
للتوجيه الشمال أخيراً (حمولة 50٪):  $P = (7.295 / 76.680) = 0.09513$

للتوجيه السلبي أولاً (حمولة 50٪):  $P = (6.313 / 79.341) = 0.07956$

لتوجيه OE (حمل 50٪):  $P = (13.9012 / 78.246) = 0.1776$

لتوجيه DyXY (حمل 50٪):  $P = (14.532 / 75.099) = 0.1935$

ويبين الشكل (24) مقارنة الأداء بالنسبة لنمط حركة تبديل البتات.



الشكل (24) مقارنة الأداء بالنسبة لنمط حركة تبديل البتات

### 7. الاستنتاجات والتوصيات:

من النتائج والمناقشة المذكورة أعلاه، نستنتج أن DyXY يؤدي أداءً أفضل من الخوارزميات الأخرى في النمط الموحد العشوائي، وعكس البت، ونمط حركة تبديل البتات. من بين خوارزميات التوجيه التكيفية الجزئية، أي خوارزميات التوجيه من الغرب أولاً والشمال أخيراً والسالب أولاً، تُظهر خوارزمية الشمال أخيراً أفضل أداء في زمن الوصول والإنتاجية والطاقة المستهلكة. كما أن كفاءة الطاقة لـ DyXY هي أكثر من توجيهه OE. يتم عرض كفاءة الطاقة لخوارزميات التوجيه بالترتيب التالي: التوجيه الحتمي أفضل من التوجيه التكيفي جزئياً والتي هي أفضل من التوجيه التكيفي. تعد خوارزمية التوجيه XY هي الخوارزمية الأكثر كفاءة في استخدام الطاقة ولكنها تعاني من تدهور الأداء في حمل الشبكة الثقيل.

## References:

- [1] W. J. Dally, "Route packets; not wire," in *DAC 2001*, Las Vegas, 2001.
- [2] E. Kasapaki, M. Schoeberl, R.B. Sorensen, C. Muller, K. Goossens, J. Sparso, Argo: a real-time network-on-chip architecture with an efficient GALS implementation, *IEEE Trans. Very Large Scale Integr. Syst.* 24 (2016) 479e492.
- [3] W. Liu, L. Yang, W. Jiang, L. Feng, N. Guan, W. Zhang, N.D. Dutt, Thermalaware task mapping on dynamically reconfigurable network-on-chip based multiprocessor system-on-chip, *IEEE Trans. Comput.* 67 (2018) 1818e1834.
- [4] W. Xu, N. Wu, B. Liu, A blocking optimization method by convergence of cores for application-based optical circuit switched network-on-chip, *Microprocess. Microsyst.* 53 (2017) 168e177.
- [5] William James Dally, *Principles and Practices of Interconnection Networks*, San Francisco: Morgan Kaufmann, 2004.
- [6] L. H. J. W. Wang Zhang, "Comparison Research between XY and Odd-Even Routing Algorithm of a 2-Dimension 3X3 Mesh Topology Network-on-Chip," in *Global Congress on Intelligent Systems*, Hong Kong, 2009.
- [7] J. Hu, "DYAD - Smart Routing for Networks-on-Chip," in *DAC 2004*, California, 2004.
- [8] G.-M. Chiu, "The Odd-Even Turn Model for Adaptive Routing," *IEEE TRANSACTIONS ON PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS*, vol. 11, no. 7, pp. 729-738, 2000.
- [9] P. Y. K. C. Terrence Mak, "Adaptive Routing in Network-on-Chips Using a Dynamic-Programming Network," *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, vol. 58, no. 8, pp. 3701-3716, 2011.
- [10] U. o. S. UK, "NIRGAM: A Simulator for NoC Interconnect Routing and Application Modeling," 2010. [Online]. Available: [nirgam.ecs.soton.ac.uk](http://nirgam.ecs.soton.ac.uk).