# ربط شبكات الاتصالات المحلية بالألياف الضوئية

دراسة تناولت موضوع الشبكات المحلية
باستخدام الألياف الضوئية للوصل
بين أجزاء الشبكة
ومقارنة بين بنى هذه الشبكات

م . سامر الغدا

# ربط شبكات الاتصالات المحلية بالألياف الضوئية

## 1- مقدمة :

أدى التطور الهائل الذي تم في مجالات الاتصالات والمعلوماتية إلى دخول الحاسب كافة مجالات الحياة من مؤسسات وجامعات والمنازل وغيرها وبحكم وجود أقسام وفروع للمؤسسات والإدارات كان لابد من الربط بين الحواسيب الموجودة ضمن هيكلية المؤسسات وذلك بفعل تطور نظم المعلومات والأتمتة لمواكبة العصر الجديد عصر التكنولوجيا والمعلوماتية وربط هذه الحاسبات مع بعضها البعض وفق نظم معينة أوجد لدينا ما يدعى بالشبكات الحاسوبية.

## 2- أنواع الشبكات الحاسوبية :

أهم المعايير المعتمدة لتقسيم هذه الشبكات هي المساحة الجغرافية ، وفي هذا السياق توجد ثلاثة أنواع :

1- الشبكات المحلية Local Area Networks (LAN) :

تمتد هذه الشبكة ضمن حيز جغرافي محدود ولا يمكن أن يتعدى قطرها ( أبعد مسافة بين جهازي كمبيوتر ) 10 Km وتوفر عملية متساوية للاتصال إذ تسمح لكل جهاز للاتصال مع الآخر .

2- شبكات الميتروبوليتان Metropolitan Area Networks (MAN) :

تمتد حدود هذه الشبكة إلى مساحة أكبر من الشبكة المحلية ولكنها أصغر من الشبكات الواسعة تصل حتى 50 Km وتحافظ على هيكلية الشبكة المحلية نفسها .

3- الشبكات الواسعة Wide Area Networks (WAN) :

تمتد هذه الشبكة على مساحة جغرافية كبيرة جداً قد تصل حدودها إلى العالم أجمع والمثال المعروف عنها شبكة الإنترنت التي تعد أكبر الشبكات الواسعة حتى الآن .

وثمة معيار آخر معتمد في تقسيم الشبكات الحاسوبية هو وسط الاتصال حيث نجد نوعين على هذا الأساس :

1- الشبكات السلكية : وتعتمد على الكوابل كقنوات اتصال ( الكوابل النحاسية أو الكوابل الضوئية ).

2- الشبكة اللاسلكية : وتعتمد تقنيات الإرسال والاستقبال اللاسلكي وقناة الاتصال هي الفضاء .

وسنتناول في مقالتنا الشبكات المحلية ذات قنوات الاتصال الضوئية ، لما يتميز به وسط النقل الضوئي من له عرض مجال كبير ، و السرعة إذ يمكن أن يحمل الإشارة بسرعة (1Gb/s) و(2Gb/s) في المسافات الأقصر ، و سلامة الإشارة ضد التداخل الكهربائي ( الضجيج والتشويش) ، و الأمان إذ لا يمكن التجسس على الإشارة الضوئية .

## 3- المحددات الفيزيائية لبنية الشبكة :

أوجد استخدام الألياف الضوئية في الشبكات لدينا معضلتين أساسيتن الأولى هي محدودية الاستطاعة والصعوبات الالكترونية للموجة الضوئية ذات السرعة العالية والأخرى إمكانية الصيانة عند حدوث عطل.

ومن الواضح أن ربط الشبكات المحلية باستخدام الألياف الزجاجية سيلزم عوامل أخرى تختلف عن ربط الشبكات المحلية بالكوابل النحاسية ومن بين هذه العوامل كمية الليف المطلوب ونموذج وعدد روابط النفاذ المطلوبة التي هي أيضاً من الاعتبارات الرئيسية التي تؤثر على الكلفة المادية ، ومعدل الإرسال (bps) في هذه الشبكات الذي يؤثر بدوره في تصميم وإنشاء الشبكة .

وسيتم في هذه المقالة مقارنة البنى المختلفة وروابط النفاذ التي من الممكن أن تستخدم لربط الألياف الضوئية في الشبكات المحلية (LAN) وستكون المقارنة في حدود كمية الألياف الضوئية المطلوبة ومعدل زمن تأخير الانتشار (propagation) ، حدوث العطل ومقدرة الاحتفاظ ( إمكانية الصيانة ) ، عدد روابط النفاذ المطلوبة (Access coupler) ، معدل إرسال الخانات الأعظمي ( Maximum bit rate)بوساطة الكشف المباشر البسيط المفترض لأجل شبكة الليف الضوئي المستندة على بنية ونموذج ربط النفاذ .

يستخدم الكشف المباشر لأنه النظام الأرخص من حيث الكلفة ويتم تزويد مؤشر (Penchmark) لتحديد متى نستخدم الأنظمة الأكثر تعقيداً ، مثل المكبرات الأولية الضوئية (Optical premamplifiery) أو الكشف المترابط (Coherent-detection) ومدى فعاليته ، وتبين الحسابات أن حدوث العطل في رابط النفاذ يقلل معدل إرسال الخانات الأعظمي لها باستثناء الربط النجمي الذي يعتمد أكثر على عدد العقد .

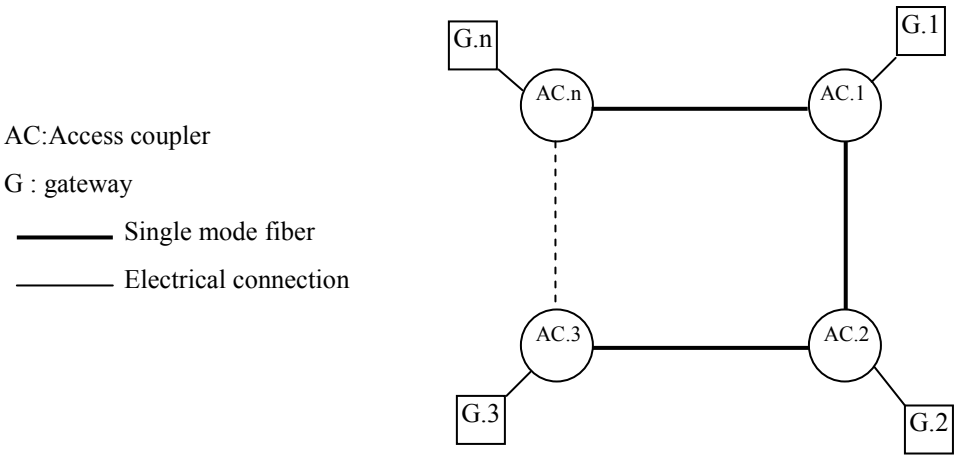
## 4- البنى ( طبولوجيا الشبكة ) :

سيتم في هذه الفقرة مقارنة شاملة في الخصائص الأساسية التي من الممكن استخدامها في ربط شبكة محلية (LAN) باستخدام الألياف الضوئية ، وهذه الخصائص تقارن في حدود كمية الليف المطلوبة ومتوسط تأخير النقل حدوث العطل وإمكانية الصيانة .

الفارق والاختلاف ينشأ بين المستويات المختلفة من البنى ، فموضع الوصلات بين العقد يحدد البنية الفيزيائية للشبكة ، والنقل بين العقد هو بنيـــة المســـار الفيزيـــائي (Physical-Path topology) .

## 4-1- البنية الحلقية (Ring) :

تعتبر الحلقة الأساسية المبينة بالشكل رقم (1) ، هذه البنية الخاصة تستخدم الكمية الأدنى من الليف كما يظهر في الشكل (2) ، الوسيلة المحتملة الثانية تستخدم الحلقة ذات تقابل الدوار المزدوج (dual conterrotating ring) التي تضاعف فيها كمية الليف وتحقيق اتصال أفضل بين العقد (Maximum Throughput) ، ونلاحظ أنه بقطع وصلة واحدة من بنية الشبكة الفيزيائية الحلقية المزدوجة نستطيع أن ننفذ عندئذ خط مزدوج أحادي الاتجاه ببنية مسار طبيعي لإضافة عقدة يجب قطع الألياف ومن ثم يضاف خطين جديدين .



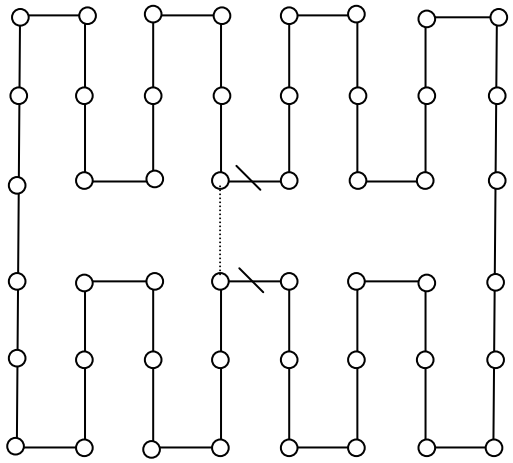

الشكل (1) مخطط صندوقي للبنية الحلقية

إذا أصبح حجم الحلقة كبيراً أيضاً يمكن بسهولة أن تفصل إلى شبكتين كما يظهر في الشـــكل (2) ، و من الممكن أن تترابط الشبكة بوساطة شبكة ذات مستوى أعلى .

من الممكن ملاحظة أن أي عطل كبير في أي ليف أو رابط نفاذ سيجعل الحلقـــة ذات خـــط أحادي الاتجاه بشكل أساسي يكون غير مفيد ، واستخدام حلقة تقابل دوار مزدوجة سوف يعني أن نصف الشبكة فقط ستتعطل .

إذا كان العطل في رابط النفاذ ، فإنه يمكن تجنبه ، والحلقة المزدوجة تستطيع أن تعالج ذاتيـــاً حيث أن العطل يمكن أن يكتشف إلكترونياً وفيما إذا كان العطل في رابط النفاذ والليف ، فإنه يمكن تجنبه بوساطة إنشاء حلقة منفردة التي تبعد المساحة المتأثرة ، وإذا حدث عطلين عندئذ سيعزل القسم بالكامل .

يظهر تخطيط البنية الفيزيائية للشبكة يظهر في الشكل (2) وقد أمكن بسهولة تطبيـــق الخطـــأ المسموح به في طريقة (Survet Approach) حيث يتم وصل كل عقدة بليفين ضوئيين ، ، فتكون الوصلة الواحدة عاطلة ما لم يكشف انقطاع بين ليفين ، وحينئذ ينشط المجرى الجانبي ويعيد الشبكة إلى العمل .



الشكل (2)

تعطى كمية الليف المطلوبة لأجل الحلقة بالعلاقة التالية :

$$FR=Nl \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

وللحلقة المزدوجة بالعلاقة :

$$FDR=2Nl \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث (l) المسافة الثابتة بين العقد المتجاورة .

(N) عدد العقد .

زمن تأخير الانتشار بين العقد المتجاورة للحلقة يكون :

$$\tau = l/c + b/C \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث (c) سرعة الضوء في الليف .

(b) كمون الخانة (تأخير الخانة الواحدة ) عند كل رابط نفاذ .

(C) معدل نقل الخانات في القناة .

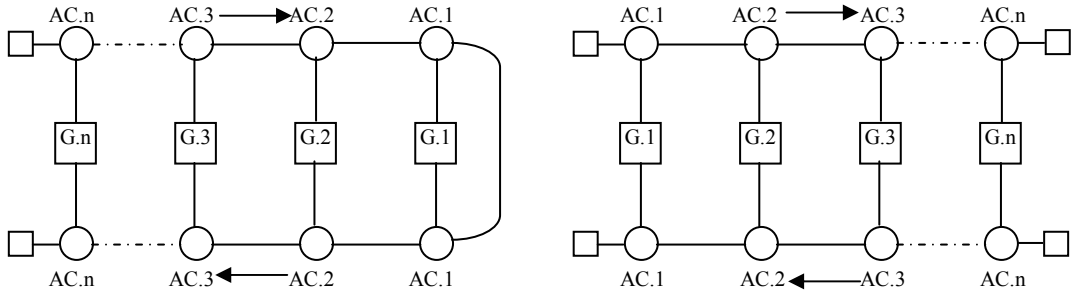
يعطى متوسط زمن تأخير الانتشار بين العقد للحلقة بالعلاقة التالية :

$$\bar{\tau}DR = \frac{N^2}{4(N-1)}\tau \quad \text{زوجي : N} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

$$\bar{\tau}DR = \frac{N^2}{4}\tau \quad \text{فردي : N}$$

## 4-2- الربط الداخلي(الخطي) (Bus ) :

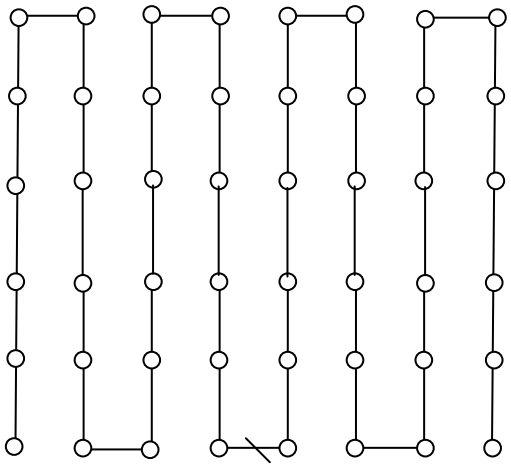
اقترحت عدة طرائق من أجل هذا الربط يظهر في الشكل (3) طريقتين :




الشكل (3) مخطط صندوقي للربط الداخلي وفق نموذجين

يظهر في الشكل (3/a) خط أحادي الاتجاه منطوي (FUB) ، وفي الشكل (3/b) يظهر خط أحادي الاتجاه مزدوج (DUB) .

سنأخذ بعين الاعتبار هذين النموذجين ، فمثلاً تتطلب إضافة عقدة قطع ليفين وإضافة خطين جديدين لكلا النموذجين ، وعندما تصبح الشبكة كبيرة فأنها يمكن أن تقسم بسهولة كما يظهر في الشكل (4) .



الشكل (4)

بسبب الخطأ في أي ليف أو عقدة في (Fub) سيعطل الجزء السفلي أو الشبكة بالكامل وذلك اعتمادا على موقع العطل وما إذا استقبل أو لم يستقبل رزم عند جانب الإرسال من

(bus) لأجل (Dub) ويسبب العطل في أي ليف أو عقدة خللاً الذي يسمح بالإرسال في اتجاه واحد ، والإرسال في الاتجاه الآخر فقط بين العقد على أحد الجانبين من العطل .

إذا كان العطل في عقدة رئيسية تخل بالبروتوكول وترسل معلومات فارغة المعنى ، عندها لايمكن للمجرى المتبقى أن يكون قادراً على الاتصال مع أي منهما ، في كلا الحالتين يمكن تجنب العطل إذا كانت المنطقة المتأثرة برابط النفاذ .

تعطى كمية الليف المطلوبة لهذه الخطوط من الشكل (4) بالعلاقة التالية :

..... (6)

$$F_{FUB} = F_{DUB} = 2(N-1).l$$

ويكون زمن تأخير الانتشار بين العقد المجاورة لكل خط :

$$\tau = l/c + b/C \quad \text{..... (7)}$$

أما متوسط زمن تأخير الانتشار بين العقد معطى بالعلاقة التالية :

$$\bar{\tau}_{FUB} = (N-1).\tau \quad \text{..... (8)}$$

وفي حالة عدم استقبال رزم على جانب الإرسال :

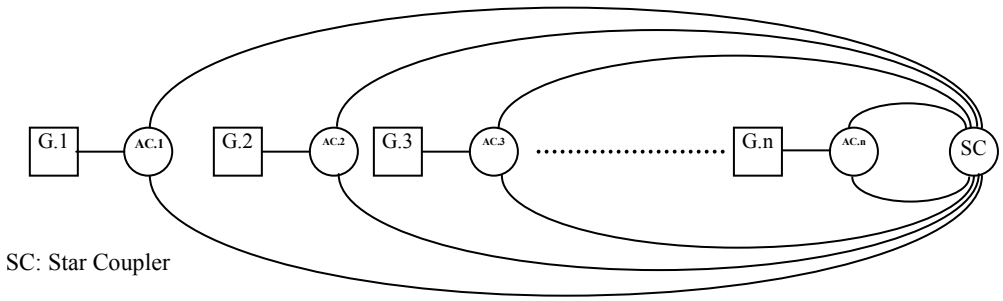
$$\bar{\tau}_{FUB} = \frac{2N-1}{\varepsilon}.\tau \quad \text{..... (9)}$$

أما في حالة استقبال رزم في جانب الإرسال :

$$\bar{\tau}_{DUB} = \frac{N-1}{\varepsilon}.\tau \quad \text{..... (10)}$$

## 4-3- الربط النجمي (Star ) :

تظهر بنية الربط النجمي في الشكل (5) و تستخدم هذه البنية أكبر كمية من الليف ، لكنها تملك أقل متوسط زمن تأخير بين العقد ، فعند إضافة عقدة ، خط واحد من ليفين يجري من الرابط النجمي إلى موقع العقدة الجديدة .




الشكل (5) المخطط الصندوقي للربط النجمي

يؤثر العطل في أي عقدة أو ليف في تلك العقدة فقط ، باستثناء العقدة الرئيسية التي تسبب توقف حركة المرور على الشبكة بالكامل ، والعطل الوحيد الآخر القادر على إخراج الشبكة من الخدمة هو حصول خلل في الرابطة النجمية ، و هي جهاز غير فعال وحدوث الخطأ فيها أقل احتمالاً ، وكلاهما يمكن أن تعدل لنفس الموقع المركزي .

بافتراض أن العقد متوزعة بانتظام على طول المنطقة المربعة ، ومركزة حول الرابط النجمي ، فإن كمية الليف المطلوبة تكون تقريباً :

$$F_S \approx 0.765\, N^{3/2} l \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

باستخدام 100 عقدة ، في هذا المثال ، يتطلب الربط النجمي كمية من الليف أكثر بمقدار 3.8 من الربط الحلقي المزدوج ، التي يمكن أن يكون لها شأن هام إذا كانت المسافة بين العقد كبيرة أو إذا تم ربط الشبكة المحلية (LAN) في منطقة عمل ريفية أو مدينة .

وتعطى علاقة زمن تأخير الانتشار بين العقد المجاورة وبين أي عقدة بالشكل :

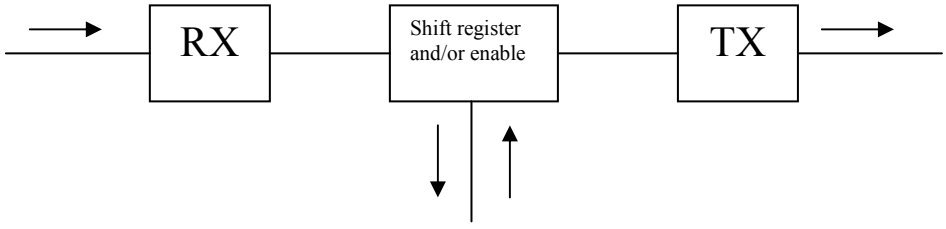
$$\overline{\tau_S} \approx 0.765\sqrt{N}\,\frac{l}{c} + \frac{b}{C} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

## 5- روابط النفاذ (Access Couplers) :

سنتناول عدة أشكال لروابط النفاذ وعند الاختبار نلحظ تأثيره على الاستطاعة فيما إذا تم تكرير الإشارة أو إذا طلب من الإشارة الخارجة من عقدة سابقة تجاوز الاستطاعة ، وتتعرض كمية الاستطاعة للنقص أيضاً ، و تؤثر في الوثوقية ومقدار الخطأ المسموح به في الشبكة .

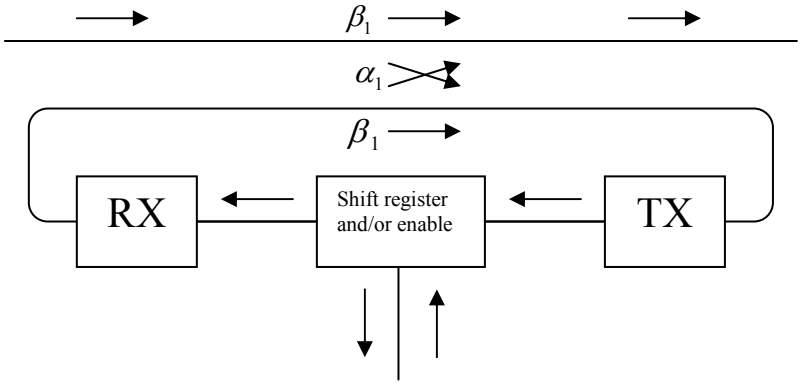
إذا استخدم الرابط النجمي ، فهذا يتطلب فقط عقدة بسيطة ، و إعادة توليد الإشارة (Regeneration) غير فعّال ، حيث أنه لن يؤدي إلى إشارة مستقبلة عادة .

تظهر في الشكل (6) رابطة التكرار حيث تستقبل الإشارة القادمة وتنقل للثاني بعد تأخير بمقدار خانة ، هذا الربط يملك ميزة تكرار الإشارة في كل عقدة ، إنه مفيد خصوصاً في الربط الحلقي ، عندما يتطلب إعادة نقل الرزم بالإضافة إلى إرسالها ، وتكمن المشكلة في استخدام عناصر فعالة ، التي تكون أكثر احتمالاً وعرضة للأعطال بين دخل وخرج رابط النفاذ .




الشكل (6)

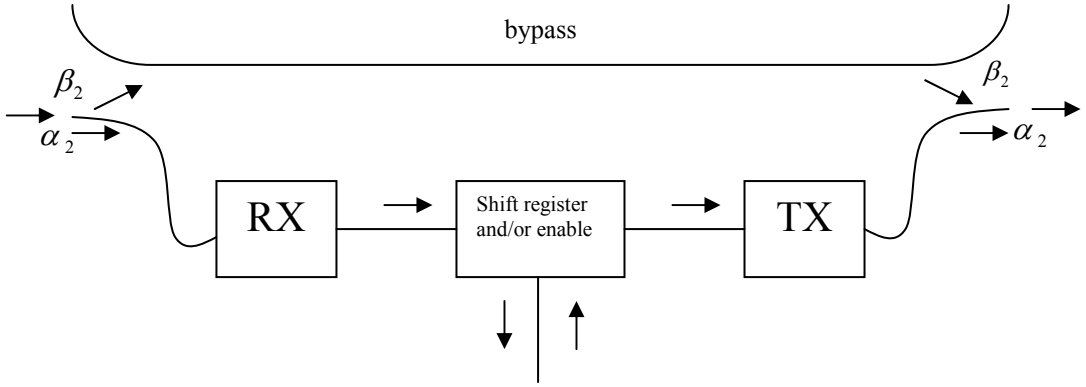
يظهر في الشكل (7) العطل الوحيد المسموح به في رابط النفاذ ، حيث نجد ممر جانبي غير فعال ، الذي يسمح للعقدة التي فيها خلل استقبال الإشارة وإن كان العطل يمنع تلك العقدة من الإرسال ، والمطلوب لذلك أن تكون الإشارة من عقدة سابقة قوية إلى حد كاف لتستقبل في العقدة التالية ، كذلك يجب أن تكون هذه الإشارة ضعيفة أيضاً إلى حد كاف لتتجاوز الاستطاعة المتولدة بوساطة تيار العقدة .




الشكل (7)

المشكلة في الحقيقة هو أن الإرسال سيتداخل مع الإشارة المستقبلة ، ولهذا لايمكن أن ينجز الإرسال والاستقبال في اللحظة نفسها ، ولتأمين ذلك يجب استخدام تصميم صيغة انزياح إقفال مطالي مع عودة إلى الصفر (RZ-ASK) لإعادة إقحام خانة بينية بين إشارة الإرسال والاستقبال في نموذج (TDM) ( التعديل بتقسيم الزمن ) و التي ستجعل التزامن حرجاً جداً ، وبالتالي تصبح مشابهة لمتعدد النفاذ وهذه العملية تنقل كل الممرات الجانبية إلى المركز النجمي ، وهذا بالتالي يسمح لخرج الممر أن يرسل إلى العقدة التالية التي لم تضع قيداً على الإرسال والاستقبال في اللحظة نفسها ، وتقلل من الليف في الممرات الجانبية أيضاً الذي يمكن أن يسمح أكثر بحصول أخطاء متتالية .

يظهر الشكل (8) طريقة أخرى تسمح لإشارة الدخل أن تمر خلال العقدة إلى الخرج ، و يحتاج زمن تأخير الممر لأن يكون كبيراً إلى حد كاف من أجل أي تأخير بمقدار خانة لمنع تكرار استقبال بداية الرسالة أي في حال كونه استقبل مرتين ، وكذلك استخدام رابطين يعني ضياعاً كبيراً في الاستطاعة أيضاً ، إنما الفائدة هنا أنه يمكن أن تنجز الإرسال والاستقبال في نفس اللحظة ولهذا لا يوجد حاجة لمزامنة الخرج مع الدخل ويمكن استخدام أي نظام تعديل .




الشكل (8)

## 6- مقارنات ونتائج :

إن كمية الليف المطلوبة لربط (LAN) هو أحد المعايير الهامة في دراسة تصميم الشبكة ونلاحظ أنها تعتمد على عدد نظم (LAN) التي تترابط والفراغ بينها ، فإذا افترضنا مسافة ( 2.5Km) بين شبكتين LAN متجاورتين وكان عدد نظم LAN التي ترتبط مع بعضها (100) ، فنجد أن كمية الليف المطلوبة للبنية الحلقية (250Km) ، في حين تكون (1913Km) للبنية النجمية ، أما الخطية فتتطلب (495Km) من أجل عدد النظم نفسها وبذلك نلاحظ الاختلاف في كمية الليف المطلوبة للبنى المختلفة .

المعيار الآخر المستخدم في العمل هو متوسط زمن تأخير الانتشار للبنى المختلفة ، نجد أن البنية النجمية في هذه النقطة أفضل من البنية الحلقية المزدوجة (DUB) فمثلاً من أجل (100) عقدة ومسافة ( l=2.5Km) بين شبكات (LAN) ينتج متوسط زمن تأخير الانتشار (421µs) و (316µs) للحلقي المزدوج و(96µs) للبنية النجمية ، ونلاحظ أن الاختلاف بين البنية النجمية والحلقية المزدوجة تقلل من N ليصبح أقل من 15 .

وفيما يتعلق بسماحية حدوث عطل فيمكن القول أن الحلقي المزدوج يملك أعظم سماحية لحدوث عطل بين البنى المختلفة ، والنجمي يكون ثاني بنية من حيث الأفضلية في حدود سماحية حدوث عطل ، أما الخطية فهي الأفقر .

وأما إمكانية الصيانة في الشبكة الحلقية المزدوجة تتميز بالمعالجة الذاتية ونستطيع صنع إصلاح أوتوماتيكي بالمزاوجة خلفاً على نفسها لتشكل حلقة ثني منفردة ، ويتم ذلك عندما يكون موقع العطل معروف على الشبكة ، أما النجمي فيملك أسوء عطل وهو حدوث العطل في الرابط المركزي ، فالعطل في أي موقع آخر يؤثر على تلك العقدة فقط ، والأعطال الأخرى في الشبكات فيمكن أن تحدد في أي مكان في الشبكة في حدود روابط النفاذ التي

تحتاج إليها ، البنية النجمية أكبر من الحلقية المزدوجة والخطية اعتماداً على عدد الشبكات (LAN) المترابطة .

ويمكن تحديد ميزة هامة أخرى وهي كلفة الربط التي تتحدد من خلال معدل الإرسال الاعظمي الذي يمكن أن يدعم بروابط النفاذ ، ونجد معدل الإرسال الاعظمي الذي يمكن أن يدعم في ربط شبكات (LAN) ويكون أقل من (1Gb/s) لأجل الربط النجمي إذا كان عدد العقد أكبر من 12 ، فمثلاً إذا كان عدد العقد التي ستربط (20) ، فإن معدل الإرسال الاعظمي المطلوب محدد بحوالي (100Mb/s) ، وبشكل مغاير الروابط المزدوجة والمنفردة المتكررة تستطيع أن تدعم (1Gb/s) للشبكات دون الأخذ بعين الاعتبار عدد العقد ، بينما نلاحظ أنه من أجل فاصل (1Km) نجمي يستطيع تزويد (1Gb/s) لأجل 23 عقدة ومافوق.

عند استخدام الرابط النجمي ينخفض معدل الإرسال الاعظمي من (1Gb/s) إلى ( 1Mb/s) كما أن المسافة بين العقد تزداد من الرابط من (100m) إلى (3Km) وبشكل مختلف نجد روابط النفاذ المتكررة تكون أقل حساسية بكثير إلى المسافة بين العقد ، فمن أجل مسافة بين شبكات (LAN)(l=2.5Km) الرابط المزدوج يستطيع أن يزود معدل الإرسال الاعظمي (600Mb/s) بينما الرابط المنفرد وعقد التكرار تستطيع تزويد معدل الإرسال الأعظمي (1.14Gb/s) و(1.2Tb/s) ومحدودية العقد المكررة هي عرض مجال مستقبلها .

## 7- الخلاصة :

البنى المختلفة وروابط النفاذ أو الوصول المذكورة ذات فوائد ومضار وسنقوم بسرد ما توصلنا إليه :

*الربط النجمي : له تأخير الانتشار منخفض لكل حالة وخطأ قوي الاحتمال وله معدل (bit) أعظمي عالي لعدد قليل من العقد ولكن يتطلب ليف أكثر ، ومعدل (bit) الاعظمي ينقص أكثر عندما تزداد العقد .

*الربط الحلقي : هو الأقل احتمالية لحدوث الخطأ وله تأخير متولد كبير ولكنه يتطلب أقل من الليف لجعله ذي احتمالات خطأ كبيرة أكثر باستخدام الحلقات الدوارة الثنائية التي تضاعف كمية الليف وتجعل زمن التأخير المتولد أكثر صحة كما أنه يرمم نفسه بنفسه .

* (FUB) : له تأخير أكبر ويتطلب كمية الليف الكبيرة نفسها كما للحلقي الثنائي وله خطأ الاحتمال العالي أقل ، والفائدة الرئيسية له ، هو التخفيف من طرق العبور التي يمكن تنفيذها أو وضعها موضع التنفيذ .

* (DUB) : يتطلب كمية الليف نفسها عند (FUB) واحتمال خطأ كبير أكثر وفائدته هي تخفيف العمل الفيزيائي بعدم طلب أو كشف أو إرسال الكتروني للأخطاء .

النتائج الكمية والنوعية التي حصلنا عليها والأفكار المطروحة سابقاً تعطي توجيه ودليل بسيط لاتصالات الشبكة المحلية (LAN) الضوئية .

وتشير النتائج إلى أنه لا يوجد جانب واحد للبنية بنفسها ، أقل أو أكثر أهمية من جانب آخر ، بل يعتمد على تطبيق محدد لمعيار تصميم الشبكات المستخدم ، فميزة واحدة يمكن أن تعطي مدلول أو معنى أكثر من سواها وعليها يحدد اختيار البنية وروابط النفاذ ، وعلى ذلك فإن القرارات المأخوذة في الاعتبار تفرض تحديد بنية خاصة يمكن أن تقود إلى تصميم شبكة صحيحة ودقيقة .

**********

**********

*******

***

*