

Improve the Bandwidth Efficiency of Ethernet Data Transmission over SONET/SDH Networks Using Concatenation Techniques and Link Capacity-adjustment Scheme

Dr. Jamal Khalifeh^{*}
Yehia Hassn^{**}

(Received 6 / 1 / 2019. Accepted 8 / 7 / 2019)

□ ABSTRACT □

When Synchronous Optical Network (SONET) and Synchronous Digital Hierarchy (SDH) were developed, they were improved to transmit audio data. At the time, no one expected the tremendous growth in data traffic required by networks, especially the Internet. This research paper presents different ways of concatenating SONET and SDH signals, and different techniques for mapping packet data onto SONET/SDH connections. In order to handle data traffic efficiently. Virtual concatenation and link capacity-adjustment scheme (LCAS) significantly improves the efficiency of data transport, by grouping the synchronous payload envelopes (SPEs) and virtual containers (VCs) of SDH/SONET frames in a nonconsecutive manner to create virtual concatenation groups. While virtual concatenation provides the "right size" of SDH/SONET channels, LCAS increases the flexibility of virtual concatenation by allowing dynamic reconfiguration of virtual concatenation groups. The results demonstrate that virtual concatenation can improve bandwidth efficiency for different Ethernet data transfer rates, at 10Mbps speed level, 100Mbps speed level, or 1000Mbps speed level to over 90% and the ability of (LCAS) to "reuse" the bandwidth to provide more resources and/or improved services that allow larger package bandwidth on demand.

Key Words: Synchronous Digital Hierarchy (SDH), Synchronous Optical Network (SONET), Virtual Concatenation (VC), Link Capacity-Adjustment Scheme (LCAS), Synchronous Payload Envelope (SPE), Virtual containers (VCs), Virtually Concatenated Group (VCG).

^{*}Professor, Department of communications and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

^{**}PhD student, Department of communications and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

تحسين فعالية عرض النطاق الترددي لنقل بيانات الإيثرنت عبر شبكات SONET/SDH باستخدام طرائق التجميع المختلفة ومخطط ضبط سعة الوصلة

الدكتور جمال خليفة*

يحيى حسن**

(تاريخ الإيداع 6 / 1 / 2019. قُبل للنشر في 8 / 7 / 2019)

□ ملخص □

عندما تم تطوير الشبكة الضوئية المتزامنة (SONET) Synchronous optical network والهرمية الرقمية المتزامنة (SDH) Synchronous Digital Hierarchy، تم تحسينهما لنقل البيانات الصوتية. في ذلك الوقت، لم يتوقع أحد النمو الهائل في حركية مرور البيانات التي تتطلبها الشبكات، وخاصة شبكة الإنترنت. تعرض هذه الورقة البحثية، الطرائق المختلفة لتجميع (concatenating) إشارات SONET/SDH، وتقنيات التخطيط (mapping) المختلفة لبيانات الحزمة على وصلات SONET/SDH، من أجل التعامل مع حركية البيانات بشكل فعال. يُحسن كل من التجميع الافتراضي Virtual concatenation ومخطط ضبط سعة الوصلة link capacity-adjustment من التجميع الافتراضي (LCAS) scheme كفاءة نقل البيانات بشكل ملحوظ، وذلك من خلال تجميع مغلفات الحمولة المتزامنة (SPEs) synchronous payload envelopes والحاويات الافتراضية لأطر SONET\SDH بطريقة غير متسلسلة من أجل تشكيل مجموعات التجميع الافتراضية (VCG) virtual concatenation groups. في حين يقوم التجميع الافتراضي بتوفير أفضلية SONET\SDH "بالحجم الصحيح"، فإن LCAS يزيد من مرونة التجميع الافتراضي من خلال السماح بإعادة التكوين الديناميكي لمجموعات التجميع الافتراضي. توضح النتائج، أن التجميع الافتراضي يمكن أن يحسن كفاءة عرض الحزمة لمعدلات نقل بيانات الإيثرنت المختلفة، بمستوى سرعة 10Mbps، مستوى سرعة 100Mbps، مستوى سرعة 1000Mbps إلى أكثر من 90%. وقدرة LCAS على "إعادة استخدام" عرض حزمة لتوليد المزيد من الموارد، و/أو تقديم خدمات محسنة تتيح إرسال عرض حزمة أعلى في أوقات الحاجة.

الكلمات المفتاحية: الهرمية الرقمية المتزامنة SDH، الشبكة الضوئية المتزامنة SONET، التجميع الافتراضي VC، مخطط ضبط سعة الوصلة LCAS، الحاويات الافتراضية VCs، مغلف الحمولة المتزامن SPE، مجموعة التجميع الافتراضي VCG.

* أستاذ - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

تنتقل أنظمة SONET\SDH إشارات رقمية متعددة ذات ساعات مختلفة بأسلوب مرّن. ولكن عندما تمّ تطوير SONET\SDH، تمّ تطويرها لنقل إشارات الصوت. اليوم، تجاوز حجم حركية المعطيات حركة الصوت في معظم الشبكات ومازالت تتم بخطوات ثابتة. ولكي يتم التعامل مع حركية المعطيات بفعالية، تم إضافة مجموعة من المواصفات الجديدة إلى SONET\SDH. تضيف طرائق التجميع الجديدة مجموعة من المواصفات إلى إشارات SONET\SDH القياسية [1]، التي تحقق من خلالها ميزات متقدمة ومرونة كبيرة وفعالية في التعامل مع سرعات النقل المختلفة. سنعالج في هذه المقالة طرائق التجميع المختلفة لإشارات SONET\SDH:

- التجميع المتجاور القياسي standard contiguous concatenation.
 - التجميع المتجاور الاعتيابي arbitrary contiguous concatenation.
 - التجميع الافتراضي virtual concatenation.
 - بالإضافة إلى مخطط ضبط سعة الوصلة (LCAS) الذي يستخدم من أجل زيادة أو إنقاص سعة مجموعة التجميع VCG افتراضيا مما يساعد في التحكم بحجم القناة.
- أما بالنسبة لنموذج الشبكات الجديد الناشئ الذي يدعى الشبكات المعرفة بالبرمجيات [2],[3] Software (SDN) Defined Networking، يختلف الوضع عن الشبكات التقليدية إلى حد كبير. حيث يُتوقع أن تُحدث SDN ثورة في عالم الشبكات. في نموذج SDN الجديد يؤمن مستوى التحكم المركزي control plane إمكانيات التحكم بعرض المجال الترددي المتوفر، والذي لا يمكن التنبؤ به في بيئات الشبكات التقليدية [4]. الشبكات المعرفة بالبرمجيات هي بنية شبكية تعتمد على بروتوكول تشوير (عادة مايكون OpenFlow) الهدف الأساسي منه هو التحكم التلقائي في الشبكة من أجل الاستخدام الفعال لإمكانيات الشبكة ومواردها.

أهمية البحث وأهدافه:**أهمية البحث**

معظم الشبكات الضوئية المستخدمة تعتمد على أنظمة SONET/SDH ذات الساعات القياسية، لذلك عند الحاجة إلى نقل ساعات غير قياسية سيؤدي إلى ضياع كبير في الموارد (عرض الحزمة) المتوفرة. بالتالي كان لا بد من استنباط طرق جديدة للتعامل بفعالية مع حركية المعطيات المتغيرة الحجم، وخصوصاً إشارات الإيثرنت التي تكون بأحجام مختلفة حسب الحاجة.

أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى تشكيل إشارات SONET/SDH ذات أحجام مختلفة، من مسارات مختلفة باستخدام طرائق التجميع، من خلال لصق الحاويات الافتراضية VCs، أو مغلفات الحمولة SPes معاً من إشارات أساسية منقولة بشكل منفصل بهدف زيادة فعالية عرض الحزمة المستخدمة. بحيث تتم إعادة التهيئة دون التأثير على الخدمة (service)، لأنه غالباً ما تضع الخدمة بينما تكون عملية إعادة التهيئة قائمة. كما يهدف هذا البحث لتسليط الضوء على الضبط الديناميكي لحجم قناة التجميع الافتراضية من خلال مخطط ضبط سعة الوصلة LCAS.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث على المنهج الوصفي والتحليلي:

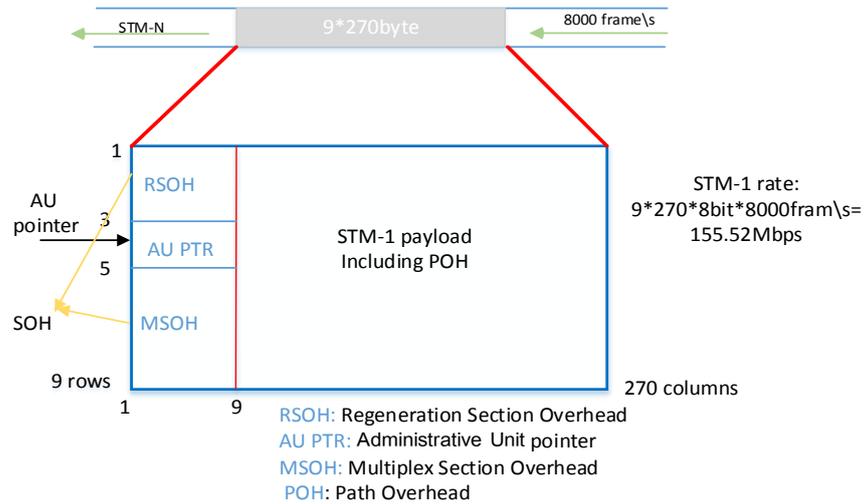
اعتمد المنهج الوصفي لدراسة مبدأ نقل الإيثرنت عبر SONET\SDH بالإعتماد على الدراسات المرجعية لمنظمة الإتحاد الدولي للاتصالات ITU-T والمعهد الوطني الأمريكي للمعايير ANSI.

اعتمد المنهج التحليلي

- لدراسة إشارات SONET\SDH القياسية.
- لدراسة طرائق التجميع المختلفة التي تستخدم لتتضيد ونقل إشارات Ethernet ضمن إشارات SONET\SDH.
- لدراسة مخطط ضبط سعة الوصلة LCAS للتحكم بحجم القناة.
- لاستنتاج مقدار التوفير في عرض الحزمة عند استخدام التجميع الافتراضي.

طرائق التجميع الأساسية

قبل أن نبدأ بدراسة طرائق التجميع الأساسية سنعرض البنية الأساسية لإطار SDH(STM-1) وجداول توضح التكافؤ بين إشارات SDH وإشارات SONET القياسية ذات المستوى الأدنى والمستوى الأعلى. يتألف إطار STM-1 من 270 (STM0) (3 x 90) عمود و 9 صفوف، كما هو موضح في الشكل (1)، وبالتالي يكون حجم الإطار هو $270 \times 9 = 2430$ Bytes. وبما أن أعلى تردد للإشارة التشابيهية هو 3400Hz فقد اعتمد من الإتحاد الدولي للاتصالات أن يكون $F_{max} = 4KHZ$ ، وبحسب نظرية أخذ العينات يكون ضعف التردد الأعظمي هو 8000 عينة في الثانية. وكل عينة يتم تمثيلها بـ 8bit، بالتالي يكون الحجم الإجمالي لإطار STM-1 هو: $STM-1 = 2430 \text{ bytes} \times 8 \text{ bits/byte} \times 8000 = 155.52 \text{ Mbit}$



الشكل (1) بنية إطار SDH(STM-1) القياسي

الجدول (1) إشارات SONET القياسية وإشارات SDH المكافئة لها

إشارة SONET	إشارة SDH المكافئة
VT1.5 (Virtual Tributary)	C-11
VT-1.5	TU-11
VT1.5	VC-11 (Virtual Container)
VT2	C-12
VT-2	TU-12(Tributary Unit)
VT2	VC-12
VT6	C-2
VT-6	TU-2
VT6	VC-2
STS-1	C-3
VT-3	لا يوجد مكافئ في SDH
(STS-1)STS- SPE	VC-3
STS-3c	C-4
(STS-3c)STS 3C-SPE	VC-4
STS-Nc SPE N >3	VC-4-Xc(X=N/3)
STS-3N	STM-N

الجدول (2) معدلات النقل الخاصة بإشارات SDH القياسية ذات المستوى الأعلى وإشارات SONET المكافئة

إشارة SDH	إشارة SONET المكافئة	معدل النقل (Mbps)	معدل الحمولة (Mbps)	معدل الترويسة (Mbps)
STM-0	STS-1 OC-1	51.840	50.112	1.728
STM-1	STS-3 OC-3	155.520	150.336	5.184
STM-4	STS-12 OC-12	622.080	601.344	20.736
STM-16	STS-48 OC-48	2488.320	2405.376	82.944
STM-64	STS-192 OC-192	9953.280	9621.504	331.776
STM-256	STS-768 OC-768	39813.120	38486.016	1327.104

1. التجميع المتجاور القياسي Standard Contiguous Concatenation

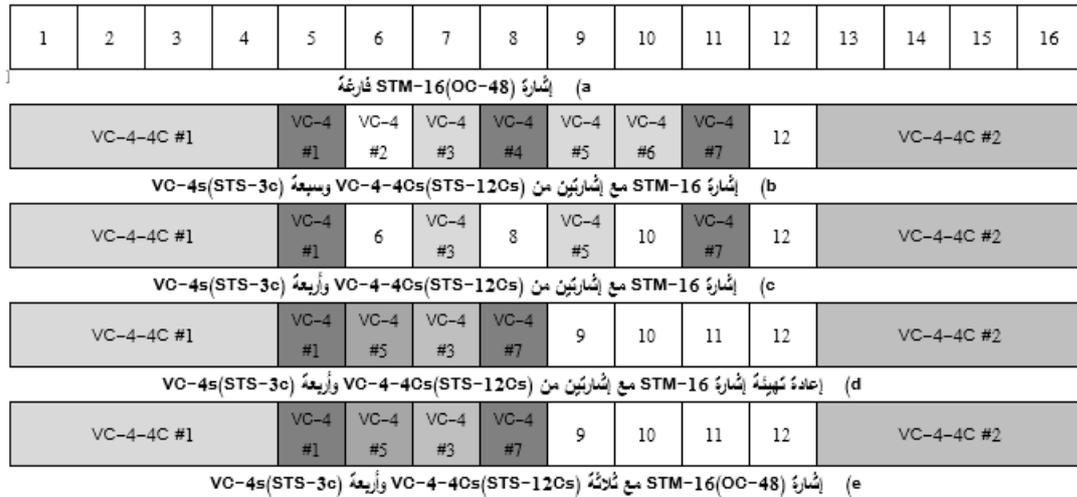
تدعم شبكات SONET\SDH التجميع المتجاور حيث يتم تعريف بعضاً من الإشارات المدمجة القياسية، وكل إشارة مدمجة يتم نقلها كمكونٍ وحيدٍ عبر الشبكة. يتم الحصول على الإشارات المدمجة من خلال لصق حمولات الإشارات

الأساسية، التي تأتي بحجوم ثابتة، مع بعض. تُسمى هذه الإشارات في SONET بمغلفات الحمولة المتزامنة (SPE) synchronous payload envelopes الخاصة بإشارة النقل المتزامنة Synchronous Transport Signal level n (STS-Nc) حيث أن $N=3X$ و X مقيدةً ضمن القيم التالية: 1,4,16, 64,256، أما في SDH فتسمى الحاوية الافتراضية (VC-4) Virtual container (مكافئة لـ STS-3c SPE) و VC-4-XC. تضع إجراءات التتصيد الخاصة بـ SONET\SDH قيوداً إضافية على موقع عنصر (VC-4s) SPEs STS-1 التي تشكل STS-Nc SPE (VC-4-Xc). وفيما يلي قواعد توضع الإشارات المدمجة القياسية:

1- تجميع ثلاثة STS-1s ضمن STS-3c: إن البايتات من STS-1s المجمعة ستكون متجاورةً عند مستوى STS-3c ولكن لن تكون متجاورةً عندما يتم ترحيلها إلى إشارات المستوى الأعلى. عندما يتم تتصيد إشارات STS-3c إلى سرعة أعلى، كل STS-3c ستكون محتواه كلياً ضمن مستوى STS-3 (بمعنى آخر تحدث فقط في الروافد التي حدودها (1-3, 4-6, 7-9)). هذه القاعدة غير مطبقة في SDH.

2- دمج STS-1s ضمن STS-Nc: حيث أن $N=3X$ و $X=1, 4, 16, 64, 256$. إن مثل هذا التجميع سوف يتعامل مع إشارات STS-Nc كمكونٍ وحيدٍ. وستكون البايتات من STS-1s المدمجة متجاورةً عند مستوى STS-N، ولكن لن تكون متجاورةً عندما تنتضد إلى إشارات المستوى الأعلى. هذا مطبق أيضاً في SDH، حيث أن حد SDH من أجل STS-Nc يكون Administrative Unit (AU) 4-XC و تكون $N/3=X$.

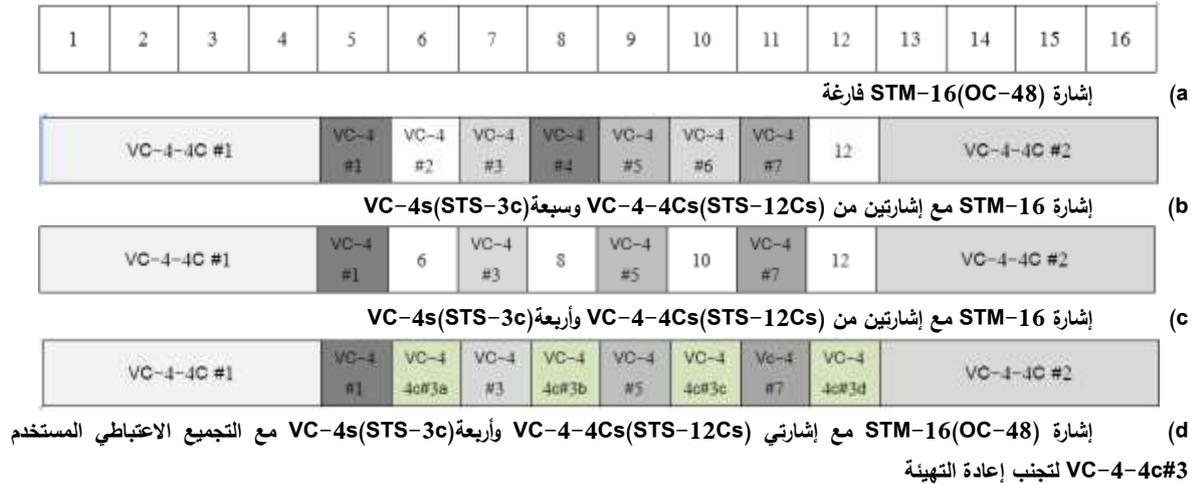
3- عندما تُنتضد إشارات STS-Nc إلى سرعة أعلى، ستكون هذه الإشارات محتواه كلها ضمن حدود STS-M حيث أن M يمكن أن تكون إحدى القيم التالية: 3,12,48,172,768، وقيمها يجب أن تكون الأقرب، ولكن أكبر أو تساوي N (على سبيل المثال إذا كانت $N=12$ عندها يجب أن تُعطى STS-12c فقط على الحدود (-1,12,13-etc. 24,25-36) بالإضافة إلى أنها محتواه ضمن حدود STS-M، جميع إشارات STS-Nc يجب أن تبدأ بالحدود STS-3. إن الغاية الأساسية من هذه القواعد هو تسهيل عملية التطوير لمصممي التجهيزات، ولكنها قد تؤثر فعلياً على كفاءة عرض الحزمة لوصلات SONET\SDH. في الشكل (2(a)) تمثل إشارة Synchronous Transport Module- STM-16 (OC- 48) (Optical Carrier-48) مجموعة من ستة عشر حيزاً زمنياً (Time Slot) كل منها يمكن أن يحتوي (STS-3c SPE) VC-4. لنختبر وضع إشارات VC-4 و VC-4-4c (STS-12c SPE, STS-3c SPE) ضمن هذه البنية وذلك وفقاً للقواعد المذكورة أعلاه. عملياً يجب أن تبدأ VC-4-4c (STS-12c SPE) بالحدود VC-4-4c (STS-12c SPE) و VC-4-4c (STS-12c SPE) وسبعة إشارات VC-4. في الشكل (2(b)) كيف تم تعبئة STM-16 بإشاراتي VC-4-4c (STS-12c) و VC-4-4c (STS-12c) وسبعة إشارات VC-4. في الشكل (2(c)) تم إزالة ثلاثة حاويات افتراضية VC-4s، هذا يعني أنها لم تعد قيد الاستخدام. وفقاً لقيود التبديل، على أية حال، فإن VC-4-4c لا يمكن ملائمتها في هذا الفراغ. في الشكل (2(d))، تم إعادة تهيئة STM-16، هذا يعني $VC-4 \neq 5, VC-4 \neq 7$ تم نقلها إلى حيز زمني جديد. يبين الشكل (1(e)) كيف يتم الحصول على VC-4c الثلاثة [5].



الشكل (2) قيود التجميع المتجاور وكيفية إعادة تهيئة الحيز الزمني

2. التجميع المتجاور الاعتبائي Arbitrary contiguous concatenation

في المثال السابق، تم إنجاز عملية إعادة التهيئة من أجل حجز غرفة للإشارة التي لا يمكن أن يتم الحصول عليها وفق قواعد التجميع المتجاور القياسي. إن المشكلة مع إعادة التهيئة هي التأثير على الخدمة (service)، لأنه غالباً ما تضيق الخدمة بينما تكون عملية إعادة التهيئة قائمة. وبما أن التأثيرات على الخدمة غير مرغوبة أبداً، بالتالي لا يتم إعادة إنجاز التهيئة بشكل متكرر، ولا تُستخدم عرض الحزمة بكفاءة.



الشكل (3) التجميع الاعتبائي (المرن)

من أجل الالتفاف على هذه الضوابط، تم تقديم إمكانية تُعرف بالتجميع الاعتبائي وتدعى أحياناً التجميع "المرن". لم يعد يوجد أية قيود على حجم VC-4-Xc(STS-Nc) (أو على بداية الحيز الزمني المستخدم بواسطة الإشارة المدمجة، كذلك الأمر لا يوجد أية ضوابط على الحيزات الزمنية المتجاورة (STS-1) VC-4-Xc المستخدمة لحمل الإشارات. هذا

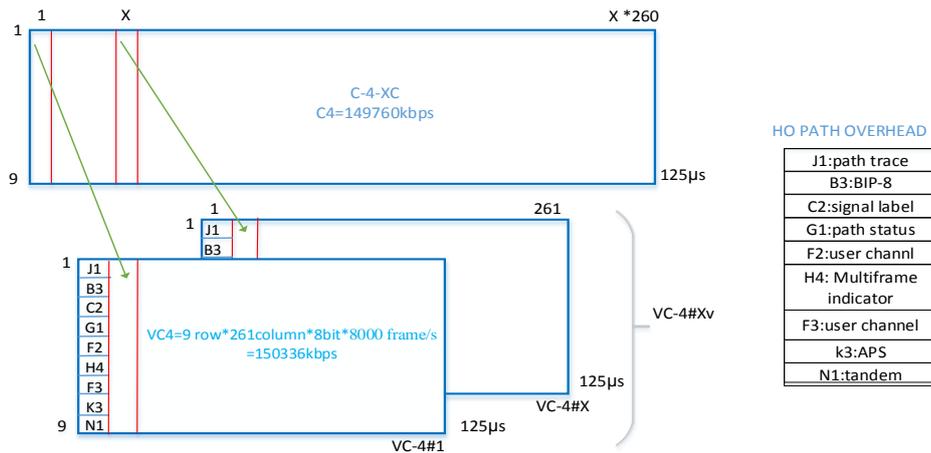
يعني، يمكن أن تُستخدم هذه الإشارات، أي اتحاد من الحيزات الزمنية المتوفرة، يوضح الشكل (3) كيف أن تسلسلاً من الإشارات عبر STM-16 يمكن أن يكون ملائماً بدون أية حاجة لإعادة تهيئة عند توفر إمكانية التجميع الاعباطي [6].

3. التجميع الافتراضي Virtual concatenation

يُعالج التجميع الاعباطي عدم الكفاءة في استخدام عرض الحزمة من أجل التجميع المتجاور القياسي وذلك من خلال إزالة الضوابط على عدد المكونات وتوضعهم ضمن الإشارة المدمجة الأكبر. لكن التجميع المتجاور الاعباطي والقياسي هما خدمات مقدمة من قبل الشبكة، هذا يعني أن تجهيزات الشبكة يجب أن تدعم هذه الإمكانيات [7]. قامت لجنة من (ITU-T، ANSIT1) بتقديم البديل عن النوعين السابقين والذي يُسمى بالتجميع الافتراضي، باستخدام التجميع الافتراضي يمكن أن تُلصق SONET و SDH PTES الحاويات الافتراضية VCs أو SPEs معاً من إشارات أساسية منقولة بشكل منفصل. هذامع مراعاة متطلبات الشبكة بأن تُحمل الإشارات كوحدة مدمجة وحيدة. وفيما يلي سنبين نوعين من التجميع الافتراضي.

1-3 التجميع الافتراضي عالي المستوى High Order Virtual Concatenation (HOVC)

تم تعريف HOVC وفقاً ل SONET/SDH من خلال تجهيزة طرفية المسار Path Terminating Equipment (PTE) التي تحتوي إما عدّة VC-3/VC-4 (SDH) أو STS-1/STS-3c SPEs (SONET). كما هو معروف، بأن إشارات VC-3 و STS-1 SPE متطابقة تقريباً ما عدا كون VC-3 لا تحتوي على بايتات الحشوة الثابتة الموجودة في الأعمدة 30، 59 من STS-1 SPE. في حين أن STS-3c SPE SONET مكافئة ل SDH VC-4. تُنقل هذه الإشارات المكونة من VC-3s (STS-1 SPEs) أو VC-4s (STS-3c SPEs) بشكل منفصل خلال الشبكة إلى طرفية النظام ويجب أن يُعاد تجميعها. وبما أن هذه الإشارات يمكن أن تسلك مسارات مختلفة عبر الشبكة، يمكن أن تُواجه تأخيرات انتشار مختلفة. بالإضافة إلى هذا التأخير التفاضلي الثابت بين الإشارات المكونة، يمكن أن توجد مركبة تأخير متغيرة التي تظهر نتيجة للأشكال المختلفة من التجهيزات التي تُعالج الإشارات والخصائص الديناميكية لليف الضوئي نفسه. يبين الشكل (4) عملية تخطيط إشارة الحاوية المدمجة، والتي هي عبارة عن المعطيات الخام التي سيتم نقلها.



الشكل (4) تخطيط حمولة السرعة الأعلى في إشارة التجميع الافتراضي

عملياً، يتم حزم الحمولة في طرف الإرسال في XVC-4s تماماً كما لو أنها ستجمع بشكل متجاور. والسؤال الآن هو كيف سنعرف الإشارات المكونة وتسويتهم بشكل ملائم، مع الأخذ بعين الاعتبار التأخيرات للمكونات التي يمكن أن تكون مختلفة؟

يتم تشكيل متعدد أطر super frame عن طريق التحميل الزائد لبايت متعدد الأطر H4 في ترويسة المسار. يتم زيادة البتات 5-8 من بايت H4 مع كل إطار بطول $125\mu s$ لتشكيل متعدد أطر مكون من ستة عشر إطاراً. في هذه الحالة، تُعرف البتات 5-8 من H4 بمؤشر متعدد الأطر الأول [9]، [8] MFI1. سيشكل متعدد الأطر هذا المرحلة الأولى من مرحلتي متعدد الأطر. عملياً، تُستخدم البتات 1-4 من البايته H4 في الطريقة التي تعتمد على الموقع في المرحلة الأولى لمتعدد الأطر و هذا مبيّن في الجدول (3).

الجدول (3) استخدامات البتات 1-4 من البايته H4 من أجل مؤشر متعدد الأطر المرحلة الأولى.

مؤشر متعدد الأطر 1 (MFI1)	معنى البتات 1-4 من البايته H4
0	مؤشر متعدد الأطر (bits 1 4) MFI2 MSB
1	مؤشر متعدد الأطر (bits 5 8) MFI2 LSB
2 13	إحتياط (0000)
14	مؤشر السلسلة (bits 1 4) SQ MSB
15	مؤشر السلسلة (bits 1 4) SQ LSB

يُعرف مؤشر متعدد الأطر المرحلة الثانية MFI2 ضمن المرحلة الأولى لمتعدد الأطر ذو 16-frame باستخدام البتات 1-4 من H4 في الإطارات (0،1) معطياً إجمالياً ثمان بتات في كل إطار. وهنا من المفيد فحص مايلي:

1- كم يكون طول البنية الكاملة لمتعدد الأطر HOVC من الإطارات $125\mu s$ ؟
إن الإطار الأساسي MFI1 بطول 16 إطاراً والمرحلة الثانية هي بطول $256 = 28$ إطاراً في حين أن هذه هي عملية بمرحلتين فإن ضرب الأطوال تُعطي متعدد أطر بطول $16 \times 256 = 4096$.

2- ما هو التأخير التقاضي الأطول، أي، التأخير بين المكونات الذي يمكن أن يعوض؟
يجب أن يكون التأخير الاختلافي ضمن فترة بنية متعددة الأطر التالية الإجمالية أي $125 \times 4096 = 512ms$ أي أكثر من نصف ثانية بقليل. كما يجب أن يكون المستقبل قادراً على تمييز المركبات المختلفة من الإشارة المدمجة بشكل افتراضي ويتم تحقيق هذا كمايلي: في الإطارات 14 و 15 من المرحلة الأولى لمتعدد الأطر، تُستخدم البتات 1-4 من البايته H4 لتعطي مؤشر التسلسل (SQ). وهي تُستخدم لتشير إلى المركبات (وليس إلى الموقع في متعدد الأطر) وفقاً لمؤشر التسلسل ذو الثمان بتات، يمكن أن يتم ملائمة 256 مركبة في HOVC. نلاحظ أن عمل المستقبل هو أن يعوض عن التأخير الاختلافي وأن يقوم بوضع الأجزاء ثانية مع بعضها في الترتيب الصحيح [10].

2-3 التجميع الافتراضي ذو المستوى الأدنى (LOVC) Low Order Virtual Concatenation

يعتمد التجميع الافتراضي للإشارات ذات المستوى الأدنى (VT2 (VC-12)، VT1.5 (VC-11) على نفس المبادئ التي تم شرحها سابقاً. هذا يعني، يجب أن ترمز المكونات المتنوعة التي تشكل الإشارة المدمجة افتراضياً برقم تسلسلي، ويتطلب هنا أيضاً بنية متعدد أطر كبيرة من أجل تعويض التأخير التفاضلي. على أية حال، بالنسبة للإشارات ذات المستوى الأدنى، يوجد بنات وباينات ترويسة احتياط أقل ولذلك فإن التطبيق يمكن أن يبدو أقل تعقيداً بقليل [11].

مخطط ضبط سعة الوصلة LCAS:

يعتبر مخطط ضبط سعة الوصلة LCAS إضافة جديدة نسبياً إلى إشارات SONET/SDH القياسية. يستخدم من أجل الضبط الديناميكي لحجم قناة التجميع الافتراضية [12].

تم تصميم LCAS من أجل زيادة أو إنقاص سعة مجموعة التجميع الافتراضية Virtual Concatenation (VCG) Group. وهذه الخاصية مفيدة عملياً في البيئات التي يكون فيها الضبط الديناميكي للسعة مهم جداً. تستطيع آلية LCAS أيضاً تخفيض السعة في حال كان أحد عناصر VCG يختبر عطل ما في الشبكة، وتزيد السعة عندما يتم إصلاح هذا العطل. يشير العنصر (member) هنا إلى الحاوية الافتراضية VC في SDH أو مغلف الحمولة SPE في SONET في الشرح التالي سوف نستخدم المصطلح "عنصر" ليشير إلى الحاوية الافتراضية VC.

يمكن أن يستخدم التجميع الافتراضي بدون تقنية مخطط ضبط سعة الوصلة LCAS، ولكن لا يمكن تطبيق LCAS بدون وجود التجميع الافتراضي. يتوضع LCAS في البايت H4 من ترويسة المسار، وهو نفس البايت المستخدم في التجميع الافتراضي. تشكل باينات H4 المؤلفة من تسلسل 16 إطار رسالة لكل من التجميع الافتراضي و LCAS. يستخدم التجميع الافتراضي أربع بنات من أصل 16 بايت من أجل مؤشرات متعدد الأطر MFI الخاصة بها وأرقام السلسلة SQ. يحتاج LCAS إلى 7byte أخرى من أجل تنفيذ مهامه، وتبقى خمسة احتياط من أجل التطوير المستقبلي. يمكن تصنيف كل VCG من وجهة نظر تقديم الخدمات الديناميكية المتاحة بواسطة LCAS من خلال بارامترين اثنين:

X_{max} : التي تشير إلى الحجم الأعظمي لـ VCG وهي غالباً ما تفرض من قبل الأجهزة و/ أو الحدود القياسية.

X_{prov} : التي تشير إلى عدد العناصر الخدمية في VCG.

مع كل أمر إضافة (ADD) كامل يزداد X_{prov} بمقدار 1، ومع كل أمر إزالة (REMOVAL) كامل يتناقص X_{prov} بمقدار واحد. إن العلاقة $0 \leq X_{prov} \leq X_{max}$ غالباً ما تكون محققة [13].

إن عملية LCAS هي أحادية الاتجاه. هذا يعني انه من أجل الإضافة أو الحذف ثنائي الاتجاه للعناصر من وإلى VCG، يجب أن يتكرر إجراء LCAS مرتين، مرة في كل اتجاه. وهذه الإجراءات مستقلة عن بعضها، وليس من الضروري أن تكون متزامنة. إن البروتوكولات التي تختص بـ LCAS هي بسيطة نسبياً، حيث يوجد آلة حالة state (machine) من أجل كل عنصر في VCG عند المرسل وآلة حالة عند المستقبل. يمكن أن تكون آلة الحالة في طرف المرسل واحدة من إحدى الحالات الخمس التالية:

IDLE: هذا العنصر غير مزود كخدمة ليشترك في VCG.

NORM: هذا العنصر مزود كخدمة ليشترك في VCG ولديه مسار جيد مع المستقبل.

- DNU: هذا العنصر مزود كخدمة ليشارك في VCG ولديه مسار معطل مع المستقبل.
- ADD: هذا العنصر في طور الإضافة إلى VCG.
- REMOVE: هذا العنصر في طور المسح من VCG.
- يمكن أن تكون آلة الحالة في طرف المستقبل واحدة من إحدى الحالات الثلاث التالية:
- IDLE: هذا العنصر غير مزود كخدمة ليشارك في VCG.
- Ok: إن الإشارة الواردة إلى هذا العنصر تشير إلى عدم وجود خطأ، أو أن المستقبل قد استقبل وصادق على الطلب من أجل إضافة هذا العنصر.
- FAIL: الإشارة الواردة إلى هذا العنصر تعاني بعض حالات الخطأ، الإشارة الواردة لهذا العنصر تواجه بعض حالات الفشل، أو تم استلام طلب وارد لإزالة عنصر وتمت المصادقة عليه.
- لضمان النقل السلس من حالة إلى أخرى يتم الإتصال بين المرسل والمستقبل باستخدام حزم تحكم. تتألف حزم التحكم من كلمات تحكم Xmax، واحدة لكل عنصر من VCG. تُرسل كلمات التحكم التالية من المصدر إلى المستقبل لكي تنفذ وظائف الإشراف الديناميكية. كل كلمة ترتبط مع عنصر محدد (بمعنى آخر VC) في VCG:
- FADD: أضف هذا العنصر إلى المجموعة.
- FDNU: إحدف هذا العنصر من المجموعة.
- FIDLE: يشير إلى أن هذه الحاوية الافتراضية VC ليست عنصر من المجموعة في الوقت الحالي.
- FEOS: يشير بان هذا العنصر يمتلك الرقم التسلسلي الأعلى في المجموعة (يشير EOS إلى نهاية التسلسل).
- FNORM: يشير إلى أن هذا العنصر هو جزء طبيعي من المجموعة ولا يمتلك الرقم التسلسلي الأعلى.
- بالمقابل ترسل كلمات التحكم التالية من المستقبل إلى المرسل، كل كلمة مرتبطة مع VC محددة في VCG:
- ROK و RFAIL: تلتقط هذه الرسائل حالة جميع أعضاء VCG في طرف المستقبل. يتم إعادة حالة جميع الأعضاء إلى المرسل عبر حزم التحكم لكل عضو. على سبيل المثال، يستطيع المرسل قراءة المعلومات من العضو NO.1 وإذا لم يكن ذلك متوفراً، يقرأ نفس المعلومات من العضو NO.2 وهكذا. طالما لا يتوفر عرض حزمة عائدة، فإن المرسل يستخدم آخر حالة صالحة تم استقبالها.
- RRS-AK: هو عبارة عن bit تستخدم من أجل مصادقة اكتشاف إعادة ترقيم التسلسل أو تغيير في عدد أعضاء VCG. هذه المصادقة تستخدم لتزامن المرسل والمستقبل. سنوضح الآن التسلسل النموذجي لإضافة عنصر ما إلى VCG. يمكن إضافة عدة عناصر بنفس الوقت من أجل إعادة التهيئة السريعة:
- 1- يطلب نظام إدارة الشبكة من المصدر إضافة عنصر جديد (على سبيل المثال VC) إلى VCG الموجودة.
 - 2- تبدأ عقدة المصدر بإرسال أوامر التحكم FADD بالعنصر المختار. يلاحظ المأل أمر FADD ويجب ب ROK في حالة الوصلة من أجل العنصر الجديد.
 - 3- يستلم المصدر رسالة ROK، ويقوم بتخصيص العنصر برقم تسلسلي أعلى بمقدار واحد من رقم التسلسل المستخدم حالياً.
 - 4- عند نهاية الإطار، يدرج المصدر العنصر VC في الحشو البايتي ويقوم بإعداد أمر التحكم إلى FEOS مشيراً إلى أن هذا العنصر VC هو قيد الاستخدام وهو الأخير في التسلسل.

5- إن العنصر VC الذي كان سابقاً "EOS" يصبح الآن "NORM" ليشير بأنه ليس العنصر الذي يمتلك رقم التسلسل الأعلى.

أما التسلسل النموذجي لحذف عنصر VC الذي يمتلك رقم التسلسل الأعلى "EOS" من VCG فيكون وفق التسلسل التالي:

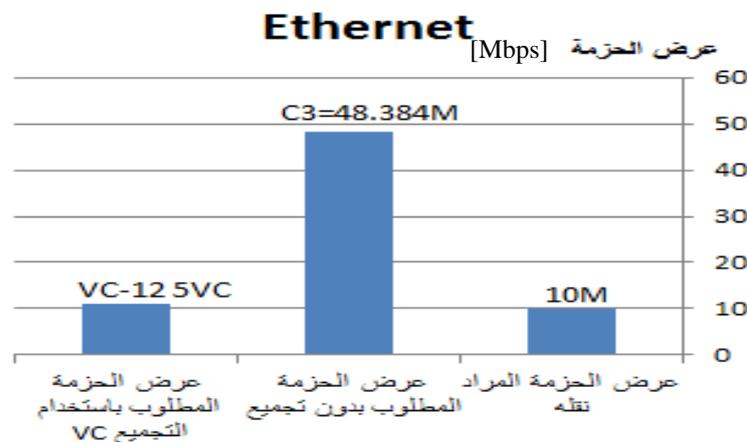
- 1- يطلب نظام إدارة الشبكة من المصدر حذف عنصر من VCG الموجودة.
- 2- تبدأ عقدة المصدر بإرسال أوامر التحكم FIDLE في عنصر VC المحدد. كما أنها تقوم بإعداد العنصر بالرقم التسلسلي الأعلى التالي كـ "EOS" وترسل F_{EOS} في كلمة التحكم الموافقة.
- 3- يلاحظ المآل الأمر FIDLE ويسقط في الحال القناة من عملية التجميع كما أنها تجيب مع R_{FAIL} وتعكس بت RRS-ACK.

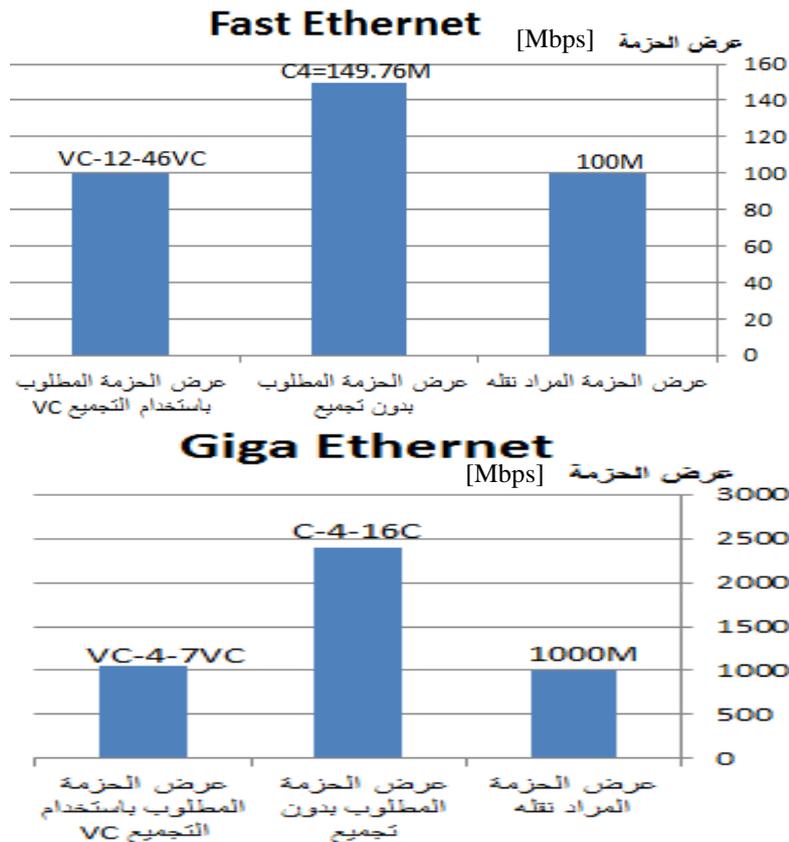
إفترضنا إن العنصر المحذوف يمتلك رقم التسلسل الأعلى. إذا لم تكن هذه هي الحالة، عندئذ فإن العناصر الأخرى التي تحتوي أرقام تسلسلية بين العنصر المحذوف حديثاً و الرقم ذو التسلسل الأعلى يتم إعادة ترقيمها. يضيف مخطط ضبط سعة الوصلة LCAS والتجميع الافتراضي كمية كبيرة من المرونة إلى SONET\SDH. على الرغم من أن SONET\SDH كانت قد صممت في الأساس لنقل مرورية الصوت، فإن وجود هذه الآليات جعلته ملائم لنقل مرورية معطيات متقطعة وديناميكية أيضاً.

يعتبر عرض النطاق الترددي المتوفر بالنسبة للشبكات المعرفة بالبرمجيات SDN خاصية ديناميكية هامة لمسار الشبكة، وهو ما يعاد لكمية الحركية التي يمكن إضافتها إلى المسار دون التأثير على التدفقات الأخرى التي تتعامل مع جزء منها، وبشكل مستقل عن خصائص تقاسم عرض النطاق الترددي الخاصة بها. وقد تم مؤخراً إدخال أساليب جديدة تعتمد على الرسائل في بروتوكول [14] OpenFlow لقياس بارامترات مختلفة لجودة الخدمة (QoS) مثل التحكم بعرض المجال الترددي والتي تتطلب نهجاً مختلفاً تماماً عن بيئات الشبكات التقليدية. التي تهدف إلى تقليل الهدر في الموارد عن طريق تخصيصها تلقائياً عند الحاجة إليها [4].

النتائج والمناقشة:

تمت إجراء مقارنة إحصائية لفعالية عرض الحزمة باستخدام التجميع الافتراضي وبدونه لكل من Ethernet, Fast Ethernet, Giga Ethernet، وتم رسم المخططات البيانية باستخدام برنامج EXCL التي تعبر عن عرض الحزمة اللازمة لنقل كل منها كما هو مبين في الشكل (5).



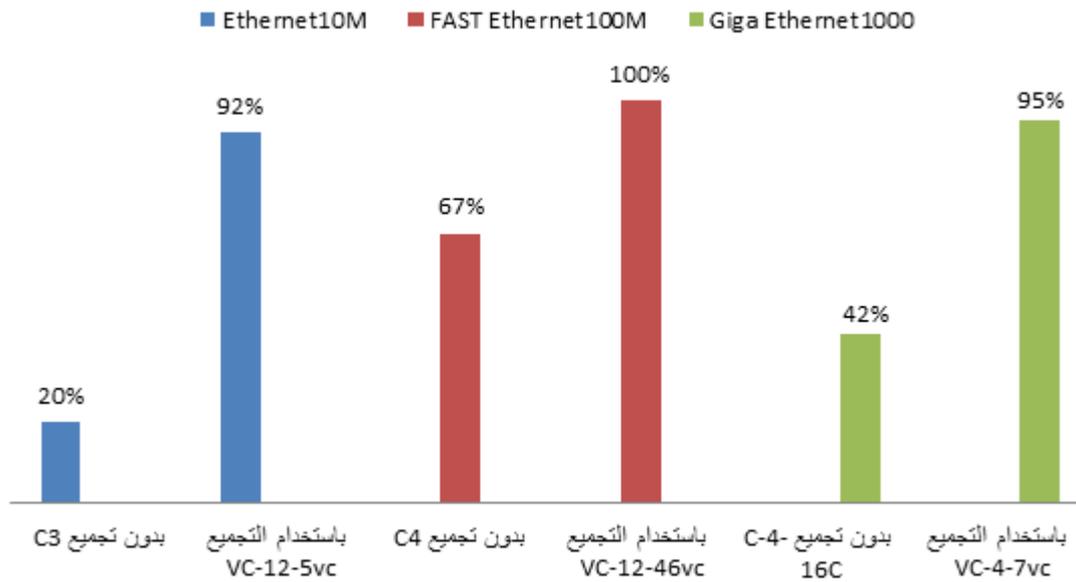


الشكل (5) عرض الحزمة اللازمة لنقل إشارات الإنترنت المختلفة باستخدام التجميع الافتراضي

يبين الجدول (4) والشكل (6) معدلات التحسين والتوفير في عرض الحزمة عند نقل إشارات الإنترنت المختلفة عبر وصلات SONET\SDH مما يؤدي إلى توفير الموارد التي يمكن استخدامها لتطبيقات أخرى وحسب الضرورة .

الجدول (6) معدلات نقل إشارات الإنترنت عبر SONET\SDH باستخدام التجميع وبدونه

Ethernet Traffic		Without VC	Container	Efficiency
Ethernet	10 Mb/s	C-3	48.384Mb/s	20%
Fast Ethernet	100 Mb/s	C-4	149.76Mb/s	67%
Gigabit Ethernet	1000 Mb/s	C-4-16C	2.396Gb/s	42%
Ethernet Traffic		With VC	Container	Efficiency
Ethernet	10 Mb/s	VC-12-5vc	10.88Mb/s	92%
Fast Ethernet	100 Mb/s	VC-12-46vc	100,096Mb/s	100%
Gigabit Ethernet	1000 Mb/s	VC-4-7vc	1.0486Gb/s	95%



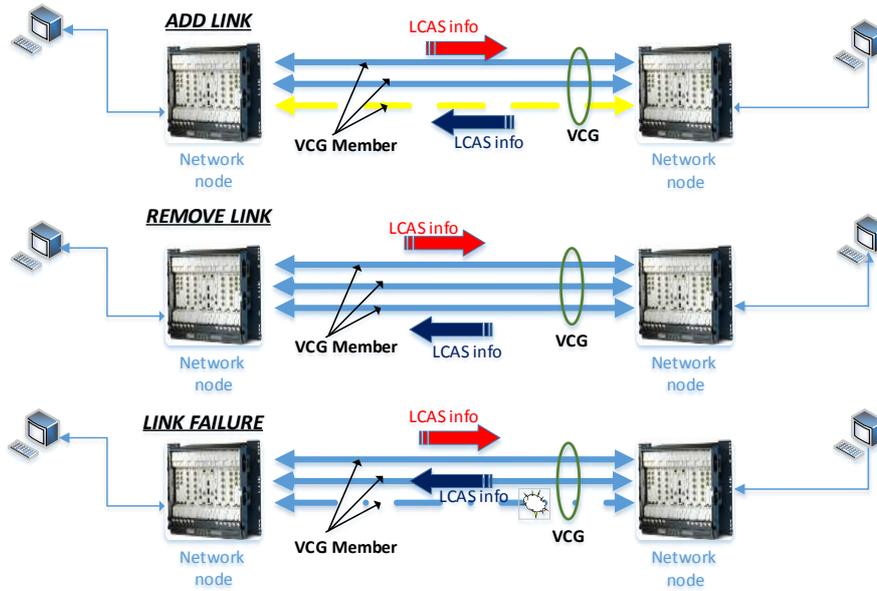
الشكل (6) فعالية استخدام عرض الحزمة اللازمة لنقل إشارات الإيثرنت عبر SONET/SDH باستخدام التجميع وبدونه

إن سعة حاويات إشارات الـ SDH الأساسية هي $C4=155.52 \text{ Mbps}$, $C3=48.384 \text{ Mb/s}$, $C12=2176 \text{ Mbps}$. لنقل إشارة **Ethernet 10Mbps** عبر SDH بدون عملية التجميع نحتاج لإشارة $C3 = 48.384 \text{ Mb/s}$ لملائمة الإشارة وبالتالي استخدام 20% من عرض الحزمة التي تُقدّمها $C3$ وضياح كبير حوالي 80% منها. بينما باستخدام التجميع يمكننا استخدام $(5VC-12=5*2176=10.88 \text{ Mbps})$ لملائمة نفس الإشارة وبالتالي يكون الضياع هو فقط من مرتبة 0.0 من عرض الحزمة الإجمالية.

لنقل إشارة **Fast Ethernet 100Mbps** عبر SDH بدون عملية التجميع نحتاج لإشارة $C4=149.76 \text{ Mb/s}$ وبالتالي استخدام 67% من عرض الحزمة التي تُقدّمها $C4$ وضياح كبير حوالي 33% منها. بينما باستخدام التجميع يمكننا استخدام الإشارة $(46VC-12=2178*46=100,096 \text{ Mb/s})$ لملائمة نفس الإشارة وبالتالي يكون الضياع هو فقط من مرتبة 0.00 من عرض الحزمة الإجمالية.

لنقل إشارة **Gigabit Ethernet 1000Mbps** عبر SDH بدون عملية التجميع نحتاج لإشارة $C-4=149.76 \text{ Mb/s}$ وبالتالي استخدام 42% من عرض الحزمة التي تُقدّمها $C-4-16C=149.76*16=2.396 \text{ Gb/s}$ كبير حوالي 58% منها. بينما باستخدام التجميع يمكننا استخدام الإشارة $(VC-4-7vc=7*149.76 = 1.0486 \text{ GB/s})$ لملائمة نفس الإشارة وبالتالي يكون الضياع هو فقط من مرتبة 0.0 من عرض الحزمة الإجمالية.

يمكن توصيف مخطط ضبط سعة الوصلة LCAS على أنه تطور متقدم على التجميع الافتراضي، فهو طريقة لزيادة أو تخفيض عرض النطاق الترددي بشكل ديناميكي. باستخدام LCAS يمكن زيادة أو إنقاص السعة حسب الوقت وحسب الحاجة دون التأثير على مجموعة التجميع الافتراضية VCG حتى في حال حدوث عطل على أحد الوصلات وبدون أن تؤدي إلى ضياع الخدمة كما هو موضح في الشكل (7).



الشكل (7) تطبيق LCAS على VCG

يمكن أن نلخص المزايا التي يقدمها مخطط ضبط سعة الوصلة LCAS للمزودي الشبكات بمايلي:

- عرض حزمة حسب الطلب.
- عرض حزمة حسب الوقت واليوم
- ملائمة السعة حسب نمو عرض الحزمة.
- تحديث البنية التحتية للشبكة بأقل التكاليف.
- تحسين المسار الديناميكي/تحسين الحمل الديناميكي.
- آلية استعادة عند حدوث الأخطاء.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

- يتم الحصول على الإشارات المدمجة في التجميع المتجاور القياسي من خلال لصق حمولات الإشارات الأساسية مع بعضها، والتي تأتي بحجم ثابتة. ولكن يوجد قيود كبيرة على موقع العناصر وضياح في الخدمة عند إعادة التهيئة.
- يُعالج التجميع الاعتبائي عدم الكفاءة في استخدام عرض الحزمة من أجل التجميع المتجاور القياسي وذلك من خلال إزالة الضوابط على عدد المكونات وتوضعهم ضمن الإشارة المدمجة الأكبر.
- يتميز التجميع الافتراضي بالتحكم بعرض الحزمة من خلال تقديم أفضية ذات حجم صحيح عبر شبكات ال SDH حيث يتم يمكن أن يتم تجميع الحاويات الافتراضية على مستوى VC12 أو VC3 أو VC4 لتشكيل الحجم المطلوب.

- يمكن أن يستخدم التجميع الافتراضي بدون تقنية مخطط ضبط سعة الوصلة LCAS، ولكن لا يمكن تطبيق LCAS بدون وجود التجميع الافتراضي. يمكن زيادة أو إنقاص السعة باستخدام LCAS لتأمين عرض حزمة حسب الطلب أو حسب الوقت واليوم بالإضافة إلى تحسين المسار الديناميكي / تحسين الحمل الديناميكي.

التوصيات

- استخدام التجميع الافتراضي من أجل ملائمة عرض الحزمة في إشارات SONET/SDH لإشارات ATM، HDLC، Ethernet مما يوفر الاستخدام الفعال وتوفير الموارد.
- استخدام مخطط ضبط السعة LCAS عند الحاجة لتأمين عرض حزمة حسب الطلب وحسب الوقت، وعند اختبار الأعطال كما يمكن زيادة أو إنقاص VCG حسب الضرورة.
- الانتقال إلى تقنيات نظام الشبكات الضوئية الجديد الناشئ SDN، التي يتم فيها فصل مستوى التحكم عن مستوى البيانات ويعتمد على بروتوكول OpenFlow. الذي تم تصميمه لتقليل مقدار الهدر في سعة وموارد الشبكة، عن طريق تخصيصها تلقائيًا عند الحاجة إليها.

المراجع:

- [1] PERROS, HARRY G. "Connection-oriented networks: SONET/SDH, ATM, MPLS and optical networks". John Wiley & Sons, 2005.
- [2] KREUTZ, DIEGO, ET AL. "Software-defined networking: A comprehensive survey." Proceedings of the IEEE 103.1 2015.
- [3] MEGYESI, PÉTER, ET AL. "Challenges and solution for measuring available bandwidth in software defined networks." Computer Communications 99 2017.
- [4] LIN, CHANGTING, ET AL. "Performance evaluation for SDN deployment: An approach based on stochastic network calculus." China communications 13. Supplement 1 2016.
- [5] NIGAM, ANURAG, AND DAVID STILES. "Any size and location of concatenated packet data across SONET frames in a SONET signal." U.S. Dec. 2008.
- [6] BERNSTEIN, GREG, BALA RAJAGOPALAN, AND DEBANJAN SAHA. "Optical network control: architecture, protocols, and standards". Addison-Wesley Longman Publishing. 2003.
- [7] CHOY, LARRY. "Virtual concatenation tutorial: enhancing SONET/SDH networks for data transport." Journal of Optical Networking 1.1 2002.
- [8] OU, CANHUI, ET AL. "Survivable virtual concatenation for data over SONET/SDH in optical transport networks." IEEE/ACM (TON) 14.1 2006: 218-231.
- [9] TURBAN, KARL-ALBERT. "Transport of concatenated containers in a synchronous information transmission network." U.S. Patent No. 6,700,900. 2 Mar. 2004.
- [10] AHUJA, SATYAJEET S, AND MARWAN KRUNZ. "Cross-virtual concatenation for Ethernet-over SONET/SDH networks." Photonic Network Communications 16.2 2008.
- [11] ISHII, YUSUKE. "Automatic change method of virtual concatenation bandwidth." U.S. Patent No. 7,567,585. 28 Jul. 2009.
- [12] ITU, G. "LCAS "Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS) for Virtual Concatenation". 2001.

- [13] BERNSTEIN, GREG, ET AL. "*Operating Virtual Concatenation (VCAT) and the Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS)*". No. RFC 6344. 2011.
- [14] AL-NAJJAR, ANEES, SIAMAK LAYEGHY, AND MARIUS PORTMANN. "*Pushing SDN to the end-host, network load balancing using OpenFlow.*" Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), 2016 IEEE International Conference on. IEEE, 2016.