مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

دراسة تأثير خوارزميات التحكم بالازدحام في تحسين أداء الشبكات الحاسوبية

الدكتور محمد حجازية*

(تاريخ الإيداع 27 / 11 / 2016. قُبِل للنشر في 29/ 1 / 2017)

□ ملخّص □

تطورت شبكات الحاسوب كثيراً خلال السنوات القليلة الماضية من ناحية التزايد الكبير في كميات البيانات المتبادلة عبر الشبكة بسبب تزايد عدد الأجهزة المترابطة، والتي يمكن ان تتبادل البيانات في اطار الشبكة وهذا ما ادى الى ظهور ما يُعرف بمشكلات الازدحام **Congestion** وأظهرت دراسات حول بعض هذه المشاكل أن السبب الأكبر يقع في تنفيذ قواعد الإرسال، وهذا ادى الى ظهور أنواع متعددة من البروتوكولات في أنظمة الاتصالات وشبكات الحواسيب لضرورة التعامل مع الأنظمة الحاسوبية المختلفة، وبذلك ظهرت أيضاً الحاجة إلى ضرورة وجود آليات للتمييز بين الحواسيب العديدة في الشبكة الواحدة ،والعديد من التطبيقات ضمن النظام الواحد : والعديد من نسخ هذه التطبيقات ،حيث يسبب ذلك في كثير من الأحيان أخطاء على مستوى البت الخانة (bit) ومستوى الرزم (packet) ،رزم مفقودة ،رزم مكررة ، رزم وردت بشكل عشوائي، والأهم ظهور الازدحام في الشبكة.

يهدف هذا البحث الى تحديد كيفية تحسين أداء الشبكة بالتخلص من الازدحام وذلك بالاستفادة من الخوارزميات المستخدمة في تجنب الازدحام الذي قد يحصل في الشبكات التي تعتمد بروتوكول TCP حيث أن الهدف من هذه الخوارزميات هو الوصول الى الاستقرار في الشبكة من خلال العمل على تحقيق مبدأ حفظ الرزمة.

ولذلك وضمن هذا الاطار أيضاً تم دراسة، ومقارنة بعض الخوارزميات المستخدمة في تجنب الازدحام بشكل عام دون الاعتماد على بروتوكول معين او صنف خدمة محدد .

الكلمات المفتاحية: التحكم بالتدفق– تجنب الازدحام–حجم نافذة الازدحام – اعادة الارسال السريع – الاسترجاع السريع

* **أستاذ مساعد – قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين – اللاذقية– سورية.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

Study the effect of congestion control in improving the performance of computer networks algorithms

Dr. Mohammed Hijazieh*

(Received 27 / 11 / 2016. Accepted 29 / 1 / 2017)

□ ABSTRACT □

Computer networks have evolved considerably in the past few years of big increases in mutual amounts of data across the network hand because of the increasing number of interconnected devices, which can exchange data as part of the network and this is what led to the emergence of what is known as the problems of congestion Studies showed about some of these problems that the largest reason is involved in the implementation of the transmission rules, and this led to the urgent of multiple types of protocols in the computer networks that needs to deal with different computer and communication systems, and many other applications, which often causes errors at the level of the bit and level of the packets, missing packets, duplicate packets, randomly received packets, and most importantly the appeared congestion in the network.

This research aims to determine how to improve the performance of the network to get rid of the congestion by using advantages of the algorithms used to avoid congestion that may occur in the networks that rely TCP protocol . The goals of these algorithms is to reach stability in the network by working to achieve the principle of package saving.

Also within this scope it has been studied, and compared some of the algorithms that used to avoid congestion in general, without relying on a specific protocol or specific service category.

Key Words: Flow Control - Congestion Avoidance –Congestion Windows Size Fast Retransmission - Fast recovery

***Associate Professor, Department of computer and automatic control Engineering, Faculty of Mechanical and electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

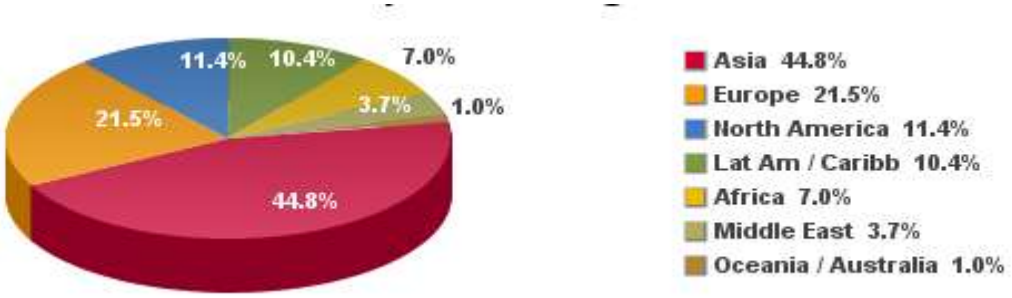
شكل انتشار الحاسب الشخصي أواسط السبعينات ، في الشركات والمؤسسات الاقتصادية والعسكرية ، حافزاً إضافياً لربط هذه المنظومات بعضها ببعض بأساليب جيدة ،على شكل شبكات حاسوبية محلية، وبعد ذلك تم الربط على شكل شبكة واسعة .وتستطيع هذه المنظومات تبادل المعلومات بنماذج عديدة مثل الملفات التقليدية ،كالوثائق والجداول والبرامج ، ملفات موسيقية وأشرطة سينمائية بصورة ساكنة ،ومتحركة ،وسائط متعددة، وغير ذلك.

اعتبر مشروع ARPANET الممول من وزارة الدفاع الأمريكية عام 1969، فاتحة العمل في تشبيك الحواسيب بالرغم من اقتصاره في مراحله الأولى على أربع عقد تعمل بتقنية التبديل بالرزم (Packet switching) بطريقة بدائية إلى حد ما . المساهمة الأخرى التي حصلت في جزر هاواي HAWAII حيث تم تشبيك عدة حواسيب بالاعتماد على بروتوكول يدعى ALOHA net وقد استعملت مبادئه الأساسية لاحقاً من قبل Robert Metcalf في بناء شبكة ايثرنت محلية .إن بروتوكول الايثرنت المستعمل بسيط ،ويهدف إلى نقل الإشارة من مكان ،إلى آخر ،دون تحديد طريقة تشكيل الإشارة .[8.9]

البروتوكول TCP المستعمل في مشروع ARPANET والذي يعمل بطبقة أعلى من بروتوكول الايثرنت من الموديل OSI تم تطويره، وتعديله عدة مرات ونتج عنها البروتوكول الأساسي لشبكة الإنترنت TCP\IP و كذلك البروتوكول UDP.[2.7]

ظهور الانترنت أرتبط بمشروع ARPANET وخاصة بانتقال مجموعة الباحثين و المطورين لهذا المشروع ، من البروتوكول (host-to-host protocol) NCP إلى البروتوكول TCP\IP وتم تحقيق هذا في العام 1983

انتشرت شبكة الانترنت بسرعة غير متوقعة ،وتوسع حجمها ،وتعددت مجالاتها ،وهناك بعض الحوافز لهذا الانتشار ،منها توزيع محرك البحث GOPHER بشكل مجاني ،وإدخال تقنية النصوص المتشعبة Hypertext عام 1991 ،وكذلك تصميم مستعرض رسومي في العام 1993 وهكذا انتشرت استضافة المواقع ،وازداد عدد المضيفين بشكل كبير ،لكن اغلبها يعمل في المجال التجاري ،مما أدى إلى زيادة كبيرة في عدد المستخدمين وصل في مطلع عام 1997 إلى 160 مليون مستخدم و بدأ العدد بالتزايد بشكل كبير تدريجياً الى أن أصبح يشكل مستخدمو الأنترنت نسبة 35 % من سكان العالم أي حوالي 2,5 مليار مستخدم للإنترنت (152 915 484 2) و يتمركز أكبر عدد لمستخدمي الانترنت في قارة أسيا الشكل (1) [9.10]



الشكل (1) زيادة عدد المستخدمين مع تطور الإنترنت

الجدول (1) يوضح عدد سكان العالم حسب كل قارة و عدد مستخدمي الانترنت بها و تطوره من سنة 2000 حتى عام 2014 مع الاشارة الى ان آخر الاحصائيات تبين أن عدد مستخدمي الانترنت في العالم حتى منتصف عام 2016 أصبح حوالي 3.5 مليار مستخدم أي 40 % من سكان العالم [2]

الجدول (1) يوضح عدد سكان العالم حسب كل قارة و عدد مستخدمي الانترنت

World Regions	Population	Internet Users Dec. 31, 2000	Internet Users Latest Data
Africa	1,073,380,925	4,514,400	167,335,676
Asia	3,922,066,987	114,304,000	1,076,681,059
Europe	820,918,446	105,096,093	518,512,109
Middle East	223,608,203	3,284,800	90,000,455
North America	348,280,154	108,096,800	273,785,413
Latin America / Caribbean	593,688,638	18,068,919	254,915,745
Oceania / Australia	35,903,569	7,620,480	24,287,919

لذلك وبناء على بيانات عدد مستخدمي الانترنت المتزايد و المبينة في الشكل (1) يعنى هذا البحث ببيان كيفية تحسين أداء الشبكة بالتخلص من الازدحام اعتماداً على دراسة و تحديد سلوك الخوارزميات المستخدمة في تجنب الازدحام في الشبكات التي تعتمد بروتوكول TCP بما يحقق الوصول الى الاستقرار في الشبكة عن طريق مبدأ الحفاظ على الرزم. ولذلك وضمن هذا الاطار أيضاً تم التطرق في البحث الى دراسة بعض الخوارزميات المستخدمة في التخلص من الازدحام بشكل عام دون الاعتماد على صنف خدمة محدد.

أهمية البحث وأهدافه:

هدف البحث هو إظهار مدى تأثير خوارزميات التحكم بالازدحام على تحسين أداء الشبكات الحاسوبية المعتمدة على بروتوكول التحكم بالنقل TCP حيث يتم دراسة ومقارنة أداء بعض خوارزميات التحكم بالازدحام من خلال بعض من البارامترات مثل ضياع الرزم، وتكاملية المعلومات عن طريق التحديد، والتحكم بحجم نافذة الازدحام **Congestion** window size (bytes) ورقم المقطع (segment sequence number) و ذلك من خلال تحليل نتائج محاكاة مجموعة سيناريوهات مُفترضة مع استخدام خوارزميات معينة للتحكم بالازدحام. [1.8]

طرائق البحث ومواده:

يعرف البروتوكول ،بأنه اتفاق بين طرفين يُبنى على مجموعة من القواعد ،ويهدف البروتوكول في شبكة التراسل، الى تحديد طريقة و معايير تحقيق الاتصال بين الطرفين أو الأطراف المتصلة .

1. الموديل الطبقي المعياري OSI :

تم تطوير نظام معياري طبقي وفق مجموعة من المقترحات ،تبلورت بالشكل النهائي بالحصول على النموذج المرجعي المفتوح (Open System Interconnection Module) و يتألف هذا النموذج من سبع طبقات (مكدس

طبقي (STACK OF LAYERS) وهذه الطبقات مرقمة (الطبقة الأولى–الطبقة الثانية– ..... الطبقة السابعة).
الشكل (2)

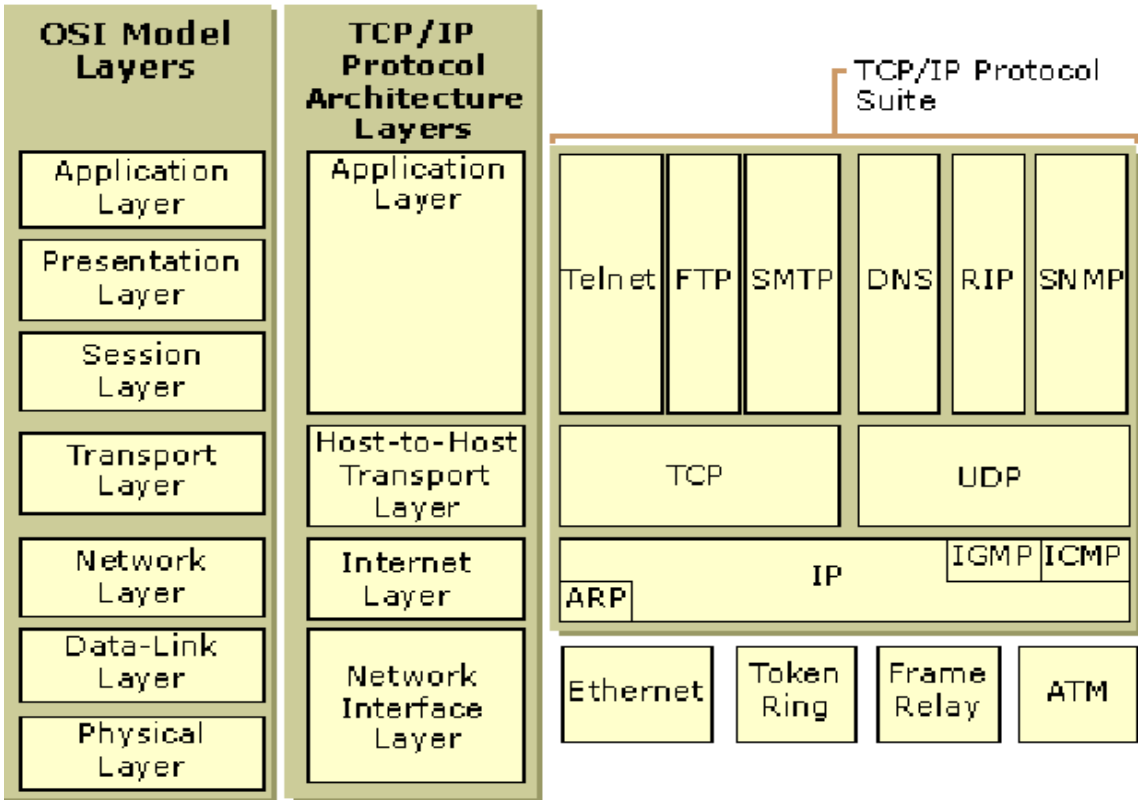
Layer Name	Description	Examples
Application	User Level Processing	Telnet, FTP, Mail
Presentation	Data Representation & Syntax	ISO Presentation
Session	Sync Points and Dialogs	ISO Session
Transport	Reliable End to End	TCP
Network	Unreliable Thru Multi-Node Network	X.25 Pkt, IP
Link	Reliable Across Physical Line	LAPB, HDLC
Physical	Unreliable Wire, Telco Line	RS232, T1, 802.x

الشكل (2) طبقات النموذجOSI

إن طبقات الموديل OSI متمايزة عن بعضها البعض ،ومفصولة وهو موديل عام وليس من الضروري ان يكون عدد الطبقات أو اسم الطبقة أو محتواها أو وظائفها متماثلا في جميع أنظمة الاتصال ،بل يمكن أن يختلف من شبكة إلى أخرى ومن نظام إلى آخر وفق التصميم المطلوب.

2- الموديل المرجعي TCP\IP :

تم اعتماد البروتوكول IP والبروتوكول TCP بشكل أساسي لخلق موديل مرجعي للترابط عُرف لاحقا باسم الموديل المرجعي TCP\IP و كان ذلك بالتوافق مع نموذج OSI و ذلك لتلبية حاجات التطبيقات ،ذات المتطلبات المتباينة ،مثل الملفات العامة ،أو إرسال الملفات الصوتية والمرئية بالزمن الحقيقي، يتكون الموديل المرجعي TCP\IP من أربع طبقات الشكل (3) [1]



الشكل(3) الموديل المرجعي TCP\IP

ويبين الجدول (2) مقارنة بين الموديل الطبقي المعياري OSI والموديل المرجعي TCP/IP TCP\IP

الجدول (2) مقارنة بين OSI و TCP\ [9]

OSI #	OSI Layer Name	TCP/IP #	TCP/IP Layer Name	Encapsulation Units	TCP/IP Protocols
7	Application	4	Application	data	FTP, HTTP, POP3, IMAP, telnet, SMTP, DNS, TFTP
6	Presentation			data	
5	Session			data	
4	Transport	3	Transport	segments	TCP, UDP
3	Network	2	Internet	packets	IP
2	Data Link	1	Network Access	frames	
1	Physical			bits	

2.1. الطبقة الأولى Host-to-Network :

تهدف إلى تسهيل الربط بين مختلف الشبكات ،الراديوية وشبكات القمر الصناعي ،والشبكات المحلية والأربانت ،وقد ذكر الموديل ضمن هذه الطبقة كيفية ربط المضيف إلى الشبكة وفقاً لبروتوكولات معينة وإرسال الرزم IPضمن الشبكة .

2.2. الطبقة الثانية INTERNET :

هي الطبقة التي تعرف مقياسا خاصا للباكيت وفقاً للبروتوكول IP ويتم تحرير هذه الباكيتات للوصول إلى مختلف الشبكات المرتبطة وحيثما يكون عنوان المستقر . إن إرسال هذه الباكيتات يتضمن عملية التوجيه وتجنب الازدحام في عقد الشبكة .

2.3. الطبقة الثالثة TRANSPORT :

طبقة النقل المتوضعة فوق طبقة الانترنت ،صممت لكي تسمح ،بإقامة محدثات ،أو تبادل الرسائل بين كينونتين متكافئتين ،وقد تم لهذا الغرض تحديد بروتوكولين للنقل بين النهايتين:

- ❖ البروتوكول الأول TCP : وهو بروتوكول موثوق مخصص لخدمة إقامة الاتصال
- ❖ البروتوكول الثاني UDP : وهو بروتوكول غير موثوق يعمل بدون إقامة الاتصال

❖ 2.4. الطبقة الرابعة APPLICATION :

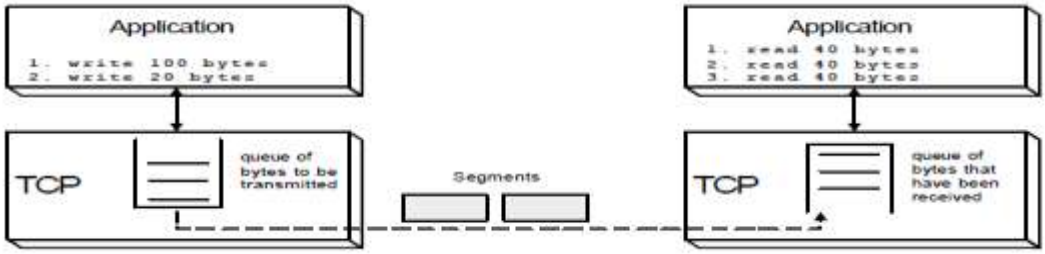
تضم هذه الطبقة مجموعة متنوعة من البروتوكولات مثل FTP وهو بروتوكول مخصص للمساعدة في نقل الملفات بين جهازين ،وقد تضم تصميم بروتوكول خاص بنقل ملفات البريد سمي SMTP والبروتوكول TELNET الذي يتيح لمستخدم آلة من الوصول إلى آلة بعيدة والعمل عليها (كجهاز طرفي افتراضي) .البروتوكول DNS يساعد في تخطيط عناوين الأجهزة إلى عناوين شبكية والعكس .

بروتوكول التحكم بالنقل TCP

نوضح في هذه الفقرة آلية عمل البروتوكول TCP ،الشكل (4) ،حيث تم تعريف البروتوكول TCP وفقاً للوثائق RFC 793 و RFC 1122 وهو ينتمي إلى طبقة النقل ،ويعمل على إرسال البيانات بشكل موثوق ،عن طريق إقامة الاتصال بين الطرفين ويشكل بروتوكول التحكم بالنقل TCP ،مع بروتوكول الانترنت IP ،زوجاً مثالياً من البروتوكولات ،حيث يعمل IP على إيصال البيانات إلى المضيف (بشكل غير موثوق) ،في حين يعمل البروتوكول TCP ،على ضمان وصولها إلى المستقر صحيحة (بشكل موثوق) ،وبالزمن المفترض. الشكل (4)

يتجاهل البروتوكول TCP خصوصية الشبكة التي يعمل بها ، وهو متكيف مع مختلف تقنيات الشبكات ، سواء كانت شبكة محلية ، أو واسعة تعمل بتقنية التبديل بالدارات، أو التبديل بالرزم، ويتحقق TCP من هوية المضيفين عن طريق العنوان IP ولا يهتم بالعنوان الفيزيائي.

يستخدم TCP من تطبيقات الطبقات الأعلى مثل ، FTP ، WEB ، EMAIL ، TELNET ، P2P ، ..... لنقل رسائلهم بشكل صحيح ويتم مطابقة مختلف التطبيقات بواسطة المنافذ الخاصة بكل تطبيق [4.5]



الشكل (4) آلية عمل البروتوكول TCP

1- بنية ترويسة بروتوكول TCP :

يعمل البروتوكول TCP على تجميع البيانات الواردة من طبقة التطبيقات على شكل قطاعات لها وفق ترويسة معيارية محددة كما هو مبين بالشكل (5) :

الشكل (5) ترويسة TCP

نبين فيما يلي باختصار مكونات ترويسة TCP

1-1- الحقلين SOURCE & DESTINATION PORT :

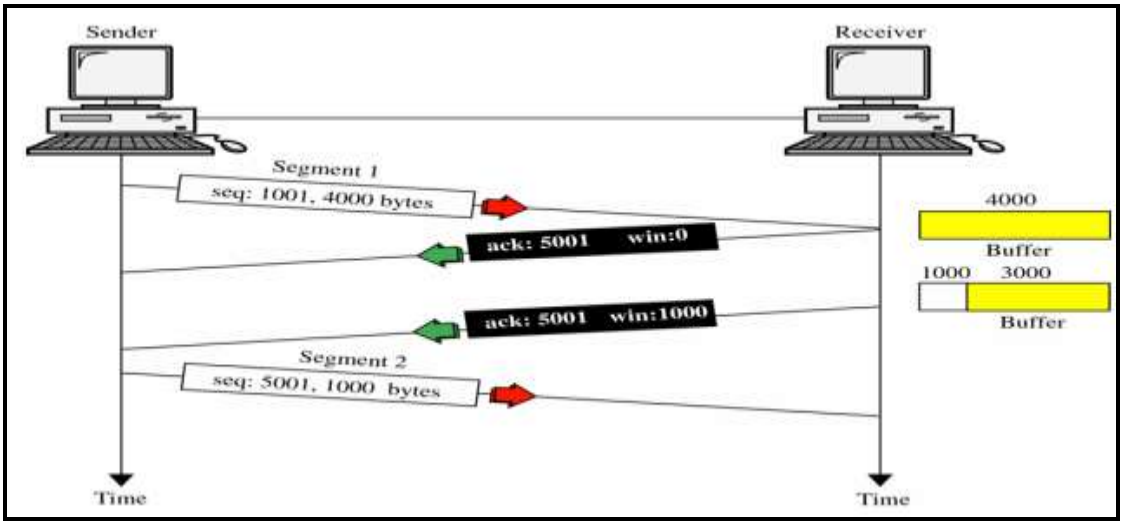
كل حقل من هذين الحقلين بحجم 16بت ،يتم تحديد رقم المنفذ المصدر SOURCE PORT و رقم المنفذ الهدف DESTINATION **PORT** الخاصة بالبرنامج الذي يجري عملية الاتصال، ومن المعروف انه لا يمكن لأكثر من برنامج استخدام نفس المنفذ PORT لكن يمكن لبرنامج واحد استخدام أكثر من PORT ADDRESS ، وبالتأكيد فان عملية اختيار المنفذ ليست عشوائية حيث انه يجب الابتعاد عن الرقم التي تبدأ بـ 0 وتنتهي ب 1023 إذ أنها أرقام لبروتوكولات معروفة ويتم استخدامها في نظام التشغيل ومن الأمثلة عليها بروتوكول HTTP والذي يستخدم المنفذ 80 وبروتوكول FTP الذي يستخدم المنفذ 21 وغيرها .... ، ويبين الجدول (3) ابعض منافذ طبقة النقل معيارياً.

الجدول (3) ابعض منافذ طبقة النقل

TCP/IP Application Layer Protocol	Transport Protocol الافتراضي	Listener Port Number الافتراضي
HTTP , HTTPS Hypertext Transfer Protocol	TCP	80 443
FTP File Transfer Protocol	TCP	20 21
SMTP Simple Mail Transfer Protocol	TCP	25
SNMP Simple Network Management Protocol	TCP	161 162
Telnet	TCP	23
POP3 Post Office Protocol Version 3	TCP	110
DNS Domain Name System	UDP	53 137

2-1- الحقلين Sequence & Acknowledgment Number :

يحتوي كل منهما على 32 بت ويدل هذا الرقم على رقم التسلسل للرزمة (PAKCET) عند إرساله أو استقباله ويتم توليده عشوائيا عند بداية الاتصال أما رقم Acknowledgment فيحوي على الرقم التسلسلي للرزمة (packet) الذي تم التأكد من وصوله وتتم هذه الملية كما في الشكل (5):



الشكل(5) الرقم التسلسلي للرزمة و الموافقة

3 -1- الحقلين Header Length & Validation Controls :

يحتوي الجزء الثاني من header الخاص بال Tcp على 32 bits مقسمة على الـ16 bits windows size و الـ Validation Controls + 16Bits Header Length كما هو مبين في الشكلين (6،7)

HLEN 4 bits	Reserved 6 bits	urg	ack	psh	rst	syn	fin	Window size 16 bits

الشكل (6) الحقلين Header length & Validation Controls

- الحقل reserved :بحجم 6 خانات محجوز للمستقبل .
- الحقل UGR :يبين أن حقل دليل الطوارئ مميز في هذا القطاع
- الحقل ACK يبين أن حقل القرار مميز في هذا القطاع
- الحقل PSH وظيفة الدفع
- الحقل RST تصفير الوصلة
- الحقل SYN مزامنة سلسلة الأرقام
- الحقل FIN لا يوجد بيانات من المرسل

كل حقل من هذه الحقول تُحدد بخانة واحدة 1 bit ، فإذا كانت قيمة الخانة 0 فهذا يعني أن هذه الخاصية غير مستخدمة وإذا كانت 1 فهذا يعني أن الخاصية مستخدمة .

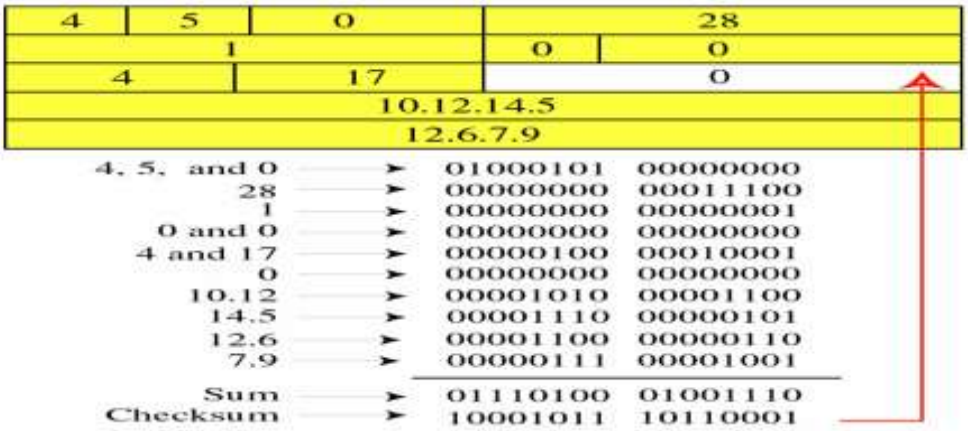
الشكل (7) مكونات الحقل Validation Controls

4 -1- الحقل window Size :

ويعرف فيه حجم المقطع Segment الذي يمكن إرساله من خلال الشبكة بناء على سرعة الوصول بين كل SYN PACKET و ACK PACKET ، أي الوقت المستغرق لعملية التوصيل لكل Segment وقد تزيد أو تنقص بناء على أداء الشبكة .

5-1- الحقل Check Sum :

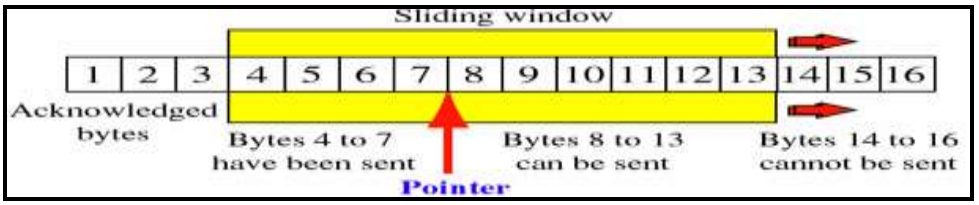
وهو بحجم 16 bits وتستخدم لعملية التحقق من وصول TCP header بالشكل السليم حيث يتم جمع كافة قيم ال TCP header (كل 16 Bits لوحدها) ثم قلبها ووضع الناتج في حقل Check Sum وفي الطرف المستقبل يقوم بالتأكد من Check Sum بضرب قيمه الـ HLEN ب 4 ثم مقارنة الناتج مع مقلوب حقلCheck Sum .



الشكل (8) آلية عمل الحقل Check Sum

6-1- الحقل Urgent Pointer :

من المعروف أن البيانات المرسلة data عبر TCP يتم تجميعها في buffer قبل أن يتم عرضها حيث يتم تحديد موقع البيانات القادمة الجديدة في الـ buffer ومن هنا نحن بحاجة إلى pointer يؤشر على موقع البيانات في الـ buffer وهو هنا Urgent Pointer الشكل التالي يوضح وضع بيانات جديدة قادة إلى الـ buffer الخاص بالجهاز المستقبل الشكل (9) :[7]

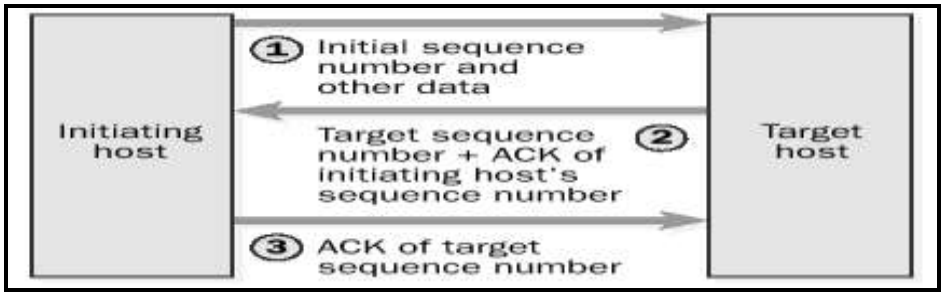


الشكل (9) الحقل Urgent Pointer

إنشاء اتصال

يعتبر بروتوكول TCPمسؤول عن إنشاء الاتصالات قبل إرسال الرزم؛ يستعمل هذا الاتصال من كلا الطرفين لإنشاء جلسة معيّنة وإخفاء تعقيد الشبكة عنهما؛ بكلامٍ آخر، سيرى المضيفان مُعرِّف الاتصال (connection identifier) وليس الشبكة المعقدة التي تقع تحت ذاك الاتصال ، ومن واجبات بروتوكول TCP أيضًا إنشاء، وإدارة، وإنهاء الاتصالات.

في بروتوكول Tcp تمر عملية إنشاء الاتصال بثلاثة مراحل three-way hand-shake كما مبين في الشكل (10):**[8]**



الشكل (10) مراحل إنشاء الاتصال في بروتوكول TCP

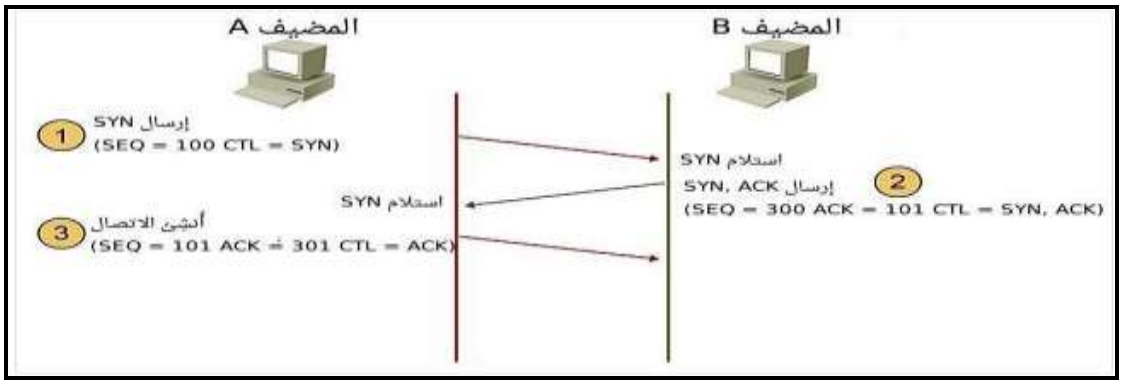
1- يقوم الطرف المرسل بتوليد رقم تسلسلي Sequence Number ويرسله إلى المخدم Server ويكون هذا الرقم المولد نقطة البدء لعملية الإرسال.

2- يستلم الطرف المستقبل الرقم التسلسلي (Sequence Number) ويقوم بإرسال إشارة Acknowledgment إلى المرسل إضافة إلى الرقم التسلسلي الذي تم إرساله.

3- بعد أن تتم الموافقة على بدأ الجلسة وعندها يقوم المرسل بإرسال طلبه مرفق معه Acknowledgment الذي أرسل من قبل المستقبل.

تَستخدِم هذه العملية رزمًا خاصةً تستعمل حقول التحكم (control fields) في ترويسةTCP؛ حقول التحكم تلك مُعرَّفةٌ بالكلمة المفتاحية CTL كما هو مبين في الشكل (11). ويبدأ الأمر بأكمله بإرسال رزمةٍ لها رقمٌ تسلسليٌ معيّن؛ وتكون خانة التحكم هي SYN ؛ ستُرسَل الرزمة وتعالجها النهاية المُستقبِلة وتُرسِل ما يُعرَف بإشعار SYN ،أي أن

رزمة ذاك الإشعار يكون فيها علم SYN (SYN flag) وعلم الإشعار. وتُستخدَم أيضًا الأرقام التسلسلية لإشعار استلام السلسلة التالية من الخانات؛ يُنشَأ الاتصال بشكل كامل عندما يُرسَل الإشعار النهائي من المستلم؛ خانة التحكم المُستخدم في الإشعار النهائي هو علم الإشعار فقط.. الشكل (11) [7]



الشكل (11) إنشاء الاتصال باستخدام إشارات التحكم SYN & ACK

التحكم في الجريان (Flow Control) :

توجد آليتان للتحكم في الجريان

الآلية الأولى هي إشعارات استلام الرزم؛ والإشعارات ما هي إلا رزم خاصة تمثِّل تأكيدًا أن البيانات قد وصلت إلى وجهتها؛ ولن يكمل المرسل إرسال بياناتٍ إضافيةٍ ما لم يحصل على إشعارٍ باستلام البيانات المُرسَلة سابقًا.

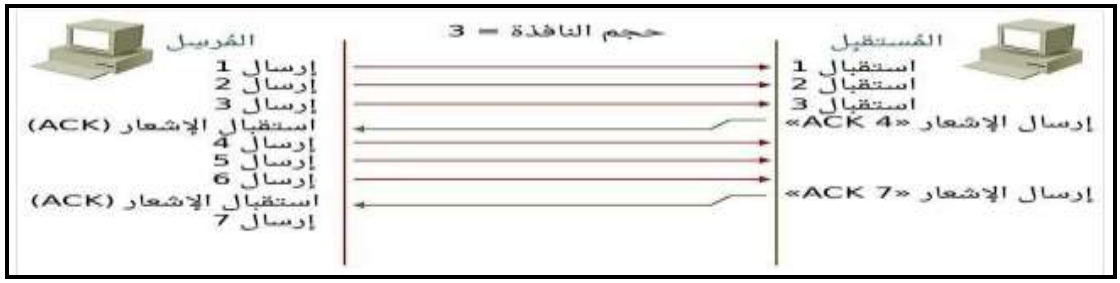
الآلية الثانية هي النوافذ (windows) ، التي تخدم هدف إرسال إشعار باستلام قطع من البيانات؛ بكلامٍ آخر، بدلًا من إرسال إشعار باستلام كل رزمة؛ فسنطلب من المرسل أن يرسل سلسة من الرزم دفعةً واحدة، بدلًا من إرسالها متفرقة .وتساهم هذه الآلية بزيادة التحكم بكمية البيانات المُرسَلة، فعندما يرسل المستقبل حجم نافذة مساوٍ للقيمة 0، فإنه يقول للمرسل: (حافظتي ممتلئة، لا أستطيع معالجة أيّة بيانات إضافية، أتمنى أن تنتظر حتى إشعارٍ آخر)، وعندما تصبح حافظة المستقبل فارغةً ويصبح بإمكانه استلام المزيد من الرزم، بالتالي يُستأنف نقل البيانات عبر إرسال حجم نافذة مختلف؛ وفي هذه النقطة، سيعيد المرسل تهيئة عملية النقل مجددًا الشكل (12).

الشكل (12) التحكم بالجريان Flow Control

حجم النافذة ما هو إلا مقدار المعلومات التي لم يُرسَل إشعارٌ باستلامها التي يمكن أن تكون قيد الإرسال؛ فعندما يُرسِل المُرسِل قطعة (chunk)من البيانات رقم 1 (وتُعرَّف تلك القطعة بعدد البايتات أو الكيلوبايت التي

ستُرسَل) ، فسيعلمه المستقبل بذلك عبر تحديد القطعة التالية التي يتوقع وصولها؛ بكلامٍ آخر، لن يقول المُستقبِل: (أنا أعلمك أنني استلمت القطعة رقم 1 من البيانات)، بل سيقول: (أرسِل لي قطعة البيانات رقم 2 الآن) ؛ يكون حجم النافذة في المثال السابق هو (1) ، أي أننا نُرسِل إشعارًا باستلام كل قطعة، وهذا سيصبح أمرًا معقّدًا ويسبب بطئًا في الشبكة؛ حيث يلزم المزيد من الإشعارات للتحكم في التدفق ولإكمال الإرسال. فمن المهم أن نعلم أن ما نسميّه قطعًا (chunks)يكون على شكل «segments» في طبقة النقل، وتكون تلك القطعة بوحدة بايت أو كيلوبايت.

إشعار واحد لكل وحدة بيانات لا يسبب حملًا ثقيلًا على الشبكة فحسب، بل يُبطِئ أيضًا من سرعة الاتصال؛ يتضمّن بروتوكول TCP آليةً للنوافذ، التي تسمح بزيادة عدد القطع المُرسَلة قبل إشعار استلامها. يُمثِّل حجم النافذة عدد البايتات أو الكيلوبايت التي يمكن أن تُرسَل دفعةً واحدة؛ ففي الشكل (13) مثلاً ، ستُرسَل ثلاث قطع، ثم سيُرسِل المُستقبِل إشعارًا بالاستلام بقوله: (أرسل لي الرقم 4) وبهذا نكون قد أرسلنا إشعارًا باستلام أول ثلاث قطع دفعةً واحدة. ، أي ستكون طريقة زيادة حجم النافذة كالآتي: (كنت أُرسِل 64كيلوبايت، وأنا الآن أُرسِل 128 كيلوبايت، ويمكنك إرسال إشعار باستلام 128 كيلوبايت بدلًا من 64 كيلو بايت .



الشكل (13) الإرسال بحجم نافذة يساوي 3

خوارزميات التحكم بالازدحام

يوجد عدة خوارزميات للتحكم بالازدحام مثل:

- التحكم بالتدفق نهاية لنهاية
- إعادة الإرسال، نفاذ الوقت وإشعار استلام طبق الأصل
- التحكم بالازدحام نهاية لنهاية
- التحكم بالازدحام TCP
- تقنيات التحكم بالازدحام الغير معتمدة على بروتوكولTCP
- خوارزميات التحكم بالازدحام TCP المعيارية

1-التحكم بالازدحام TCP:

بسبب شعبية الإنترنت زادت الحاجة إلى سعة اكبر خلال كل طبقات الشبكة ، يحتاج المستخدمون في المنازل إلى عرض حزمة اكبر من 64KB/S التي يسمح بها مزود الهاتف عادة للفيديو ، والموسيقى ، والألعاب ، التي تتطلب عرض حزمة اكبر لتجنب الانتظار.

و عرضت الكثير من المناقشات الجادة حول امكانية انهيار للشبكة ذات الحمل الزائد أو المزدحمة و كان جزأ كبير من المشكلات مرتبط بالخوارزميات المستخدمة او غير المستخدمة في بروتوكول التحكم بالإرسال TCP.

يتحدد الأداء الجيد أو السيئ للشبكة بشكل كبير بمدى التنفيذ الفعال لبروتوكول TCP،و الذي يعتبر البروتوكول الأكثر استخداما في شبكة الإنترنت .

2- خوارزميات التحكم بالازدحام TCP المعيارية (Standard Tcp Congestion Control Algorithms) :

آخر معيار في تنفيذ بروتوكول TCP اليوم يمكن أن نجده في الوثيقة RFC 2581 ، يوضح هذا المرجع أربع خوارزميات للتحكم بالازدحام التي تستخدم الآن بشكل واسع.[2.8]

يمنع التحكم بالازدحام في بروتوكول TCP الطرف المرسل من تجاوز سعة الشبكة من خلال السماح لها بتعديل معدل إرسالها لتجنب الازدحام في الموجهات، أو على الوصلات ، أو في الوجهة لدى المضيف .

يدعم بروتوكول التحكم بالإرسال TCP أربع خوارزميات أساسية للتحكم بالازدحام وهي:

- بداية بطيئة (Slow-Start) .
- تجنب الازدحام (Congestion Avoidance).
- إعادة الإرسال السريع (fast retransmission) .
- الاسترجاع السريع (Fast recovery) .

3- تقنيات التحكم بالازدحام الغير معتمدة على بروتوكول TCP :

يوجد العديد من التقنيات التي لم تنفذ مباشرة ضمن بيئة TCP Soft Ware ،هذه التقنيات تؤثر بشكل غير مباشر على ضبط الازدحام في بروتوكول TCP :

الكشف العشوائي المبكر (Random Early Detection):

وفق هذه الإلية يتم إهمال الرزم بشكل عشوائي قبل أن يمتلئ الرتل، إن استراتيجية إهمال الرزم تعتمد بشكل أساسي على متوسط طول الرتل، حيث انه عندما يزيد حجم الرتل فإن احتمال إهمال الرزم القادمة بواسطة آلية الكشف المبكر (RED) سوف يكون كبير بالمقارنة مع حجم الرتل المنخفض.

الكشف العشوائي المبكر الموزون (WRED) :

تجمع آلية الكشف العشوائي المبكر الموزون آلية RED مع أولوية IP لتحقيق إهمال الرزم اعتمادا على الأولوية IP .تقوم هذه الخوارزمية بمراقبة طول الرتل في الموجه ويحدد متى يبدأ إهمال الرزم بالاعتماد على طول الرتل على واجهة الموجه.

الفكرة التي تقف خلف استخدام هذه الخوارزمية هي الاحتفاظ بطول الرتل عند مستوى ما بين العتبة الدنيا والعظمى وتنفيذ سياسات إهمال مختلفة من اجل أصناف مختلفة من البيانات .

إن الأولوية IP تقوم بتحديد الرزم التي سوف يتم إهمالها والسبب في ذلك إن البيانات ذات الأولوية المنخفضة لها معدل إهمال عالي أكثر من الرزم ذات الأولوية الأعلى.

محاكاة خوارزميات التحكم بالازدحام :

مع التطور المستمر الذي يشهده عالم الشبكات، تطورت وعلى التوازي برامج المحاكاة والتصميم والتي تساعد في تقييم أداء الشبكات. وخصوصا أن معظم التطبيقات التي تدعمها هي تطبيقات حرجة بالنسبة للزمن وموثوقية الأداء تم في هذا البحث محاكاة خوارزميات التحكم بالازدحام باستخدام برنامج opnet.

تُعد برمجيات OPNET, OMNeT++ من برامج المحاكاة المهمة التي يمكن الاعتماد عليها في دراسة و تحليل ومعرفة أداء الشبكات وهي تعتمد على لغات البرمجة المطورة مثل C++ ، إضافة إلى اتباعها للبناء الهرمي في عملية تصميم ونمذجة الشبكة المطلوبة وعناصرها.

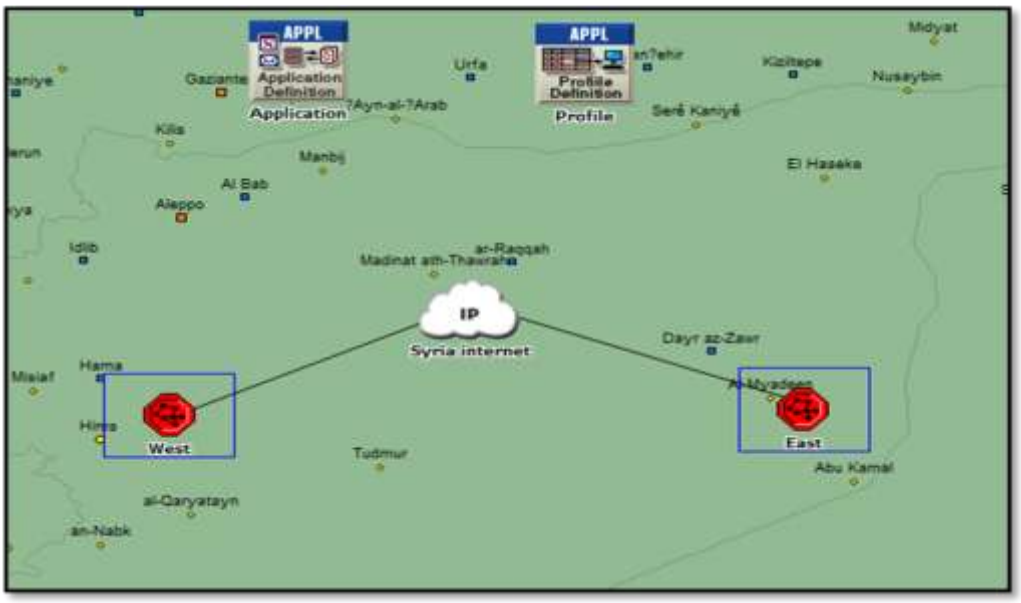
برنامج opnet المستخدم في هذا البحث يتميز بإمكانيات إضافية تجعله الأنسب، أهمها أن العناصر والمعايير التي يدعمها هي عناصر تجارية متوفرة في سوق الشبكات بشكل واسع وحقيقي مما يجعل النتائج دقيقة الى حد كبير وتكاد تكون اقرب الى الواقع ، كما يسمح للمستخدم بتحديد العديد من البارامترات كالتردد والضجيج والتشويه ومعدل نقل البيانات ومعدل الخطأ وغيرها من البارامترات المهمة للمصمم ، ومن جهة أخرى يتضمن مجموعة من المحررات تسمح بمرونة عالية عند تعديل التصميمات .

تُظهر المحاكاة النتائج العملية للسيناريوهات التي تم افتراضها واختبارها لإظهار مدى تأثير خوارزميات التحكم بالازدحام على أداء بروتوكول التحكم بالنقل TCP ، وتمت مناقشة سيناريوهات محاكاة هذه الخوارزميات ومقارنة أداء هذه الخوارزميات من خلال تحليل نتائج المحاكاة .

يتضمن بروتوكول TCP آليات التحكم بتدفق البايتات التي يمكن استقبالها من المرسل، الفكرة التي تكمن وراء آليات التحكم بالازدحام هي كيفية قيام مرسل سريع بإرسال بيانات إلى مستقبل بطئ مما يؤدي إلى حمولة زائدة على الشبكة وبالتالي حدوث الازدحام ،لذلك يجب على المستقبل تحديد مقدار السعة المتوفرة في الشبكة ، وهكذا يعرف عدد الرزم التي يمكن إرسالها بأمان، يحتفظ المصدر بمتغير حالة من اجل كل اتصال ، يدعى بنافذة الازدحام (Congestion Windows) ، والذي يستخدم من قبل المصدر لتحديد كمية المعلومات المسموحة بالانتقال خلال زمن معطى.

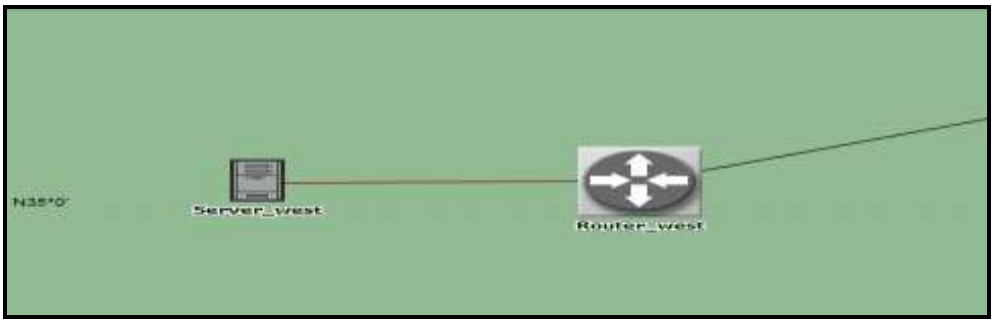
1-السيناريو الأول اختبار بروتوكول التحكم بالنقل TCP دون إهمال الرزم (No Drop)

يتم تحديد العناصر في منطقة العمل كما هو مبين في الشكل (14):



الشكل (14) العقد في منطقة العمل

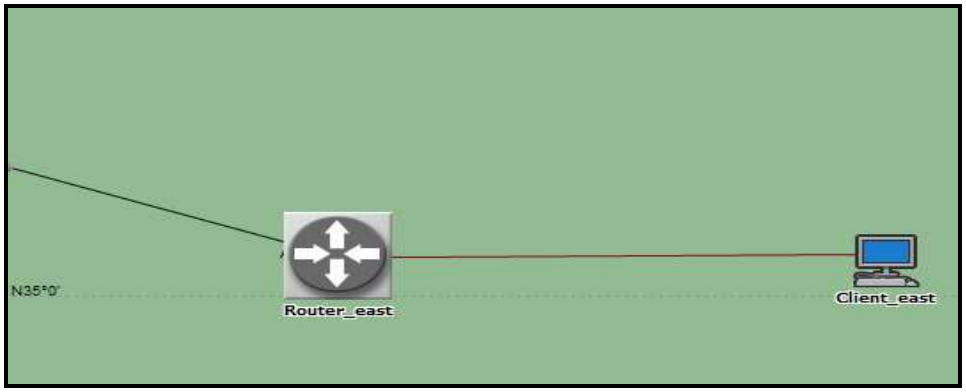
ثم يتم إعداد الشبكة الفرعية West Subnet العناصر بواسطة الوصلة من النمط 100-baseT ثم نقوم كما في الشكل (15):



الشكل (15) تهيئة الشبكة الفرعية West Subnet

ثم يتم إعداد الشبكة الفرعية East Subnet :

ونقوم بوصل العناصر باستخدام الوصلة 100-baseT ثم نقوم كما في الشكل (16):



الشكل (16) تهيئة الشبكة الفرعية East Subnet

بعد ذلك يتم تنفيذ مجموعة من الاجرائيات البرمجية ضمن البرنامج لتنفيذ عمل السيناريوهات المقترحة بالشكل الكامل

2- السيناريو الثاني (Drop no fast) إهمال الرزم غير السريع :

في السيناريو السابق تم إعداد الشبكة مع عدم إهمال الرزم وفي هذا السيناريو تم إهمال **5%** من الرزم أي (0.05) في العقدة ip cloud وتتم مراقبة عمل بروتوكول TCP

3- السيناريو الثالث (Drop-fast) إهمال الرزم السريع:

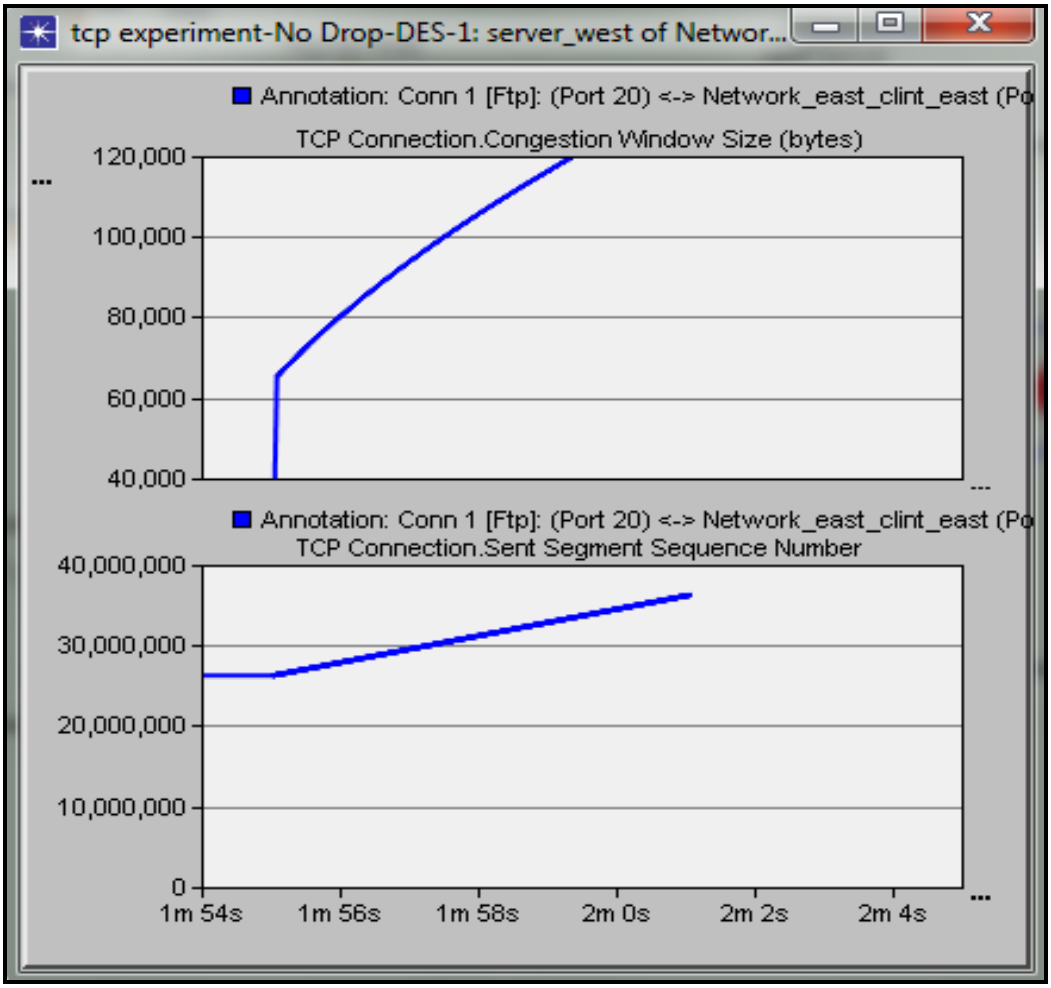
في هذا السيناريو يتم تفعيل خوارزميتي التحكم بالازدحام fast retransmit و fast recovery ومراقبة عمل البروتوكول TCP رغم وجود إهمال للرزم قدره 5% في العقدة ip could .

النتائج والمناقشة:

تشغيل المحاكاة وعرض النتائج :

تم تشغيل المحاكاة لجميع السيناريوهات ونبين فيما يلي نتائج المحاكاة في حالات السيناريوهات المختلفة :

1- نتائج السيناريو الأول No_Drop :

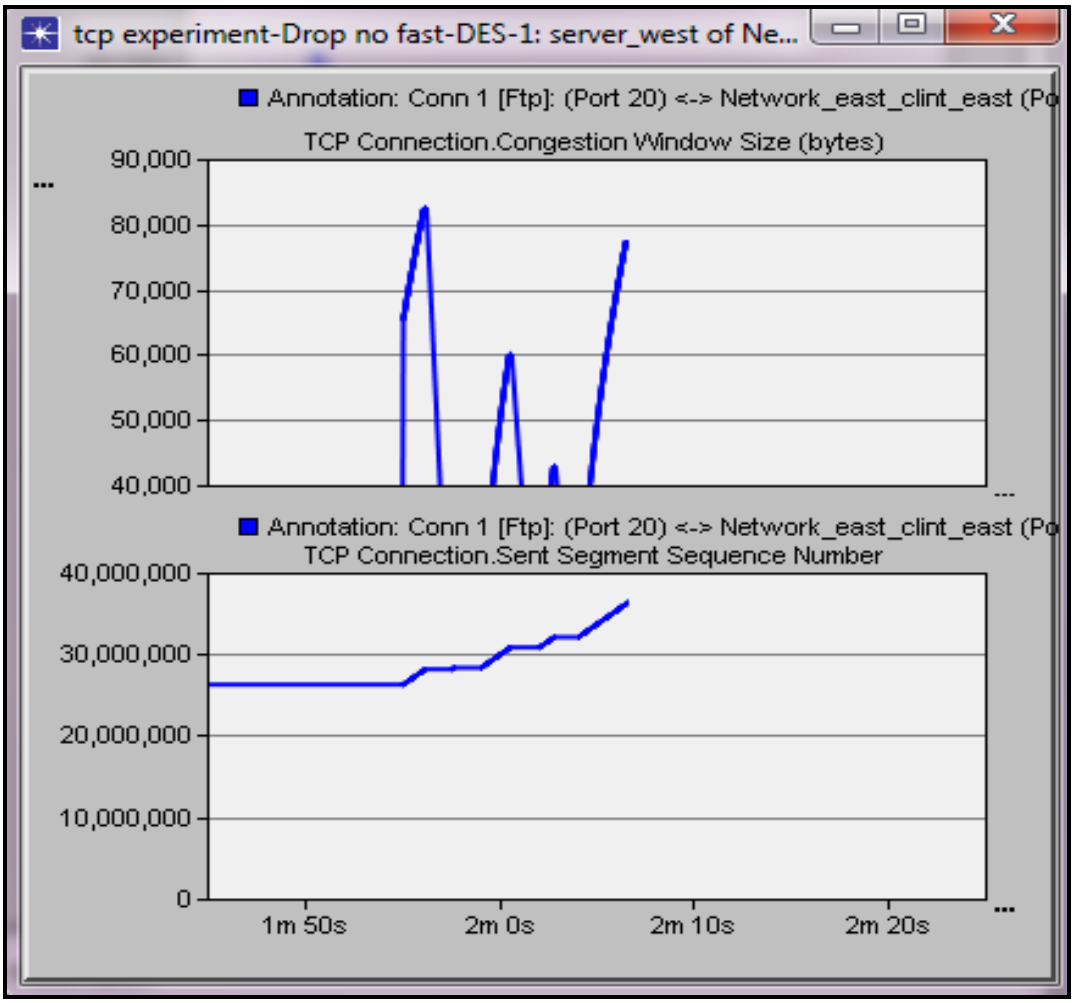


الشكل (16) نتائج السيناريو الأول (no drop)

نلاحظ بنتيجة محاكاة السيناريو الأول (No_Drop) تزايد كلاً من حجم النافذة window size (bytes) ورقم المقطع (segment sequence number) بشكل ثابت وهذا يعني تكاملية المعلومات، حيث لا يوجد أي ضياع في الرزم ولم يكتشف أي ازدحام، وبمعنى أخر يتم تسليم الرزم وإرسال إشعارات باستلامها على التوالي.

2-نتائج السيناريو الثاني (Drop no fast) :

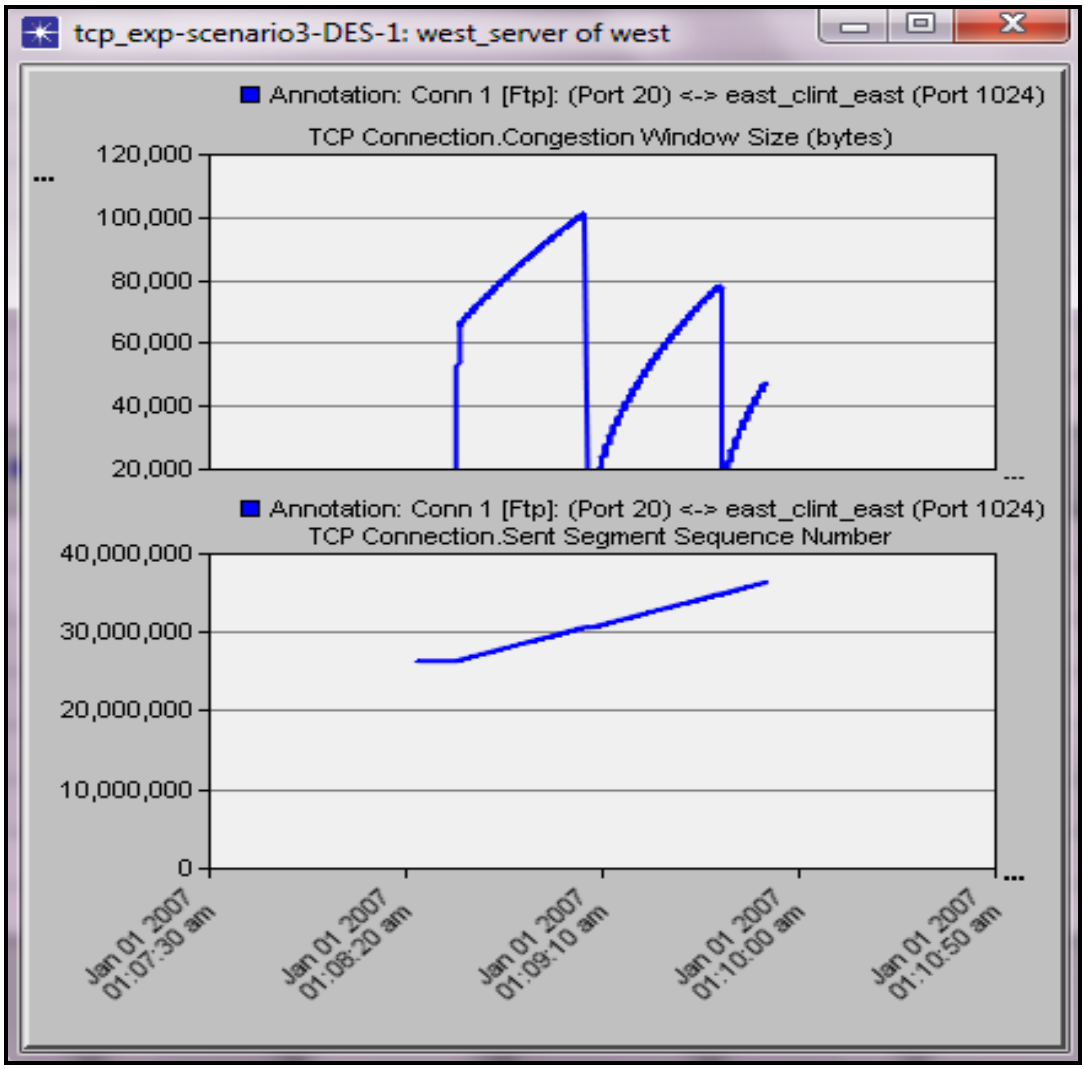
بنتيجة محاكاة السيناريو الثاني (Drop no fast) يُلاحظ أن حجم النافذة window size (bytes) ورقم المقطع (segment sequence number) يتزايدان بشكل ثابت وغير كبير مع الاشارة الى انه في الحالات التي يحدث فيها الازدحام يكون هناك تناقص في نافذة الازدحام، والسبب هو أن 5% من الرزم سوف يتم إهمالها في العقدة IP Could بالتالي فإن الحزم المهملة يعاد إرسالها ، ويظهر ذلك في الخطوط الأفقية للمنحنى البياني الخاص في sequence number كما يظهر أن رقم المقطع (segment sequence number) هو غالبا غير متزايد مع كل مرة يحدث فيها إهمال للرزم في نافذة الاختناق الشكل (17).



الشكل (17) نتائج السيناريو الثاني(drop no fast)

3-نتائج السيناريو الثالث (Drop-fast) :

بنتيجة محاكاة السيناريو الثالث (Drop-fast) يظهر أن نافذة الازدحام تبدو متقلبة بشكل حدي نوعاً ما، كما أن الرقم المتسلسل للإطار يتزايد بثبات الى حد كبير و ذلك بسبب تغير حالة نافذة الازدحام السريع مع الاشارة الى انه بالتدقيق في الخط البياني للرقم المتسلسل للإطار نلاحظ وجود تعرجات خفيفة جداً ناتجة عن خطوط أفقية صغيرة و يُعزى ظهورها الى اللحظات التي يتم فيها حدوث إهمال الرزم و هي ذات قيم صغير جداً وسبب صغر هذه المناطق عائد لاستخدام خوارزمية fast retransmit (خوارزمية الإرسال السريع) الشكل (18).



الشكل (18) نتائج السيناريو الثالث (drop fast)

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

بنتيجة البحث وبعد تحليل نتائج المحاكاة للسيناريوهات المختلفة المدروسة يمكن ان نستخلص الأمور التالية التي تساعد في تحقيق اداء أفضل للشبكة:

- تصميم الشبكة على مبدا (No_Drop) يجعل من حجم النافذة (bytes) window size ورقم المقطع (segment sequence number) يتزيدان بشكل ثابت مما يحقق تكاملية المعلومات ، حيث لا يوجد أي ضياع في الرزم ولم يكتشف أي ازدحام و بالتالي يمكن تصميم أنواع من الشبكات اكثر موثوقية.
- استخدام أسلوب عمل (Drop no fast) يظهر تزايد في حجم النافذة (bytes) window size ورقم المقطع (segment sequence number) بشكل ثابت وغير كبير مع الاشارة الى انه في الحالات التي يحدث فيها الازدحام يكون هناك تناقص في نافذة الازدحام.

- استخدام أسلوب عمل (Drop–fast) واستخدام خوارزمية fast retransmit (الإرسال السريع) يُظهر أن نافذة الازدحام تبدو متقلبة بشكل حدي نوعاً ما، كما أن الرقم المتسلسل للإطار يتزايد ولكن بثبات الى حد كبير وذلك بسبب تغير حالة نافذة الازدحام السريع الى اللحظات التي يتم فيها حدوث إهمال الرزم و هي ذات قيم صغير جداً وسبب صغر هذه المناطق عائد لاستخدام خوارزمية fast retransmit

التوصيات:

يمكن اجراء المحاكاة للسيناريوهات المختلفة المدروسة في حالات مختلفة مع نسب اهمال رزم مختلفة وعلى فترات زمنية أكبر للمحاكاة بما يُساعد في تحقيق وتحديد النقاط الأمثل لتصميم شبكات ذات داء أفضل:

المراجع:

[1] SALLY FLOYD. *TCP and Explicit Congestion Notification*, ACM Computer Communications Review, October 1994, p. 10-23.

[2] HARRIS INTERACTIVE. *P.C. and Internet Use Continue to Grow at Record Pace*. Press Release, February 7, 2010.

[3] FLOYD S.; HENDERSON, T.. *The New Reno Modification to TCP's Fast Recovery Mechanism*, April 1999, RFC 2582.

[4] SALLY FLOYD ; KEVIN FALL. *Promoting the Use of End-to-End Congestion Control in Internet.* IEEE/ACM Transactions on Networking, August 1999

[5] JACOBSON, V. AND BRADEN, R.. *TCP Extensions for Long-Delay Paths*, October 1988, RFC 1072.

[6] VAN JACOBSON. *Modified TCP Congestion Control Avoidance Algorithm.* end-2end-interest mailing list, April 30, 1990.

[7] AMIT AGGARWAL, STEFAN SAVAGE,; THOMAS ANDERSON. *Understanding the Performance of TCP Pacing*, March 30, 2012, IEEE InfoCom 2000.