مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (6) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (6) 2011

جودة الخدمة في الانترنت

الدكتور تاج الدين جركس*
الدكتور عدنان معترماوي**
غسان ناصر***

(تاريخ الإيداع 19 / 6 / 2011. قُبِل للنشر في 29 / 12 / 2011)

□ ملخّص □

افتقرت شبكة الانترنت في بدايتها جودة الخدمة، واعتمدت نموذج أفضل جهد الذي يعمل على قاعدة القادم أولاً يتم تخديمه أولاً (FIFO)، ولكن مع ظهور التطبيقات الشبكية بالزمن الحقيقي والتنوع الكبير في حجم تطبيقات الانترنت أصبح من الضروري دعم عدة مستويات من جودة الخدمة، وتقديم أصناف مختلفة من حركات السير.

يقدم هذا البحث نظرة عامة وشاملة على مختلف جوانب جودة الخدمة وفق منهجية جديدة تقوم على دراسة جودة الخدمة في الانترنت وتحليلها وتقويمها، وإجراء مقارنة بين هيكليتي جودة الخدمة في الانترنت؛ كما يعرض البحث نتائج محاكاة تساعد في استكشاف نموذج جودة الخدمة الذي يمكن استخدامه والتوليفات التي يمكن تقديمها لتحسين بارامترات جودة الخدمة باستخدام تقنيات مختلفة. وفي نهاية البحث يتم تقديم استنتاجات وتوصيات مناسبة تساهم في تطوير جودة الخدمة في الانترنت وتحسينها.

الكلمات المفتاحية: جودة الخدمة، خدمة أفضل جهد، الخدمات المتكاملة، الخدمات المتمايزة.

* أستاذ – قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** مدرس – قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
*** طالب دكتوراه – قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (6) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (6) 2011

The Service Quality of the Internet

Dr. Tajedin Jarkas [*]
Dr. Adnan Moatarmawi [**]
Ghassan Nasser [***]

(Received 19 / 6 / 2011. Accepted 29 / 12 / 2011)

□ ABSTRACT □

Internet network was lacked to the QoS at the beginning and it was based on the best effort model that works on the base: First-In First-Out (FIFO). However, with the creation of real time network applications and the big diversity of Internet application volume, the support of QoS levels and providing different traffic classes became necessary.

This paper presents review over different sides of QoS according to a new method that is based on investigating, analyzing and evaluating QoS in the Internet, and introduces a comparison of architectures of QoS in the Internet.

Also in this paper simulation results are presented, which explore what kind of QoS the combination of Integrated and Differentiated Services can offer using different techniques for improving and enhancing parameters of QoS.

At the end of paper, some suitable conclusions and recommendations for developing and improving QoS in the Internet were provided.

Keywords: Quality of Service (QoS), best effort service, Integrated Services (IntServ), Differentiated Services (DiffServ).

[*] **Professor, Department of communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen, Lattakia, Syria.**
[**] **Assistant Professor, Department of communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen, Lattakia, Syria.**
[***] **Post Graduate Student, Department of communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen, Lattakia, Syria.**

المقدمة:

تعد جودة الخدمة من أهم مقاييس الأداء في الانترنت ويمكن تعريفها بطرق مختلفة؛ فهي تشير إلى القدرة على تقديم ضمان الموارد، وتمييز الخدمة وتقديم خدمة أفضل لتدفق معين فوق تقنيات شبكية متنوعة، وتتضمن شبكاتFrame Relay، ATM، Ethernet، 802.1، SONET، وشبكات IP التي يمكنها أن تستخدم إحدى هذه التقنيات الأساسية التحتية أو جميعها [1]، و[2].

افتقرت شبكة الإنترنت عند انتشارها في البدايات القدرة على توفير ضمانات جودة الخدمة بسبب محدودية طاقة حوسبة الموجه وقد تم تصميمها بالاعتماد على نموذج أفضل جهد (best effort) الذي يعمل على مبدأ القادم أولاً يتم تخديمه أولاً (FIFO)، ولكن بالرغم من أن هذه الهيكلية تعمل بشكل جيد مع التطبيقات التقليدية مثل e-mail، FTP، telnet، وHTTP، إلا أنه مع ظهور التطبيقات الشبكية بالزمن الحقيقي التي شهدتها السنوات القليلة الماضية والتنوع الكبير في حجم تطبيقات الانترنت أصبح من الضروري دعم عدة مستويات من QoS وتقديم أصناف مختلفة من حركات السير (different classes of traffics).

فدعم تطبيقات الزمن الحقيقي في الانترنت يتطلب تصنيفا لحركات السير وضمانات مستوى الخدمة من الشبكة التحتية الأساسية لكل صنف من أصناف حركات السير.

إن أحدى التحديات في مخططات دعم QoS هي قدرة هذه المخططات على تقديم خدمة أفضل دون زيادة تعقيد إدارة الانترنت ودون الضرر في خصائصها المتضمنة مشاركة الموارد وكفاءة الاستخدام وعدالة النظام.

لقد اقترحت IETF (Internet Engineering Task Force) عدة تقنيات ونماذج هيكليات مختلفة لتغطية متطلبات التطبيقات من QoS في الانترنت تتضمن هيكلية الخدمات المتكاملة (IntServ) وهيكلية الخدمات المتمايزة (DiffServ) بالإضافة إلى تبديل اللافتة المتعدد البروتوكولات (MPLS) وهندسة حركة السير (traffic engineering) [3]، و[4].

نقوم في هذا البحث بالدراسة والتحليل والتقويم لجودة الخدمة في الانترنت وفق منهجية جديدة لتقديم نظرة عامة وشاملة على مختلف جوانب جودة الخدمة، وإجراء مقارنة بين هيكليتي جودة الخدمة في الانترنت توضح محاسن كل هيكلية وعيوبها، وتحدد أسباب اختيار هذه الهيكلية أو تلك؛ كما يعرض البحث نتائج محاكاة تساعد في استكشاف نموذج QoS والتوليفات التي يمكن تقديمها لتحسين بارامترات QoS باستخدام تقنيات مختلفة.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من أهمية جودة الخدمة في الانترنت التي تهدف إلى تقديم معالجة تفضيلية لتدفقات معينة بحسب أهمية هذه التدفقات، ولاسيما بعد التنوع الكبير في حجم تطبيقات الانترنت ومتطلباتها المختلفة.

يهدف هذا البحث إلى تقديم نظرة عامة وشاملة على مختلف جوانب جودة الخدمة وإجراء مقارنة بين هيكليتي جودة الخدمة في الانترنت وفق منهجية جديدة تقوم على دراسة جودة الخدمة في الانترنت وتحليلها وتقويمها، بالإضافة إلى عرض نتائج محاكاة تساعد في استكشاف نموذج QoS والتوليفات التي يمكن تقديمها لتحسين بارامترات QoS باستخدام تقنيات مختلفة.

وفي نهاية البحث يتم تقديم استنتاجات وتوصيات مناسبة تساهم في تطوير جودة الخدمة في الانترنت وتحسينها.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث طريقة التحليل الوصفي وهو يقدم منهجية جديدة في تقديم نظرة عامة وشاملة على مختلف جوانب جودة الخدمة تبدأ بمقدمة عامة للتعريف بجودة الخدمة وأهميتها في الانترنت، ثم تنتقل بعد تحديد أهمية البحث وأهدافه إلى مناقشة بارامترات QoS ومتطلبات التطبيقات من هذه البارامترات وبعد دراسة وتحليل وتقييم QoS في الانترنت يتم إجراء مقارنة بين هيكليتي جودة الخدمة في الانترنت، ثم يعرض البحث نتائج محاكاة تساعد في استكشاف نموذج QoS والتوليفات التي يمكن تقديمها لتحسين بارامترات QoS باستخدام تقنيات مختلفة، بالإضافة إلى تقديم استنتاجات وتوصيات تساهم في التطوير والتحسين لجودة الخدمة في الانترنت. وفي نهاية البحث يتم عرض المراجع العلمية المستخدمة في البحث.

1-**تحديد جودة الخدمة:**

يتم تحديد QoS بإحكام بواسطة البارامترات الأساسية الآتية [5]:

1-1-عرض الحزمة (bandwidth): يحتاج أي تطبيق إلى تخصيص عرض حزمة محدد، ويتم ضمانه عادة بتعيين التدفق العابر (Throughput) الذي يمثل عدد وحدات البيانات المنقولة خلال واحدة الزمن، كما يمكن نمذجة حركة السير لضمان عرض الحزمة بمعدل بت ثابت أو بنماذج أخرى كتقنية الدلو المثقوب (leaky bucket) الذي يحدد معدل الخروج وحجم الرشقة (burst size).

1-2-التأخير (delay): هو الفترة الزمنية بين مغادرة البيانات من المصدر ووصولها إلى الوجهة، ويشار إلى ذلك عادة بالتأخير من طرف إلى طرف ويعبر عادة عن الأداء المطلوب بمفهوم حد التأخير الأعظمي المسموح D_{max}.

1-3-الرجرجة (jitter): هي التغير في تأخير الرزم التي تنتمي إلى التدفق نفسه؛ فمثلا إذا غادرت ثلاث رزم في الأزمنة0, 1, 2 ووصلت في الأزمنة 30, 31, 32 فإن جميع هذه الرزم تملك التأخير نفسه ومقداره 30 وحدة زمنية، وتكون هذه الحالة مقبولة من أجل بعض التطبيقات مثل الصوت والفيديو. ومن جهة أخرى إذا وصلت الرزم الثلاثة السابقة في الأزمنة 31, 33, 35 فإنها تملك تأخيرات مختلفة مقدارها على الترتيب 31, 32, 33 وتكون هذه الحالة غير مقبولة من أجل تطبيقات الصوت والفيديو مثلا، ويتم عادة تعيين حد للرجرجة بواسطة قيمة عظمى أيضاJ_{max}. توجد طرق مختلفة لقياس وحساب الرجرجة منها:

- يمكن حساب الرجرجة J_i كفرق بين أزمنة المغادرة وأزمنة الوصول بتطبيق العلاقة:
  $J_i = I_i - A_i$ على كل من وحدة البيانات i ووحدة البيانات $i-1$،
  حيث: I_i زمن مغادرة لوحدة البيانات i، و A_i زمن الوصول.
- كما يمكن حساب الرجرجة كفرق بين تأخير وحدة البيانات (i) ووحدة البيانات $(i+1)$ أي أن :
  $J_i = D_{i+1} - D_i$
  حيث: D_i تأخير وحدة البيانات i، و D_{i+1} تأخير وحدة البيانات $i+1$

1-4-الوثوقية (reliability): هي دقة تسليم وحدات البيانات إلى وجهتها وهي خاصية يحتاجها أي تدفق، وإن أي نقص في الوثوقية يعني وجود ضياع في الرزم، ويحدد هذا الضياع النسبة المئوية لواحدة البيانات التي لم تصل إلى وجهتها خلال فترة زمنية معينة.

1- متطلبات التطبيقات من جودة الخدمة:

تختلف درجة تسامح وحساسية التطبيقات لبارامترات جودة الخدمة بشكل كبير من تطبيق إلى آخر [3]، و[4]. توجد تطبيقات لها متطلبات صارمة من بعض بارامترات جودة الخدمة وتتسامح مع البعض الآخر، فمثلا تكون التطبيقات العديدة الوسائط عادة حساسة للتأخير من طرف إلى طرف وللرجرجة، ولكن يمكن للعديد منها أن يتسامح مع ضياع الرزم إلى حد ما. ومن جهة أخرى، لقد تم تصميم TCP، الذي يعتمد عليه العديد من تطبيقات الإنترنت، لتقديم أعلى ضمان من التسليم الموثوق للبيانات دون أي اعتبار للتأخير والرجرجة [4] و[10].

نبين في الجدول (1) مدى صرامة متطلبات التطبيقات الشائعة من جودة الخدمة [4]، [5] و[10].

الجدول (1) يبين مدى صرامة متطلبات التطبيقات الشائعة من جودة الخدمة

التطبيق (Application)	عرض الحزمة (Bandwidth)	التأخير (Delay)	الرجرجة (Jitter)	الوثوقية (Availability)
البريد الالكتروني (E-Mail)	منخفض (low)	منخفض (low)	منخفضة (low)	عالية (high)
نقل الملفات (File Transfer)	متوسط (medium)	منخفض (low)	منخفضة (low)	عالية (high)
تصفح الويب (Web Browsing)	متوسط (medium)	متوسط (medium)	منخفضة (low)	عالية (high)
الولوج من بعيد (Remote Access)	منخفض (low)	متوسط (medium)	متوسطة (medium)	عالية (high)
الصوت حسب الطلب (Voice on demand)	متوسط (medium)	منخفض (low)	مرتفعة (high)	منخفضة (low)
الفيديو حسب الطلب (Video on demand)	مرتفع (high)	منخفض (low)	مرتفعة (high)	منخفضة (low)
الهاتفية (Telephony)	منخفض (low)	مرتفع (high)	مرتفعة (high)	منخفضة (low)
المؤتمرات المرئية (Video Conference)	مرتفع (high)	مرتفع (high)	مرتفعة (high)	منخفضة (low)

2- بعض تقنيات تحقيق جودة الخدمة:

نناقش في هذه الفقرة بعض التقنيات الأساسية التي يمكن استخدامها لتحقيق QoS [4]، [5]، و[6]:

2-1- توفير احتياطي كبير من الموارد: يوجد حل بسيط لتحقيق QoS يكمن في توفير كمية كبيرة من الموارد بحيث تنتقل الرزم بسهولة عبر الشبكة، غير أن مشكلة هذا الحل هي أنه حل غال ومكلف. ولكن مع تقدم الوقت وتبلور أفكار أفضل لدى المصممين حول كميات الموارد اللازمة والكافية لتخديم التدفقات فقد تصبح هذه التقنية عملية وقابلة للتطبيق. يعد نظام الهاتف مثالاً لهذا الحل، فهو ذو سعة كبيرة قادرة على تلبية الطلبات بشكل دائم.

2-2- التخزين المؤقت (buffering): يمكن تخزين التدفقات عند جانب المستقبل قبل أن يتم تسليمها لأن تخزين التدفقات مؤقتا لا يؤثر على عرض الحزمة أو الوثوقية، ولكنه يزيد التأخير، ويخفض

من حدة الرجرجة (عدم الاستقرار). يساعد استخدام تقنية التخزين المؤقت في حل مسألة الرجرجة التي تعد المشكلة الرئيسة التي تعاني منها تطبيقات الصوت والفيديو عند الطلب؛ وذلك بتأخير بعض الرزم أكثر من غيرها، ولكن من مساوئ هذه التقنية أنها تحتاج مخزناً مؤقتاً كبيراً نسبياً.

2-3- حجز الموارد (Resource Reservation): يمكن تحقيق QoS إذا تم حجز الموارد التي يحتاجها التدفق على طول مسار يتم إعداده مسبقا من المصدر إلى الوجهة ويشكل ما يشبه الدارة الوهمية، وعلى جميع الرزم التي تنتمي إلى هذا التدفق أن تسلك هذا المسار.

توجد ثلاثة أنواعٍ من الموارد يمكن حجزها وهي: عرض الحزمة، المخازن المؤقتة، ودورات من المعالجة.

1- حجز عرض الحزمة (Bandwidth Reservation): يؤدي حجز عرض الحزمة إلى عدم الاشتراك بشكل يزيد عن المتوفر على أي خط خرج، فإذا كان التدفق يحتاج 1Mbps وكان للخط الصادر سعة تبلغ 2Mbps فإنه لن تنجح؛ مثلاً محاولة إرسال ثلاثة تدفقات عبر هذا الخط.

2- حجز المخازن المؤقتة (Buffers Reservation): عندما تصل رزمة ما تتوضع على بطاقة الشبكة، ثم تقوم برمجيات الموجه بنسخه إلى مخزن مؤقت (buffer) في الذاكرة RAM ويقوم المخزن المؤقت بدوره في ترتيبها في رتل إرسال عبر خط الخرج المحدد، فإذا لم يتوافر المخزن المؤقت اللازم سيتم إهمال الرزمة لعدم وجود مكان لوضعها فيه، ونظراً لعدم توفر هذا المورد بشكل كاف فإنه من الممكن حجز بعض المخازن المؤقتة لصالح تدفق معين لكي لا يكون هذا التدفق مضطرا للمنافسة مع تدفقات أخرى.

3- حجز دورات المعالج (CPU): تتطلب معالجة الرزمة من معالج الموجه زمنا معينا، فهو يستطيع معالجة عدد محدد من الرزم في كل ثانية، وبالتالي توجد حاجة لضمان معالجة كل رزمة في وقتها المناسب من خلال التأكد من أن المعالج غير محمل بأكثر من طاقته، وإلا ستتشكل الأرتال ويحدث التأخير. فإذا افترضنا بأنه لدينا وضع معين تصل فيه الرزم بشكل عشوائي بمعدل وسطي هو $\lambda\ ^{packets}/_{\sec}$ (λ رزمة/ ثانية)، وإذا كان الزمن الذي يحتاجه المعالج لمعالجة كل رزمة هو أيضا عشوائي ولكن بسعة معالجة وسطية تبلغ $M\ ^{packets}/_{sec}$ (M رزمة/ثانية)، وبفرض أن توزعات كل من عملية وصول الرزم وعملية معالجتها هي توزعات بواسون، فإنه يمكننا باستخدام نظرية الاصطفاف (Queuing Theory) إثبات أن التأخير الوسطي الذي تعانيه رزمة ما (سنرمز له بالرمز T) هو: $T = \frac{1}{\mu} \times \frac{1}{1-\rho} = \frac{1}{1-\lambda/\mu}$

حيث تمثل العلاقة $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ استخدام (utilization) المعالج، وفيها يمثل المعامل الأول $1/\mu$ زمن الخدمة في غياب المنافسة، ويمثل المعامل الثاني التباطؤ الناجم عن المنافسة مع تدفقات أخرى.

فمثلا إذا كانت $\lambda = 950000\ ^{\text{packet}}/_{\sec}$، و $\mu = 1000000\ ^{\text{packet}}/_{\sec}$

يكون $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{950000}{1000000} = 0.95$، ويكون التأخير الوسطي الذي تعانيه كل رزمة هو $20\ \mu sec$، فإذا كان هنالك مثلا 30 موجها على طول مسار التدفق فإن تأخير الاصطفاف لوحده سيبلغ $600\ \mu sec$.

3-3- إدارة الرتل والتحكم بالازدحام: تستعمل غالبا بوابات الاكتشاف المبكر العشوائي (RED) لتجنب الازدحام في شبكات الرزم بواسطة اكتشاف بداية الازدحام ورمي الرزم الواصلة إلى البوابة. تحسب الخوارزمية RED حجم الرتل الوسطي وتقارنه مع قيم عتبات محددة مسبقا، وعندما يكون حجم الرتل الوسطي أقل من قيمة

العتبة الأدنى فإنه لا يتم رمي أية رزمة، وعندما يكون حجم الرتل الوسطي أكبر من العتبة الأعلى فإن الخوارزمية ترمي الرزم الواصلة كلها، وبين هذين الحدين ترمي الخوارزمية كل رزمة باحتمال محدد يعتمد على حجم الرتل الوسطي.

تعد RED الموزونة أو المرجِّحة (WRED) أحد الأشكال المختلفة عن خوارزمية RED فهي ترمي الرزم بشكل انتقائي بالاعتماد على أسبقية IP، أي إن الرزم ذات القيمة الأعلى لبتات أسبقية IP تملك احتمالا أخفض للرمي من الرزم ذات القيمة الأخفض لبتات أسبقية IP. من هنا فهي تملك احتمالات رمي متمايزة، وقد تم تصميمها من أجل داخل الشبكة، بحيث يتم تعليم الرزم الداخلة إلى الشبكة ببتات أسبقية IP مناسبة عند موجهات الحافة.

3-4- الجدولة (Scheduling):

لقد تم تصميم عدة تقنيات جدولة لتحقيق QoS ومعالجة التدفقات المختلفة بأسلوب عادل وملائم، وإننا سنناقش هنا ثلاث تقنيات هي [5]:

- الاصطفاف FIFO (First-In-First-Out Queuing).
- الاصطفاف بحسب الأولوية (Priority Queuing).
- الاصطفاف العادل المرجِّح (Weighted Fair Queuing).

3-4-1- الاصطفاف FIFO: يقدم هذا الاصطفاف أبسط آلية للجدولة يتم فيها تخديم الرزم بترتيب وصولها حيث تنتظر الرزم في رتل (buffer) حتى تكون العقدة (الموجه أو المبدل) جاهزة لمعالجتها، وعندما يكون معدل الوصول الوسطي أعلى من معدل المعالجة الوسطي فإن الرتل سيمتلئ وسيتم استبعاد الرزم الجديدة.

تتناسب خاصيتا تأخير وضياع الرزم في تقنية الجدولة FIFO مباشرة مع حجم الرتل المتاح، ومن جهة أخرى لا يمكن من خلالها تقديم أية ضمانات للتدفقات الفردية، كما إنها غير مناسبة لتمييز الخدمة وتقديم ضمانات QoS.

3-4-2- الاصطفاف بحسب الأولوية: يتم في هذا الاصطفاف تخصيص الرزم بصنف أولوية، ويكون لكل صنف أولوية رتله الخاص، وتتم معالجة الرزم بحسب تسلسل الأولوية حيث يتم في البداية معالجة الرزم الموجودة في رتل الأولوية الأعلى، وفي النهاية يتم معالجة الرزم الموجودة في رتل الأولوية الأخفض.

يعتمد اصطفاف الأولوية الساكن على وجود عدة أرتال FIFO بحيث يخصص لكل رتل بارامتر أولوية، ويتم تخديم الأرتال بترتيب أولويتها؛ وبالتالي يمكن تقديم جودة خدمة أفضل من الاصطفاف FIFO لأن أية حركة سير ذات أولوية أعلى (مثل الوسائط المتعددة) يمكنها أن تصل إلى وجهتها بأقل تأخير.

في الاصطفاف بحسب الأولوية عيب يتمثل في عدم إمكانية حصول الرزم الموجودة في الأرتال ذات الأولوية الأخفض على أية فرصة للتخديم في حالة وجود تدفق دائم في رتل الأولوية الأعلى.

3-4-3- الاصطفاف العادل المرجِّح (WFQ): يتم في هذه التقنية تخصيص الرزم بأصناف مختلفة، ويتم قبولها في أرتال مختلفة ولكن يتم ترجيح الأرتال بالاعتماد على أولوية الأرتال. تعني الأولوية الأعلى وزناً أعلى.

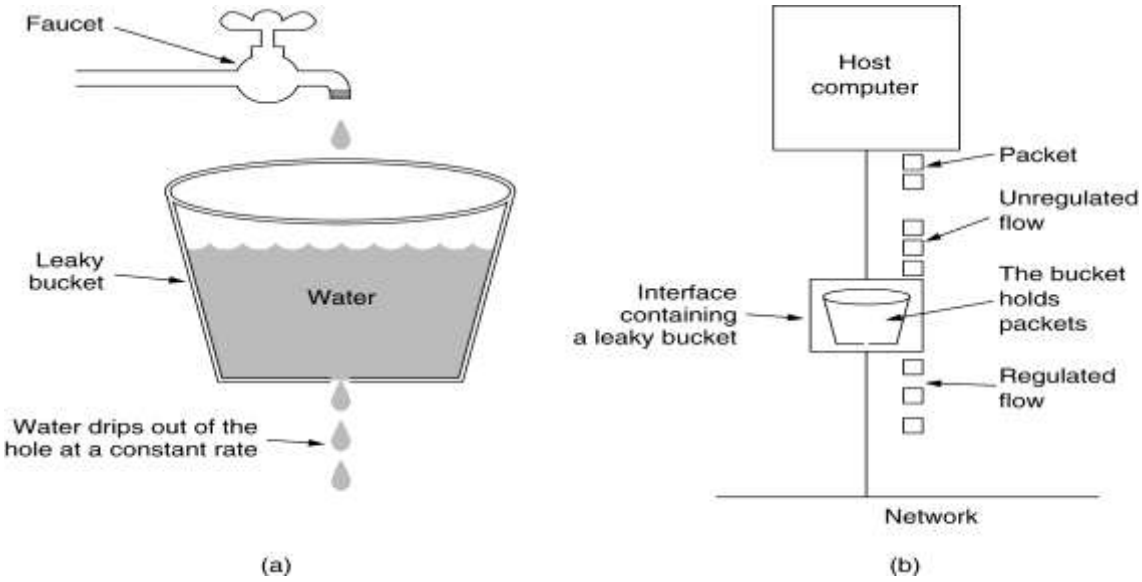
يقوم النظام بمعالجة الرزم في كل رتل بطريقة التخصيص الدوري (round robin) ويتم معالجة عدد من الرزم يتم اختياره من كل رتل بالاعتماد على الوزن الموافق، فمثلا تعني الأوزان 3, 2, 1 أن ثلاث رزم يتم معالجتها من الرتل الأول ورزمتان من الرتل الثاني ورزمة واحدة من الرتل الثالث.

يعد WFQ أفضل طريقة للجدولة فهو يسمح بتشارك عادل في عرض الحزمة بين جميع الأرتال ويناسب حركات السير ذات الرزم المغيرة الحجم كما هو الحال في الإنترنت؛ ولكن من مساوئه الحاجة إلى المحافظة على معلومات الاصطفاف لكل تدفق طالما يجب توليد الوزن المخصص لكل تدفق.

3-5- تشكيل حركة السير (Traffic Shaping):

تدور فكرة تشكيل حركة السير حول تنظيم المعدل الوسطي لعملية إرسال البيانات حيث توجد تقنيتان اثنتان لتشكيل حركة السير هما الدلو المثقوب، ودلو العلاَّم.

3-5-1- الدلو المثقوب (Leaky Bucket): يوضح الشكل (1) مبدأ عمل الدلو المثقوب الذي يقوم على فكرة تسرب الماء من الثقب الموجود أسفل الدلو. عند وجود ثقب صغير في أسفل دلو فإن الماء الموجود في الدلو سوف يتسرب بمعدل ثابت لا يتعلق بمعدل دخول الماء إلى الدلو؛ أي مهما تغير معدل الدخول يبقى معدل الخروج ثابتا. تقوم تقنية الدلو المثقوب في مسألة تشبيك QoS بتنظيم حركة السير الخارجة من الدلو المثقوب بواسطة تخزين رشقات البيانات الواردة إلى الدلو المثقوب الموجود في واجهات الاتصال، ثم يتم إرسال البيانات الخارجة بمعدل وسطي وهي تقوم برمي الرزم في حال امتلاء الدلو. يمكن أن تسبب بداية الرشقة عند عدم وجود الدلو المثقوب ضررا للشبكة باستهلاك عرض حزمة أكبر من المخصص لذلك المضيف. إذا كانت حركة السير تتألف من رزم متغيرة الطول فإن معدل الخروج الثابت يجب أن يعتمد على عدد البايتات أو على عدد البتات بدلا من عدد الرزم.

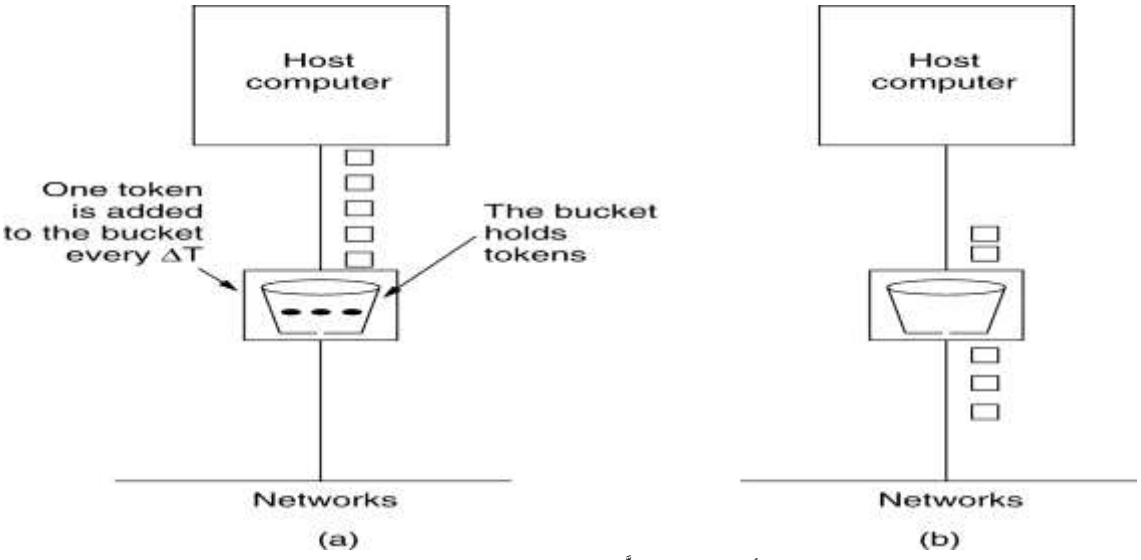


الشكل (1) يبين مبدأ عمل الدلو المثقوب (a): مع الماء، (b): مع الرزم

3-5-2- دلو العلاَّم (Token Bucket): يوضح الشكل (2) مبدأ عمل دلو العلاَّم الذي يقوم على فكرة إرسال عدد من الرزم يساوي عدد العلاَّمات الموجودة في الدلو. يتم في هذا الشكل إرسال ثلاث رزم لوجود ثلاثة علاَّمات في الدلو؛ بينما تنتظر الرزم الأخرى إضافة علاَّمات أخرى إلى الدلو لكي يتم إرسالها. تسمح خوارزمية دلو العلاَّم بتسريع الخرج عند وصول رشقة بيانات كبيرة، ولذلك فهي أكثر مرونة من خوارزمية الدلو المثقوب. يرسل النظام في خوارزمية دلو العلاَّم n علاَّما إلى الدلو كل تكة ساعة، ويقوم النظام بنزع

علاَّم واحد مقابل كل رزمة (أو بايت) من البيانات المرسلة، فعلى سبيل المثال إذا كانت $n = 100$ وتوقف المضيف لمدة 100 تكة فإن الدلو يجمع 10000 علاَّما، ويستطيع المضيف أن يستهلك جميع هذه العلاَّمات في تكة واحدة مع 10000 رزمة أو أن يأخذ المضيف 1000 تكة مع 10 رزم لكل تكة، وهذا يعني أن المضيف يستطيع أن يرسل دفقة بيانات ما دام الدلو غير فارغ.

3-5-3- جمع دلو العلاَّم مع الدلو المثقوب : يمكن دمج تقنية دلو العلاَّم مع تقنية الدلو المثقوب لتأمين اعتماد لمضيف متوقف عن العمل، وبالوقت نفسه لتنظيم حركة السير. يتم تطبيق الدلو المثقوب بعد دلو العلاَّم، كما أنه من الضروري، في هذه الحالة، أن يكون معدل الدلو المثقوب أعلى من معدل العلاَّمات التي يتم وضعها في الدلو.



الشكل (2) يبين مبدأ عمل دلو العلاَّم (a): قبل إرسال الرزم ، (b): بعد الرزم إرسال الرزم

لتوضيح الاختلاف بين تقنيتي الدلو المثقوب ودلو العلاَّم نبين في الجدول رقم (2) مقارنة بسيطة بين التقنيتين.

الجدول (2) يبين مقارنة بسيطة بين تقنية الدلو المثقوب وتقنية دلو العلاَّم

البيان	الدلو المثقوب	دلو العلاَّم
الادخار	لا تسمح بالادخار من أجل إرسال دفعات كبيرة فيما بعد	تسمح بالادخار حتى الحجم الأعظمي المتاح للدلو
دفقات الخرج	لا تسمح بدفقات بيانات في الخرج	تسمح بدفقات بيانات في الخرج إلى طول أعظمي محدد
رمي الرزم	تقوم برمي الرزم عندما يمتلئ الدلو	لا رميَ للرزم عندما يمتلئ الدلو ولكنها تتخلص من العلاَّمات نفسها

3-6- التحكم بالقبول (Admission Control):

يشير التحكم بالقبول إلى الآلية المستخدمة من قبل موجِّه أو مبدِّل لقبول أو رفض تدفق ما بالاعتماد على بارامترات محددة مسبقا تدعى مواصفات التدفق (flow specifications). يقوم الموجه (أو المبدل) قبل أن يوافق على قبول تدفق أو رفضه بتفحص مواصفات هذا التدفق للنظر فيما إذا كانت سعته بمفاهيم عرض الحزمة، والمخازن المؤقتة، ودورات المعالج، وحجوزاته السابقة للتدفقات الأخرى يمكنها أن تعالج التدفق الجديد.

4- هيكليات جودة الخدمة (QoS Architecture):

توجد هيكليتان يتم بموجبهما تقديم نموذجين من QoS هما: IntServ، وDiffServ:

4-1- هيكلية الخدمات المتكاملة (IntServ Architecture):

هيكلية الخدمات المتكاملة هي نموذج QoS يعتمد على التدفق، تم تصميمه من أجل شبكات IP ويتم فيه حجز الموارد من طرف إلى طرف من أجل كل تدفق بواسطة بروتوكول حجز الموارد (RSVP) الذي تم تصميمه في الأساس كبروتوكول تأشير لحجز موارد الشبكة [6].

4-1-1- التأشير (Signaling): نعلم بأن IP هو بروتوكول تبديل رزم (برقيات بيانات) عديم الاتصال. والمطلوب هنا معرفة كيف ننفذ نموذج QoS يعتمد على التدفق فوق بروتوكول عديم الاتصال. الحل هو بروتوكول تأشير يعمل فوق IP من أجل إنشاء حجز، يسمى هذا البروتوكول بروتوكول حجز الموارد.

4-1-2- مواصفات التدفق (Flow Specification): عندما يقوم مصدر ما بإنشاء حجز فإنه يحتاج تعريف مواصفات التدفق التي تتألف من جزأين هما مواصفات الموارد (RSpec)، ومواصفات حركة السير (TSpec). تعرِّف RSpec الموارد التي يحتاجها التدفق للحجز (المخزن المؤقت، عرض الحزمة، وغيرها)، وتعرِّف TSpec خصائص حركة سير التدفق. يبين الجدول رقم (3)، كمثال عن مواصفات التدفق، البارامترات الخمسة التي يمكن أن تحتويها مواصفات أي تدفق بحسب الوثيقتين RFC 2210، و RFC 2211.

الجدول (3) يبين مثالاً عن مواصفات تدفق ما

البارامتر	الوحدة
معدل دلو العلاَّم	Bytes/sec
حجم دلو العلاَّم	Bytes
معدل البيانات الذروي	Bytes/sec
حجم الرزمة الأصغري	Bytes
حجم الرزمة الأعظمي	Bytes

4-1-3- القبول (Admission): بعد أن يستقبل موجه ما مواصفات تدفق من تطبيق ما فإنه يقرر قبول أو رفض الخدمة بالاعتماد على الحجوزات السابقة للموجه وعلى ما هو متاح حاليا من الموارد.

4-1-4- أصناف الخدمة (Service Classes): يوجد في نموذج IntServ بالإضافة إلى خدمة أفضل جهد صنفان للخدمة هما: الخدمة المضمونة، وخدمة الحمل المتحكم به.

1- صنف الخدمة المضمونة (Guaranteed Service Class):

تم تصميم هذا النوع من الخدمة من أجل حركة سير بالزمن الحقيقي التي تحتاج إلى تأخير من طرف لطرف مضمون بحده الأدنى. تعد الخدمات المضمونة خدماتٍ كمِّيةً يتم فيها تحديد مقدار التأخير من طرف لطرف ومعدل البيانات من قبل التطبيق.

2- صنف خدمة الحمل المتحكم به (Controlled-Load Service Class):

تم تصميم هذا النوع من الخدمة من أجل تطبيقات يمكن أن تقبل بعض التأخيرات، ولكنها حساسة لزيادة تحميل الشبكة وخطر ضياع الرزم، وكمثال عن هذا النوع من التطبيقات نقل الملفات، والبريد الإلكتروني، والنفاذ إلى

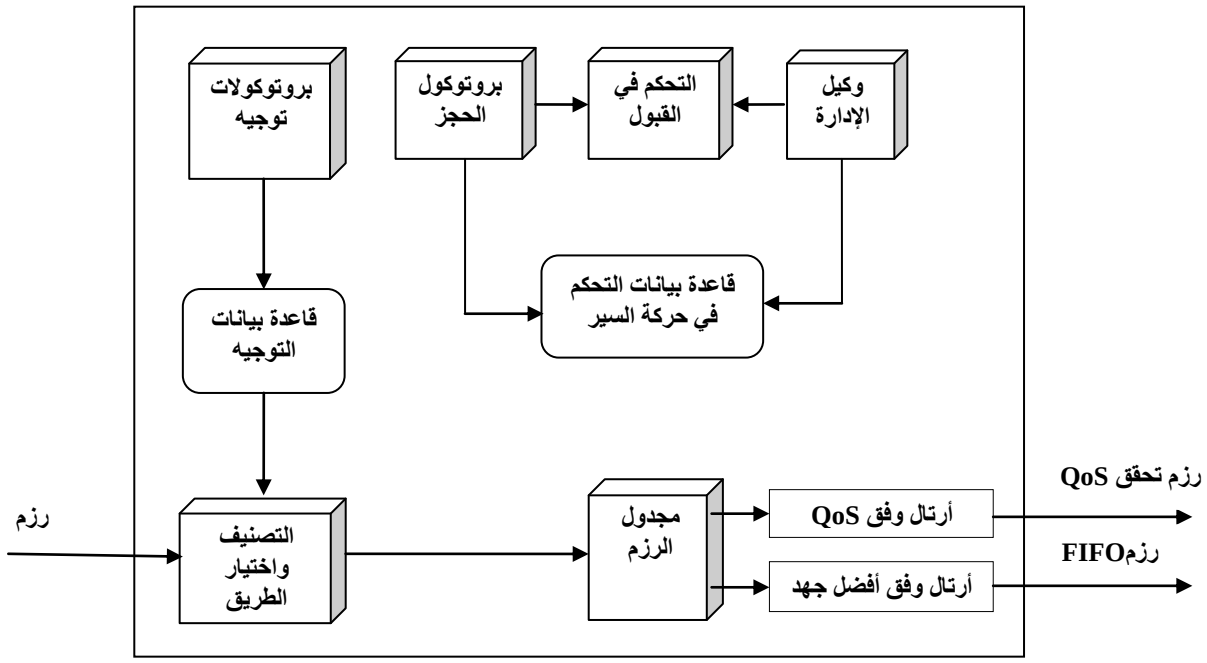
الانترنت. تعد خدمات الحمل المتحكم به خدمات نوعية يطلب فيها التطبيق احتمال ضياعٍ منخفضٍ للرزم أو عدم أي ضياع للرزم.

4-1-5- بروتوكول حجز الموارد (RSVP):

يحتاج أي برنامج تطبيق في نموذج IntServ حجز الموارد من طرف إلى طرف بواسطة بروتوكول حجز الموارد (RSVP) الذي تم تصميمه في الأساس كبروتوكول تأشير لحجز موارد الشبكة.

عندما يرغب تطبيق مضيف بإرسال بيانات بالزمن الحقيقي يقوم بإرسال طلب حجز موارد إلى المستقبل بواسطة بروتوكول توجيه (مثل OSPF)، ويجب اتخاذ عدة قرارات عند كل عقدة على المسار حيث يجب على العقدة أن تتأكد في البداية من توفر عرض الحزمة، كما يتم إجراء فحص عند كل عقدة للنظر فيما إذا كان من الممكن دمج هذا التدفق مع تدفقات من عقد أخرى، وبعد حجز المستقبل للموارد بنجاح على المسار الداخلي يتم إرجاع رسالة نجاح، وعندما يتم رفض الحجز من قبل أية عقدة يتم رفض الطلب وتتحرر الموارد المحجوزة سابقا في العقد الوسيطة.

يبين الشكل (3) هيكلية الخدمات المتكاملة المنجزة في الموجه.



الشكل (3) يبين هيكلية الخدمات المتكاملة المنجزة في الموجه

4-2- هيكلية الخدمات المتمايزة (DiffServ Architecture):

هيكلية الخدمات المتمايزة هي نموذج QoS يعتمد على الصنف، تم تصميمه من قبل IETF من أجل التغلب على عيوب الخدمات المتكاملة، حيث تم إحداث تغييرين أساسيين [7]، [8]، [9]، و[10]:

1- انتقلت المعالجة الأساسية من داخل الشبكة إلى حافة الشبكة وهذا ما يحل مسألة قابلية النمو، كما أنه ليس على الموجهات أن تخزن المعلومات حول التدفق، حيث تقوم التطبيقات أو الأجهزة المضيفة بتحديد نوع الخدمة التي تحتاجها في كل رزمة يتم إرسالها.

2- تم التغيير من الخدمة لكل تدفق إلى الخدمة لكل صنف حيث يقوم الموجه بتوجيه الرزمة بالاعتماد على صنف الخدمة المحدد في الرزمة وليس بالاعتماد على التدفق، وهذا ما يحل مسألة تقييد نوع الخدمة، كما يمكننا تعريف أنواع مختلفة من الأصناف بالاعتماد على حاجات التطبيقات.

لقد تم تقديم DiffServ في أواخر التسعينيات استجابة للحاجة لآلية QoS بسيطة وفعالة ومناسبة للتنفيذ في الانترنت، حيث يتم في DiffServ تقسيم التدفقات إلى أصناف مختلفة، ويحصل كل صنف على مستو مختلف من الخدمة، ولكن لم يكن هناك أي تمايز بين التدفقات داخل نفس الصنف باستثناء التمايز في أسبقية الرمي.

يتم تقديم DiffServ من قبل مجموعة من الموجهات تشكل نطاقا إداريا (ISP مثلا)، وتقوم إدارة النطاق بتعريف مجموعة من أصناف الخدمات مع قواعد التمرير لكل صنف.

4-2-1- أسبقية بروتوكول الانترنت (IP precedence):

يشير حقل أسبقية IP الموجود في ترويسة رزمة IP إلى الأولوية التي معها يجب أن تتم معالجة الرزمة، وهو مؤلف من ثلاثة بتات في بايت نوع الخدمة (ToS). يبين الشكل (4) بناء بتات الأسبقية في بايت نوع الخدمة المؤلف من ثلاثة بتات أسبقية، أربعة بتات لنوع الخدمة، وبت واحد غير مستخدم حاليا.

P2	P1	P0	T3	T2	T1	T0	CU

الشكل (4) يبين بتات أسبقية بروتوكول الانترنت (IP) في بايت نوع الخدمة (ToS)

4-2-2- حقل الخدمات المتمايزة (DS Field):

لقد اقترح IETF استبدال حقل نوع الخدمة (ToS) الموجود في IPv4 وحقل صنف الخدمة (CoS) الموجود في IPv6 بحقل يسمى حقل الخدمات المتمايزة (DS Field). يتألف حقل DS من 6 بتات من البتات الثمانية لبايت ToS في ترويسة IP والبتان الأخيران غير مستخدمين حاليا. يبين الشكل (5) بناء بتات حقل DS.

DS5	DS4	DS3	DS2	DS1	DS0	CU	CU

الشكل (5) يبين بتات الخدمات المتمايزة (DS) المسماة نقاط ترميز الخدمات المتمايزة (DSCP) أو أصناف التمرير (FC)

تسمح بتات حقل DS الستة بوجود 64 صنفاً ممكناً، ويتم وضع قيمة هذا الحقل عند حدود الشبكة من قبل المضيف أو الموجه الأول الذي تم تعيينه كموجه حدودي.

4-2-3- السلوك لكل قفزة (Per-Hop Behavior):

تعرف .Diff.Serv مجموعة من معايير تمرير الرزم تدعى السلوك على مستوى القفزة (PHB). تقوم التطبيقات أو عقد الدخول بتعليم الرزمة بنقطة ترميز الخدمة المتمايزة (DSCP) اعتمادا على متطلباتها، ثم تقوم الموجهات بتقديم مجموعة سلوك لكل قفزة (PHB) مع أرتال مترافقة وتقوم بجدولة الرزم اعتمادا على DSCP وفق آليات جدولة معروفة مثل التمرير المضمون والتمرير المستعجل.

توجد ثلاثة أنواع من PHBs هي: DF PHB، EF PHB، وAF PHB.

1- **السلوك DF PHB**: هو السلوك الافتراضي (Default Forwarding)، وهو يماثل التسليم بأفضل جهد المتوافق مع ToS.

2- **السلوك EF PHB**: هو السلوك ذو التمرير السريع (Expedited Forwarding)، وهو يقدم خدمات ذات ضياع منخفض (low loss)، تلبث منخفض (low latency)، وعرض حزمة مضمون (ensured bandwidth) وهو يماثل وجود ارتباط افتراضي بين المصدر والوجهة.

3- **السلوك AF PHB**: هو السلوك ذو التمرير المضمون (Assured Forwarding)، وهو يسلم الرزمة بضمانة عالية ما دامت حركة سير الصنف لا تتجاوز المخطط العام لحركة السير.

4-2-4- مكيّف حركة السير (Traffic Conditioner): تستخدم في عقدة DS مكيِّفات حركة السير التي تتألف من خمسة عناصر وهي: المصنِّف، المقياس، المعلِّم، المشكِّل، والمسقط (المرمي).

1- **المصنِّف (Classifier)**: يقوم المصنِّف بتقسيم الرزم إلى أصناف مختلفة حيث يمكنه أن يقسم حركة السير بالاعتماد على نقطة ترميز DS (مصنِّف مجموعة سلوك)، أو بالاعتماد على عدة حقول ضمن ترويسة الرزمة أو حتى على حمل الرزمة (مصنِّف حقول متعدد).

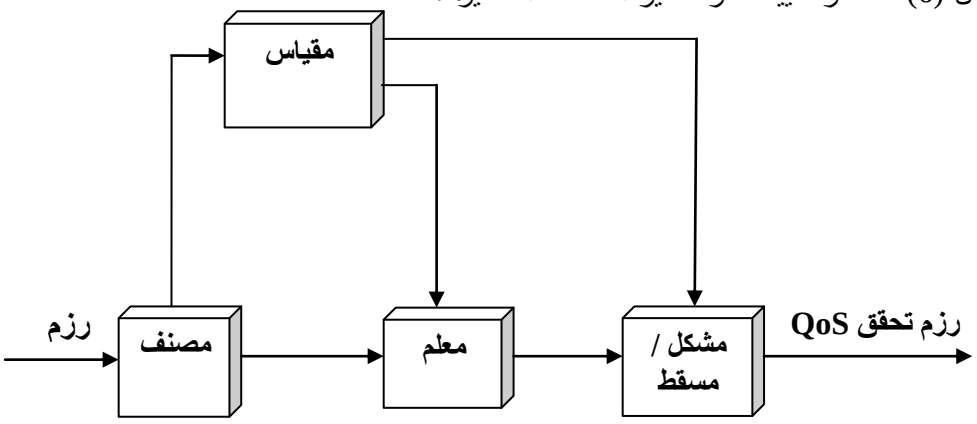
2- **المقياس (Meter)**: ينظر جهاز القياس فيما إذا كان التدفق الوارد يوافق المخطط العام لحركة السير الذي تم التفاوض عليه، وهو يرسل نتائج القياس إلى المكونات الأخرى، ويمكنه أن يستخدم أدوات خاصة (مثل دلو العلاَّم) لفحص المخطط العام.

3- **المعلِّم (Marker)**: يمكن للمعلِّم أن يعيد تعليم رزمة تستخدم التسليم بأفضل جهد، أو أن يخفض تعليم رزمة بالاعتماد على المعلومات المستلمة من جهاز القياس. تخفيض التعليم هو تخفيض صنف التدفق وهو يحدث عندما لا يوافق التدفق المخطط العام ولا يستطيع المعلِّم أن يرفع تعليم الرزمة أي ترقية الصنف.

4- **المشكِّل (Shaper)**: يستخدم المشكِّل المعلومات المستلمة من جهاز القياس لإعادة تشكيل حركة السير إذا لم تكن متوافقة مع المخطط العام الذي تم التفاوض عليه.

5- **المسقط (Dropper)**: يستبعد المسقط (المرمي) الرزم إذا كان التدفق ينتهك بشكل صارم المخطط العام الذي تم التفاوض عليه وهو يعمل كمشكِّل دون مخزن مؤقت (buffer).

يبين الشكل (6) عناصر تكييف حركة سير الخدمات المتمايزة .



الشكل (6) يبين عناصر تكييف حركة سير الخدمات المتمايزة

5- تبديل اللافتة المتعدد البروتوكولات (MPLS):

في الوقت الذي كانت فيه IETF تفكر بكيفية تطبيق Intserv و Diffserv في الانترنت كانت هنالك مجموعة من منتجي الموجهات تعمل على أساليب تمرير أفضل تقوم على فكرة إضافة لافتة في ترويسة كل رزمة بحيث يتم الاعتماد عليها في التوجيه بدلاً من العنوان الهدف.

إن جعل اللافتة دليلاً ضمن جدول داخلي سيسهل من عملية إيجاد خط الخرج الصحيح والمناسب لأن هذه العملية ستؤول ببساطة إلى عملية بحث ضمن الجدول. وبالتالي باستخدام هذه التقنية يمكن للتوجيه أن يحدث بسرعة كبيرة، ويمكن حجز كل الموارد الضرورية على طول المسار.

قام IETF فيما بعد بمعيرة الفكرة تحت اسم MPLS (MultiProtocol Label Switching) "تبديل اللافتة المتعدد البروتوكولات"، وتم تعريفه بأنه مخطط تمرير متقدم يعمل بين الطبقتين الثانية والثالثة وينتمي تحديدا إلى الطبقة 2.5. أصبحت التدفقات ذات اللافتات من حيث المفهوم قريبة جدا من الدارات الافتراضية. تدعى الموجهات التي تدعم MPLS موجهات تبديل اللافتة (LSRs)، وهي تستخدم اللافتات لتعريف الرزمة بمسار معين يدعى مسار تبديل اللافتة (LSP)، وتقام المسارات LSPs بين موجهين من LSRs (موجه دخول وموجه خروج) يتم وضعهما عند حواف شبكة MPLS. تدعى مجموعة الرزم التي تقابل نفس سلوك التمرير على نفس المسار صنف متكافئ التمرير (FEC). يمكن استخدام MPLS جنبا إلى جنب مع الخدمات المتمايزة لتقديم QoS في شبكات IP، حيث إن عملية تشغيل الموجهات في هيكلية MPLS هي نفسها في الهيكلية التي تقوم على حقل DS، وبالتالي يمكنهما أن يعملا معاً بسهولة.

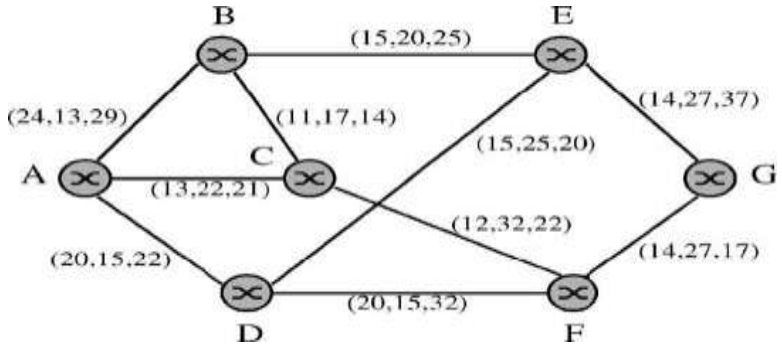
6- توجيه جودة الخدمة (QoS Routing):

تحاول معظم خوارزميات التوجيه المعروفة إيجاد المسار الأفضل إلى كل هدف، ثم يتم بعد ذلك إرسال كل الرزم الموجهة إلى ذلك الهدف عبر هذا المسار. تقوم بروتوكولات التوجيه الديناميكية السائدة مثل RIP-2، IGRP، OSPF، على خوارزميتي دايجكسترا (Dijkstra) وبيلمان–فورد (Bellman-Ford) المعروفتين جيدا، وهي تستخدم مقاييس مترية بسيطة نسبيا لتحديد المسار الأقصر.

تقوم أكثر التطورات حداثة على توزيع الحمل على مسارات عديدة حيث تم اقتراح أسلوب لتأمين QoS بشكل أفضل يقوم على تقسيم الرزم الموجهة إلى كل هدف على عدة مسارات. وبما أن الموجهات عامة لا تستطيع الاطلاع بشكل كامل على حركة السير في شبكة كبيرة، فإن الطريقة الوحيدة الممكن إتباعها لتقسيم الرزم الموجهة إلى هدف ما على عدة مسارات هي استخدام معلومات متوفرة محليا، فمثلا يمكن أن يتم توزيع الرزم بالتساوي أو بشكل يتناسب مع سعة خطوط الخرج المتوفرة. توجد لهذه العملية خوارزميات توجيه أكثر تعقيداً تقوم على قيود عديدة وتقدم مسارات تحقق متطلبات QoS.

يمكن استخدام التوجيه المعتمد على القيود CBR (Constraints-Based Routing) من أجل تخصيص عرض الحزمة أو خصائص صنف الخدمة لمسار LSP، ويمكن أن يحتاج إلى التأكد من وجود توجيه بديل متاح عبر مسارات فيزيائية منفصلة. وبالتالي يأخذ التوجيه CBR بعين الاعتبار بنية الشبكة، ومواصفات التدفق، ومدى إتاحة الوصلات، وسياسات معينة أخرى.

تتضمن القياسات المترية المستخدمة في التوجيه CBR حساب القفزة، وعرض الحزمة، والتأخير، والرجرجة، والمتاحية، والتكلفة المالية، وغيرها؛ مما يتطلب وجود موجهات تستطيع توزيع معلومات حالة الوصلة وتحديد المسارات المثالية وفقا لذلك.



الشكل (7) يبين مثالاً عن توجيه QoS بوجود ثلاثة قيود على كل وصلة

يقدم التوجيه CBR دعما للخدمات المتمايزة (.Diff.Serv) في اختيار المسار الأفضل لمقابلة متطلبات بارامترات QoS؛ كما يقدم التوجيه CBR دعما للخدمات المتكاملة (RSVP) في تحديد المسارات المثالية لحجز الموارد مع أخذ متطلبات بارامترات QoS بعين الاعتبار؛ وكذلك يعمل التوجيه CBR بشكل جيد أيضا مع MPLS لتحديد المسار بالاعتماد على الموارد وعلى معلومات البنية.

7- مستويات جودة الخدمة (QoS levels):

يتبين مما سبق بأنه يمكن تقديم ثلاثة مستويات مختلفة من QoS في الانترنت [3]، [4]:

1- **خدمات أفضل جهد (Best-Effort Services):** وهي خدمات لا تملك أي تمييز بين التدفقات أي إنها تفتقر إلى QoS، ويتم تقديمها على قاعدة الداخل أولا يتم تخديمه أولا (FIFO).

2- **خدمات متكاملة (Integrated Services):** وهي عبارة عن حجز مطلق لموارد الشبكة من أجل حركة سير معينة بحيث يتم تنفيذ هذا الحجز بالنسبة لكل تدفق.

3- **خدمات متمايزة (Differentiated Services):** وهي تعالج بعض حركات السير بشكل أفضل من غيرها، ويتم تقديمها بواسطة تصنيف حركات السير.

تدعى الخوارزميات التي تقدم الخدمات المتكاملة بالخوارزميات المعتمدة على التدفق، وتدعى الخوارزميات التي تقدم الخدمات المتمايزة بالخوارزميات المعتمدة على الصنف. ولتوضيح الفرق بين الخوارزميات المعتمدة على التدفق والخوارزميات المعتمدة على الصنف نأخذ مثال الهاتفية عبر الإنترنت: تحصل كل مكالمة هاتفية على مواردها الخاصة وعلى الضمانات اللازمة لها في أسلوب الخدمة المعتمدة على التدفق، بينما في أسلوب الخدمة المعتمدة على الصنف تحصل جميع المكالمات الهاتفية على الموارد المحجوزة لصالح الصنف telephony، ولا يمكن أن تحظى بهذه الموارد رزم أخرى تنتمي إلى صنف آخر كصنف نقل الملفات أو أي صنف آخر.

8- مقارنة بين هيكليتي QoS (comparison of QoS architectures):

لتوضيح المحاسن والعيوب لكل من هيكليتي الخدمات المتكاملة (IntServ) والخدمات المتمايزة (DiffServ)، نقوم بإجراء مقارنة توضح الفرق بين الهيكليتين والسبب في استخدام هذه الهيكلية أو تلك [3]، [4]، [12]. يبين الجدول (3) مقارنة بين هيكليتي الخدمات المتكاملة (IntServ)والخدمات المتمايزة (DiffServ).

الجدول (3) يبين مقارنة بين هيكليتي الخدمات المتكاملة (IntServ) والخدمات المتمايزة (DiffServ)

البيان	الخدمات المتكاملة (Intserv)	الخدمات المتمايزة (Diffserv)
عدد الأصناف	2	محدود بواسطة حقل DS
المعالجة الأساسية	داخل الشبكة	عند حافة الشبكة
قابلية النمو	محدودة	أفضل
ضمانات الخدمة	ضمانات حتمية	ضمانات نسبية
نطاق تمييز الخدمة	من طرف إلى طرف	محلي (لكل قفزة)
معلومات الحالة	تتناسب مع عدد التدفقات	تتناسب مع عدد الأصناف
محاسبة الشبكة	تعتمد على خصائص التدفق	تعتمد على استخدام الصنف
إدارة الشبكة	مماثلة لشبكات تبديل الدارات	مماثلة لشبكات IP الموجودة
نظام النشر	اتفاقيات متعددة الأطراف	اتفاقيات ثنائية بين طرفين
التنفيذ العملي	صعب	سهل
العدالة	مطلقة	نسبية
تكلفة الحل	كبيرة	أقل بكثير

النتائج والمناقشة:

لقد تم باستخدام المحاكاة عرض نتائج تجريبية تساعد في استكشاف نموذج QoS والتوليفات التي يمكن تقديمها لتحسين بارامترات QoS باستخدام تقنيات مختلفة [12]. تتألف شبكة المحاكاة من شبكتين: الأولى شبكة نفاذ وهي تستخدم نموذج الخدمات المتكاملة Intserv مع RSVP؛ والثانية شبكة داخلية تستخدم نموذج Diffserv. لقد تم توليد حركات السير باستخدام software package Arena [12]؛ وتم أولاً تحميل الشبكة بشكل خفيف ووضع حركة سير بالزمن الحقيقي (real-time traffic) بنسبة 15% من سعة الوصلة، ثم تم تحميل الشبكة بشكل زائد ووضع حركة سير بالزمن الحقيقي بنسبة 30% من سعة الوصلة، وأخيرا تم وضع حركة سير بالزمن الحقيقي بنسبة 50% من سعة الوصلة مع تحميل الشبكة بشكل زائد أيضا. وفي كل حالة من هذه الحالات الثلاث تم إعداد الشبكة لتقديم أربعة أنواع من هيكليات وهي: أفضل جهد (BE)، خدمات متكاملة (Intserv) مع RSVP، خدمات متكاملة على وصلة النفاذ وخدمات متمايزة (Diffserv) على الوصلة الداخلية، وأخيرا خدمات متكاملة على وصلة النفاذ وخدمات أفضل جهد على الوصلة الداخلية وفي هذه الحالة الأخيرة تم استخدام نوعين مختلفين من الجدولة هما: PQ، و CBQ.

يقوم اصطفاف الأولوية (PQ) بفصل حركتي السير بالزمن الحقيقي وبأفضل جهد إلى رتلين اثنين حيث تم أولا تخديم رتل الزمن الحقيقي (ذي الأولوية الأعلى) وعندما يصبح هذا الرتل فارغا يتم تخديم رتل أفضل جهد. كما تم في هذه الحالة إعداد حجم الرتل ليكون 80 packets لحركة سير الزمن الحقيقي و 140 packets لحركة سير أفضل جهد. وفي الاصطفاف المعتمد على الصنف (CBQ) كانت أحجام الرتل 100 packets و200 packets لحركتي السير بالزمن الحقيقي وبأفضل جهد على الترتيب.

تبين الجداول (4)، (5)، و(6) التأخير الوسطي الناجم عن حركة سير لتطبيق طرفي (مستخدم مصدر) يتصل بشبكة النفاذ إلى تطبيق طرفي آخر (مستخدم وجهة) يتصل بالشبكة الداخلية بوجود حمولات إضافية مختلفة على كل من الشبكتين وذلك من أجل الحالات الثلاثة والتوليفات الخمسة المختلفة.

الجدول (4) يبين التأخير الوسطي باستخدام توليفات QoS الخمسة المختلفة

بوجود حركة سير بالزمن الحقيقي بنسبة 15% من سعة الوصلة

Kind of QoS	BE	IntServ	IntServ -Diff (PQ)	IntServ -Diff (CBQ)	IntServ -BE
Averg. delay (ms)	8	6	6	6	6

الجدول (5) يبين التأخير الوسطي باستخدام توليفات QoS الخمسة المختلفة

بوجود حركة سير بالزمن الحقيقي بنسبة 30% من سعة الوصلة

Kind of QoS	BE	IntServ	IntServ -Diff (PQ)	IntServ -Diff (CBQ)	IntServ -BE
Averg. delay (ms)	140	20	12	30	20

الجدول (6) يبين التأخير الوسطي باستخدام توليفات QoS الخمسة المختلفة

بوجود حركة سير بالزمن الحقيقي بنسبة 50% من سعة الوصلة

Kind of QoS	BE	IntServ	IntServ -Diff (PQ)	IntServ -Diff (CBQ)	IntServ -BE
Averg. delay (ms)	158	28	20	50	50

الاستنتاجات والتوصيات:

لقد تم التوصل من هذا البحث إلى الاستنتاجات الآتية:

- توجد هيكليتان أساسيتان يتم بموجبهما تقديم نموذجين من QoS هما: IntServ، وDiffServ.
- يمكن تقديم توليفات مختلفة من النماذج لتحسين وتقديم دعم أفضل لبارامترات QoS.
- تقدم التوليفات المختلفة المستخدمة في هذا البحث نتائج متماثلة في حالة الحمل الخفيف.
- تقدم توليفة IntServ-DiffSer (PQ) نتائج أفضل من بقية التوليفات الأخرى في حالة الحمولة الزائدة.
- تقدم التوليفتان IntServ-BE و IntServ -DiffSer (CBQ) تأخيرا متماثلا عندما يتم تحميل الشبكة بشكل زائد بوجود حركة سير بالزمن الحقيقي بنسبة 50% من سعة الوصلة.
- توجد مسألتان مهمتان في نموذج IntServ تمنعان التنفيذ الكامل في الانترنت هما عدم قابلية النمو، والتقييد في عدد أصناف الخدمة.
- تخلصت هيكلية DiffServ من عيوب هيكلية IntServ بنقل المعالجة الأساسية من داخل الشبكة إلى حافة الشبكة من جهة، وبالتغيير من الخدمة لكل تدفق إلى الخدمة لكل صنف.
- تعد هيكلية DiffServ إطار العمل المرشح للاستخدام في الانترنت للجيل القادم.

كما إننا نقترح التوصيات الآتية التي تساهم في تطوير QoS في الانترنت وتحسينه:

1- استخدام توليفات مختلفة من تقنيات ونماذج الخدمة لتحسين بارامترات QoS في الانترنت ودعمها.

2- التركيز في البحوث القادمة على نموذج DiffServ كإطار عمل مرشح لتقديم QoS في الانترنت للجيل القادم في موازاة MPLS وهندسة حركة السير.

3- استخدام آليات جدولة فعالة في هيكلية Diffserv للتخفيف من حدة المسألة المتعلقة بمسألة العدالة بين الأصناف (عدالة أولوية المعالجة) من جهة والعدالة داخل الصنف الواحد من جهة أخرى.

4- إدراج بارامترات أداء أخرى، كالأمن والمتاحية، ضمن بارامترات QoS.

المراجع العلمية:

1- A.L. Corte, S. Sicari, *Assessed quality of service and voice and data integration: A case study*, University of Catania, Viale Andrea Doria 6, I 95100 Catania, Italy, 2005, 1992-2003.

2- RFC 2386, *Framework for QoS-Based Routing in the Internet*, 1-58705-001-3,1-32.

3- R. Hunt, *A review of Quality of Service mechanisms in IP networks-integrated and differentiated services, multi-layer switching, MPLS and traffic engineering*, University of Canterbury, New Zealand, 2001,100-108.

4- M. A. Elgendy, member IEEE, A. Bose, member IEEE, K. G. Shin, Fellow IEEE, *Evolution of the Internet QoS and Support for Soft Real-Time Applications*, IEEE, 2003, 1086-1104.

5- A. Botta, A. Pescape, G. Ventre, *Quality of service statistics over heterogeneous networks: Analysis and applications*, Universita degli Studi di Napoli, Federico II, Via Claudio 21, Napoli, Italy, 2007, 1075-1088.

6- P. Giacomazzi, G. Saddemi, *Resource allocation and admission control for the provisioning of quality of service in networks of static priority schedulers*, Politecnico di Milano, Dept. of Electronics and Information, Italy, 2008, 231-243.

7- A. Ghaffar, O. Yang, LGRR: *A new packet scheduling algorithm for differentiated services packet-switched networks*, a Computer Networks Research Lab, Department of Electrical Engineering, Sahand University of Technology, Sahand New Town, Tabriz, Iran, 2008, 357-367.

8- M. H. Dahshan, P. K. Verma, *Refined assured forwarding for differentiated services architecture*, School of Computer Engineering, University of Oklahoma, Tulsa, OK 74135, USA, 2007, 3841-3850.

9- I. Mas, G. Karlsson, *Probe-based admission control for a differentiated-services internet*, School of Electrical Engineering, KTH, Royal Institute of Technology, SE-100 44 Stockholm, Sweden, 2007, 3902-3918.

10- S. H. Alonso, A. S. Gonzalez, M. F. Veiga, R. F. Rubio, C. L. Garcia, *Improving aggregate flow control in differentiated services networks*, ETSE Telecomunicacion, Universidade de Vigo, 36200 Vigo, Spain, 2007, 499-512.

11- C. Ghazel, L. Saidane, *Achieving a QoS Target in NGN Networks via an Efficient Admission Control Strategy*, IEEE, 2009, 318-323.

12- D. Brunonas, N. Lina, *IP QoS evaluation using interoperability of differentiated and integrated services*, Faculty of Telecommunications and Electronics, Lithuania, 2009, 1-6.

13- A. Alhaj, J. Mellor, I. Awan, *Performance Evaluation of Secure Call Admission Control for Multiclass Internet Services*, IEEE, 2009, 117-121.