

## تأثير نموذج نقل المعطيات في معدل الضياع وحجم الرتل

الدكتور حسن عباس\*  
الدكتور هيثم الرضوان\*\*  
ناجي محمد\*\*\*

تاريخ الإيداع 23 / 4 / 2008. قُبِلَ للنشر في 17/9/2008

### □ الملخص □

يلعب نموذج نقل المعطيات دورا هاما في أداء الشبكات نظرا لتنوع الخدمات المقدمة من قبل شبكة الإنترنت لمستخدميها، إذ يتراوح معدل نقل الملف بين قيم صغيرة (mice) وقيم كبيرة (elephants) و يكون حجم الرزم بشكل نموذجي 10Kbytes. كما تُمثل حجم الملفات المنقولة خلال الإنترنت بتوزيع Pareto . يتلخص العمل في هذه المقالة من خلال دراسة تأثير (shape parameter(k) لتوليد الملفات بأحجام مختلفة في نوعين من نماذج وصول الرزم هما: (Poisson) وتوزيع (Pareto) ، كما تظهر نتائج المقارنة من خلال حجم الرتل و معدل الضياع ، فكلما ازدادت قيمة المعامل (k) سيزداد معدل الضياع بشكل كبير في حالة نموذج الوصول (Pareto) و بينما سيكون التأثير أقل في حالة نموذج الوصول (Poisson) .

الكلمات المفتاحية: نموذج الحركة - توزيع (Pareto) - توزيع (Poisson) - بروتوكول TCP - محاكاة الشبكة (NS) - ضياع الرزم.

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

## The Effect of Traffic Model on Loss Rate and Queue Size

Dr. Hassan Abbas<sup>\*</sup>  
Dr. Haythamal-Radwan<sup>\*\*</sup>  
Naji Mohamad<sup>\*\*\*</sup>

(Received 23 / 4 / 2008. Accepted 17 / 9 / 2008)

### □ ABSTRACT □

The traffic model plays an important role in network performance due to the various services it provides for users. The average transferred file is around 10Kbytes; these files can be small (mice) or long (elephants). Pareto is considered as a typical distribution used to describe the file size. In this paper, we investigate the effect of the shape parameter on the average queue size and loss for different arrival distributions: Poisson and Pareto. For the Pareto model, the average loss increases with the increase in the value of the shape parameter, while the influence of the shape parameter is relatively smaller in the case of Poisson.

**Keywords:** Traffic model, (Poisson, Pareto) Distribution, TCP Protocol, Network Simulation (NS), Packet Loss

---

\* Associate Professor, Department of Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\* Associate Professor, Department of Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*\* Postgraduate Student, Department of Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة :**

يعتبر TCP Transport Control Protocol مسؤولاً عن نقل 90% من حركة الإنترنت و يملك عدة ميزات منها الموافقة بين معدل الإرسال للرزم ، عرض الحزمة المتوفر، تجنب الإزدحام خلال الشبكة و تقديم اتصال موثوق من خلال إعادة إرسال الرزم.

و يمكن إعتبار الرزمة ضائعة في الحالتين التاليتين:

- عند وصول 3ACK Acknowledgment إلى المرسل لنفس الرزمة.
- و في حال عدم وصول ACK ضمن فترة Time-Out المحددة .

تحدد قيمة RTT Round Trip Time و هو الزمن اللازم لمغادرة الرزمة للمرسل ووصولها إلى المستقبل و عودة ACK إلى المنبع. كما يمكن استخدام "delayed ACK" لإنقاص عدد ACK في النظام من خلال إرسال ACK لكل d رزمة واصلت إلى المستقبل و تم تحديد القيمة المعيارية  $d=2$  [1] .

اعتمدت دراسة تقويم الأداء لأنظمة الإتصالات على افتراض أن عمليات الوصول تتبع توزيع بواسون Poisson (أي الزمن الفاصل بين العينات له توزيع أسي Exponential ) أو برنولي و لم يؤخذ بعين الاعتبار طبيعة الحركة المرسله أي الرشقات Bursty . و سندرس تأثير تغير shape parameter في حجم الرتل و معدل الضياع . يتراوح معدل نقل الملف بين قيم صغيرة mice و كبيرة elephants يكون حجم الرزم بشكل نموذجي 1Kbytes[6] و تُمثل حجم الملفات المنقولة خلال الإنترنت بتوزيع Pareto[8] .

**أهمية البحث وأهدافه:**

تتجلى أهمية البحث في تبيان تأثير تغير shape parameter في حجم الرتل و معدل الضياع عند استخدام نماذج وصول ملفات مختلفة Poisson , Pareto بحيث نستطيع أن نحدد القيمة التي تحقق معدل ضياع قليل . ذلك باستخدام برنامج محاكاة الشبكة NS على شبكة، و نستخدم برنامج Gunplot لرسم المنحنيات من أجل إيضاح حجم الرتل و معدل ضاع الرزم.

**طريقة البحث و مواده:**

يتضمن هذا البحث عرضاً عاماً لمفهوم بروتوكول TCP، مبدأ الازدحام ، إيضاح مفهوم الرتل و دراسة نموذجي Poisson و Pareto باستخدام NS لنمذجة شبكة تتألف من رسائلات و مستقبلات و من خلال إرسال ملفات باحجام مختلفة، و تغير قيم المعامل (K) لإيضاح تأثير زيادته في حالتين مختلفتين لوصول الرزم و فقا لتوزعي Pareto, Poisson و لا بد من التعرض إلى المفاهيم الأساسية التالية:

**1- مفهوم الازدحام:**

تدعى الخدمة التي تزودها شبكة الإنترنت Best Effort، أي أن الشبكة ستبذل قصارى جهدها لتبادل المعلومات بشكل أكثر فعالية، و لكن من أين أتت تلك المظاهر التي تحد من فعالية الشبكة؟ يعتبر الازدحام Congestion أهم تلك العوامل التي تجيب عن السؤال عندما نأخذ بعين الاعتبار عامل الزمن و يحدث الازدحام عندما يتجاوز تدفق حركة المنابع (مصادر الحركة) سعة الشبكة، و تخزن الرزم packets المتدفقة في مخزن Buffer أو يتم إسقاطها من الشبكة ، بيّن Jacobson أنه لكي تعمل الشبكة بحالة مستقرة يجب أن لا تدخل رزمة في الشبكة

إلا مع مغادرة رزمة أخرى ،و إذا تم تطبيق مبدأ مصونية الرزمة "packet conservation principle" عندها يصبح انهيار التدفق استثناء وليس قاعدة[2].

يلعب طول الرتل Queue دورا هاما في عملية التشبيك ،فوجود رتل كبير سيزيد التأخير Delay و فقد الرزم Packet Loss، كما تعتبر الشبكة مزدحمة من وجهة نظر المستخدم إذا انخفضت الجودة بسبب زيادة حمل الشبكة. لقد وضعت عدة آليات و خوارزميات لتجنب حدوث الازدحام بحيث تحقق تدفق حركة عالياً مع المحافظة على تأخير و ضياع رزم منخفضين. فمن خلال استخدام فعال للحزمة المخصصة و تجنب الازدحام نصل إلى تشبيك عالي الأداء "High Performance Networking".

تتألف آليات التحكم بالازدحام من خوارزميات نافذة الازدحام لـ TCP التي تعمل عند الطرفيات end-system وخوارزميات AQM التي تعمل عند الموجهات Routers، و ذلك للوصول إلى استخدام فعال للشبكة ، تأخير صغير ضمن الرتل وتحقيق fairness (تساوي في توزيع التدفقات) مقبول بين المشتركين.

2- مفهوم الرتل و استخدامه:

يمثل الرتل عدد الزبائن customers المنتظرين للحصول على خدمة ويمكن أن يكون الرتل فارغاً. يتميز الرتل بميزتين هما الحجم الأعظمي و نظام الرتل. و يعبر Maximum Queue Size عن العدد الأعظم من المشتركين الذين يمكن أن ينتظر ضمن الرتل ،بينما يمثل نظام الرتل Queuing Discipline الآلية التي يتم بها إدخال و إخراج الزبائن من و إلى الرتل.

- إسقاط الزيل عند FIFO ممثلي ("Drop Tail when full "FIFO):

يعتبر FIFO نظام إدارة الرتل الأساس المستخدم في الموجهات، تدخل الرزم من زيل الرتل لتغادر من رأس الرتل و هو ما يعبر عنه بـ FIFO. أما المقصود إسقاط الزيل Drop Tail فهي الآلية التي يتم بها إسقاط الرزم من الرتل عند امتلائه (بعض الأنواع الأخرى تتضمن إسقاط الرزم من المقدمة). و سنتشأ معوقتان في تلك الحالة (lock-out) [3]. و تحدث Lock-out في حال تشارك المصادر و عرض الحزمة للروابط، إذ يسيطر عدد قليل من التدفقات Flows على عرض الحزمة و التدفقات الأخرى لا تملك إمكانية التشارك أي تكون في حالة (locked out of the queue)، و تحدث تلك الظاهرة بسبب تأثير التوقيت timing لأن بعض التدفقات دائمل تصل الرتل لتجده ممتلئاً.

- الإدارة الفعالة للرتل "Active Queue Management "AQM:

تشير إلى الآلية التي يتم بها إدارة الرتل لتجنب lock-out---full queue و تقدم ميزات منها إنقاص عدد الرزم الساقطة في الموجه، تنجز رتلاً بتأخير منخفض،تجنب ظاهرة lock-out .

يعتبر إسقاط الرزم بشكل عشوائي خطوة مهمة لتجنب lock-out و لتوزيع الإسقاطات على كل التدفقات . لكن يبقى هناك مشكلة و هي لا يحدث الإسقاط إلا عند امتلاء الرتل، و لم نستطع حل مشكلة امتلاء الرتل. يمكن أن تظهر مشكلة من خلال الإسقاط العشوائي و إسقاط الزيل بأن يحدث الإسقاط من عدة تدفقات، وهذا سينقص نافذة الإرسال لها، مما سيخفض بالتالي معدل التدفق. وتم إيجاد الية يتم بها إسقاط الرزم عشوائياً، و لكن بشكل مسبق قبل امتلاء الرتل و إسقاط الرزم سيعتمد على طول الرتل الحالي. نلاحظ ان جميع التقنيات السابقة ركزت على إدارة الرتل لتجنب المشاكل الناشئة. كان يتم إسقاط الرزم بشكل تقليدي ليس بهدف إرسال إشعار بوجود ازدحام ضمن الشبكة، و لكن بقصد إدارة الرتل، كما أن عملية ضياع الرزم يمكن ان يكون بسبب مشاكل و فشل الروابط ضمن الشبكة.

تطورت عملية إدارة الإزدحام لأن التقنيات يمكن أن تعدل و تطور بدون إحداث تغييرات على بروتوكولات النهاية. تم الانتقال من مرحلة الإعلام الضمني بوجود ازدحام لمرحلة الإعلام الصريح بإرسال رسائل تحكم واضحة إلى الطرقات. من تلك الطرق:

- RED: Random Early Detection
- ECN: Explicit Congestion Notification
- DECbit: Explicit Congestion Notification via packet marking
- ICMP: internet control message protocol

### النتائج و المناقشة :

- نمذجة حركة المنابع (Sources Traffic Modeling) :

اعتمدت دراسة تقويم الأداء لأنظمة الاتصالات على افتراض أن عمليات الوصول تتبع توزيع بواسون (Poisson) (أي الزمن الفاصل بين العينات له توزيع أسّي (Exponential) ) أو برنولي و لم يؤخذ بعين الاعتبار طبيعة الحركة المرسله أي الرشقات Bursty .

- العلاقة بين توزيع (Poisson) و توزيع (Exponential) :

يعطى تابع الكثافة الاحتمالية لتوزيع Poisson بالعلاقة التالية:

$$f(x) = \Pr[X = x] = \frac{(\lambda t)^x}{x!} e^{-\lambda t} \quad (1)$$

$\lambda$ : متوسط معدل الوصول

t: طول الفترة الزمنية

و لكن ما هو التوزيع الذي يمثل الزمن بين الحوادث في توزيع بواسون. بتحديد T كزمن لحادثة (متغير عشوائي)

$$F(t) = \Pr[T \leq t] \quad (2)$$

$$F(t) = \Pr[T \leq t] = 1 - \Pr[T > t] \quad (3)$$

و يقصد  $\Pr[T > t]$  لا يوجد حوادث خلال الفترة الزمنية بين 0 و t .

$$\Pr[T > t] = \Pr[\text{zero events occur 0 to } t] = \Pr[X = 0] = \frac{(\lambda T)^0}{0!} e^{-\lambda t} = e^{-\lambda t} \quad (4)$$

و من العلاقة (3) يمكننا أن نجد

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5)$$

و تمثل العلاقة (5) تابع التوزيع الأسي.

### - توزيع Pareto :

استخدم توزيع Pareto في عدة مجالات و في نطاق بحثنا سنركز على دراسة و تحليل توزيع حجم الملف في الإنترنت التي تستخدم بروتوكول TCP (عدد كبير من الملفات الصغيرة وعدد قليل من الملفات الكبيرة). فمن أجل  $X$  متغير عشوائي بتوزيع Pareto ، فإن احتمالية  $X$  أكبر من  $x$  تعطى بالعلاقة [7]:

$$\Pr(X > x) = \left(\frac{x}{x_m}\right)^{-k} \quad \text{for } x \geq x_m \quad (6)$$

$x_m$ : قيمة موجبة أصغر لـ  $X$  ،  $k$  قيمة موجبة (Pareto index) . و يعطى تابع الكثافة الاحتمالية و تابع التوزيع التراكمي [11]:

$$\text{pdf} \quad f(x, k, x_m) = k \frac{x_m^k}{x^{k+1}} \quad \text{for } x \geq x_m \quad (7)$$

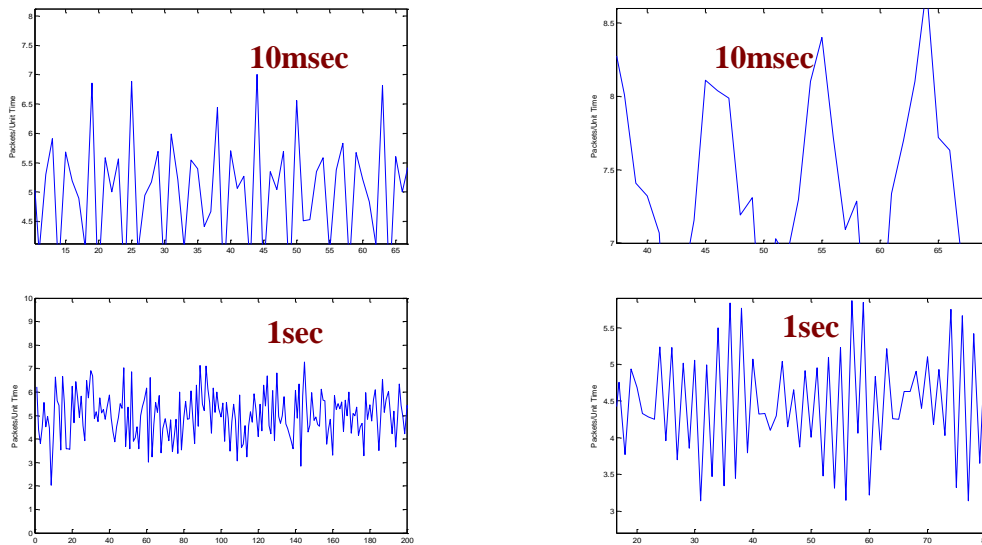
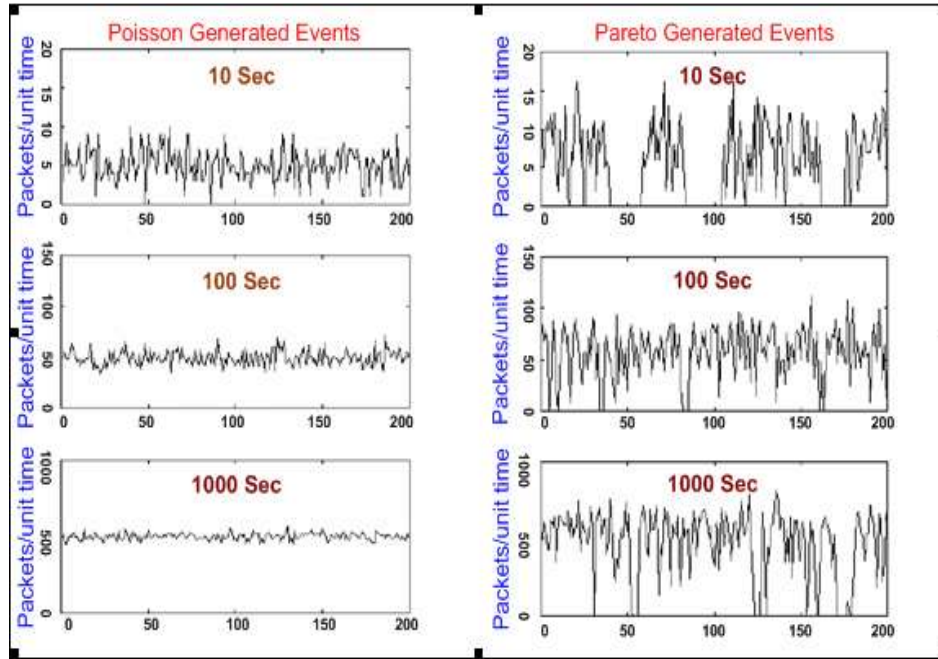
$$\text{cdf} \quad = 1 - \left(\frac{x_m}{x}\right)^k \quad (8)$$

و تعطى القيمة المتوقعة لمتغير عشوائي يتبع توزيع Pareto [10] :

$$E(X) = \frac{kx_m}{k-1} \quad (9)$$

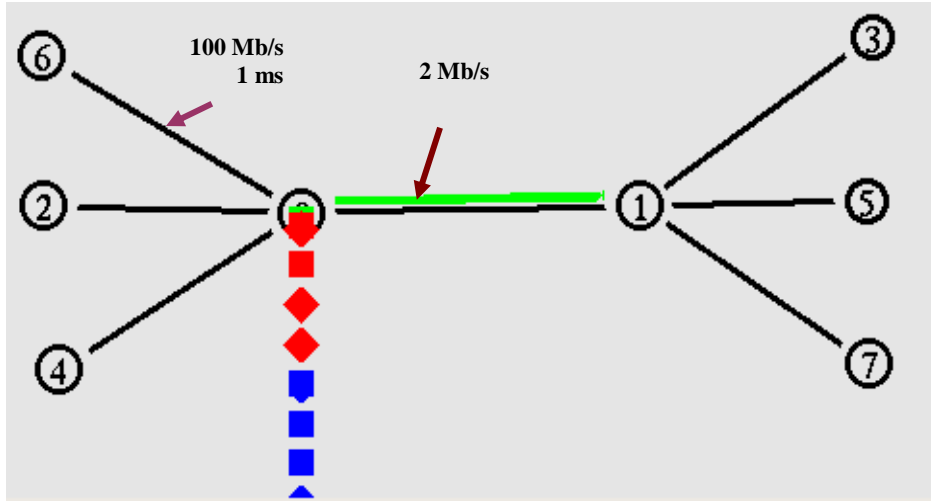
واتجه البحث و الدراسة الآن إلى الأخذ بعين الاعتبار توزيعات طول الرشفة BL: Burst Length و فترة الفجوة GT: Gap Time ، إذ تتبع حركة Ethernet LAN لتوزيع SS: Self-Similar [8-9] و التي تسبب تغييراً كبيراً او حركة رشفة على مجال كبير من مقياس الزمن [8] .

تنسب SS إلى توزيعات الزيل الكثيف Heavy-Tailed Distribution و تولد باستخدام منابع BL/GT [8]. إذ قدم اكتشاف SS في حركة الشبكات تفسيراً لماذا فشلت الأنماط الأخرى و عدم قدرتها على تنبؤ، و تقدير لأداء عناصر الشبكة لقياس الضياع و التأخير. و في الشكل (1) نميز حالتين لعدد الرزم الواصلة خلال واحدة الزمن 10msec و لغاية 1000sec لعمليتين مولدتين في حالة (Poisson & Pareto) ، و بزيادة واحدة الزمن سيصبح منحي Poisson ناعماً و بتقلبات خفيفة جداً، بينما يكون سلوك عملية SS مختلفاً و تستمر في البقاء Burst حتى من اجل فترة طويلة و التي تنتج ظهوراً مشابهاً Similar appearance على كامل محور الزمن.



الشكل (1) مقارنة بين عمليات وصول Poisson & Pareto

في هذا العمل سنستخدم (NS: Network Simulator) لنمذجة شبكة مؤلفة من ثلاثة مراسلات و ثلاثة مستقبلات كما في الشكل (2) و ذلك في حالي وصول للملفات (Poisson- Pareto) عند توليد حجم الملفات باستخدام توزيع (Pareto) ، حيث لدينا ثلاثة روابط دخل و ثلاثة روابط خرج مع رابطة عنق الزجاجة (Bottleneck) و نحدد البارامترات الثابتة في الشبكة:



الشكل (2) يمثل الحالة المدروسة

روابط الدخل/الخروج : تأخير الرابطة = 1 msec ، سعتها = 100Mb/s ، حجم المسجل = 300 packets  
 رابطة عنق الزجاجة: تأخير الرابطة = 1 msec ، سعتها = 2Mb/s ، حجم المسجل = 100 packets  
 زمن مدة التنفيذ = 20 sec .

سندرس تأثير تغيير (shape parameter) في حجم الرتل و معدل الضياع و عند الحالات التالية:

### 1 - الحالة الأولى :

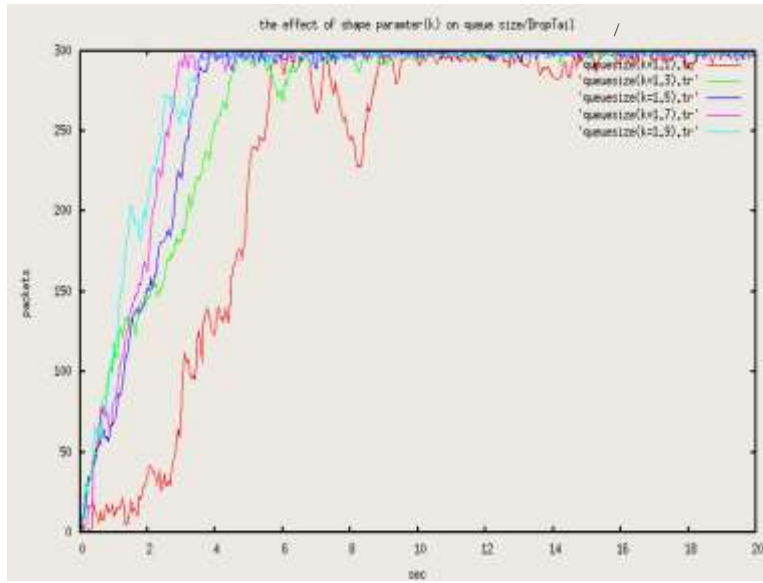
- إرسال اتصالات FTP بتوزع بواسون (Poisson) معدل زمن الوصول (the average time between arrivals=45msec)
- حجم الملف : يتبع توزع Pareto (parameter shape=(1.1----1.9), Avg=10000Bytes).

من خلال الأشكال (3,4) نلاحظ عند توليد رزم وفقا لتوزع Pareto و من أجل معدل حجم الملف 10Kbytes و عند استخدام نموذج وصول الملفات وفقا لتوزع Poisson، و مع تزايد معامل الشكل في توزيع Pareto للقيم التالية (1.1 – 1.3 – 1.5 – 1.7 – 1.9) سيزداد معدل ضياع الرزم في الحالة المدروسة. نجد عند لحظة معينة  $t=14$  sec كما موضح بالجدول (1).

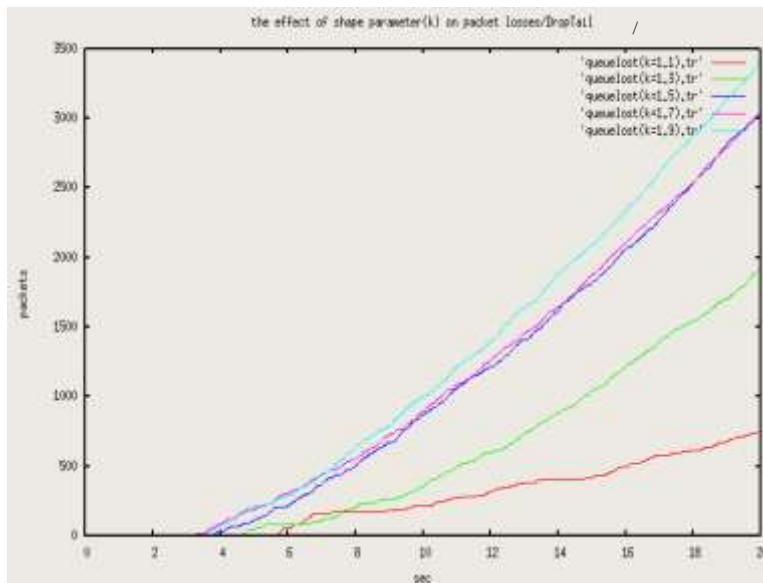
الجدول (1) يمثل قيم معدل الضياع مع تغير قيم (k) في حالة توزع Poisson

Poisson	K=1.1	K=1.3	K=1.5	K=1.7	K=1.9
packet loss/ packets	400	800	1180	1200	1800





الشكل (3) تأثير تغيير (shape parameter) في حجم الرتل في حالة (Poisson)



الشكل (4) تأثير تغيير (shape parameter) في معدل الضياع في حالة (Poisson)

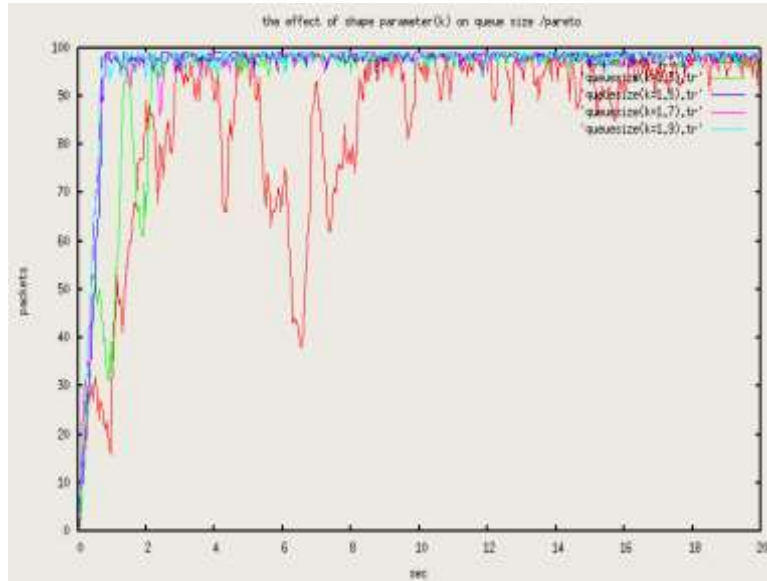
## 2- الحالة الثانية:

- إرسال اتصالات FTP بتوزيع بارنو (Pareto) معدل زمن الوصول (The average time between arrivals =45msec,k=1.5)

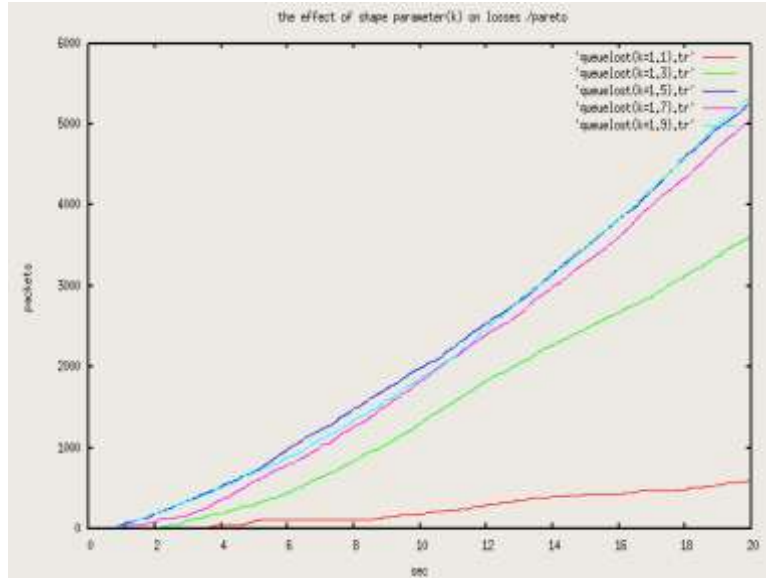
• حجم الملف : يتبع توزيع Pareto (parameter shape=(1.1-----1.9) Avg=10000Bytes) من خلال الأشكال (5,6) نلاحظ عند توليد رزم وفقا لتوزيع Pareto، و من أجل معدل حجم الملف 10Kbytes، وعند استخدام نموذج وصول الملفات وفقا لتوزيع Pareto، و مع تزايد معامل الشكل في توزيع Pareto للقيم التالية (1.1 – 1.3 – 1.5 – 1.7 – 1.9) سيزداد معدل ضياع الرزم في الحالة المدروسة. نجد عند لحظة معينة t=14 sec كما موضح بالجدول (2).

الجدول (2) يمثل قيم معدل الضياع مع تغير قيم (k) في حالة توزيع Pareto

Pareto	K=1.1	K=1.3	K=1.5	K=1.7	K=1.9
packet loss/ packets	400	2200	2900	3200	3210

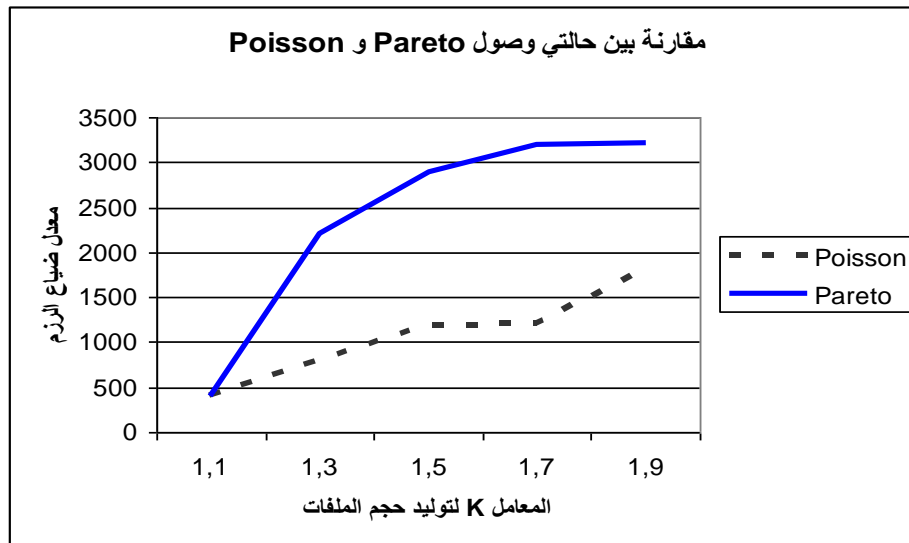


الشكل (5) تأثير تغير (shape parameter) في حجم الرتل في حالة (Pareto)



الشكل (6) تأثير تغير (shape parameter) في معدل الضياع في حالة (Pareto)

من خلال مقارنة بين منحي معدل الضياع للرزوم في حالة نموذج وصول الرزوم وفقاً لتوزيع (Poisson) و توزيع (Pareto) .



الشكل (7) يمثل مقارنة بين الحالتين (Poisson ,Pareto)

### الاستنتاجات و التوصيات:

قدم هذا البحث نظرة واضحة لنموذج Poisson و نموذج Pareto بما يخدم إيضاح و دراسة أهمية العامل (k) المستخدم في توليد الملفات المختلفة الأحجام عبر الإنترنت، و تأثيره في معدل وصول الملفات في حالتين (Poisson, Pareto) . فمن خلال المقارنة المنجزة لحالة توليد ملفات بأحجام مختلفة وفقاً لتغير العامل (k) نلاحظ:

- أن تأثير زيادة العامل (k) في معدل الضياع للرزوم يزداد بشكل كبير مع تزايد قيم العامل (k) في حال استخدام معدل وصول الملفات في حالة توزيع (Pareto) .

- أن تأثير زيادة العامل (k) في معدل الضياع للرزم يزداد بشكل أقل نسبياً مع تزايد قيم العامل (k) في حال استخدام معدل وصول الملفات في حالة توزيع (Poisson).
  - مع زيادة قيمة k يزداد حجم الرتل في كلتا الحالتين ولكن بقيم متفاوتة.
  - لذلك لا بد من اختيار قيم (k) بحيث تحقق معدل ضياع منخفضاً و حجم رتل متوسطاً (لأن زيادة حجم الرتل سيؤثر في التأخير، و هذا غير مناسب من أجل الحركة في الزمن الحقيقي كنقل الصوت و الفيديو (real time) . و يتم تحديد قيمة (k) بحسب الخدمة المقدمة .
- إذ تم استخدام NS لإجراء محاكاة لشبكة مؤلفة من مرسلات و مستقبلات ، من خلال إرسال الملفات عبر الشبكة ستعرض الرزم إلى ضياع، إذ تم رسم معدل ضياع الرزم و تغيير حجم الرتل باستخدام برنامج Gunplot . و سندرس لاحقاً نماذج نقل معطيات مختلفة و تقدير قيمة k المثالية على بارامترات الشبكة كالتدفق، حجم نافذة الازدحام. طريقة معالجة المعطيات عند طوفان الرتل overflow في حالة استخدام تقنية RED في معالجة طوفان الرتل.

#### Abbreviations:

#### المصطلحات و الاختصارات :

<b>ACK:</b>	<b>Acknowledgment</b>
<b>AQM:</b>	<b>Active Queue Management</b>
<b>DECbit:</b>	<b>Explicit Congestion Notification via packet marking</b>
<b>ECN:</b>	<b>Explicit Congestion Notification</b>
<b>FIFO:</b>	<b>First In First Out</b>
<b>ICMP:</b>	<b>Internet Control Message Protocol</b>
<b>NS:</b>	<b>Network Simulator</b>
<b>RED:</b>	<b>Random Early Detection</b>
<b>RTT:</b>	<b>Round Trip Time</b>
<b>SS:</b>	<b>Self Similar</b>
<b>TCP:</b>	<b>Transport Control Protocol</b>

## المراجع:

- [1] RFC 1122.
- [2] JACOBSON, V. "Congestion avoidance and control" In Proceedings of ACM SIGCOMM '88, August Stanford, CA. 1988. 314-329.
- [3] BRADEN, B.; CLARK, D.; CROWCROFT, J.; DAVIE, B.; DEERING, S.; ESTRIN, D.; FLOYD, S.; JACOBSON, V.; MINSHALL, G.; PARTRIDGE, C.; PETERSON, L.; RAMAKRISHNAN, K.; SHENKER, S.; WROCLAWSKI, J. & ZHANG, L. *Recommendations on Queue Management and Congestion Avoidance in the Internet, Internet draft, work in progress*, 1998.
- [4] CROVELLA, M. and BESTRAVOS, A. "Self-similarity in World Wide Web traffic: Evidence and possible cause", ACM Sigmetrics, 1996.
- [6] SIKDAR, B.; KALYANARAMAN S. and K. S. VASTOLA, " An Integrated Model for the Latency and Steady-State Throughput of TCP Connections" performance Evaluation, v.46, no.2-3, September 2001. 139-154.
- [7] [http://en.wikipedia.org/wiki/Pareto\\_distribution](http://en.wikipedia.org/wiki/Pareto_distribution).
- [8] FLOYD and PAXON, V. "Wide-Area Traffic: The failure of Poisson Modeling", in Proc. SIGCOMM '94, London, UK, Aug./Sept. 1994. 257-268.
- [9] BEKKER, R.; BORST, S. and N. -Q. RUDESINDO, "Integration of TCP-Friendly Streaming Sessions And Heavy-Tailed Elastic Flows," ACM SIGMETRICS
- [10] MARK M. Meerschaert "Truncated Pareto distribution: parameter estimation and applications". NZSA 2005 Meeting 4 July 2005.
- [11] DONALD GROSS JOHN F. SHORTLE, MARTIN J. FISCHER DENISE M. B. Masi "Difficulties in simulating queues with Pareto service" Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference E. Yücesan, C. H. Chen, J. L. Snowdon, and J. M. Charnes, eds.

