

## تقييم بارامترات الأداء لحركة ATM اعتماداً على نظرية الأرتال

د.م. ناجي محمد \*

م. علي حسن \*\*

(تاريخ الإيداع 2022/ 7/26 . قُبِلَ للنشر في 2022/9/1)

### □ ملخص □

عند تصميم شبكة ما، فنحن بحاجة إلى معرفة ما إذا كان سيتم استخدام التجهيزات لتحقيق الأداء الأفضل، ولإنجاز ذلك، سنحتاج إلى أن نكون قادرين على تقييم أدائها، حيث تنقسم طرق تقييم الأداء إلى فئتين: تقنيات القياس والتقنيات التنبؤية. تشمل التقنيات التنبؤية التحليل الرياضي والمحاكاة. وتتطلب طرق القياس توفر شبكات حقيقية لإجراء التجارب. في كثير من الأحيان، تكون المحاكاة هي الطريقة الوحيدة الممكنة نظراً لطبيعة المشكلة وبسبب صعوبة التعامل مع التقنيات التحليلية. ومع ذلك، يمكن أن تكون المحاكاة مكلفة للتطوير والتشغيل، وهي تستغرق وقتاً طويلاً، خاصة عند قياس الأحداث النادرة جداً (مثل ضياع رزم ATM) على الرغم من أن تقنيات المحاكاة المتسارعة يمكن أن تقلل من الوقت والتكلفة. يعد تحليل عملية الرتل جزءاً أساسياً من تقييم الأداء، لأن أرتال الانتظار تتشكل في أنظمة الاتصالات عندما يتنافس العملاء على موارد محدودة. فقد تم تحديد حجم المسجل الذي يجب أن نجعله لتخزين رزم ATM، تحديد التوزيع الاحتمالي لحجم النظام و كذلك يمكننا باستخدام رتل الانتظار  $M / D / 1$  للتنبؤ بنتيجة تمرير هذا التدفق من الرزم من خلال سلسلة متتابعة من أرتال الانتظار المماثلة، ورسم التوزيع الاحتمالي لزمن الانتظار الناتج.

**الكلمات المفتاحية:** نظرية الأرتال، تابع بواسون، الأرتال  $M/M/1, M/D/1$ ، احتمالات الحالة، ATM

\* مدرس في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس .

\*\* طالب ماجستير في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس .

## The performance parameters of ATM traffic are evaluated based on queuing theory

Dr. Naji Mohamad \*

Eng. Ali Hassan\*\*

(Received 26/7/ 2022 . Accepted 1/9/ 2022)

### □ ABSTRACT

When designing a network, we need to know if the equipment will be used to achieve the best performance, and to accomplish this, we will need to be able to evaluate its performance. Performance evaluation methods give into two categories: measurement techniques and predictive techniques. Predictive techniques include mathematical analysis and simulation. Measurement methods require real networks for experimentation. Oftentimes, simulation is the only feasible method due to the nature of the problem and because analytical techniques are difficult to work with. However, simulations can be expensive to develop and run, and are time-consuming, especially when measuring very rare events (such as ATM packet loss) although accelerated simulation techniques can reduce time and cost. Queue analysis is an essential part of performance evaluation, because queues are formed in communication systems when clients compete for limited resources. The size of the buffer that we should make to store the ATM packets is determined, the probability distribution of the system size is determined, and we can use queue M / D / 1 to predict the outcome of passing this flow of packets through a succession of similar queuing queues, and plot the probability distribution of waiting time The resulting.

**Keywords:** queue theory, Poisson function, M/M/1, M/D/1 queues, state probabilities, ATM.

---

\*Lecturer in the Department of Communications Technology Engineering - College of Information and Communication Technology Engineering - Tartous University .

\*\*Master's student at the Department of Communications Technology Engineering - College of Information and Communications Technology Engineering - Tartous University .

## 1. المقدمة:

إذا أردنا تصميم شبكة، فنحن بحاجة إلى معرفة ما إذا كان سيتم استخدام التجهيزات لتحقيق الأداء الأفضل، ولإنجاز ذلك، سنحتاج إلى أن نكون قادرين على تقييم أدائها. تنقسم طرق تقييم الأداء إلى فئتين: تقنيات القياس والتقنيات التنبؤية.

تشمل التقنيات التنبؤية التحليل الرياضي والمحاكاة. وتتطلب طرق القياس توفر شبكات حقيقية لإجراء التجارب. تتمثل ميزة القياس المباشر لأداء الشبكة في عدم استبعاد أي تفاصيل عن تشغيل الشبكة، حيث تتم مراقبة وقياس التشغيل الفعلي للشبكة الحقيقية. ومع ذلك، هناك بعض القيود. لا يمكن تطبيق التجارب على الشبكة الحقيقية التي تحقق دخل لمشغليها لأن العملاء من المرجح أن يتقدموا بشكوى ويأخذوا أعمالهم إلى شبكة أخرى. قد تكون الشبكة التجريبية محدودة في عدد ونوع منابع حركة البيانات المتاحة، مما يقيد مجال الشروط التجريبية الواقعية.

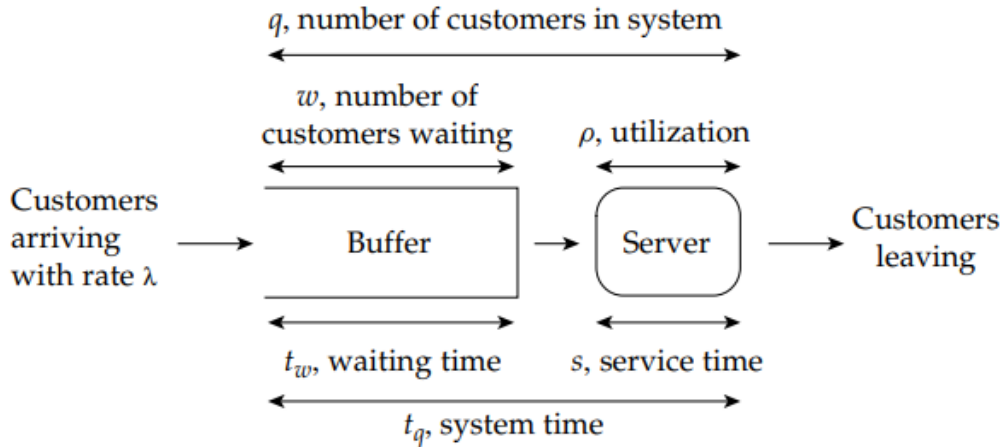
## 2. أهمية البحث وأهدافه:

تبرز أهمية البحث في دراسة سلوك عند مقارنة التحليل والمحاكاة، فإن العوامل الرئيسية التي يجب مراعاتها هي دقة النتائج، وزمن تحقيق النتائج، والتكلفة الإجمالية لاستخدام الطريقة (يشمل ذلك التطوير وكذلك الاستخدام). تتمثل إحدى ميزات الحلول التحليلية في إمكانية استخدامها بسرعة معقولة. ومع ذلك، فإن الحاجة إلى القدرة على حل النموذج تحدد مجال وخصائص النظام أو حركة البيانات التي يمكن تضمينها [1, 2]. يمكن أن ينتج عن هذا إجابات صحيحة للمشكلة الخاطئة، إذا كان حصل تغيير كبير للنموذج عن الواقع لجعله قابلاً للدراسة. وبالتالي، غالباً ما يستخدم التحليل لإنتاج تقريب للنظام، مع تحقيق النتائج بسرعة نسبياً وبتكلفة رخيصة. يمكن التحقيق في الشبكات ذات التعقيد باستخدام المحاكاة بحيث يمكن نمذجة الأنظمة إلى المستوى المطلوب من الدقة. في كثير من الأحيان، تكون المحاكاة هي الطريقة الوحيدة الممكنة نظراً لطبيعة المشكلة وبسبب صعوبة التعامل مع التقنيات التحليلية. ومع ذلك، يمكن أن تكون المحاكاة مكلفة للتطوير والتشغيل، وهي تستغرق وقتاً طويلاً، خاصة عند قياس الأحداث النادرة جداً (مثل ضياع رزم (ATM (Asynchronous Transfer Mode) على الرغم من أن تقنيات المحاكاة المتسارعة يمكن أن تقلل من الوقت والتكلفة.

## 3- طرائق البحث ومواده:

يعد تحليل عملية الرتل جزءاً أساسياً من تقييم الأداء، لأن أرتال الانتظار ("خطوط الانتظار") تتشكل في أنظمة الاتصالات عندما يتنافس العملاء على موارد محدودة. ففي تقنيات مثل ATM أو IP (Internet Protocol)، لا يقتصر الأمر على التنافس على الاتصالات، وقد يتم وضعها في أرتال الانتظار، ولكن كل اتصال يتكون من تدفق من الرزم، ويجب أن ترتب وتصطف أيضاً في رتل عند عقد التبديل أو أجهزة التوجيه أثناء عبورها للشبكة. سنستخدم الأرتال كتعبير رياضي عن فكرة التنافس على الموارد كما في الشكل (1)، حيث تصل العملاء إلى نظام انتظار يحتاج إلى مقدار معين من الخدمة؛ ينتظرون الخدمة، إذا لم تكن متاحة على الفور، في منطقة تخزين (تسمى "المخزن المؤقت" أو "قائمة الانتظار" أو "خط الانتظار")؛ وبعد الانتظار مدة معينة من الزمن، يتم تخديمهم ومغادرة النظام. لاحظ أن مصطلح "العملاء" هو التعبير العام الذي سنتعامل معه في مصطلحات نظرية الأرتال الانتظار ويستخدم

ليعني "أي شيء في قائمة الانتظار"؛ في ATM أو IP، يمكن أن يكون العملاء خلايا أو رمزاً أو رشقات أو تدفقات من الرزم [3].



الشكل (1) يمثل آلية عمل الرتل

يتم وصف أي نظام الرتل من خلال نمط الوصول ونمط الخدمة وعدد قنوات الخدمة وسعة النظام. يعد نمط الوصول هو الدخل إلى نظام الانتظار ويمكن تحديده في بعض الأحيان كمتوسط عدد الواصلين لكل وحدة زمنية (متوسط معدل الوصول) أو متوسط الزمن الفاصل بين الوصولات. أبسط إدخال يمكن أن يمتلكه أي نظام انتظار هو "المحدد"، حيث يكون نمط الوصول هو رزمة واحدة في كل وحدة زمنية  $t$ ، أي معدل وصول يبلغ  $1/t$ . لذلك، بالنسبة لخدمة معدل بتات ثابت (CBR) تبلغ  $64\text{kb/s}$ ، إذا تم ملء جميع  $48\text{Byte}$  في حقل المعلومات، فإن معدل الرزمة هو  $167\text{packet/sec}$ ، الزمن الفاصل بين الوصولات هو  $6\text{msec}$ . إذا كان نمط الوصول "عشوائي" (أي أنه يتغير بطريقة عشوائية بمرور الزمن)، فحينئذٍ يلزم المزيد من التوصيف، على سبيل المثال التوزيع الاحتمالي للزمن الفاصل بين الوصولات. قد تأتي الوصولات على دفعات بدلاً من وصول واحد، وقد يختلف حجم هذه الرشقات [4].

يمكن وصف نمط الخدمة، كما هو الحال مع أنماط الوصول، إما كمعدل للخدمة أو بالوقت المطلوب لخدمة العميل. هناك اختلاف واحد مهم: وقت الخدمة أو معدل الخدمة مشروط بأن لا يكون النظام فارغاً. إذا كان فارغاً، يُقال إن نظام الخدمة "معطل". ومع ذلك، عندما يكون المسجل لرزم ATM فارغاً، يتم إرسال دفق مستمر من حيزات الرزم الفارغة [5,6]. نميز حالتين:

**الحال الأولى:** من أجل تغذية NCBR منبع لمسجل ATM من خلال الأخذ بعين الاعتبار الافتراضي

التاليين،

**الافتراض الأول** هو أن نمط وصول الرزم من مصادر NCBR يمكن تقريبه بأزمان فاصلة بين الوصولات لها توابع أسية. هذا هو نفس القول بأن الوصول يتم من خلال عملية بواسون. ويمكن تبرير الافتراض الأول بأخذ قيم كبيرة جداً ل  $N$ .

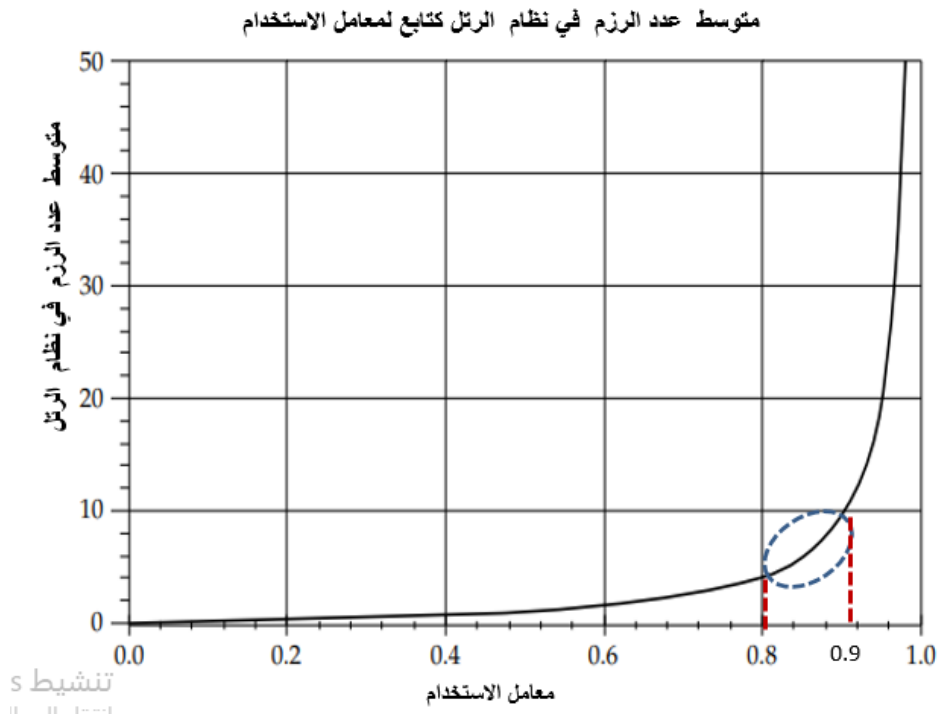
**الإفتراض الثاني** هو أن أزمان الخدمة لهذه الرزم تتبع التوزيع الأسي. و لكن نظراً لحقيقة أن ATM تستخدم رزم ثابتة الطول (وبالتالي أزمان الخدمة الثابتة)، فإن الافتراض الثاني ليس دقيقاً ومع ذلك، يمكننا استخدام هذا المثال لتوضيح بعض النقاط المهمة حول أنظمة الرتل.

لذلك لا بد من تحديد حجم المسجل الذي يجب أن نجعله لتخزين رزم ATM. فكما نعلم أن نظام الانتظار الذي يحدد النموذج  $M / M / 1$  يفترض مساحة تخزين لانهائية، و يتم تحديد متوسط عدد الخلايا في النظام، والذي يتم توفيره بواسطة العلاقة (1)[7]:

$$q = \frac{\rho}{1-\rho} \quad (1)$$

فمن أجل 1000CBR سيكون معامل الاستخدام يساوي 0.472. وبالتعويض في العلاقة (1) يمكن تحديد معدل حجم النظام:

$$q = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0.472}{1-0.472} = 0.894 \text{ packets}$$



الشكل (2) يمثل معدل عدد الرزم في نظام رتل  $M/M/1$

الآن بطرح معامل الاستخدام من متوسط حجم النظام سنحصل على متوسط حجم الانتظار:

$$0.894 - 0.472 = 0.422 \text{ packets}$$

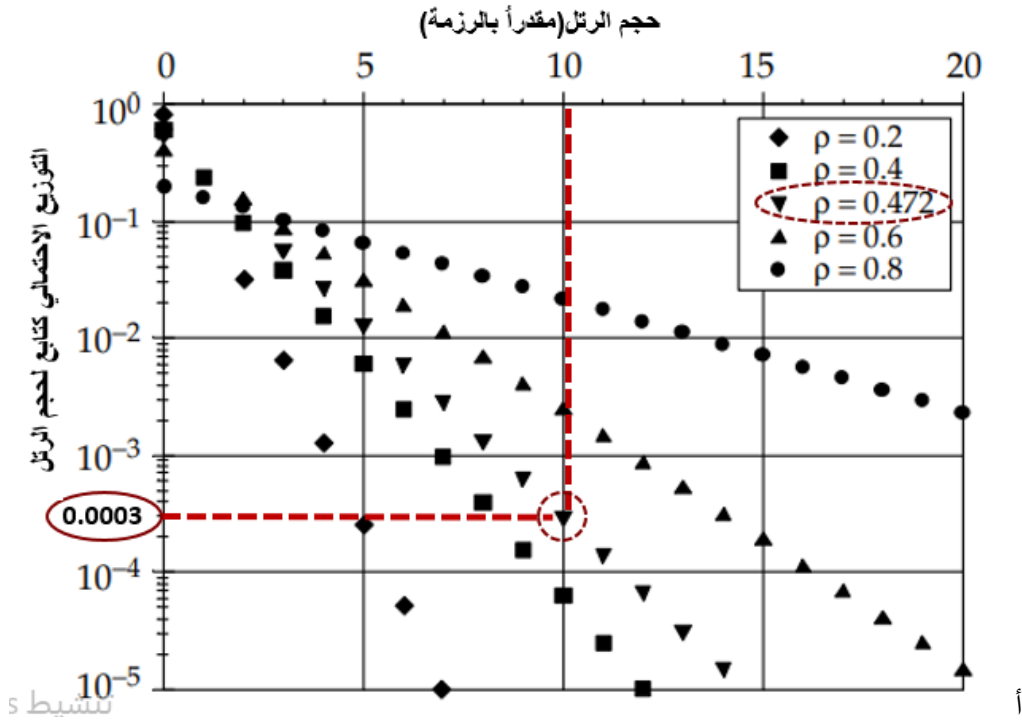
لكن هذه النتيجة ليست مفيدة لتحديد أبعاد مسجل ATM؛ نتوقع توفير مساحة انتظار على الأقل تزيد عن رزمة واحدة. ولكن بالعودة إلى الشكل (2) المعبر عن معدل حجم النظام كتابع لمعامل الاستخدام الذي يتغير من 0 إلى 1،

فيمكننا استخلاص نتيجة مفيدة للغاية بأن السمة الرئيسية من المنحني هي منطقة هي "knee" التي تتراوح بين 80% إلى 90% من معامل الاستخدام (المحاطة بالدائرة المنقطه في الشكل (2)). مما يشير إلى أنه من الأفضل العمل في النظام عند معامل استخدام أقل من 80% لتجنب زيادة رتل الانتظار لقيم كبيرة جداً. لكن ما زلنا لا نملك أي فكرة عن حجم المسجل المؤقت للاستخدام في ATM.

الخطوة التالية هي تحديد التوزيع الاحتمالي لحجم النظام من خلال العلاقة (2)[8]:

$$\Pr\{systemsize = x\} = (1 - \rho)\rho^x \quad (2)$$

يمثل الشكل (3) التوزيعات الاحتمالية لأحجام نظام مختلفة كتابع لقيم مختلفة لمعامل الاستخدام. فمحل معامل الاستخدام المحسوب سابقاً والمحدد بالقيمة 0.472 فإن قيمة الاحتمالية المترافقة مع حجم نظام يساوي 10 رزمة يساوي 0.0003.



الشكل (3) يمثل الاحتمالية كتابع لحجم النظام من أجل قيم مختلفة لمعامل الاستخدام

من الشكل (3) نستنتج أن حجم المسجل المؤقت المكون من 10 رزم لن يكون مناسباً لتلبية متطلبات احتمال ضيع الخلية ((PLP: probability loss packet) لرزم ATM. والتي غالباً ما تكون من رتبة  $10^{-8}$  أو أقل.

فمن أجل احتمالية حجم النظام أقل من  $10^{-8}$ ، فإننا نحتاج أن يكون حجم النظام يساوي 24 رزمة، وهذا يقابل احتمالية تساوي  $7.89 \times 10^{-9}$ . عند إجراء هذا الاستنتاج، قمنا بتقريب PLP من خلال احتمال وصول المسجل المؤقت إلى مستوى معين في نموذج المسجل المؤقت اللانهائي الخاص بالدراسة.

هذا يفترض أن نموذج المسجل المؤقت اللانهائي هو نموذج جيد لمسجل مؤقت ذا حجم محدود قيمته  $x$ . وبالتالي فإن  $\Pr\{systemsize = x\}$ ، هي تقريب مقبول للضياع من رتل محدود له حجم يساوي  $x$  و

يمكن تقريب PLP إلى احتمالية أن حجم النظام يتجاوز القيمة  $x$ . تحدد مجموع الاحتمالات بالقيمة واحد. لذلك من خلال طرح احتمالات الحالة إلى ومتضمنة القيمة  $x$  من الواحد، نحصل على احتمال ضياع الرزم المحددة بالعلاقة (3).

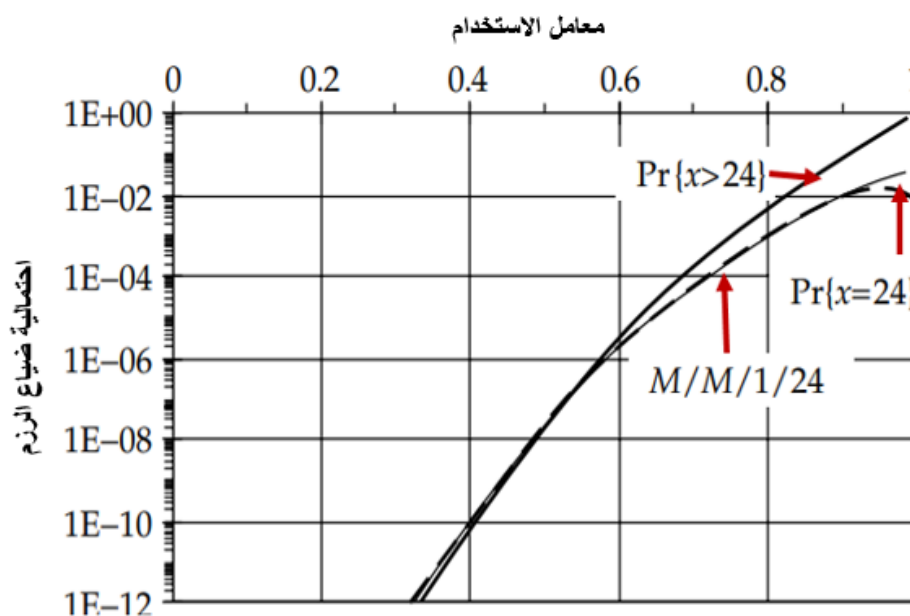
$$Pr\{\text{system size} > x\} = 1 - Pr\{\text{system size} \leq x\} = \rho^{x+1} \quad (3)$$

فمن أجل  $x=24$  و  $\rho = 0.472$ ، يعطى احتمالية بالقيمة:

$$Pr\{\text{system size}\} = \rho^{x+1} = 0.472^{25} = 7.06 \times 10^{-9}$$

وهي قيمة قريبة للقيمة السابقة المحسوبة.

بمقارنة نتائج التقريبين،  $Pr\{\text{system size}\} = x$  و  $Pr\{\text{system size}\} \geq x$ ، مع احتمال ضياع الرزم من نظام  $M / M / 1 / K$ ، لحجم نظام مكون مقداره 24 رزمة، مع معامل الاستخدام يتراوح من 0 إلى 1. ما يمكن ملاحظته هو أن جميع الطرق السابقة تعطي نتائج متشابهة جداً على معظم قيم معامل الاستخدام، وتتباين القيم فقط عندما يقترب معامل الاستخدام من 100%. بالنسبة لقيمة معامل الاستخدام التي حصلنا عليها سابقاً وبالقيمة 0.472، يوجد فرق ضئيل جداً. والنقطة الرئيسية التي يجب ملاحظتها هنا هي أن الرتل اللانهائي يقدم تقريباً مفيداً لرتل محدود كما هو موضح بالشكل (4).



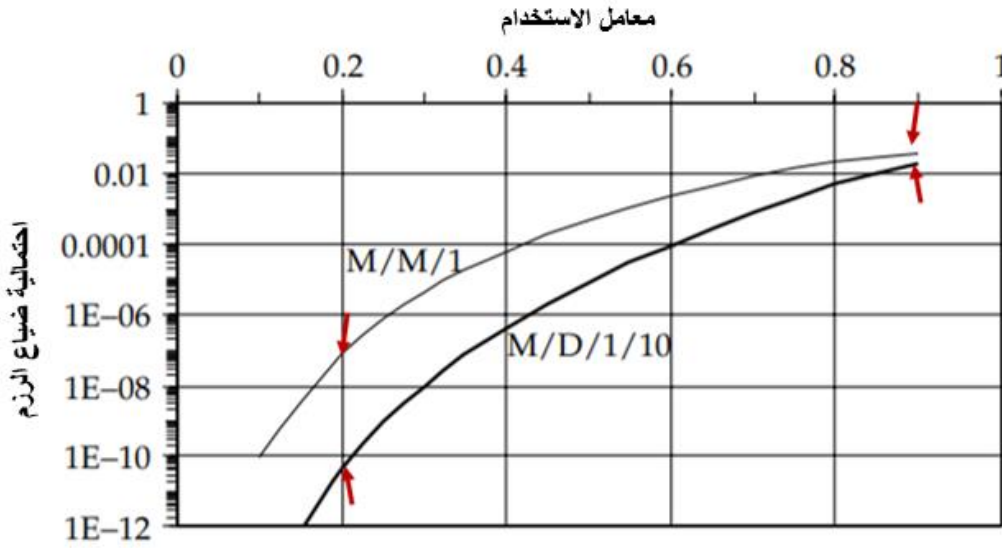
الشكل (4) يمثل حسابات PLP لنمط الرتل المحدود M/M/1

#### الحالة الثانية:

بأخذ الافتراض الثاني عن زمن الخدمة واستبدال زمن الخدمة الأسي بزمن الخدمة الثابت باعتبار أن حجم الرزم ثابت. تدخل الرزم الخدمة عندما يكون المخدم شاغراً، يبقى الافتراض الأول عن طبيعة الوصول. سنعتمد الرتل المحدود الحجم بدلاً من الرتل اللانهائي الحجم وليكن من النمط  $M/D/1/K$ . يعبر  $M$  عن عملية الوصول بواسون،  $D$  زمن الخدمة ثابت (حجم الرزمة ثابت)، عدد المخدمات يساوي الواحد و النظام محدود السعة (القيمة  $K$ ).

يوضح الشكل (5) احتمالية ضياع الرزم من خلال نمطي الرتل  $M/D/1/K$  و  $M/M/1$  من أجل  $Pr\{\text{system size}=x=10\}$  ومن أجل تغيير معامل الاستخدام بين 0 و 1. فمن أجل معامل الاستخدام المحسوب سابقاً 0.472

نجد أن الفرق بين نتائج ضياع الرزم يساوي الضعف. لذلك علينا أن نتذكر أن "إجابات" تقييم الأداء يمكن أن تكون حساسة إلى حد ما لاختيار النموذج، وهذا يعني أنها ستكون دائماً، إلى حد ما، مفتوحة للنقاش وغير محددة بنموذج محدد. فمن أجل احتمالية ضياع الرزم في نمط M/D/1/K أقل من  $10^{-8}$ ، وبالتالي نحتاج ليكون حجم النظام أقل من 15 رزمة، وقيمة PLP الحقيقية (من أجل حجم نظام يساوي 15 رزمة) يساوي  $4.34 \times 10^{-9}$  لذلك من أجل استخدام نموذج أكثر دقة للنظام (مقارنة مع M/M/1)، ويمكننا توفير حجم المسجل إذا استخدمنا نظام بحجم 24 رزمة، سيزداد معامل الاستخدام ليصل إلى 66% أكثر من 47.2%. ويمكن ملاحظة أيضاً من الشكل (5) أن احتمالات ضياع الرزم تصبح قريبة جداً من أجل قيم كبيرة لمعامل الاستخدام، أي أن الفرق بين النموذجين، مع افتراضات أزمان الخدمة المختلفة جداً، يصبح شبه مهم في ظل ظروف تكون فيه حركة المعطيات كثيفة أو كبيرة.



الشكل (5) يمثل احتمالية ضياع الرزم في حالة M/M/1 و M/D/1/K

يعد التأخير مهم بشكل خاص للخدمات الزمن الحقيقي، على سبيل المثال الصوت والفيديو. تسمح لنا علاقة Little بحساب متوسط وقت الانتظار من متوسط عدد الرزم المنتظرة في قائمة الانتظار ومعدل الوصول. إذا طبقنا هذا التحليل من أجل اتصال 1000CBR متعدد الإرسال معاً، نحصل على ما يلي:

$$t_w = \frac{\omega}{\lambda} = \frac{0.422}{166667} = 2.532 \mu sec$$

يحدد زمن الاستجابة أو التأخير الكلي (زمن المكوث في النظام):

$$t_q = t_w + s = 2.532 + 2.831 = 5.363 \mu sec$$

تعطي العلاقتين التاليتين متوسط زمن الانتظار حسب نوع كل نظام

$$t_w = \frac{\rho \cdot s}{1 - \rho} (M/M/1) \quad (4)$$

$$t_w = \frac{\rho \cdot s}{2(1 - \rho)} (M/D/1) \quad (5)$$

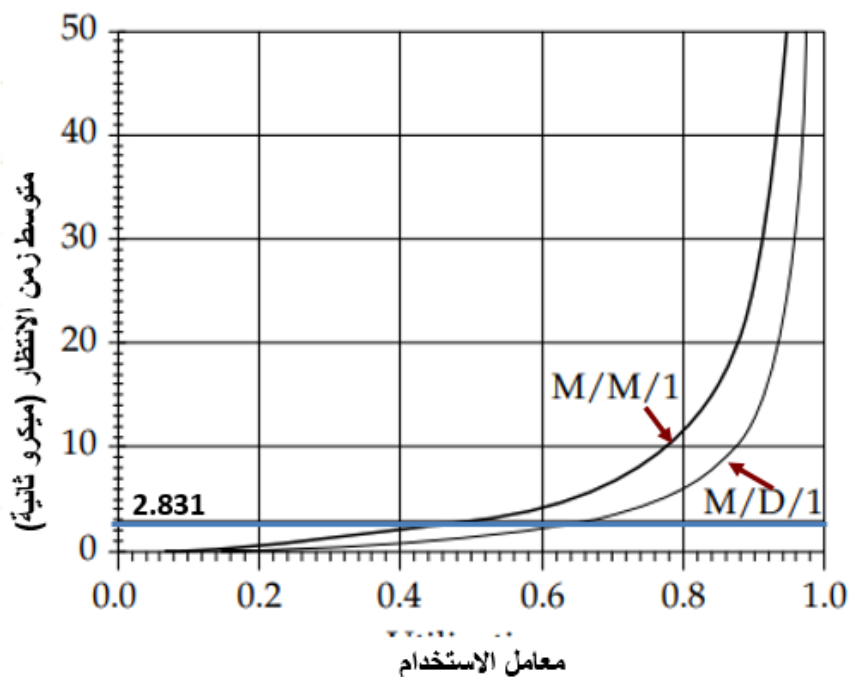
إن زمن الانتظار في النمط M/D/1 (يساوي هنا  $1.265 \mu sec$ ) نصف زمن الانتظار في النمط

M/M/1



يوضح الشكل (6) متوسط زمن الانتظار كتابع لمعامل الاستخدام في حالة النمطين، ويمثل الخط المستقيم زمن خدمة الرزمة. يمكن ملاحظة كيف يسيطر على التأخير حتى 60% من معامل الاستخدام يمكننا أن نعتبر "قاعدة عامة" مفيدة مفادها أن متوسط التأخير الناشئ عن أرتال الانتظار عبر الشبكة سيكون تقريباً ضعف مجموع زمن الخدمة. مع افتراض، أن معامل الاستخدام في أي رتل انتظار لن يزيد عن 60%. أما بالنسبة للتأخير الكلي من نهاية إلى نهاية، يجب أن نضيف أيضاً أزمان الانتشار على وصلات الإرسال.

والسؤال المطروح هل هذه قيم مهمة؟ تعد قيم مهمة لكن أخذت بمفردها، فلا تعد كافية. إنها تمثل قيم متوسطة، وستواجه الرزم تأخيرات ذات قيم كبيرة وصغيرة. يعد التأخير مهماً بشكل خاص عندما نأخذ بعين الاعتبار خصائص الوصلات وسيتعين على جميع الرزم في الاتصال المرور عبر سلسلة من المسجلات المؤقتة، كل منها ستؤخرها بمقدار "عشوائي" اعتماداً على عدد الرزم الموجودة بالفعل في المسجل المؤقت عند الوصول. سيؤدي ذلك إلى تأخير بعض الرزم أكثر من الرزم الأخرى، ما يُعرف باسم تذبذب التأخير أو تباين تأخر الرزمة (PDV: packet derivation Delay).



الشكل (6) يمثل متوسط Ik. الانتظار للأرتال M/M/1 و M/D/1

يظهر الشكل (7) حركة رزم الاتصال التي نراقبها؛ كما يوجد رزم حركة بيانات أخرى المتشاركة في قائمة رتل الانتظار في المسجل المؤقت.



## الاستنتاجات والتوصيات:

- يعد تحليل عملية الرتل جزءاً أساسياً من تقييم الأداء.
- تم تحديد حجم المسجل الذي يجب أن نستخدمه لتخزين رزم ATM.
- عند العمل مع نمط الرتل M/M/1 فإن السمة الرئيسية من المنحني هي منطقة هي "knee" التي تتراوح بين 80% إلى 90% من معامل الاستخدام، مما يشير إلى أنه من الأفضل العمل في النظام عند معامل استخدام أقل من 80% لتجنب زيادة رتل الانتظار لقيم كبيرة جداً.
- تم تحديد التوزيعات الاحتمالية لأحجام نظم مختلفة كتابع لقيم مختلفة لمعامل الاستخدام
- النقطة الرئيسية التي تم ملاحظتها هنا هي أن الرتل اللانهائي يقدم سلوك تقريبي لرتل محدود
- أن احتمالات ضياع الرزم تصبح قريبة جداً من أجل قيم كبيرة لمعامل الاستخدام، أي أن الفرق بين النموذجين (في حالة M/M/1 و M/D/1/K) مع افتراضات أزمنة خدمة مختلفة جداً، يصبح شبه مهمل في ظل ظروف حركة بيانات المعطيات الكثيفة.
- تم باستخدام رتل الانتظار M / D / 1 للتنبؤ بنتيجة تمرير هذا التدفق من الرزم من خلال سلسلة متتابعة من أرتال الانتظار المماثلة، ورسم التوزيع الاحتمالي لزمن الانتظار الناتج حيث تظهر النتائج بوضوح اتجاه التوزيع الاحتمالي للتأخير ليكون أكثر تسطحاً مع زيادة عدد المسجلات (الذاكرة)، فكلما زاد عدد المسجلات المؤقتة التي تمر بها الرزم، زادت الاحتمالات المرتبطة بالانتظار لفترات طويلة، بينما مع فترات الانتظار القصيرة تميل إلى التساوي والتقارب

## المراجع

- [1] Ke JC (2003) The optimal control of an M/G/1 queueing system with server startup and two vacation types. Appl Math Model 27:437–450
- [2] Ke JC, Huang KB, Pearn WL (2010d) The randomized vacation policy for a batch arrival queue. Appl Math Model 34:1524–1538
- [3] Krishnakumar B, Rukmani R, Anantha Lakshmi SR (2013) Performance analysis of an M/G/1 queueing system under Bernoulli vacation schedules with server setup and close down periods. Comp Indus Eng 66:1–9
- [4] Krishnakumar B, Anbarasu S, Anantha Lakshmi SR (2015) Performance analysis for queueing systems with close down periods and server under maintenance. Int J Syst Sci 46:88–110
- [5] Bin Ali, Z., Samad, M., & Hashim, H. (2011). Performance comparison of video multicasting over Asynchronous Transfer Mode (ATM) & Multiprotocol Label Switching (MPLS) networks. 2011 IEEE International Conference on System Engineering and Technology. doi:10.1109/icsengt.2011.599344
- [6] naji Mohamad (2019) " تأثير أنماط الوصول العشوائية على الطبيعة " الرشقية للحركة في الأرتال المقطعة زمنياً
- [7] Oliver C. Ibe (2015), M/G/1 Vacation Queueing Systems with Server Timeout, American Journal, 5:77-88.
- [8] T. Jiang, "Analysis of a clearing queueing system with server maintenance after N negative feedbacks," Probability in the Engineering and Informational Sciences, vol. 33, no. 2, pp. 220–240, 2019.