

Performance Evaluation of the M2M Communication in the 4G Network (LTE/LTE-A) With Real Background Traffics

Hala Adnan Fadel

Yasser Emleh

Ali Diab

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering || Al-Baath University || Syria

Abstract: The applications of the fifth generation in 5G communications depend on the Internet Of Things (IOT), meaning that every person and everything will be connected to the Internet, so any tool or device in the house or in the street or any work place will be connected to the internet, and this leads us to the term Smart cities, i.e. data is formed everywhere by any person or any machine and is analyzed in a short time to obtain useful information in a timely manner such as monitoring the health status of patients and the elderly, and monitoring devices and tools at home and determining whether there is a malfunction or a lack of a substance, As well as analyzing the traffic situation in the streets and assisting and warning drivers Non-visual risks, which pave the way towards a self-driving cars. Here, machine-to-machine (M2M) mobile communications play a pivotal role in enabling effective and safe transfer of this information from machine to machine without human intervention at full speed and with minimal delay. This poses more challenges for the future network that must accommodate mobile data and the huge number of devices and sensors deployed everywhere in order to be a large-scale network with high capacity and efficiency^[16, RODRIGUEZ, J].

In this article, several scenarios have been tested to evaluate the performance of M2M technology within 4Generation LTE / LTE-A networks by adding an external simulated network load. The results showed that the amount of data sent by the MMS sensors is fully received by the remote host, so we get 100% productivity. As for other applications, the productivity is around 99% and the average delay is relatively small as long as the network operates within the available transfer rates. In addition, the process of exchanging packages takes place almost completely (a small amount of losses).

Keywords: Performance Evaluation, Machine-to-Machine communication M2M, simulation, LTE/LTE-A, Throughput, Delay.

تقييم أداء نظم الاتصال M2M ضمن شبكات الجيل الرابع LTE/LTE-A المتضمنة حمل الشبكة الفعلي

حلا عدنان فاضل

ياسر عملة

علي دياب

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية || جامعة البعث || سوريا

الملخص: تعتمد تطبيقات الجيل الخامس في الاتصالات 5G على انترنت الأشياء (IoT) أي أن كل شخص وكل شيء سيكون متصلًا بالإنترنت، فأي أداة أو جهاز في البيت أو في الشارع أو أي مكان عمل سيكون متصلًا بشبكة الإنترنت، وهذا ما يقودنا إلى مصطلح المدن الذكية، أي يتم تشكيل البيانات في كل مكان من قبل أي شخص أو أي آلة ويتم تحليلها بزمن قصير للحصول على معلومات مفيدة في الوقت المناسب كمراقبة الحالة الصحية للمرضى وكبار السن، ومراقبة الأجهزة والأدوات في المنزل وتحديد إن كان هناك عطلا ما أو نقصا في مادة ما، وكذلك تحليل حالة المرور في الشوارع ومساعدة السائقين وتحذيرهم من المخاطر غير المرئية مما يمهّد الطريق نحو السيارات ذاتية القيادة. وهنا تلعب الاتصالات المتنقلة من آلة إلى آلة (M2M) دوراً محورياً في تمكين النقل الفعال والأمن لهذه المعلومات من آلة إلى آلة أخرى بدون تدخل الإنسان بأقصى سرعة وبأقل تأخير. وهذا ما يفرض مزيداً من التحديات على الشبكة المستقبلية التي يجب أن تستوعب بيانات الهواتف الجوالة والعدد الهائل من الأجهزة والحساسات المنتشرة في كل مكان لتكون شبكة واسعة النطاق بقدرة وكفاءة عالية [16, RODRIGUEZ].

في هذه المقالة تم اختبار عدة سيناريوهات لتقييم أداء تقنية الاتصال M2M ضمن شبكات الجيل الرابع LTE/LTE-A عن طريق إضافة حمل خارجي للشبكة يحاكي الواقع. وأظهرت النتائج أن كمية البيانات المرسلّة من قبل حساسات الـ MMS يتم استقبالها بشكل كامل من قبل الـ Remote host وعليه نحصل على إنتاجية 100%. أما بالنسبة للتطبيقات الأخرى فإن الإنتاجية تكون بحدود 99% ومتوسط التأخير الزمني صغير نسبياً طالما أن الشبكة تعمل ضمن معدلات النقل المتاحة. كما أن عملية تبادل الحزم تتم بشكل شبه كامل (كمية ضياعات قليلة).

الكلمات المفتاحية: تقييم الأداء، الاتصالات المتنقلة من آلة إلى آلة M2M، المحاكاة، LTE/LTE-A، الإنتاجية، التأخير الزمني.

مقدمة

تحتاج الأنظمة والأجهزة الكهربائية الذكية إلى التواصل مع الآخرين لتحقيق التوازن بين توليد الكهرباء واستهلاكها والحفاظ على نظام الطاقة آمناً. لا يمكن القيام بذلك دون دعم شبكة اتصال موثوقة توفر اتصالاً ثنائي الاتجاه بين مختلف الأجهزة الإلكترونية الذكية (IED) Intelligent Electronics Device والأنظمة. تعتبر الشبكة الذكية Smart Grid تحسناً مستقبلياً للشبكات الكهربائية، والهدف من الشبكة الذكية هو توليد ونقل وتوزيع الكهرباء إلى العملاء من خلال أنظمة الطاقة الفعالة والمستدامة والاقتصادية والأمنة.

هناك العديد من بروتوكولات الاتصال المصممة لدعم الاتصال بين الكيانات الذكية في الشبكة الذكية. وقد تم اختيار (MMS) Manufacturing message Specification لأنها توفر خدمات الاتصالات في الزمن الحقيقي وتمتاز بالمرونة من خلال دعم ملفات تعريف اتصالات TCP/IP وOSI [15, PHAM.T].

تتضمن الشبكة الذكية شبكة التوزيع التي تقوم بربط شبكة النقل ذات الجهد العالي مع موارد الطاقة المتجددة الموزعة جغرافياً والتي تملك جهداً متوسطاً. كلما ارتفع مستوى التشغيل الآلي والتحكم في شبكة التوزيع زادت كفاءة استخدام الكهرباء في الشبكة الذكية. نظراً لدور شبكة التوزيع في التوسع والانتشار في المنطقة الجغرافية، فإن البنية التحتية للاتصالات التي تدعم وظائف الأتمتة والتحكم يجب أن تكون قابلة للتطوير وذات موثوقية وأمن عاليين. يمكن استخدام شبكات اتصال مختلفة لدعم عمل تقنية MMS مثل Ethernet والشبكات اللاسلكية. فعلى سبيل المثال في الدراسة المرجعية [14, PARIKH.P] تم استخدام تقنية Wireless Local Area Network (WLAN) والتي حققت مزايا مختلفة من حيث التكلفة المنخفضة، ومعدل نقل البيانات و النشر السهل easy deployment. ومع ذلك فهي غير مناسبة لنظم الاتصالات المستخدمة في عملية التحكم عن بعد في الشبكات الذكية وذلك بسبب التغطية المحدودة لـ WiFi radio. من خلال هذه الملاحظة، ندرك أن الشبكات الخلوية المتنقلة وخاصة شبكة الجيل الرابع (LTE/LTE-A) ستكون الخيار الأمثل لدراستنا لعدة أسباب منها: مقدرة هذه الشبكات على استيعاب وتخديم عدد كبير من الأجهزة بتغطية جيدة وباستهلاك طاقة منخفض ووثوقية عالية وكلفة أقل [19]. وبالتالي، فإن الهدف الرئيسي من هذا البحث هو دراسة أداء تقنية MMS عبر شبكات الجيل الرابع LTE/LTE-

A لدعم اتصالات التحكم عن بعد في شبكة التوزيع^[18, SMB]. لذلك من أجل دراسة وتحليل أنظمة نقل البيانات الداعمة لتقنية الاتصالات M2M قمنا ببناء نموذج يحاكي نظم الاتصالات المستخدمة في عملية التحكم عن بعد في الشبكة الذكية باستخدام المحاكي مفتوح المصدر NS3 في بحث سابق^[1, HALA.F].

مشكلة البحث

أغلب الدراسات اعتمدت على إرسال البيانات بين العقد المكونة لطبولوجيا الـ M2M وطريقة تبادل هذه البيانات بين عناصر تقنية M2M، ولكن بالحياة العملية هذا غير دقيق بسبب استخدام تقنيات الاتصالات بأكثر من تطبيق مثل التطبيقات الفيديوية والصوتية وتحميل الملفات وتبادل البيانات في الألعاب التفاعلية الخ... والتي تؤثر على جودة أداء التطبيقات الأخرى. من هنا تم التوجه لدراسة تأثير الحمل الأساسي للشبكة المقترحة (LTE/LTE-A) الناتج عن استخدام هذه الشبكة من قبل مستخدمين آخرين (كاستخدام تطبيقات المراسلات الصوتية والفيديوية بالإضافة إلى تحميل البيانات) على جودة نقل بيانات الأجهزة الذكية المستخدمة في عملية المراقبة والتحكم بالشبكة الذكية.

هدف البحث

كنا قد استعرضنا في دراسة سابقة نموذج يبين مبدأ عمل تقنية الـ MMS المستخدمة في الـ M2M من خلال سيناريو يراقب حركة تبادل البيانات بين Remote Host والذي يمثل MMS client وعدد من الـ User Equipment (UEs) التي تمثل MMS server عبر شبكة اتصال عامة مثل شبكة الانترنت ومن ثم مراقبة حركة البيانات. في هذه الدراسة سنقوم بتطوير النموذج المقترح في الدراسة^[1, HALA.F] ليكون قادراً على دراسة أثر إضافة حمل خارجي على أداء تقنية الاتصال M2M.

منهجية وطرق البحث

اعتمدنا المنهجية التجريبية والتحليلية لتحليل أداء الشبكة بدءاً من الحساس الذي يتصل مع الـ Gateway إلى مركز التحكم والذي يمثل الـ Remote Host حيث ندرس تبادل البيانات بشكل مفرد ومع وجود حمل افتراضي على الشبكة وذلك عن طريق محاكاة الشبكة باستخدام المحاكي NS3 الذي يعتبر من أهم الأدوات التي يستخدمها الباحثون في مجال الشبكات حول العالم ويمكن من خلاله بناء أي نوع من أنواع الشبكات واختبار ادائها ومقارنتها ببقية الشبكات المختلفة. يستخدم بصورة رئيسية في الأبحاث العلمية والأغراض التدريسية حيث بدأ كمشروع محاكي مفتوح المصدر في عام 2006^[13, ns-3 Tutorial]. من الأسباب الرئيسية التي تدفع لاستخدام مثل هذا المحاكي هو إمكانية التعامل معه ضمن الدراسات التي تتناول أنظمة الزمن الحقيقي، بالإضافة لدراسة أداء النظام بشكل دقيق وتفصيلي ودعم كافة نماذج عمل وبروتوكولات الشبكات.

الدراسات المرجعية:

بينت الدراسات المرجعية أهمية استخدام تقنية الاتصال M2M في تشغيل رؤية إنترنت الأشياء (IoT vision) من خلال توفير اتصال واسع الانتشار بين العديد من الأجهزة الذكية^[5, CHEN.K, LIEN.S]، حيث يشير المصطلح M2M في إنترنت الأشياء إلى التبادل المستقل للبيانات بين العديد من الأجهزة المترابطة فيما بينها. وبناءً عليه فإنه من المتوقع أن تلعب هذه التقنية دوراً بارزاً في تطوير التطبيقات الحديثة ضمن قطاع السيارات والأمن والرعاية الصحية الالكترونية وغيرها من المجالات المختلفة^[12, NOKIA, LTEM2M]. من هنا أتت الحاجة إلى البحث عن بنية شبكية تناسب

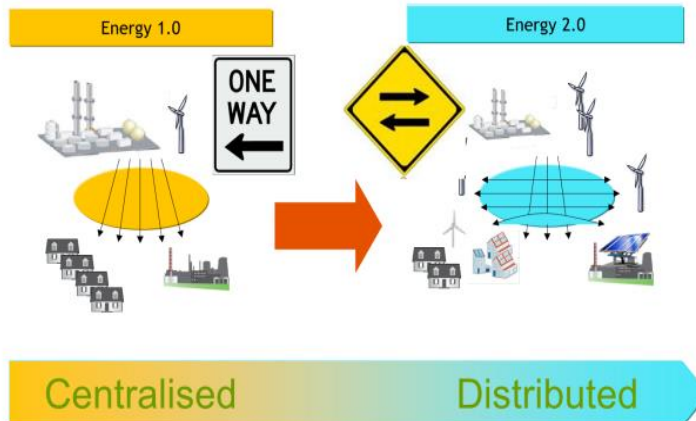
مع الانتشار الواسع لتطبيقات الـ M2M، حيث أثبتت الدراسات المرجعية تفوق الشبكات الخليوية المتنقلة وذلك لعدة أسباب منها: مقدرة هذه الشبكات على استيعاب وتحميل عدد كبير من الأجهزة بتغطية جيدة وباستهلاك طاقة منخفض ووثوقية عالية وكلفة أقل^[11, TALEB.T]. إلا أن هذا الاستخدام سيؤدي حتماً إلى زيادة حمل الشبكة بشكل كبير، والذي تم اعتباره العنصر الأساسي في توقع نمو حجم تبادل البيانات ضمن الشبكات الخليوية المقترح من قبل منظمة الاتصالات الدولية المتنقلة (IMTAdvanced) International Mobile Telecommunications-Advanced^[7, COX.C]. وعليه تم تطوير العديد من الآليات والطرق لتناسب مع الزيادة المتوقعة في حجم نقل البيانات ضمن الشبكات الخليوية مثل تقنية الجيل الرابع LTE/LTE-A والتي تقدم معدل نقل بيانات عالي بالإضافة إلى تحسين في التغطية وآليات إدارة المصادر الراديوية^{[3, 3GPP] [6, CHANDRASEKHAR.V] [2, 3GPP LTE-Advanced]}

نظراً لأن تقنية الاتصال M2M تؤمن اتصالاً مستقلاً بين مجموعة من الحساسات الذكية والأجهزة المراد التحكم بها أو مراقبتها، فإن خصائص عملية نقل البيانات تختلف عن تلك المتاحة في أنظمة شبكات الخليوي من حيث الكثافة المرورية وحجم الرزمة ومتطلبات جودة الخدمة (QoS)^[10, LANER.M] بالإضافة إلى توليدها لحركة نقل بيانات كبيرة باتجاه الشبكة (Uplink) مقارنة مع الـ downlink^[17, SHAFIQ.MZ]. يضاف إلى ذلك مجموعة من الخصائص الفريدة الخاصة بتقنية الـ M2M منها: الحجم المتزايد في أجهزة الـ M2M، إرسال البيانات بأحجام صغيرة small payloads، دعم أنماط متعددة من الحركة mobility، التحكم بالزمن time controlled، التسامح بالتأخير-delay tolerant، نقل البيانات بشكل متقطع bursty traffic^[17, SHAFIQ.MZ]. لذلك وجب تطوير الآليات والمعايير المستخدمة في أنظمة شبكات الخليوي التقليدية لتناسب مع الخصائص الجديدة لتقنية الـ M2M. وعليه نحتاج إلى بنية شبكية محسنة من نوع End-to-End (E2E) عبر شبكة الخليوي وكمثال عن هذه الشبكة يمكن استخدام LTE/LTE-A.

الإطار النظري

1- الشبكة الذكية Smart Grid:

قامت European Technology Platform Smart Grid بتعريف الشبكة الذكية على أنها شبكة كهربائية يمكنها أن تقوم بدمج تصرفات جميع المستخدمين المتصلين بها -المولدات والمستهلكين والمستخدمين على حد سواء - بطريقة ذكية من أجل توفير طاقة مستدامة واقتصادية وأمنة بشكل فعال^[9, FRANS.C]. السمة الرئيسية لـ Smart Grid هي تبادل المعلومات في اتجاهين بفضل شبكات الاتصالات، والتي هي عامل التمكين الرئيسي للتطبيقات الذكية المستقبلية. يوضح الشكل (1) التطور من شبكة الكهرباء المركزية التقليدية إلى شبكة الكهرباء الذكية الموزعة. ومن الشكل يتبين لنا أن الشبكة الذكية تحتاج شبكة اتصالات معقدة للسماح بالاتصال بين الجهات المختلفة.



الشكل (1): التحول من الشبكة الكهربائية التقليدية إلى الشبكة المستقبلية [9,FRANS.C].

2- LTE background traffic

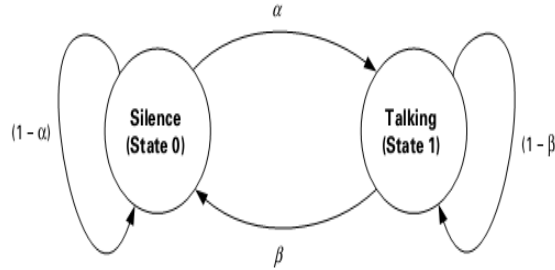
نظراً لأن هدف هذا البحث هو دراسة التأثير المتبادل بين الأجهزة الذكية (SM) Smart Meters المنتجة لـ MMS traffic وتبادل البيانات الناتجة عن خدمات الشبكة LTE Service traffic، كان لابد من تطوير النموذج المقترح في الدراسة [1,HALA.F] لنزاعي تأثير تبادل البيانات الأساسي لـ LTE background traffic للتحقق من الأداء. في هذا البحث قمنا باستخدام نسب مختلفة من حركات المرور traffic mix والموضحة في الجدول (1).

الجدول (1): نسب حركات المرور.

النسبة المئوية للمستخدمين	التطبيق
30%	VOIP
30%	Video
30%	Gaming
10%	Ftp

- Voice over IP (VOIP) traffic model

يتميز نموذج الصوت ببساطته وله حالتين، الحالة 0: الصمت أو الحالة غير النشطة. الحالة 1: الحديث أو الحالة النشطة. احتمالية الانتقال من الحالة 0 إلى الحالة 1 هي α بينما احتمال البقاء في الحالة 0 هو $(1-\alpha)$. من ناحية أخرى، يشار إلى احتمال الانتقال من الحالة 1 إلى الحالة 0 هو β بينما احتمال البقاء في الحالة 1 هو $(1-\beta)$. كما هو موضح بالشكل (2).



الشكل (2): حركة المرور بنموذج الصوت [8,FAROOQ.K].

يتم إجراء التحديثات بمعدل $R = 1/T$ وهو معدل تشفير الكلام، حيث T هي مدة إطار التشفير (20 ملي ثانية). يعبر عن احتمال التواجد في حالة التحدث أي الحالة 1 بـ Voice Activity Factor (VAF).

$$VAF = P_1 = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

تم أخذ مواصفات تطبيق VoIP من الدراسة المرجعية [8,FAROOQ.K] حيث يستخدم الترميز الصوتي RTP AMR

12.2، مع حجم حمولة الصوت 40 بايت أثناء وقت التحدث. يتم إرسال حزمة Silence Insertion Descriptor (SID) التي تتكون من مجموعه 15 بايت كل 160 ms (أو ما يعادل 8 إطارات صوتية) وذلك خلال فترات الصمت.

Video traffic model

يصل كل إطار frame يحمل معلومات عن الفيديو بعد فاصل زمني T والذي يعبر عن عدد الإطارات في كل ثانية. يتم تقسيم كل إطار إلى عدد ثابت من الشرائح slices يتم إرسال كل منها كحزمة packet. يقدم مشفر الفيديو فترات تأخر التشفير بين رزم الإطار. يتم تصميم هذه الفواصل الزمنية بواسطة توزيع Pareto [8, FAROOQ.K].

Interactive gaming traffic model

نموذج تبادل البيانات للألعاب التفاعلية يتألف من قسمين، الأول عملية تبادل البيانات من المستخدم إلى المخدم (الوصلة الصاعدة (Up Link (UL) والثاني تبادل البيانات من المخدم إلى المستخدم (الوصلة الهابطة Down Link (DL) [4, CAPOZZI.etc]. حيث يتم توزيع وقت وصول الحزمة الأولي بين 0ms و 40ms. يتم تصميم حجم الرزمة لكل من الوصلة الهابطة والوصلة الصاعدة باستخدام أكبر توزيع للقيمة العظمى (المعروف أيضاً باسم توزيع Fisher-Tippett [8, FAROOQ.K].

File Transfer Protocol (FTP) traffic model

تتضمن مجموعة من عمليات نقل الملفات مفصولة بأوقات القراءة. البارامتران الرئيسيان لـ FTP هما حجم الملف S الذي سيتم نقله، ووقت القراءة D أي الفاصل الزمني بين نهاية تنزيل الملف السابق وطلب المستخدم للملف التالي. ينطبق نفس النموذج على كل من الوصلة الهابطة والوصلة الصاعدة.

سيناريو المحاكاة:

تتألف الشبكة المقترحة من نوعين من العقد، يستخدم النوع الأول في محاكاة البيانات الناتجة عن أنظمة الـ M2M والتي تتألف من عقد Smart Meters (SMs) وعقد UEs موزعة بشكل عشوائي حول العقدة eNodeB ضمن مجال دائرة نصف قطرها $R \approx 800$ m متصلة بمركز تحكم عن طريق شبكة تعتمد تقنية الـ LTE. بينما يحاكي النوع الثاني تبادل البيانات الناتجة عن الحمل الإضافي Background traffic والذي يتألف من عقد Background (BG) تعتمد على هيكلية client/server والتي تتصل مع بعضها البعض عن طريق شبكة الـ LTE المستخدمة لتخديم أنظمة الـ M2M. وقد تم استخدام LTE release 8 [11, LENA.http] من أجل إجراء المحاكاة والبارامترات موضحة بالجدول (2):

الجدول (2): بارامترات LTE eNodeB الرئيسية [3, SMB].

البارامتر	القيمة
Uplink bandwidth	5MHZ
Downlink bandwidth	5MHZ
Transmission mode	MIMO 2×2
UE transmission power	26 dBm
UE noise figure	5 dB
eNB transmission power	49 dBm
eNB noise figure	5 dB
Cell radius	800 m (typical urban case)

ولتقييم أداء أنظمة الـ M2M ضمن شبكة الـ LTE/LTE-A قمنا بتوليد حمل شبكة متغير ناتج عن نسبة المزج traffic mix =BG/MMS وذلك عن طريق زيادة عدد عقد كلا النوعين كما هو موضح بالجدول (3) حيث تم تكرار النسبة ست مرات وبعدها عقد مختلفة.

الجدول (3): عدد عقد BG وMMS المستخدمة في السيناريو.

Traffic mix BG/MMS%	عدد عقد BG	عدد عقد MMS
70/30%	20	10
	40	20
	60	30
	80	40
	100	50
	120	60

نلاحظ أن الـ traffic mix للوصلة الصاعدة تختلف عنها للوصلة الهابطة بنسبة بسيطة ويرجع ذلك إلى أن خصائص الـ traffic load تختلف بين الاثنين مثل حجم الرزم، معدل وصول الرزم... الخ. يحتوي NS3 على built-in-traces تسمح لنا بقياس الأداء، نتتبع ملف DLRLcstats.txt من أجل قياس كمية تبادل البيانات المرسل من قبل العقدة eNodeB والمستلمة من قبل العقد UEs وذلك من أجل DL. وكذلك من أجل الـ UL نتتبع ملف ULRLcstats.txt المتضمن كمية تبادل البيانات بالاتجاه المعاكس من UEs إلى eNodeB. وقد تم اعتماد بارامترات التقييم التالية:

1- الإنتاجية Throughput: ويعبر عن كمية البيانات التي يتم نقلها بنجاح عبر شبكة الـ LTE، والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$\text{Throughput} = 1 - \frac{Tx - Rx}{Tx}$$

حيث Tx: كمية الحزم المرسل، Rx: كمية الحزم المستقبل.

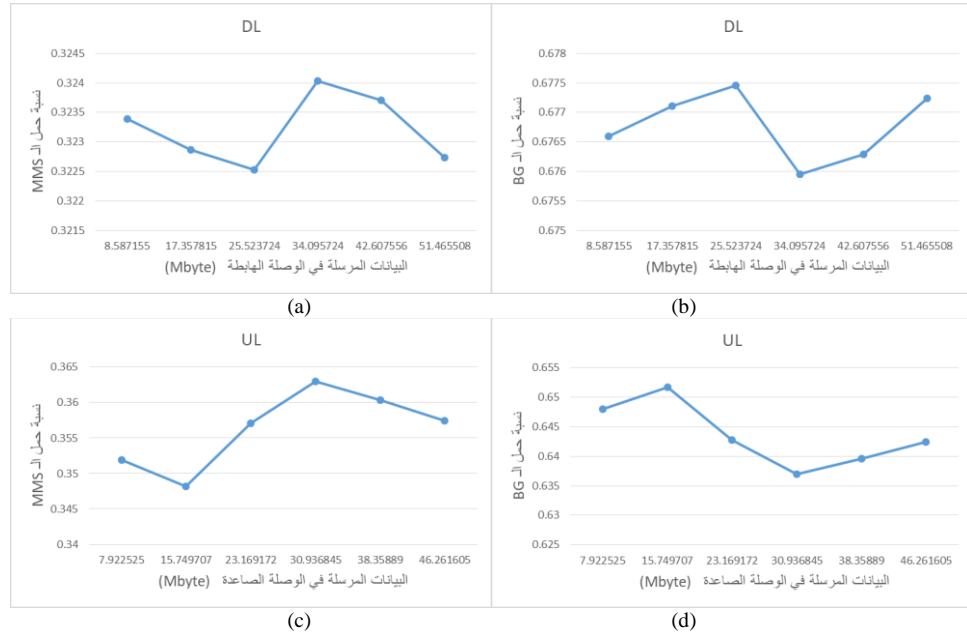
2- التأخير Delay: والذي يمثل المتوسط الحسابي للزمن اللازم لإرسال الرسائل في أحد الاتجاهين DL أو UL.

النتائج والمناقشة:

من أجل تحقيق نسبة 70/30 سيتم تغيير عدد مستخدمي الـ BG والـ MMS بحيث نقوم بزيادة عدد العقد لكل من BG وMMS ونراقب كمية البيانات المرسل والمستقبل من قبل كل مستخدم الـ BG والـ MMS في كل من الوصلتين الصاعدة والهابطة. وقد تم تحقيق النسبة وفق الخطوات التالية:

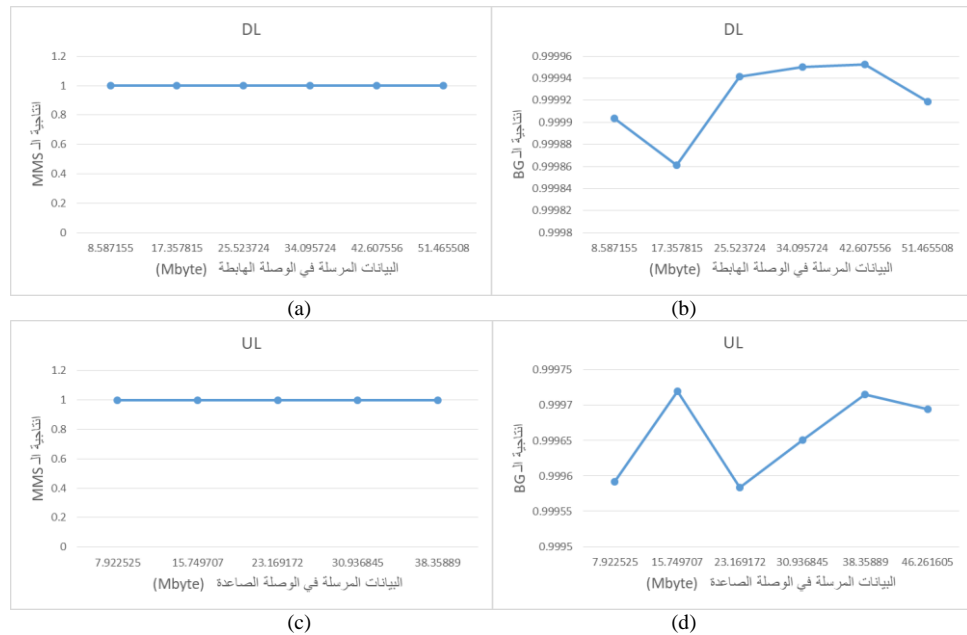
- 1- تعيين عدد مستخدمي الـ BG.
- 2- تعيين عدد مستخدمي الـ MMS وتشغيل المحاكاة وتخزين النتائج.
- 3- حساب النسبة BG/MMS:
- إذا كانت النسبة أقل من القيمة المطلوبة نقوم بزيادة عدد الـ MMS ونكرر الخطوة 2.
- إذا كانت النسبة أكبر من القيمة المطلوبة نقوم بتقليل عدد الـ MMS ونكرر الخطوة 2.
- نفترض أن النسبة تساوي القيمة المطلوبة إذا كان الفرق أقل أو يساوي 5% من القيمة المطلوبة.
- 4- إذا لم يتجاوز الحمل سعة الشبكة نقوم بزيادة عدد الـ BG ونكرر الخطوة 1.

يبين الشكل (3) متوسط نسبة إرسال البيانات من قبل كل من عناصر الـ MMS والـ BG والتي تشير إلى نسبة 70/30% تقريباً وهي النسبة التي تم اقتراحها.



الشكل (3): متوسط نسبة إرسال البيانات من قبل كل من عناصر الـ MMS والـ BG. (a): نسبة حمل الـ MMS في الوصلة الهابطة، (b): نسبة حمل الـ BG في الوصلة الهابطة، (d): نسبة حمل الـ MMS في الوصلة الصاعدة، (e): نسبة حمل الـ BG في الوصلة الصاعدة.

يوضح الشكل (4) الانتاجية Throughput لكل من الـ BG والـ MMS في الوصلتين الصاعدة والهابطة. حيث يزداد عدد الحزم المستقبلية بشكل خطي عند زيادة الحمل طالما أن الحمل لم يتجاوز سعة الشبكة. من المخطط يتبين أن كمية البيانات المرسل والمستقبل متساوية بالقيمة تقريباً مما يشير إلى أنه تم تبادل الحزم بشكل شبه كامل (كمية ضياعات قليلة).



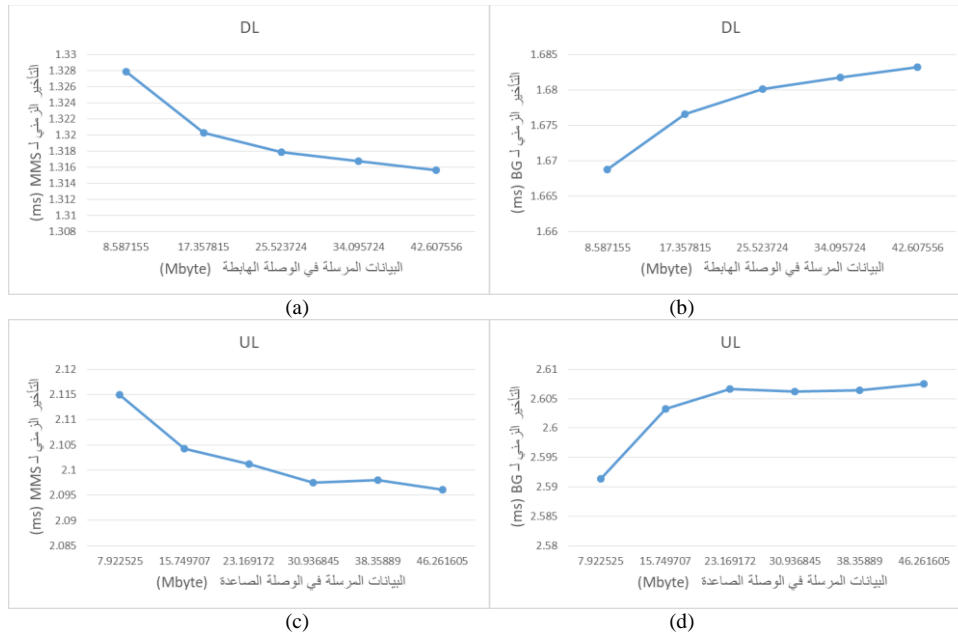
الشكل (4): الإنتاجية لكل من الـ BG والـ MMS. (a): إنتاجية الـ MMS في الوصلة الهابطة، (b): إنتاجية الـ BG في الوصلة الهابطة، (d): إنتاجية الـ MMS في الوصلة الصاعدة، (e): إنتاجية الـ BG في الوصلة الصاعدة.

من الشكل يتضح أن كمية البيانات المرسله من قبل حساسات الـ MMS يتم استقبالها بشكل كامل من قبل الـ Remote host وعليه نحصل على إنتاجية 100%، وذلك لأن كمية البيانات الناتجة عن قراءة الحساسات تعتبر قليلة نسبياً مقارنة مع التطبيقات الأخرى بالإضافة إلى أن تواتر إرسالها معروف وثابت.

أما بالنسبة للتطبيقات الأخرى فهي عبارة عن تطبيقات تقوم بتوليد بيانات بشكل عشوائي وبأحجام مختلفة وعشوائية الأمر الذي يؤدي إلى اختلاف حمل الشبكة الناتج عن هذه التطبيقات خلال الزمن. وبالتالي من النتائج نلاحظ وجود بعض الضياعات الصغيرة ضمن هذه التطبيقات حيث إن الإنتاجية تكون بحدود 99%. يمكن تفسير الاختلاف البسيط لقيم إنتاجية تطبيقات الـ BG بسبب عشوائية السيناريوهات المستخدمة في المحاكاة والتي تؤدي إلى حمل شبكة لحظي لا يتعلق باختلاف حجم البيانات الكلي المولد والذي ما يزال ضمن سعة الشبكة.

الشكل (5) يوضح التأخير الزمني Delay والذي يمثل المتوسط الحسابي للزمن اللازم لإرسال الرسائل في أحد

الاتجاهين DL أو UL.



الشكل (5): التأخير الزمني لكل من الـ BG والـ MMS (a): التأخير الزمني لـ MMS في الوصلة الهابطة، (b):

التأخير الزمني لـ BG في الوصلة الهابطة، (d): التأخير الزمني لـ MMS في الوصلة الصاعدة، (e): التأخير الزمني لـ BG في الوصلة الصاعدة.

من المخططات نلاحظ أنه طالما أن الشبكة تعمل ضمن معدلات النقل المتاحة فإن التأخيرات صغيرة نسبياً. التأخير الزمني لـ BG يزداد مع تزايد الـ traffic load وذلك لأن تطبيقات الفيديو تأخذ نسبة كبيرة من عرض الحزمة وبالتالي تعاني من تأخير أكبر. التأخير الزمني لـ MMS يتناقص مع تزايد الـ traffic load وذلك لأن تأسيس TCP connection يأخذ الزمن الأكبر ومن ثم ترسل حزم البيانات المولدة من قبل الـ MMS وكلما زاد عدد الـ MMS زادت كمية البيانات المرسله ضمن وصلة الـ TCP الواحدة وبالتالي يتناقص المتوسط الحسابي للتأخير الزمني.

ونلاحظ أن التأخير الزمني في DL أقل بعض الشيء من التأخير الزمني في UL وهذا بسبب زمن الوصول العشوائي في الوصلة الصاعدة وإمكانية إرسال أكثر من MMS في نفس الوقت مما يؤدي إلى بطء في معالجة رزم الوصلة الصاعدة في الـ eNodeB.

الاستنتاجات والتوصيات

في هذه الدراسة قمنا بقياس أداء أنظمة الـ M2M ضمن شبكة LTE/LTE-A بعد إضافة حمل خارجي عليها لتكون أقرب إلى الواقع ومن النتائج نجد:

زيادة عدد الحزم المستقبلية عند زيادة الحمل طالما أن الحمل لم يتجاوز سعة الشبكة، كما أنه تم تبادل الحزم بشكل شبه كامل (كمية ضياعات قليلة). إن كمية البيانات المرسلية من قبل حساسات الـ MMS يتم استقبالها بشكل كامل من قبل الـ Remote host وعليه نحصل على إنتاجية 100%. أما بالنسبة للتطبيقات الأخرى فإن الإنتاجية تكون بحدود 99%. وطالما أن الشبكة تعمل ضمن معدلات النقل المتاحة فإن التأخير الزمني لعملية إرسال البيانات صغيرة نسبياً وتتعلق بكمية البيانات المرسلية ضمن كل وصلة TCP. من هذه النتائج يمكننا ملاحظة أنه طالما أن حجم البيانات المراد إرسالها عبر الشبكة يقع ضمن مجال سعة الشبكة فسيكون تأثير الحمل الخارجي ضئيلاً نسبياً على أداء تقنية M2M.

وكإجراءات مستقبلية يمكننا إجراء العديد من السيناريوهات وبنسب BG/MMS مختلفة للتحقق من الأداء كما ويمكننا تغيير بارامترات الشبكة LTE/LTE-A مثل عرض حزمة القناة أو حجم الخلية أو استخدام أكثر من خلية واحدة للتحقق من الأداء. وأيضاً دراسة أثر الضياعات ضمن شبكة الـ LTE/LTE-A على أداء أنظمة الـ M2M.

قائمة المراجع

- [1] HALA.F, Building a model to simulate the remote control communication systems in the smart grid by using the NS3 simulator, Journal of AL Baath University, 2019, 13(41).
- [2] 3GPP LTE-Advanced. Available from: http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced_links.html. Accessed 28 May 2015.
- [3] 3GPP, Technical specification group radio access network; evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); relay architectures for E-UTRA(LTE-Advanced) (Release 9). 3GPP TR 36.806 V9.0.0, (2010)
- [4] CAPOZZI, PIRO, GRIECO, BOGGIA & CAMARDA: Downlink Packet Scheduling in LTE Cellular Networks, In: IEEE Communications Surveys & Tutorials, Early Access Article, IEEE Xplore, 2012, pp. 1 - 8.
- [5] CHEN.K, LIEN.S, "Machine-to-Machine Communications: Technologies and Challenges, " Ad Hoc Networks, vol. 18, July 2014, pp. 3-23.
- [6] CHANDRASEKHAR.V, ANDREWS.JG, GATHERER.A, Femtocell networks: a survey. IEEE Commun. Mag. 46(9), 59–67 (2008)
- [7] COX.C, An introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G mobile communications. (Wiley, New York, 2012)
- [8] FAROOQ.K; LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance. Cambridge: Cambridge UP, 2009. Print.
- [9] FRANS.C; "the Role of the DNO in Smart Grid Cyber Security", European Smart Grid Cyber Security and Privacy, Amsterdam November, 2011.

- [10] LANER.M, SVOBODA.P, N Nikaein, M Rupp, in Proceedings of the Tenth International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). Traffic Models for Machine Type Communications (VDE Ilmenau, Germany, 2013), pp. 1–5
- [11] LENA Design Documentation. [Online]. Available: <http://lena.cttc.es/manual/lte-design.htm>.
- [12] NOKIA, LTEM2M: Optimizing LTE for the Internet of Things. (Nokia white paper, 2014). Available from:
file:///C:/Users/yasir/Downloads/nokia_ltem_optimizing_lte_for_the_internet_of_things_white_paper.pdf. Accessed 5 August 2015
- [13] ns-3 Tutorial, Release ns-3.18.1.
- [14] PARIKH.P, SIDHU.S, SHAMI.A; "A Comprehensive Investigation of Wireless LAN for IEC 61850–Based Smart Distribution Substation Applications," Industrial Informatics, IEEE Transactions on, vol.9, no.3, pp.1466, 1476, Aug. 2013
- [15] PHAM.T; Integration of IEC 61850 MMS and LTE to support smart metering communications [*M.S. thesis*], University of Twente, 2013.
- [16] RODRIGUEZ.J.; ed. *Fundamentals of 5G mobile networks*. John Wiley & Sons, 2015.
- [17] SHAFIQ.MZ, Ji.L, LIU.AX, PANG.J, WANG.J, in ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review. A first look at cellular machine-to-machine traffic: large scale measurement and characterization, vol. 40, (2012), pp. 65–76
- [18] SMB Smart Grid Strategic Group (SG3), "IEC Smart Grid Standardization Roadmap", Edition 1.0, June 2010.
- [19] TALEB.T, KUNZ.A ;Machine type communications in 3GPP networks: potential, challenges, and solutions. IEEE Commun. Mag. 50(3), 178–184 (2012)