# ENHANCED TCP'S CONGESTION CONTROL MECHANISMS OVER LONG TERM EVOLUTION NETWORKS

MOHANAD NASER ABDULLAH AL-HASANAT

UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA, 2016

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَـٰنِ ٱلرَّحِيمِ

وَلَوْ أَنَّمَا فِى ٱلْأَرْضِ مِن شَجَرَةٍ أَقْلَـٰمٌ وَٱلْبَحْرُ يَمُدُّهُۥ مِنۢ بَعْدِهِۦ
سَبْعَةُ أَبْحُرٍ مَّا نَفِدَتْ كَلِمَـٰتُ ٱللَّهِ ۗ إِنَّ ٱللَّهَ عَزِيزٌ حَكِيمٌ ﴿٢٧﴾

صَدَقَ ٱللَّهُ ٱلْعَظِيمُ

UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
جامعة العلوم الإسلامية الماليزية
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

Dedicated to my father Naser Al-Hasanat, my mother, my brothers, my sisters, my children, and to you my beloved wife ♥

UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
جامعة العلوم الإسلامية الماليزية
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

# ACKNOWLEDGEMENT

First of all, I would like to thank Allah, for having made everything possible by giving me the strength and courage to do this work.

I would like to express my deep gratitude to my supervisors **Prof. Dr. Kamaruzzaman Seman** and **Dr. Kamarudin Saadan**. Thank you both for your time, guidance, and support during the development of this research. It has been an honour for me to work with them.

Finally, I would like to extend my thanks to my beloved family and my dear friends for their unlimited support.


UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
جامعة العلوم الإسلامية الماليزية
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

# ABSTRACT

Wireless technologies have experienced intensive improvements in the past two decades. New technologies, expensive applications, and new specifications have been rapidly introduced. The latest were the Long Term Evolution (LTE), LTE-Advanced, and WiMAX-Advanced marketed as 4G. One other is the Transmission Control Protocol (TCP), which is the most widely used transport protocol in today's networks. The TCP was designed as a reliable transport protocol over wired links, where losses rarely occur but generally indicate congestion. However, in wireless networks, losses are often caused by the wireless transmission medium, and include fading, interference, and node mobility. Unfortunately, TCP congestion control mechanisms fail to support the new wireless technologies. Significant unfairness and low performance over wireless networks have been reported. Traditional TCP congestion control mechanisms such as Tahoe, Reno, and NewReno incorrectly assume congestion to be the case for every loss event, and unnecessarily reduce transmission rate. Therefore, intensive research has been conducted to combat this harmful failure, and many modifications have been introduced to enhance TCP congestion control mechanisms over wireless networks. Even though these modifications share the same principle of recognizing the cause of the loss, they use different mechanisms to do this incurable task. This means that new modifications and enhancements are still required.

In this study, we introduce a new End-to-End congestion control mechanism to enhance TCP performance over low-latency and wide-bandwidth networks such as LTE networks. The new modification uses a modified TCP Westwood's bandwidth estimation mechanism to preserve the best link utilization, and includes three modifications to the standard TCP congestion control mechanisms. Firstly, we proposed two modifications to the slow start phase. The first is a new mechanism to properly setup the Initial Slow Start Threshold value, and the second proposes a faster start phase to accelerate the Congestion Window growth over the poor utilized links. Secondly, we propose two new modifications to the Fast Retransmission and Fast Recovery mechanism: the faster retransmission and the best recovery. Thirdly, we modified the timeout function to prevent unnecessary congestion avoidance procedures when every timeout occurs. The proposed modifications were integrated into a new TCP congestion control implementation called PETRA using Network Simulator-3 (ns-3). Intensive simulation experiments were conducted to evaluate the new implementation performance over an LTE simulated network. The validation method includes comparing PETRA, NewReno, and TCPW for congestion window behaviour, throughput, average delay, packet loss ratio, jitters, and flow fairness. Simulation results showed significant improvements of the new modification compared to other implementations over long and short latency links, high bit error links, high mobility user equipment, and wide-bandwidth links. Therefore, the new modification is efficient for use as a transport protocol over low-latency and wide-bandwidth networks like LTE networks.

# ABSTRAK

Teknologi tanpa wayar (wireless technology) telah mengalami penambahbaikan intensif dalam dua abad yang lepas. Teknologi-teknologi baru, aplikasi-aplikasi baru dan spesifikiasi-spesifikasi baru telah diperkenalkan dengan kadar yang cepat. Terbaharu ialah Long Term Evaluation (LTE), LTE-Advanced, WiMAX-Advanced yang dipasarkan sebagai 4G. Satu lagi ialah Transmission Control Protocol (TCP), yang merupakan protokol pengangkutan yang paling banyak digunakan dalam jaringan pada hari ini. TCP direka sebagai protokol pengangkutan yang boleh dipercayai berbanding dengan pautan-pautan berwayar, di mana masalah kehilangan jarang berlaku tetapi kebiasaannya menjadi petanda kepada kesesakan. Namun begitu, dalam jaringan tanpa wayar, masalah kehilangan seringkali berpunca daripada medium transmisi tanpa wayar, yang termasuk kepudaran, gangguan, dan mobiliti nod. Malangya, mekanisme kawalan kesesakan dalam TCP gagal untuk menyokong teknologi-teknologi tanpa wayar. Ketidakadilan yang signifikan dan prestasi rendah berbanding jaringan tanpa wayar telah dilaporkan. mekanisme kawalan kesesakan dalam TCP yang berbentuk tradisional seperti Tahoe, Reno, dan NewReno telah bertanggapan salah yang kesesakan adalah punca bagi setiap kes kehilangan dan kadar transmisi yang berkurangan (yang sememangnya tidak diperlukan). Oleh itu, penyelidikan intensif telah dijalankan untuk menanangi kegagalan yang memudaratkan ini. Dan banyak perubahan telah diperkenalkan untuk menambahbaiki mekanisme kawalan kesesakan dalam TCP berbanding jaringan tanpa wayar. Walaupun modifikasi-modifikasi ini berkongsi prinsip yang sama dalam mengenalpasti sebab kehilangan, mereka menggunakan mekanisme yang berbeza untuk melaksankan tugas ini. Ini bererti bahawa modifikasi-modifikasi dan perubahan-perubahan masih diperlukan. Dalam kajian ini, kami telah memperkenalkan satu kawalan mekanisme bagi kesesakan (hujung ke hujung) untuk menambahbaiki prestasi TCP berbanding dengan kependaman rendah dan lebar jalur lebar rangkaian seperti jaringan LTE. Modifikasi baru ini menggunakan TCP Westwood yang telah diubahsuai dari segi mekanisme anggaran lebar jalur untuk mengekalkan penggunaan link terbaik, dan melibatkan tiga modifikasi kepada mekanisme kawalan kesesakan dalam TCP yang standard. Pertama, kita akan mencadangkan dua modifikasi dalam frasa permulaan yang perlahan. Modifikasi yang pertama ialah mekanisme baru untuk menyediakan nilai Initial Slow Start Threshold secara teratur, dan mekanisme kedua akan melibatkan frasa permulaan yang pantas untuk mempercepatkan pertumbuhan Congestion Window berbanding dengan link-link yang kurang digunakan. Kedua, kami akan mencadangkan dua modifikasi yang baru kepada Fast Retransmission dan mekanisme Fast Recovery. Ketiga, kami akan mengubah fungsi masa tamat untuk mengelakkan daripada prosedur kesesakan yang tidak diingini apabila berlakunya masa tamat setiap kali. Modifikasi yang dicadangkan adalah diintegrasikan kepada kawalan kesesakan terbaru TCP yang dikenali sebagai PETRA dengan menggunakan Network Simulator-3 (ns-3). Eksperimen intensif yang berbentuk simulasi telah dijalankan untuk menilai implementasi prestasi berbanding dengan jaringan yang disimulasi oleh LTE. Metod validasi ini melibatkan membandingkan PETRA, NewReno, dan TCPW untuk tingkahlaku tingkap kesesakan, throughput, purata penangguhan, nisbah kerugian paket, kegelisahan dan keadilan dalam aliran. Keputusan simulasi menunjukkan perubahan signifikasi dalam modifikasi baru berbanding dengan kaedah-kaedah lain dalam atas pautan latensi panjang dan pendek, pautan ralat bit yang tinggi, peralatan pengguna yang mempunyai mobiliti yang tinggi dan pautan lebar jalur lebar. Maka, modifikasi baru ini adalah efisien untuk penggunaan sebagai protokol

pengangukutan berbandingan dengan jaringan yang mempunyai latensi yang rendah dan jaringan yang mempunyai pautan jaluran lebar.

UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
جامعة العلوم الإسلامية الماليزية
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

## ملخص البحث

تقنيات الاتصالات اللاسلكية شهدت تطورات كبيرة خلال العقدين الماضيين. تقنيات جديدة، تطبيقات متسعه، بالاضافة الى العديد من الخصائص الجديدة التى تنتج بشكل سريع. آخر هذه التقنيات كان LTE، LTE-Advanced، و WiMAX-Advanced المعروفة في السوق بإسم الجيل الرابع G4. في المقابل هنالك بروتوكول النقل الشهير TCP و الذي يعتبر من اشهر بروتوكولات النقل في شبكات اليوم. لقد صمم هذا البروتوكول ليكون موثوق في النقل على الشبكات السلكية، حيث ان اخطاء النقل و ضياع البيانات نادرا ما يحدث و في الغالب يكون اشارة على حدوث ازدحام في نقل البيانات. في المقابل، على الشبكات اللاسلكية يكون ضياع البيانات متكرر الحدوث بسبب وسط النقل الضعيف، اعتراض البيانات، ضعف الاشارة، بالاضافة الى الحركة المستمرة في اطراف الاتصال. لسوء الحظ، فشل TCP في دعم تقنيات الاتصالات اللاسلكية الحديثة. ضعف واضح في توزيع البيانات بالاضافة الى سوء اداء كبير كان من اكثر العيوب التي تم الكشف عنها في العديد من التقارير التي بحثت في اداء TCP على الشبكات اللاسلكية. تقنيات TCP التقليدية فشلت في تحديد سبب ضياع البيانات سواء أكان بسبب الازدحام او بسبب ضعف نواقل الشبكات اللاسلكية. لذلك، اصبح من الصعب استخدام نفس التقنيات القديمة لتمييز سبب ضياع البيانات و الذي يعتبر المؤشر الرئيسي على تشكل الازدحام حسب الفرضية الاساسية التي تم تصميم هذا البروتوكول على اساسها. حيث يقوم هذا البروتوكول بتخفيض حجم البيانات المرسلة في حال ضياع حزمه ارسال. لذلك تم اقتراح العديد من التحسينات لتعديل سلوك هذا البروتوكول على الشبكات اللاسلكية. على الرغم من ان معظم المقترحات لتحسين اداء TCP كانت تهدف لتمييز سبب ضياع الحزم، الا انها اختلفت في طريقة فعل ذلك. و بذلك تركت المجال مفتوح لتقديم المزيد من التحسينات و المقترحات.

في هذه الدراسة سوف نقدم مقترح جديد لتحسين اداء تقنية TCP للتحكم في الازدحام على الشبكات اللاسلكية و تحديدا على شبكة LTE. هذا المقترح سوف يستخدم تعديل على التقنية المقترحة في TCP Westwood في التنبأ في القدرة المتاحة لقنوات الاتصال و بالتالي معرفة القدر المستخدم من القناة و تحديد السبب في ضياع الحزم. أولا، اقترحنا تعديلين لتحسين اداء TCP خلال مرحلة ما يسمى بـ Slow Start من خلال تحديد قيمة آمنة لما يسمى بـ Slow Start Threshold ثم تطبيق التعديل الثاني لتسريع نمو ما يسمى بـ Congestion Window في القنوات التي لا يوجد فيها ازدحام. ثانياً، اقترحنا تعديلين آخرين لتحسين آليات كل من Fast Retransmission and Fast Recovery. ثالثاً، قمنا بتعديل اجراء البروتوكول في حالة فقدان حزمة لحمايته من تخفيض سرعة الارسال الا في حين التأكد من وجود ازدحام حقيقي. هذه التعديلات الثلاثة تم دمجها جميعاً في اصدار جديد من الآليات TCP للتحكم في الازدحام تحت اسم PETRA. قمنا باستخدام برنامج المحاكاة ns-3 لتطبيق و التحقق في فعالية الاصدار المقترح. العديد من التجارب اجريت و سيناريوهات مختلفة لمقارنة اداء PETRA مع الاصدارات الاكثر استخداماً في الشبكات اللاسلكية هذه الأيام. اظهرت نتائج التجارب جميعها افضلية الاصدار المقترح.

UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

# TABLE OF CONTENTS



UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
جامعة العلوم الإسلامية الماليزية
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

**CHAPTER THREE:**
**RESEARCH METHODOLOGY**



**CHAPTER FOUR:**
**PETRA: A NEW TCP CONGESTION CONTROL MECHANSIM**

**CHAPTER FIVE:**
**PETRA CONGESTION CONTROL OVER LONG-TERM EVOLUTION (LTE) NETWORKS**



**CHAPTER SIX: CONCLUSION**



UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

# LIST OF FIGURES



UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
جامعة العلوم الإسلامية الماليزية
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

# LIST OF TABLES



UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

# LIST OF ABBREVIATIONS

| | |
|---|---|
| **3GPP** | Third Partnership Project |
| **ACK** | Acknowledgment |
| **AFRM** | Adaptive FEC-Based Reliable Multicast |
| **AIMD** | Additive Increase Multiplicative Decrease |
| **APN** | Access Point Name |
| **ARP** | Address Reservation Protocol |
| **ARPAnet** | Advance Research Project Agency Network |
| **cwnd** | Congestion Window |
| **DupACK** | Duplicate Acknowledgement |
| **E2E** | End-To-End |
| **EPC** | Evolved Packet Core |
| **E-UTRAN** | Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network |
| **FACK** | Forward Acknowledgment |
| **FEC** | Forward Error Correction |
| **FST** | Finite State Machine |
| **FTP** | File Transfer Protocol |
| **GSM** | Global system for Mobile communication |
| **GTP** | GPRS Tunneling Protocol |
| **GUI** | Graphical User Interface |
| **HSS** | Home Subscribe Service |
| **HTTP** | Hypertext Transfer Protocol |
| **ICMP** | Internet Control Message Protocol |
| **IDE** | Integrated Development Environment |
| **IGMP** | Internet Group Message Protocol |

UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
جامعة العلوم الإسلامية الماليزية
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

| | |
|---|---|
| **IMTS** | Improved Mobile Telephone Service |
| **ISO** | International Standard Organization |
| **I-TCP** | Indirect TCP |
| **LTE** | Long Term Evolution |
| **METP** | Mobile End Transmission Protocol |
| **MME** | Mobile Management Entity |
| **MSC** | Mobile Switch Center |
| **MSR** | Mobile Support Router |
| **MSS** | Maximum Segment Size |
| **M-TCP** | Mobile TCP |
| **MTS** | Mobile Telephone Service |
| **NCP** | Network Control Protocol |
| **NED** | Network Description Programming language |
| **ns-2** | Network Simulator 2 |
| **ns-3** | Network Simulator 3 |
| **OFDMA** | Orthogonal-Frequency Division Multiple Access |
| **OPNET** | Optimized Network Engineering Tools |
| **OSI** | Open System Interconnection |
| **OTCL** | Object-oriented Tool Command Language |
| **PDCP** | Protocol and Packet Data Convergence Protocol |
| **PER** | Packet Error Rate |
| **P-GW** | Packet Gateway |
| **PSTN** | Packet Switch Telephone Network |
| **RARP** | Reserve Address Resolution Protocol |
| **REAL** | Realistic and Large |
| **RFC** | Request For Comment |

UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
جامعة العلوم الإسلامية الماليزية
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA

| | |
|---|---|
| **RLC** | Radio Link Control |
| **RTO** | Retransmission Timeout |
| **RTT** | Round Trip Time |
| **SACK** | Selective Acknowledgment |
| **SCG** | Close Subscribe Group |
| **SCTP** | Stream Control Transmission Protocol |
| **S-GW** | Server Gateway |
| **SIM** | Subscribe Identity Module |
| **SMART** | Simple Method to Aid Retransmission |
| **SMSS** | Sender Maximum Segment Size |
| **SNMP** | Simple Network Management Protocol |
| **ssthresh** | Slow Start Threshold |
| **TCP** | Transmission Control Protocol |
| **TCP/IP** | Transmission Control Protocol/Internet Protocol |
| **TCPW** | TCP Westwood |
| **TE** | Terminal Equipment |
| **TULIP** | Transport Unaware Link Improvement Protocol |
| **UDP** | User Data Protocol |
| **UE** | User Equipment |
| **UICC** | Universal Integrated Circuit Card |
| **UMTS** | Universal Mobile Telephone Service |
| **USIM** | Universal SIM |
| **WiMAX** | Worldwide Interoperability for Microwave Access |
| **WTCP** | Wireless TCP |
| **ZWA** | Zero Window Acknowledgment |
| **ZWP** | Zero Window Probe |

UNIVERSITI SAINS ISLAM MALAYSIA
جامعة العلوم الإسلامية الماليزية
ISLAMIC SCIENCE UNIVERSITY OF MALAYSIA