

LTE 模擬器於緊急通訊系統之救災任務導向功能性探討

蔡昂勳^{1*} 蔡宗憲² 陳文彬³

¹國防大學理工學院電機電子工程學系

²國防大學理工學院資訊工程學系

³國防大學理工學院國防科學研究所

摘 要

大多數 LTE 無線通訊模擬器主要是針對無線存取端的效能進行評估與改善，然而緊急通訊系統還須考量後端延伸的傳輸需求。因此，考量救災通訊系統可能會面臨到的問題及救災情境的通訊需求，根據現有 LTE 模擬器的比較與緊急救災通訊系統的功能探討，提出五項以救災任務為導向的必要功能，可協助評估與管理救災通訊資源。本論文進一步考量惡劣救災環境並無法提供穩定的延伸網路與核心網路，提出災害導向流量卸載機制的必要性並進行模擬，分析模擬結果顯示具卸載機制的緊急救災通訊系統可提供穩定且低延遲的通訊協調品質，提高救災通訊系統的傳輸率。

關鍵詞：災害救援，緊急通訊，長期演進技術，模擬器

The Discussion of Disaster-Oriented Functionalities for LTE Simulators in Emergency Communication Systems

Ang-Hsun Tsai^{1*}, Chung-Hsien Tsai², and Wen-Pin Chen³

¹ Department of Electrical and Electronic Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

² Department of Computer Science and Information Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

³ School of Defense Science, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

ABSTRACT

The development of an LTE communication simulator is aimed at improving the performance of radio access. However, the backhaul network causes the limitation of communication resources to hamper the rescue operation process. In this paper, we consider the problem of disaster relief communication systems and investigate the requirement for the disaster scenario. Based on the previous LTE simulator comparison and the requirement of emergency communication, we discuss five functionalities to help the network manage overall resource for a disaster relief. Furthermore, due to the limitation of backhaul and core network in bad environment of the disaster relief, we propose a critical disaster-oriented traffic offloading mechanism. The analytical results show that the emergency communication system with traffic offloading mechanism can provide a stable communication quality and the lower latency to improve the overall system throughput.

Keywords: disaster relief, emergency communications, long term evolution (LTE), simulator

文稿收件日期 106.04.14; 文稿修正後接受日期 106.09.29; *通訊作者

Manuscript received April 14, 2017; revised September 29, 2017; * Corresponding author

一、前言

過去數十年來行動通訊服務需求不斷增加，造成傳輸通道趨於擁擠，導致災難發生時，在執行救援行動過程中，無法確保有效的通訊資源可進行災民的安全確認及救援任務的協調；加上在嚴峻的自然災害破壞下，通常地面上的通訊設施可能會遭受摧毀。以東日本大地震為例，災害造成多數的基地台損毀，僅存少數堪用的基地台可正常提供通訊服務，而且災害發生 30 分鐘後，整個行動數據資料傳輸量相較於平時成長了 8 倍之多[1]，資料傳輸嚴重擁塞的問題更是降低通訊系統的效能，因此，救援任務需求的緊急通訊系統就顯得特別重要。

緊急通訊系統在災難發生時扮演通訊協調重要的角色[2][3]，當災民及救援團隊試著對外聯繫時，如果僅透過倖存的基地台來提供服務，除了會造成不堪負荷情形外，大量的橫向與縱向協調聯繫資料恐會造成傳輸通道擁塞。再加上各自的救援團隊所使用的通訊平台無法有效整合，彼此可能無法互相協調與合作，然而，對救援團隊而言，如何有效協同合作並爭取時間來拯救更多待援的災民才是首要任務。

因此，可以整合不同救援團隊協調聯繫的通訊平台就顯得格外重要，而長程演進技術(Long Term Evolution, LTE)的優點具全球高度共通性，提供低廉與多樣化應用服務的彈性，可與其他無線接取系統互連通信的能力，以及高品質的行動通信服務，故以 LTE 行動通訊系統做為通訊平台[4]可提升通訊網路寬頻能力，並整合不同救災團隊的救援資訊，節省大量的資本支出(Capital Expenditure, CAPEX)和營運支出(Operating Expenditure, OPEX)的預算，透過系統的彈性與高度整合的架構得以延伸出不同服務來支援救援任務。

從多數學者的研究亦顯示利用 LTE 行動通訊系統做為緊急救災通訊平台，除了可以降低開發成本，更可以提升服務提供的彈性，Jalihal 等人[5]所設計救災通訊系統，稱之為「DISANET」，該系統由 Wi-Fi、衛星鏈路、全球行動通訊系統(Global System for Mobile Communications, GSM)及 LTE 基地台等通訊技術所組成，該系統允許救援人員與救災應變中心之間以聲音、文字及影像等形式進行通

聯，以改善救援任務的效能，並且延伸支援家庭成員及好友間相互聯繫的人身安全確認服務。Gomez 等人[6]則提出一個基於虛擬技術及分散式架構且具彈性的 4G-LTE 通訊系統，其運作方式是將演進式數據封包核心(Evolved Packet Core, EPC)功能嵌入基地台，另支援裝置與裝置間(Device-to-Device, D2D)等通訊方式，此系統可減少使用者裝置、基地台與演進式數據封包核心之間相互依賴的程度，避免單一元件因災害損毀而造成整體系統無法運作，因此，降低元件之間的相依性可以改善災難復原能力，即使用戶不在基地台服務範圍內，D2D 的技術也能提供端點到端點(End-to-End)的通訊鏈結及中繼服務。Taniguchi 等人[7]提出基地台協同合作(Base Station Cooperation, BSC)方法並應用於災難復原，當災難發生導致基地台遭受破壞時，倖存的基地台可用於重要訊號的中繼傳輸，儘管可能受到附近基地台的干擾，至少可以建立通訊連結以傳輸災區重要訊息，因此，此類的緊急通訊系統必須謹慎評估災區有限的無線信號資源。

綜合上述所述，災害發生時，通訊資源是非常有限的，而受限的通訊資源卻又與救援任務息息相關，當災害無預警發生時，出動支援的緊急通訊系統應至少能滿足災區救災人員(甚至災民)的需求，然而，要進行緊急通訊系統效能評估卻相當困難，學術界或學者無法像手機營運商或供應商直接打造測試平台以模擬複雜的 LTE 系統，大多都是以模擬器做為評估及比較 LTE 系統效能的合適工具。

目前多數 LTE 模擬器並非專為救災行動進行設計或發展，LTE 系統級(System-Level)模擬器[8]通常用於評估下行通道(Downlink channel)的效能，但缺少協定堆疊(Protocol Stack)及上行通道(Uplink Channel)卻會影響資料傳輸的模擬，LTE-Sim 模擬器[9]則是用於評估不同排程策略(Scheduling Strategies)的效能，由於缺少 TCP 協定的支援，將會限制不同應用面的傳輸格式，再加上缺少混和式自動重送請求(Hybrid Automatic Repeat Request, HARQ)設計將不利滿足 LTE 的系統標準，LTE 網路模擬器[10]則是著重於 LTE 自組織網路(Self-Organized Network, SON)的效能評估，模擬器仍持續開發並增加新的功能，像是 TCP/UDP、換手(Handover)程序及 X2 介面的

設計等，然而會造成傳輸通道擁塞的問題，所以並非該系統設計考量重點。SimuLTE 模擬器 [11]則可模擬無線存取網路 (Radio Access Network, RAN)與演進式數據封包核心通道之間的資料層(Data Plane)以及完整的 LTE 通訊協定、排程策略等，其中有考量到流量卸載技術(例如：D2D)開發但尚未實現。綜合以上所論述，現有模擬器無法滿足救災情境的功能，而且所模擬產出的成果將不適用於救援任務的資源評估。例如缺乏傳輸協定會影響資料的傳輸形式，欠缺上行的資料傳輸也無法有效模擬救災人員的通訊構建路徑，此外，像是頻寬聚合(Bandwidth Aggregation)[12]、換手機制 [13] 及 資源 區 塊 配 置 (Resource Block Allocation)[14]等方案也需要考量，以提升救災場景中無線資源的效能與公平性，更重要的流量卸載技術[15]像是本地 IP 存取(Local IP Access, LIPA)、選擇流量卸載(Selected IP Traffic Offload, SIPTO)及 D2D 等技術，更可進一步減少傳輸通道擁塞情形。

本研究說明救災通訊系統的問題，並探討救災場景的需求，藉由分析並比較上述模擬器 [8-11]的問題，提出適用救災無線資源評估模擬器的框架且應包含五大功能：

- 救災導向的網路管理
- 行動/使用者管理
- 無線資源管理
- 救災導向流量管理
- 模組化框架

二、救援行動的系統架構

當災難發生時，災區的地面通訊設備可能遭損毀，政府組織將成立緊急災害應變中心(Central Emergency Operation Center, CEOC)以支援救災行動，然而災區的通訊服務可能中斷或處於不穩定的狀態，例如 2016 年 2 月 6 日在南台灣發生芮氏規模 6.5 地震 [16]，導致 116 人死亡及 550 人受傷，而大多數傷亡是因台南維冠金龍大樓嚴重倒塌所造成，當時政府成立緊急救災應變中心以指揮救災團隊進入災區，救災團隊主要有國軍、消防人員(包含義消)、空勤人員、海岸巡邏隊員、警察(包含義警)及民眾等，地震發生第一天湧入 2,822 位自願協助救災人員，事後經統計數據顯示，

計有 143 座基地台由於停電和受損造成通訊傳輸中斷，必須由行動通訊營運商提供 6 座移動式基地台才能滿足當下救援行動的通訊需求，因此，救災隊伍需要緊急通信系統以支援救援行動。

在緊急通訊系統中，後端延伸網路(Backhaul)是使用者裝置與核心網、骨幹網路或是行動網路之間的通訊鏈結，救災情境中的後端延伸網路的鏈結方式一般分為兩種[7]，一種是透過衛星通信[17, 18]，另一種是基地台協同合作(BSC) [19]，然而，衛星通信需要將特殊的訊號傳送器整合到移動式緊急通訊系統，且衛星與地面距離過遠，使其傳輸通道具有較大的路徑損耗、同調時間和傳輸延遲，而基地台協同合作也應該是要考量與倖存的基地台是處於比較遠的距離情況，彼此之間的訊號傳遞會有較大的路徑損失，且週遭相鄰的基地台也會對訊號造成干擾而降低鏈路品質，這將會影響到移動式緊急通訊系統效能，此時，緊急通訊的無線資源更加受到限制，如何有效利用有限的無線信號資源將是救援行動的重點。

本研究假設在未發生災難前，某地區布滿固定式基地台(Fixed eNB)提供該地區的通訊服務，每一固定式基地台的涵蓋範圍 500 公尺，以六邊形的涵蓋範圍覆蓋整個地區，因此，該地區的用戶均可以取得基地台的訊號進行通訊。當災害發生時，為了簡化場景的複雜度，假設僅該地區中的一個固定式基地台因災害而遭損毀，無法正常提供服務，此時，政府組織立即成立中央緊急災害應變中心(CEOC)蒐集整理災情資訊，評估救災資源並組織救災團隊以進行災害救援任務如圖 1 所示。

當救災人員抵達災區(Disaster Area, DA)時，車載式基地台(Vehicular eNB, VeNB)也會跟著進入災區建立緊急通訊網路，目的是要服務災區的救災人員(包含前進指揮所)，透過車載式基地台(VeNB)與基地台(eNB)之間的中繼傳輸來建立後端延伸網路，讓前進指揮所(Forward Command Post, FCP)與緊急救災應變中心取得通訊協調能力，此時，車載式基地台所建立的緊急通訊網路可以正常提供服務，救災人員可攜帶通訊裝置(User Equipment, UE)深入災區搜尋受災人員並隨時回報狀況至前進指揮所，前進指揮所就可以利用救災人員所回報的各種災損情形建立共同救災圖像

(Common Operation Picture, COP)，並隨時回報緊急災害應變中心有效掌握災區全般情形，因此，位於前線進行救災的指揮官可以隨時掌握災區狀況，並依救災人員的請求調派人力進行支援，位於後端的指揮官也可以透過共同救災圖像與前進指揮所的請求，適時的調派大型機械、工具、醫療資源及額外的救災人力等支援，以增加救援效率。

由此可知，建立緊急通訊系統除了要支援

救災人員外，也必須讓前進指揮所與緊急應變中心建立通訊聯繫，確保救援任務遂行。因此，緊急通訊網路需要透過後端延伸網路(Backhaul)、移動性管理組件(Mobility Management Entity, MME)和服務閘道器(Serving Gateway, SGW)與核心網路(CN)構連，藉此提供災區內的緊急救災人員與前進指揮所進行災情資訊的傳遞與回報，視情況請求災害應變中心的協助。

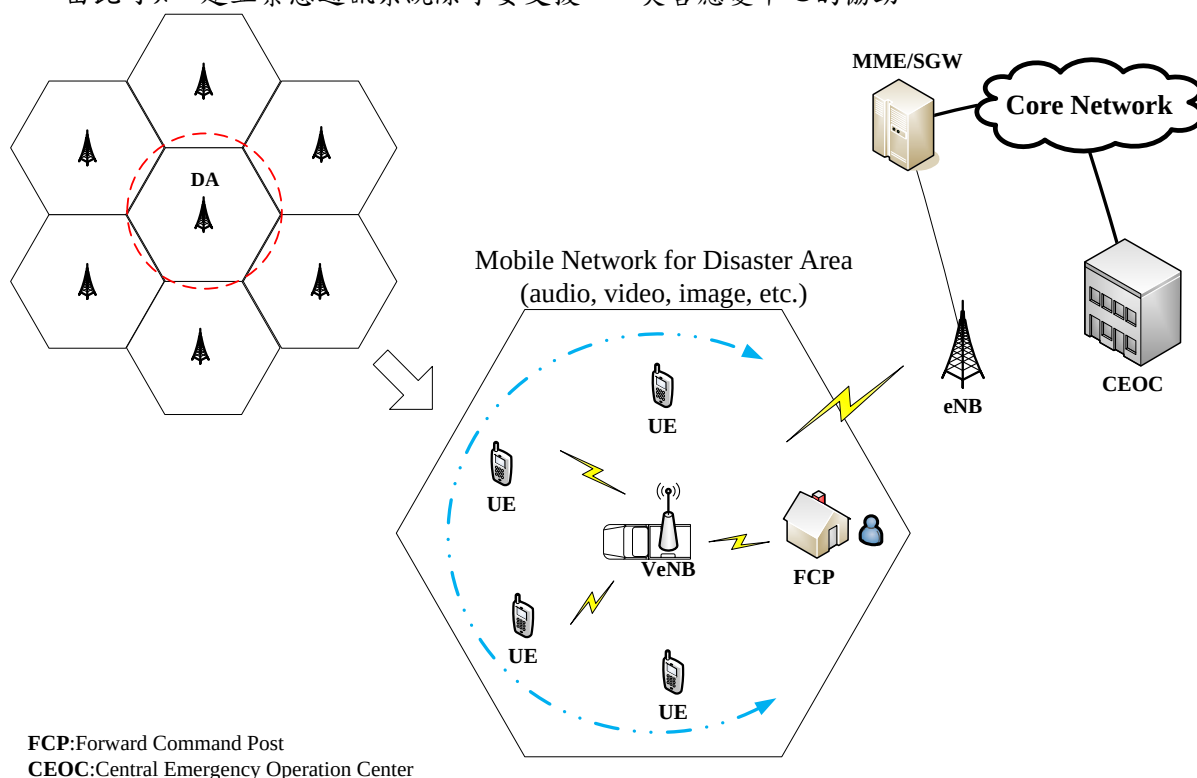


圖 1. 救災任務的通訊場景

根據救災任務的通訊協調，緊急通訊網路僅是災區內的行動通訊網路，其功能的正常運作仍須仰賴與核心網路的鏈結，因此，探討 LTE 的緊急通訊系統架構，主要是由基地台模組(eNB Module)與演進式數據封包核心模組(EPC Module)所組成，如圖 2 所示。災區基地台模組包含使用者設備(UE)、僅存可用的基地台(eNB)及車載式基地台(VeNB)，演進式數據封包核心模組則包含服務閘道器(Serving Gateway, SGW)和移動性管理組件(Mobility Management Entity, MME)等元件來提供車載式基地台與服務/封包數據網路閘道器之間的數據網路連線，然而，在標準的 LTE 通訊架構下，建立共同救災圖像所產生的大量資料流

會經由使用者裝置透過基地台傳送至演進式封包核心，儘管只是救災人員之間或是與前進指揮所之間的協調聯繫，仍是以此資料傳輸路徑進行，在有限的後端延伸網路(Backhaul)及擁塞的核心網路(CN)情況之下，恐會導致傳輸通道堵塞，增加資料傳輸的延遲與封包遺失率(Packet Loss Rate, PLR)，嚴重甚至造成服務中斷，因此，如何在有限的傳輸資源下，遂行災害救援任務將是本研究考量的重點，而車載式基地台更應該符合救援需求提供智能評估及決策機制，有效判斷區域性流量而進行導流，避免佔用已受環境限制下的後端延伸網路，並且避開可能已出現壅塞的核心網路。

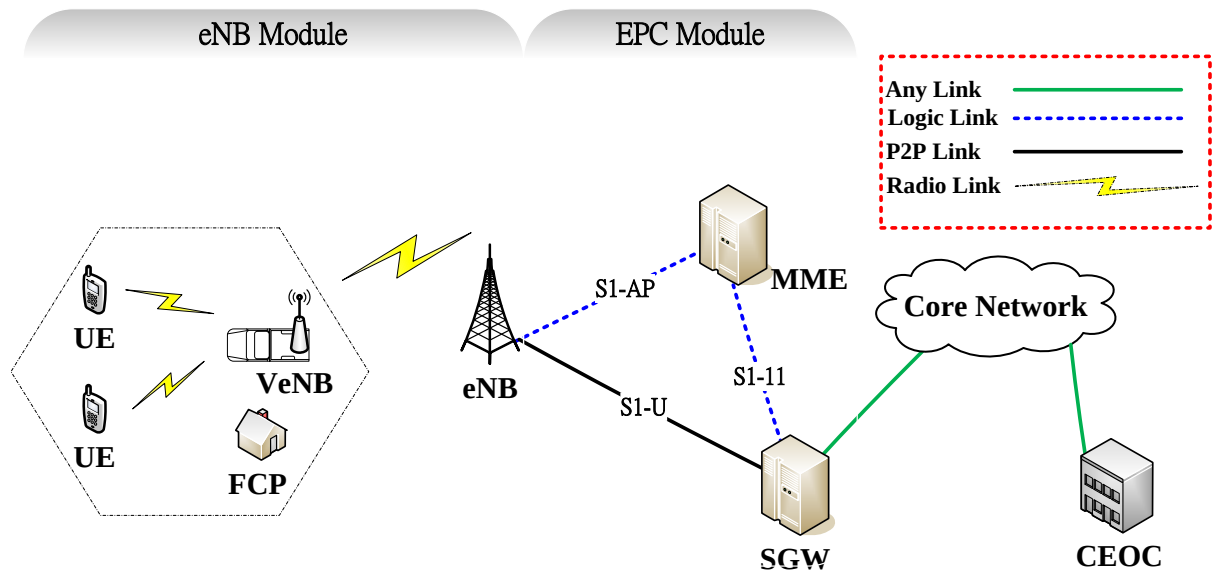


圖 2. 緊急通訊的 LTE 系統架構

三、LTE模擬器救災功能

LTE 系統效能評估通常是以模擬的方式實現，大多數 LTE 模擬器都設計用於資源的分配管理、排程策略及基地台之間的干擾與協調等研究。LTE 系統的模擬通常可以分為鏈路層(Link-Level)及系統層(System-Level)[20]，鏈路層的模擬著重於實體層的效能分析，像是進行通道的評估、多重輸入多重輸出(Multiple Input Multiple Output, MIMO)、自適應調變編碼(Adaptive Modulation and Coding, AMC)、同步演算法、回饋機制等技術的實現，而系統層的模擬對於實體層(Physical-layer)的模組化是關鍵，它的重點在於模擬與網路相關的議題，像是資源配置、移動性處理、干擾管理及網路規劃優化等，且系統層的模擬也包含網路元件的部署及效能的量測，包含藉由通道狀態資訊(Channel State Information, CSI)回饋來量測通道品質、排程演算法及多重輸入多重輸出(MIMO)的選擇，兼具鏈路層及系統層的模擬則更能適用在不同場景下 LTE 系統的效能評估。

Ikuno 等學者[8]提出一個以 MATLAB 工具開發的系統層模擬器，主要是由兩個模組組成，分別是運用於鏈路自適應(Link Adaptation)與資源配置的鏈路測量模型(Link Measurement Model)，以及用於定義鏈路區間錯誤率(Block Error Ratio, BLER)的鏈路效能

模型(Link Performance Model)，此種架構的好處是能在離線時預先算出衰落參數以減少進行模擬時的運算複雜度，此模擬器是免費提供的，且具有評估 LTE 單輸入單輸出(Single Input Single Output, SISO)與多重輸入多重輸出於下行(Downlink)共享通道效能的能力，然而，由於缺乏上行(Uplink)的模擬，使得通道結構將受到單向資料傳輸的限制，此外，完整的 LTE 協定也是必需的，以滿足不同資料類型的傳輸標準。

Piro 等學者[9]則提出一個基於物件導向 C++語言的 LTE-Sim 模擬器，包含四個主要組成：首先是模擬器主功能，用於管理模擬的開始、執行或結束；其次是框架的管理，用於定義 LTE 框架結構及排程框架與次框架；再者是流量的管理，用於實現軌跡式(Trace-Based)、網際協議通話技術(Voice over IP, VoIP)、固定速率(Constant Bitrate, CBR)及無限緩衝模型(Infinite Buffer Models)等訊號產生器之應用；最後是網路管理，用於執行部署網路節點、計算使用者設備位置、換手管理及頻率再利用的技術。LTE-Sim 是開放式原始碼且擁有模擬多個蜂巢區間/多使用者環境、使用者的移動性、換手程序、服務品質(Quality of Service, QoS)管理、頻率再利用技術、自適應調變編碼模組、排程策略等，具有上行與下行鏈結通道的模擬，然而該模擬器僅支援 UDP 協定而不支援 TCP 協定，且當前版本也不支援混和式自動重發請求(HARQ)。

Baldo 等學者[10]提出基於 ns-3 軟體開發的 LTE 網路模擬器，此模擬器是以產品為導向的角度所設計，著重於評估 LTE 自組織網路(SON)及量測無線資源管理(Radio Resource Management, RRM)與自組織網路演算法的效能，自組織網路的功能包含自我配置、自我優化與自我修復，對於 LTE 設備供應商及營運商降低資本支出和運營支出就顯得相當重要，此外，該模擬器擁有評估無線資源管理、服務品質感知的封包排程、蜂巢區間之間干擾協調及動態頻譜存取的能力，此模擬器亦針對 LTE 演進式數據封包核心的資料層[21]與換手程序[22]設計開發，然而，針對災難場景所需的流量卸載機制就未納入考量。

Viridis 等學者[11]提出基於 OMNeT++模組框架的 SimuLTE 模擬器，該模擬器運行包含三個主要的節點，第一個節點為使用者設備，用於實現 UDP、TCP、IP 協定及網路介面卡(Network Interface Card, NIC)等模組；第二個節點則為基地台，用於實現點對點協定(Point-to-Point Protocol, PPP)協定、IP 協定及網路資訊中心(Network Information Center, NIC)等模組；第三個節點為結合模組，用於儲存使用者設備與基地台及其他節點的相關模擬數據。該模擬器為開放原始碼系統層模擬器，可以支援 RAN 與 EPC 的資料層傳輸、完整的 LTE 協定、實體層模組化與排程能力，由於此模擬器是基於 OMNeT++模組化框架，因此，屬於較具穩定且成熟的平台，擁有大量的功能模組、且易於初學者學習，未來也將加入 D2D 通訊及協同多點(Coordinated Multi-Point, CoMP)傳輸等額外的功能，然而，目前版本亦不支援流量卸載的模擬。

由此可見，大多數 LTE 模擬器設計用於評估一般情況下的通訊系統效能，然而，考量救災任務的需求，緊急通訊系統應該是要提供穩定且可靠的服務，模擬器的設計與發展應納入有限的通訊資源及通道擁塞等關鍵問題，且災區的救援人員會持續移動進行受災人員的搜救，因此，使用者移動性的功能模擬也是一個必要的功能。為了完整模擬通訊協調的通聯情形，Uplink 與 Downlink 傳輸也是必備的，方可更深入評估傳輸延遲及通道擁塞的問題，基於上述的考量，緊急通訊系統的模擬器設計應是以救援任務需求為導向。

四、救災任務的功能需求探討

大多數的模擬器提供效能分析、資源區塊的配置、頻率再利用技術、排程策略等功能，然而適合緊急通訊系統的模擬器應該要以災害救援為導向來設計開發，其中更應考量到救災人員的移動性及傳輸通道擁塞的問題，因此，本研究比較分析較常見的 LTE 模擬器，如表 1 所示，以提出以下幾點關鍵功能的探討，期能滿足救援行動的需求。表中部分的功能應該符合新一代 LTE 系統規範，有部分的功能則是考慮到救援任務的需要，像是流量卸載的機制幾乎都不被列入模擬器的功能開發與設計，這顯示後端延伸網路的傳輸總是被忽略，少了這部分的評估，救災通訊系統就缺乏可靠性，因此，需要整體性的評估緊急救災系統，就必須也把無線存取網路、後端延伸網路及核心網路都一併納入考量。

4.1 災害導向的網路管理

此功能主要目的為建立網路拓樸，緊急通訊系統網路是由無線存取網路、後端延伸網路與核心網路所組成，因此，在救災情境下需要部署蜂巢區間、使用者設備、基地台及核心網路元件，而每一個蜂巢區間會有其唯一的識別碼(ID)以定義其半徑及位置，核心網路元件之行動管理組件/服務開道器則來管理基地台與使用者設備，使用者設備可以是救災人員、前進指揮所指揮官、受難者等角色所持有的通訊裝置，此外，LTE 協定中，特別是 IP、TCP 及 UDP 協定用以發展模擬 RAN 與 EPC 之間不同資料形式(例如：文字、圖像、影像、聲音等)的傳輸，網路拓樸與不同類型資料的傳輸也會導致額外的延遲時間，所以 LTE 協定也是影響緊急通訊效能的重要因素。

4.2 移動性/使用者管理

此功能用以模擬救災人員的移動性及換手程序的能力，移動性模型的設計可支援隨機漫步(Random Walk)與隨機方向(Random Directions)以模擬實際救援行動，隨機漫步應用於建立實際救災人員在任何搜救地點的模組，隨機方向應用於反映救援人員為尋找受害者受地形的限制影響改變自己的方向，若實際

上災區過大又須有效地提供通訊服務，則需兩個以上的車載式基地台以支援救災行動，因此換手程序對於有效資源的調度有其必要性。

4.3 無線資源管理

此功能主要用於模擬使用者設備與基地台間的無線存取，無線存取應考量無線通道的狀況、頻寬管理、基地台的排程、無線存取技術(Radio Access Technologies, RAT)等，在災區環境中，無線傳輸會面臨嚴重的議題，像是大尺度衰落、小尺度衰落與環境中的雜訊等，故通道結構的設計應考量這些影響，此外 Uplink 與 Downlink 通道結構必須能模擬資料傳輸，頻寬管理用於監測使用者設備使用中的頻寬與可用的子通道狀況，基地台根據使用者設備回報的通道品質指標 (Channel Quality Indicator, CQI)數值來進行無線資源的排程，通常 Downlink 排程演算法會有比例公平 (Proportional Fair, PF)、修正的最大加權延遲優先演算法 (Modified Largest Weighted Delay First, M-LWDF)與指數比例公平 (Exponential Proportional Fair, EXP)等演算法，然而，並非全部的排程策略都適合災難場景，也必須慎重考慮無線資源的公平性問題，而無線存取則應基於正交分頻多工 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access, OFDMA)技術，其存取技術可提供分頻多工 (Frequency Division Duplex, FDD) 與分時多工 (Time-division Duplex, TDD)等兩種方法，再結合混和式自動重送請求可滿足 LTE 系統標準。

4.4 災害導向流量管理

此功能主要用於模擬 LTE 承載通道、網路流量的產生與流量卸載機制，模擬 LTE 承載通常有兩種，一種是用於使用者裝置與演進式封包核心間的演進式封包系統 (Evolved Packet System, EPS)承載通道，另一種是用於使用者設備與基地台間的無線承載通道，根據服務品質的需求不同，演進式封包系統與無線承載通道可被分類為保證傳輸率 (Guaranteed Bit Rate, GBR) 或非保證傳輸率 (Non-Guaranteed Bit Rate, Non-GBR)，而網路流量的產生是為了產生資料封包，其產生之方法有下列幾種：軌跡式 (Trace-based)、網際協議通話技術 (VoIP)、固定速率 (CBR)及無限緩衝模型 (Infinite Buffer Models)等，然而，考量一般資料傳輸路徑都必須通過每個網路節點與 LTE 元件，這可能要消耗傳輸通道資源，尤其是在建構共同作戰圖像，因此，可藉由流量卸載技術來改善有限的通訊資源與通道堵塞問題，3GPP 組織所定義的流量卸載 [23]則有本地 IP 存取 (LIPA)、選擇流量卸載 (SIPTO) 及 D2D 等技術，流量卸載方法的模擬將是改善 LTE 通訊系統無線資源使用的關鍵功能。

4.5 模組化架構

模組化的架構目的在於確保模擬器操作簡易方便，LTE 系統具有複雜的特性及功能，需要透過模組化的開發來降低其複雜度，然而，模組化框架往往會與使用的平台、軟體、工具與程式語言有關，且以易於操作、穩定性佳及固定的維護與更新優先採用。

表 1. 模擬器的功能比較

模擬器 功能	MATLAB-based [8]	LTE-sim [9]	ns3-LTE [10]	SimuLTE [11]
移動性/使用者管理	無	有	有	有
無線資源管理	缺少上行鏈路架構	有	有	有
災害導向網路管理	缺少完整 LTE 協定堆疊	缺少 TCP 協定	有	有
災害導向流量管理	無	缺少流量卸載機制	缺少流量卸載機制	缺少流量卸載機制
模組化架構	MATLAB	Static C++	ns-3	OMNeT++

五、模擬結果與分析

流量卸載機制是災害導向流量管理功能之一部分，也是緊急通訊系統中關鍵的功能，3GPP 組織更是提出本地 IP 存取(LIPA)與選擇流量卸載實現框架供業界與學界研究[23]，因此，本研究透過新一代 LTE 流量卸載機制—LIPA，來進行初步的救災通訊資源評估。LIPA 運作原理主要是透過深度封包解析技術先解析車載式基地台收到的資料封包內容，透過預先設計的救災人員表單資訊(來源端與目的端 IP 資訊)，藉此可以用戶是否位於同一災區，在透過封包資訊的修改，資料封包即遵循 LTE 規範進行轉遞，如此可以避免區域性的通訊協調還要經過後端延伸網路與核心網路，節省不必要的資料傳輸延遲，提升系統傳輸率。

為了說明此機制的重要性，模擬的重點著重在有限的通訊資源，包含有限的無線存取網路(RAN)，意旨有限的頻寬設定下，基地台所能提供通訊資源是受到限制的；以及受限的網路狀態(Network Situation)，其中包含基地台的後段延伸網路(Backhaul)與核心網路(CN)的狀態。在受限的網路狀態條件下，隨著使用者的數量增加，觀察並分析在一般的通訊模式(Normal Mode)與卸載模式(LIPA Mode)下的差異，模擬的參數設定如表 2 所示。

表 2. 模擬參數

參數設定	說明
Number of VeNBs	1
Number of Survived eNB	6
Number of MUEs	10-30
Cell Radius	500
System Bandwidth	10M Hz
Scheduling Algorithm	Round Robin
(V)eNB/MUE Power Gain	46/23 dBm
(V)eNB/UE Antenna Gain	14/0 dB
Standard Deviation of Shadow	8 dB
Channel Fading	Rayleigh Fading
Noise Power Density	-174 dBm/Hz
Number of Simulations	100
Data Generation Rate	1 Mbps
Given Time Period of Simulations	1000 ms
Communication Model	LIPA and Normal

模擬的場景如圖 1 所示，災區由車載式基地台(VeNB)提供通訊服務，周遭仍有倖存的基

地台且假設在其服務範圍內皆有 2 個用戶需提供服務，因此，在不考慮專屬救災頻帶的情況下，對救災通訊系統會產生干擾的問題，基地台的排程策略採用 Round Robin 做為公平性原則，資料產生率(Data Generation Rate)可視為服務類型，以一般即時視訊傳輸率(1M bps)做為基準，採用隨機變化(0~1 之間)做為一般訊息與視訊所需的資料傳輸量，以評估救災可能的服務類型。評估效益指標有兩種，其一項指標為資料傳輸延遲時間，定義為一筆救災資訊從來源端傳送到目的端所產生的延遲，此項指標主要是考量服務傳輸的時間延遲容忍問題；另一項指標為通訊系統總傳輸率，定義為加總系統時間內所有傳輸資料的傳輸率，此項指標主要考量如何最大化緊急通訊系統的傳輸效益，將有限的通訊資源做最大化的運用。

綜合以上所述，基於網路狀況的模擬結果如圖 3、4 所示，由於資料傳輸到基地台時，會進行是否進行卸載的判斷，因此，卸載模式會比一般模式少了限制的延伸網路不必要的路徑與核心網路擁塞所造成的延遲等時間，圖 3 顯示隨著網路狀況越來越不好的情形下，一般模式會受到很大的影響，在網路狀況為 6M bps 時，延遲時間明顯增加，在網路狀況為 1M bps 時，更是相差 400 毫秒的時間延遲，而卸載模式下因為避開了不必要的路徑與核心網路的擁塞，因此呈現穩定且低延遲的情形。而以整體的系統效益來看，圖 4 顯示系統傳輸率在網路狀況不錯的情形下，已經明顯有 100k bps 以上的差異，隨著網路狀況越來越糟，整體系統效益也跟著下滑，當網路狀況處於最差 1M bps 的情形下，將近有 750k bps 以上的差異，由此可見，卸載機制對於網路狀況處於不穩定或是受限制情形時將會有非常大的幫助。

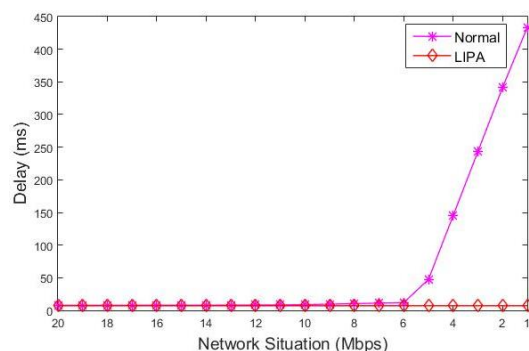


圖 3. 不同網路狀況下的延遲

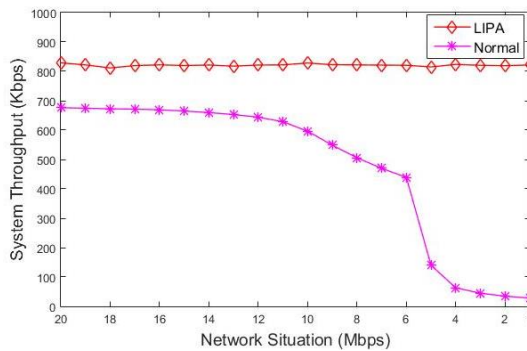


圖 4. 不同網路狀況下的系統傳輸率

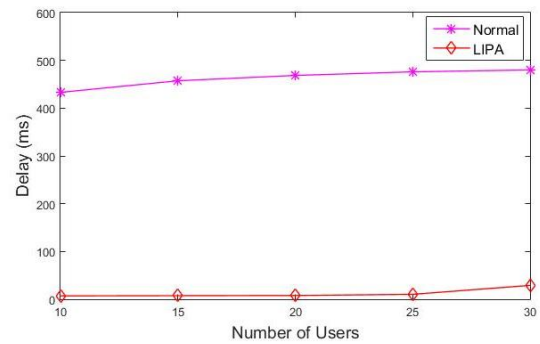


圖 5. 不同使用者數量下的延遲

基於使用者數量的模擬結果如圖 5、6 所示，由於系統採用頻帶大小(10M Hz)固定，所以系統可提供的資源塊(Resource Blocks, RBs)固定，且基地台透過 Round Robin 排程策略公平分配資源給每位使用者，因此，每位使用者平均分享無線資源，然而，隨著使用者的增加，系統傳輸率也會隨之成長，但卻不會無限提升，有一定的使用者數量限制。圖 5 顯示資料傳遞過程的延遲時間除了會受到每位使用者所分配到的無線資源影響外，網路狀態所產生的影響更是嚴重，經由卸載的延遲是處於低延遲時間的緩慢增加，而一般模式下的延遲卻是維持在高延遲時間的緩慢增加，其中延遲差距更是維持將近 400 毫秒以上。圖 6 顯示，一般模式下的資料傳輸會隨著使用者數量的增加而緩慢提高系統的傳輸率，然而卻遠小於卸載所產生的效益，而卸載模式下的傳輸率雖然也會隨使用者數量增加而提高，然而卻會遇到瓶頸的問題，這種情況主要是因為卸載模式下的資料傳輸已經避開延伸網路與核心網路，整體的效益主要是探討無線存取網路的效益，然而，隨著使用者數量的增加，每位使用者分配到的無線資源就有了限制，而這個限制卻會影響每筆資料傳輸的延遲，就系統傳輸率的計算方式而言，這是「Trade-Off」的問題，就系統模擬環境而言，最佳的效益就落在使用者數量為 25 的地方，由此可見，加入卸載機制後，如何取得最佳效益也可以透過模擬評估取得適當的資源分配參數，例如一套具卸載機制的救災系統適合提供多少救災人員進行救災任務，可預先進行系統資源模擬評估，期能遂行救災任務。

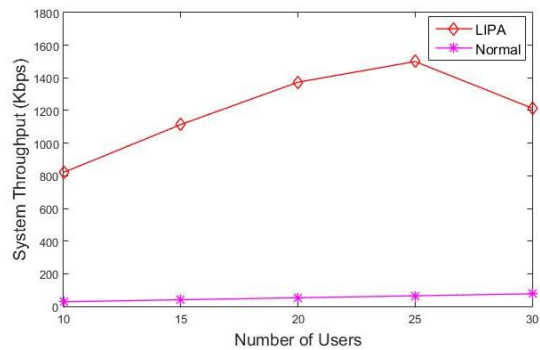


圖 6. 不同使用者數量下的系統傳輸率

六、結論與未來工作

不可預知的災害可能造成嚴重且無法預期的生命財產損失，在這種情況下，通訊效益是重要關鍵因素，本論文根據現有 LTE 模擬器的比較與緊急救災通訊系統的功能探討，歸納出五項以救災任務為導向的必要功能，包含網路管理、移動性/使用者管理、無線資源管理、救災任務為導向的流量管理及模組化框架等，透過這五大功能可協助救災團隊有效評估與管理整體的救災通訊資源。然而，大部分的通訊模擬器功能都缺乏流量卸載的機制，考量救災環境的惡劣並無法提供很完善的後端延伸網路，以及確保核心網路不會因為大量的安全回報與救災協調而擁塞，因此，本論文進行流量卸載機制的模擬與分析，模擬結果顯示具卸載機制的通訊系統可有效避開限制的延伸網路與核心網路擁塞的問題，維持不受網路狀態影響的低延遲且穩定系統傳輸率。模擬結果進一步分析發現，由於無線存取網路資源是有限的，即使具有流量卸載機制的通訊系統，也需要將使用者數量指標內入評估，方可取得通訊系統的最大效益。

未來工作可以根據五大功能模組開發一套完整 LTE 模擬器，可以實現資料傳遞的整個過程，同時也兼顧災區的場景考量，讓模擬器的模擬結果可更貼近實際狀況，可做為救災任務評估通訊資源的參考依據，確保救災任務順遂。

誌謝

感謝科技部計畫: MOST 105-2221-E-606-003 以及 MOST 105-2221-E-606-004，提供經費支持，使本研究得以順利完成。

參考文獻

- [1] Shibata, Y., Uchida, N., and Shiratori, N., "Analysis of and Proposal for a Disaster Information Network from Experience of the Great East Japan Earthquake," IEEE Communications Magazine, Vol. 52, No. 3, pp. 44–50, Mar. 2014.
- [2] Nemoto, Y. and Hamaguchi, K., "Resilient ICT Research Based on Lessons Learned from the Great East Japan Earthquake," IEEE Communications Magazine, Vol. 52, No. 3, pp. 38–43, Mar. 2014.
- [3] Verma, H. and Chauhan, N., "MANET Based Emergency Communication System for Natural Disasters," in Proc. International Conference on Computing, Communication & Automation, pp. 480–485, May 2015.
- [4] Doumi, T., Dolan, M. F., Tatesh, S., Casati, A., Tsirtsis, G., Anchan, K., and Flore, D., "LTE for Public Safety Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 51, No. 2, pp. 106–112, Feb. 2013.
- [5] Jaliha, D., Koilpillai, R. D., Khawas, P., Sampooram, S., Nagarajan, S. H., Takeda, K., and Kataoka, K., "A Rapidly Deployable Disaster Communications System for Developing Countries," in Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 6339–6343, Jun. 2012.
- [6] Gomez, K., Goratti, L., Rasheed, T., and Reynaud, L., "Enabling Disaster-resilient 4G Mobile Communication Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 52, No. 12, pp. 66–73, Dec. 2014.
- [7] Taniguchi, T., Karasawa, Y., and N. Nakajima, "Effect of Cooperative Base Stations and Relay Stations for Disaster Recovery in MIMO Multi-cellular System," in Proc. Sixth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, pp. 141–146, Sept. 2012.
- [8] Ikuno, J. C., Wrulich, M., and Rupp, M., "System Level Simulation of LTE Networks," in Proc. IEEE 71st Vehicular Technology Conference, pp. 1–5, May 2010.
- [9] Piro, G., Grieco, L. A., Boggia, G., Capozzi, F., and Camarda P., "Simulating LTE Cellular Systems: An Open-Source Framework," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 60, No. 2, pp. 498–513, Feb. 2011.
- [10] Baldo, N. and Miozzo M., "An Open Source Product-oriented LTE Network Simulator Based on ns-3," in Proc. 14th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, pp. 293–298, Oct. 2011.
- [11] Virdis, A., Stea G., and Nardini G., "SimuLTE-A Modular System-level Simulator for LTE/LTE-A Networks Based on OMNeT++," in Proc. International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH), pp. 59–70, Aug. 2014.
- [12] Tang, Z., Wang, Z., Li, P., Guo, S., Liao, X., and Jin, H., "An Application Layer Protocol for Energy-Efficient Bandwidth Aggregation with Guaranteed Quality-of-Experience," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 26, No. 6, pp. 1538–1546, Jun. 2015.
- [13] Ray, S. K., Sarkar, N. I., Deka, D., and Ray, S. K., "LTE-advanced Based Handover Mechanism for Natural Disaster Situations," in Proc. 2015 International Conference on Information Networking (ICOIN), pp. 165–170, Jan. 2015.
- [14] Gomez, K., Goratti, L., Granelli, F., and Rasheed, T., "A Comparative Study of Scheduling Disciplines in 5G Systems for Emergency Communications," in Proc. 1st

- International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity (5GU), pp. 26–28 Nov. 2014.
- [15] Maallawi, R., Agoulmine N., Radier B., and Meriem, T. B., “A Comprehensive Survey on Offload Techniques and Management in Wireless Access and Core Networks,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 17, No. 3, pp. 1582–1604, Dec. 2015.
- [16] Central Emergency Operations Center (CEOC). (Jul. 2016) Handling Report of 0206 Earthquake Disaster. [Online]. Available:
<http://www.emic.gov.tw/List.aspx?ID=21&MenuID=70&ListID=975>
- [17] Casoni, M., Grazia, C. A., Klapez, M., Patriciello, N., Amditis, A., and Sdongos, E., “Integration of Satellite and LTE for Disaster Recovery,” *IEEE Communications Magazine*, Vol. 53, No. 3, pp. 47 – 53, Mar. 2015.
- [18] Siyang, L., Fei, Q., Zhen, G., Yuan Z., and Yizhou H., “LTE-satellite: Chinese Proposal for Satellite Component of IMT-Advanced System,” *China Communications*, Vol. 10, No. 10, pp. 47 - 64, Oct. 2013.
- [19] Taniguchi, T., Karasawa, Y., and Nakajima, N., “Base Station Cooperation in Multiantenna Cellular System with Defect Cells,” in *Proc. Antennas and Propagation Conference (LAPC)*, pp. 1–5, Nov. 2011.
- [20] Ahmadi, S., *LTE-Advanced: A Practical Systems Approach to Understanding 3GPP LTE Releases 10 and 11 Radio Access Technologies*. Academic Press, 2013.
- [21] Baldo, N., Requena-Esteso, M., Nin-Guerrero, J., and Miozzo, M., “A New Model for the Simulation of the LTE-EPC Data Plane,” in *Proc. Workshop on ns-3 (WNS3)*, 2012.
- [22] Baldo, N., Requena-Esteso, M., Miozzo, M., and Kwan R., “An Open Source Model for the Simulation of LTE Handover Scenarios and Algorithms in ns-3,” in *Proc. 16th ACM international Conference on Modeling, Analysis & Simulation of Wireless and Mobile Systems*, pp. 289–298, Dec. 2013
- [23] 3GPP, “Local IP Access and Selected IP Traffic Offload,” 3GPP, Tech. Rep. TR 23.829, Vol. V10.3.0, 2011.