

# 支援大規模自然災害下應急行動通訊系統與 LTE-Direct 之整合設計

連耀南<sup>1</sup>

亞洲大學光電與通訊學系

yaonanlien@asia.edu.tw

## 摘要

歷年發生的大型天然災害中，行動通訊系統常常會因為道路、橋樑、電力的損毀而導致嚴重癱瘓，進而影響災後救援工作的進行，行動通訊系統其實是不可靠且極為脆弱的。為使災區能夠快速恢復通訊，我們先前的研究曾提出一種應急通訊系統，利用無線通訊，將設備完好但失去連線能力的基地台連接起來，並利用存活並可連至核心通訊網路的基地台，建構成為一個臨時性的通訊系統，稱為應急蜂巢式行動通訊網路 (Contingency Cellular Network, CCN)，供使用者在災區內進行通訊。此外，LTE-Direct 技術可讓 4G/5G 手機不須透過基地台彼此直接通話，可部份解決基地台損毀之問題。但失去基地台以及核心網路的支援時，無線電頻率的和諧共用難以達成，且位置管理等關鍵功能也會喪失。本論文提出一個整合 LTE-Direct 技術及 CCN 系統的架構，稱為 CCN-Assist Mesh MCPS 應急網路，可以大幅降低手機的轉送負載，再加上減低耗能的演算法延長手機電池的使用壽命，將可以大幅增加 MCPS 應急網路的可用度，使得所有具備 LTE-Direct 功能的手機都能妥善利用既有無線電頻譜互相通話。我們整合兩種技術的長處建構一個大容量、低成本、容易建置及使用方便的應急通訊系統。在諸多研究議題中，我們首先設計一個能降低電池電力消耗的網路拓撲。

**關鍵詞：**行動計算、緊急通訊、LTE-Direct

## Abstract

When a catastrophic natural disaster strikes, an organized and effective rescue operation is essential to rescue those victims trapped under collapsed buildings or landslides as well as to relief massive survivals who lose their life support. However, social infrastructure and communication systems were usually paralyzed by many causes. The loss of social infrastructure and communication systems made rescue and relief operations extremely difficult costing many lives unnecessarily. Unfortunately, little aid can access to the stricken zones in the first 72 Golden Hours due to the paralysis of transportation system such that the people in the stricken zones must use poor local resources to execute an inefficient disaster response operation. In our previous research over the past decade, we found that two major problems that disable many cell towers were the loss of power and backhaul links with their physically structure remained intact. This project is to

integrate our previous developed Contingency Cellular Network (CCN) and LTE-Direct cellular phones to construct a large capacity, low cost, easy to deploy and easy to use contingency communication network. CCN uses wireless links to connect disrupted cell towers to form a temporary limited-capacity cellular phone network. The cell phones that equipped with LTE-Direct capability are able to communicate to each other without the support of base stations and core network. However, their communication capability is limited by the loss of harmonic use of wireless spectrum and the loss of mobility management support. Our system will take advantage of both technologies to form a better system. The cellular phones within the coverage of the network can be reactivated in full capacity immediately for the user of disaster response operation. There is no need to stock large number of user terminals in advance such that a large investment of user terminals can be saved. Furthermore, this system make reuse of existing cell towers so that the deployment cost can be dramatically reduced. This system is light-weight such that it can be easily delivered using helicopter or air drop or even drones, thus can overcome the paralysis of transportation system easily. It will be able to support a large number of voluntary workers under catastrophic natural disasters. Research issues include architecture design, topology design, scheduling, bandwidth allocation, admission policy design, system hardware and software design, as well as autonomous configuration, etc. Topology design, bandwidth allocation, and scheduling problems have been studied in previous years. This proposal aims to design a battery-life aware distributed topology design for CCN assisted Mission Critical Public Safety network such as MCPTT (Mission Critical Push-to-Talk). We anticipate a great benefit to the human beings if our system shall be implemented and deployed.

**Keywords:** mobile communication, emergency communication, LTE-Direct.

## 1. 前言

大型災害來臨時，天折地裂，災區一片兵荒馬亂，其場景吋筆難以盡述。救災行動刻不容緩，分秒必爭，而救災效率之高下決定了許多人的生死。我們綜合 921 集集地震[8]、莫拉克颱風/88 水災、汶川地震及海地地震的經驗，歸納出大型天災中影響救災效率的幾個重大因素[9]：災區交通癱瘓、固定及行動通訊網路幾乎全面癱瘓、專業救災人員嚴重不足、行政指揮系統失靈等。而通訊網路的癱瘓更是重中之重，可惜的是：自從電信事業民營化之後，緊急通訊系統的研究與建置，

<sup>1</sup> 本研究由科技部 MOST 107-2221-E-468-005 計畫贊助。

已經落入無人聞問的窘境。民營行動電信公司的標準因應之道是調派具備衛星連線的車載行動基地台進駐災區提供緊急通訊服務，並積極搶修線路盡快恢復通訊服務。

這兩項措施都不足以支援大規模災區在黃金72小時內所需。固定式行動基地台背後的光纖連線隨著道路橋梁的損毀難以快速修復，若機房等重要設備損毀，其置換與重置亦需時甚久。以921地震為例，中華電信耗費15天才搶通災區電信網路。在八八水災中，中華電信斷訊基地台達1800座，其中550座在兩天之後仍無法恢復運轉。換言之，在關鍵的黃金72小時內，大量的行動電話將陷於癱瘓，無法及時修復。再觀察近年來各處自然災害的搶救效率，即使如美國日本這種先進國家也無法在黃金72小時內修復大部分的電力及通訊系統。且不談卡翠納颶風摧毀新奧爾良讓美國的緊急救災機關 FEMA (Federal Emergency Management Agency) 備受責難，就連2011年及2012年各一個小型颶風侵襲美東就讓數百萬戶居民斷水斷電數星期之久。2011年的日本地震更讓世人大吃一驚，地震頻仍對地震之準備號稱世界之最大的日本，竟然不堪一擊，荒腔走板。世人在面對大型自然災害時，其實仍然是脆弱不堪的，通訊線路因為依附於橋樑道路，其抗災能力受制於橋樑道路的抗災能力，不但容易受損，也不容易快速修復。

而具備衛星連線的車載行動基地台受限於衛星連線的有限頻寬以致所能支援的通話容量極為有限，而且數量有限，不足以應付大型災害所需。中華電信在北中南三地共備有數十部車載行動基地台，但八八水災中，單單中華電信公司就有1800座基地台斷訊，車載行動基地台的數量遠遠不及所需。再者，當道路柔腸寸斷時，車載行動基地台也未必能順利進駐災區。此外，電信公司的線路搶修的目的在於盡速提供其用戶正常的通訊所需，除了通訊以外的功能，例如認證，資訊安全等都必須全面搶修才能提供正常通訊服務。但應急通訊卻可以忽略認證等功能以盡速提供應急通訊服務。此外，在非常時期，公權力理應能整合不同電信公司的基地台共同建設應急網路，但個別電信公司卻無此需求及意願主動聯合建立跨公司應急網路。再者，應急通訊必須在72小時黃金救援時間的早期就建置成功投入運轉，但電信公司的時間緊迫性卻沒有如此嚴峻。

另一方面，現有的防救災系統所使用的派遣式行動電話僅能提供有限容量的服務給編制內的救災人員使用，並未有多餘容量提供給大批的志願救災人員使用。總之，大型災害來臨時，現階段沒有一個現成的緊急通訊系統提供給災區內的大批使用者使用。基於以上原因，我們不能仰賴各電信公司依循自身的步調修復其網路，而必須由公部門自建或委建特殊的應急網路。

在我們的先前需求分析的研究中得知，能支

援大量使用者的兩項關鍵需求在於能否提供大量低價易於使用的終端設備給使用者以及能快速建置的低價網路端系統，基於這兩項關鍵需求，我們認為能重複使用既有網路設備以及使用者隨身手機的系統方具備可行性。現今很多研究都不符合此項需求。我們先前提出的應急蜂巢式行動通訊系統(CCN, Contingency Cellular Network) 以及3GPP R12 所提出的 LTE-Direct 讓手機之間可以不經過基地台彼此直接通訊這兩種技術能符合需求。但 LTE-Direct 尚有不足之處，本研究整合這兩種架構成為一個 CCN-Assist Mesh MCPS 應急網路。

## 2. 現有相關系統與發展中研究

### 2.1 現有相關系統

#### 2.1.1 專用高抗災通信平台

高抗災通信平臺[14]為國家通訊傳播委員會於莫拉克風災後，協調地方政府與電信業者共同出資就偏鄉通訊設施進行改善，於高雄那瑪夏、茂林、桃源、六龜、杉林、鳳山等6處，佈建強固機房並於特定基地台佈建衛星、微波等無線通訊設備，以確保政府救災體系緊急通訊順暢。雖然抗災係數大幅提高，但由於成本過高，數量遠遠不足，僅侷限於少數固定的特定區域。

#### 2.1.2 無線對講機 (Walkie-Talkie, Push-to-Talk)

傳統無線電對講機(Walkie-Talkie, Push-to-Talk over Radio)為便於攜帶之手持雙向無線電收發器，能於無基礎設施之環境下，進行半雙工通訊；除低成本、電力使用長效外，其體積小且重量輕之優點，非常適合於交通中斷地區之空投作業。但由於普及率低，不易大規模取得，對於緊急救難可謂緩不濟急。3GPP R13 利用 LTE-Direct 建構的 MCPTT (Mission Critical Push to Talk) [15] 如果能實現，將可取代 Walkie-Talkie 成為災區通訊最重要的設備。

#### 2.1.3 業餘無線電(Amateur Radio)

俗稱火腿(Ham radio)，與無線對講機相似，但通訊的距離較遠，不需佈建通訊網路，便利性高，可靠性高，但擁有執照的專業人員數量稀少，可攜性極低。

#### 2.1.4 專業用集群無線通訊系統 (Trunking Radio)

例如 Project 25設備[5]或歐盟的 TETRA[6]，需專業人員架設，一般未經訓練的民眾不會使用。因此，主要使用者為官方或專業救難團隊。其優點為：架設快速，涵蓋範圍廣，可靠性高，但話機數量有限；需經專業訓練才會使用，適用於特定使用者，主要為官方或專業救難團隊，無法提供大眾使用。

#### 2.1.5 移動車載行動通訊基地台

裝在車上具有衛星通訊設備的活動基地台，

可靈活調度在任何地區快速架設，優點是：佈建速度快；擁有行動電話之一般民眾皆可使用，但造價高昂數量不足，無法大量部署，如果交通系統癱瘓，不易運送至災區，因體積、重量過大無法空投。

### 2.1.6 行動隨意式網路 (MANET and Multi-hop MCPTT)

Ad hoc 網路是一種沒有有線基礎設施支持的移動網路，由具有無線區域網路能力的筆電，平板電腦或智慧型手機構成，每個節點皆可移動，並由這些節點構成一個網路，在 Ad hoc 網路中，當兩個移動設備同在彼此的覆蓋範圍內時，它們可以直接通訊，但是由於移動設備的通訊覆蓋範圍有限，如要讓兩個相距較遠的設備進行通訊，須藉由通過中間節點的轉發才能實現，當轉送超過兩次時封包將會大量遺失，VoIP 的語音品質大受影響，這種系統所能發揮的功效還是非常有限，且因無商業利益，無法獲得廠商支持後續商品開發成為成熟產品[11,12]。

### 2.1.7 空中基地台

曾有研究團隊提出[13]，利用氣球或無人機搭載基地台，漂浮於災區上空，上鏈與行動衛星通訊介接，下鏈則支援地面的行動電話用戶。此種架構獲得一定的肯定，惟具有執行面的困難：其一是衛星行動電話頻寬有限，所能支援之用戶極為有限，如使用 VSAT 等技術以獲得較大頻寬，但在氣球上架設穩定的 VSAT 定向天線殊為不易，難以實現，此外供電亦是一大問題，此類系統尚有許多實際困難以待克服。

### 2.1.8 Delay Tolerant Network (DTN)

在不連續網路的情況下，DTN 的技術提供一個以時間為代價建構一個充分連網的網路。在災害來臨時可以利用 DTN 技術建構一個延時訊息交換網路給災區使用者使用，但因為語音服務對於封包的延遲時間有嚴格的限制，因此 DTN 網路無法提供緊急語音通訊服務。

## 2.2 應急蜂巢式行動通訊網路

通過我們歷年來對各種災害的研究，我們知道大部份中斷服務的行動電話基地台都因電力中斷及連接後端的固網線路中斷而停止運轉，而基地台本身並未受損。CCN 利用最方便的方法，例如長距離 WiFi 連線，將災區內結構完好但服務中斷的基地台彼此之間用無線電連接建構成一個類似 Ad hoc 網路可以支援行動電話的系統，稱為應急蜂巢式行動通訊網 (Contingency Cellular Network, CCN)，讓災區內的行動電話使用者可以利用斷訊的手機作為救災的通訊聯絡之用。(註：雖然 LTE 的規格中，定義有基地台彼此間的聯繫通道，但實際上一般的行動通訊基地台彼此之間並未有實體線路相連，此聯繫通道不過是虛擬通道而已，再者，如真有實際連線，其線路之存活

率也僅與其他線路相當而已，並未特別強韌。)在過去數年中我們傾全力設計了 CCN。但 CCN 的服務容量仍受到極大限制僅能達到正常訊務容量的一小部分，本研究進一步整合 CCN 與 LTE-Direct 技術，利用手機之間直接互相通訊的能力來大幅增加網內的通訊容量。圖1 為 CCN 網路架構圖。

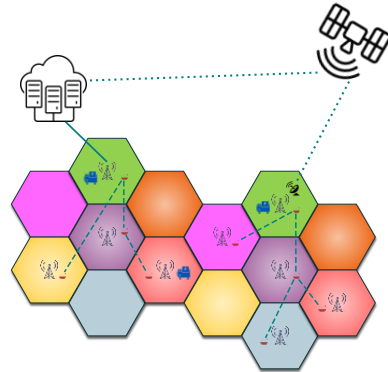


圖 1 應急蜂巢式行動通訊網路架構圖

倖存之行動電話基地台，依其對外連線能力定義如下：

- **連網台**：與後端核心網路連線正常，可持續提供服務之基地台。
- **孤立台**：未受損但與後端核心網路連線中斷，無法提供服務之基地台。

當兩基地台彼此相鄰，可用無線通訊方式連線，互相交換資料時，這兩基地台互為彼此的鄰台。孤立台利用鄰台互相連接以接力方式連接到連網台，由於連網台的功能沒有受損，即可透過連網台連線到後端核心網路，在已經退場的 2G 系統中為 BSC 及 MSC (Mobile Switching Center)，而在 3G 系統則為 RNC (Radio Network Controller) 及 MSC、SGSN 等，基地台必須與他們建立連線才可交換信令 (signaling) 與資料 (data) 提供電信服務。CCN 將利用各種無線連線方式取代已經斷掉的固網連線與鄰台相連，鄰台之間將會不斷相連擴展，形成一個全新的網路。CCN 的服務容量受到數項因素之限制僅能達到正常容量的一小部分：(1) 聯外的頻寬非常有限；(2) 各基地台之間的連線除了負擔本身的訊務之外，還需負擔轉送的訊務。而 3GPP R12 提出的 LTE-Direct 技術讓手機之間可以直接通訊，恰好可解決部分問題。

### 2.3 Multi-hop MCPS 的問題

3GPP R12 提出 LTE-Direct 概念，讓行動用戶彼此之間可直接利用無線電頻率以 D2D (Device-to-Device) 方式互相通話。這種能力在應急通訊上極為誘人，已經有多篇論文在提出利用此種能力於公眾安全的通訊用途上。惟 LTE-Direct 目前尚有極大限制，功能有限無法支援正常的一對一通訊，其原因是 D2D 通訊模式在失去基地台的支援時，仍有數項關鍵問題待突破，方能支援一對一通訊。

一對手機在通話前必須由核心網路執行 Call Setup 的動作方能互相通話。除了安全認證，計費等這些在緊急通訊中可捨棄的功能之外，Call Setup 有幾項無法忽略的關鍵重要步驟(1)到HLR/VLR/HSS 尋找受話者位置（此即所謂的Mobility Management）(2)頻道指派。此外，現今一般人的通訊習慣已經大幅轉變由傳統通訊轉成網路通訊，例如LINE社群通訊，如果未能透過網路連到國外的伺服器，幾乎無法通訊。而LET-Direct 技術並未提供聯網功能，因此無法支援此類應用。

Mobility Management 所需的HLR/VLR/HSS伺服器都建在核心網路中，當基地台與核心網路失去連線時，將無法執行撥號到一個特定號碼的動作，亦即POTS (Plain Old Telephone Service)。此外，無線電頻率的和諧共用是頻譜運用的主要目標，無線電使用者之間的無線電波需避免互相干擾，在國家層級，則由FCC/NCC等機構統一分配頻譜或頻道，在一個基地台層級，則由基地台控制器(BSC/eNodeB) 統一分配，FDMA/TDMA/CDMA/OFDMA 等 Multiplexing 技術都是常見的頻譜分配機制。（註：CDMA雖是一種分碼多工方式，但本質上仍為一種頻率和諧共用的手段。）手機本身僅能被動的被指派通訊頻道。在災害發生時，若基地台服務中斷，D2D將無法提供 POTS服務。D2D通訊模式在沒有基地台及BSC/eNodeB功能為手機分配頻道的情況下，必須遵循類似 ISM 頻段的通訊規範進行通訊，避免互相干擾，因此其有效距離無法太遠，（註：FCC/NCC 已經開放64-71GHz 作為免執照頻段使用）。如欲進行遠距通訊，需用 Multi-hop 多層次轉送方式為之方能提高通訊距離，如前所述，Multi-hop VoIP通訊之品質在3個hop之外便難以控制，限制極大。當我們整合CCN 與 LTE-Direct 時就能將兩項技術的優點結合，建構一個高容量低成本，且能快速建置的應急通訊系統。

### Mission Critical Push-to-Talk (MCTPP)

有鑑於 LTE-Direct 的限制條件，3GPP R13 提出了 Mission Critical Push-to-Talk (MCPTT)作為應急通訊的解決方案。MCPTT定義了群組通訊 (Group Call)以及一對一的通訊(Private Call)模式。群組通訊類似我們最常見的無線對講機就是一種PTT無特定對象的開放式群組通訊模式。在此種通訊模式下，同一時間只有一部行動電話可以發話，而其他行動電話只能收聽，從而避開了 LTE-Direct 所面臨的頻率指配困境以及一對一通話所需的 Mobility Management問題。但是由於手機的通訊距離有限，Single-Hop MCPTT 群組的涵蓋範圍有限，無法進行遠距離通訊，必須借助於 Multi-hop Mesh Network 組成一個大範圍的通訊網路。單純的使用手機實現 MCPTT Private Call 模式困難重重，其原因如上節所述。如能搭配我們設計的CCN系統，其可行性將大幅提高。限於研究資源有限，目前尚未進行與CCN整合之研究。

### 電力消耗問題:

一般而言，電力系統由於輸電線路對抗天災的能力極為薄弱，經常在大規模自然災害中失去大部分地區的供電能力。在災區中為手機充電是一個極大的挑戰。另一方面，在災區中，因為幾項因素手機的電力消耗速度，遠高於平常時期:(1) 通訊需求大增 (2) 失去基地台支援的 LTE-Direct 需要使用極為耗能的非同步傳輸以避免同頻干擾;(3) 建構 Mesh Network Based MCPS/MCTPP 網路，會引發許多封包轉送需求，增加電力消耗。因此，節約電力消耗就成了災區通訊的一個重要議題。

## 2.4 Multi-hop MCPS 的拓模問題

D2D 通訊，除了與周邊的鄰近手機通訊之外，還可以彼此互相協助轉送封包，讓相隔甚遠的手機之間亦能互相通訊，如此，一群互相合作的手機之間就形成了一個 Mesh Network，甚至可以連上存活的基地台對外通訊。我們稱之為 Basic Mesh MCPS 網路，如圖2所示。災區內的基地台分為三類，(1)連網台，如圖2中的綠色細胞，其轄下行動台(俗稱手機)可接到基地台稱為**正常手機** (Normal Cell Phone)，(2)孤立台，如圖2中的藍色細胞，其轄下手機稱為**孤立手機** (Isolated Cell Phone)，如能經由本研究所設計的 CCN 網路而連上核心網路，則孤立手機回復成為正常手機，(3)而損毀無法提供服務之基地台稱為**損毀台** (Failed Base Station)，如圖2中的紅色細胞，其轄下手機稱為**孤兒手機** (Orphan Cell Phone)。圖2中手機內部標示的數字表示其負載倍數，每轉發一部手機的訊務量，則負載倍數增加一單位。



圖 2 Basic Mesh MCPS 應急網路

對於小規模的災變，Basic Mesh MCPS 網路技術的難度並不大，但對於大型自然災害中基地台大規模受損時，Mesh Network 將極為龐大，Mesh Network 的中間節點要負責轉送的封包，可能遠超出手機的承載能力。如圖2所示，4座斷訊基地台轄下約半數的手機必須承擔轉送的任務，3倍負載的

手機有11部，3倍以上負載的手機則有13部，最高負載竟可高達11倍。如此建構的 MCPS 應急網路必定為大量轉送的訊務所癱瘓。

### 3. CCN-Assist Mesh MCPS 應急網路

用手機搭配 LTE-Direct 直接建構一個 MCPS 應急網路，其最大的弱點之一是電池過度的消耗會大幅降低續航力。我們倡議利用 CCN 網路協助建構 MCPS 應急網路，稱為 CCN-Assist Mesh MCPS 應急網路，可以大幅降低轉送負載，再加上減低耗能的演算法延長手機電池的使用壽命，將可以大幅增加 MCPS 應急網路的可用度。如圖3中之例，斷訊之孤立台藉由 CCN 網路連上存活的連網台，孤立手機可直接連上孤立台恢復成為正常手機，也可共同承擔轉送任務。而3倍負載的手機降低為4部，4倍負載也是最高負載的手機則僅餘1部。與圖2相較，顯然 CCN 可以大幅降低轉送負載，大大的提高 MCPS 應急網路的可用度。（註：從電力供應的觀點而言，CCN-Assist Mesh MCPS 應急網路將個別手機因承擔訊務轉送的額外負載轉嫁到孤立台，但孤立台的電力供應可以用可攜式發電機輕易解決，遠比為大量的個別手機充電更為簡單可行。）

由上面的例子可知；拓樸設計是 CCN-Assist Mesh MCPS 應急網路的關鍵議題之一。一個好的拓樸能協助降低封包的轉送需求，進而降低電池電力的消耗。我們先前在 CCN 網路的研究中[10]，曾開發出幾項拓樸的最佳化模型並提供相應的拓樸演算法，這些經驗有助於我們研究 CCN-Assist Mesh MCPS 應急網路的演算法。本系統如果能獲得實現，將可在大型災害中大幅提升救災效率，解救更多人命。

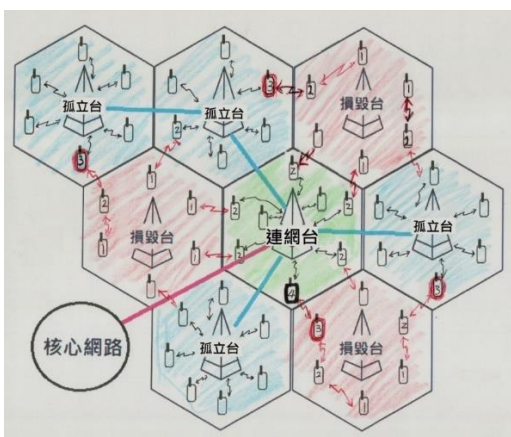


圖 3 CCN Assist Mesh MCPS 網路

## 4. CCN Assist Mesh MCPS 網路拓樸設計

### 4.1 Multi-hop MCPS 的問題

最佳的網路拓樸設計的首要工作是最佳化模型的建立。而最佳化模型的兩項元素是目標函數及限制條件。在不考慮節點的緊急程度與重要性下，最佳的拓樸應該是所有節點同時耗盡電力，並且存活時間最久，因此，我們設計的目标函數是一種 MaxMin 問題。

$$\text{Max (Min of (節點存活時間))} \quad (1)$$

由於我們的拓樸設計是追求降低各個行動台(節點)發出以及轉送的網路訊務所消耗的電力，因此我們假設電力的消耗與轉送訊務量成正比，而忽略其他的電力消耗。(因為每一個節點自身所發出的訊務量與轉送拓樸無關，因此可以排除於模型之外。)目標函數可以轉換成下列型式:

$$\text{Max (Min of (節點電池存量/轉送訊務))} \quad (2)$$

當我們無法預知每一個節點的實際訊務量時，我們只能假設每一個節點所發出的訊務量是 Uniform Distribution。如此，目標函數可以簡化成下式

$$\text{Max (Min of (節點電池存量/下層節點數))} \quad (3)$$

當一個節點承擔越多的訊務轉送任務時，除了消耗越多電池能量之外，也將會消耗越多的處理器能力 (Processing Capability)，實務上必須限制每一個節點在轉送拓樸上的鄰近節點數，尤其是根節點。因此，最佳化模型必須加上下列限制條件:

$$\text{In Degree of Each Node} \leq K$$

K 值由實際的模型使用者根據實際情況設定。由於每一個節點的運算處理能力不一，一個統一的 K 值，可能不切實際，最好是每一個節點擁有一個特殊的 K 值。如果可以預知每一個節點的下級節點所送過來的轉送訊務，那上面兩個限制條件就可以改以總轉送訊務量，而非 In-Degree，可是這是不切實際的期望，因此我們只能用 In-Degree 作為限制條件，遺憾的是最佳的 K 值的計算會將本最佳化模型的複雜度提升一個數量級，目前暫時忽略，而由模型使用者以經驗值訂定之。以上是一個最基本的最佳化模型。我們將進一步納入其他需求，希望設計一個更合適的最佳化模型。例如:根據節點的重要性調整其權重，第一線救災人員的手機應承擔較少的轉送訊務，以及較短的路徑到達根節點。未來將更深入的分析需求，提出更切合實際的最佳化模型。

### 4.2 演算法

加上諸多假設之後，目標函數簡化成公式(3)，其最佳的解答演算法並不難求得。假設給定的拓樸為連網台及所有手機做為節點，其權重為電池存

量，連網台之電池存量設為無限大，而兩節點之間若能互連則兩節點之間給定一條無權重鏈結。輸出是一個次拓樸，包含所有節點以及選定的鏈結。演算法的要求是挑選鏈結，連同所有節點，建構輸出拓樸。我們從所有連網台節點逐步往下層節點，逐層挑選鏈結。當 K 值為無限大時，使用貪婪演算法由每一層單獨求最佳解，即可獲得最佳拓樸。但當 K 值為有限值時，問題複雜度則成為 HP-Hard 問題，只能求得近似解。每一層的最佳演算法，是一個的遞迴演算法(Iteration)，每一個回合中，每一個下層節點挑選加入上層節點使得上層節點的最短壽節點為候選答案中之最長壽。反覆的執行本演算法直到收斂為止，亦即結果不再變動。可惜最佳演算法僅能在多個假設條件下方適用。在實際使用時，許多假設並不成立，必須開發出更實用的演算法。

## 5. 結語

在許多大型災難中，制式的救災設備往往因交通斷絕無法在第一時間投入於所有受災區。災區內的志願及編制內救災人員在災變發生初期必須自力救濟，以無組織的方式投入救災，不但外援薄弱且救援行動常是一片兵荒馬亂。不幸的是，通訊系統常因各種原因而癱瘓，造成防災救災指揮協調的極大障礙，因此緊急建構一個通訊系統以及救災相關資訊系統提供大量專業及志願救災人員使用成為一個最緊急的救災任務之一。本研究提出一個整合 LTE-Direct 技術及 CCN 系統的架構，稱為 CCN-Assist Mesh MCPS 應急網路，可以大幅增加 MCPS 應急網路的可用度，使得所有具備 LTE-Direct 功能的手機都能妥善利用既有無線電頻譜互相通話，期待能對災區的救災工作做出重大貢獻，多救一些寶貴的生命。

## 參考文獻

- [1] Ali Alnoman and Alagan Anpalagan, "On D2D communications for public safety applications," *2017 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference (IHTC)*, Oct. 2017, Toronto, ON, Canada.
- [2] Abhaykumar Kumbhar, Farshad Koohifar, and İsmail Güven, "A Survey on Legacy and Emerging Technologies for Public Safety Communications", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol, 19, Issue 1, 4Q 2017.
- [3] Mehmet Ulema, et. al., "Critical Communications and Public Safety Networks Part 1: Standards, Spectrum Policy, and Economics," *IEEE Communications*, March 2016.
- [4] Naim Kapucu, et. al. "Wireless Communication and Spectrum Sharing for Public Safety in the United States," *Journal of Emergency Management*, Vol 4, No. 3, 2016.
- [5] Association of Public-Safety Communications Officials International, Project 25, <http://www.apcointl.org/frequency/project25/>, Retrieved May 2010.
- [6] Alfayez Adel, Assiri Majid, Clerk Rutvij, and Alsaadan Usamah, "Evaluating the Viability of TETRA for US Public Safety Communication," *University of Colorado at Boulder Interdisciplinary Telecommunications Program Capstone Project*, Boulder, USA, Nov. 2009.
- [7] Yong Bai, Wencai Du, Zhengxin Ma, Chong Shen, Youling Zhou and Baodan Chen, "Emergency communication system by heterogeneous wireless networking," *2011 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, June 2010.
- [8] Weimin Dong, et al., Chi-Chi, Taiwan Earthquake Event Report, Risk Management Solutions, Inc., [https://www.rms.com/Publications/Taiwan\\_Event.pdf](https://www.rms.com/Publications/Taiwan_Event.pdf), Retrieved Mar. 2010.
- [9] Jyh-Shyan Huang and Yao-Nan Lien, "Challenges of Emergency Communication Network for Disaster Response", *IEEE International Conference on Communication Systems*, Nov. 2012, Singapore.
- [10] Jyh-Shyan Huang, Yao-Nan Lien and Yu-Chieh Huang, "Network Topology Planning for Contingency Cellular Network", *17th Mobile Computing Workshop*, Aug. 2012, Taoyuan, Taiwan.
- [11] Yao-Nan Lien, Hung-Chin Jang, and Tzu-Chieh Tsai, "A MANET Based Emergency Communication and Information System for Catastrophic Natural Disasters," *IEEE Workshop on Specialized Ad Hoc Networks and Systems*, Montreal, Canada, June 26, 2009.
- [12] Yao-Nan Lien, Li-Cheng Chi and Chih-Chieh Huang, "A Multi-hop Walkie-Talkie-Like Emergency Communication System for Catastrophic Natural Disasters", *39th International Conference on Parallel Processing (on Applications of Wireless Ad Hoc and Sensor Networks Workshop)*, San Diego, CA.
- [13] Zhenhong Shao, Yongxiang Liu, Yi Wu and Lianfeng Shen, "A Rapid and Reliable Disaster Emergency Mobile Communication System via Aerial Ad Hoc BS networks," *2011 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, Sep. 2011.
- [14] 高抗災通信平台, [http://88flood.www.gov.tw/committee\\_news\\_detail.php?cn\\_id=506](http://88flood.www.gov.tw/committee_news_detail.php?cn_id=506), Retrieved Dec. 2011.
- [15] 3GPP, Mission Critical Services in 3GPP, [http://www.3gpp.org/NEWS-EVENTS/3GPP-NEWS/1875-MC\\_SERVICES](http://www.3gpp.org/NEWS-EVENTS/3GPP-NEWS/1875-MC_SERVICES), June 2017.