

# 應急行動通訊系統 (CCN)

黃智賢

中華電信研究所 客服研究室

frank210@cht.com.tw

黃玉潔, 王彥嵩, 連耀南

國立政治大學 資訊科學系

{g9705,g9812,lien}@cs.nccu.edu.tw

大型天然災害傷亡損失，其中顯示成千上萬的民眾在災害中遭受生命財產的損失。

表 1 大型天然災害傷亡損失記錄

Event	Date	Dead
Chi-Chi, Taiwan Earthquake	09/21/1999	2,415
Katrina Hurricane	08/23/2005	1,836
SiChuan, China Earthquake	05/12/2008	69,227
Port-au-Prince, Haiti Earthquake	01/13/2010	230,000
Chile Earthquake	02/27/2010	800
QingHai, China Earthquake	04/14/2010	1706
North-East Japan Earthquake	03/11/2011	13,013

## 摘要

大型災害頻傳傷亡慘重，若能把握於救災黃金72小時內，救出受困民眾，則可望挽回更多寶貝的生命。但災區通訊網路基礎設施常因災害遭受嚴重損毀，無法正常運作。在缺乏通訊系統的支援下，大大提高救援的困難度。

本研究提出一個新的機制，可快速恢復特定區域的通訊服務，以利救援行動進行。我們稱此網路為應急行動通訊網(Contingency Cellular Network)簡稱CCN網路。CCN網路利用無線電將災區內斷訊的基地台互相連接起來快速建置而成，具有建置速度快、使用門檻低等多項特點，可滿足災區救援的通訊需求。

當交通斷絕時可利用空投或直升機提供緊急修復包(可儲備於國家防救災中心，或行動電話公司)，修復包內含發電機、燃油和無線通訊設備到達基地台，使各基地台可藉由無線通訊設備以跳接方式，回復與核心網路之間的連線，恢復部分通訊功能。在黃金救援時期，利用蜂巢式系統的拓撲，使用有限資源，即行動基地台加上緊急修復包建立臨時緊急行動通訊，使救難人員能透過手機通訊。

**關鍵詞：**應急行動通訊，救災防災，行動通訊

## 一、大型天然災害影響

### (一) 大型天災頻傳且損傷慘重

大型災害頻傳且損傷慘重，根據統計每年因災害傷亡人數約有 2.5 萬人，流離失所約有 100 多萬人，財務損失約 6500 萬元美金[2]。表 1 大型天然災害傷亡損失記錄記錄歷年來

### (二) 大型天然災害的影響

大型災害來臨時，災區一片兵荒馬亂，其場景吋筆難以盡述。以 3 月 11 日發生的日本東北地震為例，在經歷足以撼動天地芮氏 9.0 地震之後，緊接著 23 公尺高的海嘯和令全世界聞輻色變的核災。地震、海嘯和核災三種複合式的重大災害，足以令參與多次災區救援的救災人員也為之吃驚。綜合 921 集集地震[12]、莫拉克颱風/88 水災、汶川地震[13]及海地地震的經驗歸納大型天災造成的影響：[3]

**建築物倒塌：**多數建築物於地震來時應聲倒下，許多民眾受困於瓦礫堆中，等候救援。

**災區交通全面癱瘓：**大部分災區聯外道路因而中斷；剩下可用的，亦被大量志願救災車輛塞爆，造成災區交通全面癱瘓。莫拉克颱風中，

因氣候關係，直昇機亦難以接近災區。而海地地震中，太子港機場雖逃過一劫，但因機場無法提供返航油料以致沒有飛機能降落。因交通全面中斷的緣故，造成外界支援難以於第一時間進入災區。以日本於東北大地震為例，其應變措施並未在 72 小時內全面啟動，遑論其他準備更為不足的國家。總而言之，**災變初期，尤其是黃金 72 小時之內，主要依賴在地的人力物力投入救援，無法依賴外界支援。**

**通訊網路幾乎全面癱瘓：**包括固網、行動電話在內的通訊聯絡網路幾乎全面癱瘓。倖存的通訊網路也因塞滿大量的關懷電話，無法供救災使用。

**專業救災人員嚴重不足：**專業救災人員之數量遠遠不足，尤其是災變初期。必須動員大量的在地志願人員投入救難救災。

**行政指揮系統無法運作：**各級行政指揮系統可能癱瘓，導致既有通聯組織癱瘓。例如 88 水災中，小林村長就不幸罹難；2004 年七二水災中，台中縣和平鄉松鶴派出所為土石流淹沒，完全外界失聯達數天之久。海地地震中，政府大樓癱塌，政府首長全部失聯，僅剩海地總統獨撐大局，所有行政系統形同癱瘓，難以負起救災規劃和指揮的大責。

### (三) 救災瓶頸

綜觀上述大型天然災害之影響，後續救災行動需克服的重大困難：

**地形阻隔，交通系統癱瘓：**地面交通中斷使得外援難以進入，救災人員與物資運送困難。初期雖可使用直昇機深入災區，但能運輸的資源有限，大幅增加救災的難度。

**物資不易協調分配，資源嚴重錯置：**在缺乏通訊系統的輔助下，災區損害資訊收集不易。在資訊不清楚的情況下，難以對救災物資作有效且適當的分配。即使分配得宜，如何送達又是另外一個問題。救災物資的錯置問題，尤其是

醫療用品，使得許多亟待救助的受難者因無法即時得到所需資源而喪生。

**救災人員彼此溝通困難，不易協調：**專業救災人員之數量不足，需依賴大量的在地志願人員投入救難救災。而這些志願人員彼此之間幾乎沒有通訊聯絡工具可資協調，救災效率極低。更有甚者，救災工作因溝通不良而彼此干擾。例如某救難團隊正使用高靈敏麥克風探測倒塌建物是否有倖存者，建物他側卻大肆進行挖掘工作，導致麥克風無法偵測倖存者。救災人員溝通協調不良、資訊缺乏且無法交流等諸多因素，常導致救難工作進度緩慢與救難資源嚴重錯置。許多保貴性命因此喪失即時獲救的機會，實在令人為之扼腕 [5,9,14,15]。

### (四) 固網與行動通訊系統癱瘓

通訊系統對救災行動極其重要，但在大型災害來臨的時候，這些平常看似穩定可靠的公眾通訊網路，卻幾乎全面癱瘓。在莫拉克颱風及 921 集集大地震中我們赫然發現，原以為比固網電話更能應付緊急情況的行動電話竟然不堪一擊。影響行動電話可用度的主要因素

**基地台服務中斷：**常見原因為(1)基地台遭強震摧毀；(2)電力供應中斷(備用電源僅能支持一至二小時，而 88 水災中 3300 座斷訊的基地台中約 70%是因為電力中斷而中斷服務)；(3)基地台連接後端固定網路線路 (backhaul) 損毀。



圖 1 固網與行動通訊系統癱瘓

**交換機房停止運轉：**常見原因為(1)電力中斷；(2)冷卻系統遭強震摧毀，交換機因過熱而停

機。大部分的電力線路與固網線路為了架設與維修方便，經常是沿著道路橋樑鋪設。而道路橋樑的損毀必將導致電力與通訊線路中斷，如圖 1 所示。電力與通訊線路中斷為行動通訊系統服務中斷的主因。

行動通訊系統的基本架構，基地台後端必須有固網連線(backhaul)連到控制器或交換機，從圖 2 所可以清楚看出，即使基地台本身完好無缺，但只要後端連線中斷，即無法維持正常運轉。

以莫拉克風災/88 水災為例，許多基地台因建在高處免於洪水淹沒，結構完整。但因隨著道路及橋樑鋪設的通訊線路隨道路橋樑坍塌而損毀，造成行動通訊系統也隨之癱瘓。電力與 backhaul 線路成為行動通訊網路的弱點（單門）。除此之外，在我們發表的文獻中，還有許多其他因素導致通訊系統癱瘓，由歷年大型災變中多數災區內之行動通訊系統全面中斷即可印證行動通訊系統其實是極為脆弱，由於受到諸多外在因素的連累，建造強固的基地台與交換機房仍是無濟於事，無法保證通訊系統可用度。國家通訊傳播委員會雖然在各地建置具有衛星通訊能力的強固基地台，但因成本之故，數量遠遠不足，僅能作為官方救災指揮之用，對於廣大地區的受災與救災人員而言，只是杯水車薪[8]。

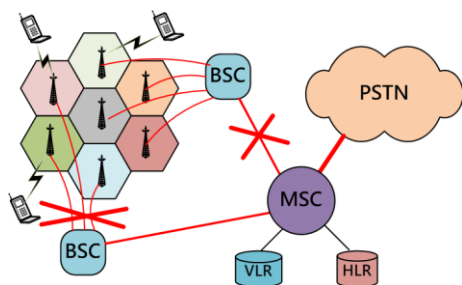


圖 2 行動通訊網路受損主要原因

#### (五) 通訊設備修復困難

以 921 地震為例，中華電信耗費 15 天，才搶通災區電信網路。在 88 水災中，斷訊基地台總數達 3300 座，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，大量的行動電話網路將陷於癱瘓，無法及時修復。

#### (六) 搶救時間與存活率

受困於災難現場的人員，需於 72 小時內搶救出來，否則生還機會極為微弱。因此災難發生初期，救難首要任務乃是集中所有救難資源搶救受困人員，這段時間稱為「黃金 72 小時」。根據災區生還者被救出之存活率粗略統計，救出時間與存活率如圖 3 救出時間與存活率統計表所示。災後 0~24 小時被救出的存活率約 90%；25~48 小時約 50%；49~72 小時約 20%。超過 72 小時被救出的則微乎其微。

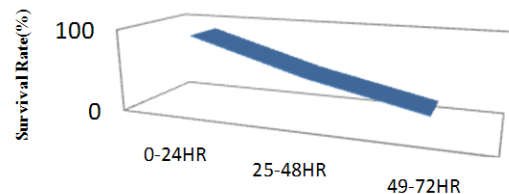


圖 3 救出時間與存活率統計表

## 二、應急通訊急迫性與挑戰

### (一) 應急通訊的急迫性

人命關天。從圖 3 可知，若能在災害發生初期，突破救災瓶頸，加速救災效率，儘快救出受困人員，則可大大提升存活率。換句話說，就有更多寶貴性命被挽回。

我們過去多年來，投入於災區緊急通訊系統的研究，利用志願救災人員的筆記型電腦及智慧型手機等建構成 MANET Based 平台，再利用 VoIP 技術實現緊急通訊系統[14,15]。這個系統可以提供部分的救災人員使用，但是仍有未足之處。一是可以支援的人數僅限於擁有筆記型電腦的人，與擁有行動電話手機的人數相比數量遠遠不足；二是系統仍須一定的專業知識才能安裝並操作本系統；三是待機時間太短。如果有一個系統能快速方便的讓民眾的手機恢復部分通訊功能，例如在基地台的範圍內網內

互打，或當成無線對講機使用，將可以對救災工作提供更大的方便。再者，在資通傳資源極為有限的情況之下，我們應該盡可能利用所有可利用的資源投入救災工作。因此，設法讓斷訊手機恢復部分通訊功能成為一個值得研究的問題。

通過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。

本計劃之目的在研究如何利用最方便、最快的方法，例如長距離 WiFi 連線，連通中斷的基地台建構災害應急通訊系統，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：一般的行動通訊基地台彼此之間並未相連。）

## (二) 應急通訊系統需克服的挑戰

在災區內建置應急通訊網由於時間與資源之限制，於網路建置和系統運轉時期，面對了許多挑戰與特殊需求：

### 網路建置之挑戰與需求

(1) **設備取得容易**：所需設備須可就地取材或運送容易(例如長距離 WiFi 設備)。災區物資大多只能倚賴空中運輸，大型設備如行動基地台，因不能空運且數量有限，無法廣泛使用。

(2) **佈建容易**：災區現場很難保有夠多的專業人員來建置應急通訊網路。因此，建置的難度越低越好。網路元件取得容易和建置難度低主要目的是希望可以提高建置應急通訊網的成功率。建置成功率越高，越能廣泛使用於災區。

(3) **建置速度快**：為把握救災的時效性，應急通訊網建置速度越快越好，隨著時間拉長，死亡率快速增加，而且行動通訊營運商也逐漸修復其通訊網路，應急通訊網路會隨著時間失去

作用，若建置時間緩慢則無建置之必要。

### 系統運轉之挑戰與需求

(1) **使用端設備數量多、成本低**：若需有特定的話機才可使用，因成本及分配之故很難在短時間讓這些成員人手一機，這會讓應急通訊網的功能大打折扣。而手機已經是最普遍的隨身物品之一，如果可以不需改裝手機即能投入使用，所有斷訊的手機將可投入救災使用。

(2) **易於使用，不需特別訓練**：最好是未經訓練就可使用。話機容易取得和易於使用主要的目的是為了降低使用應急通訊網的門檻。讓有需要的人員可以輕易使用，例如撥打 118 即可將手機轉成無線對講機，於基地台涵蓋範圍內的手機同時收話。

(3) **具備允入控制機制，可抵擋瞬增的話務量**：災區話務量常會有瞬增的特性。應急通訊網因為是臨時搭建，系統能容納的通話數遠不如一般的公眾網路，更容易因這些瞬增的話務量導致整個系統癱瘓。因此，應急通訊網需具備允入控制，當系統負載過高時，需能拒絕新的通話請求。

(4) **具救災緊急通話先行之功能**：應急通訊網需有緊急通話先行的功能，急迫性高的通話可優先使用。如此，可以避免整個應急通訊網被急迫性較低的互道平安通話佔滿，急迫性較高的急難救助通話卻無法撥打電話的情況發生。

(5) **具行動力**：救災人員執行救災任務需要來回走動，應急通訊網需能提供行動力。讓救災人員在行動同時，也可維持通話。

## 三、常見應急通訊介紹與比較

### (一) 常見應急通訊系統

**防救災通訊系統**：中央災害應變中心佈建的應急通訊網，在災前預先佈建強固機房並於管轄點佈建衛星等無線通訊設備，以確保政府救災體系緊急通訊順暢[8]。其優點有二，一是災前即已佈建完成，災難發生時，可快速投入救

災；二是系統可用性高。但因建置成本高因而數量稀少僅能涵蓋非常有限的區域，因此主要使用者為官方行政指揮體系和政府救災人員，無法提供廣大災區的使用者使用。

**無線對講機：**不需佈通訊網路，只要雙方擁有無線對講機即可進行通話，極具便利性和可靠性是非常理想的系統。但因擁有無線對講機的民眾不普遍（在 88 水災中，政府花了 7/14 天從各國廠商借得 240/1052 支無線對講機，太少也太慢），無法廣泛使用於一般志願救災民眾中。

**業餘無線電：**與無線對講機雷同，但通訊的距離較遠且不具行動力。

**專業用緊急通訊系統：**如 Project 25 設備 [4]，需專業人員架設，具架設速度快、涵蓋範圍廣、可靠性高等多項優點。但一般未經訓練的民眾不會使用，因此，主要使用者為軍方或專業救難團隊。

**活動基地台：**裝載在具有衛星通訊設備的車輛上(如圖 4 所示)，可供一般民眾使用。但因造價高昂數量不足，無法大量部署。如遇交通系統癱瘓，因體積、重量過大無法空投，不易運送至災區。



圖 4 行動無線基地台

## (二) 應急通訊系統比較

上述的應急通訊系統各有其限制。除行動無線基地台可適用一般使用者外，其餘系統的使用者均為少數特定對象，無法普遍用於災區的救災通訊。但行動基地台因運送至災區困難且數量有限，只能使用於特定地點，也難以應

付災區通訊的需求。因此為了加速救災行動的進行，急需研發新的救災應急通訊系統，以滿足災區通訊的基本要求。如此，才可廣泛被使用於災區的救災通訊。[3,14,15]

## 四、應急行動通訊系統(CCN)

### (一) CCN 設計理念

我們先前的研究發覺大部分斷訊基地台之結構完整，但因停斷電或後端線路毀損使其無法提供正常服務。利用空投或直昇機等方式提供緊急修復包(可儲備於國家防救災中心，或行動電話公司)，修復包內含發電機、燃油、無線通訊設備以及 EModule。基地台可利用無線通訊設備互連，以跳接方式，回復與核心網路之間的連線，使其能連上交換機等設備，恢復部分通訊功能。在黃金救援時期，利用蜂巢式系統的拓樸，使用有限資源，即行動基地台加上緊急修復包建立臨時緊急行動通訊，使災區能透過手機通訊。本系統之優點如下：(1) 重覆使用原有行動通訊基地台，大幅降低成本且涵蓋範圍廣。因原有拓樸均經精心設計且都位於高處極易以無線電互相連接。(2) 手機非常普及不需改裝即可投入使用，不需投入大量金錢購置使用端設備。(3) 不需訓練，人人會用。

### (二) 應急行動通訊網架構

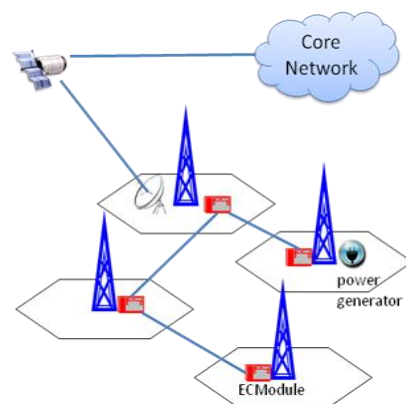


圖 5 CCN 網路架構圖

應急行動通訊網(Contingency Cellular Network)簡稱 CCN 網路，由原有的行動電話

基地台改裝而成，網路架構請參圖 5 CCN 網路架構圖。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稱為連網台。

**孤立台：**結構完好但與後端核心網路連線中斷，無法提供服務之基地台稱為孤立台。

**鄰台：**兩基地台彼此相鄰，可用無線通訊方式連線，互相交換資料。則這兩基地台互為彼此的鄰台。

建構 CCN 網路所需的元件內含發電機、燃油、長距離無線通信設備及 EModule，部分有衛星通訊設備。修復包可事先儲備於國家防災中心，災害發生後，再以直昇機等運輸工具運送至選定的基地台，用以建構 CCN 網路。

**發電機：**雖然基地台備有備用電源，但一般基地台備用電源僅能維持數個小時。為能持續供應基地台運轉所需的電力，輕便、可攜的小型發電機為佈建 CCN 網路不可或缺的元件之一。

**長距離無線通信設備：**具多個無線通訊能力，用以連接鄰台。可選搭一個或多個 WiMax、WiFi、無線微波等無線通訊模組，用以協助基地台恢復與後端核心網路連線能力。

**Emergency Communication Model (EModule)：**為 CCN 網路核心控制元件，主要功能包含恢復基地台與後端網路連線能力、資料轉送路徑控制、基地台頻寬分配控制與通話允入控制等功能。基地台需與 MSC(2G)或 RNC(3G)連線，才得以提供通訊服務。電信信令(signaling)和資料(data)都是經由這條連線傳輸。災區裏大部分基地台結構完整，但因失去聯外能力，而無法正常運轉。針對這些孤立台，只要接上 EModule 並透過無線電連上鄰台並透過鄰台恢復聯外能力，即可正常運轉，提供緊急救災所需之語音、數據上網和簡訊服務。孤立台透過與鄰台連線並採用多重跳接的方式恢復與後端核心網路連線即可成為連網台(參圖 6 孤

立台恢復連線方式)。

EModule 雖選搭多個通訊模組、具資料轉送、資料處理和運算能力。但以現有製造技術來看，EModule 配備造價便宜，可大量佈建到基地台。因為 EModule 功能單純，甚至可使用 NoteBook 接上 WiMax 或其它無線上網網卡即可擔任此一角色。

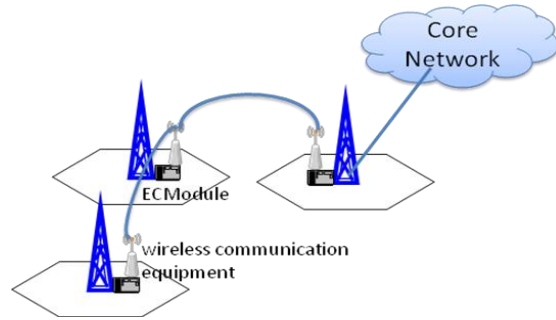


圖 6 孤立台恢復連線方式

**衛星通訊設備：**用以協助孤立台恢復與後端核心網路連線能力而成為連網台。主在提供基地台與後端核心網路的連線。衛星通訊設備不受地理位置限制，均可直接連上後端核心網路。但因衛星通訊設備昂貴，僅有少數孤立台可配置。孤立台配置衛星通訊設備恢復與後端核心網路連線即成為連網台。其它孤立台便可透過該基地台獲得連網能力(如圖 5 CCN 網路架構圖所示)，為救災人員提供服務。

### (三) 建置與運轉流程

建置災區電信網之步驟分四個階段，各階段需完成的工作詳述如下：

#### 第一階段：災害發生初期

偵測損害情形並自我修復。孤立基地台需嘗試找出訊息轉送路徑(EModule 需預先佈建至基地台，以提供資料轉送能力)。重建與 RNC 之間的連線，回覆損害原因至控制中心並繼續提供通話服務，直到備用電力用完為止(約可維持 1 至數小時不等)。

#### 第二階段：緊急維修規劃期

選定修復區域與基地台。依基地台回覆之資訊擬訂維修計劃，包含規劃最佳之無線連線網路拓撲、排定基地台修復次序、規劃修復路徑、決定需攜帶的發電機和 EModule 的數量和決定基地台頻寬分配策略。

### 第三階段：緊急維修執行期

依據第二階段規劃之結果，進行 CCN 網路佈建與設定。

### 第四階段：緊急服務運轉期

訂定基地台依服務開放策略，提供允許開放的服務；依頻寬分配策略，決定是否接受新的服務請求並確保緊急通話可優先取得服務。

#### (四) 重要研究議題與未來研究方向

CCN 的設計目標在於提高黃金 72 小時之救災效率，以提高受災民眾之存活率。為達此目的，需克服的相關議題如下：

**整體網路拓撲規劃：**為首要議題。因多數的基地台無法直接連上後端網路，需透過多重跳接的方式連上。網路拓撲的規劃將決定整個網路的效能、救災效益和穩定度。救災效益需考量的因素有災區緊急或受災程度、投入救災人員數量等。而設計策略需將救災效益最大化並維持流量分配增加其穩定度。分流的設計是依照各區受災程度估算可能的通話量並加以分流，避免網路擁塞以提高整體網路使用率。如此便可在有限的資源下提供最大的通話量並可避免網路擁塞和維持網路的穩定，這對救災效益有重大的貢獻。

災區通話量遠較平常高上數倍。以汶川地震為例，災區內部通話量為平時的 10 倍；外界至災區為平時的 5 至 6 倍；北京至災區則為平時的 80 倍。應急通訊網路能負荷的通話量遠較正常時期之公眾網路小，難以容納如此大量的通話量。消極方面，雖可於網路容量不足時，拒絕新的服務請求，以免網路擁塞。但在此之前，應盡力思考如何擴大系統容量，盡可能接

受每一個請求。因為災區通話重要性極高，可能關係到一條生命存續與否。因此，災區網路的網路拓撲規劃就顯得格外重要。好的網路拓撲規劃可提高整個網路的效能、服務量和穩定度。

我們利用現有的行動通訊蜂巢式網路，並參考各毀損基地台通訊範圍內的通訊需求人數與災區毀損程度，建立各基地台位置的效益參數。再利用一有效對外通訊節點作為起始點，在訊號可及的範圍內，選擇效益較高的可利用基地台配置緊急修復包，並使用無線連線，連接各基地台，為應急蜂巢式行動網路架構建立網路拓撲，並且將通訊品質納入考量，避免建立訊號衰退過大的連線。我們將問題塑模為一類似圖論中的 K-Minimum Cost Spanning Tree (K-Cardinality Tree or KCT) 問題，並稱之為 K-Maximum Profit Spanning Tree with Bounded Profit Diameter。其中，除了選取 K 個最大效益的基地台外，還考慮連線中的流量負載平衡，以避免通訊流量集中化及轉送路徑過長之缺點。我們並提供數個較為快速、有效的啟發式演算法，用以建立應急蜂巢式行動網路拓撲。

**修復排程：**由於空投或直昇機運送能力以及建置工程人員數量有限。所需資源(發電機、EModule)沒有辦法一次到位，需多架次輪流運送，才可完成 CCN 網路的建置，因而衍生修復排程(deployment scheduling)的議題。即如何依基地台可服務的人員數和其重要性，例如傷患人數，以及傷患的緊急程度，來排定配送次序和配送路徑，亦即基地台的搶救次序，以使災後存活人數達到最多。基地台搶救次序與著名之旅行家問題相似但複雜度更高，因修復一基地台所帶來的效益不是固定的而為一時間函數。如圖 3 救出時間與存活率統計表所示，因存活率隨時間增加而遞減，基地台越早修復並投入救災，可增加的存活人數就越

多，效益就越高。修復排程問題為於有限時間內找出一組基地台修復順序，使得整體基地台的效益總和最大化。

修復排程為一 NP Complete 問題。礙於時間急迫，當基地台數量多的時候，無法在限定時間內，找出一組最佳解。因此，我們的方法分二個步驟：(1)我們先使用貪婪式演算法，每一步皆選取當時效益最高的基地台，快速找出一組近似的最佳解作為初始的修復排程；(2)再仿照爬山演算法的精神，以初始的修復排程為基礎，逐步找出最佳的解。如此，在限定時間內即可提供一組不錯的修復排程。

基地台修復排程依照基地台重要性排定修復順序。其規劃重要原則為父節點(parent node)修復順序需早於子節點(child node)，以確保基地台修復後，可立即恢復正常運作，不需等其它基地台修復才能運作，以爭取更多救災的時效。第三階段緊急維修執行時期即依照此排定順序運送緊急修復包至基地台。緊急修復包運送方式主要有三種：車輛、步行和直升機。修復排程需考量多組人員以不同的方式運送修復包至基地台的情況。因此，修復排程規劃需包含運送方式、運送人員和預定到達時間。

**網路頻寬分配：**特別是在孤立台提供服務時，因資料需透過鄰台轉送，佔用頻寬包含自己和跳接到核心網路所經過的基地台的頻寬。每個基地台可開放的使用者數量需作合理分配，讓每個基地台分配到的通訊頻道數量符合救災需求，避免分配失衡。

若沒有作好頻寬分配，會造成某些基地台的頻寬可能全被轉送資料佔用，而無法提供通訊服務。最差情況下，頻寬可能被輕災區佔滿，重災區反而分配不到任何頻寬。基於救災效益最佳化考量，依照救災需求分配每個基地台合理的通訊頻道數，是有其必要的。

以日本大地震為例，東北沿海鄉鎮人口數較少

但因受同時受地震和海嘯侵襲，災情較靠內陸的城鎮嚴重許多。綜觀人口數和受災程度考量，沿海區域人口數雖然較少，但因受災程度較嚴重，因此可能考慮優先分配較多的頻道數。但若再將災害種類納入考量，則可能考慮將頻道優先分配給內陸城鎮。因受海嘯侵襲而能倖存的機率遠較地震小。為增加災後救出存活人數，可能選擇將較多的頻道分配至內陸城鎮。如何合理的分配頻寬，需要考量的點很多，並不是靠逐步沙盤推演即可得知，需要輔以頻道分配運算模式。

基地台可分配頻道數依其重要性來判斷，重要性高的基地台需給予較多的頻道數。災害初期，基地台可服務人數和受傷人數難以確切計算，因此可根據當地人口數、受災程度和災害種類並參考歷史統計數據來估算。我們將建置頻道分配數學運算模式。於 CCN 建置初期，以救出且倖存人數最大化為前提，根據當地人口數、受災程度和災害種類，計算各基地台可分配的頻道數。待網路實際運轉後，再依各基地台使用情形，以人工觸發或系統自動調適的方式，重新估算各基地台可分配的頻道，祈使每一個通話頻道，發揮最大救災效益。

**允入控制：**用於決定是否接受新的服務請求，其主要效益有二：一是避免系統因接受過多的服務請求，造成資源耗盡，以確保系統穩定性；二是預留部分資源，確保重要性高的請求可以進入。

災區通話量為平時的數倍且應急系統容量不及於平時的公眾網路，允入控制可保護系統免於被大量的通話請求癱瘓，以維持系統的穩定度。此外，災區通話種類繁多且重要性不等，從緊急救助到互道關懷電話都有。允入控制可確保緊急救助電話優先使用系統，避免頻寬被重要程度較低的通話佔滿，更有利於災區救援的進行。

允入控制決策常用的控制策略有(1)剔除重要

等級低的通話，讓等級較高的進來；(2)依通話等級限定通話時間；(3)保留特定頻道，供重要通話使用；(4)調用其它基地台閒置頻道。不同策略使用時機不同，實作技巧也不同。

**Intranet 建構：**在現有的行動通訊架構下，兩部手機通話的語音封包傳送路徑均需繞送至後端核心網路的交換機進行連接，即使這兩隻手機位於同一基地台也是如此。災區內所有的通話，包含災區內部通話，均需佔用到連外的頻道，而 CCN 網路對外的頻道數極為有限。每個基地台分配到的頻道數遠低於原先所能支援的頻道，因此會剩下大量的閒置頻道無法使用，殊為可惜。救災通訊裏通話數需求最大且最為重要的是災區內部通訊。救災人員之間常會有多而頻繁的通話行為。若能於建立 Intranet 的通道，讓同屬同一基地台的手機之間可以利用閒置頻道彼此互通，而不需佔用聯外頻寬。例如，讓手機撥 118 即可轉換成無線對講機 (Walkie-Talkie)。對救災人員之間的溝通協調將有極大的幫助。

**自動化建構：**救災分秒必爭，若能事先規劃並架設好 EModule 和無線連線設備，減少通訊服務空窗期，這樣就可以爭取更多寶貴的時間。由於基地台的位置及可供連線的方向都是預知的，基地台之間的互連可以預先規劃並架設好 EModule 和無線連線設備，位於受災風險高之區域的可優先備有緊急修復包。為提高自動建構的成功率和可用度，網路拓樸規劃需確保各基地台至連網台均有替代路徑；除此之外，若鄰近有設置強固基地台，則可優先選定其作為連網台。因為強固基地台平時即備有衛星通訊，具有聯外能力且抗災係數高，較一般基地台更適於擔任連網台。

當災害來臨時，在失去備用電力之前立即啟動自動化調適機制，利用分散式演算法（例如：分散式 minimum spanning tree）的方式自動

建構 CCN 網路，於災害初期提供各項資訊的蒐集以及 CCN 的後續建構。（本系統於電力中斷後即中止服務）。

**基地台介面整合：**CCN 網路運用原有的基地台，使用 EModule 和基地台介接提供無線連線。因此這些外來設備必須無縫的與基地台介接，包括各種通訊協定，以確保基地台可恢復運作。現有行動網路基地台來自不同廠商且軟硬體更新頻繁。EModule 在基地台更新之後，若沒有跟著更新可能變得無法使用。因屬應急備用器材，很難像基地台一樣，擁有豐富的經費和資源一再更版。若能於現有協定加入緊急介接介面，以確保相關應急通訊器材的可用性，是極重要的。

#### (五) 重要實作議題探討

為提供應急通訊所需之功能，如允入控制、Intranet 建構、自動化建構等功能，需改變現有基地台運作流程才可實現。而改變方法可分為二種：(1)嵌入式；(2)外接式。

**嵌入式：**將應急通訊所需之功能嵌入基地台中，此種方式需修改基地台的軟硬體。好處是系統運轉較具效率，可提供的功能多且較具彈性，適合用來實作複雜度較高的功能。缺點則是需大批配合修改基地台，且新功能嵌入的實作方法隨基地台製造廠商或型號不同而異，實現難度頗高。

**外接式：**維持現有基地台運作機制，藉由外接的設備(例如，EModule)來提供新功能。好處是不需更改現有基地台，且同一外接設備可適用於不同的系統。缺點是僅能提供較簡單的基本功能。

現有行動電話系統，如 GSM 2G 和 3G，並未將應急通訊納入系統設計考量，採用嵌入式的作法，成本和技術門檻高，極具挑戰。反觀外接式的成本和實作技術則遠低於嵌入式，似乎較符合應急通訊系統的需求。

但新一代的系統，如 LTE，已將應急通訊納入系統設計的考量，大幅降低使用嵌入式所需的成本和技術。因此若能先以外接式的方式提供救災通訊所需基本的功能；針對新一代的基地台，部分進階功能則可用嵌入式的方式來實作。二種方式互相搭配運用，不但可滿足救災通訊所需的機能，又可有效控制實作的成本和技術門檻，增加 CCN 網路實現有可能。

## 五、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。本研究提出行動應急通訊網，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] 姚國章，“應急管理信息化建設”，北京大學出版社，ISBN：9787301155806,2009.09
- [2] 孫玉，”應急通信技術總體框架討論”，人民郵電出版社，ISBN：7115208328,2009
- [3] 連耀南，黃智賢，“大型自然災害下大規模救災緊急通訊系統方案”，NST 2010
- [4] Association of Public-Safety Communications Officials International, Project 25, <http://www.apointl.org/frequency/project25/>,retrieved May 2010.
- [5] ITR-RESCUE, Robust Networking and Information Collection Project, <http://www.itr-rescue.org/research/networking.php>, retrieved Feb. 2010.
- [6] J. Chris Oberg, Andrew G. Whitt, Robert M. Mills, "Disasters Will Happen - Are You Ready?", IEEE Communications Magazine Jan. 2011.
- [7] Kelly T. Morrison, AT&T, "Rapidly Recovering from the Catastrophic Loss of a Major Telecommunications Office", IEEE Communications Magazine Jan. 2011.
- [8] Natural Disasters Prediction and Protection Committee R.O.C., <http://www.ndppc.nat.gov.tw/>, retrieved April 2011.
- [9] Raheleh Dilmaghani, and Ramesh Rao, "A Systematic Approach to Improve Communication for Emergency Response," Proc. of 42nd Hawaii Int'l Conference on System Sciences, Waikoloa, Big Island, Hawaii, Jan. 2009.
- [10] Richard E. Krock, "Lack of Emergency Recovery Planning Is a Disaster Waiting to Happen", IEEE Communications Magazine Jan. 2011.
- [11] Sarah Underwood, "Improving Disaster Management," Comm. of ACM, vol. 53, no. 2, Feb. 2010, pp. 18-20
- [12] 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.
- [13] Yang Ran, "Considerations and Suggestions on Improvement of Communication Network Disaster Countermeasures after the Wenchuan Earthquake", IEEE Communications Magazine Jan. 2011.
- [14] Yao-Nan Lien, Hung-Chin Jang, and Tzu-Chieh Tsai, "A MANET Based Emergency Communication and Information System for Catastrophic Natural Disasters," Proc. of IEEE Workshop on Specialized Ad Hoc Networks and Systems, Montreal, Canada, June 26, 2009.
- [15] Yao-Nan Lien, Li-Cheng Chi and Yuh-Sheng Shaw, "A Walkie-Talkie-Like Emergency Communication System for Catastrophic Natural Disasters", Proc. of ISPAN09, Dec., 2009.