

國立政治大學資訊科學系
Department of Computer Science
National Chengchi University

碩士論文
Master's Thesis

應急蜂巢式行動通訊網路之群組通訊設計
Agency Communication Design for
Contingency Cellular Network

研 究 生：張惠晴

指導教授：連耀南

中華民國一百零二年四月

April 2013

應急蜂巢式行動通訊網路之群組通訊設計

Agency Communication Design for
Contingency Cellular Network

研 究 生：張惠晴 Student：Hui-Ching Chang

指導教授：連耀南 Advisor：Yao-Nan Lien

國立政治大學
資訊科學系
碩士論文

A Thesis
submitted to Department of Computer Science
National Chengchi University
in partial fulfillment of the Requirements
for the degree of
Master
in
Computer Science

中華民國一百零二年四月

April 2013

應急蜂巢式行動通訊網路之群組通訊設計

摘要

在大型天然災害發生之後的黃金救援時期，災民存活率和救災效益之提昇極度仰賴於一個順暢的通訊系統。由歷年來大型災變的經驗中我們可知，行動通訊系統其實是不可靠且極為脆弱的，基地台之電力供應中斷或連接後端固定網路線路（Backhaul）之損毀都將使得通訊系統癱瘓而影響救災工作效率。

本研究提出一種新的應急通訊系統，利用原有行動通訊系統中未損毀但失去連網能力的基地台，藉由臨時供應的電力恢復其運轉，並以無線通訊設備與鄰近基地台互連建構一個臨時應急性的網路，稱為應急蜂巢式行動通訊網路（Contingency Cellular Network, CCN），供災區內手機用戶進行通訊。由於災區內部通訊的對象通常是一個特定的群組角色，而非一個特定人員，而災民與救災人員也不知彼此所在位置及聯絡的方式，因此無法以平常的撥號方式發起呼叫。本研究以CCN網路架構為基礎，設計並實作群組通訊模式，讓災區內人員以簡碼方式向任一群組發起呼叫並建立通話。

為驗證CCN群組通訊設計之可行性及效能，我們以IEEE802.11 Wi-Fi無線網路環境建置模擬系統，並以Android平台手機搭配VoIP軟體模擬手機與系統連線以進行通話。最後設計了一連串的實驗評估本模擬系統之效能。從實驗結果可知，本系統可於短時間內即時回應使用者註冊需求及完成通話連線處理；當通話數在30通以下時，Mouth-to-Ear Delay (MED) 值可維持在400ms以下，語音品質控制在一般VoIP使用者可容許的範圍之內。本實驗可作為未來改進系統功能和建置架構之參考依據。

Agency Communication Design for Contingency Cellular Network

Abstract

When stricken by a catastrophic natural disaster, the efficiency of disaster response operation is very critical to life saving. The efficiency of disaster response operation is greatly depending on communication systems. However, they were usually not dependable, including cellular networks, and often crashed due to power outage and backhaul link breakage. The failure of communication systems caused a big coordination problem to many disaster response operations.

This thesis proposes a Contingency Cellular Network (CCN) by connecting isolated base stations to survival base stations using long-range wireless links to restore part of cellular network functionality. People can use their own cell phones for emergency communication in the disaster areas. CCN will be able to support many disaster response workers in the early hours of catastrophic natural disasters, thus to save many lives.

Since the receiver of a phone call in a disaster area is usually a resource (agent), not a particular person, we designed a special Agency communication mode for CCN allowing CCN users to initiate a phone call to a nearby resource by dialing a designated agency number, instead of a real phone number. To verify our design, we implemented an emulated CCN system using an IEEE 802.11 Wireless LAN to mimic the CCN network and Android small phones with VoIP software to mimic user terminals.

Finally, we conducted a series of experiments to evaluate the performance of the emulated system. The experimental results show that the emulated system can respond promptly to the user registration and call set-up requests. Mouth-to-Ear Delay (MED) can be effectively controlled below 400 ms when there is no more than 30 calls originated. This system may be used as reference for the future development of contingency communication networks.

誌謝辭

本論文能順利完成，首先要感謝的是恩師連耀南教授之悉心指導，老師平日不辭辛勞認真教學的態度及對於研究工作的熱忱，深深感動著我，在老師身上我學習到「大膽的假設，小心的求證」的科學精神，研究過程中要不斷地收集各方資料，運用分析、推理與歸納等科學方法，先描述及探究問題的本身，再透過多次實驗以找尋最佳解法。在論文寫作方面，更要秉持著實事求是的精神，以嚴謹的態度撰寫，「有幾分證據，說幾分話」，才能完成具有高品質的論文。感謝連老師，我必將這些所學牢記於心並實際應用在工作領域及待人處事上，以提昇個人對於社會的價值。

這幾年重回學校學習使我獲益良多，除了加強對於資訊科學領域的專業知識和技能，也充實了我的生活，這個特別的經驗，將成為我人生中重大的資產，支持我向前邁進的動力。感謝政大資科系所有的授課老師教導和專班同學們所給予的支持與關心，感謝蔡志宏教授、陳耀宗教授、胡誌麟教授及蔡瑞煌教授在口試時給予我的指導與建議，讓本篇論文能夠更加完整。

另外，要特別感謝學校實驗室所有學長及學弟妹給予我研究上的建議及事務上的協助，公司同事與家人們在我研究過程中無條件的幫忙與鼓勵，此份情誼，將永銘於心。

最後，僅以此論文獻給我敬愛的家人、師長和朋友。

張惠晴 April 2013

目錄

第一章、 研究背景與系統簡介	1
1.1、 研究背景.....	3
1.1.1、 大型天然災害發生時救災行動面臨的挑戰.....	4
1.1.2、 固網與行動通訊系統癱瘓原因.....	6
1.1.3、 通訊設備修復困難.....	7
1.1.4、 大型災害的救災時效.....	8
1.1.5、 應急通訊網路建置需求.....	9
1.1.6、 應急通訊網路效能指標.....	13
1.2、 應急通訊網路簡介.....	14
1.3、 CCN 群組通訊簡介	15
1.4、 論文架構.....	16
第二章、 相關研究.....	17
2.1、 第三代行動通訊架構.....	17
2.1.1、 通用行動通訊系統陸地無線接入網.....	18
2.1.2、 核心網路.....	18
2.1.3、 3G 網路通訊協定.....	19
2.2、 應急通訊系統種類與比較.....	20
2.2.1、 專用高抗災通信平臺.....	20
2.2.2、 無線對講機（Walkie-Talkie）	21
2.2.3、 業餘無線電（Amateur radio）	21
2.2.4、 行動衛星通訊（Satellite Mobile Phone）	22
2.2.5、 專業用集群通訊系統（Trunking radio）	23
2.2.6、 移動基地台（Cell on wheel）	25
2.2.7、 行動隨意式網路（MANET）	25
2.2.8、 應急通訊系統綜合比較.....	27
2.3、 過去應急通訊系統相關研究.....	28
2.4、 救災體系與任務.....	30
2.4.1、 國內救災體系.....	31
2.4.2、 國際搜救組織.....	32
2.4.3、 救災任務分組.....	33
第三章、 應急蜂巢式行動通訊網路（CCN）	35
3.1、 網路架構.....	36
3.1.1、 CCN 連網方式	37
3.1.2、 網路元件.....	38
3.2、 使用時機.....	41
3.3、 CCN 可行性分析	41

3.4、 通訊模式.....	43
3.4.1、 災區通訊型態分類.....	43
3.4.2、 CCN 通訊模式	44
3.5、 CCN 功能架構	47
3.6、 CCN 服務流程	49
3.7、 建置與運轉流程.....	52
3.8、 重要研究議題.....	53
第四章、 CCN 群組通訊系統設計	58
4.1、 群組資料庫.....	59
4.1.1、 群組通訊實體關係.....	59
4.1.2、 群組代表號設計原則.....	60
4.1.3、 群組資料庫儲存架構.....	64
4.2. 通訊服務設計.....	69
4.2.1、 Agent 註冊程序	69
4.2.2、 群組通訊對象搜尋程序.....	70
4.2.3、 群組呼叫及應答流程.....	71
4.3、 系統功能規劃.....	72
4.3.1、 群組資料管理.....	73
4.3.2、 群組成員位置管理.....	73
4.3.3、 群組通訊服務管理.....	74
第五章、 CCN 群組通訊系統模擬.....	75
5.1、 系統模擬環境.....	75
5.2、 系統控制訊息及音訊處理程序.....	77
5.3、 系統狀態及轉換流程.....	81
5.4、 群組通訊服務流程.....	84
5.4.1、 通話建立流程.....	86
5.4.2、 通話終止流程.....	90
第六章、 系統效能分析	94
6.1、 實驗設備.....	94
6.2、 效能量測及分析.....	95
6.2.1、 系統註冊效能.....	96
6.2.2、 通話管理效能.....	98
6.2.3、 語音傳輸品質.....	104
第七章、 結論與未來研究方向	108
參考文獻	110

圖目錄

圖 1-1、通訊線路與設備於災害中受損	4
圖 1-2、行動通訊網路受損主要原因	6
圖 1-3、獲救時間與存活率之關係	8
圖 1-4、通訊系統與存活率之關係	9
圖 1-5、CCN 網路	15
圖 1-6、群組通訊系統佈建示意圖	16
圖 2-1、SYSTEM ARCHITECTURE OF 3GPP RELEASE 99	17
圖 2-2、3GPP RELEASE 5 架構	19
圖 2-3、3GPP RELEASE 7 架構	20
圖 2-4、中央災害應變中心應變分組	31
圖 2-5、都市搜救隊(US&R TASK FORCE)組織架構	33
圖 3-1、CCN 網路架構	36
圖 3-2、連網台	37
圖 3-3、孤立台	37
圖 3-4、CCN 基地台間之連線	38
圖 3-5、孤立台藉 CCN 連線連上核心網路	38
圖 3-6、CCN 緊急修復包(CRP)	39
圖 3-7、孤立台恢復連線方式	40
圖 3-8、應急通訊系統使用時機	41
圖 3-9、CCN 功能架構	47
圖 3-10、一般通話模式通話建立流程	50
圖 3-11、無線電通訊模式通話建立流程	51
圖 3-12、群組通訊模式通話建立流程	52
圖 4-1、群組通訊示意圖	59
圖 4-2、群組通訊系統實體關係模型	60
圖 4-3、群組資料儲存-集中式架構	64
圖 4-4、群組資料查詢流程-集中式架構	65
圖 4-5、群組資料儲存-分散式架構	66
圖 4-6、群組資料查詢流程-分散式架構	67
圖 4-7、群組資料儲存-備援式架構	68
圖 4-8、群組資料查詢流程-備援式架構	69
圖 4-9、群組呼叫及應答流程圖	71
圖 4-10、CCN EC MODULE 第二層功能元件	72
圖 5-1、系統模擬環境示意圖	76
圖 5-2、群組通訊使用者介面	77
圖 5-3、群組通訊訊息傳遞流程	79

圖 5-4、控制訊息及語音資料傳遞流向圖	80
圖 5-5、系統狀態圖（ORIGINATING SIDE）	82
圖 5-6、系統狀態圖（TERMINATING SIDE）	84
圖 5-7、群組通訊系統資料流程圖	85
圖 5-8、通話建立循序圖	87
圖 5-9、群組資料對映及通訊對象搜尋流程圖	88
圖 5-10、群組呼叫及通話應答流程圖	89
圖 5-11、PSEUDO CODE（CALL SET-UP）	90
圖 5-12、通話終止循序圖	91
圖 5-13、通話結束流程圖	92
圖 5-14、PSEUDO CODE（CALL RELEASE）	93
圖 6-1、實驗環境	95
圖 6-2、WIRESHARK 封包擷取畫面	96
圖 6-3、10 位使用者註冊耗費時間	98
圖 6-4、100 位使用者註冊耗費時間	98
圖 6-5、系統群組呼叫處理時間（10~100 通話請求）	101
圖 6-6、不同數目通話建立時間（10~100 通電話）	103
圖 6-7、不同數目通話終止耗費時間（10~100 通電話）	104
圖 6-8、系統語音傳輸圖	106
圖 6-9、語音傳輸品質實驗結果	107

表目錄

表 1-1、大型天然災害傷亡損失記錄	1
表 1-2、應急通訊網建置需求	9
表 2-1、應急通訊系統比較	27
表 2-2、救災任務分組表	33
表 3-1、災區通訊需求分類	43
表 4-1、長期電信編碼格式 (E.164) 規劃表	61
表 4-2、1 字頭中長期編碼內容	61
表 4-3、群組代表號碼長分配	62
表 4-4、群組代表號碼 (四碼翻譯) 及通訊用途	62
表 4-5、細部群組代表號碼 (五碼翻譯)	63
表 5-1、CCN 系統元件與模擬設備對映表	76
表 5-2、系統開發工具及軟硬體需求	77
表 5-3、REQUEST MESSAGE 項目	78
表 5-4、RESPONSE MESSAGE 項目	78
表 5-5、ERROR MESSAGE 項目	79
表 5-6、系統狀態轉變表 (ORIGINATING SIDE)	83
表 5-7、系統狀態轉變表 (TERMINATING SIDE)	84
表 5-8、系統功能對照表	85
表 6-1、實驗設備	95
表 6-2、實驗 1 參數設定	97
表 6-3、實驗 2-1 (A) 參數設定	99
表 6-4、系統群組呼叫效能實驗結果 (10~100 通話請求)	100
表 6-5、實驗 2-1 (B) 參數設定	102
表 6-6、完成通話建立程序耗費時間	102
表 6-7、實驗 2-2 參數設定	103
表 6-8、完成通話終止程序耗費時間	104
表 6-9、ACS 語音擷取與編解碼處理參數	105
表 6-10、實驗 3 參數設定	105
表 6-11、不同通話數語音傳輸品質測量數據	107

第一章、研究背景與系統簡介

近年來，全球天災頻傳，極端氣候、大型地震...等，造成大範圍災害，其規模一次比一次嚴重，如表 1-1 就是近幾年較著名的天然災害統計[7,19,26]，以 2011 年 3 月 11 日發生的日本東北地震為例，在經歷芮氏 9.0 規模地震之後，緊接著 23 公尺高的海嘯和令全世界恐慌的核災，所造成的三種複合式重大災害，令多次參與災區救援的救災人員也為之驚訝，而台灣處於環太平洋地震帶以及西太平洋颱風路徑上，四面環海、地形差異大，頻繁的地震、颱風、土石流和水災...等天然災害，更對台灣造成嚴重的損害，所有這些損害當中，對人們影響最大的即是基礎設施的毀損，尤其是通訊系統的癱瘓影響救災效率甚鉅。本論文旨在提出一個簡單有效的應急通訊系統提供緊急通訊使用。

表 1-1、大型天然災害傷亡損失記錄

事件	日期	規模	傷亡人數統計
Chi-Chi, Taiwan Earthquake	09/21/1999	7.3 Richer Scale	Dead : 2,415 Injured : 11,306
Katrina Hurricane	08/23/2005	Category 3	Dead : 1,836 at least
SiChuan, China Earthquake	05/12/2008	7.9 Richer Scale	Dead : 69,227 Injured : 374,176
L'Aquila, Italy Earthquake	04/06/2009	6.3 Richer Scale	Dead : more than 150 Injured : 1,500
88 Flood, Taiwan	08/08/2009	> 2500 mm Rainfall within 2 days triggered by Typhoon Morakot	Dead : more than 475
Port-au-Prince, Haiti Earthquake	01/13/2010	7.0 Richter Scale	Dead : more than 230,000 Affected : 3 millions
Chile Earthquake	02/27/2010	8.8 Richer Scale	Dead : more than 800
QingHai, China	04/14/2010	7.1 Richer Scale	Dead : more than 1,706

事件	日期	規模	傷亡人數統計
Earthquake			Injured : 12,135
Christchurch, New Zealand Earthquake	02/22/2011	6.3 Richer Scale	Dead : 145 more than 100 injured and missing
Japan	03/11/2011	9.0 Richer Scale	Dead : 16,079 Missing : 3,499
Turkey Earthquake	10/23/2011	7.3 Richer Scale	Dead : more than 272 Injured : more than 1,300
U.S Hurricane Sandy	10/29/2012	Category 1-2	Dead : 124 50 billion U.S dollars loss
Sistan and Baluchestan, Iran Earthquake	4/16/2013	7.8 Richter Scale	Dead : 35 Injured : 117
Lushan, China Earthquake	4/20/2013	7.0 Richter Scale	Dead : 213 Injured : 11,460

目前無線通訊已完全融入一般大眾的生活與工作之中，無線通訊系統的成熟，為使用者帶來極大的便利性，但當大規模的地震或強烈颱風等重大天然災害發生時，通訊系統卻常常隨著電力與交通系統的損毀而癱瘓。以莫拉克風災/八八水災為例，許多基地台因建在高處免於被洪水淹沒而結構未損，但沿著道路及橋樑鋪設的電力與通訊線路，卻隨道路橋樑坍塌而損毀，造成行動通訊系統也隨之癱瘓，電力與基地台 Backhaul 線路成為行動通訊網路的弱點。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牽連，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，但因成本高昂之故，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[23,38]。

有效運作的通訊系統是災情傳遞、資源調度以及互助協調是否順利的關鍵因素，災民的存活率會隨著時間的推移快速下降，這也是所謂的救援黃金 72 小時，受困的災民在此段時間內會有較高的存活率。除去災難發生當下的求援，災

後組織救援也是通訊服務的另一個重點，災區內電力、瓦斯、食物、飲水、禦寒衣物、醫藥等維生系統癱瘓下，倖存人員的維生也是救災的重要任務。因此盡速恢復通訊以輔助救災、求援為刻不容緩的事情，越早恢復通訊就能救援越多災民，因此在災害來臨通訊中斷時，快速的建構一個應急通訊系統供給災區內的災民與救災人員使用，成為一個關鍵性的問題。

本篇論文所探討的應急通訊系統是利用原有行動通訊系統中倖存的連通基地台和斷訊卻沒有損毀的基地台建構一個暫時性的網路，稱為**應急蜂巢式行動通訊網路**（Contingency Cellular Network，CCN），此種應急通訊系統的主體為兩種基地台：完好維持正常功能可對外連線的稱為**連網台**，功能完整但無法對外進行正常連線的稱**孤立台**。CCN 網路建構完成後，孤立台與連網台之間藉由無線電彼此互連，而孤立台即可藉由輾轉的互連透過連網台與後端核心網路互連。

在 CCN 網路架構下與後端行動核心網連接的通道，須應付大量的災情通報與慰問關懷的電話，在連外頻寬有限的情況下無法滿足所有群組間頻繁的通訊需求。而在 CCN 頻寬分配之下，各基地台所能分配到的實際連外頻道數遠低於其裝備所能支援的頻道數量，因此，將有大量的剩餘閒置頻道，造成頻寬資源的浪費。本篇論文主要在探討當群組間有通訊需求時，如何利用 CCN 內部頻寬資源，透過群組呼叫方式找到通訊對象以建立起雙方通話連線。

1.1、研究背景

在災害發生時普遍大眾最需要的服務之一是「通訊」（包括災情傳遞、受困人員之求救、救災人員聯繫協調...等），但在大型天然災害下通訊系統卻非常脆弱，現有很多應急通訊系統尚有很大的改進空間。本節試從 921 地震與歷年來的大型天災中歸納出一些救災行動面臨的挑戰經驗，以供應急通訊系統設計之參考[6,13,15,25,18,19,23,30]。

1.1.1、大型天然災害發生時救災行動面臨的挑戰

■ 建築物倒塌，人員受困，亟待救援

看似高大且堅固的建築物在地震襲擊時應聲倒下，有許多民眾因來不及逃生而被困在瓦礫堆下，等待救援。而受困於災難現場的人員，必須在 72 小時內搶救出來，否則生還機會極為微弱。因此災難發生之初，最重要之救難工作乃在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」。

■ 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。

■ 災區的交通全面癱瘓，外援進入緩不濟急

道路橋樑柔腸寸斷，甚至被大量志願救災車輛塞爆道路。在莫拉克颱風後，受惡劣天候影響，直昇機亦難以接近災區。而 2010 年海地地震中，太子港機場雖逃過一劫，但因機場無法提供返航油料因而飛機無法降落。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，無法太過依賴外界支援。



圖 1-1、通訊線路與設備於災害中受損

■ 專業救災人員嚴重不足

有組織有訓練的專業救災人員之數量遠遠不足，尤其是災變初期交通系統癱瘓，災區外及國際的專業救難團隊需克服交通阻隔方能進入災區，因此災變初期必須動員大量的在地志願人員投入救難救災。

■ 行政系統癱瘓

各級行政系統可能癱瘓，導致既有通聯組織亦隨之癱瘓，例如八八水災中，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，完全與外界失聯達數天之久。2010 年海地地震中，政府大樓癱塌，所有部長全部失聯，僅有一個光桿的海地總統獨撐大局，所有行政系統形同癱瘓。

■ 物資不易協調分配，資源嚴重錯置

因通聯系統癱瘓，災情資訊收集不易，在災情資訊紊亂不全的情況下，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，尤其是醫療用品，使得很多亟待救助的受難者無法即時得到所需資源而喪生（例如：海地地震中，就發覺極度缺乏處理外傷必須的抗生素）。

■ 救災人員彼此溝通困難，不易協調

有組織有訓練的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。而這些志願人員幾乎沒有通訊聯絡工具可協助彼此之間的協調連絡，致使救災效率極低。更有甚者，救災工作因溝通不良而彼此干擾，例如當一個救難團隊在使用高靈敏麥克風探測倒塌建物是否有倖存者時，建物他側卻在乒乒乓乓的進行挖掘工作，而呼嘯而過的救護車聲音也是驚天動地的。

由於通訊聯絡不良，資訊缺乏，資訊無法交流等諸多因素，導致救難工作缺乏效率與救難資源之嚴重錯置，因而喪失了很多可以救人一命的機會，許多生靈因資訊溝通不良而喪失即時獲救之機會，令人扼腕。

1.1.2、固網與行動通訊系統癱瘓原因

行動電話藉由無線電互相通訊，在一般人之普遍認知中，它不受天災的影響，在災害來臨時可作為緊急通訊之用。但事實上卻非如此，商用行動通訊系統其實必須仰賴固定通訊網路，其基地台之後端多利用固網幹線連上核心網路，無線的鏈結只存在於終端使用者（手機）與基地台之間，而從基地台到後端機房仍然是利用固網線路連接。從莫拉克風災（八八水災）及 921 集集大地震的經驗中，我們歸納出影響行動電話可用度的主要因素如下：

- 各種機房或因電力中斷且備用發電機因油料告罄，或因冷卻系統遭強震摧毀，而停止運轉。
- 基地台遭強震摧毀或因電力中斷而癱瘓（備用電源僅能支持四至五小時 [48]，而八八水災中 3300 座斷訊的基地台中，約 70% 是因為電力中斷而中斷服務）。
- 基地台連接基地台控制器（Base Station Controller）或行動交換機（Mobile Switching Center）的後端固定網路線路（Backhaul）損毀。



圖 1-2、行動通訊網路受損主要原因

(a) 行動通訊網路架構 (b) 固網隨橋斷而斷 (c) 行動通訊因後端連線中斷而癱瘓

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 1-1 所示。而行動通訊系統也常隨之中斷，如圖 1-2 所示，(a) 是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，(b) 是 921 地震中受損的一座橋，我們可以看到很多固網幹線隨著橋斷而斷掉，從 (c) 可以很清楚的看出即使基地台本身完好無缺，但因後端連線斷掉，而被迫停止運轉。以莫拉克風災/八八水災為例，基地台多建在高處可避免被洪水淹沒，但道路柔腸寸斷，二十餘座大型橋樑遭洪水沖毀，而隨著道路及橋樑鋪設的通訊線路也隨之柔腸寸斷，造成行動通訊系統也隨之癱瘓，電力與基地台 Backhaul 線路成為行動通訊網路的弱點。

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，無法大幅提升系統可用度。

在沒有行動通訊系統的支援下，救難工作只能靠原始的面對面方式進行溝通，無奈因地形阻隔，交通不便，效率極差，甚至在一棟倒塌大樓兩側之團隊都無法面對面溝通，因而互相干擾救災行動。

1.1.3、 通訊設備修復困難

在災害中，由於交通系統癱瘓，大型修復機具無法進入災區，進行第一時間的搶修，加上技術人力不足，所需資材調度不及等諸多因素，搶修實際毀損的基地台通訊設備，並使災區通訊全面恢復，向來是一項艱鉅的任務。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，斷訊基地台總數達 3300 餘座，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，大量的行動電話將陷於癱瘓，無法及時修復。再觀察近年來各處天然災害的搶救效率，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 年一個輕度熱帶氣旋橫掃美東就讓數百萬戶居民

斷水斷電達數星期之久。2011 年的日本地震更讓世人大吃一驚，因地震頻仍而對地震之準備號稱世界之最佳的日本，竟然不堪一擊。世人在面對大型天然災害時，其實仍然是脆弱不堪的，通訊設備因為受制於橋樑道路的脆弱，不但容易受損，也不容易快速修復。

1.1.4、大型災害的救災時效

「黃金 72 小時搶救時間 (Golden 72 Hours)」，指的是在災難發生後，搶救倖存生命的關鍵救難時機。災後受困的人員會因外傷、失溫及缺乏食物飲水等因素，使得存活機率隨著時間流逝而急速下降。根據統計，在災後 24 小時內獲救的存活率可高達 90%；在災後 25~36 小時間獲救，存活率銳減為 50%~60%；在災後 36~72 小時間獲救，存活率僅剩 20%~30%；在超過 72 小時後獲救，存活率則剩下 5%~10%，受困人員能倖存的機率就極低了，如圖 1-3 所示。圖 1-4 顯示在救援時期內有通訊系統支持下的輕重傷者存活率要比無通訊系統的高出很多，由此可見通訊系統對於救災工作的重要。

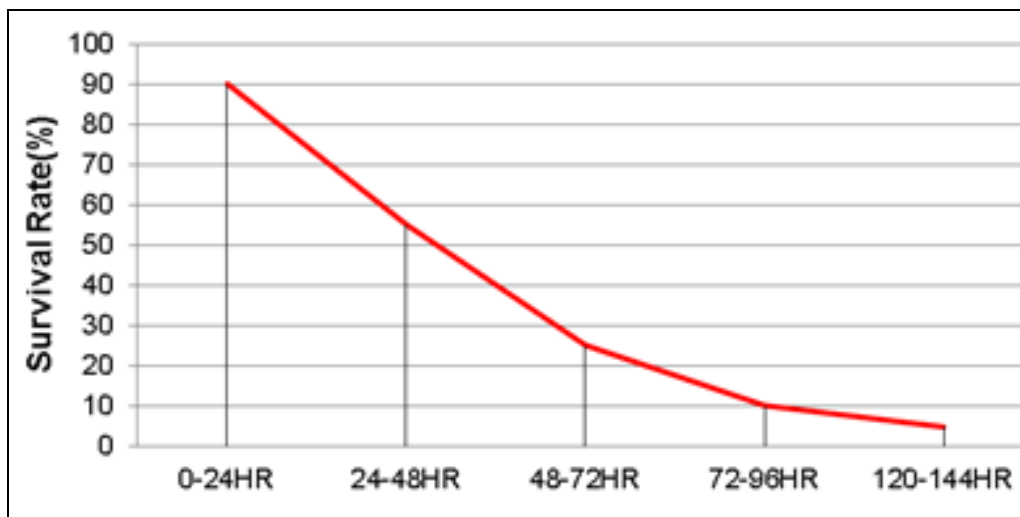


圖 1-3、獲救時間與存活率之關係

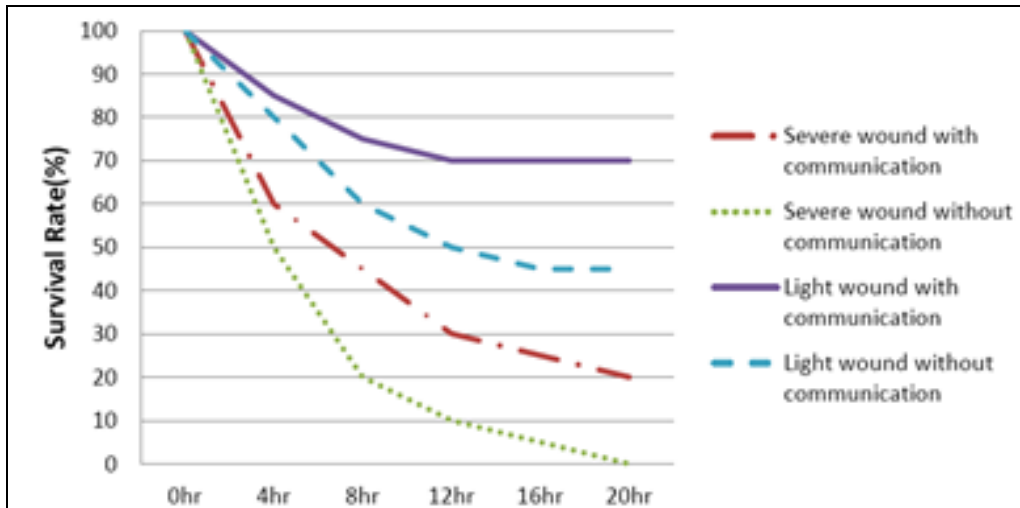


圖 1-4、通訊系統與存活率之關係

1.1.5、應急通訊網路建置需求

由於時間與資源之限制，災區應急通訊網的建置面對了許多挑戰與特殊需求：

表 1-2、應急通訊網建置需求

7-ability	Popularity	• user friendly • sufficient amount of terminals
	Usability	• task original communication services • adequate quality of service • long standing time of terminals • mobility
	Practicability	• low development cost • easy acquisition of equipment • construct rapidly and easily
	Capacity	• sufficient number of concurrency users • resist the burst of call request
	Sustainability	• reliability • fast recovery
	Adaptability	• self-adjustment
	Operability	• OAM functions

根據我們的親身經歷和觀察，在災區的應急通訊系統應該要能夠迅速被建立和提供緊急的通訊服務。在嚴格的時間限制和極端的環境條件之下，建置應急

通訊系統的需求可歸納成七個面向如表 1-2 所示。普及性和可用性是終端使用者需求。而實際可行性、負載能力、持續性、可調性和維運性則是用來滿足網路管理者的需求。

I. 終端使用者需求

- (1) **普及性 (Popularity)**：由於缺少終端設備，許多常見的應急通訊系統，例如衛星通訊系統，群集無線電系統和業餘無線電系統只能用在特殊的小群組。大多數的受災者和志願救災團隊通常無法利用這些通訊系統進行通話。使用者在使用群集無線電系統和業餘無線電系統時，需要經過特殊訓練才能使用，群集無線電系統和業餘無線電系統的普遍性是有限的。易於使用的終端設備的普及性成為一個應急通訊系統的重要需求。其要件有二 (a) 易於使用。(b) 可方便及低價的普及於災區使用者。
 - (2) **可用性 (Usability)**：由於在災區的極端條件之下，應急通訊系統必須妥善處理所有使用者的各種通訊需求，為了滿足可用性，應急通訊系統應該提供任務導向的通訊服務，並且可以支援移動性的通訊服務和擁有良好的通訊品質。此外，使用應急通訊系統的終端設備應該要具有長時間的待機時間。
- **任務導向的通訊服務 (Task Oriented Communication Services)**：包含了普通通訊模式 (POTS)，對講機模式 (walkie-talkie) 和群組通訊模式 (Agent-base) 的服務。因為災難應變工作者需要互相進行通訊，只提供普通的通訊服務是不夠的。在救災團隊之間需要進行通訊時，往往不知通話對方的身份及電話號碼，應急通訊系統應能提供對講機通訊模式以增加救災團隊之間的通訊效率。此外，在進行救災任務時，常需連絡特定任務群組而非對特定個人，例如某一傷患需要外科醫生治療時，救援人員未必知道特定醫生，此時如有個代表外科醫生的群組通訊代表號，就可讓救援人員直接撥打代

表號，即可連絡上任一個外科醫生。

- **適當的通訊品質服務 (Adequate Quality of Service)**：救災工作常陷於兵荒馬亂，吵雜無比的環境中，良好的通訊品質可減少通訊連絡的失誤，降低救災任務忙中有錯的機會，以提升救災的效率。反之亦然。
- **長效的終端設備 (Long Standing Time of Terminals)**：災區中的電力供應常常中斷，縱使有應急的發電設備，也是小規模居多。而隨身攜帶充電器的使用者為數不多，因而在災區中為終端設備充電極為不易，終端設備待機時間的長短變成為一項重要需求。多年來我們一直致力於應急通訊網路的研究，我們發現在沒有備用電池的情況之下，筆記型電腦的待機時間只有大約 2 至 3 個小時。即使能夠找到電源進行充電，在使用 2 至 3 個小時之後，必須再進行充電。因此，如果能使用長時間的終端設備，提供至少 10-12 小時的使用時間，每天只須充電一次即可應付一整天的救災需求。
- **移動性 (Mobility)**：災區中的使用者，一則多在戶外，二則常需移動，因此終端設備必須具備高度移動性。為了支援移動性，應急通訊系統使用無線網路將優於有線網路。由於移動性對大多數的通訊系統來說是不可或缺的，因此，所使用的終端設備需要為可攜帶性的設備。

II. 網路管理者需求

- (3) **實際可行性 (Practicability)**：實際可行性是應急通訊系統中的最基本也最首要的需求。首先要考慮的是建置與操作應急通訊網路的可行性。以下有幾項要求需要加以討論，例如低開發成本，易於存取網路設備，建構速度快速。

- **低開發成本 (Low Development Cost)**：比起正常的通訊系統應急

通訊網路不從事營利，而使用應急通訊系統的機會也是備而罕用，導致市場狹小。通訊設備廠商缺乏誘因投資於應急通訊網路的研究發展。因此系統開發成本必須嚴格控制，而盡量使用災區倖存的通訊設備正是降低開發成本的一個重要手段。

- **易於獲取網路設備（Easy Acquisition of Equipment）**：由於災區之交通可能癱瘓，地形可能複雜，使外部援助難以運送進入災區。直升機或空投成為最終運輸工具。因此，設備的大小和重量應盡量縮小。相較於完全由災區外部運入的應急通訊系統，我們設計的應急蜂巢式通訊網路，利用既有的網路設備所建構，其優越性是顯而易見的。
- **建構速度快速（Construct Rapidly and Easily）**：受困者的存活率取決於搶救時間。受困者越早獲救，存活率越高。存活率在 24 小時內是 90%，在 25 至 48 小時之間降至 50%，49 至 72 小時只剩 20%，超過 72 小時後，存活率不到 5%。為了挽救更多的生命，應急通訊系統應盡快建構。此外，專業技術人力可能不足，應急通訊系統可能需要由非專業人員協助建造，因此應急通訊系統之建構，應盡量減低對專業技術人力的需求。

- (4) **負載能力（Capacity）**：災區內的通訊需求量與實際承載能力可能存有極大差異，必須有適當的控制機制，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，由此可知災區的通話量遠較平常高上數倍。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，再者應急通訊網路不應支援與救災無關的通話。因此，應急通訊網路應具有適當的拒絕服務請求的能力，以免爆量的通訊要求造成網路擁塞。

- (5) **持續性 (Sustainability)**：既有的通訊網路之搶修通常需時數天至數星期之久，以 921 地震為例，中華電信耗費 15 天，才全面恢復電信網路，因此應急通訊網路在一般的公眾網路恢復之前應穩定的運轉一段時間。以下是兩個主要性能因素：
- **可靠性 (Reliability)**：在資源許可之下，盡可能提高系統的可靠性，避免頻繁的中斷。
 - **快速恢復 (Fast Recovery)**：應急通訊網路未必有超高的可靠度，在服務中斷後，應能輕易及快速的修復完成並且持續提供服務。
- (6) **可調性 (Adaptability)**：災區中受災情況往往變化莫測，應急通訊系統應具備可調整的能力，在有限的資源下，盡力提供災區通訊服務，避免通訊資源的不當配置影響救災效率。調適方式可為手動或自動，視開發資源而定。
- (7) **維運性 (Operability)**：
- **OAM Functions**：運轉、營運、管理和維護功能稱為 OAM 功能。當應急通訊網路因為各種原因損壞時，OAM 必須協助儘快找出原因、排除故障，恢復運轉。

1.1.6、應急通訊網路效能指標

分析以上應急通訊系統需求，我們可以歸納出八項評斷指標：

- I. **使用成本**：廣泛使用此應急通訊系統的成本
- II. **建置難易度**：將此應急通訊系統建置起來的困難度
- III. **設備取得難易度**：將應急通訊系統運送進入災區的難易度
- IV. **終端設備普及率**：災區人員具有此應急通訊系統通訊設備的程度
- V. **終端設備操作難易度**：災區人員操作此通訊設備的難易度
- VI. **終端設備可移動性**：災區人員攜帶通訊設備移動的能力

VII. 通訊品質：利用此應急通訊系統的通訊品質

VIII. 系統運轉難易度：應急通訊系統建置起來後維持運轉的難易度

1.2、應急通訊網路簡介

目前常見的應急通訊系統有無線對講機（Walkie-Talkie）、業餘無線電（Amateur radio）、行動衛星通訊、集群通訊系統（Trunking radio）、移動式基地台等。而近年來有許多研究倡議使用 MANET(Mobile Ad Hoc Network) [4,8,31] 建構應急通訊系統。這些系統或多或少存在一些缺陷，例如：

行動衛星通訊是利用人造衛星作為中繼站轉發無線電信號，在使用者之間進行的通訊，可不受任何環境限制也不受天災之影響，但它的缺點很明顯在於價格太高因而普及率低，一般人不會持有此種設備。

集群通訊系統具有充沛的調度功能（群組呼叫、優先分級、快速接續...等），通常為軍、警及專業救難隊等專業單位所擁有，需要專業團隊臨時建構才可使用，因係專用設備，價格昂貴無法供應大量的終端設備。

移動式基地台為國內最常見的應急通訊系統，常被當成是現場緊急通訊的首選方式，但因造價昂貴而數量稀少。

Amateur radio 則是俗稱的業餘無線電，只要頻率相同，電波所及範圍內即使不知道對方身分也可通訊，具有很好的廣播功能，缺點為數量稀少。

MANET 則是具有多跳、自組織、自癒的寬頻無線網路，並不需要有線基礎設施支持，在 MANET 網路中所有節點可隨時加入或離開，只需任意與其中一個節點相連即可，建構快速但穩定度低，也不及行動電話之普及與方便。

Walkie-Talkie 則與上述所提幾種應急通訊系統不一樣，其優點眾多，包括體積小、重量輕、可供長時間使用、不需事先佈建...等，但也有著現實的問題，在很多國家除專業救難隊以外，幾乎沒有普遍擁有。

需額外設備的應急通訊系統，在災害發生後往往因為道路支離破碎不能直接

進入災區，即使進入了也只有少數人可以使用，無法普及到一般災民，因此我們提出了兩種方法解決此問題，第一種為利用 MANET 應急通訊系統，稱為 P2PNet，在大型天然災害發生之初期，可迅速的讓受災人員與救難人員以自有的電腦設備建構簡單的 MANET 模擬 Walkie-Talkie 進行短距離群組通訊，其系統優勢為筆電等設備可就地取材，只需具備基礎電腦知識即可架設使用。第二種是應急蜂巢式行動通訊網路（Contingency Cellular Network，CCN），利用現有的行動通訊系統中未損毀但失去電力或連網能力的基地台，以 Wi-Fi 等無線設備互相連線，建立一個臨時網路，供災區的手機用戶使用，其優勢為大量的手機用戶可立即投入救災使用，如圖 1-5，本論文即以 CCN 網路架構為基礎進行研究。

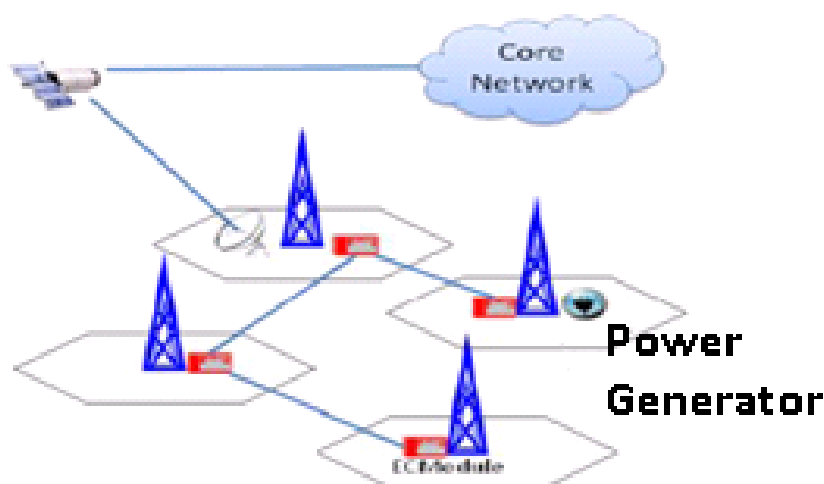


圖 1-5、CCN 網路

1.3、CCN 群組通訊簡介

災害發生初期救災聯絡管道仍未建立之前，災民不知該向何處求援，救災人員也因不知彼此所在位置及聯絡的方式，以致於無法立即與支援的群組取得聯繫。本文以 CCN 網路架構為基礎，設計災區內群組通訊模式，目的在使災民及救災群組之間能透過通訊系統進行聯繫，以期提升救災效益。

在 CCN 連外頻寬資源有限的情況下，往往無法滿足所有群組間頻繁的通訊需求，而在頻寬分配之下，各基地台所能分配到的實際頻道數遠低於其所能支援

的頻道數量，因此將有大量剩餘的閒置頻道資源，本研究所提出的通訊模式善加利用基地台閒置頻寬資源，規劃設計**群組通訊系統（Agency Communication System, ACS）**並與 CCN 核心通訊元件結合，提供群組呼叫與通話接續之功能，使災區內的使用者能透過系統與特定群組成員進行通話。

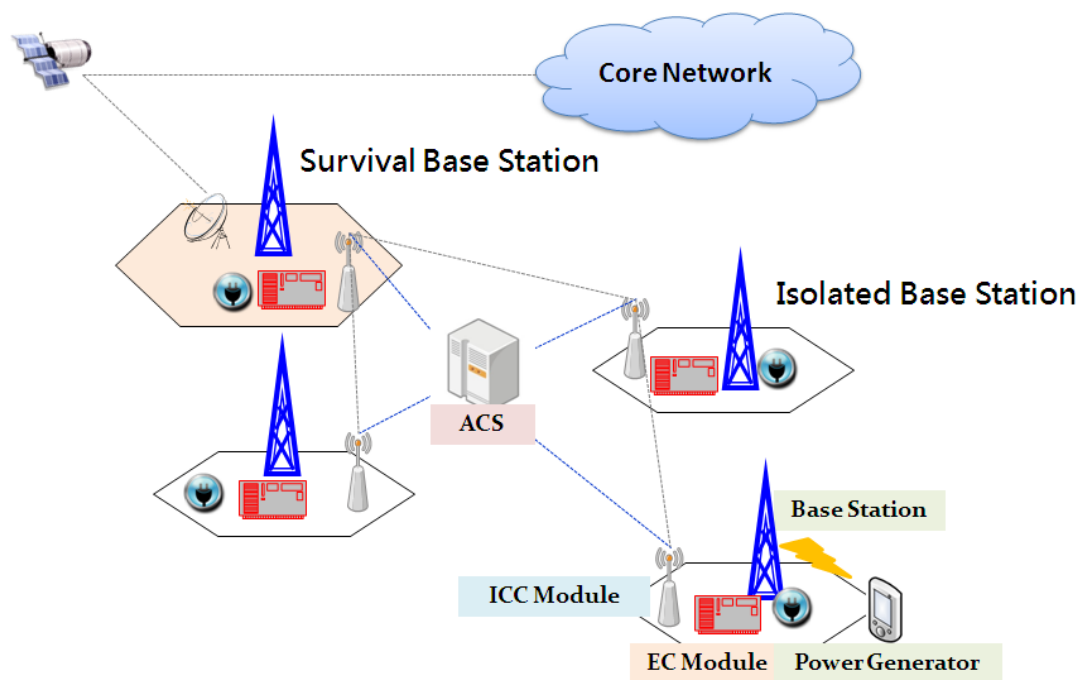


圖 1-6、群組通訊系統佈建示意圖

1.4、論文架構

本文共分成七章，第二章簡介救災組織與任務及目前常見之應急通訊系統。第三章介紹應急蜂巢式行動通訊網路（CCN）架構與功能。第四章描述以 CCN 架構為基礎所設計之群組通訊模式。第五章以模擬系統來驗證群組通訊設計之可行性。第六章則設計一系列實驗以測量系統之效能。第七章為本篇論文之結論與未來發展方向。

第二章、 相關研究

2.1、 第三代行動通訊架構

第三代行動通訊簡稱 3G (3rd-generation)，是指高速數據傳輸的蜂巢式行動通訊技術。3G 技術能夠同時傳送聲音（通話）及數據（電子郵件、即時通訊等）。代表特徵是提供高速數據服務。相對於第一代（1G）類比式行動電話系統與第二代（2G）只具有通話和一些諸如時間、日期等固定格式數據的手機通訊技術規格之 GSM、CDMA 等數位調變式手機，3G 手機是將無線通訊與 Internet 等多媒體傳輸結合的新一代行動通訊系統，主要由 UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) 與 CN (Core Network) 兩部分組成[36]，如圖 2-1，其中，UTRAN 用於處理所有與 Radio 相關的功能，而 CN 則處理行動通訊系統內的所有語音呼叫和資料傳輸與內外網路間的交換與繞送。

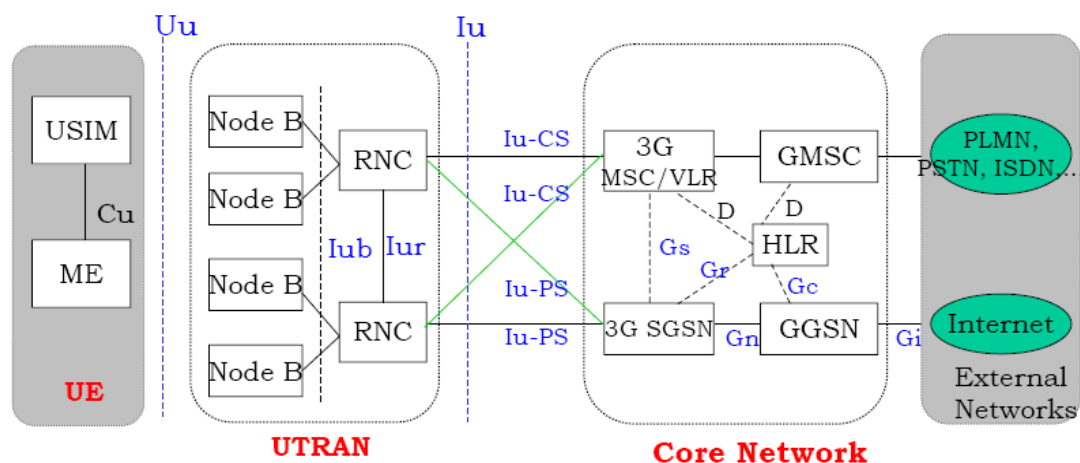


圖 2-1、System Architecture of 3GPP Release 99

2.1.1、 通用行動通訊系統陸地無線接入網

UTRAN(UMTS Terrestrial Radio Access Network)由多個 RNS(Radio Network Sub-system)所組成，每個 RNS 包括一個 RNC 與其數個相連的 Node B，RNC 與 Node B 之間使用 Iub 介面相連，每一個 RNC 透過 Iu-PS 介面與一個 SGSN 相連，並透過 Iu-CS 介面與一個 MSC 相連。

- **RNC (Radio Network Controller)**：無線網路控制器是 3G 網路的一個關鍵部分。它提供 Mobility management、呼叫處理、鏈接管理和切換機制，具體工作為管理用於傳輸用戶數據的無線接入、管理和優化無線網路資源以及無線連結維護，意即 RNC 控制管轄範圍內所有 Node B 的無線電資源，包括無線電頻道的指配、回收與管理，作為 Service access point 提供服務給 Core Network。以台灣而言，一台 RNC 大約控制 50~300 座基地台。
- **Node B**：即是基地台 (Base station)，配備收發天線及無線電頻道，提供無線電通道資源，通過 Iub 介面和 RNC 互連，主要處理與 UE (User Equipment) 間 Uu 介面實體層協議。功能有展頻、調變、通道訊號編碼及通道訊號解碼，還包括基頻信號和射頻信號的相互轉換等功能[24]。

2.1.2、 核心網路

核心網路 (Core Network) 分為 CS-CN (Circuit Switched Core Network) 和 PS-CN (Packet Switched Core Network)，由 CS 交換機、PS 路由器、資料庫及長途幹線組成，主要設備存放於電信機房中，包含了 HLR、MSC/VLR、GMSC、SGSN、GGSN 五個部分：[24]

- **HLR (Home Location Register)**：本籍位置記錄器，是一永久性用戶資料庫，保存用戶的基本資料，如 SIM 的卡號、手機號碼和用戶狀況（例如當前的位置、是否開機等）。行動業者所有客戶的 Service profile 都儲存於 HLR，

直到客戶退租為止。

- **MSC** (Mobile Switching Center)：行動電話交換機，負責所管轄服務區內行動客戶的移動管理及呼叫處理。
- **VLR** (Visitor Location Register)：訪客位置記錄器，通常每個 MSC 都有自己專屬的 VLR，以記錄當時正漫遊在其服務區內的行動客戶相關資料，如客戶目前所在位置區、Service profile...等。
- **GMSC** (Gateway MSC)：閘口行動電話交換機，提供 CS domain 連接到外界 PSTN (Public Switched Telephone Network) 或其他 PLMN (Public Land Mobile Network) 的交換機。
- **SGSN** (Serving GPRS Support Node)：負責數據封包的 Mobility management、路由轉發、會話管理、邏輯鏈結管理、加密和輸出等功能。
- **GGSN** (Gateway GPRS Support Node)：提供 PS domain 連接到外界網路的交換機。

2.1.3、 3G 網路通訊協定

Before 3GPP release 5：在 3GPP Release 5 [35]之前的 3G 架構下，用戶手機本身會具備自己的 IP 位置，透過 Node B 連線到 RNC 後，RNC 會用自己的 IP 將用戶的封包封裝起來，並且與 SGSN 透過 Iu-PS 連線，然後 SGSN 會再用 Gn/Gp 介面與 GGSN 連線，中間其實就是 Tunnel，一直到 GGSN 以後，才會將原本用戶手機的封包解除封裝送到 Internet，如圖 2-2。

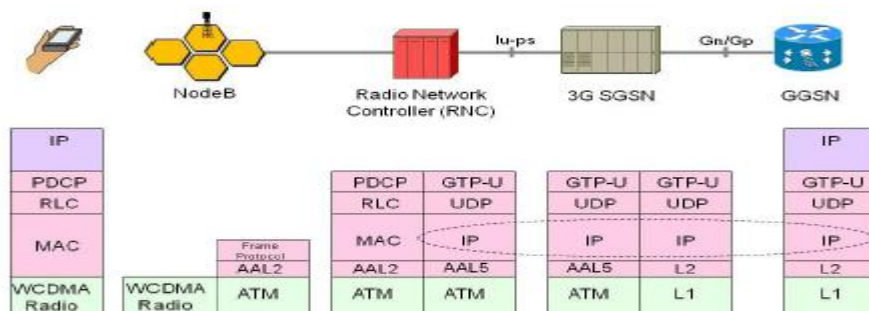


圖 2-2、3GPP Release 5 架構

3GPP R5 to R7：新的 3GPP R5 到 R7 版本[35]，精簡了網路的架構，首先是 HSDPA 移除了 Drift RNC 元件，並且將 Drift RNC 的功能移到 Node B，再來是修改 SGSN，讓 RNC 可以直接與 GGSN 使用 Tunnel 連線，如圖 2-3，在 HSPA+ 的版本，又將 RNC 的部分功能移到 Node B 上面。

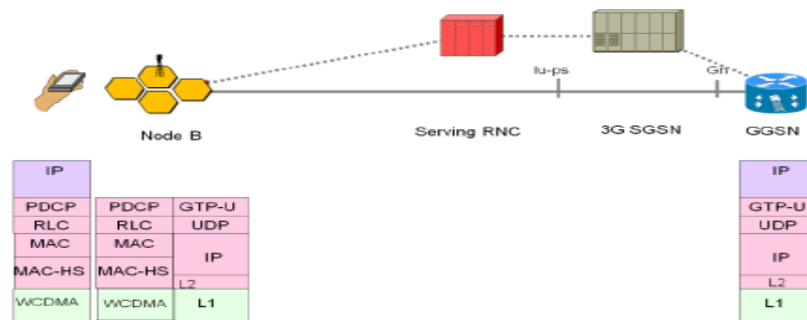


圖 2-3、3GPP Release 7 架構

2.2、應急通訊系統種類與比較

我們以所歸納之需求，檢視分析現有應急通訊系統的適用性。

2.2.1、專用高抗災通信平臺

高抗災通信平臺[47,49]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，以「消防救災體系與行動通信系統結合」、「整合光纖、微波、衛星鏈路形成多重中繼傳輸備援路由」及「加強電力備援系統」等設計理念完成之應急通訊平臺。其佈建的方法為在災前預先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。

● 優點

- 災前即已佈建完成，災難發生時，馬上就可以使用
- 系統可靠性高
- 結合行動通信系統與消防救災體系

- 限制

- 由於成本過高，佈建數量極為有限，無法全面佈建，僅能佈建於少數具高潛在危險的特定區域

2.2.2、 無線對講機 (Walkie-Talkie)

無線對講機（俗稱 Walkie-Talkie）是一種手持的雙向無線電收發器，使用免執照的 ISM 頻道，同一時間只有一位使用者可以廣播語音訊息（半雙工） [18]。無線對講機不需佈建通訊網路，只要雙方擁有無線對講機即可進行通話。

- 優點

- 不需佈建通訊網路即可使用
- 體積小、重量輕，可隨身攜帶
- 電池充電後可長時間使用
- 電波所及範圍內即使不知道對方身份、地點也可通訊

- 限制

- 在世界很多地方普及率低（例如：台灣在八八水災中，政府花了 7/14 天從廠商借得 240/1052 支無線對講機，太少也太慢）
- 需要簡單學習才能使用（緊急時無經驗之使用者必須在短時間內讀懂說明書，自行學習使用），尤其是普及率低的地方
- 沒有優先分級能力

2.2.3、 業餘無線電 (Amateur radio)

業餘無線電[7,10]，俗稱火腿（Ham radio），與無線對講機相似，但通訊的距離較遠。其原理為通過無線電進行訊號傳輸，早期使用長波段，因為長波段能量損失小且能繞過障礙物，但由於長波的天線設備龐大、昂貴、通訊量小，後期使用能藉電離層反射的短波，使得無線電設備價錢大幅降低，一般使用者也有能力

使用，因此短波成為業餘愛好者的使用主流。

- 優點

- 不需佈建通訊網路即可使用
- 電波所及範圍內即使不知道對方身份、地點亦可大範圍廣播通訊，適合做訊息發佈

- 限制

- 普及率低，擁有業餘無線電設備的民眾非常稀少
- 使用困難，需要執照方能操作，但擁有執照的人員數量稀少（在八八水災中，7 天之後第一座業餘無線電台才架設完成）
- 行動力低

2.2.4、 行動衛星通訊（Satellite Mobile Phone）

1990 年代數個使用非同步衛星的行動衛星通訊系統被提出，例如 GSM 的衛星版—Motorola 的鈹計劃（Iridium）、IS-95 的衛星版—Qualcomm 的全球通（Globalstar），主要提供語音以及低速率資料傳輸服務[37]。

為了降低延遲時間，避免通話受到干擾，行動衛星通訊大多使用軌道高度 10,000~20,000km 的中軌道衛星搭配 750~2,000km 的低軌道衛星通訊系統。衛星就像不斷移動的基地台，一般而言，中軌道衛星繞行地球一周約為 6 個小時，而低軌道衛星繞行地球一周則約為 100 分鐘。由於衛星高掛於太空中，不受地震等天災影響，在災害來臨時，成為一個可靠的應急通訊系統，但因其使用頻段較高，易受惡劣天候影響。衛星造價高昂且使用者數量稀少，導致通話費用極高，雖然行動衛星通訊手持設備可以僅操作在衛星通訊模式，但因通話費用因素，一般皆為衛星/地面蜂巢式雙模手持設備，在地面蜂巢式行動通訊系統的服務範圍內，優先使用地面蜂巢式行動通訊系統，否則使用含蓋範圍廣的行動衛星通訊系統，如鈹計劃和全球通[22,37]。

鉅計劃 (Iridium)：鉅計劃為包含 11 個衛星軌道平面，66 顆衛星的行動衛星通訊系統。每顆衛星重 689 公斤，衛星間可以彼此通訊。運作於 2001 年 3 月，提供語音、傳真、資料和 GPS (Global Positioning System) 服務，採用分頻多工結合分時多工技術及 QPSK 調變技術。

全球通 (Globalstar)：全球通開始營運於 2000 年春天，為一包含 6 個衛星軌道平面，48 顆衛星的行動衛星通訊系統。全球通每顆衛星重 450 公斤，衛星間彼此無法通訊。提供語音、傳真、資料、GPS 和 paging 服務，使用分碼多工技術和 QPSK 調變技術。

- 優點

- 覆蓋面廣，通訊距離遠
- 不受地震等天災、地理條件影響限制
- 可隨身攜帶
- 易於實現多點通訊、具有優良的廣播特性

- 限制

- 價格高昂
- 普及率非常低
- 易受氣候影響

2.2.5、專業用集群通訊系統 (Trunking radio)

由早期的專用無線電調度系統逐漸發展形成的，系統中每一個無線設備都會透過一個或多個中繼站來把訊息發散出去，這種通訊系統主要用於對戶外作業的移動用戶提供調度與指揮控制等服務，具有普通無線電通訊的語音、數據等功能外，還具備群組呼叫、優先分級、快速接續等能力[41]。其作法是由中央控制器集中控制和管理系統中的每一個頻段，以動態方式迅速的把空閒頻段分配出去，用戶群會呈現樹狀結構，常用於指揮調度通訊，例如美規的 Project 25[2]以及歐

規的 TETRA[1]應急通訊系統。由於需專業人員架設，一般未經訓練的民眾不會使用。因此，主要使用者為軍、警或專業救難團隊。

Project 25：APCO（Association of Public-safety Communications Officials-international）於 1989 年推動的計劃（簡稱 P25），制定了相關標準來提供服務以及各廠商互連相容能力（Multi-vendor interoperability），以求找到符合公共安全與關鍵性任務需求之解決方案，P25 具備支援類比/數位（analog/digital）之中繼集群模式，在小於 200 個使用者時或小規模地方政府受限於預算時才採用類比模式，否則通常採用數位中繼集群模式。

TETRA（Terrestrial Trunking Radio）：又稱 Trans-European Trunking Radio，為專業移動無線電（Professional Mobile Radio，PMR）和雙向收發器（Walkie-Talkie）規範，類似於 P25 為專門設計用於公共安全與關鍵性任務需求之無線電通訊規範，除了以公共安全（Public safety）與關鍵性任務需求之解決方案為考量設計外，也提供給鐵路運輸列車服務和捷運系統無線電通訊服務等大眾交通系統。與 P25 不一樣地方為 TETRA 只提供數位式中繼集群模式。

- 優點

- 通訊網路架設快
- 涵蓋範圍廣
- 可靠性高

- 限制

- 話機數量有限
- 需經專業訓練才會使用
- 適用於特定使用者，主要為軍、警或專業救難團隊
- 因體積、重量過大無法空投，如果交通系統癱瘓，不易運送至災區

2.2.6、 移動基地台（Cell on wheel）

移動基地台實際上就是一個可移動的通訊系統，透過開到現場的車載平台，搭建通訊網路，實際處理現場傳輸來的語音、影像、圖片等數據，實現現場各種不同規格、不同頻段通訊網路的交換，構成統一的應急指揮平台。

由於移動式基地台具有架設速度快、運用靈活、調度方便、自帶電源設備等特點，因此，在大多數天然災害、突發事件和重大事件發生的情況下，應急通訊車通常是現場應急通訊的首選方式之一，但專業設備需專人操作，且成本高昂無法大量佈署，導致接通手機數量有限，並且需要完好交通系統才能進入災區，在大型天然災害中所能負擔的通訊比例不大，並且因為交通可能斷絕，這些設備無法在第一時間送進災區，延誤救災效率，目前中華電信在台灣北部有 18 台、中部有 11 台、南部有 8 台移動式基地台，相較於數千座癱瘓的基地台，數量遠不敷所需。

- 優點

- 佈建速度快
- 擁有行動電話之一般民眾皆可使用

- 限制

- 造價高昂數量不足，無法大量部署
- 因體積、重量過大無法空投，如果交通系統癱瘓，不易運送至災區

2.2.7、 行動隨意式網路（MANET）

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或平板電腦構成，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，當兩個移動設備在彼此的連線覆蓋範圍內時，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，如兩個相距較遠的設備要進行通

訊時，須藉由中間節點的轉發才能實現[8,31]。它有以下特點：

- **無控制節點**：所有節點皆可隨時加入或離開
- **容易組織**：不需要固定網路設施支持，能在任何時間、地點快速建構

在我們的先前研究中，提出一個 P2Pnet[14,19,20,21]，利用志願救災人員的筆記型電腦等建構成 MANET 網路平台，再利用 VoIP 技術實現應急通訊系統，可以在沒有連接 Internet、沒有伺服器的情況下支援緊急的通訊與資訊運用[18]。

P2Pnet 依照傳統網路分層的概念，在網路層與傳輸層之間加入一個名為「網路服務層」的中介層，以完成 P2Pnet 所需功能。在實體層與網路層中，P2Pnet 將會試圖利用所有可運用的資源，包含 WiMAX，Mesh network 與 VANET 等，機會網路（Opportunistic network）的技術將會把各個獨立的 P2Pnet 整合成為一個互通的網路，在此情況下，網路節點之間可以將封包廣播到其鄰近的節點，在短時間內建立可用的通訊管道，以提供災區作為初期的緊急通訊之用。
[3,14,17,19,20,21,28,29]

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，遠不敷所需，而擁有行動電話手機的人數遠高於此，幾乎人人攜帶行動電話，二是 P2Pnet 系統仍須一定的專業知識才能安裝並操作本系統，三是筆電內建的 Wi-Fi 的通訊距離較短，雖經過 Multi-hop 轉接，能支援順暢通話的 VoIP 仍然不能及遠。

- **優點**

- 可以使用災區內志願救災人員的筆電等設備就地取材來建構，節省大量經費
- 不受交通系統癱瘓之影響，就地取材，立即建構，在第一時間投入救災

- **限制**

- 使用者必須具備建置系統的技術知識，並非一般使用者可以使用
- 具通話品質的 VoIP 之有效距離極短，有待克服

- 尚在實驗階段，並無成熟產品，尚須繁複的設定方能使用

2.2.8、 應急通訊系統綜合比較

表 2-1 以應急通訊系統八項評斷指標進行優劣分析，沒有任何一種應急通訊系統是完美無缺的，以簡單易行的 Walkie-Talkie 而言，在很多地區有極高的普及率（例如：美國），但在台灣其普及率極低，就無法在災害發生時投入應用，畢竟一般民眾不願為了機率極低的大型天災而隨時隨地攜帶手機以外的通訊設備。其他幾種通訊系統或多或少都有缺陷，無法支援大量志願救災人員及災民的通訊需求。而近年來的很多研究主要在利用隨意網路或者異質網路來建構一個 MANET 網路以支援應急通訊，這些研究也都面臨一些客觀環境上的問題，我們設計實驗過的 P2Pnet，當距離超過 25m 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，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。我們所提出的 CCN 應急蜂巢式行動通訊網路可以更有效的支援大規模的災區內行動電話用戶。

表 2-1、應急通訊系統比較

	使用 成本	建構難 易度	設備取得 難易度	終端設備 普及率	終端設備操 作難易度	終端設備 移動性	通訊 品質	運轉難 易度
Walkie-Talkie	低	不需建構	易	視地區而定	需簡單學習	高	中	無
Amateur radio	中	需專業人士架構	易	低	需專業執照	低	中	無
行動衛星通訊	極高	既存	易	低	易	高	中	無
集群通訊系統	高 (量少)	簡單	難(需道路運送)	低	需簡單學習	高	高	中

	使用 成本	建構難 易度	設備取得 難易度	終端設備 普及率	終端設備操 作難易度	終端設備 移動性	通訊 品質	運轉難 易度
移動式基地台	高 (量少)	簡單	難(需道路 運送)	高	易	高	高	中
MANET	低	需專業安 裝設定	就地取材	中	易	中	低	中
CCN 應急通 訊系統	低	中	重量輕 可空運	高	易	高	高	中

2.3、過去應急通訊系統相關研究

- Autonomous Networked Robots for the Establishment of Wireless Communication in Uncertain Emergency Response Scenarios [31]: 本篇主要探討災害發生後，利用自主機器人在災區內建立 Wireless ad hoc network，使受困的災民能和外界通訊。作者將事先預估的人群分布資訊搭配分散式演算法運行於機器人上，並藉由最小生成樹(Minimum spanning tree)演算法來改進服務範圍重疊之缺點，當機器人之數量較少時使用第一種演算法較為合適，若該區的頻寬需求較大時，則使用第二種演算法較為合適。
- Autonomous Community Construction Technology for Timely Transmitting Emergency Information [34]: 本篇主要探討 Wireless sensor network 在災害發生時的相關應用，目前 Wireless sensor network 已被廣泛應用於應急管理體系(EMS)。由於一般即時發送緊急訊息的系統均使用集中式的管理，並不適合救災情況會隨時變動的災區使用，因此，作者提出利用 Autonomous Decentralized System (ADS)的方式在災區傳送即時訊息，稱為 Autonomous Community Construction Technology。最後經由模擬可知，作者所提出的方法非常適合在災區傳送即時訊息。
- An Integrated Communication-Computing Solution in Emergency Management [5]: 本篇作者在多年來致力於緊急情況和危機管理系統之研究，在本文中，作者藉由 Multiple Parallel 的模型來整合網路層(Network layer)和網路應用層

(Application layer)，在不同層的節點可以依據其他節點所給予的資訊來選擇最適當的網路，作者期望能在災害發生時，建立一個較穩定的異質通訊網路(Heterogeneous meshed communication system)。

- Computational Public Safety in Emergency Management Communications[22]：本篇主要探討應急管理系統中的各種不同類型之網路，作者討論了各種無線網路的通訊方案，並分析其使用的可行性。例如，傳播延遲，封包傳遞率和傳輸率。針對 WiMAX、Xbee、藍芽和 Wi-Fi 等環境進行測試，作者發現 Wi-Fi 是目前應急管理最適合的網路環境，其網路的傳輸速率和涵蓋範圍都優於其他環境。
- Ad Hoc Communications for Emergency Conditions [8]：本篇主要探討在災區的通訊方式，作者提出利用智慧型手機作為節點，並透過 Wi-Fi 的方式建立成 Ad hoc 網路進行通訊。整體架構包括廣播和路由協議，其主要的方式為，將訊號向間隔 120 度角的節點進行廣播並建立起網路拓樸，在緊急情況之下，即可以架設短距離的 Ad hoc 網路供通訊使用。
- Taiwan Earthquake Event Report, Risk Management Solutions [7]：本篇主要探討在 1999 年 9 月 21 日發生於台灣的一個大地震，集集(chi-chi)大地震，作者將此次地震所造成的相關災害透過照片和圖表等數據來說明，其中包括許多交通建設的損壞、房屋倒塌、電力系統中斷和基礎設施損毀...等，並於本文各章節中探究其原因，提出適當的建議，以供相關單位可針對目前缺失的部分進行補強，減少人員的傷亡和財務的損失。
- Improving Disaster Management [32]：本篇主要探討在災區的訊息傳遞方式，作者認為有效的訊息傳遞在災害發生時是非常重要的，無論是災情的傳遞或是受困的災民都急需訊息傳遞的需求。因此，學者們制定了一套災害管理系統，利用手機當作節點來傳遞訊息，如此一來，當災害發生時，即可迅速的將訊息透過節點和節點之間的 relay 傳送至目的地。

- A Disaster Information System by Ballooned Wireless Ad Hoc Network [29] :
本篇主要在探討如何在通訊網路全面中斷的情況下，建構一個可以使用的網路環境。作者將無線傳輸設備綁在多個氫氣球上，在距離地面約 40m~80m 的空中建立起 Ad hoc 網路，恢復某一特定地區的網路。作者於某一校園進行實際測試，並透過一中央伺服器(WIDIS)將該區的資訊與外界相連。
- Construction of Wireless Network for Information Communication for a Disaster-affected Island [33]: 本篇作者主要探討災害發生後，海底線路損毀，造成大陸本島與其相鄰小島之間的通訊中斷，並提出相關的應對方法。研究團隊將無線發射器與大範圍指向性天線架設在船隻上，利用海上的船隻當作訊號傳送的中繼節點，將大陸本島的網路訊號透過無線傳輸的方式傳送到相鄰的小島上，藉此恢復陸地與小島的通訊。
- Network Topology Planning for Contingency Cellular Network[12]: 本篇主要探討災害發生後，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。作者提出一個可快速恢復特定區域通訊服務的網路，並為其設計通訊的拓樸結構，不但將通訊品質納入考量，還考慮拓樸結構中的流量負載，以避免建立通訊流量過度集中及訊號衰減過大的拓樸。文末，提供數個演算法，用以建立應急蜂巢式行動網路拓樸。

2.4、救災體系與任務

大規模災難發生後，各地紛紛動員投入救災工作，除了中央政府集合各部會成立災害應變中心，負責跨組織協調整合、整體災情的掌控外，在國際救援方面，許多具有豐富的現場救災經驗的救援組織，攜帶多項先進的搜救儀器進入災區，對救災現場進行勘查與資料蒐集，執行救援、醫療...等相關工作，根據內政部消防署統計，以 921 集集大地震為例，各國派遣救難團隊，共有 20 個國家、38 個

國外緊急搜救隊（包括二個醫療團體），共 728 人與搜救犬 103 隻抵台協助救難工作[50]，眾多救災群組間如何有效的透過通訊系統進行溝通協調，是影響救災效率的主要因素之一。

2.4.1、 國內救災體系

重大災害發生時，中央與地方政府分別開設災害應變中心，由地方災害應變中心負責災害搶救的第一線工作，中央災害應變中心則全面掌握各地災情，研擬因應對策，進行救災資源調度，以支援地方救災。將隨著災害規模的擴大，逐步向上提昇層級，擴大任務編組成員，並以功能導向與跨部會分組的模式，進行相關應變作業[39]。圖 2-4 為中央災害應變中心組織架構。

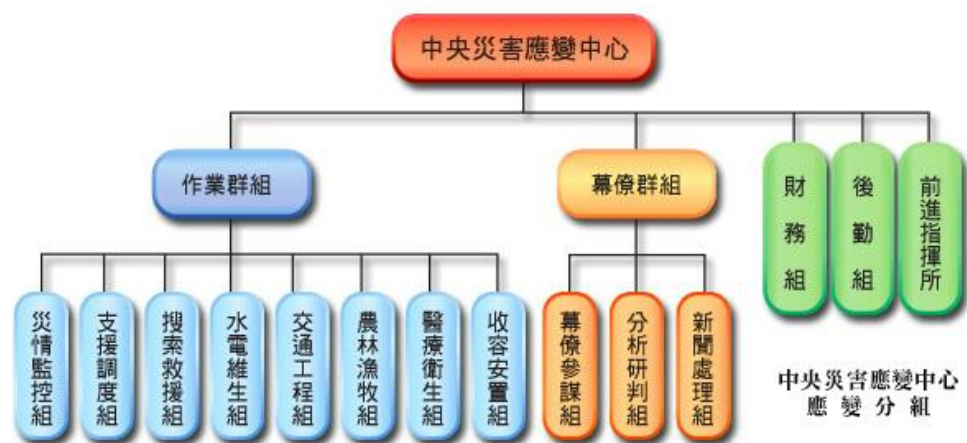


圖 2-4、中央災害應變中心應變分組

（資料來源：內政部消防署全球資訊網）

中央災害應變中心將不同部會按照其所負責的災害應變工作加以整合，劃分為幾個群組，各群組主要任務如下：[46]

- **幕僚群組**：透過科學化的方法來分析研判災情，並由幕僚向指揮官提供應變上之建議，另外亦負責與媒體防災宣導事項。
- **作業群組**：主要負責災害時之各項災情統計與彙整，並適時調度資源，提供地方縣市政府必要之支援。
- **後勤組**：辦理中心運作後勤調度支援事宜。

- **財務組**：辦理救災財務調度支援及統籌經費動支核撥事宜。
- **前進指揮所**：辦理災害現場協調聯繫調度支援事宜。

2.4.2、 國際搜救組織

當災情持續擴大之後，則須尋求國際組織伸出援手，例如：921集集大地震時「美國國際開發總署」(USAID)即派出「**都市搜救特遣隊**」(US&R Task Force)進入災區協助救災工作。都市搜救隊 (US&R) 之組織，比照**美國緊急事故指揮系統 (Incident Command System，簡稱ICS)** 成為緊急事故發生時全國通用之指揮系統。其基本架構有

- **指揮**：負責緊急事故時緊急應變行動的命令下達。
- **災害搶救**：負責緊急事故時的緊急應變行動的執行。
- **計畫**：負責籌劃意外事件各項行動計畫。
- **後勤**：負責緊急應變行動所需之交通、器材、能源、通訊、食物、飲水等後勤相關事項。
- **財務/行政**：對於人員的動員、報到、記錄、採購審核等行政事項。

都市搜救特遣隊建立二組輪班制度，以應付連續二十四小時，具有長達數天的運作能力，著重於災害現場地搶救作業，劃分為搜索小組 (Search Team)、救援小組 (Rescue Team)、醫療小組 (Medical Team)、計畫小組 (Planning Team) 及後勤小組 (Logistic Team)[45]。圖2-5為都市搜救特遣隊組織架構。

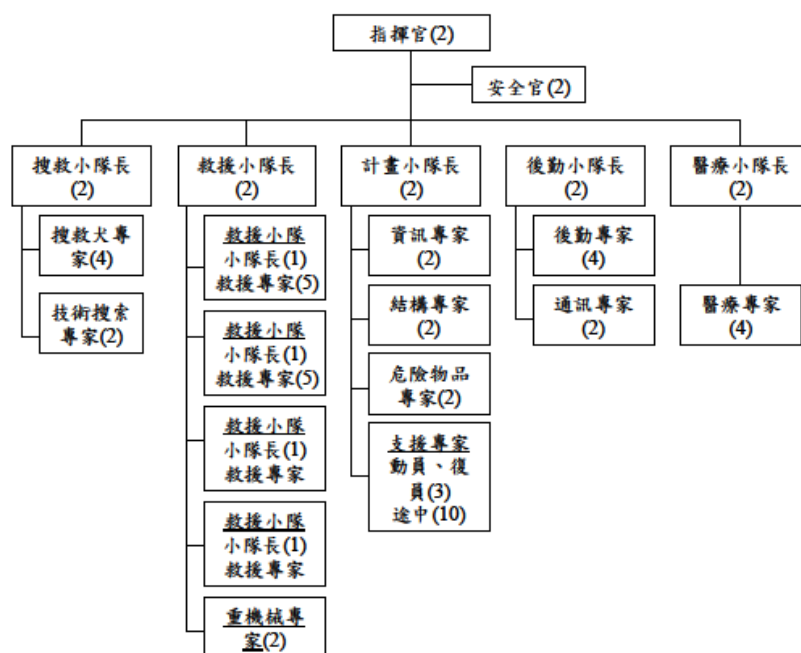


圖 2-5、都市搜救隊(US&R Task Force)組織架構

(資料來源：熊光華,顏振嘉，國際搜救團隊救災機制之調查研究)

2.4.3、救災任務分組

參考上述國內外救災組織，我們將救災工作彙整為表 2-2 任務群組。

表 2-2、救災任務分組表

編組名稱		任務內容
緊急救難中心		負責緊急事故時緊急應變行動的命令下達。
搜索救援組		負責人命搜救及緊急搶救調度支援事宜。
搜索小組	搜索小組小組長	負責決定搜索組織及後勤需求。
	搜救犬專家	利用搜救犬實施倒塌建物內受困人員之搜索。
	技術搜索專家	使用電子搜索儀器及技術對倒塌區域進行搜索。
救援小組	救援小組小組長	決定救援的組織及後勤需求。
	救援小隊	依專業技術及專業裝備執行行動計畫之救援作業。
	重機械專家	調協重機械作業的命令與執行。
醫療衛生組		提供被搜救隊救出受困者醫療救護。 辦理緊急醫療環境衛生消毒調度支援事宜。
醫療小組	檢傷醫療組	支援護理人力調派。 現場護理作業。
	發送勤務組	依據檢傷分類結果，安排傷患後送之優先順序。

編組名稱		任務內容
	衛材供應組	儲存醫療站之衛生器材及供應各組醫療衛材。
衛生小組	防疫組	評估災區防疫事項。
	環境保護組	急迫性垃圾清理工作。 管溝堵塞疏濬工作。
支援調度組		明確掌控追蹤所調派之人力、機具等資源之出發時間、位置與進度。
計畫小組	計畫小組小組長	確認當地後勤支援。 提供搜救隊的持續及再度支援。
	資訊處理專家	紀錄事件搜救執行過程。
	結構專家	對所指定的建築結構物進行評估。
	危害物質專家	救援行動時，持續監視現場環境危害物質的狀況。
後勤小組	後勤小組小組長	確認當地後勤支援。
	後勤專家	建立正確及完整的裝備使用及補充紀錄。
	通訊專家	無線電頻率管理。 安裝及籌劃攜帶式無線電系統。 基地通訊系統操作及維護。 監視供電狀況。 與外界保持通訊。
水電維生組		辦理自來水、電力、電信、瓦斯、油料搶修調度支援事宜。
交通工程組		災民疏散之接運事項。 交通秩序維護事項。 救災人員、器材物資之運輸事項。 災區交通運輸之維護事項。
收容安置組		緊急安置所之指定，分配佈置事項。 救災物資之接受與轉發事項。
災情監控組		災情之蒐集、評估、處理、彙整及報告事項。

第三章、應急蜂巢式行動通訊網路（CCN）

應急蜂巢式行動通訊網路（Contingency Cellular Network，CCN），以下簡稱 CCN 網路。CCN 網路的建置目的是在大型災害發生後的交通及通訊尚未修復之緊急黃金 72 小時救援時期，提供即刻臨時性的通訊。CCN 網路建置於原 2G、3G 蜂巢式行動通訊網路之上，係利用在災害中服務中斷但結構完好的行動通訊網路基地台，藉由臨時供應的電力，恢復其運轉，並藉由無線通訊設備[19]連接鄰近的基地台，再藉由點對點（Hop-by-hop）方式遞送訊號至有對外連線能力之基地台或通訊節點（如衛星通訊裝置、移動基地台等），形成一臨時性的通訊網路，使災區人員能藉由 CCN 網路利用手機進行通訊，降低災區的通訊阻礙，進而提升救災效率。

CCN 網路利用現有的 2G、3G 蜂巢式行動通訊網路建構，由於手機、平板電腦等行動裝置在現今社會中十分普及，使用者不需要持有額外的設備即可加入 CCN 網路進行通訊，且在大型災害中，基地台運作停擺多肇因於停斷電及後端線路（Backhaul）的毀損，大部分的斷訊基地台，其實本身並無損壞，若可直接利用這些既有的基地台設備，則 CCN 網路的建置成本可大幅降低。再者，蜂巢式行動通訊網路的基地台分佈拓撲，在建置時期即經過完善的設計，不但設置的地理位置經過測量規劃，而且多設置於高處，訊號良好、無 Line-of-sight 問題，故在緊急時期，若可直接使用蜂巢式行動通訊網路的基地台，則不須花費額外的人力及時間選擇 CCN 網路的無線電站台架設地點，可以快速佈建。另外，建置 CCN 網路所需的額外設備（緊急修復包）具有可事前儲備、輕量等優點，當災害來臨時，可直接由災區內部供應或由直升機空投取得，使得系統建置更為容易。

如圖 3-1 所示，CCN 利用無線通訊設備連結斷訊的基地台群，並將訊號遞

送至具備與後端核心網路通訊能力之基地台，藉此使斷訊基地台回復通訊。

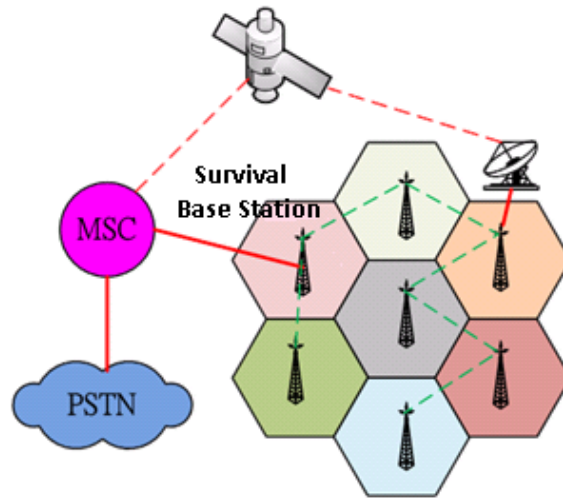


圖 3-1、CCN 網路架構

3.1、網路架構

我們先前的研究[18,19,42]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。因此提出利用空投或直昇機等方式提供緊急修復包（Contingency Recovery Package，CRP，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...等設備，藉由這些基本設備，使基地台能維持基本運轉，基地台再利用無線通訊設備以跳接方式互連，回復與核心網路之間的連線，使其能連上後端核心網路，恢復部分通訊功能。應急蜂巢式行動通訊網路（Contingency Cellular Network）架構如圖 3-1 所示。

我們將基地台依其對外通訊的連線能力，定義如下：

- **連網台（Survival base station）**：可與後端核心網路正常通訊，傳遞資料並持續提供服務之基地台，稱為連網台，如圖 3-2。連網台的構成要件為其基地台本身完好或配有衛星等通訊設備，使其具有與後端核心網路通訊之能力。

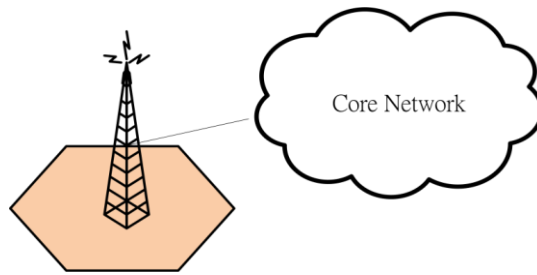


圖 3-2、連網台

- **孤立台 (Isolated base station)**：無法與後端核心網路通訊，造成通訊服務提供中斷，但基地台設備本身並無毀損之基地台，稱為孤立台，如圖 3-3。其形成孤立的原因可能為電力中斷、實體對外線路損毀所導致。

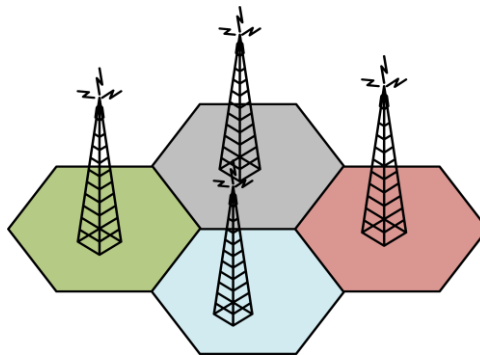


圖 3-3、孤立台

3.1.1、CCN 連網方式

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。

CCN 網路即是在孤立台上佈建簡易的輔助設備「緊急修復包 (CRP)」，使孤立台利用鄰台連結到連網台，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 2G 系統為 BSC (Base Station Controller) 及 MSC (Mobile Switching Center)，而在 3G 系統則為 RNC (Radio Network Controller) 及 MSC、SGSN (Serving GPRS Support Node) 等，基地台必須與它們建立連線才可交換信令 (Signaling) 與資料 (Data) 提供電信服務，如圖 3-4。CCN 將利用各種無線連線方式[22]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 通訊模式如圖 3-5。

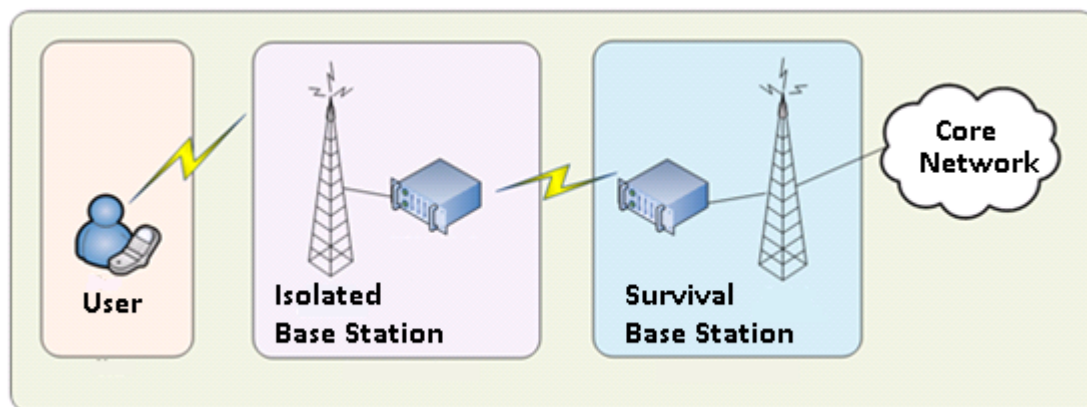


圖 3-4、CCN 基地台間之連線

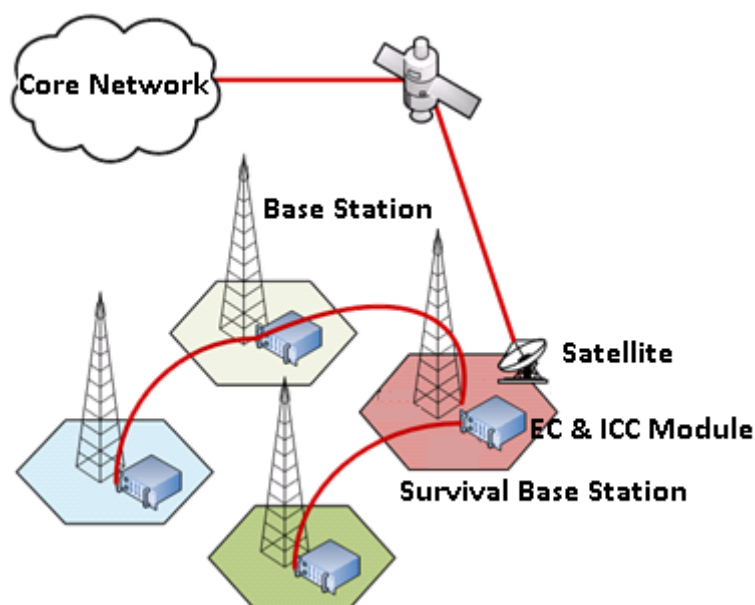


圖 3-5、孤立台藉 CCN 連線連上核心網路

- **轉送拓樸 (Forwarding tree)：**

為了簡單起見，CCN 採用樹狀轉送拓樸，其根節點為連網台，其餘節點為孤立台。由於一個 CCN 網路對外的頻寬極為有限，如果災區有多個連網台或災區範圍太大，可將災區切割成多個 CCN 網路拓樸，除保障通訊品質外，也避免當災區面積太大，話務須經多次轉送浪費太多頻道資源，建議每個 CCN 網路的轉送拓樸深度控制在 3~5 hop 之內。

3.1.2、網路元件

CCN 之建構需要在各孤立台附加額外設備，所需的元件為發電機、燃油、

無線通訊設備，部分則需衛星通訊設備。平時包裝成「緊急修復包（Contingency Recovery Package）」，如圖 3-6，儲存於國家救災單位，於災害發生時運送至災區建構 CCN。相關元件介紹如下：

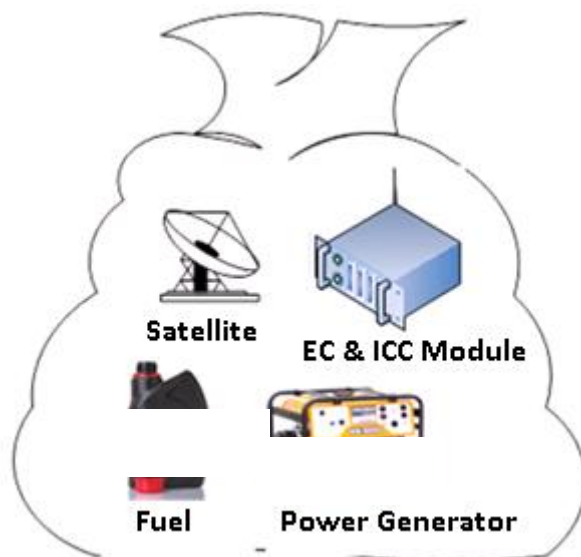


圖 3-6、CCN 緊急修復包(CRP)

- **Power Module**：災區因為災害的發生，基礎建設遭到毀損，無法提供災區基地台運轉所需的電源，雖然基地台備有備用電源，但一般的基地台備用電源僅能維持一至數小時，不足以支撐到災區電力系統復原（如前所述，八八水災中 3300 座斷訊的基地台中，約 70%是因為電力中斷而斷訊），因此能讓基地台持續運轉的小型輕便發電機及燃油為很重要的元件之一。
- **Inter-Cell Communication Module (ICC Module)**：孤立台為了要與連網台相連，必須透過與鄰台的多重跳接方式達成，包括「孤立台—孤立台」以及「孤立台—連網台」間的連接，均須仰賴 ICC Module 的無線通訊能力（例如：WiMAX、Wi-Fi）。孤立台藉由 ICC Module 與鄰台相連進而恢復連外能力，最後與後端核心網路相連，達成資料遞送。
- **Emulated Controller Module (EC Module)**：負責處理、運算、轉送資料，為 CRP 的核心運算元件，當孤立台透過 ICC Module 與鄰台相連時，由此模組來控制包含資料轉送路徑、基地台頻寬分配控制、通話允入控制等，並提

供虛擬鏈結讓基地台與後端連線，也須提供虛擬 BSC 功能提供網內互打服務[24]。EC Module 也是 CCN 與原先受損的行動通訊網路系統間之通訊介面，CCN 藉由此模組與既有的行動通訊網路介接，交換電信的控制信令與資訊。

- **Satellite Communications Module (Optional)**：衛星通訊設備，如果災區內沒有連網台，則須利用衛星通訊設備架設至少一個連網台，此外，如果災區面積太大，離連網台太遠的孤立台所傳送的資料須經多次轉送，為了避免多次轉送佔用太多頻寬且增加了斷訊的機會，可以考慮挑選某些孤立台加裝衛星通訊設備，直接把孤立台建構成連網台，將一個龐大負擔過重的 CCN 網路，分解成數個負擔較輕的 CCN 網路。由於衛星通訊設備價格昂貴，無法普及所有基地台，只能用於少數基地台。

CCN 孤立台恢復連線方式，如圖 3-7 所示。手機信號透過孤立台 EC Module 處理並經 ICC Module 轉送至鄰台。此時孤立台資料便可透過鄰台，以多重跳接的方式，連上後端核心網路。

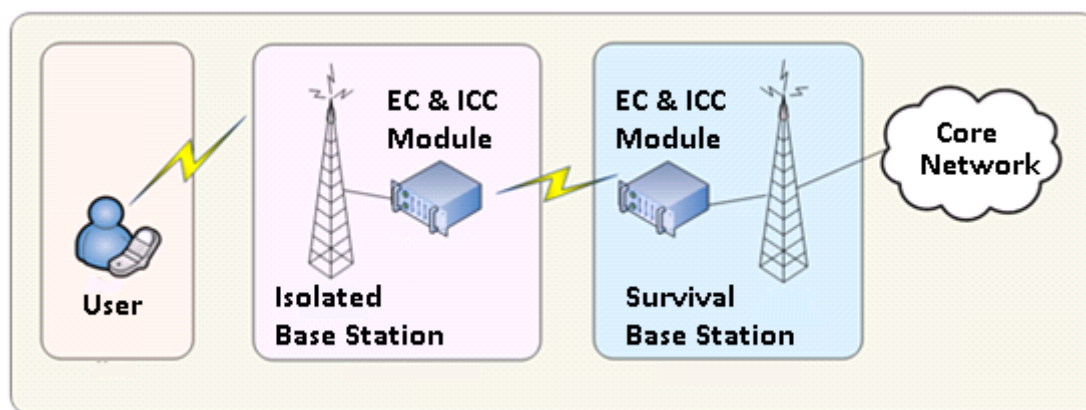


圖 3-7、孤立台恢復連線方式

除了衛星通訊模組之外，其他硬體模組造價均很便宜，以一般電腦搭配通訊模組即可，成本極低即使經費有限，也可大量佈建，而且不需購置終端設備，使用者使用自己原有的手機即可，使用者之單位建置成本可大幅下降。

3.2、使用時機

在災害初期原有通訊系統由於災害發生而無法使用，但災害初期是受困人員存活率最高的時候，而具有專業通訊設備的外援卻無法在第一時間進入，要突破救援瓶頸就必須依靠當地有行動能力的倖存者互相幫忙，這些倖存者並沒有接受過專業的訓練也沒合適的通訊設備將災情傳達出去尋求幫助或者互相協調組織救援，CCN應急通訊系統在此時能提供給這些倖存者通訊的功能，使用原有手機不需要訓練即可快速上手使用，但由於此系統是依附原有通訊設備，隨著時間的推移，電信公司將會逐步修復原有基地台，此系統的作用也會慢慢下降直到所有基地台修復完成，如圖3-8所示。

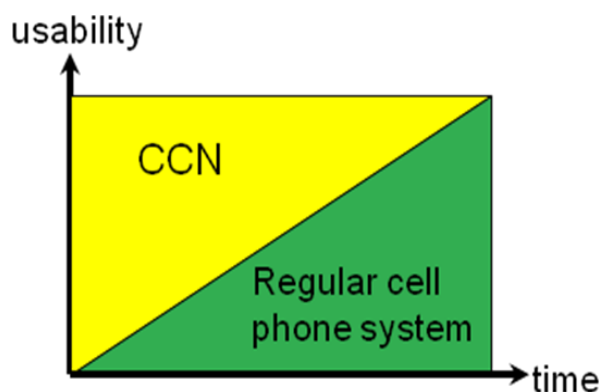


圖 3-8、應急通訊系統使用時機

3.3、CCN 可行性分析

我們利用原有基地台建構應急通訊系統的方式具有下列幾項優勢：

- I. 一般民眾逃難時，多半攜帶手機，如能救活基地台，讓受困與救災人員立即恢復通訊能力，效益極大。
- II. 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。
- III. 這些基地台都已在災區內，不會因為交通因素導致設備因道路、橋梁的中斷無法進入災區，延誤建構應急通訊系統的時間。
- IV. 額外設備（緊急修復包）重量極輕，可以用直升機空運或空投。

- V. 基地台的拓樸，多半經過精心設計，地點絕佳，不需耗時費力選擇無線電基站地點。
- VI. 基地台之間距離不遠，且都在高處，不虞視線受阻，容易用簡單的無線電設備互連。
- VII. 手機普及率非常高，使用者可直接用既有手機不需改裝即可通訊，且使用者不需訓練，只要會使用原有手機即可使用（但通訊功能僅限於救災使用）。

3.4、通訊模式

3.4.1、災區通訊型態分類

我們將災區通訊依通話功能大概分為四類，分別為急難救助、災情回報、救災相關和互道平安。詳細分類如表 3-1 所示。依急迫性由高而低排序，依序為急難救助、災情回報、救災相關和互道平安。

表 3-1、災區通訊需求分類

通話分類	通話功能	發/受話端		說明
1	急難救助	受困人員	→ 災區（外）民眾 緊急救難人員 緊急救難中心	受困民眾對外求援之用
2	災情回報	受困人員 災區居民 緊急救難人員	↔ 緊急救難中心 ↔ 緊急救難中心 ↔ 緊急救難中心	各地災情狀況之回報、傳達
3	救災相關	緊急救難人員 ↔ 緊急救難中心 緊急救難人員 ↔ 緊急救難人員 緊急救難中心 → 受困民眾/災區居民 災區（外）民眾 → 緊急救難中心		救災資源分配、指揮調度、救災人員追蹤以及二次災害之預警等
				A 緊急醫療救護及協助
				B 醫療設備、器材、人員之調度
				C 緊急救難機具及設備調度
				D 二次災難預警廣播
				E 受災民眾協尋作業
				F 救援物資之協調、調度、補給、發放
				G 緊急救難人員調度、狀況回報
				H 後續就醫治療及照護
4	互道平安	受困民眾/居民 受困民眾/居民 緊急救難人員 緊急救難人員	↔ 災區居民 ↔ 災區外民眾 ↔ 緊急救難中心 ↔ 緊急救難人員親屬	脫困人員報平安、災區外人員詢問災區內民眾狀況

3.4.2、 CCN 通訊模式

經分析災區通訊需求，我們規劃了數種通訊模式：**一般模式**，**無線對講機模式**，以及**群組通訊模式**。

- **一般模式 (Ordinary Mode)**

此即原本的行動通訊模式，在 CCN 服務範圍內的手機可與 CCN 內外任何電話通訊，使用者不須進行任何設定，即可如常使用這個模式。但此種通訊模式必須佔用寶貴的連外資源，因為此類通訊必須經過交換機進行交換，必須使用 HLR/VLR 等資料庫，所佔用的 CCN 資源非常可觀。必須配備具有差異化優先等級的允入控制，方能有效運用寶貴的資源。

- **無線對講機模式 (Walkie-Talkie Mode)**

在正常運轉下，基地台都可以擁有上百個無線電頻道供使用者使用，而在 CCN 裡面的基地台所獲配的頻寬通常將遠低於所獲配的無線電頻道，造成頻道之閒置，無線對講機模式利用閒置的頻道讓 CCN 服務範圍內的手機在同一基地台涵蓋範圍內進行廣播通話（一對多），而不必使用連外頻寬。

無線對講機模式對災區內的使用者特別有用，因為志願救災人員以及受困災民彼此之間並不熟識，無由得知欲通話對象之電話號碼，故沒有限定接收者的廣播模式非常適合災區使用，在緊急中也免去撥號碼的不方便，受困民眾更可能是在黑暗中，或困在狹小空間中，無法方便撥號。因此，這個模式相當有用。以下是幾種可能的方式，讓不熟悉此操作模式的使用者瞭解並啟動此模式：

- **由 119 轉告**

一般民眾在緊急時，最可能撥的號碼是 119，但在災區內，連外的 119 也可能不通。當 CCN 建置完成後，可以在災區內設立 119 專線（稱為 CCN-119，以與正常 119 區別），就近處理求援電話。可由 CCN-119

轉告使用者，例如：撥一個特定的號碼，(例如 118)，即可將手機轉變成無線對講機。

■ 國家指定特殊緊急號碼

為了減輕 CCN-119 的負擔，以及節省使用者的時間，可由國家指定一個特殊緊急號碼（例如 118）並廣為散佈，不過，因為此種號碼很少有使用的機會，民眾不易熟記，也浪費了一個國家編碼，因此國家願意為救災而採用此方式的意願不得而知。

■ 由 CCN 基地台傳送簡訊到服務範圍內所有手機通知撥號方式

此法很容易實行，可是受困的使用者如果不方便讀取簡訊，將會錯失與救援人員聯繫的機會。

● 群組通訊模式 (Agency Mode)

災區中，大量的救災通訊都具備幾個共同特色：

■ 彼此不知電話號碼，也沒有時間記憶或記錄對方號碼

災害發生初期，大部分依靠在地的志願性救災人員，臨時組成的團隊，彼此不知對方的電話號碼，而且在兵荒馬亂之中，亦無時間記憶，也很可能不方便將電話號碼存入手機之中。

■ 大部分的通訊是對特定角色，而非特定個人

例如：向任一個骨科醫生求救、需要某型血液進行輸血急救、需要重機械支援、需要油壓剪切斷鋼筋、向指揮中心回報狀況...等。這些通話對象，均非特定個人，而是一個特定角色。

■ 緊急程度較高，且各有不同

上舉數例都是緊急任務，比一般電話較為緊急，但彼此緊急程度則有所不同。

由於以上的特點，我們規劃了**群組通訊模式**，遵循以下數個原則：

- 群組通訊模式內不同的群組各自負責不同的任務，這些不同的群組稱為 agent group

- 每一個群組，指定一個代表號，各群組有優先順序，代表號則於災區廣為宣傳
- 每一個群組的成員註冊其電話號碼及所屬群體
- 呼叫某一群組時，該群組所有成員的手機都會接到來電訊號
- 受話群組的任一個成員可以承接呼叫

註冊成員的電話號碼，將記錄於 CCN 資料庫中，CCN 的管理者可根據各個群體的優先次序進行允入控制，此外，在允入一般模式的電話時，也可根據這個資料庫決定各個電話號碼的優先度。群組通訊模式利用閒置的頻道讓 CCN 服務範圍內的手機可與 CCN 內任何受話群體內的任一個成員通話（非廣播通話），無論呼叫者和受話者是否在同一基地台的涵蓋範圍之下。呼叫某一群體時，該群體所有成員的手機都會接到來電訊號，受話群組的任一成員可以承接呼叫，當群組內任一成員承接呼叫後，呼叫者即可和該成員進行通話，而此時群組內其他成員的手機的來電訊號即會消失（一對一）。

此外，如果 CCN 無法取得 HLR 的資訊時，各行動台（手機）原先的電話號碼在內部無法被 Terminate，換言之，原有電話號碼在 CCN 內部是無效的。為解決此問題，CCN 管理人員可以臨時指派號碼給使用者。而號碼的指派，可參考國家編碼計畫，採用 12 或其他 1 字頭的三位或四位號碼，以簡化撥號。CCN 臨時指派號碼可透過現場公告、簡訊或 CCN-104 查號等機制提供給 CCN 服務範圍內的使用者查詢使用。

3.5、CCN 功能架構

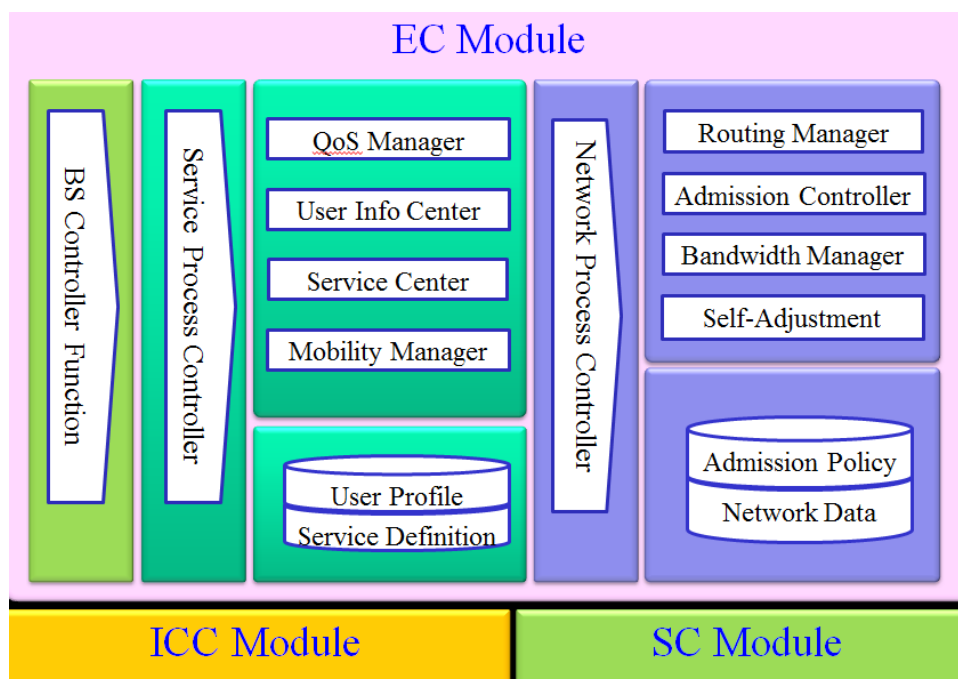


圖 3-9、CCN 功能架構

CCN 功能架構如圖 3-9 所示，EC Module 內各元件的功能詳述如下：

- **服務流程控制器 (Service Process Controller)：**服務流程控制器和相關的功能元件相互合作，提供使用者服務。
- **用戶個人資料 (User Profile)：**記錄一些用戶資訊，例如手機號碼、IMSI、agent、service level agreement (SLA) 等。
- **服務定義 (Service Definition)：**定義 CCN 通訊模式提供服務的流程及其功能。通訊模式可以被新增或修改藉由新增或修改它的服務定義。
- **虛擬 BSC (BS Controller Function)：**處理基地台之間的通訊協定和將信號及資料轉換到 VoIP 封包之中。現今的行動網路是由多家電信公司的基地台組成，電信公司的軟體和硬體更新時，若 EC Module 沒有立即更新，可能無法正常的運作。EC Module 是一種應急設備，並沒有充裕的資金及資源供 EC Module 不斷的進行更新。為了確保 CCN 能夠有效發揮功能，我們使用虛擬 BSC 來處理基地台間的連線問題。當基地台更新後，只需更新虛擬

BSC，其他的功能元件則不需改變。

- **服務中心 (Service Center)**：依據 CCN 的三種通訊模式 (Ordinary、Walkie-Talkie、Agency Mode) 對映服務定義提供通訊服務 (如：Call Set-up、Call Management、Call Terminate …等)，以滿足使用者通訊需求。
- **用戶資訊中心 (User Info Center)**：負責管理用戶的身份。用戶資訊中心將使用者分成兩類，一種是擁有戶資訊的 agent group 成員以及沒有用戶資訊的匿名使用者。當匿名使用者連接到 CCN 時，用戶資訊中心會預設他的 agent group 及 SLV 並且將這些用戶資訊記錄下來。
- **QoS 管理員 (QoS manager)**：負責決定通話品質。由於不同的通話會有不同的緊急程度，因此我們根據緊急程度提供不同的通話品質，越急迫的通話獲得越大的頻寬以提供更好的服務品質，反之亦然。通話的緊急程度由發、受話者事先註冊的 agent group 決定。若發、收話者雙方事先並未註冊，則將會優先考慮那些已經註冊的成員。根據通話的迫切性給予不同的頻寬主要的目的是希望能夠再不影響救災效率的前提下，盡可能的提供更多的通話服務。
- **行動管理員 (Mobility Manager)**：負責管控 CCN 所有使用者位置，並在通話建立時，負責提供發/受話者目前所在的位置。
- **網路流程控制器 (Network Process Controller)**：網路服務流程控制器和相關的功能元件共同合作提供服務。
- **網路資料 (Network Data)**：記錄一些網路的相關資訊，例如網路的拓撲、頻寬分配的狀況以及頻寬的利用率等。
- **允入政策 (Admission policy)**：記錄網路資源的允入政策，例如鄰台間的頻寬分配等。
- **允入控制器 (Admission Controller)**：災區中的通話量遠超過平時的通話量，應急蜂巢式行動網路的負載量遠小於一般的公共網路，難以處理大量湧

入的通話，因此並非所有的通話都能夠被接通。允入控制器根據允入政策進行允入管控。

- **路由管理員 (Routing Manager)：**負責規劃管理網路拓撲以及轉送路徑。CCN 相關人員在緊急維修規劃期會先進行網路拓撲規劃，接著系統在緊急服務運轉期會根據災區通訊需求進行動態調整網路拓撲，以達到最大救災效益。
- **頻寬管理員 (Bandwidth Manager)：**負責分配及管理無線頻寬。由於資訊需透過鄰台間轉送，因此每個基地台能夠使用的頻寬數量需要合理的分配，以滿足救災需求，避免基地台的頻道數量分配失衡。系統透過頻寬管理員，根據 CCN 相關人員在緊急維修規劃期所做的規劃進行分配。如果這個工作沒有做好的話，某些基地台的頻寬可能會被轉送的話務給佔據住，無法提供通訊服務。最糟糕的情況是所有的頻寬都被一些受災輕微的區域給佔據使用，造成受災較嚴重的區域可能會獲得不到任何的頻寬。為了達到最佳救災效益，必須合理的分配每個基地台所能使用的頻寬數。
- **自我調整 (Self-Adjustment)：**當網路環境變動時，負責重新規劃網路拓撲及分配頻寬資源。

3.6、CCN 服務流程

根據元件的功能，我們將 CCN 提供服務的流程分為三個層面，如圖 3-10~12 示，分別為存取用戶、服務程序、網路服務。用戶存取負責與終端用戶之間的溝通；服務程序負責處理用戶的請求；網路服務負責網路管理和資料數據的傳輸。

在本節介紹了一般模式、無線電通訊模式和群組通訊模式三種通訊模式提供服務的流程，一般模式建立服務的流程描述如下：

STEP 1~3 存取用戶：當發話者撥打電話時，虛擬基地台控制器（BSC）會將發話者的請求連同發話者、受話者雙方的電話號碼一起傳送至服務程序層。

STEP 4~5 服務程序：在這個階段服務流程控制器和相關的 EC Module 功能元件會負責處理使用者的呼叫請求。首先，系統從用戶資訊中心查詢到使用者的個人資訊。然後，系統利用服務中心針對不同的呼叫請求提供相對應的服務程序，接著，系統利用行動管理員找到受話者的位置，若是群組通訊模式，會找到 K 個相鄰的群組成員。再來，系統會透過 Qos 管理員根據發、受話者的用戶資訊來決定通訊品質，最後，系統將通話請求連同發、受話者的用戶資訊、通訊的品質、以及受話者的位置一起傳送到網路服務層。

STEP 6~8 網路服務：在這階段網路服務控制器以及 ICCC Module 相關的功能元件共同合作提供網路服務。首先系統透過路由管理員查尋出轉送路徑，接著頻寬管理員會透過允入控制器根據頻寬使用率以及通話的緊急程度評估這個通話請求，如果這個通話請求被准許了，頻寬管理員會分配這個通話所需要的頻寬，最後通話請求會透過長距離的無線設備以多重跳接的方式轉送到目的地的基地台。

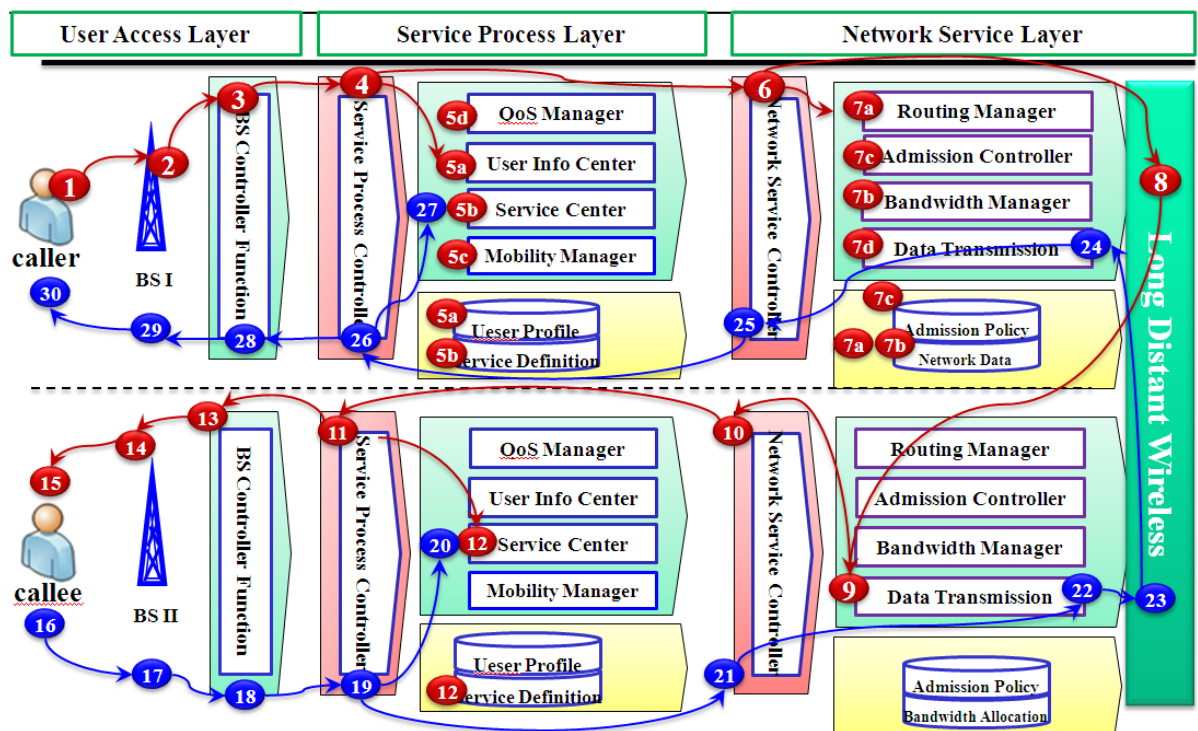


圖 3-10、一般通話模式通話建立流程

STEP 9~10 網路服務：系統透過多重跳接的方式將通話請求傳送到目的地。

而網路服務控制器則會將通話請求轉送到服務程序層。

STEP 11~12 服務程序：服務流程控制器透過服務中心查詢出服務的項目為何，並且根據查詢的結果提供服務。

STEP 13~15 存取用戶：服務流程控制器透過虛擬基地台控制器送出一個信號給受話者，此時受話者的手機會響起。

STEP 16~30 建立通話：當受話者接起電話後，系統會送出一個認證給發話者並且在發話者和受話者之間建立一條虛擬的通道。

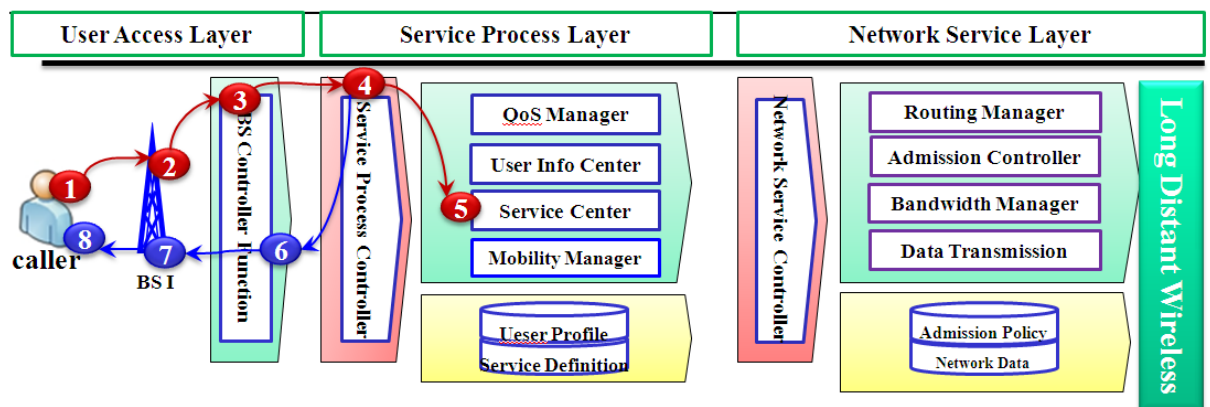


圖 3-11、無線電通訊模式通話建立流程

無線電通訊模式建立通話的流程如圖 3-11 所示。STEP 4~5，服務流程控制器接收到通話請求後，系統會透過服務中心辨識通話請求的種類。若通話請求為無線電通訊模式，此時系統會透過服務流程控制器會將發話者加入無線電通訊群組。由於無線電通訊模式是在相同的基地台之下使用，因此發話者的聲音會透過虛擬基地台控制器被廣播到無線電群組內的其他成員，不須透過長距離無線電設備轉送。

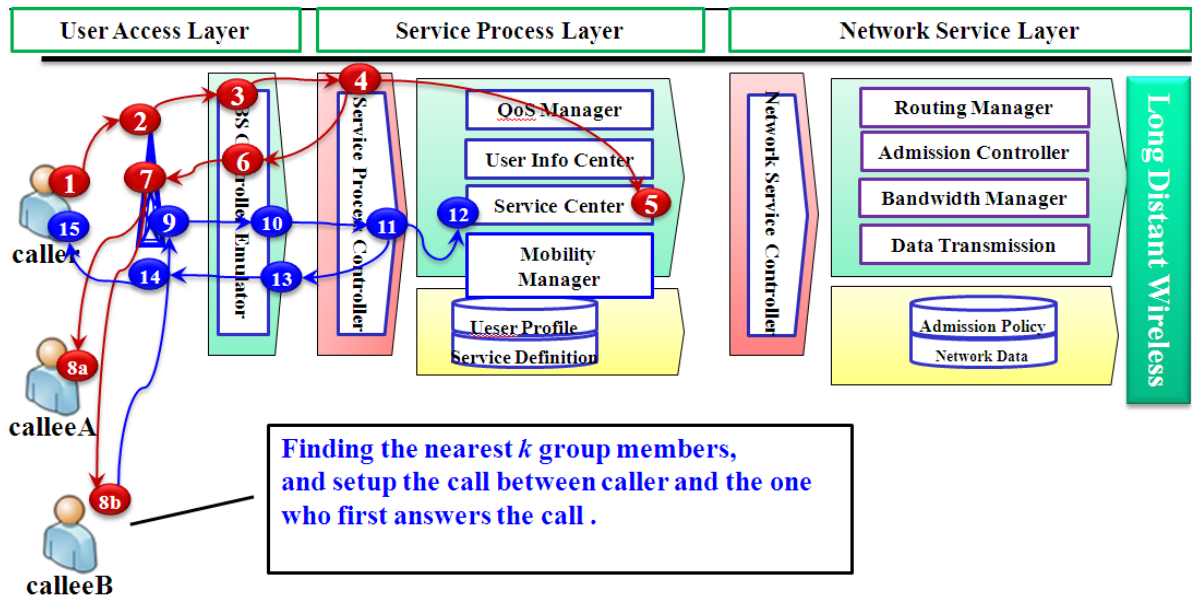


圖 3-12、群組通訊模式通話建立流程

群組通訊模式建立通話的流程如圖 3-12 所示。STEP 4~5，服務流程控制器透過服務中心辨識通話請求的種類並且找出受話群的組成員。若群組內成員都在同一個基地台下時，系統會將通話請求廣播至所有的群組成員。接著當群組內某個成員接起電話時，系統就會在發話者和這位成員之間建立通話。若群組內成員並不在同一個基地台下時，此時系統送出通話請求的程序則如圖 3-10 所示。

3.7、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如下：

- **第一階段：災情評估（Damage Assessment Phase）**

STEP 1 天災發生，導致基地台電力中斷或網路連線中斷

STEP 2 偵測損害情形，如有內建自動化建構機制，則啟動自我修復

STEP 2.1 基地台偵測到電力中斷，則切換至備用電源

STEP 2.2 基地台偵測網路連線中斷，找出訊息轉送路徑（Auto configure），重建與 RNC 之間的連線

STEP 3 回報損害原因與無線連線涵蓋範圍內的基地台至控制中心

STEP 4 繼續提供通話服務，直到備用電力用完為止

- **第二階段：緊急維修規劃期（CCN Planning Phase）**

STEP 1 選定欲建構 CCN 之災區

STEP 2 蒐集統計並評估受損狀況，確定孤立台與連網台

STEP 2.1 規劃最佳之無線連線網路拓樸

STEP 2.2 根據載具所能攜帶的緊急修復包的數量，排定基地台修復次序

STEP 2.3 規劃修復路線

STEP 2.4 進行基地台之修復

STEP 3 進行頻寬分配

STEP 4 決定服務（通話服務、數據通訊服務、簡訊服務）開放策略以及允入政策

- **第三階段：緊急維修建置期（CCN Deployment Phase）**

STEP1 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（CCN Operation Phase）**

STEP 1 基地台依服務開放策略，提供允許開放的服務

STEP 2 CCN 電話號碼指派，各救災群體註冊號碼

STEP 3 依頻寬分配策略，實施允入控制，提供服務

3.8、重要研究議題

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，需整合現有基地台運作流程才可實現。而整合方法可分為二種：嵌入式與外接式。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，如採用嵌入式的作法，成本和技術門檻高，難以說服行動通訊業者採納。反觀外接式的成本和實作技術門檻則遠低於嵌入式，行動通訊業者不需大幅變更系統即可配合，因此配合意願較高，較符合應急通訊系統的需求，避免業者之抵制。

但新一代的系統，如 LTE，已將應急通訊納入系統設計的考量[35]，大幅

降低使用嵌入式所需的成本和技术。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术門檻，增加 CCN 網路實現之可能性。

- **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。好處是災害來臨時，可立刻啟動運轉，在災害發生之初期立即發揮功能支援搶救工作。缺點為需大量修改現存基地台，大幅增加建構成本，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 EC Module）來提供新功能。好處是設備數量大幅減少，不需更改現有基地台。缺點是必須在緊急時運送至災區建構，耽誤災區的搶救工作。

建構 CCN 網路需克服之挑戰如下：

- **整體網路拓樸規劃：**此為首要議題。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，因而其中跳接點的選擇、網路拓樸的規劃將決定整個網路的效能、救災效益和穩定度。在設計 CCN 拓樸時，我們將依據 CRP 的數量，選擇數個救災效益大的孤立台佈建 CRP，並藉由多重跳接的方式連接後端網路，以恢復通訊。救災效益需考量的因素有災區緊急或受災輕重程度、投入救災人員的數量等，而設計策略需將救災效益最大化並適當地分散流量，避免建立負載量不均衡、跳接點過多的網路拓樸，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，避免話務集中在某些網段，造成網路提前壅塞。如此便可在有限的資源下提供最大的通話量，並可避免網路壅塞和維持網路的穩定。
- **建構排程：**由於災區的交通系統可能癱瘓，因此 CCN 的建構需視各種運輸能力與建置人員數量而規劃，以派送建構 CCN 所需的 CRP 資源。由於各個

地方受災情況不盡相同，CCN 的建構順序也須辨明輕重緩急依序建構，如何在網路拓樸已知情況下決定 CCN 建構排程，以達到最大的救災效益，即為建構排程意義所在。

- **頻寬分配：**CCN 網路中基地台分為連網台以及孤立台，當孤立台提供服務時，因資料需透過鄰台轉送，各節點所需頻寬包含發自本地基地台的流量以及為鄰台轉送的流量。考量 CCN 頻寬資源有限，且各地災情嚴重程度不同、緊急程度不同、使用者話務功能重要性不同、通訊品質需求不同，在最大化救災效益的前提下快速妥適的分配有限之頻寬，讓每個基地台分配到的頻寬資源符合救災通訊需求，避免分配失衡。頻寬分配方法將於第四章詳細敘述。
- **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，即使這兩部手機位於同一基地台的服務範圍內也是如此。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，如前所述，連網台對外的頻道數極為有限，在 CCN 多重跳接且連網台連外頻道極為有限的情況下，各孤立台能分配到的實際連外頻道數，必遠低於其裝備所能支援的頻道數量，因此，各孤立台將會有大量的剩餘閒置頻道。而救災通訊裡通話數需求最大且最為重要的是災區內部通訊。救災人員之間常有頻繁的通話需求。因此，建立 Intranet 的通道，讓同屬同一基地台信號範圍內的手機之間，可以利用閒置無線電頻道彼此互通，在不佔用連外頻道的情況下，支援類無線對講機的通訊模式，提升整體通訊系統的利用率與可用性，對救災人員之間的溝通協調將有極大的幫助。
- **基地台介面整合：**CCN 利用蜂巢式行動通訊網路原有的基地台設備，另外介接具有運算處理能力的 EC Module，以達到提供行動裝置通訊服務的目的地。因此這些外來設備必須無縫地與基地台介接，包括各種通訊協定，以確保基地台可恢復運作。
- **允入政策制定：**允入控制讓系統依據特定條件，選擇性地接受使用者請求，

其作用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；二是安排優先次序，確保重要性高的請求可以優先使用。災區通話量為平時的數倍且應急通訊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。在 2005 年倫敦地鐵車站爆炸事件，原是屬於小區域局部傷亡事件，不應該造成通訊系統癱瘓，但爆炸發生後，公眾電信網路話務量急遽增加，大量使用者同時撥著電話確認親友平安，且佔線時間過長，影響到倫敦地區的通訊網路運作和政府搶救工作執行。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，將更有利於災區救援的進行，因此具有優先等級控管能力的允入政策是一個主要研究議題。

- **自動化建構：**救災分秒必爭，若能事先規劃並架設好 EC Module 和無線連線設備（ICC Module），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 EC Module 和 ICC Module，位於受災風險高之區域可考慮使用嵌入式設計，當災害發生時，孤立台在失去備用電力之前即可啟動自動化建構程序，利用分散式演算法（例如分散式 Minimum spanning tree）的方式自動建構一個初期的 CCN，協助第一時間的救災工作及收集各種資料，直到電源耗盡，所收集到的資訊將可加速第二階段 CCN 的建構。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系數高，較一般基地台更適於擔任連網台。
- **跨網路 CCN（使用不同電信公司基地台共建 CCN）：**災害來臨時，各行動通信公司的網路可能支離破碎，同一家電信公司倖存的孤立基地台可能無法

順利連接成一個可用的 CCN，如果聯合各家公司的基地台，順利建成 CCN 的機會大幅增加，但是跨網路 CCN 的技術挑戰更艱鉅，尤其是控制信令將需要大修改，更是加倍的困難。

第四章、CCN 群組通訊系統設計

CCN 群組通訊模式 (Agency Mode) 的概念，即在 CCN 中提供群組呼叫之功能，使災區內的使用者能與特定群組中的某位成員進行通話，以獲得協助。

群組通訊的具體作法即將當地的救災人員依功能系統化的編為群組 (Agent Group) 並妥善儲存於資料庫中，CCN 管理者將各個群組指配聯絡的代表號 (Agent Identification Number) 於災區內公告並依救災通訊緊急程度設定群組通訊的優先權。群組成員以手機透過行動基地台向系統註冊身份，當災區內使用者有通話需求時，則可以手機撥打群組簡碼方式請求與某一特定群組通話，系統接到通話請求時，經過號碼解析及對映群組資料、呼叫鄰近受話群組成員並在接到應答訊息後，快速接續雙方通話，進入一對一通話模式。如圖 4-1 群組通訊流程示意圖。

為滿足群組通訊之需求，CCN 內建置**群組通訊系統 (Agency Communication System, ACS)** 負責管控群組資料，由 EC Module 功能元件負責通訊處理。歸納群組通訊系統設計項目如下：

- **群組代表號設計**
- **Agent 註冊程序**
- **通訊對象搜尋程序**
- **群組呼叫程序**
- **通話處理程序 (Call Processing)**

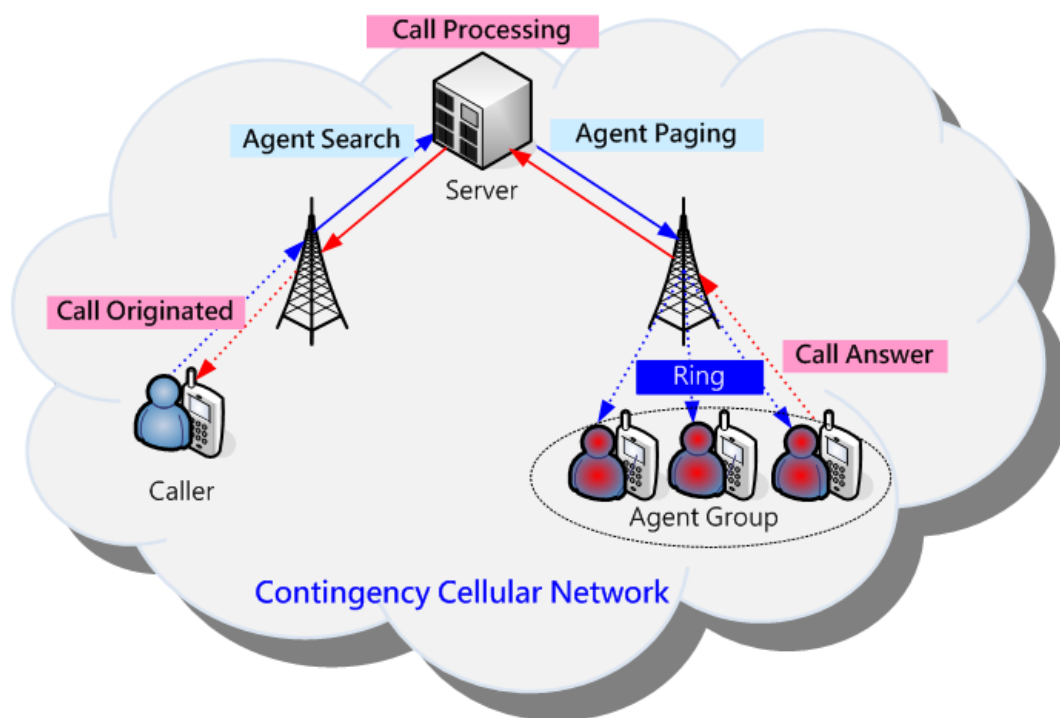


圖 4-1、群組通訊示意圖

4.1、群組資料庫

為建立起群組間通訊，CCN 系統管理者將群組指配唯一聯絡代表號，群組成員利用手機向系統註冊其身份並建立群組資料，由 ACS 以資料庫方式提供群組資料管理，當有通訊需求時可透過代表號對映群組資料以尋找通話對象，並提供資訊給 EC Module 以進行通話處理。

4.1.1、群組通訊實體關係

與群組相關之屬性包括：群組編號、群組名稱、聯絡代表號、群組狀態，與群組成員相關屬性包括：群組成員編號、姓名、使用者行動電話號碼（MSIMSI）及其所屬之群組。群組與成員之間為一對多的關係，即一個通訊群組擁有多個成員，而一個使用者隸屬於一個通訊群組。當有群組通訊需求時，則經由系統呼叫群組並由一名成員應答後，進行一對一之通話。由於 CCN 網內頻寬資源有限且

群組間通訊緊急程度高低不同，因此將一個群組對多個群組間設定不同通話優先權，通訊較為急迫之話務，其優先權較高。通話建立時，依據通訊雙方所屬之群組以決定目前通話的優先權，並以此作為指配通話頻道及服務品質之依據，高優先權話務先行建立通話連線。圖 4-2 依據群組通訊系統的特性及相關連的實體與屬性繪製實體關係模型（Entity-Relationship Diagram）。

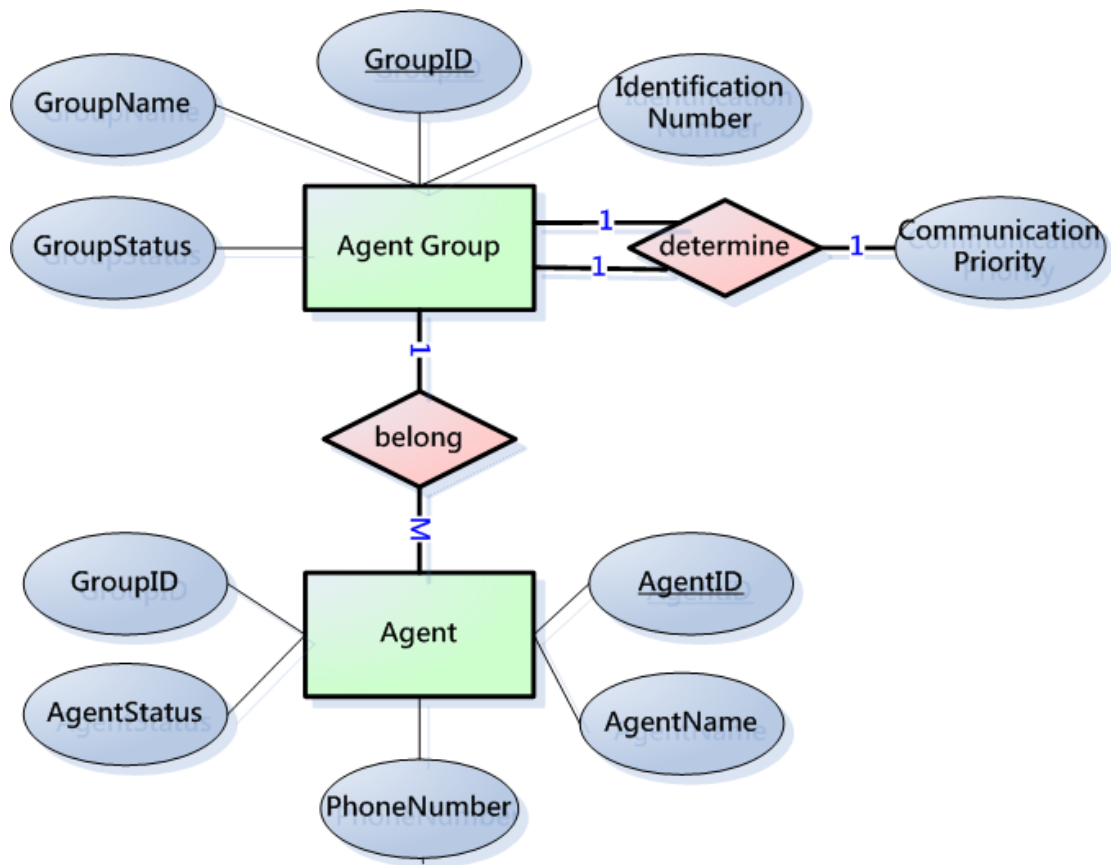


圖 4-2、群組通訊系統實體關係模型

4.1.2、 群組代表號設計原則

在救災通訊之電信號碼格式尚未確定前，群組代表號的設計應符合以下原則：

- 在緊急聯絡的情況下，群組代表號的設計應考量到可快速撥打，以簡碼代替繁雜的行動號碼。
- 為日後與國家電信網路編碼系統銜接，應以符合 E.164 電信網路編碼規則且避免與國家開放特碼衝突。

- 為使用戶容易記憶，號碼應具有緊急識別之效，依據國家電信網路編碼計畫規劃 1 字頭用於特殊服務（如：110、119、112 緊急電話）（表 4-1）。
- 為因應群組之擴充，碼長須能足夠指配給所有群組，依表 4-2 所整理 1 字頭中長期編碼內容，目前尚未核配使用之特碼為 13、15、17 開頭部份字碼，編碼做四~五碼，總共可提供 300~3000 個號碼。

表 4-1、長期電信編碼格式（E.164）規劃表

首字頭	用 途
0	國際服務、長途服務、行動服務及智慧虛擬碼撥接服務
1	特殊服務
2~9	市話服務

（資料來源：國家通訊傳播委員會全球資訊網）

表 4-2、1 字頭中長期編碼內容

字頭碼	服務類別	說明
10	固網業者共同推出之服務	三碼電話（如 100、104、105）
11	緊急電話服務	三碼電話（如 110、117、119）
	公眾電話服務	
12	固網業者個別服務	碼長不定
	固網業者維運號碼	
13		保留
14		號碼可攜服務網路識別碼
15	(151~9)	保留
16	緊急電話服務	三碼電話 (如 166、167、168)
	公眾電話服務	
17	(170~6,8~9)	保留
18	撥號選接服務網路識別碼	為四（五）碼格式 (18XY (Z))
19	公眾諮詢	1.非營利性質 2.四碼格式 (如 1950、1995)
	公眾救助	
	慈善服務	

（資料來源：國家通訊傳播委員會全球資訊網）

以 13 字頭搭配群組編號為例，利用本文所彙整之救災任務分組表（表 2-2）設計群組代表號，前面字首二碼為 13，後二~三碼為群組編號，總碼長為四~五碼（如表 4-3），群組代表號碼及通訊用途（如表 4-4）所示。為因應某些群組細部分類（如表 4-5）較多，所以多建一碼以備用，使用者可視實際需求選擇撥號，例如：尋找醫療衛生組成員未指定細部分類，直接撥打 1320（四碼），則其群組底下的成員皆被呼叫，若指定重傷治療則撥打 13202（五碼），則屬於重傷治療組的群組成員才會接到來電之訊號。

表 4-3、群組代表號碼長分配

13	XXX
特碼字首（2）	任務群組（2~3）
總碼長:四~五碼	

表 4-4、群組代表號碼（四碼翻譯）及通訊用途

群組分類	代表號	用途
緊急救難中心	1300	救災任務確認及訊息回報
搜索救援組	1310	請求人命搜救及緊急搶救調度支援
醫療衛生組	1320	請求醫療救護、辦理環境衛生消毒調度支援
支援調度組	1330	請求調派人力、機具等資源
水電維生組	1340	聯絡辦理自來水、電力、電信、瓦斯、油料搶修調度支援事宜
交通工程組	1350	聯絡災區交通運輸之維護事項
收容安置組	1360	聯絡緊急安置所分配事項
災情監控組	1370	通報災情及處理事項

表 4-5、細部群組代表號碼（五碼翻譯）

群組分類	代表號	細部群組分類
搜索小組	13101	搜索指揮官
	13102	搜救犬專家
	13103	技術搜索專家
救援小組	13104	救援指揮官
	13105	救援小隊
	13106	重機械專家
醫療衛生組	13201	檢傷醫療組
	13202	重傷治療組
	13203	輕傷治療組
	13204	醫療派遣組
	13205	發送勤務組
	13206	衛材供應組
衛生小組	13207	防疫組
	13208	環境保護組
計畫小組	13301	計畫組長
	13302	資訊處理專家
	13303	結構專家
	13304	危害物質專家
後勤小組	13305	後勤組長
	13306	後勤專家
	13307	通訊專家
水電維生組	13401	搶修工程組
	13402	調度支援組
交通工程組	13501	物資運輸組
	13502	設施管理組
	13503	交通秩序維護組
收容安置組	13601	緊急安置所
	13602	救災物質配送組
災情監控組	13701	資源監控組
	13702	狀況分析組
	13703	文件管理組

群組聯絡代表號建立後，可透過以下幾種方式在災區中公告：

- 製作大字報張貼在村里辦公室公佈欄或以宣傳車廣播的模式公佈。

- 透過 CCN 發送聯絡清單簡訊至災區中所有的手機。
- 設置 CCN 群組通訊專線，民眾可直接撥緊急聯絡號碼（如:119），進入 CCN 群組通訊服務系統，以專人或以事先錄製好的語音設定檔指引用戶操作，轉接到指定的群組代表號。

4.1.3、 群組資料庫儲存架構

由於 CCN 群組通訊透過查找群組資料以建立通話連線，因此群組資料之管理變得極為重要，群組資料庫的架構將影響訊息傳遞流量成本、通話連線建立的速度與網路頻寬資源的消耗，以下針對群組資料庫建立提出三種架構分析，分別為集中式、分散式、備援式，以作為群組資料庫建置的考量。

一、集中式架構

即在 CCN 內集中由一個 ACS 負責控管全部的群組資料，所有進入 CCN 網內的手機都向此 Server 註冊，每當各地有通訊需求時，由各個基地台所附建之 EC Module 向 ACS 查詢群組資料。

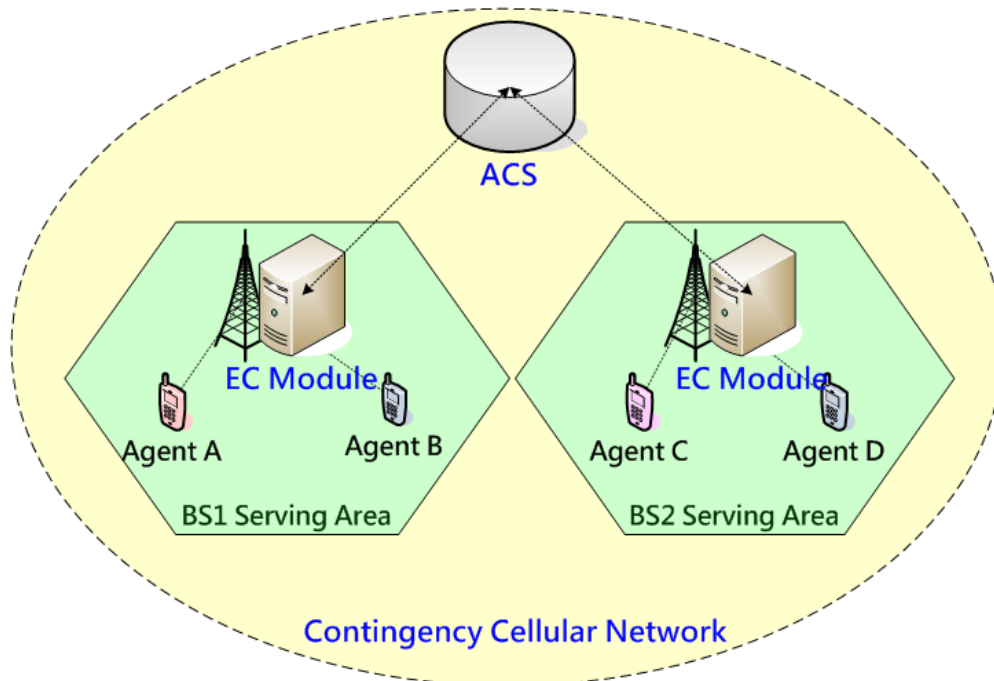


圖 4-3、群組資料儲存-集中式架構

通話建立時，群組資料查詢過程：

1. 發話者發送通話請求之訊息，由其服務範圍之 EC Module 透過功能元件 Mobility Manager 利用群組聯絡代表號向 ACS 查詢群組成員所註冊之手機號碼。
2. Mobility Manager 利用手機號碼向 CCN-HLR 查詢用戶位置記錄以得知目前受話群組成員所處基地台及其區域內 EC Module。
3. 發話端 EC Module 與受話端 EC Module 聯繫，發送連線建立之請求，受話端 EC Module 回應連線確認並呼叫其服務範圍內的受話群組成員。

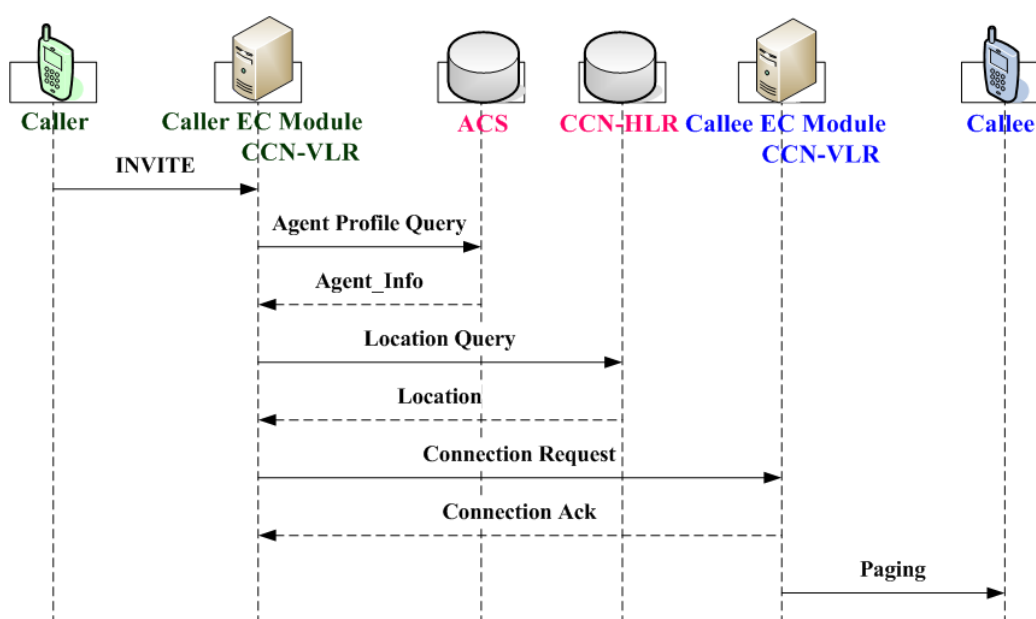


圖 4-4、群組資料查詢流程-集中式架構

集中式的架構，簡化了系統環境的複雜度，可加速資料庫建置時間並降低維護的成本。採用集中式的資料管理，使系統管理者容易掌握所有救災群組的資料，並保有資料的完整性及一致性。但將所有的資料集中在同一部 DB Server 管控須承擔一定的風險，如：當 CCN 網內使用者數目持續增加時，訊號流量及資料庫存取次數也將跟著增加，集中在同一部 DB Server 處理大量的存取需求須考量到是否能夠負擔並能即時提供正確的資料；龐大的資料量也勢必影響存取的速度；當 Server 停機或發生故障時若沒有其他替代方案，將造成群組通訊中斷，大批話務無法處理，將造成網路癱瘓，甚至有影響連外通訊之可能。

二、分散式架構

群組資料分散儲存於 CCN 各地，即在每個佈建 EC Module 的基地台另建群組資料庫，由 ACS 負責管控其下所註冊之群組成員資料並隨時保持與鄰台的 ACS 溝通。當有通訊需求時，EC Module 會先向當地 ACS 查詢群組成員資料，ACS 判斷通訊對象若處於其服務範圍之內，立即回覆給 EC Module，若查詢不到對映的資料時，則轉向鄰台 ACS 詢問。

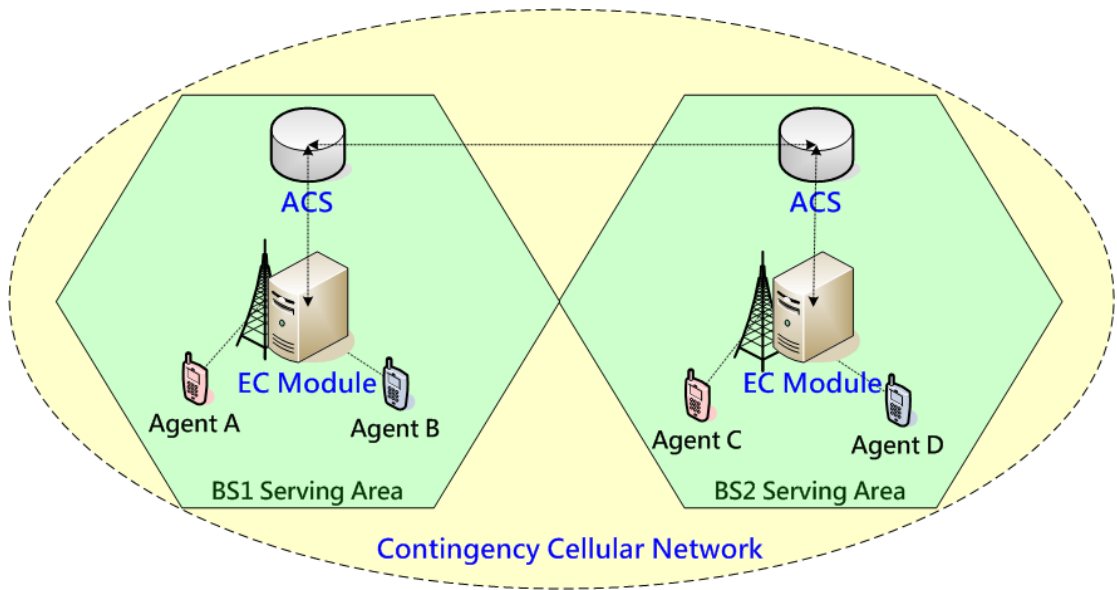


圖 4-5、群組資料儲存-分散式架構

通話建立時，群組資料查詢過程：

1. 發話者發送通話請求之訊息，由服務範圍之 EC Module 向當地 ACS 查詢群組資料，若查詢不到，則以 multicast 方式向其他鄰近區域的 ACS 轉送查詢訊息。
2. 收到查詢訊息之 ACS，若受話群組成員在其管轄範圍內，則回應群組資料。若查詢不到，則將訊息再轉送出去，直到找到受話對象時。
3. 當發話端 EC Module 找到受話群組成員及其位置後，向受話者所在地之 EC Module 聯繫，發送連線請求並呼叫其服務範圍內的受話群組成員。

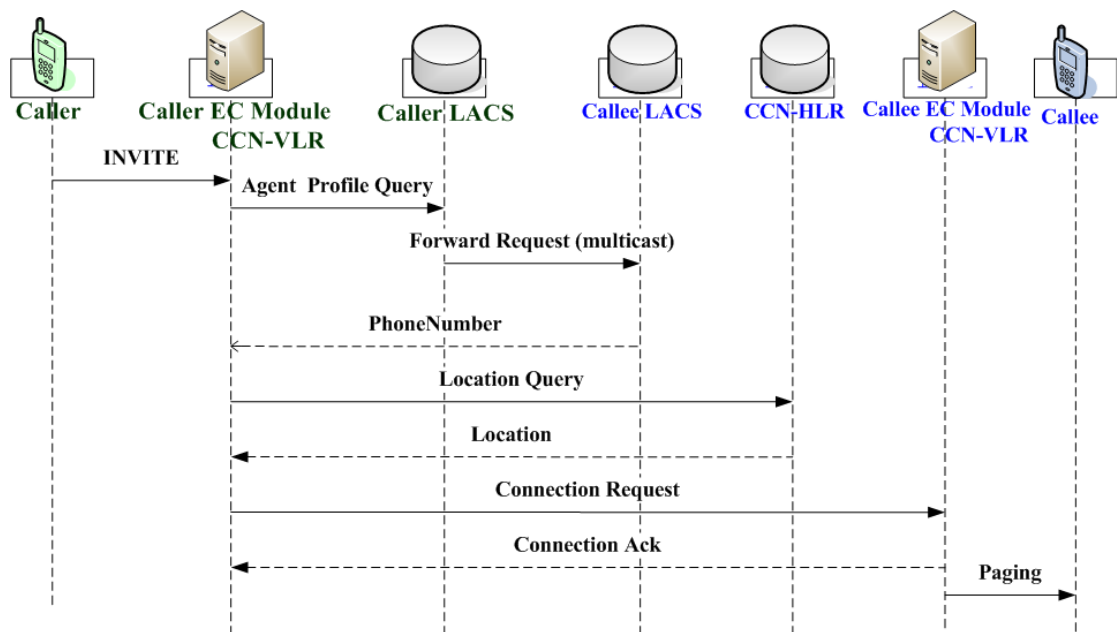


圖 4-6、群組資料查詢流程-分散式架構

將群組資料分散儲存於多處，除了可增加單一資料庫的容量之外，還可分散單一 Server 處理的工作量，改善資料查詢處理的效率；若單一 Server 停機或發生故障時，整體影響通訊的範圍縮小，除了跨區域之通訊外，其內部通訊不受影響仍可正常運作；由當地的 ACS 提供服務，可節省連結至遠處 Server 所產生的通訊成本，但若遇通訊對象非在本地須向其他 ACS 詢問，將花費一定的時間及通訊成本，延遲通話連線的建立；此外，分散式的架構較為複雜，須建置多部 ACS，投入成本會較高。

三、備援式架構

此架構將集中式和分散式架構作漸進式的改良，即將 CCN 依其樹狀網路拓樸結構劃分為多個 Location Area，每個 Area 內有一個連網台及多個孤立台，並於定點設置 EC Module 及一個本地 ACS (Local ACS ,LACS)，負責管控區域內註冊之群組成員資料，在所有 LACS 之上設置 (ACS Supervisor ,SACS)，作為 LACS 之間的溝通橋樑並成為備援群組資料庫，當 LACS 工作負載較為輕時，將群組資料複製一份於備援的 SACS 中。

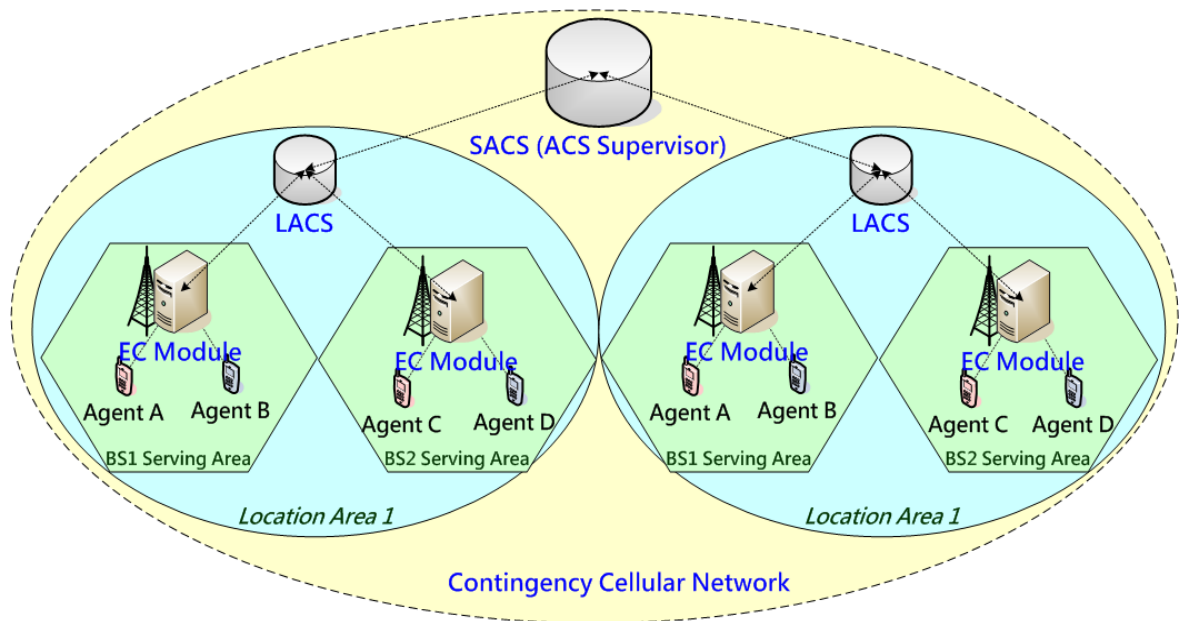


圖 4-7、群組資料儲存-備援式架構

通話建立時，群組資料查詢過程：

發話者發送通話請求之訊息，由所服務範圍之 EC Module 向當地 LACS 查詢管轄內所有群組資料，若查詢不到，則轉向 SACS 查詢，SACS 若無法提供受話群組資料或資料尚未更新，代表受話端 LACS 尚未向 SACS 執行備份程序，則改以 multicast 方式向其他 LACS 查詢。若查詢到群組資料，則依請求訊息發送路徑回覆給發話端 EC Module。當發話端 EC Module 獲知受話群組位置資料時，向受話者所在地之 EC Module 聯繫，發送連線請求並呼叫其服務範圍內的受話群組成員。

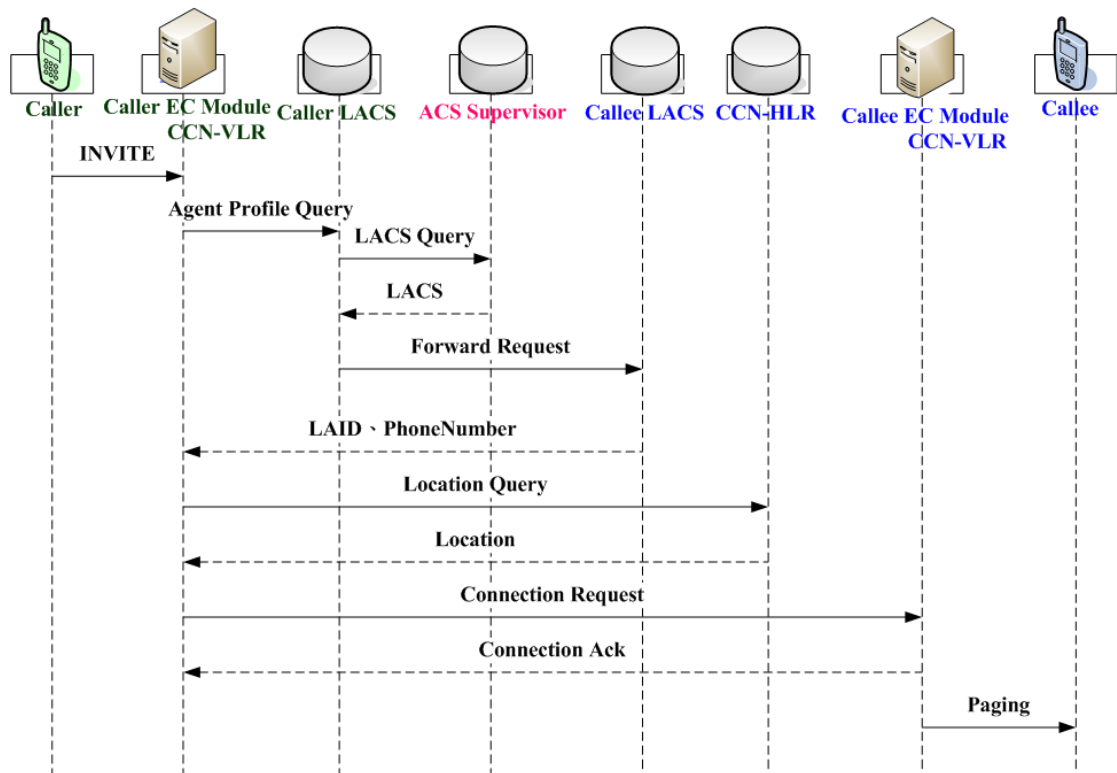


圖 4-8、群組資料查詢流程-備援式架構

此架構保留分散式的架構，另加入備援的概念，將群組的資料備份到另一部 Server（可視需求調整備援 Server 數量），當發生障礙時，則可快速取代原 Server 提供之功能，以免除造成通訊中斷的情形。此外，SACS 備有所有群組的資料，當在 LACS 查詢不到群組資料時，可直接提供資料，減少向其他 LACS 詢問所花費的時間成本及因傳送訊息所產生的額外通訊成本。但資料庫備份的方式須考量到資料的一致性及時效性的問題。

4.2. 通訊服務設計

4.2.1、 Agent 註冊程序

CCN 群組成員利用手機與系統連線以註冊其身份並建立群組資料，當有通訊需求時，則以群組聯絡代表號對映群組資料方式，尋找群組通訊對象，其註冊程序如下：

- **Step1：**群組成員利用手機撥打預設之群組註冊號碼，透過基地台連接 EC Module 功能元件-虛擬基地台控制器（BSC）向系統傳送註冊請求

訊息。

- **Step2：**BSC 收到訊息後，將註冊請求傳送至 Mobility Manager 於用戶資料庫 CCN-HLR、CCN-VLR 中註記目前群組成員所在位置，並將註冊訊息連同手機號碼及其登記所屬群組…等資料送至 ACS 集中處理。
- **Step3：**ACS 依據註冊群組配發成員編號並將群組成員資料妥善儲存於資料庫中。
- **Step4：**完成 Agent 註冊程序，群組成員狀態在 ACS 中註記為待機中。

4.2.2、 群組通訊對象搜尋程序

為了能獲得最快的支援，通話對象應選擇鄰近的群組成員，當發話者撥打簡碼發出通訊請求時，由 EC Module 經號碼解析向 ACS 查詢群組資料後，利用功能元件 Mobility Manager 取得受話群組內成員位置，並依據 Routing Manager 所規劃之 CCN 網路拓樸，依各基地台節點位置查找出目前鄰近發話者的受話群組成員。以下詳述系統搜尋通訊對象之步驟。

- **Step 1、群組資料對映**

系統解析發話者所撥打之號碼獲得群組編號並對映群組資料庫，提供受話群組成員手機號碼。

- **Step 2、群組成員位置查詢**

Mobility Manager 利用手機號碼查詢 CCN 用戶位置記錄，找出受話群組成員目前所在基地台位置。

- **Step 3、取得 CCN 基地台位置**

Routing Manager 提供 CCN 網路拓樸資料，取得各基地台目前在網路上的節點位置及其相鄰節點。

- **Step 4、篩選群組呼叫對象**

對映群組成員所處通訊服務範圍及基地台網路節點位置，依發話與受話基地

台節點位置關係，重覆執行通話對象篩選程序，找出鄰近之受話群組成員，直到篩選出群組成員數到達呼叫門檻數（K 位），其篩選順序如下：

順序 1、同基地台下群組成員

與發話者處於同個基地台服務範圍之受話群成員為優先。

順序 2、鄰近基地台下群組成員

依據基地台網路節點位置，找出離發話者基地台位置最近之受話群組成員。

4.2.3、 群組呼叫及應答流程

當篩選出 K 位目前離發話者最近之受話群組成員後，系統開始進行呼叫，此時，所有被呼叫的群組成員手機都會接到基地台廣播之來電訊號，任一個被呼叫的成員可以視情況承接呼叫，當一名成員應答時，其餘手機則會停止振鈴，系統在設定群組通話優先順序及指配通訊頻道後，建立雙方通話連線，開始進入一對一通話模式。群組呼叫及應答流程如圖 4-9。

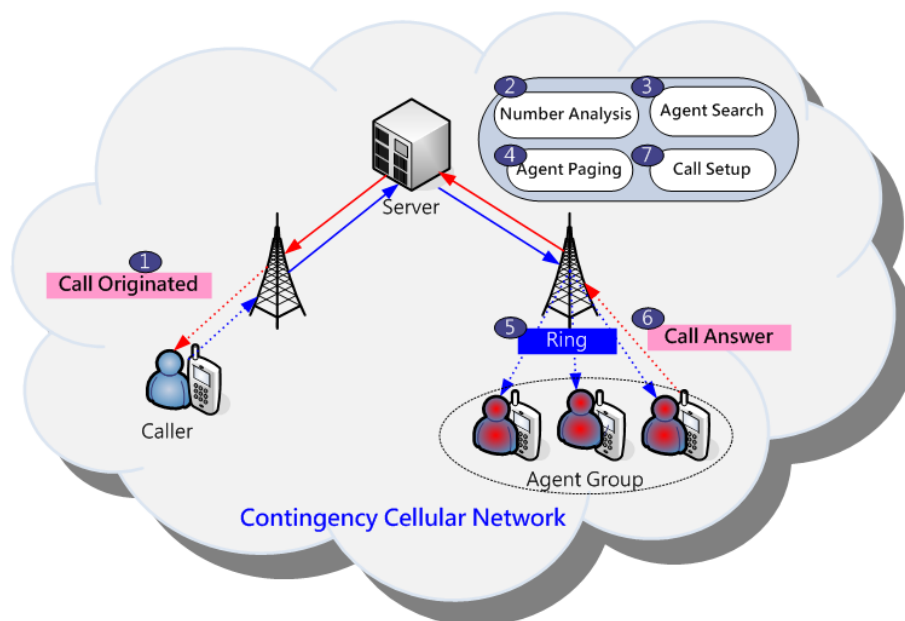


圖 4-9、群組呼叫及應答流程圖

- Step1: 手機撥打簡碼（群組代表號）。
- Step2: 系統快速分析號碼找出所對映之受話群組。
- Step3: 查詢群組內所有成員的手機位置並篩選出 K 位目前離發話者最近的受話群組成員。
- Step4: 系統呼叫受話群組成員。
- Step5: 受話成員手機接到基地台廣播之來電訊號。
- Step6: 成員應答時，其餘手機則停止振鈴。
- Step7: 系統快速接續通話，進入一對一通話模式。

4.3、系統功能規劃

群組通訊服務建構在 CCN 網路之上，採用 CCN 元件 Emulated Controller Module（EC Module）（系統元件架構如圖 4-10 所示）作為通訊處理之核心並設置 ACS 管理群組資料。

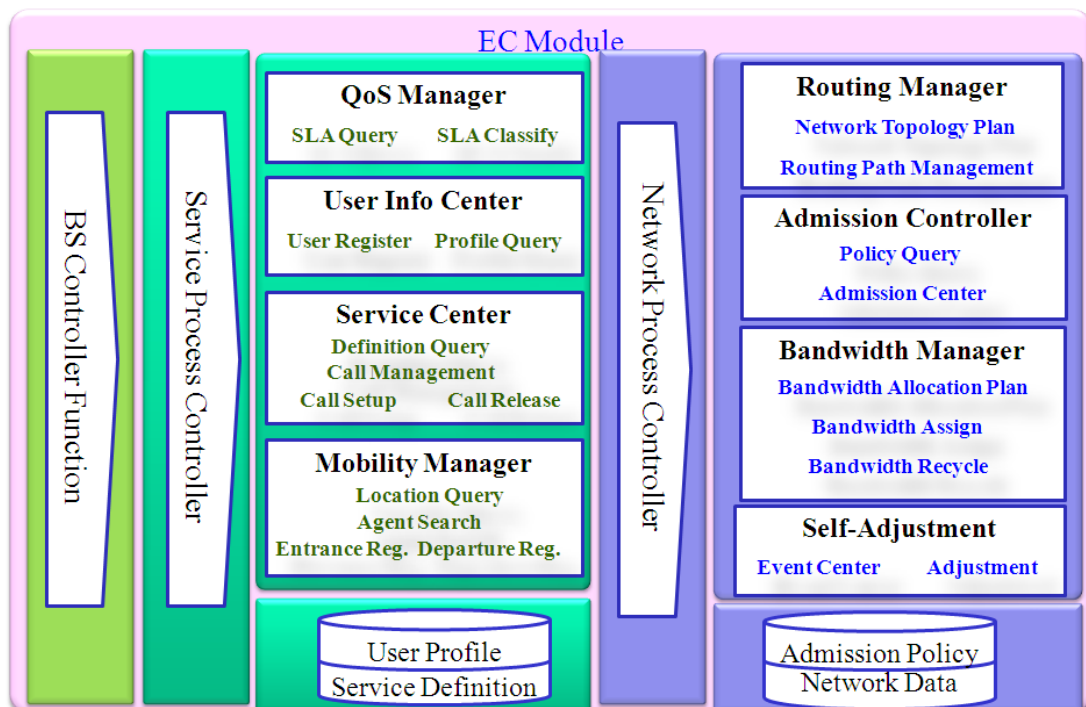


圖 4-10、CCN EC Module 第二層功能元件

4.3.1、 群組資料管理

群組與成員相關資料管理，其功能規劃如下。

- **群組建立與撤銷**

當有新的群組加入時，ACS 負責建立群組資料及指配各個群組聯絡代表號，若有群組臨時撤離災區時，配合異動狀態並在災區內自動發送訊息給使用者知曉以更新群組聯絡資料。

- **群組成員註冊**

註冊時，以手機撥打系統註冊號碼，由 User Info Center 與 Mobility Manager 進行身份及位置註冊程序，並將救災群組成員的手機號碼及其所屬之群組等相關資料登記於資料庫中，由 ACS 負責管控群組成員資料並隨時配合更新狀態。

- **群組資料查詢**

當系統收到通訊需求時，ACS 可依據使用者所撥打之群組代表號提供所對映的群組成員實體手機號碼。

4.3.2、 群組成員位置管理

追蹤群組成員目前所在位置，提供查找鄰近通話群組對象功能，以快速建立群組間之通訊，其功能規劃如下。

- **群組成員位置追蹤與異動**

Mobility Manager 負責定期追蹤群組成員目前所在位置，當群組成員進入或離開基地台服務範圍時，動態更新位置資料。

- **搜尋群組呼叫對象**

當使用者撥打簡碼發出通訊請求時，Mobility Manager 取得被呼叫群組內所有成員位置資料後，依據 CCN 網路拓樸上各基地台節點位置，查找出目前較鄰近發話者的群組成員。

- **群組呼叫控制**

Service Center 透過基地台廣播通道向被篩選出鄰近的受話群組成員，送出來電訊息，群組成員的手機則會同時振鈴，成員可依目前狀態選擇是否承接呼叫，當其中一名成員應答後，其餘手機則終止呼叫，系統則進行通話建立程序。若同一時間內有多名使用者向同一個群組發出呼叫請求時，則依主被叫之群組通訊等級來排定呼叫順序。

4.3.3、 群組通訊服務管理

- **通話連線建立**

Service Center 接收到受話群組成員應答訊息後，立即建立通訊連線並進行通話相關設定，依據主被叫所屬群組向 QoS manager 查詢通訊服務等級，指配通訊頻道與分配頻寬資源，並在通話過程中維持雙方通訊連線的正常。

- **通話終止釋放資源**

當通話結束後，Service Center 將中斷與主被叫之間的連線，並清空通訊頻道及釋放頻寬資源。

第五章、CCN 群組通訊系統模擬

為驗證群組通訊設計之可行性，我們實際建置一套群組通訊模擬系統，因 CCN 群組通訊系統實作，在取得行動基地台資源上較為困難，因此我們將系統改建置在以無線 AP 所構成的區域網路，採用封包交換 (Packet Switching) 技術，內部控制訊息及語音資料以 UDP 封包格式方式傳送，使用者端則以開放性 Android 作業平台手機模擬一般所使用的手機與系統連線，以 VoIP 方式進行通話。

5.1、系統模擬環境

本論文模擬環境如圖 5-1 所示。用戶通訊設備採用 Android 平台之智慧型手機裝載 CCN 群組通訊應用程式 (ACS Application)，透過 Wi-Fi 與模擬行動基地台之無線 AP 聯繫，手機即透過無線 AP 接入通訊服務網路。服務網路端則模擬 CCN 網路環境，使用多台筆記型電腦 (具備 802.11 及 Ethernet 介面網卡)，安裝 CCN 核心元件，包括：EC Module、ICC Module 等，透過傳送無線訊號將彼此連結，形成 Ad Hoc 網路，且透過連接無線 AP，接收由使用者所傳遞之通訊訊號及資料。其中一部筆記型電腦模擬 CCN 連網台，透過 Ethernet 介面連接後端核心網路，以接上公眾網路 (Internet)。另外建置一部 DB Server 模擬 ACS，當有通訊服務需求時以便提供群組資料。CCN 系統元件與模擬設備對映如表 5-1。

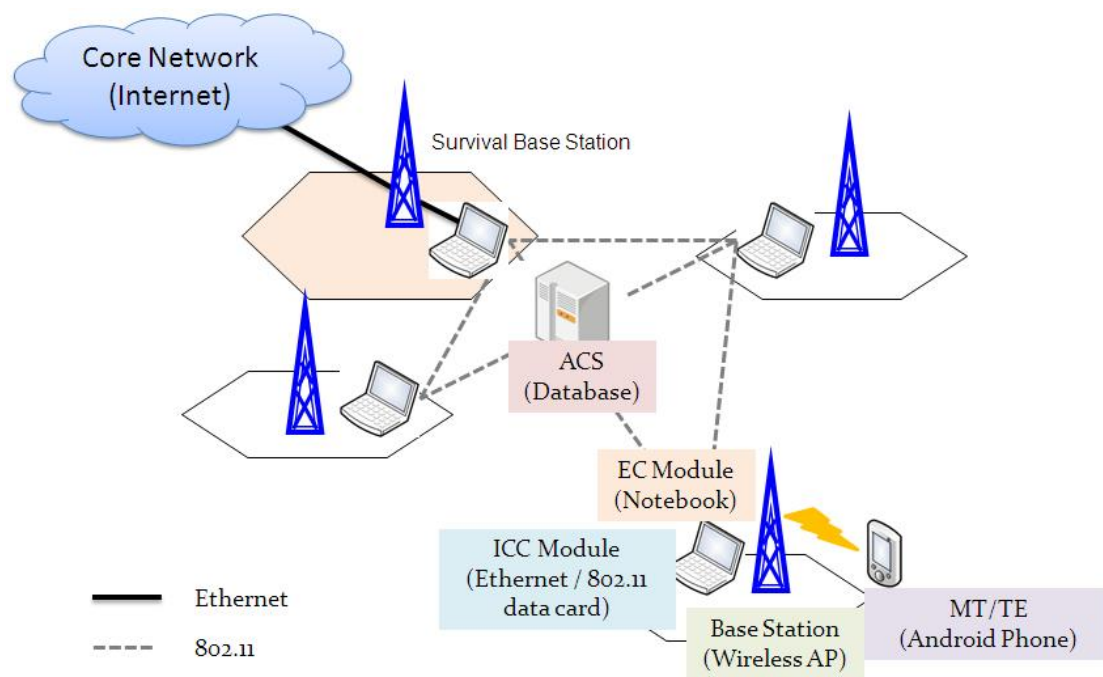


圖 5-1、系統模擬環境示意圖

表 5-1、CCN 系統元件與模擬設備對映表

CCN	Prototype
Cell Phone	Android phone (ACS APP + VoIP)
Base Station	Wireless AP
EC Module	Notebook (Service Process)
ICC Module	IEEE 802.11 data card + Ethernet data card
ACS	Agency Communication System Server (Agent Profile Database)
Core Network	Internet

系統開發工具採用 Eclipse 搭配 Java JDK，手機端則是使用 Android NDK 搭配 iLBC 語音編解碼技術完成，系統硬體規格及軟體需求如表 5-2 所示。

表 5-2、系統開發工具及軟硬體需求

Hardware Specifications	
Notebook	
OS	Windows 7
CPU	Intel (R) Core (TM) i5-2520M CPU @2.50GHz 2.50GHz
Memory	2GB
Wireless Card	Intel (R) Centrino (R) Advanced-N 6230
Software Specifications	
Development Tools	Eclipse IDE for Java Developers
	ADT Plugin for Eclipse
Java Development Kit	Java jdk1.6.0_33
ACS Server	
Data Base System	Microsoft Office Access 2007
UA Implementation API	
Java Development Kit	Java jdk1.6.0_33
Software Development Kit	Android SDK 2.2+NDK Revision 8b
Speech Codec	iLBC (internet Low Bitrate Codec)

5.2、系統控制訊息及音訊處理程序

本系統利用 Android SDK 開發具親和性的簡易操作介面（如圖 5-2），作為與使用者互動的主要部分，可依使用者的選用功能項目以判別目前所提供之服務。

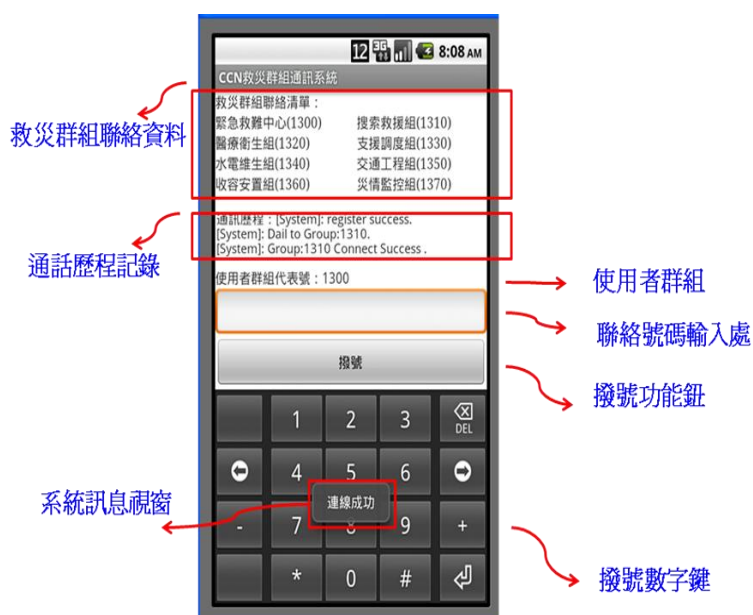


圖 5-2、群組通訊使用者介面

使用者手機內存之應用程式（APP），透過 MainActivity 以獲得使用者選用的功能項目，對映 Message Code 將控制訊息轉換為數據封包格式，透過 UDP 協定在無線網路上傳送，由 EC Module 解讀控制訊息，由 ACS 提供群組資料以建立通話連線。

控制訊息可分為三類，分別是服務請求訊息（Request Message）、系統回覆訊息（Response Message）、系統錯誤訊息（Error Message）。Request Message 是使用者向系統發出服務請求之訊息；Response Message 是系統提供服務之後回覆給使用者之訊息；Error Message 則是使用者未授權、服務未能提供時或當系統發生異常之錯誤訊息。各分類訊息編號及代表意義規劃如表 5-3~5。

表 5-3、Request Message 項目

Request Message Code		
Code	Message	Remark
101	REGISTER	註冊請求
102	DEREGISTER	註冊註銷
103	INVITE	通話請求
104	CANCEL	通話取消
105	RINGING	振鈴
106	CONNECT	通話連線
107	BYE	通話結束

表 5-4、Response Message 項目

Response Message Code		
Code	Message	Remark
201	REGISTERED	註冊成功
202	DEREGISTERED	註冊註銷成功
203	ANSWER	通話應答
204	CANCELED	通話取消成功
206	CONNECTED	通話已連線
207	DISCONNECTED	通話已中斷

表 5-5、Error Message 項目

Error Message Code		
Code	Message	Remark
401	UNAUTHORISED	未授權
404	NOT_FOUND	空號;找不到對應資料
405	NO_ANSWER	無人應答
486	BUSY	線路忙線
487	REJECT	通話被拒
500	SERVER_ERROR	系統錯誤

圖 5-3 為群組通訊連線建立及終止時，系統訊息傳遞的流程（僅以 INVITE、RINGING、CONNECT、BYE 代表正常運作之流程）。

當發話端 BSC 收到使用者的通訊請求時，發送 INVITE 訊息至 Service Process Controller，經過群組資料比對及尋找受話者，向受話端的 BSC 發送 RINGING 訊息，等待受話者應答。Service Process Controller 在收到 ANSWER 訊息後，進行指配通訊通道及建立通話的連線，向發話/受話端 BSC 傳送 CONNECT 訊息，通訊雙方在回覆 CONNECTED 訊息之後開始通話。通話雙方若有一方掛斷電話時，BSC 傳送 BYE 訊息，由 Service Process Controller 轉送通知至另一方 BSC，並在收到回應時釋放資源，向兩方 BSC 發送 DISCONNECTED，結束整個通話流程。

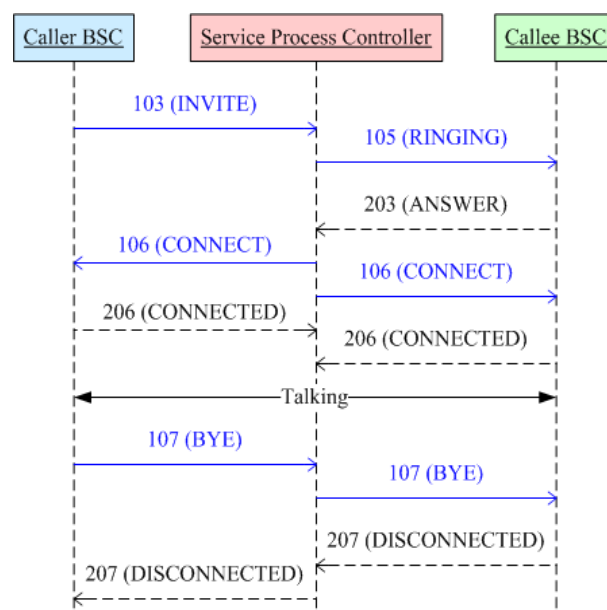


圖 5-3、群組通訊訊息傳遞流程

當連線建立之後通訊雙方開始傳送語音資料，發送端採用 Android NDK 所提供之音訊 IO - AudioRecord 讀取設備的 mic 音訊 (PCM data)，經過 iLBC (internet Low Bitrate Codec) 將音訊資料進行編碼 (Encode)，利用 UDP Socket 將資料傳出，經由 EC Module 轉送語音封包，接收端則利用 UDP Socket 接收資料，將其資料解碼 (Decode)，利用 AudioTrack 將其資料進行播放。iLBC 將音訊資料進行 Encode、Decode 的動作，可以將音訊壓縮成 AMR 的格式，一組 PCM data 可以壓縮近 10 倍，如此可降低傳遞延遲並減少頻寬資源的浪費。群組通訊控制訊息及通話語音資料傳遞流向如圖 5-4 所示。

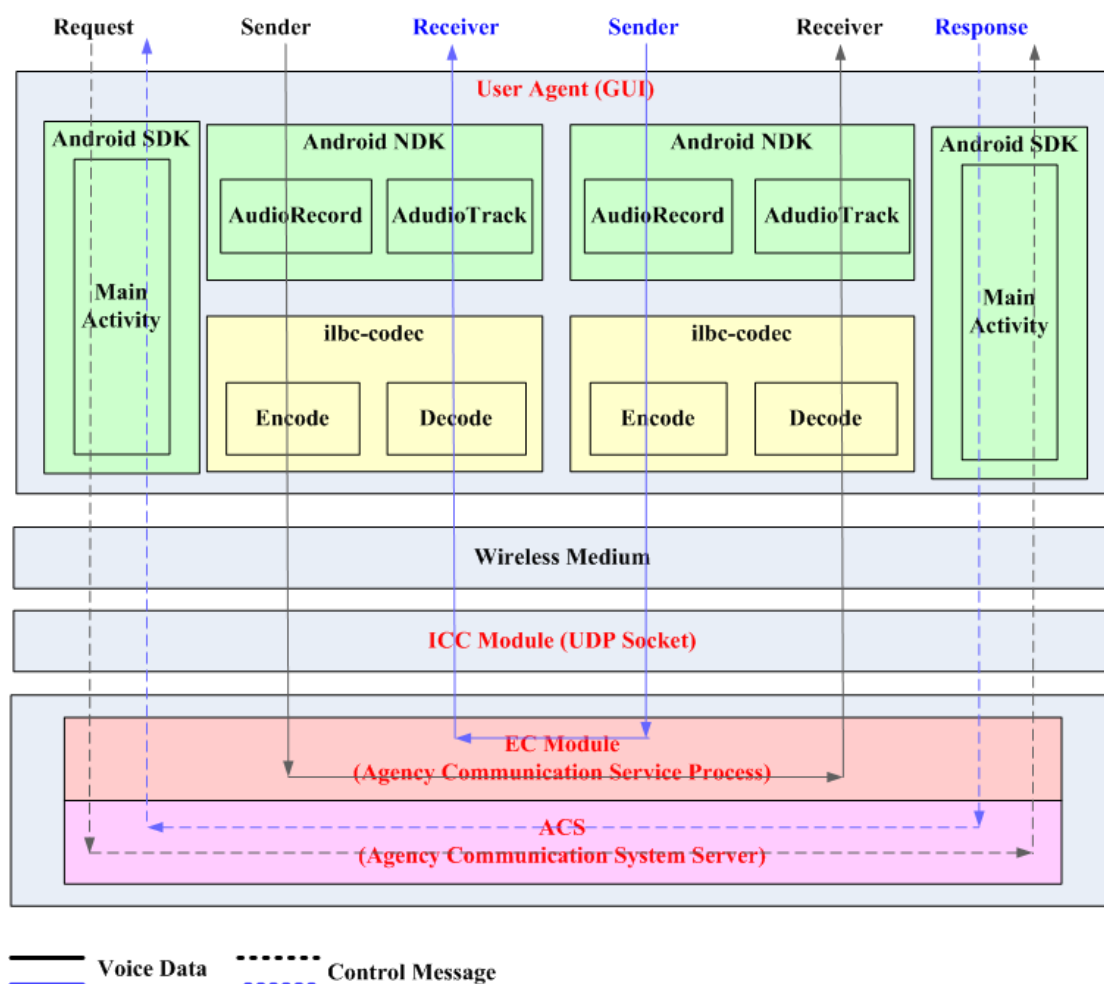


圖 5-4、控制訊息及語音資料傳遞流向圖

5.3、系統狀態及轉換流程

如圖 5-5、圖 5-6 所示，發話端（Originating Side）及受話端（Terminating Side）分別設計呼叫模型（Call Model）來說明本系統呼叫處理（Call Processing）程序及狀態之轉變，詳如以下說明。

● 發話端（Originating Side）

1、閒置（Idle）

系統啟動，在進行一連串初始化設定後進入閒置狀態，在此狀態內系統持續監聽 CCN 網域內使用者所傳遞之訊息，以便能即時提供服務。當收到”REGISTER”註冊訊息時，將該成員手機號碼登記在群組通訊資料庫中並變更群組成員狀態（待機中），若收到”DEREGISTER”訊息時，則立即撤銷其註冊狀態。當系統收到發話者所撥打之號碼（”INVITE”通話請求訊息）時，系統狀態轉向 Interrogation。

2、群組探詢（Interrogation）

進入此狀態之後，系統首先分析發話者所撥打之簡碼並對映群組資料庫，取得群組成員資料，若以簡碼無法對映到群組，系統則向發話者發送”NOT_FOUND”空號訊息並退回 Idle 狀態。若順利對映到群組，再依據成員目前所處位置，比對 CCN 網路拓撲結構各節點位置，找出離發話者位置最近的 K 位受話群組成員，產生呼叫清單後進入 Call_Proceeding 狀態。

3、通話連線（Call_Proceeding）

依據群組呼叫清單向受話端發送通話連線建立（Call Set-up）請求訊息，同時啟動通話呼叫連線計時器（timer），進入 Paging 狀態。

4、群組呼叫（Paging）

執行群組呼叫程序，由基地台以廣播（broadcast）方式呼叫群組成員手機，

系統向發話者傳送回鈴音（ring back tone），在呼叫連線期間內收到”ANSWER”應答訊息後，則立即記錄應答成員資料（包含手機號碼）並中斷與其他成員之連線，使用配置好的通話頻道進行通話，系統進入 Active 狀態。若目前已無空餘之通道時，則回覆發話者”BUSY”之訊息並退回 Idle 狀態。若與所有被呼叫成員連線已逾時而沒有收到任何”ANSWER”之訊息，系統則自動向發話者回覆”NO_ANSWER”無人應答之訊息，退回 Idle 狀態。

5、通話進行（Active）

當通話連線建立後，系統將記錄此通電話相關資料（包括：通話使用之通道編號）並變更發話者通話狀態（通話中），之後開始進行通話。通話中，系統負責轉送話務，當通話結束時，由通話中的任一方發送”BYE”通話結束訊息，系統將中斷通話連線，釋放通話所使用到的資源，完成通話終止程序後，恢復發話者狀態（待機中），系統狀態回歸到 Idle 狀態。

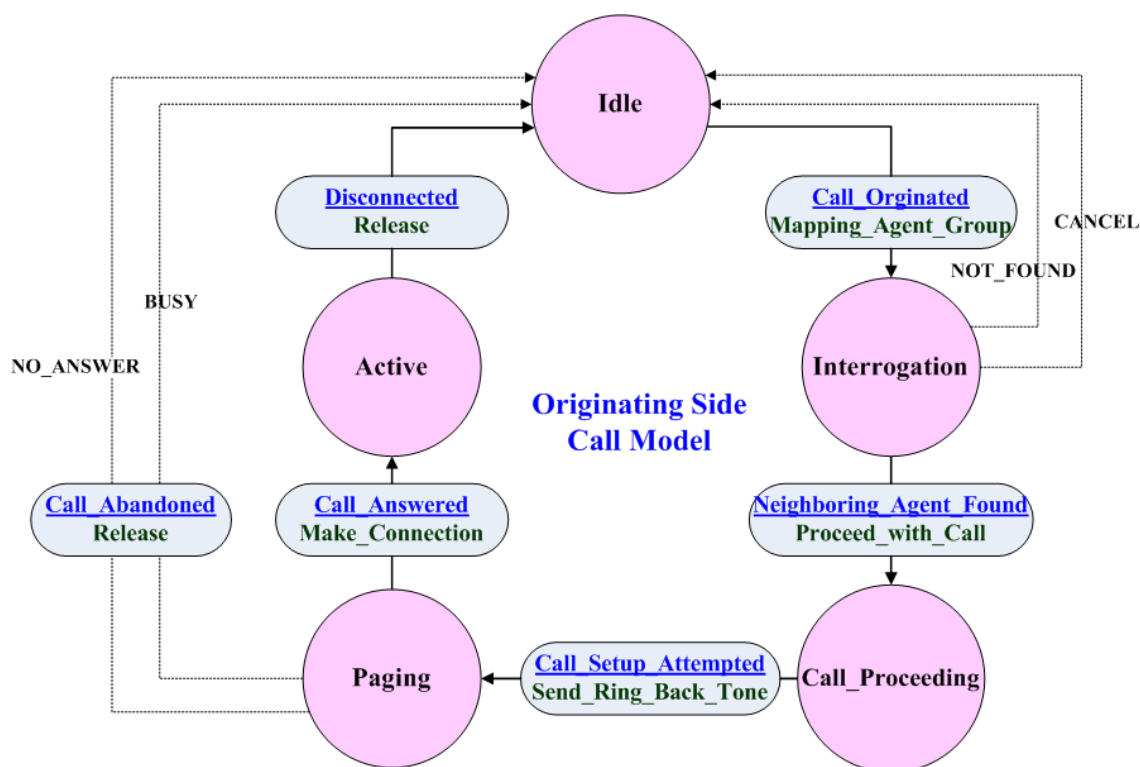


圖 5-5、系統狀態圖（Originating Side）

表 5-6、系統狀態轉變表 (Originating Side)

Current State	Event	Next State	Action Taken
Idle	Call_Orginated	Interrogation	Mapping_Agent_Group
Interrogation	Neighboring_Agent_Found	Call_Proceeding	Proceed_with_Call
Call_Proceeding	Call_Setup_Attempted	Paging	Send_Ring_Back_Tone
Paging	Call_Answered	Active	Make_Connection
Active	Disconnected	Idle	Release

● 受話端 (Terminating Side)

1、閒置 (Idle)

系統啟動後進入 Idle 狀態，持續監聽網路上所傳送之訊息，當接到發話端傳送群組呼叫之通話連線請求訊息時，則進入 Alerting 狀態。

2、通話連線呼叫 (Alerting)

向群組成員發送振鈴音 (Ring Current)，呼叫連線期間內被呼叫之成員手機皆會持續響鈴，若其中一名成員按下通話鈕時，系統向發話端回傳"ANSWER"應答訊息，系統將進入 Active 狀態，依所配置之通話頻道進行通話。若呼叫連線逾時卻沒有成員承接通話，則向發話端回傳"NO_ANSWER"訊息，系統釋放資源，退回 Idel 狀態。

3、通話進行 (Active)

當通話連線建立後，系統將記錄此通電話相關資料 (包括：通話使用之通道編號) 並變更受話者通話狀態 (通話中)，之後開始進行通話。通話中，系統負責轉送話務，當通話結束時，由通話中的任一方發送"BYE"通話結束訊息，系統將中斷通話連線，釋放通話所使用到的資源，完成通話終止程序後，恢復受話者狀態 (待機中)，系統狀態回歸到 Idle 狀態。

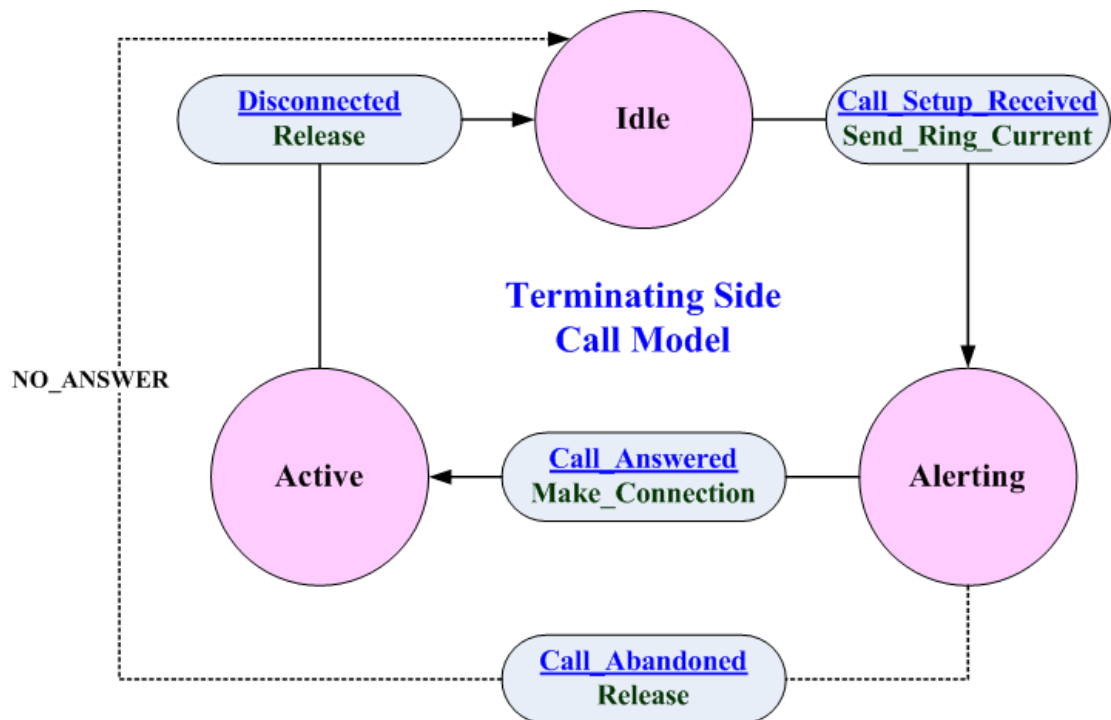


圖 5-6、系統狀態圖（Terminating Side）

表 5-7、系統狀態轉變表（Terminating Side）

Current State	Event	Next State	Action Taken
Idle	Call_Setup_Received	Alerting	Send_Ring_Current
Alerting	Call_Answered	Active	Make_Connection
Active	Disconnected	Idle	Release

5.4、群組通訊服務流程

本節依據 CCN 提供之群組通訊服務，對照圖 5-7 資料流程圖（Data Flow Diagram, DFD），說明群組通話建立及終止時，系統功能模組處理之程序。

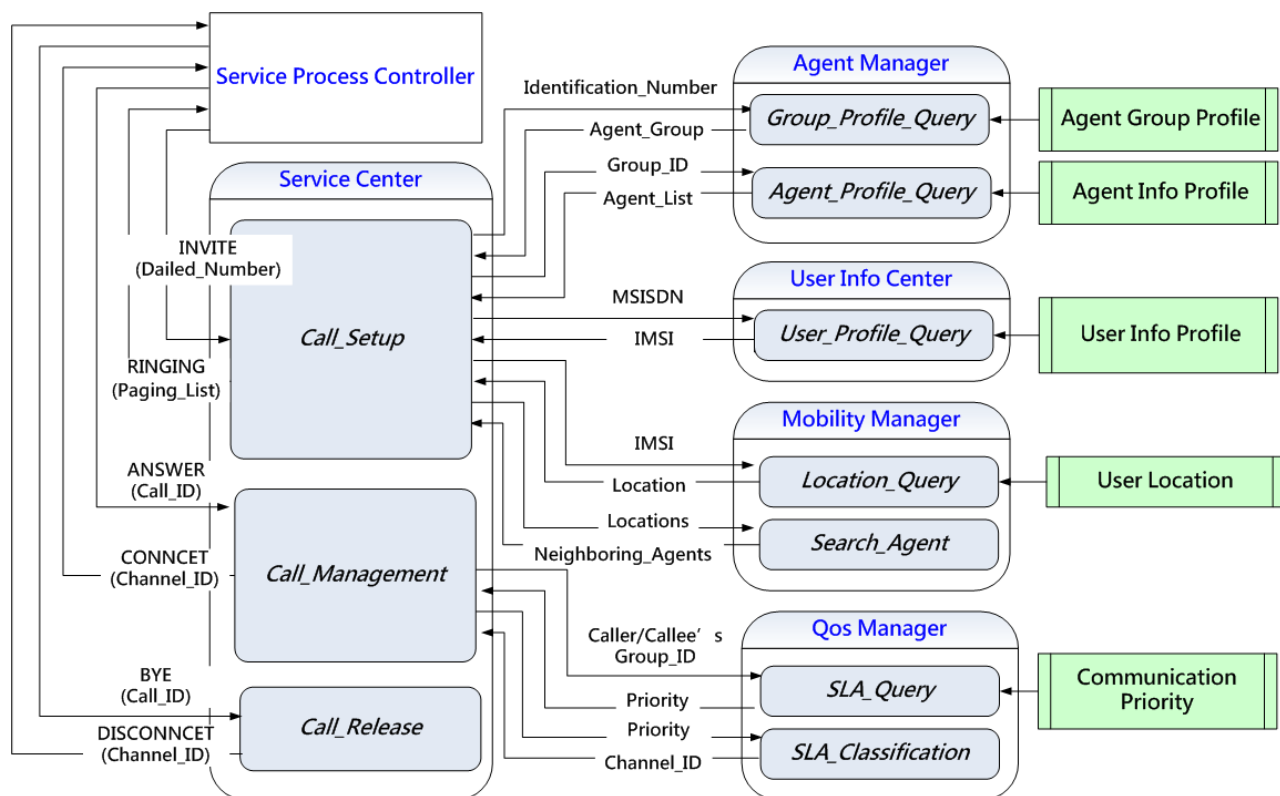


圖 5-7、群組通訊系統資料流程圖

表 5-8、系統功能表

➤ Agent Manager		
Function	Input	Output
<i>Group_Profile_Query</i>	Identification_Number	Agent_Group
<i>Agent_Profile_Query</i>	Group_ID	Agent_List
➤ Service Center		
Function	Input	Output
<i>Call_Setup</i>	Dailed_Number	Paging_List
<i>Call_Management</i>	Call_ID	Channel_ID
<i>Call_Release</i>	Call_ID	Channel_ID
➤ User Info Center		
Function	Input	Output
<i>User_Profile_Query</i>	MSISDN	IMSI
➤ Mobility Manager		
Function	Input	Output
<i>Location_Query</i>	IMSI	Location
<i>Search_Agent</i>	Locations	Neighboring_Agents

➤ Qos Manager		
Function	Input	Output
<i>SLA_Query</i>	Group_ID (Caller/Callee)	Priority
<i>SLA_Classification</i>	Priority	Channel_ID

5.4.1、 通話建立流程

使用者透過手機撥打號碼與基地台聯繫，則進入 CCN 用戶存取層，基地台傳送通訊請求訊息，虛擬 BSC (BS Controller Function) 接收 INVITE Message 並轉送訊息至服務程序層中服務流程控制器 (Service Process Controller)，之後進行一連串的通訊服務處理流程，並透過網路服務層 (Network Service Layer) 傳送通話訊息。各元件通訊服務處理步驟如圖 5-8 所示，說明如下。

- Step 1、Service Center 接到 INVITE 訊息後，進行撥叫號碼分析。
- Step 2、Agent Manager 依群組聯絡代碼查詢受話群組所有成員資料。
- Step 3、Mobility Manager 查找 K 個與發話者相鄰的受話群組成員位置。
- Step 4、Service Center 進行建立與受話群組成員間之連線並選擇適當的通話路徑。
- Step 5、Network Process Controller 向所受話群組員發送來電訊息。
- Step 6、受話群組成員接收到來電訊息後，由其中一名成員承接呼叫，回傳 ANSWER 訊息。
- Step 7、Service Center 接到應答訊息後，向 Qos Manager 查詢群組間通話優先權並指配通話通道。
- Step 8、Agent Manager 異動群組成員目前狀態為通話中。

- Step 9、Service Process Controller 向發話/受話端發送 CONNECT 通話連線建立之訊息，雙方開始進入一對一通話流程。

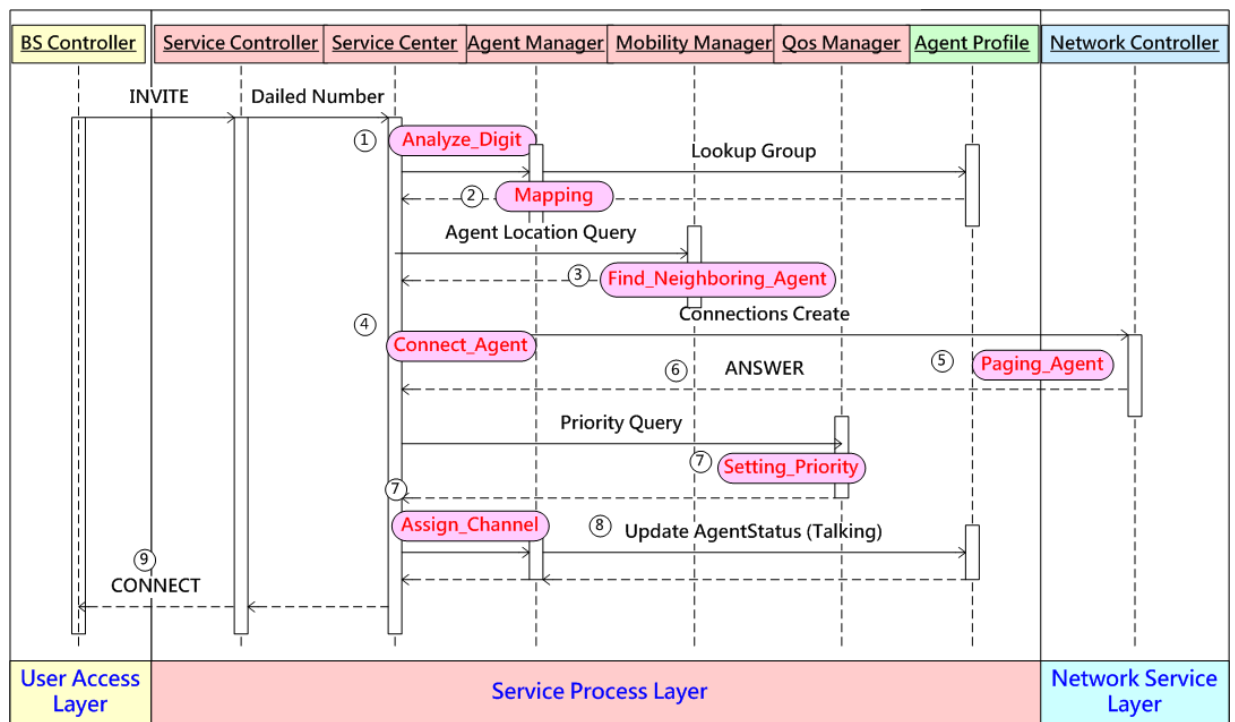


圖 5-8、通話建立循序圖

圖 5-9 詳細說明當 ACS 收到 INVITE 訊息時，群組資料對映及通訊對象搜尋的程序及程式判斷邏輯。

Service Center 收到 INVITE 訊息（含發話端手機號碼、所撥打之號碼）後，新增通話序號（Call_ID）並將 Message 資料記錄起來，並分析群組代表號，呼叫 Agent Manager 群組資料查詢功能（Group Profile Query function）查詢群組，若在群組資料庫中搜尋不到，則回覆發話端 NOT_FOUND 訊息，若有對映到群組資料，則再呼叫群組成員查詢功能（Agent Profile Query function）利用群組序號（Group_ID）查詢所有成員的名單。Service Center 利用群組成員的手機號碼向 Mobility Manager 呼叫位置查詢功能（Location Query function）以查詢群組成員目前所在位置，並透過群組成員搜尋（Search Agent function）篩選出靠近發話者的 K 位受話者以建立呼叫清單（Paging List），緊接著向清單上的成員一一建立呼叫連線，並發送 RINGING 振鈴呼叫訊息（含發話端手機號碼、Paging_ID

呼叫序號)。

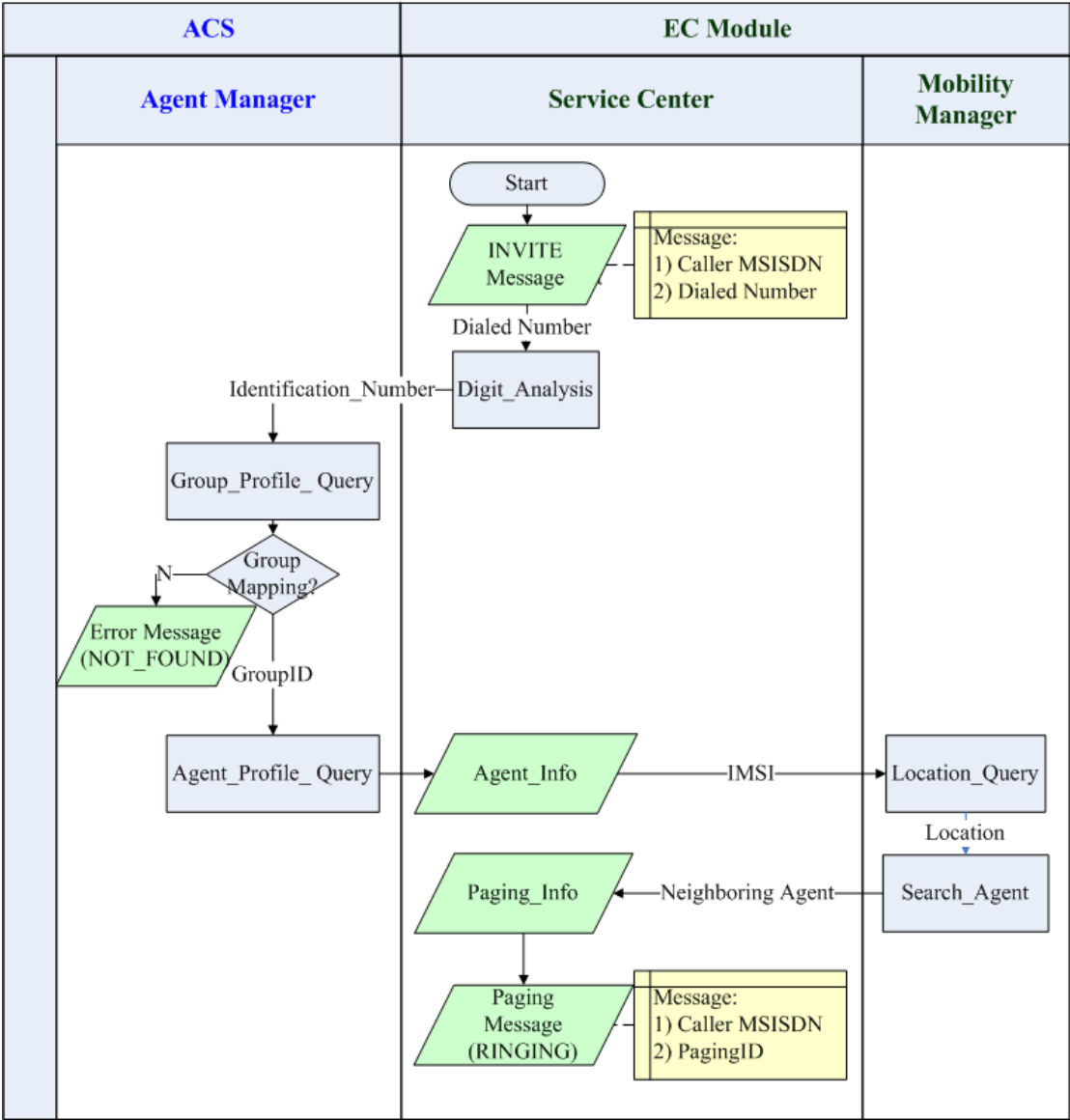


圖 5-9、群組資料對映及通訊對象搜尋流程圖

圖 5-10 詳細說明群組呼叫及通話應答程序及程式判斷邏輯。系統開啟群組呼叫連線時間計時器，在期間內持續監聽是否有收到 ANSWER 應答訊息，當連線已逾時，系統則依據 Call_ID 清查 Paging List，若無任何被呼叫的成員應答，則回覆給發話者 NO_ANSWER 訊息。若系統收到 ANSWER 訊息（含受話者電話號碼、Paging_ID）時，進行通話建立程序，依據 Paging_ID 搜尋 Paging List 找出發話/受話者呼叫資料，並向 Qos Manager 呼叫群組通訊服務品質查詢 (SLA Query function)，依發話/受話者所屬群組設定通話優先權（SLA Classification

function)。Service Center 取得通話優先權後，搜尋通話通道使用狀態，若所有通道皆被佔線中，系統則回覆使用者 BUSY 訊息，若目前仍有空閒的通道，則進行指配並記錄通道使用者，變更通道使用狀態為使用中。Agent Manager 變更通訊雙方目前的狀態為通話中，系統回覆 CONNECT 訊息（含通話對象電話號碼、使用的通道序號 Channel_ID）。

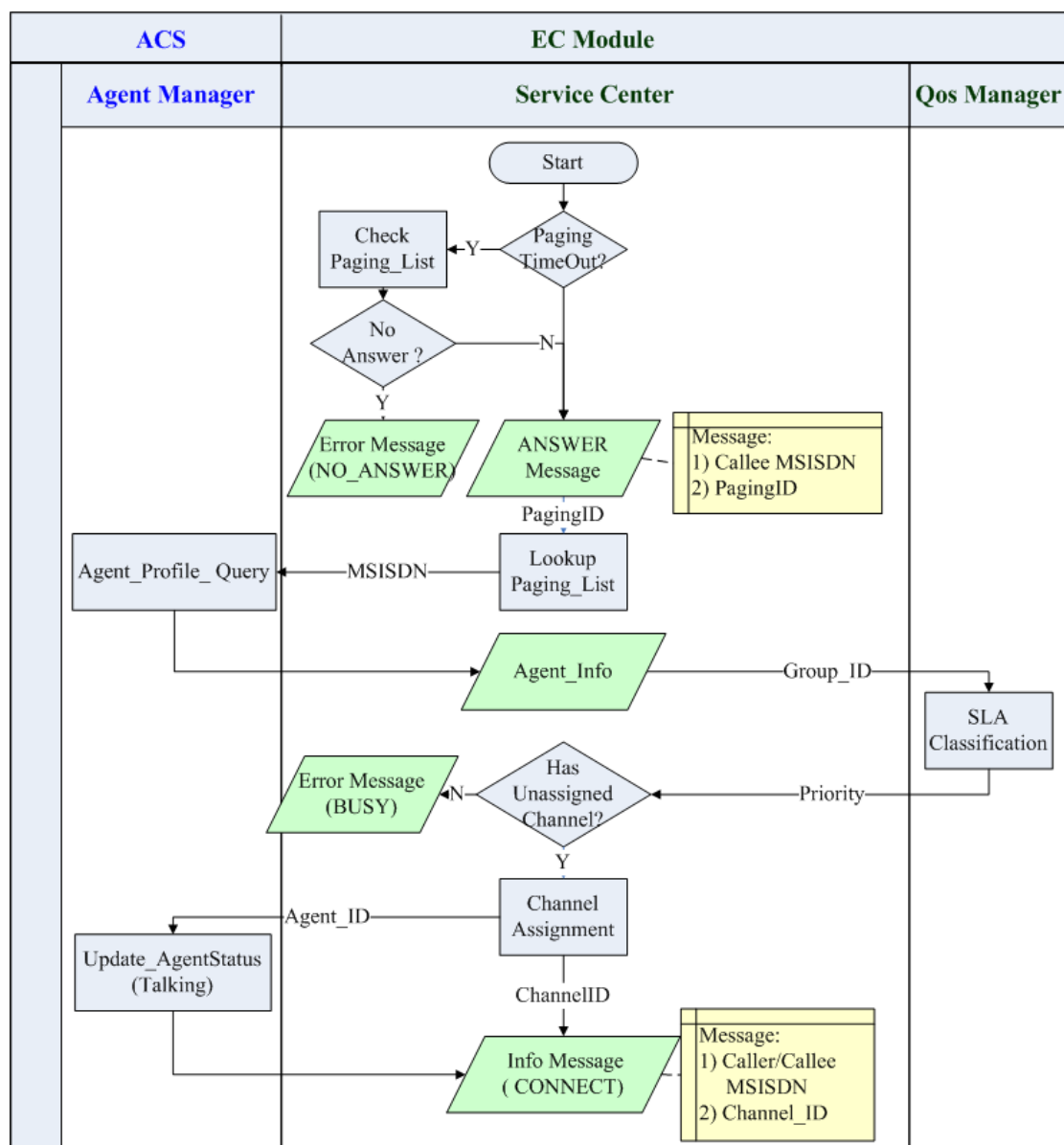


圖 5-10、群組呼叫及通話應答流程圖

```

do{ //listening port , listen to client's request message

    anlyze_message();
    if (call_id == null) create_call_id();
    save_receive_message(call_id,message);

    switch(get_message_code(call_id)){

        case "INVITE" :
            if (get_callee_group_id(dailed_digit) == null) {
                send_error_message("NOT_FOUND");
            } else {
                get_caller_group(user_info);
                get_agent_location(group_id);
                find_nearest_agents(caller_location,callee_locations);
                paging_agents(nearest_agent_list);

                while(start_connection_timer());
                if (connection_time_out && callee_noanswer)
                    send_error_message("NO_ANSWER");
            }
            break;

        case "ANSWER":
            disconnection_other_agents();
            getting_group_priority(caller_group,callee_group);
            if ( get_empty_channel(group_priority) == null ) {
                send_error_message("BUSY");
            } else {
                assign_communication_channel(channel_id);
                save_communication_info(call_id,caller,callee,channel_id);
                update_user_status(agent_id,"TALKING");
                update_channel_status(channel_id,"USED");
                send_response_message("CONNECT",channel_id);
            }
            break;

    }

}

```

圖 5-11、Pseudo code (Call Set-up)

5.4.2、 通話終止流程

通話過程中若有一方掛斷電話時，User Access Layer 將送出通話終止訊息，

由 BS Controller Function 接收使用者 BYE Message 並轉送訊息至 Service Process Controller，Service Process Layer 內 Function 將進行釋放頻寬資源及清空通訊通道之程序，透過 Network Service Layer 內 Function 通知另一方中斷通話連線。各元件通訊服務處理步驟如圖 5-12 所示，說明如下。

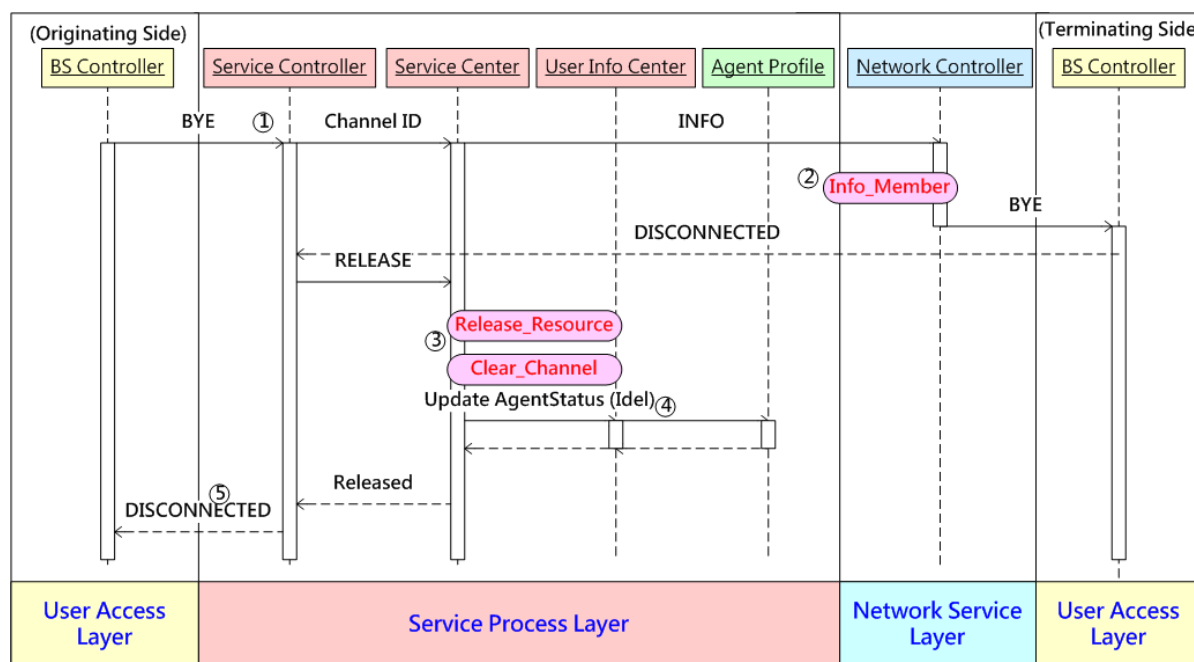


圖 5-12、通話終止循序圖

- Step 1、Service Center 接到 BYE 訊息後，依據使用者目前通話之通道編號（Channel_ID）找出通話記錄。
- Step 2、Service Center 透過 Network Process Controller 向另一方發送 DISCONNECTED 通話終止訊息。
- Step 3、Service Center 收到回覆後，釋放頻寬資料及清空通話通道。
- Step 4、Agent Manager 異動群組成員目前狀態為待機中。
- Step 5、Service Process Controller 回覆 DISCONNECTED 連線已中斷。

圖 5-13 詳細說明通話結束程序及程式判斷邏輯。Service Center 收到 BYE 訊息（含使用者電話號碼、使用通話通道序號 Channel_ID）時，依 Channel_ID 找到對映之通道及使用者資料，進行通話終止及資源釋放程序，確認通話雙方皆已收到通話終止訊息後，釋放通話所佔用之頻寬資源及清空通道，並將通道狀態恢復為閒置中。Agent Manager 變更發話/受話者狀態為待機中。系統回覆給使用者 DISCONNECTED 之訊息。

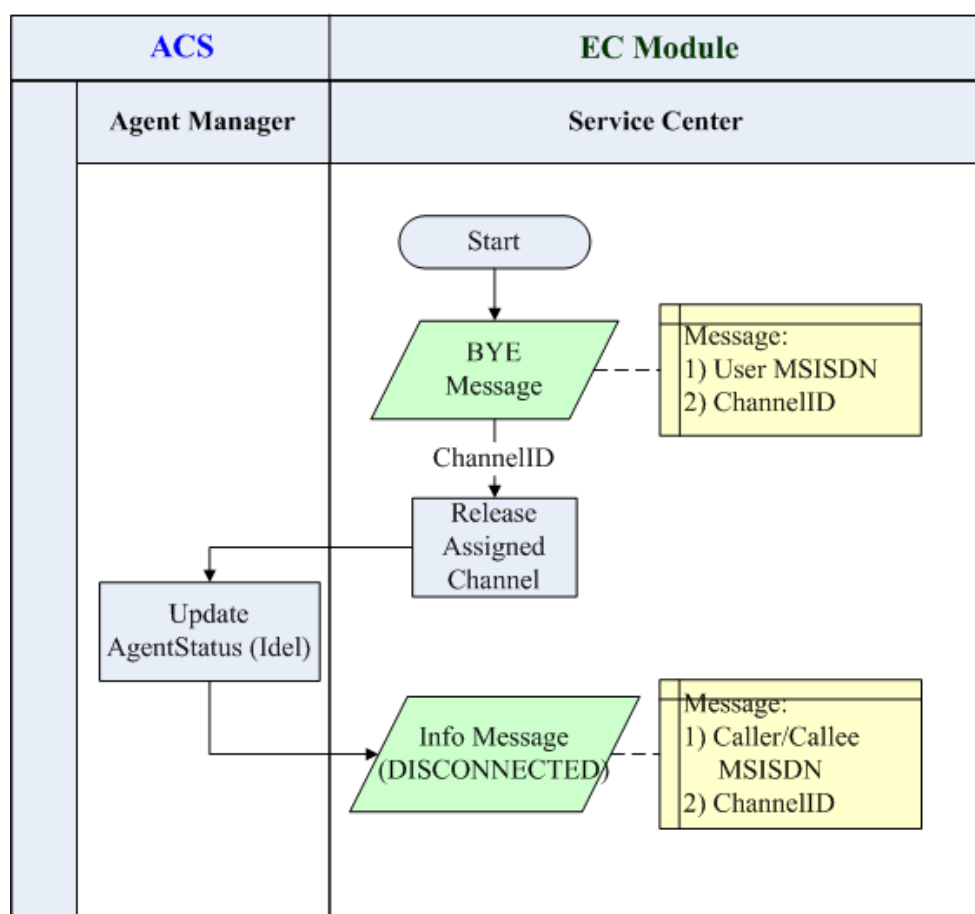


圖 5-13、通話結束流程圖

```

do{ //listening port , listen to client's request message

    anlyze_message();
    if (call_id == null) create_call_id();
    save_receive_message(call_id,message);

    switch(get_message_code(call_id)){

        case "BYE":
            get_communication_info(call_id);
            send_response_message("DISCONNECT",channel_id);
            relase_channel(channel_id);
            update_channel_status(channel_id,"EMPTY");
            update_user_status(agent_id,"Idel");
            break;

    }

}

```

圖 5-14 、Pseudo code (Call Release)

第六章、系統效能分析

為了驗證本系統之可行性，我們透過行動裝置在無線網路環境設計一連串之實驗，使用 Wireshark（網路封包解析軟體）監聽網路連線建立訊息傳送過程，擷取、解析網路封包（包括：控制訊息、語音封包），測量封包遞送時間及整體通訊流量，並定時記錄於 Log File，經過統計分析之過程，針對註冊處理、通話管理及語音傳送品質等三部份，透過實驗數據以觀察系統實際運作上所達之效能。

6.1、實驗設備

- 使用一部 Notebook 開啟多個監聽埠，模擬多名受話群組成員等待被呼叫，在線上接收來電訊息及回覆來電應答訊息。
- 使用一部 Notebook 模擬多名撥叫者，啟動多條執行緒同時執行發送通話請求或終止訊息之程序。
- 使用一部 Notebook 裝載群組通訊系統 Server 端程式，處理群組之間的通訊，並在同一部 Notebook 上架設 ACS DB 儲存群組資料及群組成員位置。
- 使用者所發送 Request Message，傳送封包內容除夾帶 Message Code 外，另附帶封包編號、發送請求時間。
- 另外使用兩支 Android 2.2 手機裝載群組通訊系統使用端應用程式進行通話，以測量使用端應用程式語音處理效能。

表 6-1、實驗設備

Item	Equipments
User Equipments	Cell Phone (Android 2.2)
	Notebook (ACS Clent)
Communication Devices	Notebook (ACS Server)
Virtual Base Station	Wireless AP

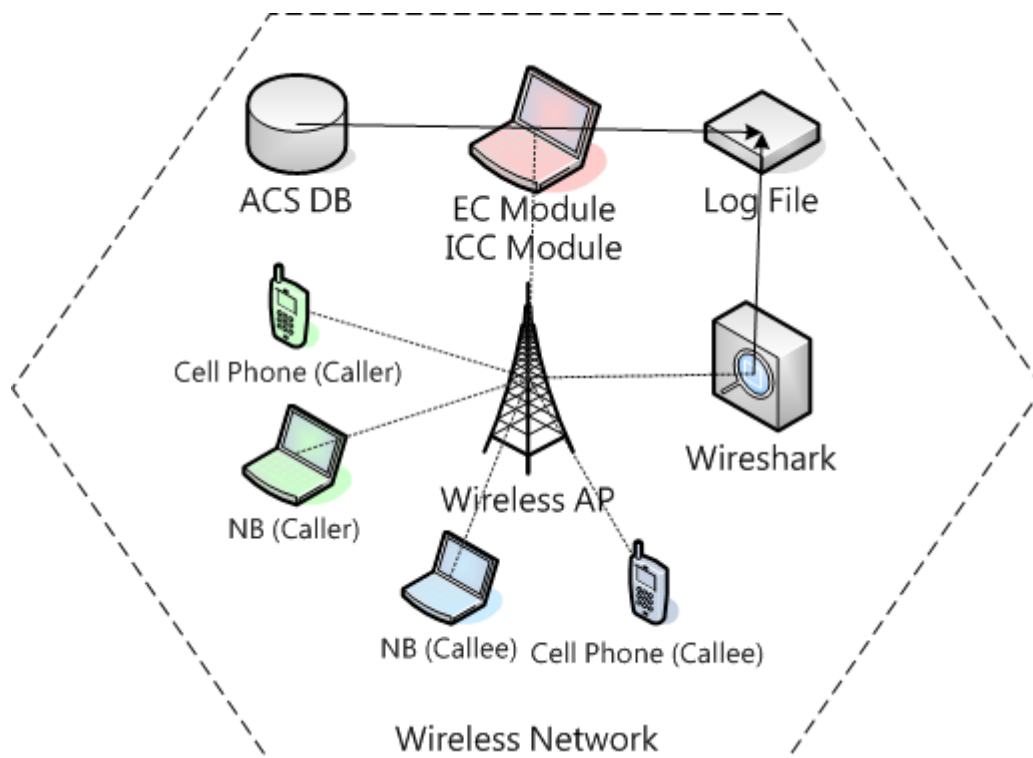


圖 6-1、實驗環境

6.2、效能量測及分析

- 效能量測工具如下：

- Wireshark

- ◆ 擷取解析 UDP 封包（包括：控制訊息、語音封包）
 - ◆ 監聽網路連線建立訊息傳送過程
 - ◆ 監聽網路封包流量

- System Log File

- ◆ 各項實驗過程中，在系統設置各處理程序時間記錄點，並將記錄存於 log 檔中

● 實驗分類與項目如下：

- 實驗 1、系統註冊效能量測
- 實驗 2、通話管理效能量測
 - ◆ 實驗 2-1、通話建立效能
 - ◆ 實驗 2-2、通話終止效能
- 實驗 3、語音傳輸品質量測

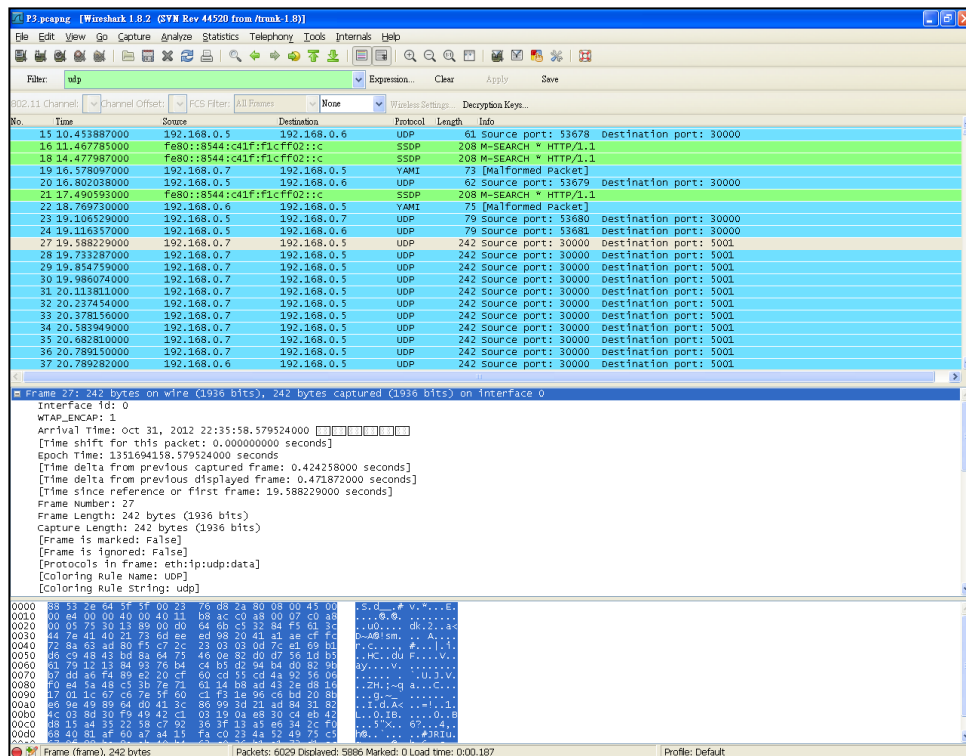


圖 6-2、Wireshark 封包擷取畫面

6.2.1、系統註冊效能

實驗 1、系統註冊耗費時間

● 實驗設計

建立發送註冊請求之程序，啟動多條執行緒，模擬多名使用者同時向系統註

冊，依不同使用者數目（10~100）各實驗 100 次，記錄封包到達及處理註冊程序花費時間，以測量每位使用者註冊平均耗費時間。

● 參數設定

表 6-2、實驗 1 參數設定

Experimental Parameters	Values
Number of Users	10~100
Registration Message Size	62 bytes
Number of Experiments	100 times

● 結果與分析

由使用者發送註冊 Request Message 至收到系統回應 Response Message 所花費之時間，即為使用者註冊時間（Registration Time）。其中包含使用者與系統之間傳送控制訊息時間（Control Message Transfer Time）及系統註冊處理時間（Registration Process Time）。註冊時間計算公式如公式（1）：

$$T_{\text{Registration}} = T_{\text{ControlMessageTransfer (UE} \rightarrow \text{Server)}} + T_{\text{RegistrationProcess}} + T_{\text{ControlMessageTransfer (Server} \rightarrow \text{UE)}} \quad (1)$$

控制訊息之封包夾帶封包序號及傳送時間，由接收端接收到後進行解析，並依封包接收及傳送時間差，以計算封包傳遞之耗費時間。系統註冊處理時間從接收到封包後開始計算，進行包括使用者身份比對及記錄目前位置等程序。測量結果如圖 6-3 所示，10 位使用者同時向系統發送註冊請求，平均整體註冊時間為 266.591 ms，圖 6-4 所示，100 位使用者，平均整體註冊時間為 2198 ms，表示系統即使面對大量的註冊請求情況之下，仍可在短的時間內回應使用者之請求。

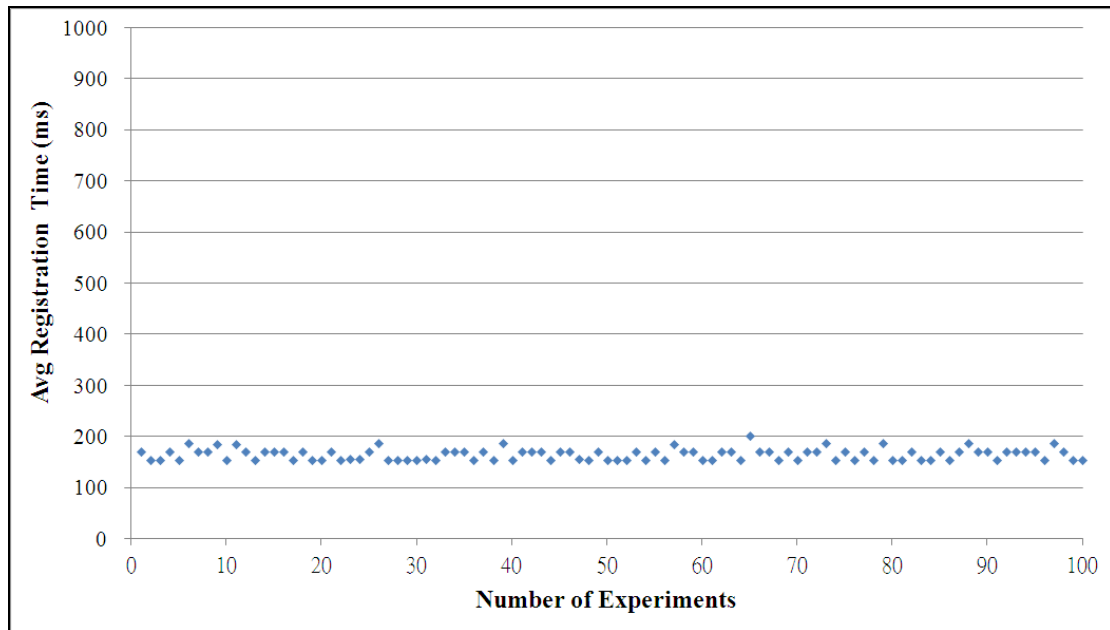


圖 6-3、10 位使用者註冊耗費時間

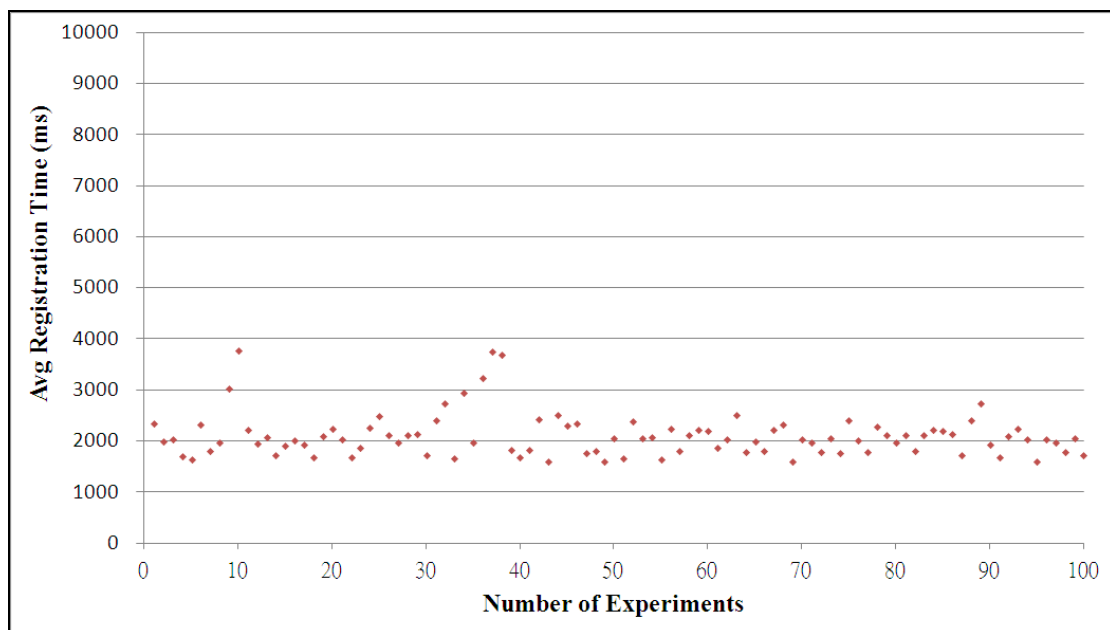


圖 6-4、100 位使用者註冊耗費時間

6.2.2、 通話管理效能

實驗 2-1、通話建立效能分析

系統在收到通話請求訊息後，建立多個通話 session，分別進行以下兩個階段性工作，包括：群組呼叫及連線建立。

實驗 2-1 (a) 群組呼叫效能分析

● 實驗設計

在此階段中，系統會針對撥叫號碼進行解析並作群組資料之比對，以所設定之呼叫門檻 (K) 搜尋出離發話者最近的受話群組成員並建立呼叫連線，向受話者傳送群組呼叫訊息之後，啟動呼叫連線計時器，直到系統接到應答訊息或連線逾時後，才切斷所有呼叫連線。以上各階段過程時間記錄於 log 檔中，計算當系統同時收到多通請求後經過群組資料比對和完成呼叫之間平均所花費的時間，以觀察系統群組呼叫效能。

● 參數設定

表 6-3、實驗 2-1 (a) 參數設定

Experimental Parameters	Values
Number of Calls Originated	10~100
Control Message Size	62 bytes
Number of Paging (K members)	5,10,15,20
Session Holding Time Duration	60 sec

● 結果與分析

系統同時處理 10~100 通話請求，實驗結果如表 6-4 所示。群組呼叫處理包括：號碼解析、群組資料比對並呼叫受話成員。圖 6-5 所示，系統處理群組呼叫花費的時間隨著通話請求數目遞增，例如：當呼叫門檻設定為 5 個成員 (K=5)，系統同時處理 10 通請求，平均每通花費時間為 774 ms，50 通時為 2417 ms，100 通時為 4939 ms。細分系統在此階段工作程序可發現，建立呼叫連線較為耗時，大約佔整體處理時間的一半，當通話請求數目達到 100 時，須花費 2448 ms。

表 6-4、系統群組呼叫效能實驗結果（10~100 通話請求）

Number of Calls Originated	Analysis Time (ms)	Mapping Time (ms)	K	Connection Time (ms)	Total Paging Time (ms)
10	166	187	5	421	774
			10	506	859
			15	326	679
			20	460	813
20	185	310	5	564	1059
			10	530	1025
			15	536	1031
			20	795	1290
30	288	447	5	783	1518
			10	801	1536
			15	826	1561
			20	995	1730
40	325	705	5	1065	2095
			10	1386	2416
			15	1116	2146
			20	1174	2204
50	437	807	5	1173	2417
			10	1198	2442
			15	1338	2582
			20	1260	2504
60	584	1086	5	1405	3075
			10	1386	3056
			15	1728	3398
			20	1337	3007
70	687	1291	5	1673	3651
			10	1837	3815
			15	1646	3624
			20	1694	3672
80	600	1044	5	1954	3598
			10	2184	3828
			15	1959	3603
			20	2271	3915
90	1068	952	5	2250	4270

Number of Calls Originated	Analysis Time (ms)	Mapping Time (ms)	K	Connection Time (ms)	Total Paging Time (ms)
100	1201	1290	10	2419	4439
			15	2334	4354
			20	1945	3965
			5	2448	4939
			10	2763	5254
			15	2644	5135
			20	2423	4914

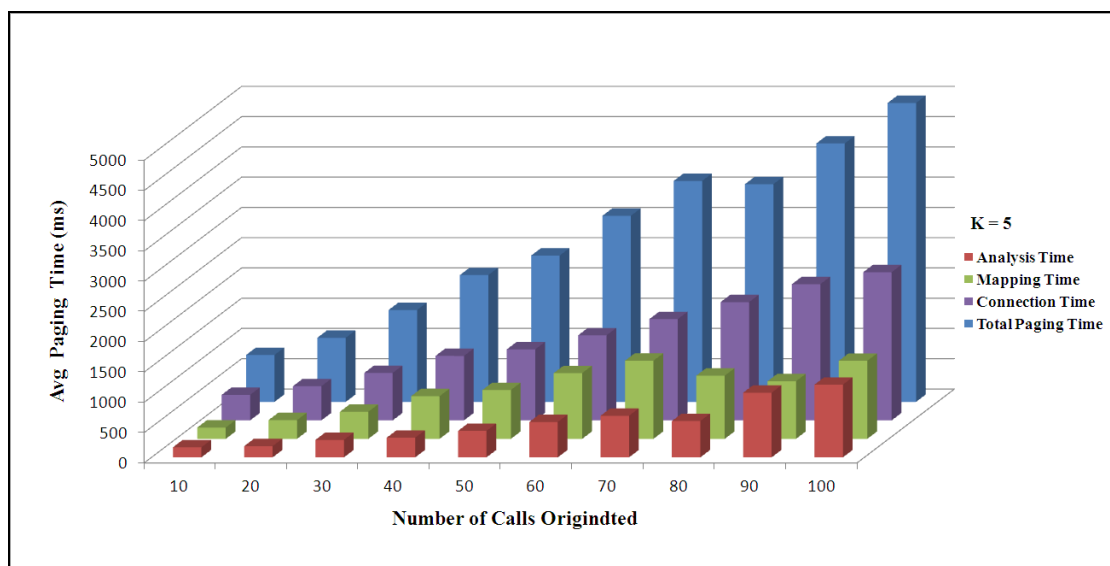


圖 6-5、系統群組呼叫處理時間（10~100 通話請求）

實驗 2-1 (b) 連線建立效能分析

● 實驗設計

接續上述實驗 2-1 (a)，模擬數通呼叫連線由其中一名被呼叫的成員回傳應答訊息，系統接收到訊息後，依照群組間通訊的重要程度，進行通話頻道指配並設定通話優先順序，記錄於通話記錄中，再以控制訊息通知發話/受話者雙方通話之通道編號，以建立起通話連線，在此測量系統收到通話應答至完成發話/受話者連線間耗費時間。

- 參數設定

表 6-5、實驗 2-1 (b) 參數設定

Experimental Parameters	Values
Number of Calls Originated	10~100
Control Message Size	62 bytes
Number of Channels	100

- 結果與分析

表 6-6 中 Connection Time 為系統建立每通電話的連線所花費的時間，加上實驗 2-1 (a) 所測得的群組呼叫時間 (Paging Time)，在同時處理 10 通電話之下，建立一通電話連線須花費 1455 ms，而 100 通電話之下，平均耗費時間則不超過 10 秒 (< 10000 ms)。

表 6-6、完成通話建立程序耗費時間

Number of Calls Originated	Paging Time (ms)	Connection Time (ms)	Call Set-up Time (ms)
10	774	695	1455
20	1059	1503	2560
30	1518	1860	3378
40	2095	2690	4782
50	2417	2526	4941
60	3075	3414	6296
70	3651	4402	7514
80	3598	4222	7536
90	4270	5101	9502
100	4939	5215	9852

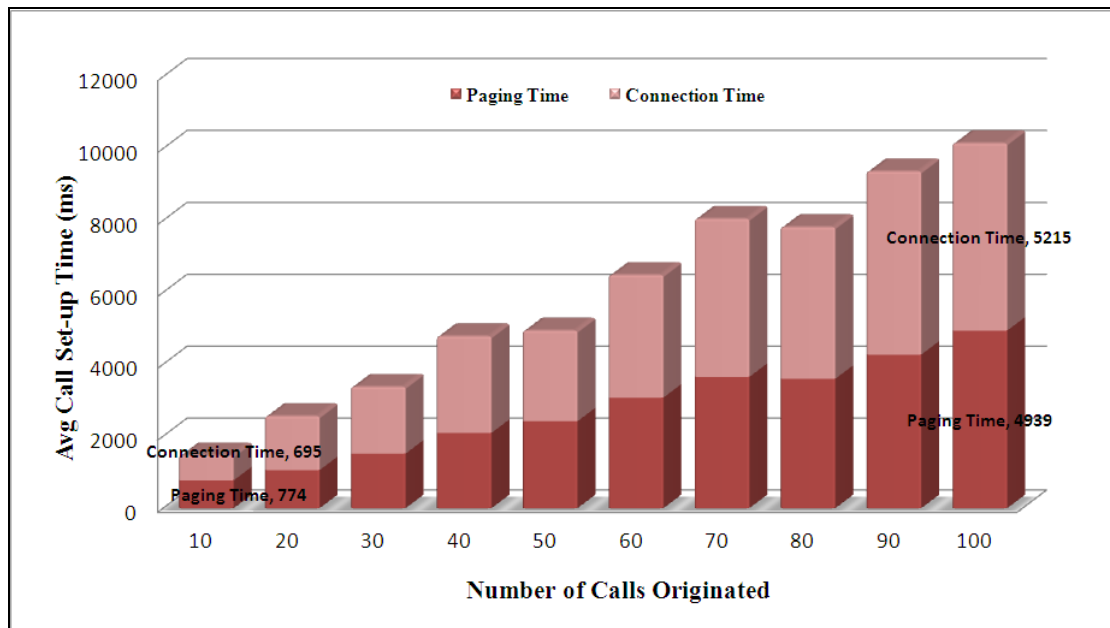


圖 6-6、不同數目通話建立時間（10~100 通電話）

實驗 2-2、通話終止效能分析

● 實驗設計

此實驗由 10~100 通通話 session 中的一名成員向系統發送通話終止的訊息，當系統接收到訊息後，開始進行通話連線終止程序，包括通話連線中斷、關閉通話 session、清空通話通道等工作，在此測量系統收到多個通話終止訊息時，單一通話連線中斷及資源釋放之間所花費的時間。

● 實驗參數設定

表 6-7、實驗 2-2 參數設定

Experimental Parameters	Values
Number of Calls Originated	10~100
Control Message Size	62 bytes
Number of Used Channels	10~100

● 實驗結果與分析

表 6-8 為不同通話 session 數目之下，系統終止每通電話連線的耗費時間，

10 通電話以上，中斷連線及資源釋放最少須花費 240 ms，最多不超過 6000 ms。

表 6-8、完成通話終止程序耗費時間

Number of Calls Originated	Min Call Release Time(ms)	Mean Call Release Time (ms)	Max Call Release Time (ms)
10	240	541	550
20	460	789	1361
30	870	1279	2142
40	1060	1793	2582
50	690	1769	2712
60	1010	2264	3673
70	1711	2842	4264
80	900	3263	5134
90	1140	3438	5555
100	980	3607	5949

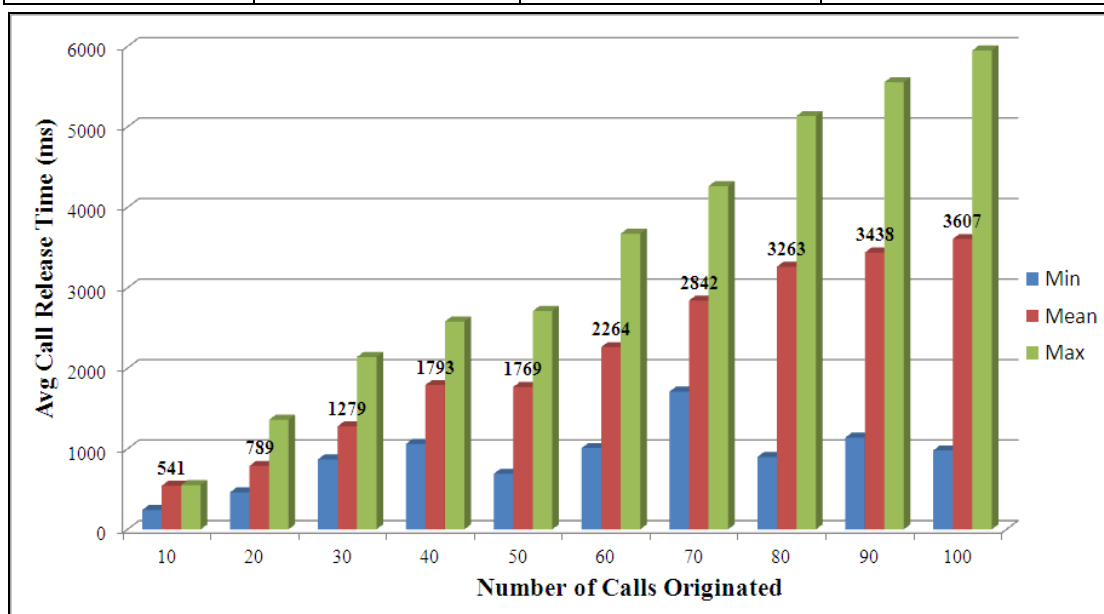


圖 6-7、不同數目通話終止耗費時間（10~100 通電話）

6.2.3、語音傳輸品質

以下為針對群組通訊語音所設計之實驗，主要測量的品質參數，包括：語音封包單向傳輸時間、封包遺失率。

整體語音耗費時間可分為聲音處理與傳輸時間，聲音處理時間又可細分為聲音錄製、播放及 Codec 編解碼時間，本系統語音擷取與編解碼處理參數如表 6-9 所示。

表 6-9、ACS 語音擷取與編解碼處理參數

Parameters	Values
Codec	iLBC
Sampling Frequency	8000 Hz
Sample Size	16 bits
Input PCM Frame Size	1920 bytes (30ms)
Output Frame Size	200 bytes
Compression Ratio	10.42%

實驗 3、通話連線數目影響語音傳送品質之分析

● 實驗設計

利用兩支 Android 手機及兩部 Notebook 啟動多執行緒模擬線上其他使用者，透過系統建立數通電話連線，每位使用者在連線建立之後同時連續傳送 1000 個語音封包，測量系統語音處理及轉送封包之品質數據及測試系統負載能力。

● 參數設定

表 6-10、實驗 3 參數設定

Experimental Parameters	Values
Number of Calls Originated	10~100
Number of Users (Cell Phone)	2
Number of Users (Notebook)	8~98
Number of Packets Sent (Per User)	1000

● 結果與分析

如圖 6-8 所示，一通電話語音傳輸的過程開始於傳送端送出語音封包至系統（ $T_{\text{PropagationDelay (UE} \rightarrow \text{Server)}}$ ）並存放在專屬頻道的封包佇列中，經由系統依據通話頻道搜尋通話對象之程序（ $T_{\text{CallDelivery}}$ ），從佇列中取出語音封包轉送至目的地

($T_{\text{PropagationDelay (Server} \rightarrow \text{UE)}}$)，封包傳輸期間須經過兩個以上的路徑，在此實驗中預設發話與受話者共處於同一部 Server 管轄範圍，因此傳輸時間為 $2T_{\text{PropagationDelay (UE} \leftrightarrow \text{Server)}}$ 。將全部的參數加總為聲音從說話者傳送到收聽者的總耗費時間 (Mouth-to-Ear Delay Time, MED)，計算方式如公式 (2)

$$T_{\text{MED}} = T_{\text{VoiceRecord}} + T_{\text{VoiceEncode}} + T_{\text{CallDelivery}} + 2T_{\text{PropagationDelay (UE} \leftrightarrow \text{Server)}} + T_{\text{VoiceDecode}} + T_{\text{VoiceTrack}} \quad (2)$$

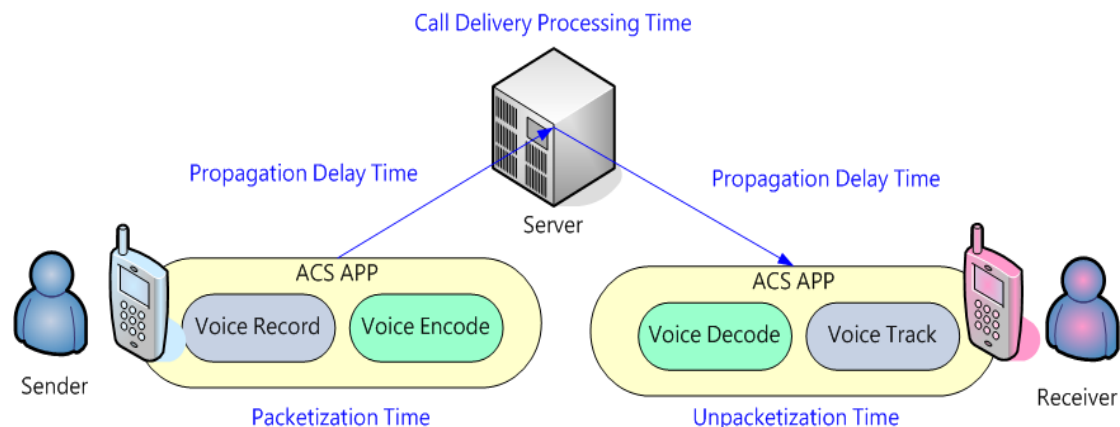


圖 6-8、系統語音傳輸圖

表 6-11 為實驗所測得語音傳送之 MED、Jitter、Packet Loss Rate 等數據，從圖 6-9 可分析出通話數在 30 通以下，MED 維持在 339~357 ms 之間，在一般使用者可容許的範圍 (300~400 ms) 之內，通話數在 30 通以上，語音品質隨著線上通話數目的增加而開始下降，造成此種現象可能的原因為二，一是因網路頻寬資源不足，語音傳送採用 UDP 協定，沒有壅塞預防及控制機制，多個使用者一直不停發送語音封包，導致 MED 及封包遺失率上升。二是因每一通電話的語音封包皆須透過系統轉送至目的地，Server 負責話務轉送效能到達瓶頸，封包全積在佇列中無法即時消化，造成 MED 增加。

表 6-11、不同通話數語音傳輸品質測量數據

Number of Calls Originated	Min MED (ms)	Max MED (ms)	Avg MED (ms)	Avg Jitter (ms)	Packet Loss (%)
10	232	304	339	32.678	0.172
20	226	359	355	29.65	1.267
30	238	412	357	31.255	1.819
40	354	581	462	44.059	2.883
50	397	676	507	46.295	3.125
60	431	710	541	50.321	5.684
70	510	770	607	58.843	5.921
80	722	1036	819	60.705	8.405
90	933	1165	1036	83.467	7.231
100	260	5122	1578	95.616	12.214

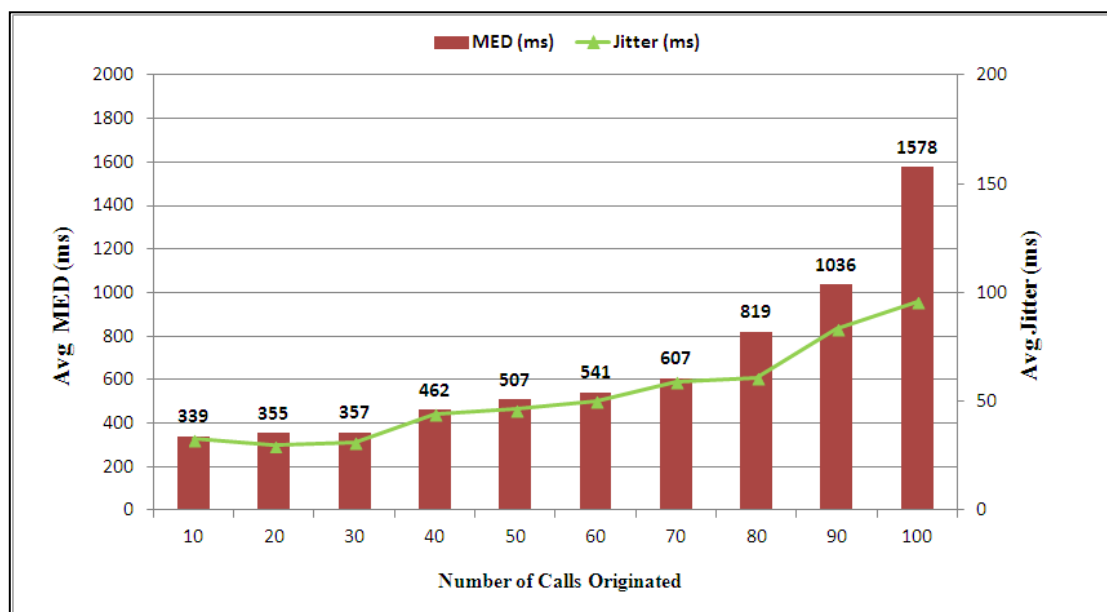


圖 6-9、語音傳輸品質實驗結果

第七章、 結論與未來研究方向

大型天然災害發生後的 72 小時為黃金救援期，災情傳遞、資源調度以及救援工作的相互協調仰賴於有效運作的通訊系統，本篇論文主旨在針對應急蜂巢式行動通訊網路（Contingency Cellular Network ,CCN）設計群組通訊模式，目的在於使災區內使用者能透過群組通訊系統，進行溝通協調以提高救災效率。

本研究設計由群組通訊系統（Agency Communication System ,ACS）負責管控群組資料，並以 CCN 元件 Emulated Controller Module（EC Module）作為通訊處理核心，利用基地台閒置頻寬資源，提供群組呼叫與通話接續之功能。CCN 網內之通訊群組使用手機向系統註冊，由系統指配群組聯絡代表號，當災區內使用者有通訊需求時，即可利用手機直撥代表號，將通話請求訊息經由行動基地台向系統發送，透過群組資料比對程序呼叫通訊對象以建立通話連線。

在群組代表號設計方面，為使用戶能快速撥打、方便記憶，以簡碼代替繁雜的行動號碼並符合 E.164 電信網路編碼規則，具有緊急識別之效用。在通訊處理設計方面，透過解析群組聯絡號碼快速對映群組成員資料，並依使用者目前所在位置篩選出鄰近之通訊對象，且為了避免緊急程度較高的通訊受頻寬資源有限的影響而無法順利撥接成功，特將群組通訊分級，給予不同的通話優先權及品質控制。

為驗證系統設計之可行性，本研究以 IEEE802.11 Wi-Fi 無線網路環境建置模擬系統，初期採用集中式架構而系統內部控制訊息及語音資料以 UDP 數據封包格式傳送，使用者端以 Android 平台手機搭配 VoIP 軟體模擬手機與系統連線以進行通話，未來將以分散式建構本系統。

最後，本文針對模擬系統註冊處理、通話管理及語音傳送品質等三部份，透

過一連串實驗以觀察本系統在實際運作上所達之效能。以 100 位使用者進行之實驗，平均註冊時間為 2.2 秒，通話連線建立時間為 5.2 秒，可見系統在使用者註冊及通話連線處理上，即使同時面對大量使用者需求，仍可在短時間予以回應。在通話語音品質方面，通話數在 30 通以下，MED 值維持在一般 VoIP 使用者可容許的範圍（300~400 ms）之內，但當線上通話數目持續增加時，話務流量亦隨之增加，系統話務轉送效能到達瓶頸，語音品質開始下降，未來可針對此部份予以改進，將群組通訊系統加入話務分散機制或搭配群組通話等級動態配置頻道資源等設計，讓系統在能維持通話品質水準的情況下，提高系統容量以滿足災區內更多使用者的通訊需求。

參考文獻

- [1] 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.
- [2] Association of Public-Safety Communications Officials International, Project 25, <http://www.apcointl.org/frequency/project25.php>, retrieved May. 2010.
- [3] 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.
- [4] Melanie Basich, "Wireless When You Need It," <http://www.policemag.com/Channel/Technology/Articles/Print/Story/2009/01/Wireless-When-You-Need-It.aspx>, retrieved Jan. 2009.
- [5] Carlo Bertolli, Daniele Tarchi, Romano Fantacci, Marco Vanneschi, and Andrea Tassi, "An Integrated Communication-Computing Solution in Emergency Management," *ACM International Wireless Communications and Mobile Computing Conference 6th*, Caen, France, June. 2010.
- [6] 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.
- [7] Weimin Dong, et al., Chi-Chi, "Taiwan Earthquake Event Report, Risk Management Solutions," Inc., https://www.rms.com/Publications/Taiwan_Event.pdf, retrieved Mar. 2010.
- [8] Arjan Durresi, Mimoza Durresi, Vamsi Paruchuri, and Leonard Barolli, "Ad Hoc Communications for Emergency Conditions," *IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, Biopolis, Singapore, Mar. 2011.
- [9] Harri Holma and Antti Toskala, *WCDMA for UMTS : radio access for third generation mobile communications*, Third Edition. Chichester, England: Wiley, 2004.
- [10] Hong Kong Amateur Radio Transmitting Society, *Proposal on Amateur Radio Emergency Service in Hong Kong-Mobileizing Radio Amateur's community*

Resources for Disaster and Emergency Communications, Document No. 06/XIII/018, Aug. 2005.

- [11] Chih-Lin Hu, Chien-An Cho, Chang-Jung Lin, Chen-Wei Fan, "Design of Mobile Group Communication System in Ubiquitous Communication Network", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 56, No. 1, FEBRUARY 2010
- [12] Jyh-Shyan Huang, Yao-Nan Lien and Yu-Chieh Huang, "Network Topology Planning for Contingency Cellular Network," *Proceedings of 17th Mobile Computong Workshop*, Aug. 2012, Taoyuan, Taiwan, NSC 100-2221-E-008.
- [13] ITR-RESCUE, Robust Networking and Information Collection Project, <http://www.itr-rescue.org/research/networking.php>, retrieved Feb. 2010.
- [14] Hung-Chin Jang, Yao-Nan Lien and Tzu-Chieh Tsai, "Rescue Information System for Earthquake Disasters Based on MANET Emergency Communication Platform," *Proc. of the ACM International Workshop on Advanced Topics in Mobile Computing for Emergency Management: Communication and Computing Platforms (MCEM 2009)*, June, 2009, Leipzig, Germany, pp. 623-627.
- [15] Richard E. Krock, "Lack of Emergency Recovery Palnning Is a Disaster Waiting to Happen," *IEEE Communications Magazine*, Jan. 2011.
- [16] Bih-Hwang Lee, Su-Shun Huang, Hsin-Pei Chen, Tai-Ghun Wu, Department of Electrical Engineering National Taiwan University of Science and Technology, "Study on Survivable Location Management Scheme in Wireless ATM Networks", *Journal of Technology*, Vol. 20, No. 2, pp. 133-142 (2005)
- [17] Tae-Ho Lee and Taesang Choi, "Self powered wireless communication platform for disaster relief," *2011 Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, Sep. 2011.
- [18] Yao-Nan Lien, Li-Cheng Chi and Yuh-Sheng Shaw, "A Walkie-Talkie-Like Emergency Communication System for Catastrophic Natural Disasters," *Proc. of ISPAN09*, Kaohsiung, Taiwan, Dec. 2009.
- [19] 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. 2009.
- [20] Yao-Nan Lien, Li-Cheng Chi and Chih-Chieh Huang, "A Multi-hop Walkie-Talkie-Like Emergency Communication System for Catastrophic Natural Disasters," *Proceedings of International Conference on Parallel Processing Workshop (on Applications of Wireless Ad Hoc and Sensor Networks)*, San Diego, CA.

- [21] Yao-Nan Lien, Hung-Chin Jang and Tzu-Chieh Tsai, "Design of P2Pnet: An Autonomous P2P Ad-Hoc Group Communication System," *Proceedings of The First International Workshop on Mobile Peer-to-Peer Information Services (MP2PIS)*, May 18-21, 2009, Taipei, Taiwan,
- [22] Jaeao Lim, Rchard Klein, and Jason Thatcher, "Good Technology, Bad Management: A Case Study of the Satellite Phone Industry," *Journal of Information Technology Management*, vol. XVI, no.2, 2005, pp. 48-55.
- [23] Kelly T. Morrison, AT&T, "Rapidly Recovering from the Catastrophic Loss of a Major Telecommunications Office," *IEEE Communications Magazine*, vol.19, no.1, Jan. 2011. pp. 28-35.
- [24] E. Natalizio, "The practical experience of implementing a GSM BTS through open software hardware," *2010 International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL)*, Nov. 2010.
- [25] J. Chris Oberg, Andrew G. Whitt, Robert M. Mills, "Disasters Will Happen - Are You Ready?," *IEEE Communications Magazine*, vol.49, no.1, Jan. 2011. pp. 36-45.
- [26] Yang Ran, "Considerations and Suggestions on Improvement of Communication Network Disaster Countermeasures after the Wenchuan Earthquake," *IEEE Communications Magazine*, vol.49, no.1, Jan. 2011. pp. 44-47.
- [27] Cristina Ribeiro, and Alexander Ferworn, "Computational Public Safety in Emergency Management Communications," *ACM International Wireless Communications and Mobile Computing Conference 6th*, New York, USA, Oct. 2010.
- [28] 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 .
- [29] Yoshitaka Shibata, Yosuke Sato, Naoki Ogasawara, Go Chiba, "A Disaster Information System by Ballooned Wireless Adhoc Network," *IEEE International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, Fukuoka, Japan Mar. 2009.
- [30] The Weather Channel, "Earthquake Deaths to Reach 3.5 Million by 2100," <http://www.weather.com/news/science/earthquake-deaths-dramatic-rise-20130221>, retrieved Feb. 2013.
- [31] Stelios Timotheou and Georgios Loukas, "Autonomous Networked Robots for the Establishment of Wireless Communication in Uncertain Emergency

- Response Scenarios," *ACM symposium on Applied Computing*, New York, USA, Mar. 2009.
- [32] Sarah Underwood, "Improving Disaster Management," *Comm. of ACM*, vol. 53, no. 2, Feb. 2010, pp. 18-20.
- [33] Misako Urakami, Yuya Okada, Yasuyuki Niwa, Hisaya Motogi, Hiroshi Matsuno, "Construction of Wireless Network for Information Communication for a Disaster-affected Island," *IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, Perth, Australia Apr. 2010
- [34] Fan Wei, Md.Emadatul Haque, Yukihiro Fukunaga, Takehiro Gouda, Xiaodong Lu and Kinji Mori "Autonomous Community Construction Technology for Timely Transmitting Emergency Information," *IEEE Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing*, Shaanxi, China, Oct. 2010.
- [35] 3GPP, Specifications, <http://www.3gpp.org/Specifications>, retrieved Nov. 2011.
- [36] 3GPP, TS 23.401, "General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access" version 11.0.0
- [37] 林進豐, 行動衛星通訊, 五南出版社, ISBN : 9789571150062, Dec. 2007
- [38] 林志豪, 災難最前線:緊急醫療系統的運作, 貓頭鷹出版社:家庭傳媒城邦分公司發行, ISBN:978-986-262-037-3, 2010.05
- [39] 施邦築,柯孝勳,許秋玲,莊明仁,張歆儀,八八水災災後防救災體系之省思,土木水利第三十七卷第一期救災篇, Vol. 37, No. 1 February 2010
- [40] 唐雲明, 各國災害緊急通訊機制之探討, 中華民國危機管理學刊, 3,2010,vol.7,No.1
- [41] 孫玉, 應急通信技術總體框架討論, 人民郵電出版社, ISBN : 7115208328, 2009
- [42] 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, *Proc. of 2010 National Symposium On Telecommunications*, TaoYuan, Taiwan, Dec.2010.
- [43] 張雪麗等, 應急通信新技術與系統應用, 機械工業出版社, ISBN : 9787111292982, Jan. 2010
- [44] 楊永年 國立政治大學公共行政學系, 八八水災救災體系之研究, 公共行政學報第三十二期〈議題評論〉頁 143-169, 民 98 年 9 月
- [45] 熊光華,顏振嘉, 國際搜救團隊救災機制之調查研究, 內政部消防署, 計劃編號: E9103-016
- [46] 中央災害應變中心作業要點, 95 年 12 月 25 日行政院院臺內字第 0950053810 號函核定
- [47] 國家通訊傳播委員會, 高雄縣莫拉克颱風災後通訊傳播設施改善實施計畫, Jun. 2010

- [48] 交通部電信總局，九二一震災災後重建電信問答手冊，
<http://kbteq.ascc.net/archive/dgt/dgt01.html>, retrieved Dec. 2011.
- [49] 高抗災通信平臺，
http://88flood.www.gov.tw/committee_news_detail.php?cn_id=506, retrieved Dec. 2011.
- [50] 維基百科，921 大地震、2011 年日本東北地方太平洋近海地震、八八水災，
<http://zh.wikipedia.org/>
- [51] [Android 筆記]以 UDP Socket 來完成 P2P 資料傳遞範例（聲音通話）
http://iainstnote.blogspot.tw/2012/08/androidudp-socketp2p.html#!/2012/08/androidudp-socketp2p_18.html