

大型自然災害下大規模救災緊急通訊系統方案

連耀南，黃智賢

國立政治大學資訊科學系
電信研究所 客戶服務研究室

摘要—大型自然災害發生時，必須在黃金 72 小時內集中所有救難資源搶救出受困於災難現場的人員。由於制式的救災設備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，不但外援非常薄弱，救援行動也是一片兵荒馬亂。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。本文提出數個具互補性的緊急通訊系統解決方案，包括行動電話附加功能，基地台緊急備援方案，以及利用志願救災人員的筆電等行動運算設備構成的 P2Pnet。

關鍵詞: 緊急通訊，救災防災，行動通訊，MANET

一、緣起

大型災難發生時，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」。

此外，由於制式的救災設備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，災變發生初期，幾乎全靠災區內倖存的志願人員及地區的軍警以無組織的方式投入救災，不但外援非常薄弱，救援行動也是一片兵荒馬亂。

不幸的是，在歷年各種大規模的自然災害中，固定及行動通訊因為各種原因而癱瘓，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。

本文提出數個具互補性的緊急通訊系統解決方案提供國家權責單位參考，包括行動電話附加無線對講機及緊急功能方案，基地台緊急備援方案，以及利用志願救災人員的筆電等行動運算設備構成的 P2Pnet 方案。

¹ 本研究由國科會贊助，計畫編號 NSC 97-2221-E-004-002-MY3

1.1 災區的情境—交通及通訊系統癱瘓，嚴重影響救災效率

大型災害來臨時，災區一片兵荒馬亂，其情景吋筆難以盡述，以十餘年前的 921 地震為例[3]，其相關著作雖汗牛充棟，仍難以盡窺全貌。我們綜合莫拉克颱風/88 水災，921 地震及海地地震的經驗歸納如下，作為訂定緊急通訊與資訊系統需求之參考。

- 包括行動電話在內的通訊聯絡網路幾乎全面癱瘓。
- 災區的交通全面癱瘓，道路橋樑柔腸寸斷，甚至被大量志願救災車輛塞爆道路。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而沒有飛機能降落。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，不能太過依賴外界支援。
- 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。而這些志願人員彼此之間幾乎沒有通訊聯絡工具可資協調，效率極低。
- 各級行政系統可能癱瘓，導致既有通聯組織之癱瘓，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，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。

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。這些問題都有詳細記載在文獻中[2,4,5,6]。

1.2 黃金救難時間內災區之通訊問題分析

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，無法支援災區緊急應變之需。影響行動電話可用度的主要因素如下：

- 基地台遭強震摧毀或因電力中斷而癱瘓，(備用電源僅能支持一至數小時，而 88 水災中 3300 座斷訊的基地台中約 70%是因為電力中斷而斷訊)。
- 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。

莫拉克/88 水災中，道路柔腸寸斷，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，除了電力中斷的原因之外，backhaul 損毀是基地台斷訊的主因，而大部分斷訊的基地台本身並未受損。電力與 backhaul 線路成為行動通訊網路的弱點（罩門）。

- 交換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。

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，甚至同在一棟倒塌大樓之各團隊都無法面對面溝通。

1.3 小結

由於交通癱瘓，在黃金救難時間內，災區無法獲得大規模外援，必須依靠自力救濟，但行動通訊網路因為種種原因而癱瘓嚴重影響救災救難之效率，有必要發展一些必要措施，快速提供緊急通訊系統。國家通訊傳播委員會在 2009 已經協調業者建立一個以衛星通訊作為備援的強固基地台系統，可在緊急災難時支援制式救災指揮單位進行救災行動之指揮協調。但是限於資源的有限，絕大部分基地台設備的強固性仍無法獲得大幅提昇，因此，廣大的一般志願救災民眾仍然是通訊斷絕的高危險群。本文針對大規模志願救災民眾提出造價低廉，技術門檻低，可使用災區內既有資源建置的數個方案，供政府參考。

二、各種大規模緊急通訊系統方案

大規模緊急通訊系統方案的可行性在於造價低廉，易於佈建，操作簡單，現行的很多系統或因價格太高無法大量建置，或因重量太重無法空投，因此不敷所需 [1]。本文提出數項可行性極高的方案。

2.1 行動電話附加無線對講機及緊急功能

在緊急災變情形下，對一般非專業人士而言，最有效的通訊工具應為俗稱 Walkie-Talkie 之無線電對講機，不需基地台，彼此之間也不需知道電話號碼，即可通話。可惜，Walkie-Talkie 在我國並不普遍，無法依賴。

而各單位之間(例如軍方與警方)的無線對講機不一定能互通，甚至可能產生干擾 [4]。美國 Katrina 颶風在 New Orland 造成大災難時，這個問題變成阻礙救災效率的一大因素，美國政府因此下令，各單位之無線電通訊系統必須使用 Soft Radio 技術，以便萬一有需要時，可以不受相容性之阻礙而迅速建置統一的無線通訊系統。

Walkie-Talkie 雖然簡單方便，但是並非非常普遍，遠非行動電話之高度普及。更有甚者，因為一般大眾普遍誤以為行動電話在緊急事件時是一個可靠的緊急通訊工具，因而購置無線對講機的意願極低，遑論隨身攜帶，民用無線對講機的生存空間不斷縮小。

慮及此種國情，（其實也是世界趨勢），可以在各地災害應變中心儲存相當數量的無線對講機與備用電池，以備災變時使用。但是，雖然無線對講機操作簡便，也可迅速上手，但是未經訓練而能迅速根據說明書而摸索出操作方法的人數畢竟不多。可以建議常態性志願救災團隊(例如慈濟)配備民用無線對講機並學習其操作，以備應急。更進一步可要求或鼓勵行動電話附加對講機功能以及緊急求救(SOS)按鍵。現今的行動電話普及性極高，幾乎人手一機，在行動電話手機上附加一些緊急功能將可以增加救災效率或於受困時發出緊急求救訊號。

當受困時，如果行動電話系統未受損，手機應可提供受話者位置，供救難人員儘速尋獲受困者加以搶救，但當基地台受損時，這些功能隨之失效。如果加裝 SOS 按鍵時，在國際通用救難頻率、2.4G WiFi 頻段或直接原有行動電話頻率發出 SOS 信號，搜救人員可循求救信號利用無線電定位技術迅速鎖定受困者的位置。除了無線電信號之外，亦可發出特定聲音，或光線幫助救難人員迅速找到受困人員。（市面上已有某型號手機附有手電筒功能。）

此外，許多行動電話附有照相機功能，可利用照相機拍攝受困現場狀況並利用無線電傳送給救難人員，將可協助救難人員擬定救難計畫，增加救難效率。

2.2 基地台備援

很多行動電話公司備有行動基地台，可迅速的在任何地區利用衛星連線建立臨時基地台，大量的志願救災人員的手機可立即活化，擔負救災通訊主力。可惜的是，行動基地台價格昂貴，不可能準備太多，以中華電信公司為例，其北中南分公司各有五部行動基地

台，遇到類似 921 地震等大型災難時，數量遠遠不夠，88 水災時，受災地區共有 3300 座基地台斷訊，中華電信斷訊的 1800 座基地台中，有 550 座在兩天之後仍無法恢復運轉。因此，行動基地台之數量遠遠不敷所需。

再者，當交通中斷時，亦無法迅速在黃金 72 小時內將行動基地台運至災區，其重量亦太重而無法空投至災區。前文曾述及國家通訊傳播委員會在 2009 已經協調業者建立一個以衛星通訊作為備援的強固基地台系統，可在緊急災難時支援制式救災指揮單位進行救災行動之指揮協調。但限於造價昂貴，數量極少，無法支援災區內大量的志願救災人員所需。

我們提出另一個造價低廉可配合前述系統的緊急基地台備援方案供政府參考，統一鼓勵或強制各行動電話公司建置。

由於觀察到災區中基地台停止運轉的主因是電源及連接基地台與後端網路的線路隨著道路橋樑受損而中斷，但大部分基地台本身並未受損，如果能設法提供電源及後端連線，將可迅速讓大部分的基地台恢復運轉。而由於災區內的人員多半會攜帶行動電話逃生，我們假設由倖存者以及救災人員所組成的救災大軍多半攜有行動電話，如果基地台能因本方案而正常運作，那將對救災的緊急通訊產生極大貢獻。此外，大部分基地台都建在高處，且彼此之間的距離不算太遠，彼此之間之視線不易受障礙物阻隔，很容易以無線電互連，再者，基地台的地理位置都經過精心設計，彼此之間如果能夠用無線電互連，不需繁瑣的計算即可很方便的建構一個結構合理的 P2P 無線網路。

如果經費許可，此種備援系統當然可以全面建置。由於考慮到經費之限制，尤其是很多基地台位於人跡罕至之高地，全面自備緊急發電機所引發的建置及維運經費過於龐大，我們不能過於樂觀。因此，我們假設本項系統並非非常設性，而採用臨時架設的方式為之。假如所有基地台均建立本備援系統的介面，而於國家救災中心及各行動電話公司儲備緊急衛星或長距離 WiFi 或微波天線及發電機等設備「太空包」，在緊急時可以空運至選定的受損基地台，迅速架設衛星連線或其他備援連線恢復運轉。本文第三章將詳細介紹設計架構。

2.3 P2Pnet 「自治式 P2P 隨意型群組通訊系統」

由上節之分析可知，要搶修大量的受損基地台需要數天甚至數星期的時間，而大量志願救災人員幾乎沒有通訊工具可用，我們提議利用志願救災人員帶有無線區域網路的筆記型電腦 (Notebook PC) 以 Multi-hop Ad-Hoc Network 方式連接成一個 MANET (Mobile Ad Hoc Networks) 或 VANET (Vehicular Ad Hoc Networks)，然後在 MANET/VANET 上加上我們將研發的 P2P 相關

網路技術建構成 P2Pnet [5,6]，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，例如 VoIP, Push-to-Talk, Instant Message 等。當外援尚未到達時，在地的志願人員可以利用本系統迅速建立緊急通訊及資訊系統進行救難救災，可行性非常高。

MANET 是一種行動式無線區域網路，對群組行動使用者提供一個可在行動中使用的電腦網路。一個 MANET 係由一組行動電腦 (筆記型電腦或具有 WiFi 能力的智慧型手機)組成，其間以 Multi-Hop Ad-Hoc 無線區域網路連結成 Wireless Intranet，其中可能有部分的行動電腦具備伺服器功能以及連接 Wireless Internet 的功能，稱為 Mobile Gateway。各個行動電腦之間可藉由高速的 Wireless Intranet 進行即時多媒體網路通訊，並可間接透過 Mobile Gateway 接取較低頻寬的 Wireless Internet。各個行動電腦如受環境阻隔，可藉左右鄰兵(鄰車)間接傳送信號，以克服環境阻礙。

P2Pnet (Autonomous P2P Ad-Hoc Group Communication Systems) 「自治式 P2P 隨意型群組通訊系統」，則是利用 MANET/VANET 技術加上一些 P2P 網路技術專門用於支援臨時性無組織無伺服器無網路的特殊情況下的通訊服務之用 [5,6]。

近年來，除了需要基地台的行動電話之外，具有無線區域網路功能的筆記型電腦的普及性已經遠遠超過其他的通訊系統，當自然災害來臨時，災區內外的志願救災人員最有可能攜帶的電子設備為(1)行動電話、(2)收音機、(3)筆記型電腦、(4)數位照相機、(5)數位攝影機。當行動電話失效時，只有筆記型電腦可以作為通訊工具之用。{有的筆記型電腦多半具有 WiFi 無線區域網路功能 (未來將具備 WiMAX 功能) 而部分智慧型手機或 iPad 等設備也具有 Wi-Fi 功能，攜帶筆記型電腦的人員及車輛在災區內外可以利用 P2Pnet 技術建構成災區緊急通訊系統，在這個系統上面提供 VoIP, Push-to-Talk (PTT)，以及資訊系統供災區人員彼此通訊及做救災資訊平台之用。

相較於其他方案，本系統將可提供以下優勢:

1. 本系統內部 Intranet 不需依賴任何行動通訊系統，全部以行動電腦(筆電及智慧型手機)配備無線區域網路組成相容性極高的 Intranet。
2. 而行動電腦之電池所需充電電力不多，以一個小型可攜式發電機即可應付一組系統使用，而所需油料不多，即使災區油源供應中斷，也可抽用汽車油箱內之油料即可應付，若無發電機時，也可以從汽車發電機獲得電源供應。(根據 921 地震中所觀察到的經驗是，大部分的汽車都有相當存油，在 72 小時內油料告罄而加不到油的汽車比例相當低。由災區外進入災區的救災車輛也都會預先加滿油箱，甚至會額外攜帶預備油料。因此提供行動電腦充電所需能量應不致造成大問題。

3. 本架構可在大功率筆電上配備 VSAT 或衛星行動通訊系統(必要時可將設備空投至災區)直接對外通訊並扮演 Gateway 角色,即使一般行動電話系統斷訊,亦能保持對外網路之暢通。
4. 本系統所需之行動電腦極為普遍,不需特殊規格,我國民間普遍擁有筆電或智慧型手機,常備救難單位不需耗費大量經費儲備大量電腦或通訊設備,平常只需準備罕用零件,系統軟體,及資料庫。當災難發生時,可鼓勵志願救災人員自備行動電腦。這些行動電腦裝上系統軟體及資料庫,即可快速建構一個系統。如此,平時閒置之備用資源可降至最低,而災難發生時可迅速且大規模的架設本系統在黃金救難時間內支援救災行動,發揮緊急救難之功能。
5. 我國既為筆記型電腦之生產大國,可在電腦出廠時預先裝設一個小的啟動程式,在緊急時使用者可啟動之,自動建構一個最基本的通訊網路,然後再設法交換資訊建構更高階的系統(亦即, bootstrapping)。
6. 本系統可以設計成高度自動化自我建構,不需受過專業訓練即可建構出本系統,在大規模災難發生時,不虞專業人員之缺乏。
7. 在外援因交通中斷無法即時投入災區時,本系統可利用在地資源建構,在黃金 72 小時內成為唯一可用的系統。

三、應急通訊網路(CCN)架構

3.1 架構說明

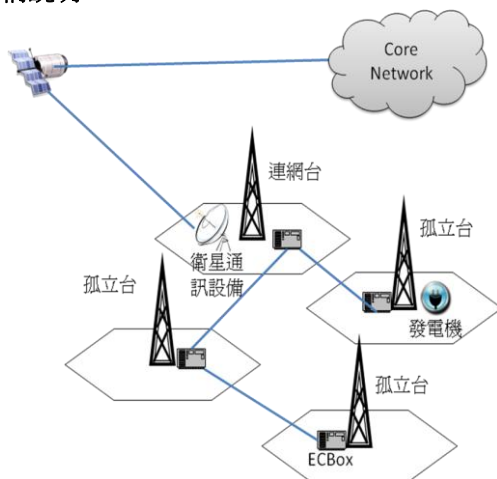


圖 3-1：CCN 網路架構圖

CCN 網路由原有的行動電話網路演化而成,網路架構請參圖 3-1：CCN 網路架構圖。CCN 網路中組成的元件說明如下：

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：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。

CCN 網路所需的元件為發電機、緊急通信盒(ECBox)和衛星通訊設備。這些元件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孤立台,用以恢復孤立台與後端核心網路的連線。相關元件介紹如下：

- **發電機**：
 - 功能：提供災區基地台運轉所需的電源。
 - 說明：災區常因橋斷和路斷,導致基地台失去電源供應。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、可攜的小型發電機成為佈建 CCN 網路不可或缺的元件之一。
- **緊急通信盒(ECBox)**：
 - 功能：ECBox 具以下功能
 - ◆ 具多個無線通訊能力,用以連接鄰台。ECBox 可選搭一個或多個 WiMax、WiFi、無線微波等無線通訊模組。
 - ◆ 可協助基地台恢復與後端核心網路連線能力。
 - ◆ 具資料轉送能力
 - ◆ 具處理、運算能力
 - 說明：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。災區基地台常因橋斷和路斷導致基地台聯外網路斷線,因而無法繼續提供服務。即使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 ECBox 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。首先,孤立台先接上搭載無線電通訊模組的 ECBox。透過無線電方式與鄰台建立連線。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。請參圖 3-2：孤立台恢復連線方式。

ECBox 雖可選搭多個通訊模組、具資料轉送、資料處理和運算能力。但以現有製造技術來看,ECBox 配備造價便宜,可大量

儲備或事先佈建到基地台。因為 ECBox 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。

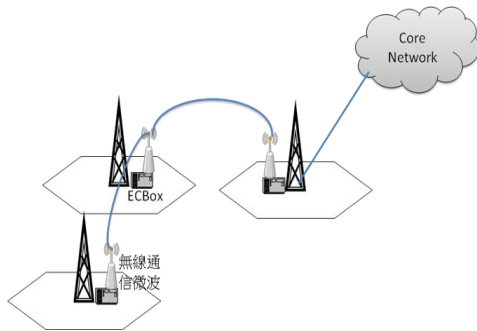


圖 3-2：孤立台恢復連線方式

● 衛星通訊設備

- 功能：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。
- 說明：主要功能與 ECBox 相似，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 3-1 CCN 網路架構圖所示)，為救災人員提供服務。

3.2 重要議題

CCN 網路需克服之挑戰如下：

- **網路拓樸設計**：整體網路拓樸規劃為首要議題。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。網路拓樸的規劃將決定整個網路的效能、服務量和穩定度。需考量的因素有最佳跳接路徑、平均分配網路流量和使用者人數的最大化。
- **配送排程**：由於直昇機運送能力有限，所需資源(發電機、ECBox)可能無法一次到位。需多次運送，才可完成 CCN 網路的建置，因而衍生配送排程(deployment scheduling)的議題。可依基地台可服務的人員數和災害嚴重程度，來排定配送次序和配送路徑。
- **頻寬分配**：CCN 網路頻寬有限，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服務容量能適切配合救災需求。
- **自動化調適**：當經費充裕時可事先規劃，預先架設好 ECBox 和無線連線設備。當災害來臨

時，啟動自動化調適機制，利用分散式 MST 的方式自動建構 CCN 網路。

四、結語

在許多大型災難中，制式的救災設備往往因交通斷絕而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，不但外援非常薄弱，救援行動也是一片兵荒馬亂。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。本文提出數個具互補性的緊急通訊系統解決方案，包括行動電話附加功能，基地台緊急備援方案，以及利用志願救災人員的筆電等行動運算設備構成的 P2Pnet。我們期待通訊專家共同努力投入相關研究。

參考文獻

1. Association of Public-Safety Communications Officials International, *Project 25*, <http://www.apcointl.org/frequency/project25/>, retrieved May 2010.
2. 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.
3. 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.
4. ITR-RESCUE, *Robust Networking and Information Collection Project*, <http://www.itr-rescue.org/research/networking.php>, retrieved Feb. 2010.
5. 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.
6. 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.
7. Sarah Underwood, "Improving Disaster Management," *Comm. of ACM*, vol. 53, no. 2, Feb. 2010, pp. 18-20

