

強震即時警報系統之研發與應用

郭鎧紋 中央氣象局地震測報中心主任
吳逸民 台灣大學地質科學系副教授
溫國樑 中央大學地球科學系教授、國家災害防救科技中心地震組共同召集人
蕭乃祺 中央氣象局地震測報中心課長
吳秉儒 國家災害防救科技中心助研究員

一、前言

強震即時警報 (Earthquake Early Warning, EEW) 是現今地震防災科技研究上一個重要的課題 (Kanamori et al., 1997; Kanamori, 2005)，也是地震測報發展之最終目標。當即時資料處理的工作能夠透過一些方法或模式，將處理的時間縮短至地震發生後十數秒、甚至數秒內時，則可以在破壞性的地震波 (通常指 S 波或表面波) 到達前，對於某些特定的都會區提前數秒至數十秒提出警告。強震即時警報可直接運用於降低地震災害，減少相關傷亡及財產損失，例如捷運列車或是高速火車能夠即時減速、維生線或是瓦斯管線能夠自動關閉、工廠的生產線可以即時停止運轉。雖然短短的數秒至數十秒時間，可能無法使人員有時間疏散到安全的區域，但只要透過平常有計畫的演習訓練，仍然可以有效降低人員的傷亡，例如教室中的學童可以迅速採取安全防護及避難措施，或是工廠中工作的人員也可以迅速移動至安全的位置等。

二、即時強地動觀測系統

強震即時警報須以地震速報為基礎，而台灣由於地震防災的考量，從 1994 年起開始規劃建置即時強地動觀測系統，進行相關技術研發的工作

(Shin et al., 1996)，經過幾年來的持續發展以及實際運用於地震測報之經驗，該系統已經穩定運轉，成為台灣地區發布有感地震的核心系統，以及發展強震即時警報作業的骨幹。

整個即時強地動觀測系統之系統架構（圖 1）包括強震儀、資料傳輸線路、資料處理及地震消息發布等 4 個部分：

1. 強震儀：負責地動訊號蒐集，具 16 位元的解析度，即有 96dB 的動態記錄範圍，最大地動加速度範圍為正負 2G。中央氣象局目前在台灣本島及離島地區總共建置 100 個以上之測站（圖 2），同時可依實際需求適時增減測站，並調整使用之測站，以強化有感地震之偵測能力。
2. 資料傳輸線路：資料傳輸線路使用中華電信公司的數據專線，所有強震儀三軸向、取樣率每秒 50 點的地動訊號經過數據機後，24 小時連續傳回至資料處理中心。除了數據專線以外，中央氣象局目前也藉由 Frame-Relay 網路，利用 TCP/IP 的協定將訊號傳回中心站，此訊號傳輸環境並同時配備有衛星通訊線路的備援。
3. 資料處理：資料處理為完全自動作業，處理中心位於中央氣象局台北局本部，當地動訊號達觸發標準，系統會自動進行定位工作，並將地震位置、規模大小等定位結果及各地震度藉由許多管道快速發布，有效減少地震反應的時間。
4. 地震消息發布：地震消息內容包括地震發生時間、震央位置、震源深度、地震規模、各地震度等基本參數，以及藉由這些參數的推估，在防救災上一些重要的參考資訊。鑑於網際網路使用的普遍性，地震情報的傳遞以網路為主要的傳播媒介，並隨著近年來通訊科技的發展，開發不同新的傳遞途徑。

三、系統研發現況

台灣現階段發展中的強震即時警報系統，在中央氣象局即時強地動觀

測系統的架構下，透過軟體的設計，採取虛擬的子網架構（Wu et al., 2002），將即時匯集至中心的震波資料進行分離，針對高度地震活動的地區，抽取出一組測站群資料進行地震的監測，此種方式可以機動性調整各個觀測子網的配置，增加測站選擇的彈性，而藉由子網有限的測站個數及記錄長度，可以縮短地震的反應時間，達到速報預警的目的。

台灣從 2001 年即開始進行台灣地區強震即時警報成效的測試。其警報成效主要由自動地震定位、地震規模計算以及地震反應時間來評估。有關自動地震定位的表現，自動地震定位的結果與中央氣象局地震目錄中人工地震定位的結果非常吻合，其中震央位置的平均偏差約為 6 公里，震源深度平均偏差則約為 5 公里。有關地震規模的比較，子網計算的規模與人工地震定位計算的規模平均偏差為 0.2；在速報預警的考量下，已可達到防災的要求，不過針對外海大規模的地震，則會出現規模低估的情形。地震反應時間平均為 20 秒，對於距離震央約 70 公里以外的地區已經有預警的能力，對於 100 公里以外的地區則可提供 10 秒左右的預警時間；至於 70 公里以內的預警空白區，雖然子網模式無法提供預警，地震訊息的快速發布對於預警空白區仍有速報救災的意義與功能。

為能進一步縮短地震反應的時間，目前全世界很多學者和機構參考現場警報（On-site warning）的模式，使用 P 波的資訊來進行地震預警的研究（Nakamura, 1988; Allen and Kanamori, 2003; Odaka et al., 2003; Kanamori, 2005; Wu and Kanamori, 2005）。P 波為地震波中最先到達的波相，其近場位移紀錄包含了震源的效應，可以用來快速推估地震規模；圖 3 為不同規模地震所收錄到垂直向的位移紀錄，圖中顯示這些近場的紀錄，隨著地震規模的變大，除了 P 波的振幅相對變大外，頻率的部分也有著明顯的不同，規模越大的地震，其 P 波的週期越長，頻率越低，反應出不同規模地震震源破裂的特性，因此我們可以利用 P 波頻率隨規模變化的特性，快速推估地震的規模。

中央氣象局蒐集近年來即時強地動觀測網擁有完整強震記錄的地震，以迴歸分析的方法，分析統計 P 波 3 秒紀錄長度，位移振幅與週期跟地震規模的關係，以評估 P 波應用於台灣地區地震預警訊息發布之可行性 (Hsiao et al., 2009)。結果顯示，在即時強地動觀測系統的架構下，P 波位移振幅 0.1 公分可設定為判斷台灣島內或近海區域是否發生規模 6 以上地震的門檻，同時獲得利用 P 波週期相關參數推估地震規模之經驗公式，用來於即時作業中快速推估地震的規模。

根據虛擬子網實際運作成效以及 P 波參數分析結果，台灣強震即時警報作業可規劃如圖 4 所示。當台灣地區發生有感地震觸發觀測網後，首先判斷 P 波位移振幅，當振幅大於 0.1 公分時則進一步利用 P 波週期推估地震規模，並在推估規模大於 6 時提供預估的各地振動參數，例如震度；作業時同時聯合子網的運作模式，以做為地震警報參數之驗證。由於現階段中央氣象局的即時強地動觀測網，針對發生於島內或近岸的淺層有感地震，可以在 6 秒左右觸發，因此未來有機會將地震的反應時間進一步縮短至 10 秒，對於距離震央約 30 公里以外的地區提供地震警報。

四、系統應用分析

強震即時警報資訊透過各種通訊管道將傳遞給應用單位，使用單位可以在 S 波尚未到達前採取緊急應變措施，應用層面包含救災單位、集合住宅、交通設施、發電廠、維生線系統、醫療院所、高科技廠、學校等。強震即時警報系統可能之應用情境分析如下：

1. 救災單位：消防人員自我安全防護，準備啟動救災應變作業，出動消防車及救災機具設備。
2. 集合住宅：結合大樓安全管理及監控系統，發布強震即時警報資訊。家戶收到強震即時警報資訊後，自動關閉瓦斯及電熱器，電梯停至適當樓層並打開電梯門。

3. 交通運輸系統：軌道運輸系統（高速鐵路、鐵路、捷運）自動減速停車，封閉型重要路段（長隧道、老舊橋樑）之交通儀控，公車動態資訊傳遞，危險物品運送車輛之警報資訊傳遞等。
4. 醫療院所：手術門自動開啟，電梯停至適當樓層並打開電梯門，關閉危險設施，啟動備用電源，院內廣播，暫停手術，人員採取緊急應變措施及自我安全防護等。
5. 發電廠：停止發電機運作，根據震度等級啟動應變作業，人員自我安全防護。
6. 維生線系統：電力系統、瓦斯管線啟動安全防護措施。
7. 高科技廠：停止有毒物質供應，高溫高壓設備之減壓安全措施，啟動備用電源，人員自我安全防護。
8. 學校：校內廣播，老師及學生採取安全防護措施，緊急避難疏散。

目前台灣已有台灣鐵路系統、台灣高速鐵路系統、台北捷運系統、高雄捷運系統、核電廠、及一些高科技廠房等已建置地震監測系統，提供應用單位本身在地震發生後之地震監測資訊。但是尚未將強震即時警報資訊和後端自動控制系統連結，在破壞性地震波到達前提早緊急應變措施，尚待進一步推動強震即時警報於相關應用單位地震減災之落實應用。

五、結論與建議

台灣地震觀測及定位技術研發已有豐碩成果，但尚待強化警報資訊內涵及精度、開發各種通訊傳輸與接收產品、及推動在相關單位之落實應用。未來強震即時警報系統之研發推動建議朝向下列幾個方向：

1. 建立推動體制並促成政策決策：凝聚相關部會署推動共識，建立研發推動體制。建議於行政院層級促成推動政策之形成，推動跨部會大型計畫之建立，整合產官學各界之資源及研發能量，共同推動技術研發及落實應用。

2. 先進技術研發與整合：包含強震即時警報技術提升、多重通訊管道之應用及通訊傳輸產品之開發、應用端技術研發、使用者需求及應用現況調查四大部分，各群組除了技術研發與測試外，尚需與其他群組交流與整合。
3. 雛型系統之建置與驗證：建議利用目前技術發展較為成熟之通訊管道，優先建立公共設施及救災單位之應用雛型系統。經由實際地震案例，測試系統精度及效能，調查使用者意見及滿意度，進行實測資料回饋分析。待系統成效驗證之後，再逐步擴大應用層面。
4. 相關法規制定及配套措施建立：推動機關團體從事地震觀測業務許可辦法、以及產業應用相關法規之制定，使執行上更有效力。並推動產品技術規範與認證制度之建立，技術移轉及產業輔導與獎勵措施之實施，教育宣導及防災演練等相關配套措施之建立。

參考文獻

1. Allen, R. M. and H. Kanamori (2003), "The potential for earthquake early warning in Southern California," *Science*, Vol. 300, pp. 786-789.
2. Hsiao, N. C., Y. M. Wu, T. C. Shin, L. Zhao, and T. L. Teng (2009), "Development of earthquake early warning system in Taiwan," *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 36, L00B02, doi:10.1029/2008GL036596.
3. Kanamori, H., E. Hauksson, and T. Heaton (1997), "Real-time seismology and earthquake hazard mitigation," *Nature*, Vol. 390, pp. 461-464.
4. Kanamori, H. (2005), "Real-time seismology and earthquake damage mitigation," *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, Vol. 33, pp. 5.1-5.20.
5. Nakamura, Y. (1988), "On the urgent earthquake detection and alarm system (UrEDAS)," *Proc. Ninth World Conf. Earthq. Eng.* Vol. 7, pp. 673-678.

6. Odaka, T., K. Ashiya, S. Tsukada, S. Sato, K. Ohtake, and D. Nozaka (2003), "A new method of quickly estimating epicentral distance and magnitude from a single seismic record," Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 93, pp. 526-532.
7. Shin, T. C., Y. B. Tsai, and Y. M. Wu (1996), "Rapid response of large earthquakes in Taiwan using a realtime telemetered network of digital accelerographs," 11th World Conf. Earthq. Engin., Paper No. 2137, Elsevier, Amsterdam.
8. Wu, Y. M. and T. L. Teng (2002), "A virtual subnetwork approach to earthquake early warning," Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 92, pp. 2008-2018.
9. Wu, Y. M. and H. Kanamori (2005), "Experiment on an onsite early warning method for the Taiwan early warning system," Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 95, pp. 347-353.

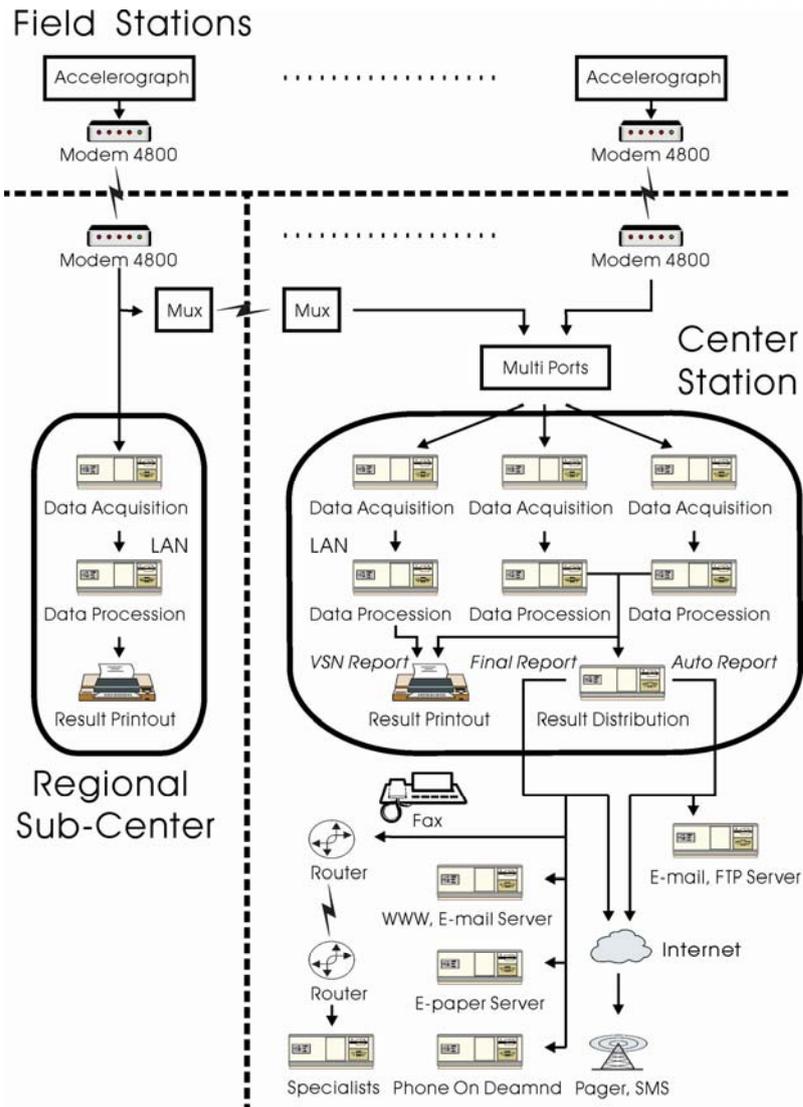


圖 1、中央氣象局即時強地動觀測系統之系統架構圖

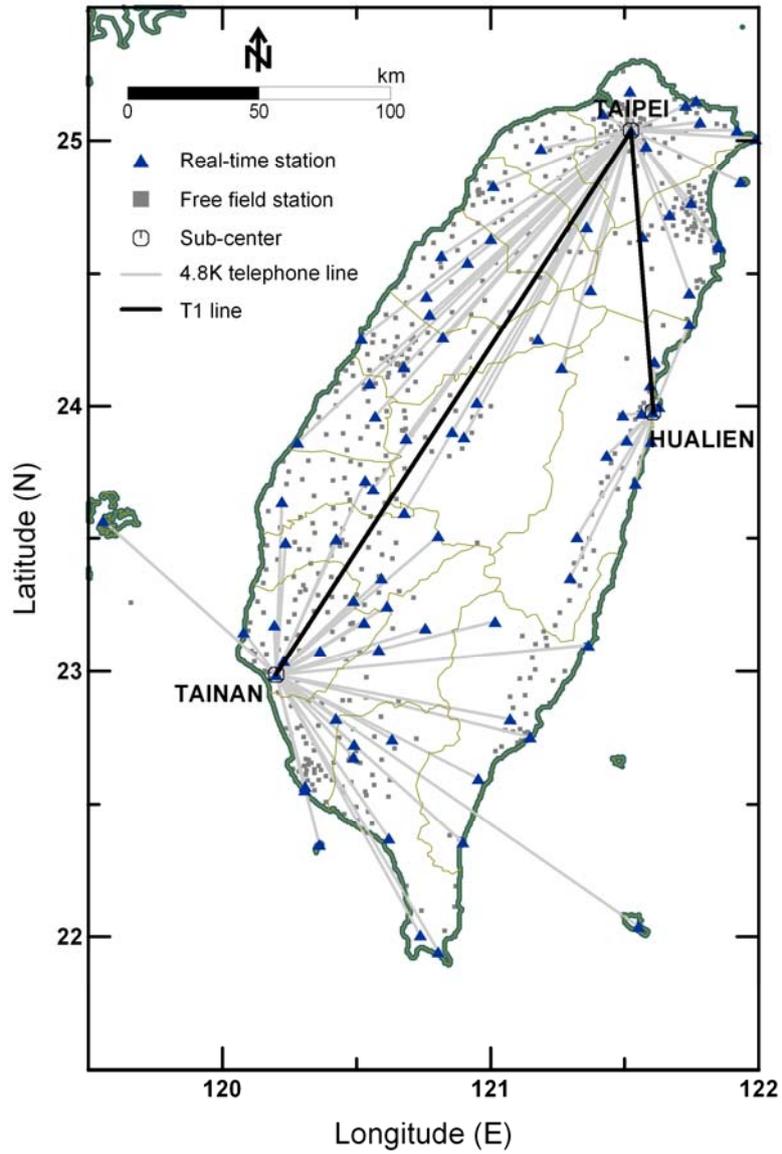


圖 2、中央氣象局強地動觀測系統測站分布與即時傳輸線路架構圖

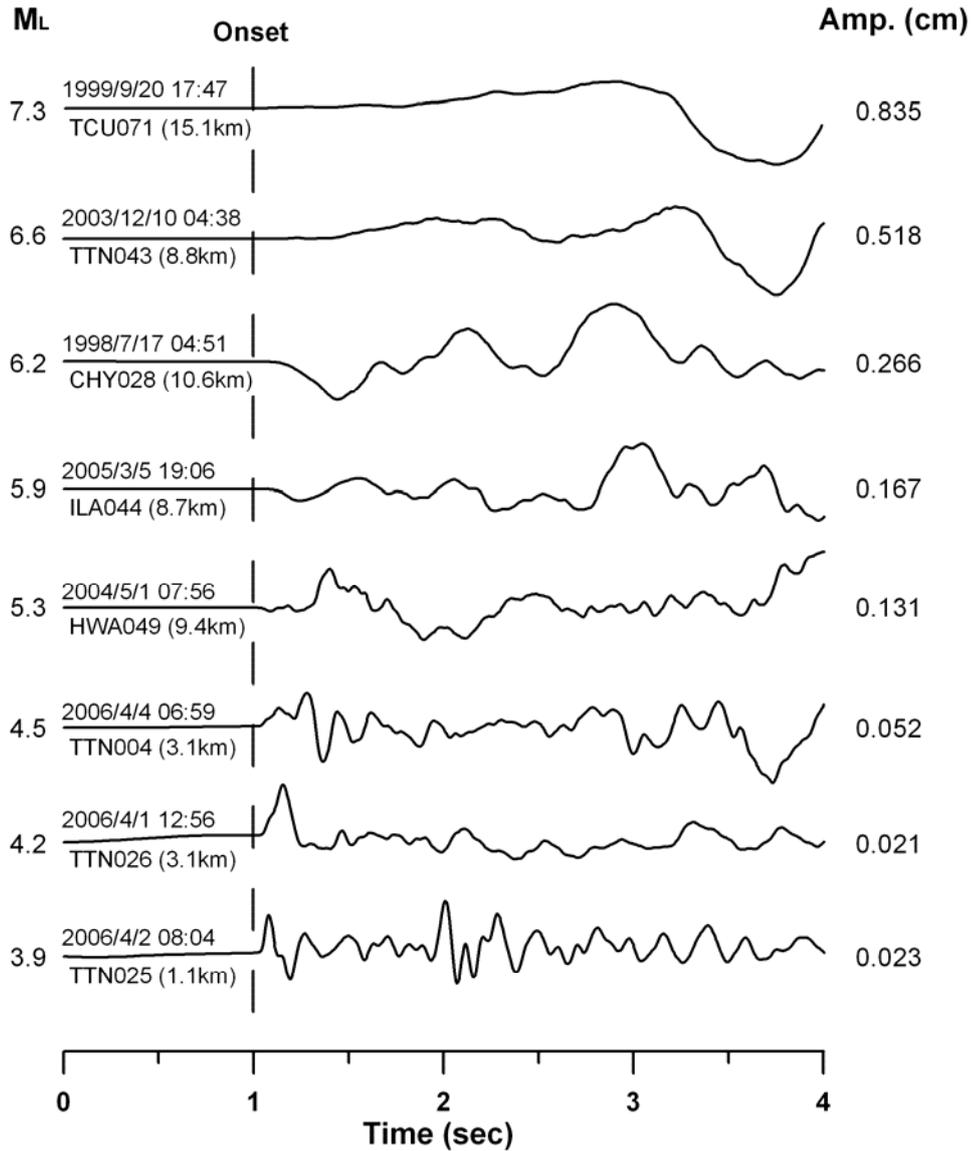


圖 3 規模由大至小地震在垂直向的近場位移紀錄

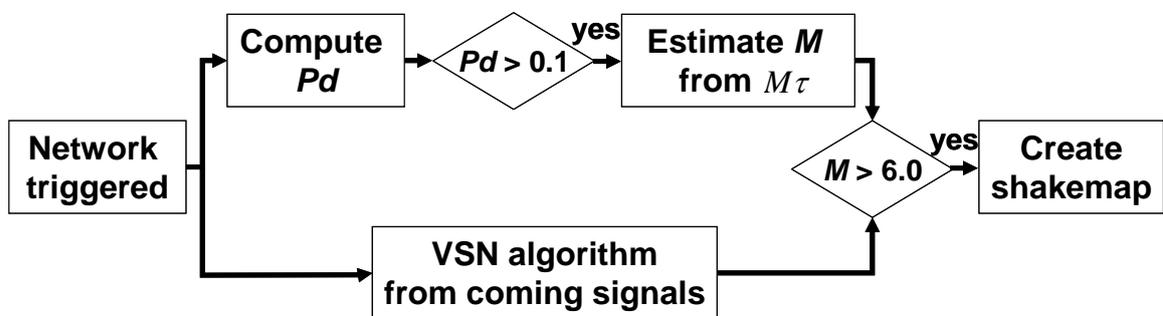


圖 4 強震即時警報作業流程規劃