

利用感測網路來達到火災預先預測與避難引導

黃國安

朝陽科技大學資訊工程系暨網路
通訊研究所教授

e-mail : kahwang@cyut.edu.tw

蔡易昌

朝陽科技大學網路通訊研究所
研究生

e-mail : s9430606@cyut.edu.tw

摘要

由於台灣每年平均有 5 千多件火災，根據內政部消防署的統計，造成多人死亡，如果能預先偵測和有效的指引機制，做到準確偵測並運算找出最好的避難路徑，將可以減少很多傷亡。本研究主要以朝陽科技大學的理工大樓為模擬建物，利用感測網路再搭配溫度感測器和煙霧感測器，利用溫度差的觀念來求出斜率，來達成準確而快速偵測出火災初期的狀況，以及火焰產生後路徑無法通過的情況，並立即計算出目前最好的避難路徑。

關鍵詞：感測網路、火災偵測、階層式導引。

Abstract

There are, on average, up to 5000 fire accidents per year in Taiwan, according to the National Fire Agency, Ministry of the Interior, R.O.C, and many people die in fire accidents. An early fire detection system and an effective guidance system for fire evacuation can reduce fire casualties greatly. The purpose of this paper is to develop a system of early fire detection and evacuation navigation. The Science and Engineering Building at the Chaoyang University of Technology is used as the test building. We implement a fast and accurate system of early fire detection using a sensor network as well as temperature alarms and smoke alarms. With an algorithm that involves temperature differences and information reported by individual sensors, this system can determine the optimal evacuation path in a very short period.

Keywords: Sensor network, fire detection, hierarchical guiding navigation.

1. 前言

台灣是人口密集但生活的空間有限，大部分的房子都是以高樓大廈為主，如果沒有一套完整的防災機制，一旦發生火警時，後果真不

堪設想。之前台中市的金莎大樓發生火警時，正是因為消防裝置無法即時偵測出火災起火點與滅火，且沒有將正確避難路線指引給在火災現場的民眾，以致於讓許多的民眾倉皇的逃生。根據內政部消防署(National Fire Agency, Ministry of The Interior R.O.C.)所統計的資料民國 93 年火災發生次數一共是 6,611 次，其中死亡人數有 160 人，而火災財物損失金額共有 20 億 8 千 592 萬 4 千元[15]。假設發生火災時，能夠有一套完善的避難系統，可以指引民眾合適的避難路線，這樣就可以減少許多不必要傷亡與財產的損失。由於身陷在火場當中的人員，會面臨三種狀況：

- 1) 高溫環境：火場當中溫度急遽上昇，容易讓人體造成傷害，而且當溫度高於 66 度時，人體的生理機能一接觸到，就會立即失去正常的機能。
- 2) 漆黑環境：由於人員陷於黑暗之中時，會失去原有的方向感，因此會影響避難的時間及方向的判斷力。
- 3) 濃煙密佈：煙是影響人命最大因素，也是火災當中的無形殺手。

目前多數的消防系統主要都是利用煙霧警報器來偵測，當煙霧超過標準時，就整棟發出警報，但是這樣會讓許多的人員因為恐慌而不知道該往何處去避難。目前現有的消防設施大多只是發出警報，但並沒有導引的功用，因此，在本研究中利用無線感測網路(Wireless Sensor Networks, WSNs) [2][4]，來模擬室內安全緊急避難導引系統。在一般的狀況下，無線感測器會定時去偵測建築物是否有異常狀況之發生，例如溫度是否異常過高、煙霧是否異常升高等狀況，當偵測到網路有緊急狀況發生時，感測器會立即標示出安全的逃生路徑，導引人員遠離危險區域通往安全的出口。當發生火災時，各學者所提出來的大多是整棟大樓就一起廣播出去，根據學者[3]所提的，人員會因恐慌而產生的行動特性，這樣的結果會導致人們倉皇的逃生。因此我們在本研究主要研究方

向如下：

1. 利用主動式的偵測方式，隨時偵測溫度，根據溫度的變化提早偵測出溫度增加是否異常過高、煙霧濃度是否異常升高等狀況變化，據以發佈警報來增加逃生的時間。
2. 依火災的情況大小，而設計分階層導引逃生路線，避免多數不受影響人員因恐慌而倉皇逃生。
3. 利用群組的概念，來增加感測器的使用壽命，並且實作出模擬程式介面。

2. 相關文獻

2.1 逃生引導演算法

目前無線感測網路的應用範圍越來越廣，而無線感測網路(WSNs)[2][4]是由一到數個無線資料收集器以及為數眾多的感測器(Sensor)所構成的網路系統，而元件之間的通訊方式則是採用無線通訊方式，換句話說，我們可以任意擺放感測器或是無線資料收集器，不但省下可觀的佈線費用，而且極為方便。

之前有些許的學者也利用感測器來進行火災避難的研究[1][10][11][12]，有學者是利用感測器來做標示而去指引機器人(robot)該往哪裡逃生，每個感測器會先會計算到鄰近的點的機率值，再決定方向讓 robot 去移動，不過當鄰近的值都很高時，則變成一個封閉的區域而無法逃離[1]。有學者所提出的演算法是利用吸引力與排斥力的觀念來引導人員逃生，當發生火災時，則將該災難點設成排斥作用，不讓人員往那裡前進，而出口會有吸引力的作用引導人員往出口逃生。不過該演算法並不能有效的使得人員疏導在緊急災難點的附近的人員來做逃生，而且他是利用容錯方式來尋找逃生路徑，因此會使用過多的封包去做交換才讓該演算法收斂[7]。

另外一個學者是將感測器利用分散式的觀念並且加入權重值(Weight)的觀念來實做火災逃生系統，讓每個感測器能自行去判斷安全的出口所在，而引導逃生[11]。不過這樣會讓感測器消耗過多的電力，因此我們提出利用群組的概念去改善，學者有提到在大規模部署無線感測網路(WSNs)很重要的一個挑戰是感測器的壽命。而群組的概念是一種能有效的延長網路壽命與平衡對資料的處理負荷解決的一種有效方法[10][12]。

在(Monhsen Kahani, 1997)[7]的文章中，已

經針對這些網路管理架構做了一些分類及比較。階層式架構是利用網域劃分的方法來降低網管系統工作站的負擔，但卻面臨擴充性的問題。分散式架構和階層式相類似，也是利用網域劃分建構而成，所不同處在於分散式架構各劃分了網域之間的子網域管理者可以彼此相互溝通協調，而不需要存在一上層控制協調的管理單元。分散式架構的優點，不但解決了集中式架構因為網域擴張所可能導致降低網管系統整體效能的問題，更改良了階層式架構中各劃分網域各自獨立不具相互協調的問題。

2.2 火災行為探討

在火場中，人員會因煙霧的大小而影響能見度行進方向的改變，而參考 Wood 與 Bryan 所做的研究[5]，Wood 從 952 個火災事件發生在英國的住宅區及工業區裡，共包含 2193 人受影響，Bryan 從 335 個事件發生在美國的住宅區裡，共包含了 584 人受影響，雖有差異，但仍提供給我們很好的依據，其結果如圖 1 所示。由圖中可以看出，當能見度越來越差時，而人員改變行進方向之機率越高。

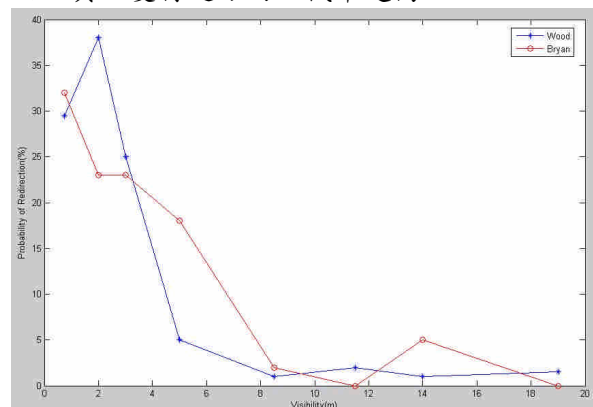


圖 1. 能見度對於改變方向機率之影響

當發生火災時，由於環境快速的惡化，加上人員心理產生的恐慌狀態，使得人在避難行動上多樣且複雜，因此在從事安全疏散路線規劃時，應充分考慮火災時人們在恐慌心理狀態下的行動特性，在此基礎上做出相對的設計。其特性，歸納出下列幾種類型[3]：

- 1) 習慣特性：對於經常使用的空間如走廊、樓梯、出入口等，有較深切的了解及安全感，災害時寧可選擇較危險的路徑較優於不熟悉的环境。
- 2) 回巢特性：當人們遇到意外災害時，為求保護身體，會本能地折返原來的途徑，或依日常慣用的途徑以求逃脫。

- 3) 向光特性：火災發生後濃煙將四處流竄，並多半會停電。此時，人們為求良好的視線，會向四周有光線的地方逃跑。
- 4) 追隨特性：當建築物發生緊急狀況時，群眾會追隨一位領導人以求生存，這位領導人之避難行動是否正確，充份影響眾人性命之安危。

因此如果能有一套良好的避難導引系統，就能增加存活的机会與時間。

3.系統架構

根據中央大學（NCU）[13]所提供的 24 小時室外溫度變化圖，如圖 2 所示，我們得知，在正常情況下，基底溫度會隨著每天時間的不同而有所變化，但是在每分鐘內溫度不會有所劇烈的變化。

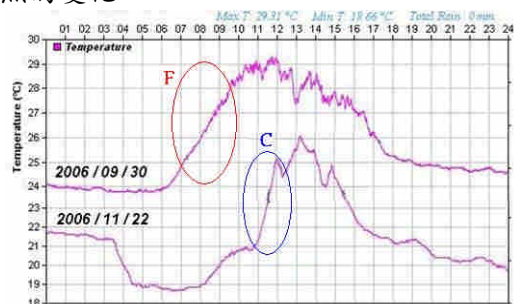


圖 3. 24 小時溫度變化圖

雖然有許多的學者都有在進行火災偵測的研究，但是多數的學者所利用的警報器，都是要偵測到一定的臨界值時，警報器才會發出警告。由 (Shen, T. S., 2004)[9]所提供的電纜線起火模擬的數據得知，如圖 3 所示，當起火時，溫度在短短的 3 分鐘內會有很大的變化，B 點之前為正常狀態，在 B 點時開始起火，溫度開始激烈的上昇，但當溫度在 A 點時，溫度才到達臨界值，而傳統的警報器會在溫度到達 A 點時才發佈警報，但如果能爭取 AB 這一段時間，提早發出警報，不但可爭取到救災之寶貴數分鐘，也可以增加逃生時間。

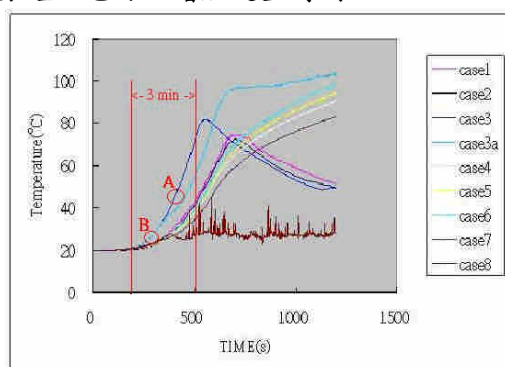


圖 3. 平均起火的溫度變化圖[7]

本研究利用溫度差的觀念，以監控溫度變化激烈之程度與持續的時間，作為危險程度的指標，來設計預警的功能，其流程如圖4所示：我們持續不斷讓sensor每隔10秒來進行溫度的偵測取得目前的溫度 T_{now} ；然後按公式

(1)來求出新的基底溫度 T_{new} 也就是新的加權溫度，主要目的為消除這些量測所得的室溫的隨機性變異，使室溫變得較為平滑 (Smoothing)，其中 T_{old} 是前次所得的基底溫度， α 是指權重係數， $0 < \alpha \leq 1$ ，在本研究設定 $\alpha = 0.2$ ；之後以公式 (2) 求得當時的危險係數 D_{now} ，依照 D_{now} 的大小，提供警報器不同的危險警示訊號據以做不同層級警報與避難措施，如果差異太大時， D_{now} 值會變大，也就表示越危險。假設 $D_{now} \geq 0.56$ ，則表是溫度在短短的10秒鐘內上升了 0.7°C ，有違反正常的溫度變化，所以會立即進行第一層級的廣播來進行瞭解；如果在下一次偵測時，溫度沒有下降或是穩定時，則會立即通知該Zone來進行疏散與通知Base Station(BS)來聯繫外面的消防單位，如果當 $D_{now} \geq 1.2$ ，表示溫度超過 1.5°C ，則會進行第二層級的廣播來進行疏散以及通知BS；假設當 $D_{now} \geq 2.4$ ，表示溫度超過 3°C ，則會進行第三層級的廣播來進行避難，這樣的結果會比一般的警報器更有效率而且生命也更有保障。

$$T_{new} = \alpha T_{now} + (1 - \alpha) T_{old} \quad (1)$$

$$D_{now} = T_{new} - T_{old} \quad (2)$$

T_{old} ：先前基底溫度(舊的加權溫度)。

T_{now} ：目前的溫度。

T_{new} ：新的基底溫度(新的加權溫度)。

α ：權重係數。

D_{now} ：危險係數。

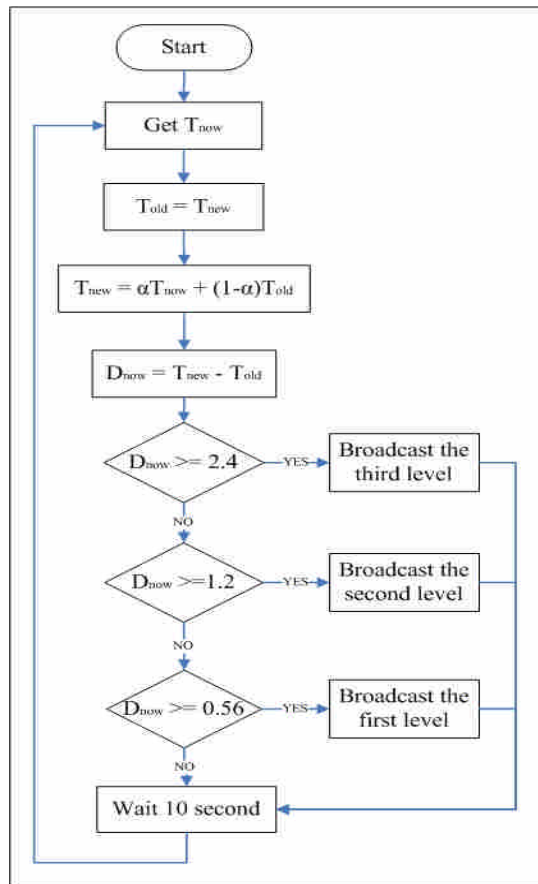


圖 4. 流程圖

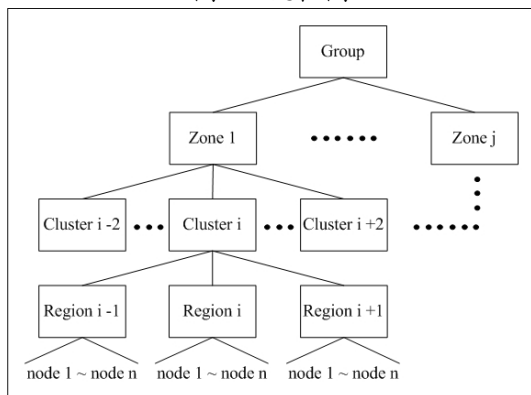


圖 5. 階層式架構圖

本研究主要是利用朝陽科技大學的理工大樓為模擬對象進行研究，以 3 樓為例，本樓層一共放置了 60 顆感測節點（sensor nodes），分別放在 Exit、Corridor 以及 Room。每個 sensor node 都會連結著兩個警報器，一個是溫度警報器（Temperature Alarm）、另一個是煙霧警報器（Smoke Alarm）。我們利用感測節點之區域性來建立的分散式網路架構[8]，在整個平面的環境稱為一個 Group，每一個 Group 分成兩個 Zones，每一個 Zone 會包含兩個出口，如圖 5 所示。

本研究所設計的系統，會先判別異常狀況

的程度，再以階層性通知，先通知最緊急的區域，再依序疏散其他不受影響的區域。而第一層級是指 Cluster 內所有的 regions、第二層級是 Zone 內所有的 Clusters 而第三層級是 Group 內所有的 Zones。當警報器一開始偵測到有異狀時，會先通知第一層級內所有 Regions 進行瞭解，如圖 8 所示，假設 node 11 發生狀況，首先通知 cluster 3 內所有的 node 去瞭解狀況，當異常狀況逐漸擴大時，繼續通知第二層級內所有的 Clusters，如圖 6 所示。如果異常狀況迅速擴大時，才會進行第三層級廣播。這樣的設計主要是防止其他不受影響的人員因為恐懼而倉皇的逃生，原本有些區域不受影響，如果全部都通知疏散，這樣會讓人員因恐慌容易造成更多危險。如圖 6 所示，假設是 Region 2 發生狀況，對於 Region 12 是不會受到影響，反而是 Region 1 與 Region 3 影響比較大。

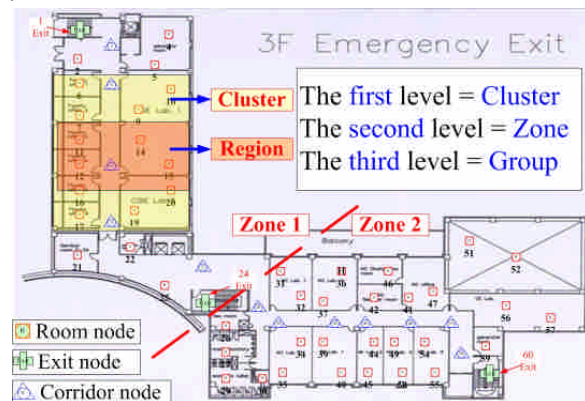


圖 6. 本研究大樓平面圖

當室內發生緊急事件時，人員的逃生除了要避免經過災難發生的地點外，更要注意不要接近災難點逃生，因此，我們採用了一個能夠有效的導引人員安全避難演算法。(Q. Li, M et al, 2003)是利用排斥力與吸引力的觀念來設計演算法[6]，因此當發生緊急事件時，我們會先判斷災難點是在哪一個 Region，然後那一個 Region 會產生一個排斥現象來排斥逃難人員來接近它，因此隔壁的 Region 會往另一個方向逃跑，而不會往有災難的 Region 方向前進，這樣會比不是用 Region 的方式好許多，因為這樣只要由 Region 裡的 corridor node 去進行通訊，其他的 node 只要定時去做偵測與保持連線即可，而如果不是以 Region 來傳，則必須每一個 node 去做好偵測外，還需去找適當的 node 來做連線。出口部分則會產生吸引現象來吸引逃難人員往這裡避難。再利用(V. D. Park et al, 1997) [8]所提出 Minimum hop count 來完成，如圖 7 所示，有 7 個 nodes，這 7 個 nodes 都是 corridor

node，A與B為出口，來找出各個node的最佳避難路徑，其方法如下：

- 1 由出口 A 會先發出一個要求建立路由的封包給出口 G，此時收到回應封包的節點會自動將自己的權重值(Weight)累加 1，直到到達目的地為止。
- 2 當出口 G 收到訊息時，出口 G 也會發出一個權重值給出口 A，而每經過一個 node 時，權重值會累加 1，直到到達目的地為止。
- 3 每個 node 會收到兩個權重值，然後選擇小的權重值，例如，在 node B 會收到 2 與 6 這兩個權重值，而 node B 會選擇 2 來當作權重值。
- 4 結果如圖 11 所示，各個點會定好自己的權重值。假設 node F 發生火災，此時會將權重值提高到一個定值。
- 5 當鄰近的 node 接收到時，會先比較是否大於沒發生狀況的鄰近點權重值，如果是，則立即做引導功能，來疏散人員。如果不是，則會利用公式 (3) 來提高權重值。在 node E 原本權重值是 3，比沒發生狀況的鄰近 node 低，所以會提昇其權重值改成 7。

$$V_{CW} = \left\lceil \frac{\text{weight}_{\text{left_node}} + \text{weight}_{\text{right_node}}}{2} \right\rceil \quad (3)$$

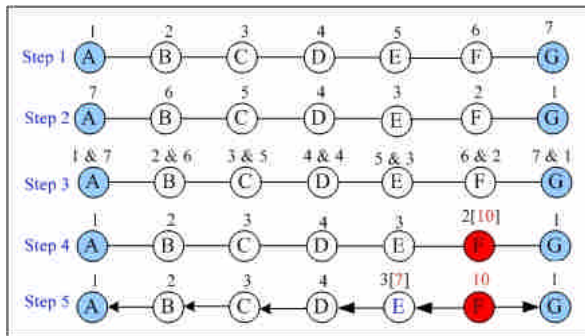


圖 7. 避難規劃順序圖

這樣的設計可以有效率的引導人員進行疏散的工作，而不會使人員因為恐懼而倉皇的逃生。可以避免許多不必要的災害，已減少許多財產的損失。

4. 階層式避難導引模擬

本研究利用 C++ 語言來實做一個簡易的避難的模擬器，會先利用公式 (4) 來模擬火災的位置，當 K 等於 3 時，則表示為走廊的 node，如果 K 不等於 3，則表示為各房間的 node。在配合圖 6，當設定好火災點時，而各個 node 會進行計算，去判斷該往哪一個方向去避難，而找出最佳的避難路線。當發生火災時，會先通知 Cluster 內所有 nodes 進行檢查與

避難，然後等待 10 秒鐘，再判斷一次，如果溫度沒有下降或是穩定，則會立即通知 Zone 內所有的 nodes 進行避難，如圖 8 和圖 9 所示。

F_ID 所代表的是火災的起火點， N 所代表的是 Region 的 ID， $1 \leq N \leq 12$ ， K 所代表的是常數，在每個 Region 裡都會有 K 個 node， $1 \leq K \leq 5$ 。

$$F_ID = 5 \times (N - 1) + K \quad (4)$$

F_ID : fire node ID

N : Region ID

K : Constant

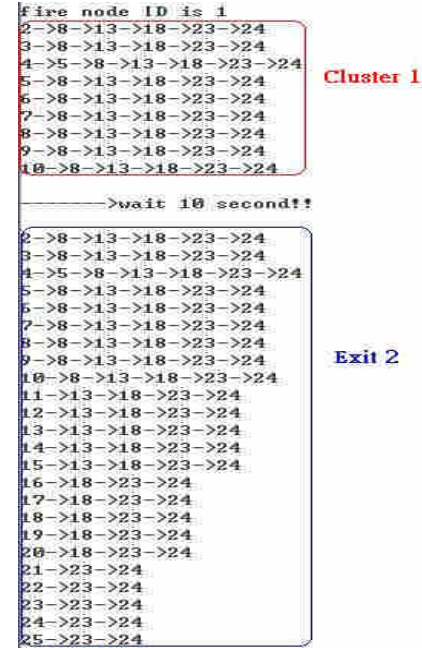


圖 8. 模擬出口發生火災的路徑順序結果

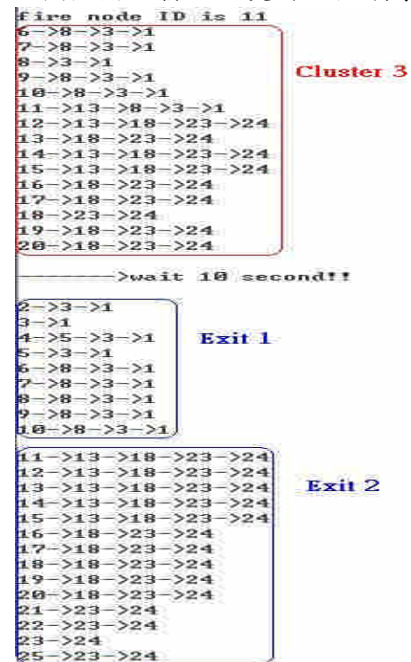


圖 9. 模擬 node 11 發生火災的結果

在本研究裡，node 1、node 24 與 node 60 為出口。當出口發生火災時，則本系統會導引人員往另一個出口來避難，如圖 8 所示，假設 node 1 發生火災而且火災持續擴大時，則本系統會通知其他的 node 會立即的往反向的方向跑，例如：node 2 會將人員先引導到走廊的節點，在到另一個出口 node 24 避難。假設當火災點變成是在走廊而且火災持續擴大時，如圖 9 所示，則本系統會將人員疏散到兩旁的出口去，例如在 node 15 以前的 node（不包含 node 12）會將人員引導到出口 1（node 1），其他的 node 則回將人員引導到出口 2（node 24）。

5. 結論

在本研究中，提出一套完善的預先偵測避難系統，可以提早偵測出災害並且可以指引民眾合適的避難路線，以減少許多不必要傷亡與財產的損失。利用主動式的偵測方式來增加逃生的時間，再依火災的大小，而有不同警報廣播方式，來避免人員因恐慌而倉皇逃生，再以利用群組的概念，增加整體的效率，以減少人員傷亡。

參考文獻

- [1] Batalin, M. A., Sukhatme, G. S. and Hattig, M., "Mobile robot navigation using a sensor network," *Proceedings of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation*, 2004.
- [2] Chiang, C. C. and Gerla, M., "Routing in Clustered Multihop Mobile Wireless Networks," *Proceedings of 11th Internal Conference of Information Networks*, pp. 1-10, 1997.
- [3] Clarke, F. B., "Toxicity of Combustion Products: Current Knowledge," *Fire Journal*, Vol. 77, pp. 84-97, 1983.
- [4] Chang, Y. C., Lin, Z. S. and Chen, J. J., "Cluster based self-organization management protocols for wireless sensor networks," *IEEE Consumer Electronics*, Vol. 52, pp. 75-80, 2006.
- [5] Gwynne, S., Galea, E. R., Lawrence, P. J. and Filippidis, L., "Modelling occupant interaction with fire conditions using the building EXODUS evacuation model," *Fire Safety Journal*, Vol. 36, pp. 327-357, 2001.
- [6] Li, Q., DeRosa, M. and Rus, D., "Distributed algorithm for guiding navigation across a sensor network," *Proceedings of ACM MobiHOC*, 2003.
- [7] Kahani, M. and Beadle, H., "Decentralized approaches for network management," *Computer Commun. Rev.*, Vol. 27, pp. 36-47, 1997.
- [8] Park, V. D. and Corson, M. S., "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless network," *Proceedings of IEEE Infocom*, Vol. 3, pp. 1405-1413, 1997.
- [9] Shen, T. S., "A Research of Fire Safety Evaluation for Nuclear Power Plants," *Proceeding of the 23rd International Fire Chiefs' Association of Asia General Conference*, pp. 285-298, 2004.
- [10] Tseng, Y. C., Pan, M. S. and Tsai, Y. Y., "A Distributed Emergency Navigation Algorithm for Wireless Sensor Networks," *IEEE Computers*, Vol. 39, No. 7, pp. 55-62, 2006.
- [11] Vljajic, N. and Xia, D., "Wireless Sensor Networks To Cluster or Not To Cluster," *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, pp. 258 - 268, 2006.
- [12] Younis, Q., Krunz, M. and Ramasubramanian, S., "Node clustering in wireless sensor networks recent developments and deployment challenges," *IEEE Network*, Vol. 20, pp. 20-25, 2006.
- [13] Department of Atmospheric Sciences and Institute of Atmospheric Physics, National Central University, Planetary Boundary Layer & Air Pollution Lab, *retrieved form* <http://pblap.atm.ncu.edu.tw/weather03.asp>, Sept. 2006.
- [14] Kurose, J. F. and Ross, K. W., "Computer Networking," *retrieved form* http://www.aw-bc.com/kurose_ross/, pp. 236-238, 2006.
- [15] National Fire Agency, Ministry of The Interior R.O.C (TAIWAN), "Fire Statistics in 2005," *retrieved form* <http://www.nfa.gov.tw/>, 2005.