

Efficient Sleep-Awake Scheduling Mechanism for Target Coverage Problem and It's Implementation

李威

淡江大學

493190804@s93.tku.edu.tw

王子嘉

淡江大學

696411700@s96.tku.edu.tw

張志勇

淡江大學

cychang@mail.tku.edu.tw

摘要

Target Coverage 是無線感測網路 (Wireless Sensor Networks) 重要的應用之一，當靠近監控目標(Target)的 Sensors 感測到事件發生，必須立即將感測的資料回傳至主控中心(Sink)，進而對發生的事件進行即時性的處理。因此，主控中心與監控目標間通訊上的連通性，是 Target Coverage 不可或缺的條件。本論文針對一已佈建完成的無線感測網路，提出分散式的排程協定，以達到延長網路生命期與維持網路通訊連通性等雙重目的。我們將整個網路依位置資訊劃分為許多 Cell，並在以 Cell 為基礎的網路上探討共享通訊路徑及網路連通性等特性，根據這些特性，我們安排多組可同時醒來或睡眠的 Sensor 集合，依時間的變化加以輪替醒睡，以達到回傳資料時，能維持網路連通性，並兼顧電量的消耗可以平均分散於相異路徑間之要求，進而延長整體的 Network Lifetime。

另外，為了具體實現本論文所研發的 Target Coverage 技術，本論文實作一套校園即時監控系統。本系統整合紅外線感應、光感應、無線傳輸、視訊遠端監控之自動開啟及關閉等多種先進技術。首先，我們在校園監控區建置紅外線感應照明燈及具有光感應功能之感測器，以維護校園某些重要地方(即本論文之 Target)的安全性。當感應照明燈以紅外線感應到闖入者時，無線感測器將感應到光度的變化，並以無線的方式通知網路伺服器，伺服器會透過 Ethernet 發送監控指令控制攝影機的轉動、拍照與錄影及停止錄影，並可將此警訊同時透過本論文所研發的共享路徑傳

遞至警衛室或巡邏者。本系統以 nesC 及 C 分別實作於 MICA2 Sensor Node 及 Stargate Gateway 以實現本論文所研發之醒睡安排技術。

關鍵詞： Target Coverage、Network Lifetime、MICA2、Stargate Gateway

一、簡介

無線感測網路 (Wireless Sensor Networks) 可被廣泛的應用於醫療照護、軍事、災難、環境監控、工廠管理及智慧型家電等應用。感測器通常具備了感應、無線通訊及處理資訊的能力，其不但能夠感應及偵測環境目標物的改變，並將感測的資料以無線傳輸的方式送到主控中心或基地台(Base Station)。透過在生活環境中佈置大量、微小、便宜而低耗電的感應、計算及通訊裝置，將可建構各式各樣之無線感測網路以提供安全及便捷的服務。

Coverage 問題一直是學者們在無線感測網路中討論的熱門議題，在研究分類上主要的研究範疇包括了 Surface Coverage、Barrier Coverage 以及 Target Coverage。Surface Coverage 是將大量 Sensors 佈建於整個網路，網路內每個位置皆為感測的目標[1][2]；而 Barrier Coverage 是以一維曲線的方式緊密地佈建 Sensor，可針對邊界闖入者進行監測；至於 Target Coverage，則是網路中以幾個特定區域為感測目標[3][4][5][6]，針對這些特定區域進行事件的偵測與處理。

本論文主要針對 Target Coverage 問題提出一兼具延長網路生命期及傳輸效能的

排程協定。本論文所研發的排程協定具有下列優勢：(1)保持監控目標與主控中心的網路通訊連通性；(2)回傳路徑經過最少 Sensor 的數量，以達到省電目的；(3)在 Sensor 的有限電量中，平均傳輸能源的消耗，以延長 Network Lifetime。

此外，本論文亦實作一校園監控系統以實現 Target Coverage 之應用場景。過去的研究[7][8][9]，雖然提出不錯的監控、後續追蹤及事件處理等通訊協定，然而，其均假設感測器可偵測闖入物。但在現有商業化的感測器大都均只能感測聲音、溫度、光度、溼度、加速度等變化，欲偵測闖入物之闖入及離開，均有實行上的困難。

另一方面，在傳統的監視系統，利用固定點或是固定巡邏轉向持續錄影的方式來監視目標環境，不僅容易產生死角、耗費電力及錄影影像儲存體的空間，並且在事件發生後擬從大量的儲存影像中搜尋單一事件，亦耗費人力及時間成本，而在闖入者闖入監控區時，若無法即時通知及處理，往往難以補救事件發生所造成的傷害。

我們所實作的監視系統克服上述文獻假設及現有監控系統之困難，當紅外線感測照明燈開啟，事件發生才驅動感測器以無線方式操控攝影機轉動到目標角度，並執行錄影或拍照等動作，所錄製的影像都將是事件發生之相關影像，沒有其他多餘的片段，如此一來便可達到省電、減少監視死角、節省儲存體空間及易於檢視事件攝影紀錄等等，並且在事件發生的同時，本系統感測器亦即時以無線方式透過我們所研發的通訊路徑傳達訊息給監控中心或監控者，即時處理此事件，而當事件發生後，紅外線感測照明燈之關閉，亦啟動感光感測器自動操控攝影機之停止錄影，以達到有效及自動操控攝影機之錄製與儲存。

本論文後續章節的安排如下：第二

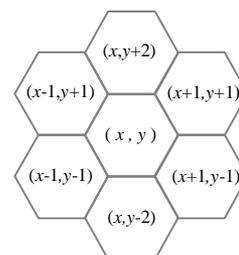
節，對網路的基本切割環境與省電運作定義其方法與假設；第三節，找出網路兩點間任何可能相異且最短的路徑走法；並在第四節描述如何安排醒睡並建立事件回報之通訊路徑；在第五節中，我們將說明系統實作的細節；最後一節則為本文之總結。

二、Network Environment and Problem Statement

2.1 Network Environment

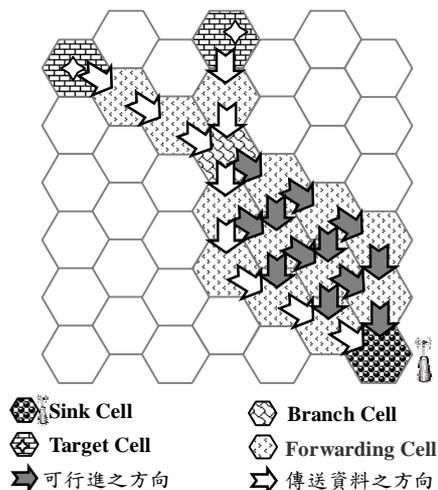
本論文所運作的無線感測網路環境，乃假設每個感應器均可知道自身的座標位置，且在網路佈建完成後，依位置資訊將網路切割成許多固定大小的六角網格，網格的大小將適量以便使相鄰網格內的任意 Sensors 可以彼此通訊。在六角網格網路中，我們定義了一個座標編號方式，若以本身座標為 (x, y) ，則自己六個鄰近網格的座標分別為 $(x+1, y+1)$ 、 $(x, y+2)$ 、 $(x-1, y+1)$ 、 $(x-1, y-1)$ 、 $(x, y-2)$ 、 $(x+1, y-1)$ ，如圖一所示，如此即可區別不同網格的身份與相對位置。此外，將網路切割成六角網格的主要原因還包含省電的考量，這將於後續章節加以闡述。

本文希望能對特定區域(如校園特定重要區域)加以監控，也因為監控目標有一定的重要性，所以監控目標與主控中心的座標位置，對網路上的所有 Sensor 而言，是網路佈建前所決定的，於是進一步假設網路上所有的 Sensor 都知道監控目標與主控中心之座標資訊。



圖一、六角網格網路之座標編排方式

這裡我們定義了一些名詞以方便表達我們所研發的醒睡技術：(1) Sink Cell (SC)：主控中心所在的網格、(2) Target Cell (TC)：監控目標所在的網格、(3) Branch Cell (BC)：當 Sensor 回傳監控目標的感測資料至主控中心，將分歧方向的資料集中代傳至 SC 之網格；(4) Forwarding Cell (FC)：在上述定義的名詞外，在回傳路徑中扮演傳送資料的網格。圖二為一例來描述上述定義：圖中共有兩 Target 分別處於相異的 Target Cell 中，並受到 Sensor 監控，某一時間內 Sensor 同時偵測到 Target 事件，即時將感測資料送回 Sink Cell，在回傳資料的路徑中，以 Branch Cell 為資料集中代傳至 Sink Cell 的網格，也就是共享路徑的起點，最後資料送至 Sink Cell 時，就完成了將事件立即回報至主控中心的任務。



圖二、六角網格運作網路示意圖

在網路初始化時，每個六角網格內的 Sensor 將互選具最大電量的 Sensor 成為該網格的 Cell-Agent，其餘 Sensor 皆進入 Sleep mode 以避免電量消耗。待 Cell-Agent 之運作電量即將消耗殆盡時，再依剩餘電量重新改選 Cell-Agent。如此的電量接力方式，使網路上的各網格中只有一個

Cell-Agent 為 Active mode，以達到省電及路徑連通之目的。

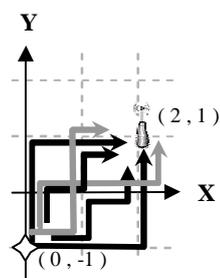
2.2 Problem Statement

本論文擬解決的問題，為在網格網路環境中找出多組 Cell，使同組 Cell 內的 Agent 可同時醒睡，以達到省電及網路連通性之雙重目的，如圖二所示，僅 Branch Cell、Target Cell 及 Forwarding Cell 之 Agent 醒來，其餘 Cell 之 Sensor 及 Agent 均可進入睡眠狀態，以達到省電目的，並針對不同的 Target，同組的 Cell 可建構一共享路徑，以減少醒來的 Agent Sensor 的數量。在圖二中，我們以白色箭頭方向表示同一組醒來之 Cell Agent，其傳送感測資料至 Sink Cell 的路徑。

三、單一 Target 之相異最短路徑

在這一章中，我們將提出自 Sink Node 所在的 Cell 至 Target Cell 間各種可能的最短且相異路徑，透過這樣的路徑建立，我們可安排同一路徑通過的 Cell 其 Agent 同時醒來以維持 Target Cell 及 Sink 的網路連通性，由於相異路徑所經過的 Cell 其 Agent 可輪流醒來，因此可達到省電的目的。以下，我們將先在一般所熟悉的直角座標系統中推導兩點間可能的相異最短路徑，之後，再將直角座標系所討論的結果延伸至六角網格網路中，以求出 Sink 至 Target 間可能的最短相異路徑。

3.1 直角座標系



圖三、直角座標系，相異且最短路徑數

在直角座標系中，試考慮兩點： Sink 及 Target 所座落的 Cell 座標，我們將找出這兩點間相異且最短路徑的數量。在此，我們以座標 (T_X, T_Y) 、 (S_X, S_Y) 來表示 Target 及 Sink 所座落於的 Cell 座標，令 $\Delta X = |T_X - S_X|$ 、 $\Delta Y = |T_Y - S_Y|$ ，我們可利用

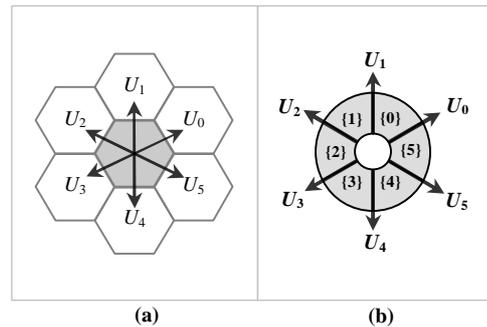
$$(\Delta X + \Delta Y)! / [(\Delta X)! \times (\Delta Y)!] \quad (1)$$

求得相異且最短路徑的數量。

以圖三為例，我們假設 Sink 及 Target 的座標分別為 $(0, -1)$ 及 $(2, 1)$ ，利用(1)式可得知這兩點間相異且最短路徑為 6 條。將此概念運用於六角網格網路上，我們將利用這些不同且最短的路徑來推導不同的 Sensor 集合。其中，每一路徑所經過的 Cell 將共同醒睡，而同時間只要有一組 Sensor Set 醒來即可達到 Target 與 Sink 連通的特性。

3.2 六角網格網路向量資訊

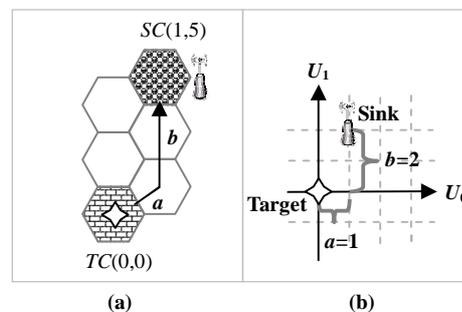
在前述如圖一的網格座標定義中，若由 (x, y) 傳送資料至鄰居 $(x+1, y+1)$ 的單位向量定義為 $U_0 = ((x+1) - x, (y+1) - y) = (1, 1)$ ，並定義 U_0 的斜率為 $M_0 = [(y+1) - y] / [(x+1) - x] = 1$ ，則可推知至其餘 5 個鄰居方向之網格座標 $(x, y+2)$ 、 $(x-1, y+1)$ 、 $(x-1, y-1)$ 、 $(x, y-2)$ 、 $(x+1, y-1)$ 的單位向量及其斜率分別為： $U_1 = (0, 2)$ 、 $M_1 = \infty$ ； $U_2 = (-1, 1)$ 、 $M_2 = -1$ ； $U_3 = (-1, -1)$ 、 $M_3 = 1$ ； $U_4 = (0, -2)$ 、 $M_4 = \infty$ ； $U_5 = (1, -1)$ 、 $M_5 = -1$ ，圖四(a)中表示一 Target Cell 至其鄰近六個 Cell 的單位向量，這六個單位向量可將此 Cell 所延伸的平面區域等量切割為六區，在此，我們定義單位向量 U_i 和 $U_{(i+1) \bmod 6}$ 間所夾的區間為 $\{i\}$ ， $0 \leq i < 6$ ，如圖四(b)所示。若 Target Cell 可確認 Sink Cell 的位置座落在其某區時，將有助於其建構 Target Cell 至 Sink Cell 的相異最短路徑。



圖四、六角網格網路的基本向量與斜率

3.3 以單位向量尋找相異最短路徑

在本節中，我們將利用網格網路之單位向量來找出 Target 及 Sink 間相異且最短的路徑。



圖五、座標示意圖

如圖五(a)所示，給予一 Target Cell 及 Sink Cell 的座標，我們擬找出這兩個 Cell 間各種可能的相異最短路徑，這些路徑所經過的 Cell 將可輪流醒睡，以達到網路連通性及省電的目的。以下，我們將描述如何在 Target Cell 與 Sink Cell 間找出相異且最短的多條路徑：

Step 1：找出建構路徑之單位向量

在建立 Target Cell 至 Sink Cell 之路徑前，我們必須知道 Sink Cell 位於 Target Cell 的哪一區，若落在第 $\{i\}$ 區間，則我們將以 U_i 和 $U_{(i+1) \bmod 6}$ 為單位向量來建構自 Target Cell 至 Sink Cell 之相異最短路徑。

事實上，根據 Target Cell 和 Sink Cell 的 X 座標(分別為 T_X 和 S_X)以及斜率 (M_{TS}

$= (S_Y - T_Y) / (S_X - T_X)$ 便可求出區間 $\{i\}$ 之值為何，透過表一可知，給予 Target Cell 與 Sink Cell 的 X 座標與斜率關係，可查得 Sink Cell 落於 Target Cell 的 $\{i\}$ 區間之 i 值，如此便可以 U_i 和 $U_{(i+1) \bmod 6}$ 為單位向量來組合並建構相異最短路徑。

表一、方向區間 $\{i\}$ 判斷表

X 座標比較 斜率比較	$\{i\}$	
	$T_X > S_X$	$T_X \leq S_X$
$M_{TS} \leq -1$	{1}	{4}
$-1 < M_{TS} < 1$	{2}	{5}
$1 \leq M_{TS}$	{3}	{0}

以圖五(a)為例，由於 $T_X = 0 \leq S_X = 1$ ，斜率 $M_{TS} = 5$ ，由表一可推知 Sink Cell 落於 Target Cell 的方向區間 $\{0\}$ ，因此推知此例中適合的用來組合出相異最短路徑之單位向量為 U_0 、 U_1 。

Step 2：相異最短路徑之建構

當我們求出建構路徑的單位向量後，假設 Target Cell 朝單位向量 U_i 走 a 步，朝 $U_{(i+1) \bmod 6}$ 走 b 步後，可以順利走至 Sink Cell，於是列出以下公式：

$$(T_X, T_Y) + a \times U_i + b \times U_{(i+1) \bmod 6} = (S_X, S_Y) \quad (2)$$

假設 U_i 的向量座標為 $U_i = (U_i[x], U_i[y])$ ，由公式(2)得知：

$$T_X + a \times U_i[x] + b \times U_{(i+1) \bmod 6}[x] = S_X$$

$$T_Y + a \times U_i[y] + b \times U_{(i+1) \bmod 6}[y] = S_Y$$

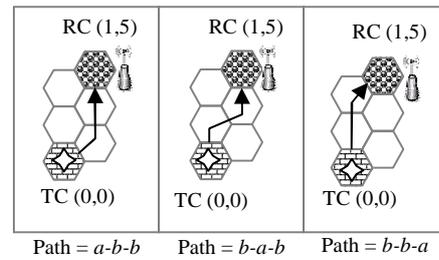
簡化後，得到以下資訊：

$$a = \frac{U_{(i+1) \bmod 6}[x] \times (S_Y - T_Y) - U_{(i+1) \bmod 6}[y] \times (S_X - T_X)}{U_{(i+1) \bmod 6}[x] \times U_i[y] - U_{(i+1) \bmod 6}[y] \times U_i[x]} \quad (3)$$

$$b = \frac{U_i[x] \times (S_Y - T_Y) - U_i[y] \times (S_X - T_X)}{U_i[x] \times U_{(i+1) \bmod 6}[y] - U_i[y] \times U_{(i+1) \bmod 6}[x]} \quad (4)$$

利用排列組合程式帶入 a 、 b 的值，就可得到相異且最短的路徑。

延續圖五(a)之範例，將數值 ($T_X = 0, T_Y = 0, S_X = 1, S_Y = 5, U_0[x] = 1, U_0[y] = 1, U_1[x] = 0, U_1[y] = 2$) 帶入公式(3)、(4)後求得： $a = 1$ 、 $b = 2$ ，根據係數 a 、 b 的排列組合，可以求得 3 種相異序列： $a-b-b$ 、 $b-a-b$ 及 $b-b-a$ 。將排列組合的結果儲存於 Target Cell 本身的路徑陣列中，便可依時間變化建構不同路徑。前例求出之不同走法如圖六所示，



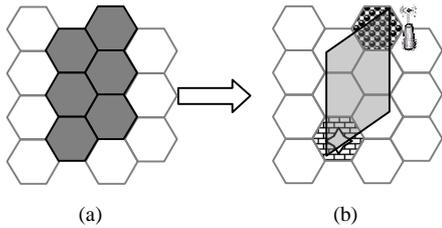
圖六、相異路徑範例示意圖

本節的作法，可得兩 Cell 間相異且最短的路徑，並可依時間的不同加以輪替，就可以將回傳資料時所消耗的電量，平均分配在相異變化路徑的網格間(Inter-Cell)。

四、多 Target 共享路徑之建構

在上節中，我們已提出如何自單一 Target Cell 至 Sink Node 建構許多相異最短路徑，然而，在 Target Coverage 的場景中可能有多個 Target 分別座落在不同的 Cells，因此，如何自這些 Target Cell 至 Sink Cell 間建構共享路徑，並使路徑所經過的 Cell Agent 醒來以維持網路連通性，將可有效減少醒來 Agent 的個數以達到省電目的。

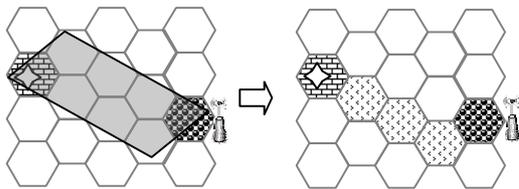
運用 3.3 節在 Target Cell 內所建立之路徑陣列的方法，將路徑陣列中記錄的所有網格作相同標記，可發現標記的網格會聚合成一個平行四邊形網格，如圖七(a)。運用此特點，後述將以平行四邊形的形狀以及各種情況來說明尋找 Branch Cell 的方法，如圖七(b)所示。



圖七、路徑陣列所形成的平行四邊形

(A) 尋找 BC - Case 1 : 1 TC to SC

網路中只有一個 TC 要回傳資料至 SC 的情況較單純；利用 3.3 節的方法就可以建立兩座標間的相異路徑，不需要找 BC，如圖八。

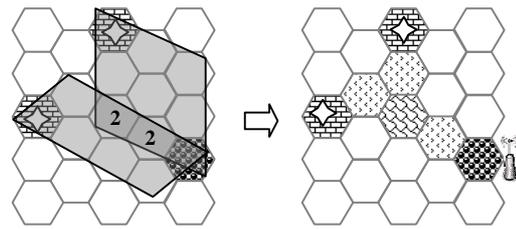


圖八、尋找 BC - Case 1

(B) 尋找 BC - Case 2 : 2 TCs to SC from the same way

若有兩個相同方向的 TCs 要回傳資料至 SC，找出兩相異 TC 所標記的平行四邊形重疊最多且離 SC 最遠的網格為 BC，其邏輯意義為：因 BC 為共享路徑的起點，所以選擇離 SC 最遠的網格擔任 BC，就表到 BC 到 SC 有較長的共享路徑，如下圖九所選擇的 BC，讓 BC 回傳至 SC 的路徑為

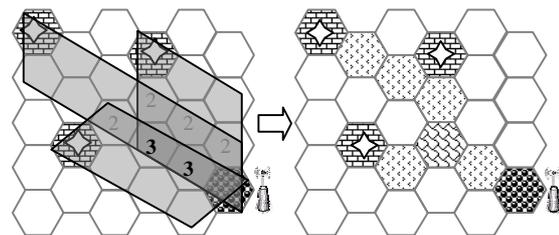
最長的共享路徑。



圖九、尋找 BC - Case 2

(C) 尋找 BC - Case 3 : 3 or many TCs to SC from the same way

若有三個以上且相同方向的 TCs 要回傳資料至 SC 的時候，運用上述 Case 2 的作法可找出適合擔任 BC 角色的網格，如圖十的範例，也可以找出最長的共享路徑。

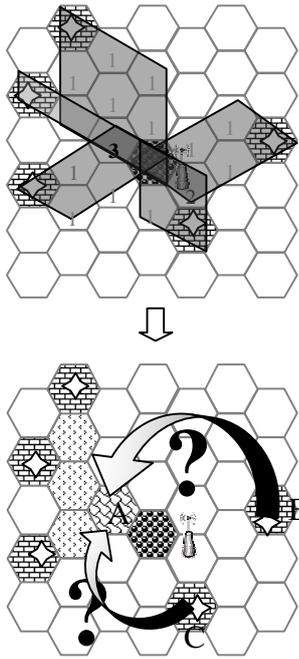


圖十、尋找 BC - Case 3

(D) 尋找 BC - Case 4 : TCs to SC from different ways

這裡描述的情形不同於以上三種情況：當許多 TCs 不在 SC 的同一個方向時，若依照先前的方式尋找 Branch Cell 作為共享路徑的起點時，會發現找尋出來的 Branch Cell 會因為不同方位的平行四邊形累計結果，將導致某些 TCs 在傳送資料至 Branch Cell 時，會有繞遠路的問題，如圖十一所示，找出來的 Branch Cell 為 SC 左上方的網格 A，導致在圖中右半部的 TC：網格 B、網格 C，要傳送資料至 BC 時會繞遠路，浪費不必要的電量。

Cell，即可進行網路路徑的建置。

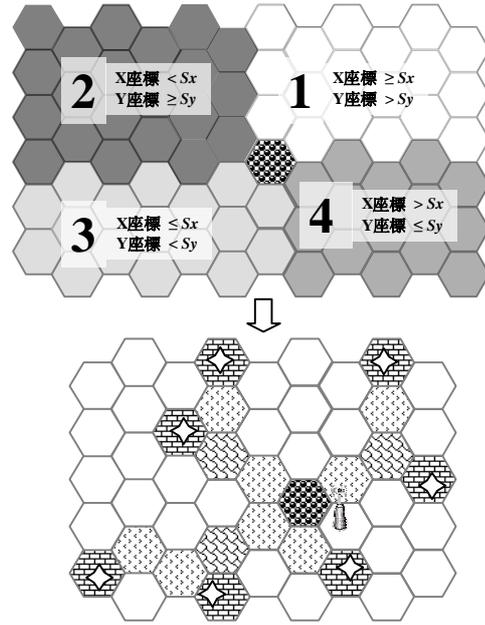


圖十一、BC Problem

因此在尋找 Branch Cell 前，為了解決此問題，必須先依 Sink Cell 的座標，將網路上所有 Target Cell 分成四個叢集再進行各叢集的作業，以順利解決 BC Problem 中 Target Cell 繞遠路的情形，如圖十二，Sink Cell 的座標資訊為 (S_x, S_y) ，當網路上的 TC 座標， X 座標大於等於 S_x 且 Y 座標大於 S_y 的為第一區塊； X 座標小於 S_x 且 Y 座標大於等於 S_y 的，為第二區塊； X 座標小於等於 S_x 且 Y 座標小於 S_y 的，為第三區塊； X 座標大於 S_x 且 Y 座標小於等於 S_y 的，為第四區塊。

尋找 BC 的步驟歸納：

1. 依 Sink Cell 的座標將進行 Target Cell 分群，確保在尋找 Branch Cell 時，叢集內所有 Target Cell 在 Sink Cell 的同一方向。
2. 各叢集的 TCs 運用 3.3 節的平行四邊形路徑標記方式尋找 Branch



圖十二、尋找 BC - Case 4

依此方式找出 Branch Cell 後，由較近的 Target Cell 負責通知該 Branch Cell，讓 Branch Cell 知道自己擔任該區的 BC 角色。

此後，要完成網路上路徑的建置，我們定義： P_{tSi}^m 為在網路第 m 區中， $1 \leq m \leq 4$ ，第 t 個 Target Cell 回傳資料至 Sink Cell 的第 i 條路徑； P_{BSj}^m 為在網路的 m 區中，Branch Cell 回傳資料至 Sink Cell 的第 j 條路徑； P_{tBk}^m 表示網路第 m 區中，第 t 個 Target Cell 傳資料至 Branch Cell 的第 k 條路徑， $t, i, j, k \geq 1$ 。

上述的符號表示中，我們建置網路路徑的步驟為 (1) 選擇 Branch Cell：

$$(P_{1S1}^m \cup P_{1S2}^m \dots P_{1Si}^m) \cap (P_{2S1}^m \cup P_{2S2}^m \dots P_{2Si}^m) \cap \dots \cap (P_{tS1}^m \cup P_{tS2}^m \dots P_{tSi}^m) \text{ 且離 Sink}$$

Cell 最遠的 Cell；(2) Target Cell 依時間不同，變化 P_{ibk}^m ，建立至 Branch Cell 的路徑；

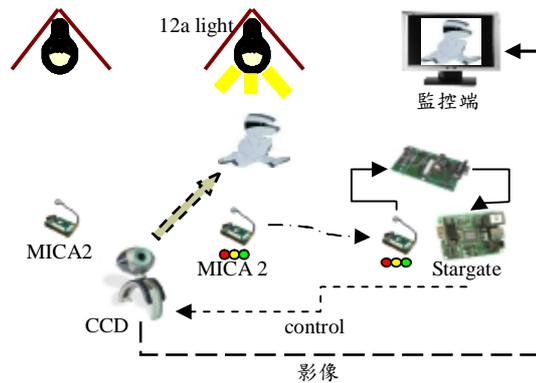
(3) Branch Cell 依時間的不同，變化 P_{BSj}^m ，建立至 Sink Cell 的共享路徑。如此，便完成 Target Coverage 網路路徑的建置，其中的相異路徑便可依時間輪替，達到平均傳送資料時的能量消耗。

五、實作：校園監控系統架構

為建構一 Target Coverage 之場景，我們在校園中實作一校園監控系統。在這一節中，我們將描述監控系統的架構，我們所實作的監控系統其包含的元件有紅外線感應照明燈、Motes 光感應無線感器、可分別與 Motes 光感應無線感器及 Internet 溝通之 Stargate Gateway、Serial Gateway、可程式化控制轉動及錄影之 CCD 等設備。

紅外線感應照明燈是用來輔助 Motes 感知是否有闖入物入侵，當有物體靠近時，紅外線感應即啟動電源，在感應範圍內持續照明，物體離開數秒後自動關閉。Motes 是一系列無線感測網路的產品，是美國加州大學柏克萊分校(UC Berkeley)所設計，並委託 Crossbow Technology 公司[10]所生產；我們使用 Motes MICA2 來實作我們監控系統光感應及通訊的部分，當 MICA2 感應到光度的變化時，便會以無線電的方式通知 Stargate Gateway 有事件發生。為了使 MICA2 感測收集到的資料能夠進行進一步的計算及處理，並透過網路以指令操控 CCD，我們使用 Crossbow Technology 公司生產的 Stargate Gateway (SPB400) 擔任處理資料者及與 Mote 溝通的網路溝通者的角色。但為了能讓 Stargate Gateway 順利接收來自各個 Sensor 的資料，在 Stargate Gateway 上，需要連結一

個 MICA2 與感測到事件的 MICA2 溝通，並連接 Serial Gateway (MIB510)將從感測到事件的 MICA2 所接收的資料轉換為 RS-232 格式，Stargate Gateway 取得透過 Serial Gateway 轉換的資料後，進行資料的分析並決定攝影機的行為，透過 Ethernet 控制攝影機，而與攝影機連線的監控端便能夠即時的得知事件的發生及目前監控環境的狀況。所有元件的關連如圖十三所示。



圖十三、無線感測網路監控系統架構

(一) 系統硬體架構

我們的監控系統使用 MICA2 作為無線電通訊的平台，MICA2 的中央處理器是 ATmega128L，運算速度為 8 MHz。這個微處理器是低電量的 AVR 8-bit 處理器，含有 128Kbytes 的快取記憶體、4 Kbytes 的 EEPROM 與 4 Kbytes 內部 SRAM。MICA2 使用 Chipcon 公司的 CC1000 單晶片無線電收發器，有 433MHz 與 915 MHz 兩種的使用頻率可供選擇，使用兩個 AA 電池供電，最長存活時間可達一年以上。

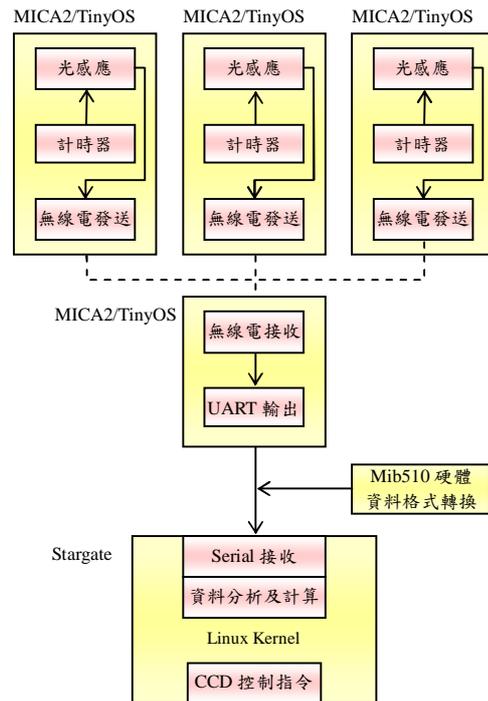
而作為資料收集者的 Stargate Gateway 使用 Intel 公司的 RISC 中央處理器：PXA255，Xscale 400MHz，並且使用 StrongARM 晶片 SA1111，擁有 64MB 的 SDRAM 和 32MB 的 FLASH，對外的連接埠包括 Ethernet、Serial、JTAG、USB、PCMCIA、Compact Flash 等等，使用鋰電

池作為供電。至於我們所使用的 Serial Gateway：MIB510，不僅可將 Motes 的資料格式轉換為 RS-232，我們也使用它來燒錄 MICA2 的韌體，支援的 Mote 有 IRIS、MICAz 及 MICA2。

另一方面，我們使用的視訊監控攝影機是 D-Link 公司所生產的無線網路攝影機 DCS-5300G，支援 802.11g 並且內建一埠 RJ-45 10/100Mbps 乙太網路介面，充分保證了音頻、視頻等等，對時間敏感數據的即時、穩定傳輸，確保遠程監控的同步性與實時性，並且支援 HTTP、FTP、TCP/IP、UDP、SMTP、DHCP、Telnet、NTP、DDNS、UPnP、DNS 等多種通訊協定，可以使用 FTP 或是 E-mail 定期將影像傳輸更新至伺服器，還可使用 Web 介面得到即時監控的影像畫面，若搭配監控軟體更可以同時控管 16 臺設備。

(二) 系統軟體架構

在整個監控系統的實作中，最核心的部份有包括 Motes 光感應感測器中的感應及通訊、Stargate 中的資料收集與接收、Stargate 的事件位置計算及 CCD 的轉動與錄影操控。如圖十四所示，作為感測環境光度的 MICA2，使用其內部的計時器，每隔一固定的時間便驅動光感應元件感測目前光度，並透過無線電發射器傳送出去。而接收端感測器接收到來自無線電的資料後，將資料內容轉換為 UART 格式輸出。在 Stargate Gateway 接收資料前，先透過 Serial Gateway 的硬體處理，將 UART 資料以 RS-232 介面輸出。Stargate Gateway 便能接收來自 RS-232 的資料，進行資料分析及計算處理後，決定攝影機的轉動或攝影等行為，並透過 Ethernet 發送控制指令給予攝影機。



圖十四、無線感測網路監控系統軟體架構

MICA2 是可程式化的單晶片平台。美國加州大學柏克萊分校(UC Berkeley)針對 MICA2 設計 TinyOS[11]這套嵌入式作業系統，與 nesC(network embedded system C)[12]程式語言，nesC 程式語言的架構與語法跟一般我們使用的 C 語言擁有類似的架構與指令；而 Stargate 使用的作業系統為 Linux，核心版本為 2.4.19，並且支援大多數的 Debian[13]公用程式，支援 jffs2、ext2、ext3、vfat 及 msdos 檔案格式；由於是 Linux 的核心，所以大多數的程式語言都能夠在此平台運行，而我們選擇了執行速度較快速，適合嵌入式系統的 C 語言。我們結合 C、nesC 和 TinyOS，分別開發我們所需要的功能與協定，並載入到監控系統的硬體中。

(三) 光感應感測器中的感應及通訊

在監控系統中，光感應感測器的任務是取得環境光度，並以無線電的方式往 Stargate 傳送。

在實作的過程中，我們預設光感應感測器一開始是處於黑暗狀態。我們設計了一個模組 SenseToInt，其作用是從感光器上取得光度的數值，並控制所有元件的運作。我們為了達到省電及即時性，我們使用內部的計時器 TimerC 元件，使其每 250ms 觸發一次事件發生，當事件發生時，從 DemoSensorC 取得光度，並透過 ADC(Analogue-to-Digital Converter)介面將類比訊號數位化後，分析其數值大小；若數值超過黑暗與光亮狀態的臨界值，便透過 IntOutput 將數值傳遞給 IntToLeds 及 IntToRfm 元件，並將目前狀態設定為光亮狀態；若目前環境已處於光亮狀態，則是判斷環境是否轉為黑暗狀態，若數值比黑暗臨界值來的小，則將數值傳遞給 IntToLeds 及 IntToRfm 元件，並將目前狀態設定為黑暗狀態。

顧名思義，IntToLeds 元件是取得數值的最大的 3-bits 顯示於感測器的 LED 上，而 IntToRfm 元件則是將數值及額外的座標訊息以無線電的方式往 Stargate 傳送。

(四) 接收感測器轉換資料格式

介於 Stargate 與眾多光感應感測器之間的硬體元件是接收端感測器，其任務是協助 Stargate 接收光感應感測器透過無線電傳送的資料，將來自無線電的封包進行拆解後以 UART 格式輸出。

在這裡我們同樣設計了一個模組 RfmToUartM 控制所有元件的運作。我們使用 GenericComm 無線通訊元件聆聽是否有封包傳送過來，若有則透過 ReceiveMsg 事件的發生，將封包內容儲存下來，並以任務的方式轉換為 UART 格式後，透過 UARTComm 元件輸出。

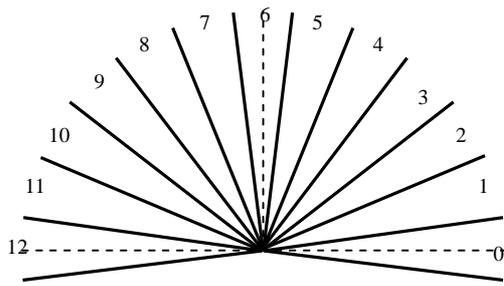
(五) Stargate 資料接收及 CCD 的控制演算法

Stargate 在監視系統中扮演著重要的控制者的角色，除了資料的收集與接收，還需掌握事件發生的位置及控制 CCD 的轉動與錄影的啟動及停止。由於 Stargate 使用的是嵌入式 Linux 作業系統，所以撰寫接收來自感測器傳送的 RS-232 資料的程式設計算是方便。在實作時，為了達到即時性，我們不使用 polling 方式，而是使用 busywait 的方式不斷等待來自 RS-232 的資料，一旦有資料接收，立刻進行分析並拆解封包，進而進行目標位置的角度計算，並透過 Ethernet 發送轉動及錄影指令給予 CCD。

由於 RS-232 傳遞的資料為一長串的序列，當 Stargate 接收 RS-232 資料後，我們必須分析這些序列，並且找到每個封包的第一個欄位，以抓取固定長度的完整封包。而封包的第一個欄位即是目標位址，由於透過接收端感測器的轉送，目標位址已經由各個光感應感測器位址轉換為 TinyOS 所定義的 TOS_UART_ADDR 了，我們只需等待 TOS_UART_ADDR 到來並抓取其後固定長度的資料即為一個完整的封包，進而取得封包內容中的感測器座標及光度數值。

如圖十五所示，由於我們的攝影機 DCS-5300G 一次轉動的角度約為 15 度，故我們將一個平面分為 13 個目標區域，如圖十六所示，我們設定攝影機位置於所有線段的交點並且面向正前方，初始目標區域為 6。當接收封包獲得光感應感測器的座標，計算出光感應感測器與攝影機的相對位置後，利用反函數 atan 計算出從目前目標區域轉動到其他目標區域所需的角速度，並將角速度換算為目標區域代號。每次轉動攝影機後，會紀錄下目前所在的目標區域，當計算出新的目標區域時，將利用

新目標區域代號減去目前所在目標區域代號，計算出需要轉動的次數，必且若為正數為向左轉動，負數為向右轉動，並進而發送適當的轉動及錄影的控制指令給予攝影機，並進而利用我們所建構之共享路徑將事件發生的地點、時間及事由傳送給監控中心。



圖十五、攝影機區域圖

角度計算公式如下：

$$\text{angle} = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{\text{moteX} - \text{ccdX}}{\text{moteY} - \text{ccdY}}\right) \times 180}{PI} \quad (5)$$

轉動的次數的定義如下：

$$\text{TurnCount} = \text{new_target} - \text{old_target} \quad (6)$$

由於我們的攝影機 DCS-5300G 並沒有公開其遠端控制程式化的方法，所以我們利用封包擷取的方式，將攝影機所有的控制指令及其對應的封包所有內容擷取記錄下來，並將封包完整內容寫在程式之中，所以使用控制指令時，將封包內容完整傳送給攝影機即可。

六、結論

本論文針對 Target Coverage 問題提出一高效能之醒睡排程機制，首先，我們將

網路切割為六角型網格網路，並在每一網格中指派一 Agent 醒來以負責將事件資料代傳至監控中心。針對不同的 Target，本論文找適當的 Branch Cell，以達到不同的資料傳送路徑共享及各 Cell 間的電量平衡。同時，本論文使用了 MICA2 及 Stargate Gateway 完成一個校園監控系統，建構一 Target Coverage 場景並實作本論文提出的方法。

七、參考文獻

- [1] H. Zhang and J. C. Hou, "Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks," in Proceedings of the International Workshop on Theoretical and Algorithmic Aspects of Sensor, Ad Hoc Wireless, and Peer-to-Peer Networks, February 2004.
- [2] Y. Shang and H. Shi, "Coverage and energy tradeoff in density control on sensor networks," in Proceedings of the IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), vol. 1, July 2005, pp. 564-570.
- [3] M. Cardei, M. T. Thai, Y. Li, and W. Wu, "Energy-efficient target coverage in wireless sensor networks," in Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), vol. 3, March 2005, pp. 1976-1984.
- [4] M. Cardei, J. Wu, M. Lu, and M. O. Pervaiz, "Maximum network lifetime in wireless sensor networks with adjustable sensing ranges," in Proceedings of the IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), vol. 3, August 2005, pp. 438-445.
- [5] S. Yang, F. Dai, M. Cardei, and J. Wu, "On multiple point coverage in wireless sensor networks," in Proceedings of the IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS), November 2005, pp. 757-764.
- [6] J. Wang and N. Zhong, "Efficient point coverage in wireless sensor networks," Journal of Combinatorial Optimization, vol.

- 11, no. 3, pp. 291-304, May 2006.
- [7] C.-Y. Lin, W.-C. Peng, and Y.-C. Tseng, "Efficient In-Network Moving Object Tracking in Wireless Sensor Networks", IEEE Trans. on Mobile Computing, Vol. 5, No. 8, Aug. 2006, pp. 1044-56.
- [8] J. Aslam, Z. Butler, F. Constantin, V. Crespi, G. Cybenko, and D. Rus, "Tracking a Moving Object with Binary Sensors," in Proc. of ACM SenSys, ACM Press, November 2003.
- [9] H. T. Kung and D. Vlah, "Efficient Location Tracking Using Sensor Networks," in Proc. Of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), March 2003.
- [10] Crossbow Technology Inc.: Online available at: <http://www.xbow.com>
- [11] TinyOS: Online available at: <http://www.tinyos.net>
- [12] NesC: Online available at: <http://nesc.sourceforge.net>
- [13] Debian: Online available at: <http://www.debian.org/>