

支援生物互利共生式感知網路的領導人選舉演算法

熊大為

國立彰化師範大學電信工程
研究所
e-mail: davids@cc.ncue.edu.tw

楊雅茵

國立成功大學電機工程研究所
e-mail: ivyyang64@gmail.com

王維謙

國立彰化師範大學電信工程
研究所
e-mail: mr11002@gmail.com

摘要 — 我們以支援生物互利共生式感知網路為基礎，考慮以數位電視廣播系統為主要系統，感知網路為次要系統，藉由主系統提供電視白頻譜，而次要系統中繼主系統訊號，達到互利的目的。依此互利關係，我們提出支援生物互利共生式的感知網路的領導人選舉演算法，此領導人演算法將扮演感知網路達到互利兩個異質型網路的目的。在最好的情況下，此演算法將增加主系統涵蓋面積的 115.25%。

一、 研究背景

無線科技的快速發展已經造成可用的頻譜極度短缺 [1]。傳統的頻譜使用方式是將一大塊頻譜裁切成幾個小頻段，每一個小頻段則被指定為特定的用途，我們將這些既有的通訊系統稱為主系統(primary system)。然而，這樣一個靜態的頻譜分配方式其使用上是相當沒有效率的。根據 [2] 的研究報告指出，在某些時間以及某些地點，頻譜的使用率僅有 10%，這兩個互相矛盾的現象驅使了感知網路(cognitive radio network)的發展，在對主系統的傳輸速率有較高的保護條件之下，實現高可靠性、高靈活度，無論在任何時間、任何地點都可以充分使用空間頻譜的理想。

由於目前的感知網路使用主系統不使用的空間頻譜，因此他們之間的關係類似生物關係中的競爭或是寄生，而我們在 [3] 中大膽的猜想這兩個不同的網路將朝向互利共生的方向發展。互利共生的意義是兩種可以單獨生活的生物，當它們在一起時，通過各自的代謝活動而有利於對方。這個想法對應到感知網路與電視廣播網路的機制是感知網路使用主系統不用的空間頻譜，而感知網路則是轉發(relay)電視網路的訊號以提高電視廣播網路的涵蓋範圍或信號的可靠度為交換條件。

為了能夠實現這種新型態的感知網路，將一個成員數目很大的網路切割成幾個較小的網路將是不可避免的問題，在切割成數個較小的網路區段之後，每個小的網路區段將選出一個領導者，以利執行互利共生的任務，其職責包括：協調出感知網路需要採取那種模式對主系統互利、新成員的管控、族群大小與資源維護等任務。任何感知發射端只要是符合條件，都可以成為領導人，至於感知網路需要在何時對主系統互利，則需要正確並且是高可靠度的頻譜感測機制加以協助，例如使用在文獻 [4] 中的合作式頻譜偵測機制。我們考慮的互利模式

是擴大主系統的訊號涵蓋範圍以及增加主系統的訊號可靠度。文獻 [5] 與 [6] 提出支持分散式隨意網路(ad hoc network)的領導人選舉的演算法，以保證系統的服務品質(quality of service, QoS)，但這樣的領導人演算法並不適用於支持生物互利共生式的感知網路。

我們假設感知網路的傳送器、接收器以及主系統都是在相同的地理區域以及相同的頻率上操作，因此，感知傳送器可以協助主系統再次發射主系統的訊號，感知網路的多個傳送接收對必須要選出一個感知網路的領導人，領導人擔任多重的功用，並且對異質網路之間的互利是否成功扮演重要的角色。

使用電視網路的白頻譜空間已經有幾個不同的通訊規格在熱烈制定中 [7]，在本篇論文中，我們的感知網路發射器採用類似 IEEE 802.22 [8] 的系統參數，評估我們所提出的領導人選舉演算法所帶來的優點。IEEE 802.22 是一個階層式的網路結構，其網路中包含有基地台與終端用戶，基地台最大發射功率可達 4 瓦，其覆蓋範圍可達數十公里甚至到 100 公里，每個感知發射端都具備了全球定位系統(global positioning system, GPS)的功能，透過向基地台回報位址，調整傳輸速率，達到可適性的傳輸，基地台則透過網路存取資料庫，得知有哪些可用的電視白頻譜可供使用。

在 [5] 與 [6] 中所提出的分散式隨意網路領導人選舉演算法主要的考慮點包括：

- (1) 優先選擇剩餘能量最多的候選人；
- (2) 優先選擇擁有最高鄰近因子(可以與幾個感知發射器連接)的候選人，例如：擁有最多鄰近節點的候選人；
- (3) 優先選擇平均空間通道數最多的候選人；
- (4) 剩餘能量與鄰近因子有相同的權重。

但以上的考慮點並沒有辦法全然適用於生物互利共生式的感知網路中，因此我們將提出全新的設計。本論文的結構如下，第二節是涵蓋區域劃分演算法，第三節是領導人選舉演算法，涵蓋區域劃分演算法則是為了領導人選舉演算法的順利進行所提出，第四節與第五節分別是數值模擬結果與結論。

二、 涵蓋區域劃分演算法

雖然在 IEEE 802.22 中感知發射端的發射功率可以到 4 瓦，但在一般有干擾的環境底下，訊號涵蓋範圍可

能只達到 17 到 33 公里，因此，我們必須將一個很大的區域(例如：台北市)，區分成幾個較小的區域，以使發射功率能有效地使用，所以我們須將整個台北市的區域切成幾個較小的區域，在每個較小的區域中，選出相對應的領導人，而此領導人將負責小區域與主系統的互利。

演算法一 涵蓋區域劃分演算法

目的：將任何有興趣的區域(例如：台北市)，切割成 K 個小區域，其中 $K_1 \leq K \leq K_2$ ，我們可以選擇 $K_1 = 4 = 2^2, K_2 = 9 = 3^2$ 。

輸出： $\Pi_{PS,k}$ ， $k=1 \sim K$ 。

1. 為了將有興趣的區域切割成 K 個互相獨立的區域，我們在球座標 (R, Θ, Ψ) 上先取得該地區的 Θ 軸的極西(Θ_{start})、極東(Θ_{end})， Ψ 軸的極南(Ψ_{start})、極北(Ψ_{end})值，我們令這四個極值在球座標上所圍出來的區域寫成， Ω_{PS} 。 R 代表某位置到球心的距離。

2. 令每一個小區域的經度(Θ 的值)的寬度 θ ，緯度(Ψ 的值)的寬度 φ 。其中

$$\frac{\Theta_{start} - \Theta_{end}}{3} \leq \theta \leq \frac{\Theta_{start} - \Theta_{end}}{2},$$

$$\frac{\Psi_{start} - \Psi_{end}}{3} \leq \varphi \leq \frac{\Psi_{start} - \Psi_{end}}{2}.$$

3. 利用經度寬度 θ ，緯度寬度 φ 的類似長方形面積，將可完全覆蓋 Ω_{PS} ，並且若是將此面積完全覆蓋 Ω_{PS} ，其個數將介於 K_1 與 K_2 之間。我們隨意將類似長方形的小區域完全覆蓋住 Ω_{PS} ，我們令每一塊小區域為 $\Omega_{PS,k}$ ， $k=1 \sim K$ 。因此可以滿足

$$\bigcup_{k=1}^K \Omega_{PS,k} \supseteq \Omega_{PS}, \text{ 並且 } \Omega_{PS,i} \cap \Omega_{PS,j} = \phi,$$

$i, j=1 \sim K$ ，其中 \cup 代表聯集， \cap 代表交集， ϕ 代表空集合。

4. 令 $\Omega_{PS,k}$ ， $k=1 \sim K$ ，與台北市行政區域取交集，得到的區域為 $\Pi_{PS,k}$ ， $k=1 \sim K$ 。

在提出的涵蓋區域劃分演算法中，我們將台北市切割為 K 塊，而總切割數目的建議值為 4~9，將台北市切割為較小的數個區域的主要目的是讓感知發射器的發射功率能有較好的利用。若是我們將預計服務範圍做小於四個區域的切割，則會造成感知發射器的發射功率無法涵蓋到整個範圍，若是區域大於九個，則會造成過多的區域領導人而浪費系統的能量。僅有在區域邊緣的感知發射器有可能會中繼主系統的訊號，並且一個小區域只會有一個領導人，而領導人也可以指派自己擔任中繼的任務。

以下我們以台北市的實際座標，代入演算法一，實際得到演算法的輸出值， $\Pi_{PS,k}$ ， $k=1 \sim K$ 。根據 Google Earth，我們將台北市行政區域放在球座標上，依據演算法一的定義並且格林威治天文臺的經度值為參考

點可以得到， $\Theta_{start} = 0.667037\pi$ ， $\Theta_{end} = 0.677685\pi$ ， $\Psi_{start} = 0.121667\pi$ ， $\Psi_{end} = 0.140556\pi$ ； $K=4 \sim 7$ 。 $h(\theta, \varphi)$ 表示位置在 (θ, φ) 的海拔高度， $r_0 = 6371004(m)$ 。根據以上的定義，我們可以得到

$$\Omega_{PS} = \left\{ \begin{array}{l} (r, \theta, \varphi) \mid r = r_0 + h(\theta, \varphi), \dots \\ 0.667037\pi \leq \theta < 0.677685\pi, \dots \\ 0.121667\pi \leq \varphi < 0.140556\pi \end{array} \right\} \quad (1)$$

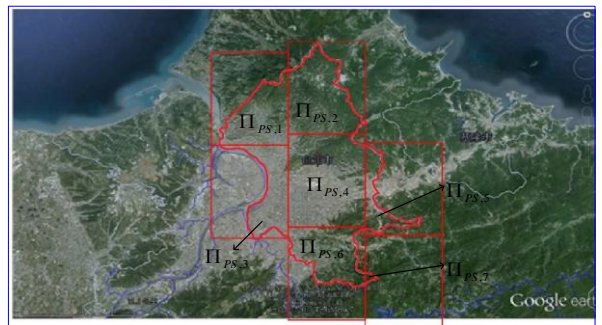
圖一為台北市行政區域，圖二為 $K=4$ 的情況，圖三為 $K=7$ 的情況。我們發現平均而言，圖三的切割區域面積較小。接下來我們將根據演算法一所得到的 $\Pi_{PS,k}$ ， $k=1 \sim K$ ，選舉該區域的領導人。



圖一 台北市行政區域



圖二 切割區域 $K=4$ 的輸出值 ($\theta = 8.4986 \times 10^{-5}$ ， $\varphi = 3.6872 \times 10^{-5}$)



圖三 切割區域 $K=7$ 的輸出值 ($\theta = 2.2483 \times 10^{-5}$ ， $\varphi = 2.8778 \times 10^{-5}$)

三、 領導人選舉演算法

我們假設感知網路的結構是分散式隨意網路，關於

控制訊息可以藉由控制通道加以傳送，控制通道的建立可參考[9]所提出的方式。每個感知發射端都要計算自己的點數，點數不到門檻值時，代表感知發射端無法利用數位電視廣播系統的白頻譜，若想利用數位電視廣播系統的頻譜資源，則須轉發主系統訊號以賺取點數，而是否可以轉發主系統訊號則須由該區域的領導人指示。

選舉領導人將依據領導人權重公式加以計算，其表示法如式(2)

$$f_{n,k}(I_{n,k}, E_{n,k}, Z_{n,k}) = I_{n,k} \times E_{n,k} \times Z_{n,k}, n=1 \sim N_k, k=1 \sim K \quad (2)$$

其中 k 代表該感知發射端所處的區域，例如：感知發射端落在 $\Pi_{PS,3}$ ，則 $k=3$ ， N_k 代表該區域參加演算法二的感知發射端的個數，我們以 n 代表其中的第 n 個感知發射端。 $I_{n,k}$ 表示該感知發射端是否在某特定區域，其值可以是 0 或 1，我們可以寫成

$$I_{n,k} = \begin{cases} 0, (r, \theta, \varphi) \notin \Pi_{PS,k} \\ 1, (r, \theta, \varphi) \in \Pi_{PS,k} \end{cases} \quad (3)$$

換言之，如果 $k=3$ ，該感知發射端座標落在 $\Pi_{PS,3}$ ，則 $I_{n,k}=1$ ，反之， $I_{n,k}=0$ 。 $E_{n,k}$ 代表該感知發射端的剩餘能量。當感知發射端的剩餘能量越大時，因為能夠服務的時間越久，不會因為很快沒電被迫進入充電狀態或關機，因此越有機會當上領導人。 $Z_{n,k}$ 代表鄰近該感知發射端的節點數，當 $Z_{n,k}$ 越大，代表能溝通的感知發射端數目就越多，因此，也是領導人權重公式的重要參數。

演算法二 領導人選舉演算法

目的：在任一區域 $\Pi_{PS,k}$ ， $k=1 \sim K$ ，選出一個領導人

。第 k 個區域有 N_k 個要賺取點數的感知發射端。

演算法成功條件：將經由此演算法選出來的領導人其

$f_{n,k}(I_{n,k}, E_{n,k}, Z_{n,k}) = I_{n,k} \times E_{n,k} \times Z_{n,k}, n=1 \sim N_k, k=1 \sim K$ 為該區域中最大者。

1. 每個要賺取點數的感知發射端利用自己的 GPS 定位，並透過演算法一判斷自己在第 k 區域。
2. 所有在第 k 個區域內要賺點數的感知發射端，利用控制通道形成一個群體 k ， $k=1 \sim K$ 。
3. 在群體 k 內的感知發射端依據 $f_{n,k}(I_{n,k}, E_{n,k}, Z_{n,k}) = I_{n,k} \times E_{n,k} \times Z_{n,k}, n=1 \sim N_k, k=1 \sim K$ 計算自己的領導人權重參數，點數不足而想參選的感知發射端會計算自己的權重參數再藉由控制通道傳送至該分區的所有參選的感知發射端中。
4. 權重參數最大的就是領導人。

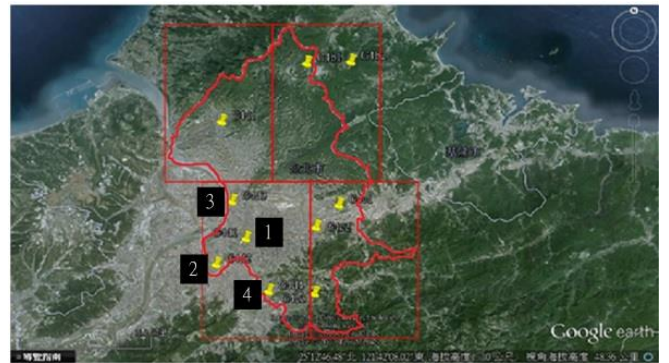
感知發射端的點數賺取可以依據擔任領導人時間的長短以及擔任中繼時間的長短來決定。假設任一感知發射端剛開機時就具有初始點數 B_0 ，擔任領導人單位的時間可以賺取點數 U_{leader} ，擔任中繼者單位的時間可以賺取點數是 U_{relay} ，使用某一個數位電視通道單位時間將會花掉點數 C ，因此我們可以把某一感知發射端目前的點數 B 表示成：

$$B = B_0 + U_i \times t - C \times t \quad (4)$$

其中 U_i 可以是 U_{leader} 或是 U_{relay} 。

四、數值模擬結果

我們以台北市為例，利用演算法一將涵蓋區域切割，並以 IEEE 802.22 的感知發射器之發射功率將發射功率設定成 4 瓦，我們將 K 設為 4，其劃分的結果如圖四所示，在左上角的區域我們假設為區域 1，其它三個區域依次為 2、3、4。我們假設 $\Pi_{PS,1}$ 與 $\Pi_{PS,2}$ 都只有一個感知發射器(以黃色點表示)，在 $\Pi_{PS,3}$ 中有三個感知發射器，在 $\Pi_{PS,4}$ 中有四個感知發射器，因此在 $\Pi_{PS,1}$ 與 $\Pi_{PS,2}$ 區域的領導人演算法只有唯一的選擇，但 $\Pi_{PS,3}$ 與 $\Pi_{PS,4}$ 有三以及四個選擇。

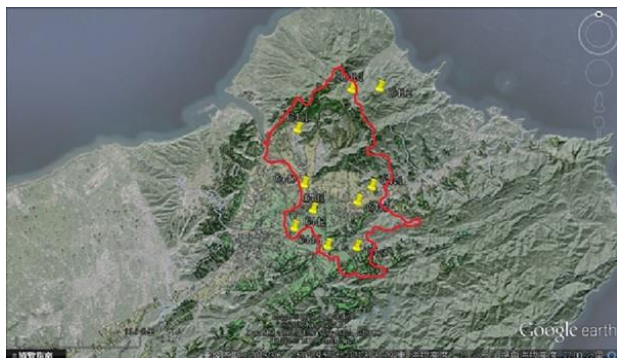


圖四 台北市感知發射端示意圖($K=4$)

我們以區域 $\Pi_{PS,4}$ 為例，在這個區域中的 4 個感知發射器分別編號成 1~4，其分布的狀況在圖四。當此區域中四個感知發射端將根據 E_{nk} 、 Z_{nk} 、 I_{nk} 的值，分別計算出 $f_{n,k}$ 。我們以各個不同編號的感知發射端當領導人，分別指派其它可聯絡的感知發射端當中繼，其新增涵蓋區域分別如圖五~圖八彩色的部分所示，其相對增加的涵蓋面積與台北市行政區域的大小比例如表 I 所示。



圖五 感知發射端 1 號當領導人時所能涵蓋的區域



圖六 感知發射端 2 號當領導人時所能涵蓋的區域



圖七 感知發射端 3 號當領導人時所能涵蓋的區域



圖八 感知發射端 4 號當領導人時所能涵蓋的區域

表 I 四位感知發射端當選領導人的新增涵蓋面積情形

領導人	台北市面積(km ²)	新增涵蓋面積(km ²)	鄰近節點數	比例(%)
發射端 1	271.7997	313.2607	3	115.25%
發射端 2	271.7997	282.0013	2	103.75%
發射端 3	271.7997	282.9382	2	104.10%
發射端 4	271.7997	282.0013	2	103.75%

根據模擬的結果顯示，當小區域內有四個感知發射端時，可增加的訊號涵蓋範圍相較於台北市行政區域的面積達 103.75%~115.25%。涵蓋區域劃分演算法與領導人選舉演算法為互利共生式感知網路提供了一個具體的實現方案。

五、結論

我們提出在互利共生式感知網路扮演著重要腳色的涵蓋區域劃分演算法與領導人選舉演算法，涵蓋區域劃

分演算法先求得切割區域資料後進入領導人選舉演算法。經由數值模擬結果可以發現，我們所提出的演算法可以增加涵蓋面積，在與主系統互利的情況之下，可以增加 115.25%原台北市的行政區域大小，此演算法對完成互利共生式感知網路有實質的幫助。

參考文獻

- [1] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, Feb. 2005.
- [2] FCC Spectrum Policy Task Force, FCC Report of the Spectrum Efficiency Working Group, Nov. 2002. [Online]. Available: http://www.fcc.gov/sptf/files/SEWGFfinalReport_1.pdf
- [3] 熊大為, 王維謙, 以生物互利共生的觀點評估使用電視白頻譜空間的可行性, 第十一屆微電子技術發展與應用研討會, 高雄, 2013.
- [4] A. U. Makarfi and K. A. Hamdi, "Wideband spectrum sensing framework for multiple slow frequency hopping primary users," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 2653-2658, Shanghai, China, April 2012.
- [5] O. Olabiyi, A. Annamalai, and L. Qian, "Leader election algorithm for distributed ad-hoc cognitive radio networks" *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, Jan. 2012.
- [6] K. Kifayat, M. Merabti, S. Qi, and D. Llewellyn-Jones, "An efficient multi-parameter group leader selection scheme for wireless sensor networks," *Network and Service Security (NSS)*, Paris, France, June 2009.
- [7] K.-M. Kang, J. C. Park, S.-I. Cho, B. J. Jeong, Y.-J. Kim, H.-J. Lim, and G.-H. Im, "Development and coverage of cognitive radio networks in TV white space," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 12, pp. 88-94, Dec. 2012.
- [8] 通信百科 IEEE802.22, [Online] Available: <http://baike.c114.net/view.asp?id=9926-4AAC0818>
- [9] B. F. Lo, I. F. Akyildiz, and A. M. Al-Dhelaan, "Efficient recovery control channel design in cognitive radio Ad Hoc networks," *IEEE Tr. Veh. Tech.*, vol. 59, no. 9, pp. 4513 - 4526, Nov. 2010.