

AUV Data Gathering in Underwater Wireless Sensor Networks

水下無線感測網路中無人載具之資料收集研究

Yen-Da Chen (陳彥達)

Kuei-Ping Shih (石貴平)

Dept. of Comp. Info. and Net. Eng.
Lunghwa Univ. of Science and Technology
ydchen@mail.lhu.edu.tw

Dept. of Comp. Sci. and Info. Eng.
Tamkang University
kpshih@mail.tku.edu.tw

摘要

隨著無線感測網路的發展，孕育生命的海洋探測也逐漸被重視。海洋佔了地球的表面積70%以上，因此向海洋探索也是無可避免的挑戰。本論文透過水下感測器代替人類感測相關資訊，並透過水下移動式資料收集器收集感測資訊。但因為移動式資料收集器的電量有限，無法將感測器的資訊一次性收集，本論文加入充電站讓移動式資料收集器可以做充電的動作，而在水下環境中考量到水中阻力問題且移動式資料收集器可能會產生資料延遲性的問題。因此在本篇論文提出一個在水下無線感測網路中路徑規劃策略，利用移動式資料收集器將水下佈建的感測器做資料收集動作，避免移動路徑過長導致收集的時間過多，最後將與廣為人知的水下蒐集資料的路徑做法 UDMP 論文[3]做比較。而實驗結果顯示在移動路徑長度與收集時間這兩項評估因子都表現得比 UDMP 較好。

關鍵詞：水下移動式資料收集器(Autonomous Underwater Vehicle)、傳輸延遲(Propagation Delay)、路徑規劃問題(Tour Planning Problem)、水下充電站(Docking Station)、沃羅諾伊演算法(Voronoi Diagram)、資料收集(Data Gathering)。

1. 導論

近年來水下無線感測網路的發展已經相當成熟，目前有很多關於感測的應用，如軍事偵測、預防災害、環境感測以及日常生活

的使用。這都是可以利用水下佈建感測器收集的到的資料，但是水下無線網路與傳統陸地上的無線感測網路截然不同，陸地上的無線網路利用電磁波以光速(3×10^8)進行資料的傳送，由於介質的因素，電磁波在海洋當中無法有效的進行資料的傳輸，因此只能使用聲波進行資訊的傳播，而聲波的傳輸速度平均只有 1500 m/s，造成水下聲波網路擁有高傳播延遲的特性。跟電磁波進行資料的傳播比較，速率差了數千至數萬倍，然而在傳統上論文[10]如 Figure 1(a)資料收集並回傳至 Sink，是利用感測器代傳的方式將資料回傳，但是某些感測器可能會因為一直代傳資料使得電量耗盡導致感測器死去。如下圖 Figure 1(b)所示。

因為感測器位於水深深度不同且聲波傳輸速率隨著深度有所改變以至於有著傳輸延遲的特性，進一步導致移動式資料收集器在拜訪收集資料的位置上完整傳輸一筆資料的時間會有所差異。然而考量移動式資料收集器的電量有限，在行徑的過程中面臨電量不足的情況產生，這時可以利用水下佈建水下充電站，將移動式資料收集器做充電動作並繼續將範圍內的感測器資訊做收集動作回傳至 Sink。但是在挑選感測器與充電站的移動路徑方式組合很多種，收集的時間上也有所差異，資料的即時性也會有所影響，因此在資料收集的移動路徑上勢必要找出較短的移動方式，將是本篇論文所探討之重點。

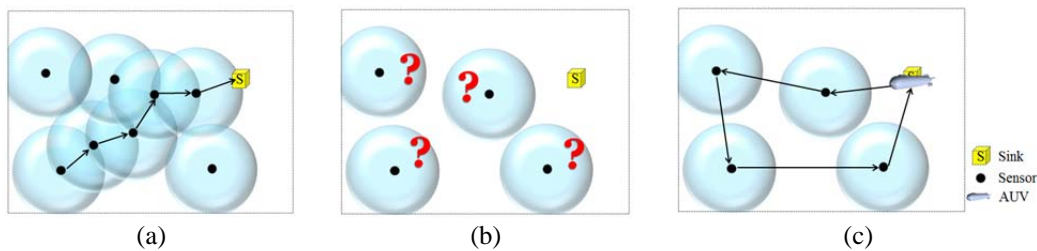


Figure 1.(a)傳統利用代傳方式將資料做回傳動作(b)感測器電量耗盡導致資料無法順離回傳至 Sink 示意圖(c)利用移動式資料收集器將場景中感測器資訊收集

在本篇的目標底下要收集範圍內的感測器，且不會重複拜訪會是一個 TSP 問題 (Travelling Salesman Problem)，又稱之為旅行銷售員問題，是數學領域中著名問題之一。假設有一個旅行商人要拜訪 n 個城市，他必須選擇所要走的路徑，路徑的限制是每個城市只能拜訪一次，而且最後要回到原來出發的城市，路徑的選擇目標是要求得到的路徑路程中的最小值，那麼這會是一個 NP(NP-hard)的問題如下圖 Figure 2 所示。當場景中有 13 個點，挑順序上就會有 $13!$ 種組合，會有 6227020800 種結果。

因此在移動式資料收集器的電量考量上也是一件非常重要的問題，如果是依照貪婪法 (Greedy Algorithm) 的移動方式，可能在移動路徑上沒有辦法將資料作完全收集，就導致電量耗盡，移動式資料收集器將無法回到 Sink 端，那麼我們必須先假設移動式資料收集器的電量有限，在移動過程中可能會有電力耗盡之問題，所以必須要將感測器全部收集的同時，又能考量到移動式資料收集器的移動路徑上移動距離合理。除此之外在之前的論文 [1][2][4][5][6] 作法上考量充電站存在之必要性，在水下環境當中移動式資料收集器的電量消耗和路徑上的規劃與充電站的擺放和拜訪是可以再下去探討的問題。在模擬部分本篇作法將會與 UDMP 演算法做移動路徑上的比較，而模擬顯示結果無論是在資料收集的路徑底下以及資料收集的時間都有比較好的效能。

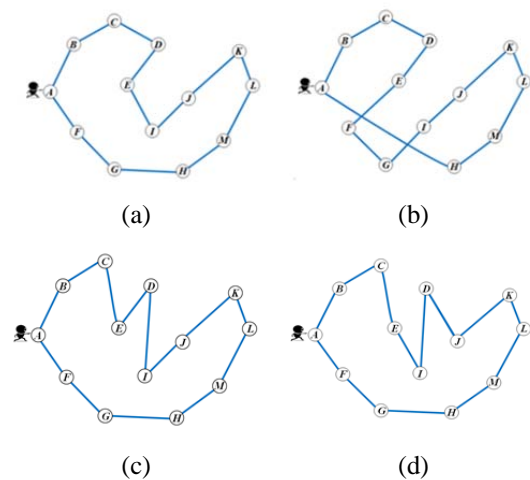


Figure 2. Travelling Salesman Problem

本篇論文剩餘的部分如下。第二部分相會介紹相關文獻。第三部分背景知識介紹論文的場景以及面臨的挑戰，並且介紹面臨到的傳輸延遲問題，然而再進一步介紹本論文使用的基本概念，第四部份將會介紹作法以及規則。第五部分為實驗模擬，第六部分為本篇論文的結

論。

2. 相關文獻

目前水下感測網路中水下移動式資料收集器的蒐集路徑研究已有相關文獻，我們將進行逐一探討：

2.1 Types of Visit and Cover

在收集方式上分為兩種：第一種稱之為 Docking Visit 此收集方式是指移動式資料收集器到達要收集的感測器上方將資料作收集動作如下圖 Figure 3 所示。

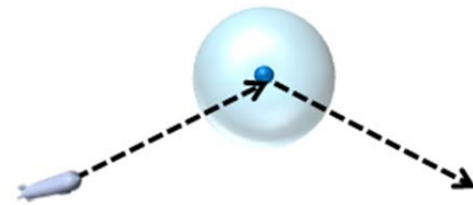


Figure 3. Docking Visit

另一種稱之為 Wireless Visit 此收集方式是指移動式資料收集器到達感測器的傳輸範圍上就可以將資料作收集動作，而在 Wireless Visit 收集方式底下再分為兩種，一種稱之為 Point Cover，當移動式資料收集器到達感測器的傳輸範圍時就可以將資料收集如下圖 Figure 4 所示。

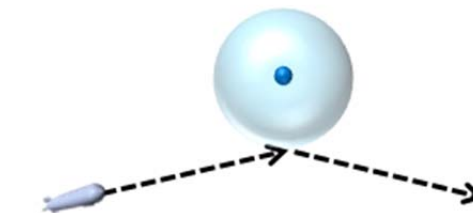


Figure 4. Point Cover

3.背景知識

3.1 場景架構

本篇論文提出一個在水下無線網路環境當中利用移動式資料收集器將範圍內的感測器做資料收集動作如論文[11][12][13][14][15]，而場景中將會擺放 Sink，是用來將移動式資料收集器出發的起點與終點，也是將資料回傳的目的地，另外場景中將會擺放充電站，作為移動式資料收集器電量不足的情況下進行充電之工作，場景表示圖如下 Figure.7 所示。

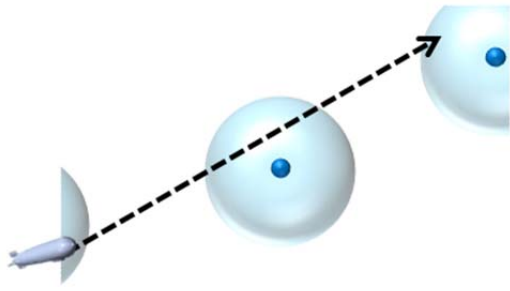


Figure 5. Line Cover

一種稱之為 Line Cover，指的是當移動式資料收集器在行進的過程當中到達下一個目標感測器時，在行進的過程路徑上就可以將行徑路徑中感測器做資料收集的動作。

2.2 Underwater Data Muling Problem

在此篇論文[3]中所提出的作法核心概念是如圖(a)將感測器與感測器一步鄰居內的感測器數量作計算，(b)將感測範圍內感測器數量較高的優先挑選(c)回程路徑當中納入感測範圍內感測器數量較高的代表點於路徑中(d)最後考量範圍內是否可以加入更多感測器資料收集。

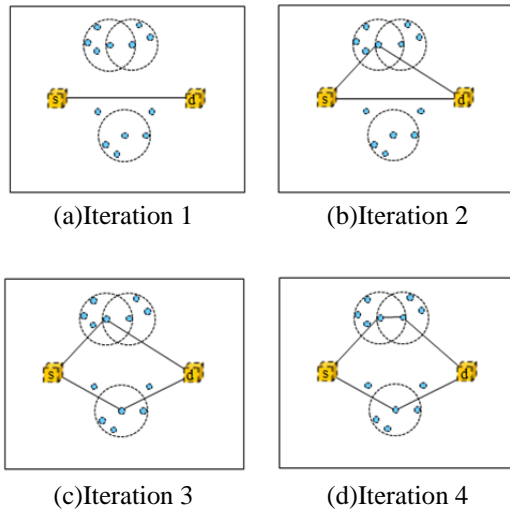


Figure.6 UDMP 示意圖

因此在 UDMP 的做法當中，在資料收集的部分將會遇到範圍內的感測器在往返的一次路徑當中，無法將路徑上的感測器做資料收集動作，而必須要在充電站與充電站之間重複拜訪，進一步影響整體收集完範圍內感測器的路徑長以及時間，本篇論文的核心概念是將提出改善的方式。

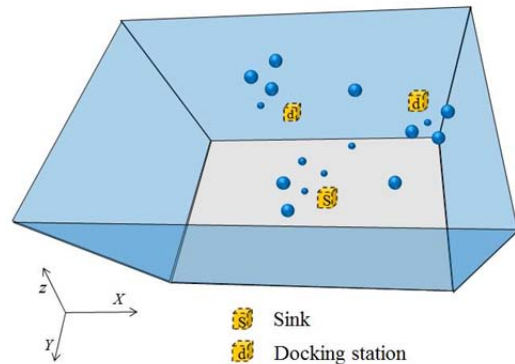


Figure.7 無線水下感測網路場景示意圖

3.2 挑戰

在水下無線網路環境當中與陸地上的做法最大不同在於水下無線網路考量的因素有很多，像是資料收集的延遲問題、場景考量是三度空間、移動式資料收集器的移動速度比陸地上較慢等問題，因此要找出一套收集範圍內感測器的移動方法，是本篇論文所探討的重點。

3.3 水下傳輸延遲

水下無線感測網路利用聲波進行資料的傳輸，與陸地上之無線感測網路的主要差異，如表一所示。

表一、水下無線感測網路與無線感測網路之差異

	UWSN	WSN
傳播方式	聲波	電磁波
傳播速度	約 1500 m/s	3×10^8 m/s
傳輸速度	約 10 kbps	250 kbps

通訊距離	1 至 10 km	100 m
傳輸耗電	2 W	50 Mw

由表一可知，因為使用聲音作為傳輸的媒介，傳播的速度只有大約 1500m/s，因此水下無線聲波感測網路在進行封包的傳輸時，相較於陸上無線電波 3×10^8 m/s 的傳輸，會有極大的傳播延遲。然而，聲音在水下的速度並非為一定值，而是會隨著溫度、壓力與鹽度的不同而有所改變。聲速的變化如公式(1)所示：

$$C = 1449.2 + 4.623 * t - 0.0546 * t^2 + 1.3191 * (S - 35) + 0.017 * d \quad (1)$$

其中，t 為溫度，d 為深度，而 S 為鹽度。此外，全球海水的平均深度約為 4 公里，在海平面至水下一公里的範圍被稱為斜溫層，溫度從海平面平均的 22°C，隨著深度降至 5°C。

$$V(d) = -0.0000176904 * d^2 - 0.0229708 * d + 1524.4796 \quad (2)$$

其中，d 為深度。在斜溫層中，聲速主要隨著溫度變化，當溫度越高，聲速越快，反之，則越慢。而水下一公里至海底的範圍則被稱為深水層，此層的溫度大約都維持在 4°C 左右，因此，此層之聲速的計算可以被簡化如下：

$$V(d) = 1483.8354 + 0.017 * (d - 1000) \quad (3)$$

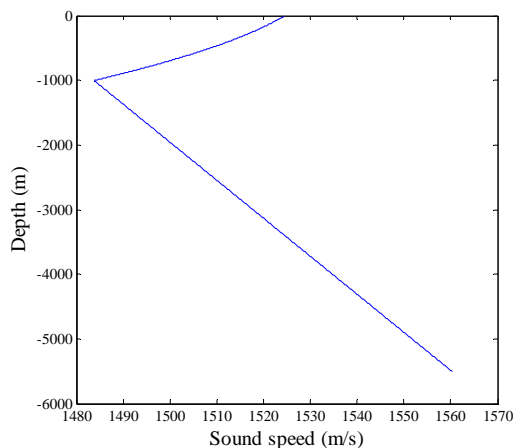


Figure. 8 水中聲速示意圖

在深水層中，聲速主要隨著壓力變化，當壓力越大，則聲速越快，反之，則越慢。聲速隨深度的變化如 Figure. 8 所示，以深度一公里為界，此時聲速無論在較深或是較淺的海域，都會逐漸上升。

接下來在做法部分將利用水下延遲之特

色設計出一套挑選拜訪點的依據，並納入作法加以表現出水下無線網路環境中之特色。

3.4 Voronoi Diagram

作法上利用 Voronoi Diagram 的特性將場景分割，而所謂的 Voronoi Diagram 的意思是在平面上散布許多點。平面上每一處，各自歸類於最近的點；自然而然的，形成了分界線，是中垂線。Voronoi Diagram 是分界線組成的集合，如下圖 Figure .9 所示

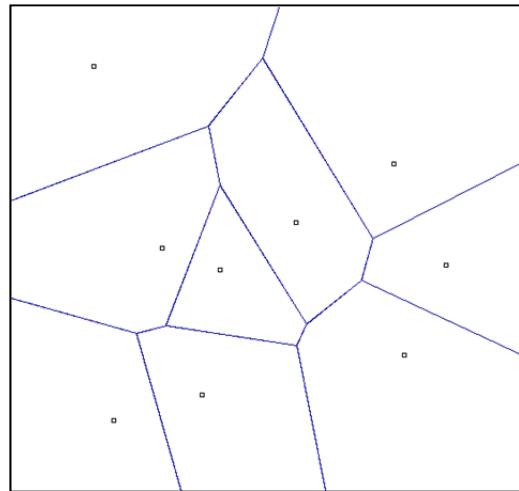


Figure.9 Voronoi 示意圖

4. Heuristic Algorithm

4.1 3D Voronoi

在第 3 章部分已經介紹完背景知識，套用至本篇做法中先將利用 3D Voronoi 把場景中的充電站做區域責任的工作劃分，在此作法底下可以避免移動式資料收集器，在充電站與充電站之間重複拜訪，導致移動路徑過長，表示圖 Figure.10 如下。

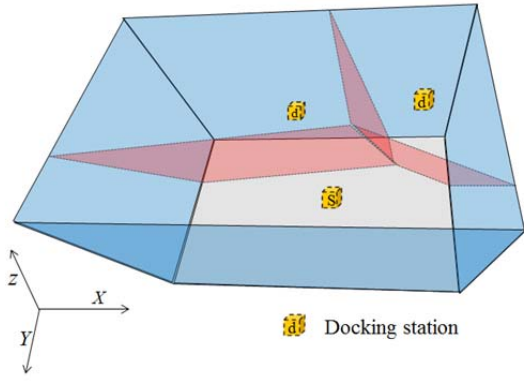


Figure.10 3D Voronoi

4.2 挑選代表點

在 UDMP 的做法當中是利用感測器的傳輸範圍內有其他感測器做為挑選的依據，但是忽略的感測器與感測器之間可以利用交集區域處就能將資料做收集動作，使得移動式資料收集器在行進過程中不會花費較長的移動距離如下圖 Figure.11 所示。

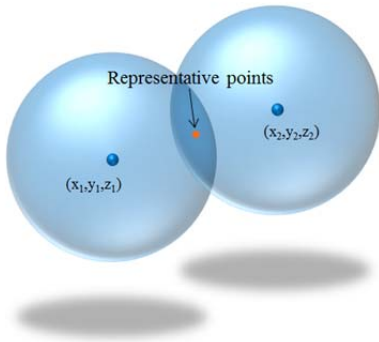


Figure.11 代表點找法

如何找出代表點首先得知感測器的xyz軸座標，就可以求出一個正立方體長寬高各是為兩倍感測器傳輸範圍的邊長，恰可包覆於感測器，如下圖 Figure.12 所示。

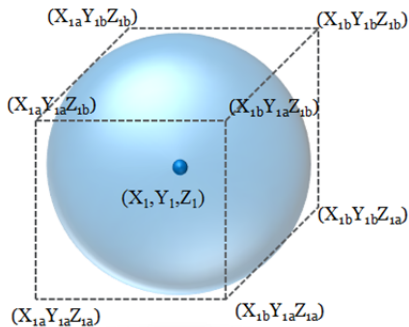


Figure .12 求出立方體座標

在得知立方體座標之後可以推算交集傳輸範圍的區域，利用公式如下(4):

$$\begin{aligned}
 x_{ia} &= (x_i - r) & x_{ma} &= \max(x_{1a}, x_{2a}, x_{3a}, \dots, x_{ia}) \\
 x_{ib} &= (x_i + r) & x_{mb} &= \min(x_{1b}, x_{2b}, x_{3b}, \dots, x_{ib}) \\
 y_{ia} &= (y_i - r) & y_{ma} &= \max(y_{1a}, y_{2a}, y_{3a}, \dots, y_{ia}) \\
 y_{ib} &= (y_i + r) & y_{mb} &= \min(x_{1b}, x_{2b}, x_{3b}, \dots, x_{ib}) \\
 z_{ia} &= (z_i - r) & z_{ma} &= \max(x_{1a}, x_{2a}, x_{3a}, \dots, x_{ia}) \\
 z_{ib} &= (z_i + r) & z_{mb} &= \min(x_{1b}, x_{2b}, x_{3b}, \dots, x_{ib})
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

在求出交集區域範圍後將要求出一個代表點 Representative points(RP)必定座落在交集區域內且是傳輸範圍的交集區域如下圖 Figure.13，求得公式如下(5):

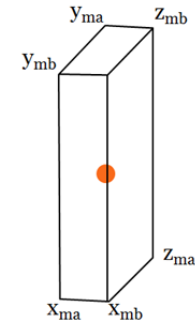


Figure.13 代表點求法

Representative Points

$$= \left(\frac{x_{ma} + x_{mb}}{2}, \frac{y_{ma} + y_{mb}}{2}, \frac{z_{ma} + z_{mb}}{2} \right)
 \tag{5}$$

接下來考量範圍內有多個感測器互相交集的情況底下避免移動式資料收集器重複拜訪收集的情況參考圖示 Figure.14 如下。

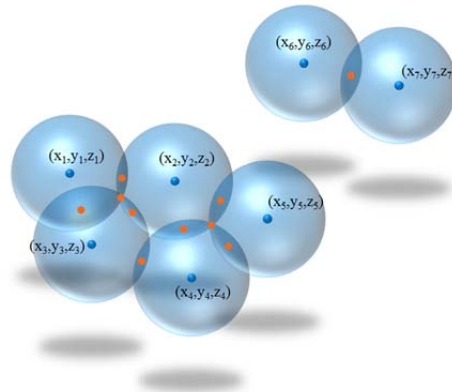


Figure .14 多個代表點求法

如圖 Figure.14 所示避免代表點在收集時重複收集到範圍內感測器的資訊且考量傳輸延遲的因素，所以將提出利用 Weight 值得方式做計算，公式如下(6):

$$\text{Weight} = \frac{N_i}{\max_{j \in [1, N_i]} D_j^i \times \frac{1}{\text{prop}_{ij}}} \quad (6)$$

N_i 表示到達代表點上所可收集到的感測器資料個數， D_j^i 表示從感測器到達代表點的直線距離， prop_{ij} 表示感測器的水深不同所造成的延遲時間也會不同，在水深 0 公尺至 1000 公尺時傳輸延遲時間公式(7):

$$\begin{aligned} \hat{V}(d, T) = & 1448.96 + 4.591T \\ & - 5.304 \times 10^{-2} T^2 + 2.374 \times 10^{-4} T^3 \\ & - 5.01532 \times 10^{-3} Td + 4.357152 \\ & \times 10^{-7} Td^2 + 1.06813 \times 10^{-11} Td^3 \\ & + 7.139 \times 10^{-16} Td^4 + 1.089288 \\ & \times 10^{-4} T^2 d - 5.87376 \times 10^{-8} T^2 d^2 \\ & - 2.8488 \times 10^{-12} T^2 d^3 - 7.122 \times 10^{-7} T^3 d \quad (7) \\ & + 7.122 \times 10^{-10} T^3 d^2 + 2.374 \\ & \times 10^{-13} T^3 d^3 + 3.4664 \\ & \times 10^{-2} d - 6.8114 \times 10^{-7} d^2 \\ & - 1.51936 \times 10^{-11} d^3 \\ & - 2.8556 \times 10^{-15} d^4 \end{aligned}$$

在水深 1000 公尺至 8000 公尺時的傳輸延遲時間公式(8):

$$\check{V}(d) = 1466.4905536 + 1.63 \times 10^{-2} d + 1.675 \times 10^{-7} d^2 - 2.8556 \times 10^{-12} d^3 \quad (8)$$

在挑選時將 Weight 值較高的作為挑選的依據，挑選後前一步收集到的感測器，再做移除動作，依序找完範圍內的代表點。

4.3 拜訪代表點的移動路徑規劃

考量場景中範圍內的代表點與充電站之間的移動方式且因為利用 3D Voronoi 將場景劃分，因此將收集路徑分為兩步做探討。

第一步先考慮充電站與充電站之間的代表點收集路徑如論文[16][17][18][19]，作法利用已知的充電站位置資訊與代表點位置資訊

如論文[20][21][22]，並可推出代表點與代表點之間的直線距離和代表點與充電站的直線距離，並利用路徑長分之拜訪資料數 $\frac{N_i}{D_i}$ 從值較大的開始挑選，檢查存在一條較短的移動路徑，表示圖 Figure .15 如下。

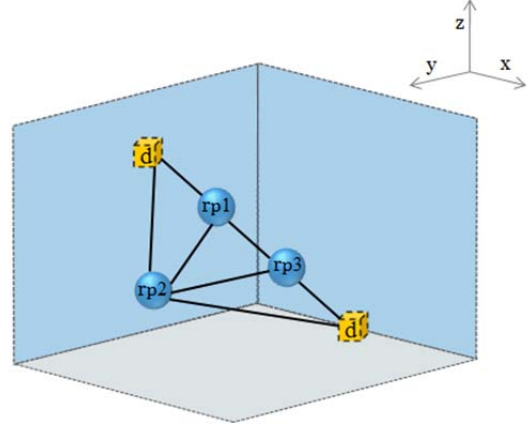


Figure.15 代表點移動路徑規劃

第二步考量利用 3D Voronoi 將場景做工作責任劃分之後將已知的代表點位置資訊利用路徑長分之資料收集個數 $\frac{N_i}{D_i}$ 從值較大的依序開始挑選，檢查出一條較短的移動路徑，表示圖 Figure.16 如下。

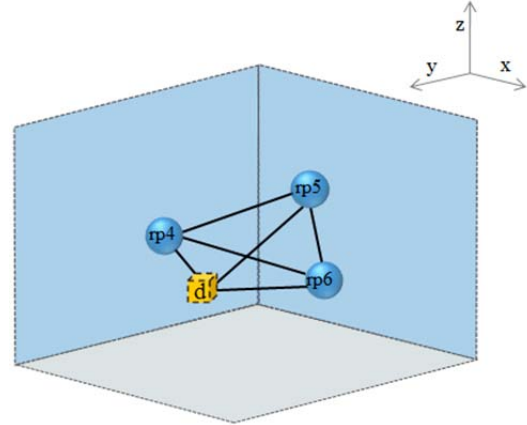


Figure.16 代表點移動路徑規劃

4.4 多個充電站挑選之規劃

在此當多個充電站之間移動方式本篇提出利用 3D Convex Hull 找出一個多面體，且多面體上面的節點是充電站或是 sink，並可以找出一條移動路徑，而當存在此多面體內的節點沒有被多面體包覆時，將利用最短路徑演算法求出一條移動路徑，舉例如下圖 Figure.17 當路徑 L_3 沒有被此多面體包覆時可以利用最短

的 L_5 與 L_7 作為取代的移動路徑。

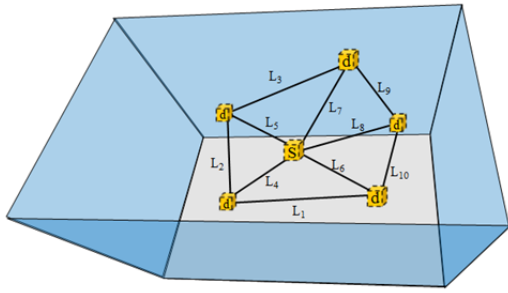


Figure.17 充電站移動路徑規劃

5. 實驗模擬

本實驗將與 UDMP 的水下感測器路徑找法進行比較，考量在不同數量感測器底下所找的移動路徑長度，當場景長寬高大小為 1000 公尺、1000 公尺、1000 公尺底下傳輸範圍大小從 500 公尺到 1200 公尺之間，資料大小為 1000 bits，其他的實驗參數列於圖表二。

Parameter	Value
Area Size	1000 * 1000 * 1000 m^3
Data Rates	10 kbps
Transmission Range	500~1200m
Transmission power	50 dB
Frequency	25 kHz
Data packet size	1000 bits
Node density	50 ~60 nodes/ km^3

首先我們將在收集時間上與 UDMP 進行比較，而考量感測器的傳輸範圍越大的情況 UDMP 的作法會較趨向於我們的做法，如圖 Figure.18 所示。

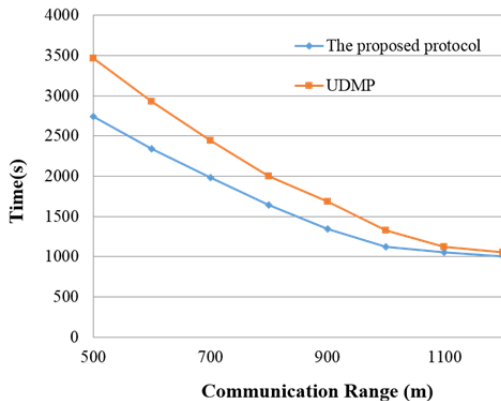


Figure.18 傳輸範圍與時間

再比較當場景中佈建了 50 顆感測器與 60

顆感測器時，移動式資料收集器所走的路徑長與傳輸範圍大小從 500 公尺到 1200 公尺，如圖 Figure.19 所示。

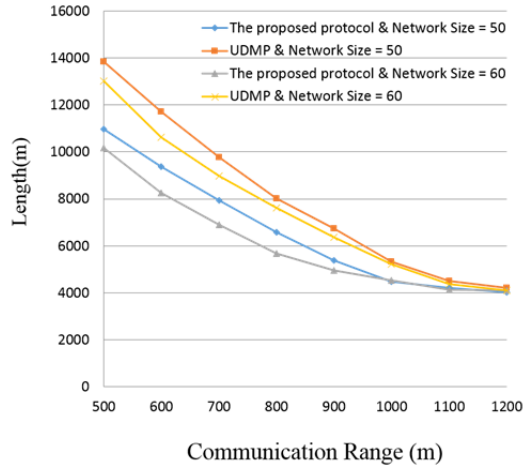


Figure.19 傳輸範圍與路徑長

6. 結論

從實驗模擬結果比較了 UDMP 的做法與我們所提出的做法底下進行比較，可以發現當在水下資料收集時我們提出的做法較優於 UDMP 的地方在於收集完範圍內的感測器所耗費的時間與路徑長都會來的比較短，進一步可以得到資料收集上有較快的資料更新。

致謝

本研究感謝中華民國行政院國家科學委員會計劃經費補助 (NSC 101-2628-E-032-001-MY3, NSC 102-2627-E-119-001 和 MOST 103-2221-E-262 -009 -)

參考文獻

- [1] R. Shah, S. Roy, S. Jain, and W. Brunette, "Data mules: Modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks," in Proceedings of the First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA), pp. 30-41, May 2003.
- [2] P. Juang, H. Oki, Y. Wang, M. Martonosi, and L. shiuan Peh, "Energy Efficient Computing for Wildlife Tracking: Design Tradeoffs and Early Experiences with ZebraNet," in International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS-X), San Jose, CA, USA, October 2002, pp. 96-107.
- [3] K. Li, C.-C. Shen, and G. Chen, "Ener-

- gy-constrained Bi-objective Data Muling in Underwater Wireless Sensor Networks,” IEEE Mobile Ad hoc and Sensor Systems (MASS), pp. 332-341, 2010.
- [4] D. Jea, A. A. Somasundara, and M. B. Srivastava, “Multiple Controlled Mobile Elements (Data Mules) for Data Collection in Sensor Networks,” in IEEE/ACM International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), Marina del Rey, CA, USA, June 2005.
- [5] B. Yuan, M. Orlowska, and S. Sadiq, “On the optimal robot routing problem in wireless sensor networks,” IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 19, no. 9, pp. 1252–1261, 2007.
- [6] J. Rao, T. Wu, and S. Biswas, “Network-Assisted Sink Navigation Protocols for Data Harvesting in Sensor Networks,” in IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Las Vegas, NV, USA, March 31-April 3 2008, pp. 2887–2892.
- [7] B. Yuan, M. Orlowska, and S. Sadiq, “On the optimal robot routing problem in wireless sensor networks,” IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 19, no. 9, pp. 1252–1261, 2007.
- [8] J. Rao, T. Wu, and S. Biswas, “Network-Assisted Sink Navigation Protocols for Data Harvesting in Sensor Networks,” in IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Las Vegas, NV, USA, March 31-April 3 2008, pp. 2887–2892.
- [9] C. S. Hollinger, G.A. and et.al, “Underwater data collection using robotic sensor networks,” IEEE J. Sel. Areas. Commun. vol. 30, no. 5, pp. 899–911, Jun. 2012.
- [10] M. Zhao and Y. Yang, “Bounded relay hop mobile data gathering in wireless sensor networks,” in IEEE International Conference on Mobile Ad hoc and Sensor Systems (MASS), Macau SAR, China, October 12-15 2009, pp. 373–382.
- [11] K. Tian, B. Zhang, K. Huang, and J. Ma, “Data Gathering Protocols for Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks,” IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom), 2010.
- [12] Y.-C. Tseng, W.-T. Lai, and C.-F. Huang, “Using Mobile Mules for Collecting Data from an Isolated Wireless Sensor Network,” International Conference on Parallel Processing (ICPP), 2010.
- [13] Wen-Hwa Liao ,Ssu-Chi Kuai, “An Energy-Efficient Data Collection Mechanism with a Mobile Sink for Wireless Sensor Networks,” IEEE Ubiquitous Intelligence & Computing and 9th International Conference on Autonomic & Trusted Computing (UIC/ATC), Fukuoka, Japan, Sept. 2012, pp. 210-216.
- [14] Y. Gu, Y. Ji, J. Li, and B. Zhao, “ESWC: Efficient scheduling for the mobile sink in wireless sensor networks with delay constraint,” IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 24, no. 7, pp. 1810–1820, 2013.
- [15] Y. Wang, F. Wu, and Y. Tseng, “Mobility Management Algorithms and Applications for Mobile Sensor Networks,” Wireless Comm. Mobile Computing, vol. 12, pp. 7-21, 2012.
- [16] E. Guney, N. Aras, I.K. Altinel, and C. Ersoy, “Efficient Integer Programming Formulations for Optimum Sink Location and Routing in Heterogeneous Wireless Sensor Networks,” Computer Networks, vol. 54, no. 11, pp. 1805-1822, 2010.
- [17] W. Liang and J. Luo, “Network Lifetime Maximization in Sensor Networks with Multiple Mobile Sinks,” Proc. IEEE 36th Conf. Local Computer Networks, Oct. 2011.
- [18] Y. Yun and Y. Xia, “Maximizing the Lifetime of Wireless Sensor Networks with Mobile Sink in Delay-Tolerant Applications,” IEEE Trans. Mobile Computing, vol. 9, no. 9, pp. 1308-1318, Sept. 2010.
- [19] G. Keung, Q. Zhang, and B. Li, “The Base Station Placement for Delay-Constrained Information Coverage in Mobile Wireless Networks,” Proc. IEEE Int’l Conf. Comm., May 2011.
- [20] G. Keung, B. Li, and Q. Zhang, “Message Delivery Capacity in Delay-Constrained Mobile Sensor Networks: Bounds and Realization,” IEEE Trans. Wireless Comm., vol. 10, no. 5, pp. 1552-1559, May 2011.
- [21] Y. Gu, Y. Ji, J. Li, and B. Zhao, “Delay-Bounded Sink Mobility in Wireless Sensor Networks,” Proc. IEEE Int’l Conf. Comm. (ICC ’12), June 2012.
- [22] Y. Gu, Y. Ji, J. Li, H. Chen, B. Zhao, and F. Liu, “Towards an Optimal Sink Placement in Wireless Sensor Networks,” Proc. IEEE Int’l Conf. Comm. (ICC ’10), May 2010.