

具即時與耗能考量的感測網路路徑產生方案

鄧宇喬* 盧永豐* 郭錦福# 汪新隆* 郭弘翊* 林金昇*

*國立臺中科技大學 資訊工程系

#國立高雄大學 資訊工程系

摘要

如何在要求的時間內，IoT 中負責收集資訊的感測網路以最省電的方式將資料即時傳送到達為一個重要的課題。本研究將此議題歸納與整理出一名為 RTQP 的研究議題，並將此議題細分出兩個比較容易處理的小問題。

在本研究中，Sink 產生一可行的查詢計畫，隨後透過本論文所提出的方法，繞送出能及時送達的路徑選擇傳送方案。我們的方法會分析感測網路的拓撲與傳送負擔，依據所取得的期限，巧妙的產生合適的傳送路徑。相關的特性本研究亦有所探討。

關鍵詞：感測網路、查詢最佳化。

Abstract

Data gathering in large-scale wireless sensor network (WSN) is a major challenge for Internet of Things (IoT). Since sensor nodes usually are developed by low-cost hardware, one major challenge in the development of many sensor-network applications is to provide high-security features with limited resources. In this paper, we propose a path generation framework with deadline considerations for real-time query processing. The framework will assign the time budget to the routing path, and then, derive a feasible path with the assigned time budget.

Keywords: sensor networks, query optimization.

1. 前言

隨著資訊技術的演進，各種新世代的資訊設備與應用不斷被開發出來。透過先進的 IC 電路技術整合計算與通訊能力，更使得各種新型態的感測設備與控制結構得以發揮更廣闊的影響力創造更多的應用。現階段生活中各種設備，諸如汽車、家電、工廠、飛機、手機、電腦遊戲、環境監測系統等，皆可看到資訊技術的影子。事實上，在今日的微處理器市場中，將微處理器視為所屬元件之一的嵌入式系統應用，其數量上已遠遠超越以計算器為主的各式電腦。而經過多年的發展，由於結合越多樣的設備將可創造更有價值的應用，現今這些嵌入式系統也不在僅僅只是單一系統，與其他各種系統相互合作的需求亦日益增加。此外，隨著無線技術與分散式計算技術快速進展，如圖 1 顯示的情境，原本分散四處的嵌入式系統更可透過無線網路相連並共同去完成一些任務。當越來越多的日常生活

施、裝置嵌入了微處理器來進行計算。而這些裝置也漸漸的透過網路相連，裝置網路(Internet of things)也日益成型。在其中，感測器扮演者這些裝置與現實生活世界的一個重要的介面，將裝置與環境相連並進一步的讓其能互動。也因此，一些全新的應用亦將逐漸被開發出來。可預期在不久的未來連網嵌入式系統將為我們的生活帶來具有衝擊且深遠的變革，使我們的生活更美好。

一個典型的連網嵌入式系統(Networked Embedded System)常常會包含一些重要的元件，包含一個電源供應設施(如，電池或外部電源)、處理單元(信號處理以及儲存能力)、感測或動作執行裝置(如，麥克風或揚聲器，攝像頭或顯示器)、通訊設備(如，無線或有線網路)、以及簡單的包裝。這些連網嵌入式系統有可能會聚集在一起執行任務，也可能是各自以一個元件的身分存在，然後各個元件提供介面，彼此互相搭配再一起執行任務。這些連網嵌入式裝置可能負責感知環境的變化，再進一步傳送資訊給控制設備以進行調整應變；也可能自己本身就是一個大型的工廠自動化監測系統的一部分。在這樣的狀況下，我們可以發現這類設備的基本特徵是，它們會聚集成一個網路，一起執行任務以提供使用者所需的功能。

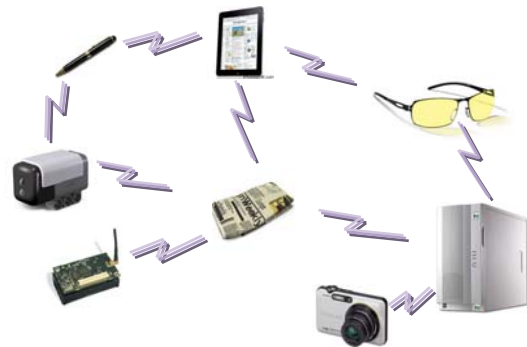


圖 1: 連網嵌入式系統

如同一般嵌入式系統，為了能有效率地完成任務，連網嵌入式系統具備一些常見的功能要求，我們可依照功能性質將其區分為資料收集(data collection)、數位控制(direct digital control)、人機互動(man-machine interaction)等功能需求[1]。當一個受控制的元件(如一台車子或一個工業系統)改變其狀態時，系統會需要在一時限內得到其真正的狀況。對這些元件即時且正確的收集到系統資訊十分

重要[2]。當系統處理完訊號後，這系統也會需要能直接地對這些系統運作元件(actuators)進行指揮與操作；為了能保證系統運作有效無誤，系統必須能在時限內將動作完成。而許多系統並非可全部交由系統直接進行決策，有時系統僅是輔助腳色，當系統需要人們參與時，設計適切的人機互動界面將非常重要[3]。此外，嵌入式系統由於本身的特性，通常在系統中提供必要的輔助，不可避免地需要與系統中其他設備互動。綜觀這類型的應用，其亦將面對時間上的要求，也因此連網嵌入式系統有其必要透過重新設計其工作排程、通訊方式、以至於盡可能將錯誤更正延誤減少，以滿足其時間上的嚴苛要求。

除了具備考量能量消耗的繞徑演算法(energy-efficient routing)的方法[6][7][8]外，對於拓樸進行適當的管理可以有效的降低封包傳送所消耗的能量，並進一步的延長節點的工作時間[9]。在這個議題上，有許多表現優異的拓樸管理方法(如:[10][11][12][13])已經被提出來了。在另一方面，為了要能處理當有節點因為沒電或被抓走而失去聯繫，連結性上的備援是必要的做法。在眾多方法中，K-連結性拓樸管理演算法(K-connected topology control)是一種可行的做法。然而，雖然已有許多表現優異的 K-連結性拓樸管理機制[14][45]已經被提出來，但由於他們通常需要完整/一部分的全體網路架構訊息(如:[14]、或者需要大量且複雜的的測試來判定任意兩個點之間的 K-連結性(如:[45])，因此這些方法並不完全適用於僅僅擁有有限資源的連網嵌入式系統中使用。本計畫將研究如何使用少許的通訊來創建並維護一個同時具備最省成本與 K-連結性的演算法，以符合資源有限的連網嵌入式系統之需求。

在一般電腦環境中已有許多優秀的查詢技術，如 Adaptive Query Processing [35]，而近年更有許多學者發展了如 TAG[39]等技術以在無線嵌入式系統環境中進行查詢處理(Query Processing)。這些技術允許使用者使用 SQL-like 的語法來進行查詢。然而，即便提供很便利的使用介面，但由於蒐集資訊的來源可能會移動或者有不同程度的變化，如何提供一個好的策略變成一個重要且活躍的研究議題[36][37][38]。此外，現實生活中的資訊來源通常並非平均分布在環境中，也因此資料傳輸的環境與一般電腦系統不同，使得原來使用於一般電腦的資料庫查詢策略並不適用於這類的系統。

在資料蒐集的傳輸技術探討上，則有研究學者提出不同的作法來改進，如具資料壓縮[40]、優先權的 MAC 協定[42]、多重繞徑(route)方法[43]、硬體改進[41]等。但由於現今連網嵌入式系統所處理的任務日益緊急且重要，因此我們需要進一步沈思如何進一步將安全性與即時性納入考量。

本論文針對有限資源的連網嵌入式系統中具安全性與時效性之工作，提出一系列的方法來達成

系統之效能與安全性要求。研究將針對有即時性需求的連網嵌入式系統在資料傳輸上最常面臨的議題進行探討，並嘗試開發適合這類連網嵌入式系統的資料傳輸與管理機制。本研究將針對連網嵌入式系統所面對之通訊管理、即時回應等挑戰，探討嵌入式系統網路即時資訊傳輸管理。在過去的研究中，絕大部分是單獨針對各別議題進行探討；然而新應用普遍追求低成本高效能，如何在不降低效能以及安全性的情況下，達成即時回應並盡可能節約成本是本研究探討的重點。

本論文將在後續的章節，進行以下安排：第二章將講解問題定義，第三章說明我們所提出的路徑產生機制，第四章簡述我們的方法特性，最後於第五章進行總結。

2. 問題定義

本研究發展符合嵌入式系統需求之資料收集與管理技術。嵌入式系統常常運作於資源有限環境，為了節省成本，嵌入式系統常常僅具備有限的硬體資源以及配戴有限的電力可供使用，並透過有限的頻寬來傳送資料。縱然所擁有的資源如此嚴苛，嵌入式系統仍舊有能力提供即時的資料處理。

資訊技術已深入生活的各式應用中；各式微型計算系統更已內嵌至各種應用環境中。這類的工作可能有即時完成的需求、需對所傳送訊息進行私密保護。隨著這些技術的進展也使得許多新應用應運而生，如工廠自動化、家庭自動化、環境監控、環境保全、身體健康網路等。在這些應用中，其所傳送的資訊需在一定時間內傳達，在收集資料所使用的傳送路徑設計上需考量傳送時效性。而資訊安全亦為這類系統所面對的眾多重要挑戰之一，如何避免資訊洩漏(如：傳送的資訊、網路的拓樸)，且如何提供足夠的資料替代傳送路徑已成為一有趣的研究議題。此外，由於這些系統有可能是獨立在外，不受到掌控與保護；因此有其必要確保當系統遭到竊取後，能確保資訊不外露給不相干人等。也因此，這類的系統設計上必須將金鑰管理一併納入考量，且必須要特別針對其資訊外露威脅一併考慮，同時設法將資訊洩漏所造成之影響降到最低。再者，由於嵌入式系統有很高的比例是使用電池做為其能源，因此如何提供一個好的通訊拓樸以減少通訊量以降低能源消耗亦十分重要。

由於感測網路運作時，將由 sink 對 sensor nodes 提出查詢，若我們直觀觀察，可發現 sink 將對期盼查詢的節點們提出其問題。下圖我們可以發現，對 sink 而言，其實他只關心了他想要問的問題，但並不在乎資料如何傳回來。在這樣的狀態下，通常由 sensor nodes 自行產生傳送路徑並將感測到的資訊回傳。也因此 Query plan 與真正傳送資料的 Query Execution Plan 並不相同。

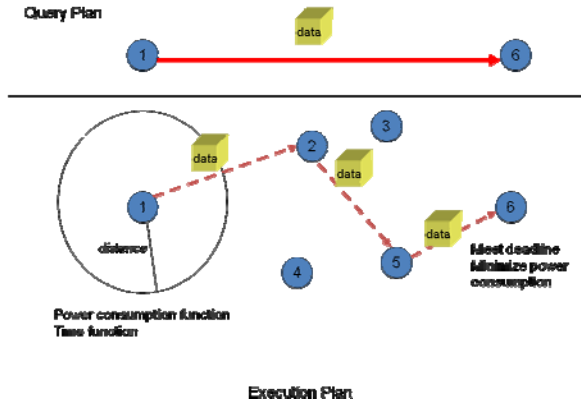


圖 2: Query plan 與 query execution plan

在不緊急的狀態下，資料無時效性要求時，整個網路可以慢慢將資訊傳回 sink。然而在日常生活中，有許多情況是需要能在有限時間內進行判斷，因此不能夠無限制的等待。也因此，我們會需要給予感測網路一個有限的資料處理時間。然而，由於無線感測節點通常是依靠電池作為電力來源，因此我們不可能全都採用最大範圍的通訊力量來傳送資料，我們需要盡可能用最經濟的方式在系統要求的期限內將資料回傳，綜觀上述欲解決的問題，我們可以將我們的目標彙整成以下問題：

問題一[RTQP]：

Input: Given a sensor network $SN = (V, E^*)$ with a query plan $QP = (V, E^q)$ and a given deadline D .

Output: A query propagation plan $EP = (V, E^{ep})$.

Goal: This problem is to find a sequence of execution path $EP_{s,t}$ which starts from v_s and ends to v_t , ($EP_{s,t}$ transfers data before $EP_{s',t'}$) such that $ft(sink) \leq D$ and $\sum_{i,j} \sum_{e_{i,j} \in EP} p(e_{i,j})d(e_{i,j})$ is minimized.

然而，上述問題非常難解，若要在有效時間內找到解法，我們須更進一步將此問題拆解成較小的問題。我們可將上面的問題拆解成兩個較小的問題，分別是 Budget Reassignment 與 RSP 問題。

問題二[Budget Reassignment]：

Input: Given DAG $G = (V, E)$ and a budget B . Each edge $e_{m,n} \in E$ represent there is a need to transfer $k_{m,n} = tr(e_{m,n})$ bytes of data form v_m to v_n with distance $d_{m,n} = dis(e_{m,n})$. Edge $e_{m,n}$ associated with a power consumption function $p_{m,n} = p(k_{m,n}, b_{m,n}, d_{m,n})$.

Output: A DAG $GB = (V, E^b)$. Each edge $b_{m,n} \in E^b$ represent the budget of G .

Goal: The critical path of GB is $CP = (V', E^{b'}) \in GB$. This problem is to find a assignment of B such that $\sum E^{b'} \leq GB$, and the power consumption $\sum_{e \in G} p(k_{m,n}, b_{m,n}, d_{m,n})$ is minimal.

問題三[RSP]：

Input: Given a sensor network $SN = (V, E)$, with a start node s , a target node t , and a dead line D . Each edge $e_{i,j} \in E$ has an associated positive integral cost $c_{i,j}$ and a positive integral delay $d_{i,j}$.

Output: Find a path s to t . The cost(respectively, delay) of a path is defined as the summation of the costs(respectively, delay) along all of its edges.

Goal: Find the minimum cost s - t path in SN such that delay along this path does not exceed a given bound D .

3. 具即時與耗能考量的感測網路路徑產生機制

在本論文中，我們採用以下的通訊模型作為我們設計的依據：

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx_elec}(k) + E_{Tx_amp}(k, d)$$

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2$$

k 為傳送的資料量, d 為距離，而最後計算出來的是我們所消耗的能量。

由於我們欲解決的問題牽扯到 RSP 問題，因此我們面對的問題是 NP-Hard 的。因此我們退而求其次採用圖三所示的方法加以解決。

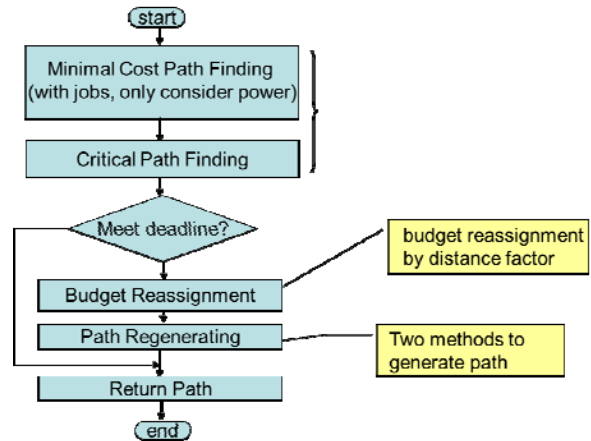


圖 3：執行框架

整體而言，系統將會取得感測網路的狀態並依照啟動 Algorithm 1 這個演算法加以產生合適的路徑。Algorithm 1 首先會不考慮期限 D 的要求，直接依照感測網路的傳送成本，產生最省電的傳送路徑。隨後並啟動 Algorithm 2 來檢測最長的傳送路徑。若此傳送成本已可在期限內將資料傳回，則感測網路依照此方案傳送資料。若沒有，則感測網路進一步啟動 BudgetReassignment(Q) 來重新安排路徑的可用時間。為了能達到這件事，BudgetReassignment(Q) 呼叫 Algorithm 3 來分析網路上還有多少彈性可以共使用。最後並呼叫了 PathGenerating(SN, Q) 來產生可執行的傳送方案。

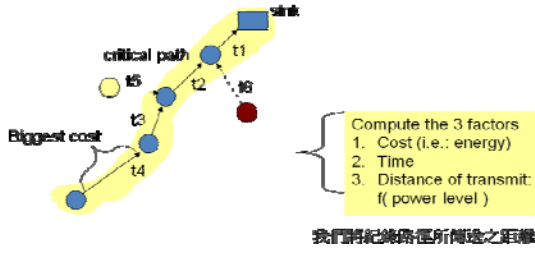


圖 4：Critical path

Algorithm 1 Propagation Plan Generation

Input: A sensor network $SN = (V, E^s)$, a query plan $Q = (V, E^q)$, deadline D
Output: Find a set of sequence of execution path $EP = \{EP_{i,j}\}$
 1: **PROCEDURE: PropagationPlanGeneration(SN, Q)**
 2: $EP \leftarrow MinimalCostPathFinding(SN, Q)$
 3: $CP \leftarrow CriticalPathFinding_PERT(SN, EP)$
 4: **if** Finish time of CP violate dead line **then**
 5: $BudgetReassignment(Q)$
 6: $PathGenerating(SN, Q)$
 7: **end if**
 8: **Return** path EP

Algorithm 2 Critical Path Finding

Input: A sensor network $SN = (V, E^s)$, a query plan $Q = (V, E^q)$
Output: Critical Path CP
 1: **PROCEDURE: CriticalPathFinding_PERT(SN, Q)**
 2: Initialize $fin[v] \leftarrow 0$
 3: **for all** vertex $v_j \in V$, Consider vertices v in topological order **do**
 4: **for each** edge $v - w$,
 5: set $fin[w] = \max(fin[w], fin[v] + time[w])$
 6: set $DistanceMax[w] = \max(DistanceMax[w], DistanceMax[v] + distance[w][v])$
 7: **end for**
 8: $CP \leftarrow Report_PERT_Critical_Path()$

Algorithm 3 Slack Computing (To decide the time budget reassignment sequence)

Input: A sensor network $SN = (V, E^s)$, a query plan $Q = (V, E^q)$, deadline D
Output: Slack of each segment $SP = \{SP_{i,j}\}$
 1: **PROCEDURE: SlackComputing(Q)**
 2: **for all** vertex $v_j \in V$ **do**
 3: $slack_{node}[j] \leftarrow \infty$
 4: **end for**
 5: $slack_{node}[\text{virtual Leaf}] \leftarrow 0$
 6: $SlackNodeComputing(\text{Sink})$
 7: **PROCEDURE: SlackNodeComputing(node v)**
 8: **if** node $v = \text{virtual Leaf}$ **then**
 9: $slack_{node}[v] \leftarrow 0$
 10: **else**
 11: **for each** edge $v - w$,
 12: $slack_{node}[v] = \min(SlackComputing(w) + SlackEdgeComputing(v, w))$
 13: **end if**
 14: **return** $slack_{node}[v]$
 15: **PROCEDURE: SlackEdgeComputing(node v, node w)**
 16: **return** $DistanceMax[w] - DistanceMax[v] - distance[w][v]$

4. 方法特性

接下來我們探討為何我們的方法可以讓感測網路用在所要求的期限內將資料盡可能用省電的方法傳回。

- 假設有 Time budget TB , k data units, source 到 target 的距離是 $Distance = Dis_{s,t}$ 要傳送資料，每個 data unit 傳送經過一個 hop 要花費 $1 Tu$ 單位時間，若 sensor node 排成一直線，則：

- 時間足夠傳遞: $\lfloor \frac{TB}{k \times Tu} \rfloor$ 次
- 所以每個 node 需要將傳送距離設為:

$$\frac{Dis_{s,t}}{\lfloor \frac{TB}{k \times Tu} \rfloor}$$

- 總共需要經過 $\lfloor \frac{TB}{k \times Tu} \rfloor$ 傳送以及接收 $\lfloor \frac{TB}{k \times Tu} \rfloor - 1$
- Power consumption:

$$E(k, TB, Dis_{s,t}) = k \left\{ \left(2 \frac{TB}{k \times Tu} - 1 \right) E_{elec} + \epsilon_{amp} \frac{TB}{k \times Tu} \times \left(\frac{Dis_{s,t}}{\lfloor \frac{TB}{k \times Tu} \rfloor} \right)^2 \right\}$$

$$E(k, TB, Dis_{s,t}) = k \left\{ \left(2 \frac{TB}{k \times Tu} - 1 \right) E_{elec} + \epsilon_{amp} \frac{TB}{k \times Tu} \times \left(\frac{Dis_{s,t}}{\lfloor \frac{TB}{k \times Tu} \rfloor} \right)^2 \right\}$$

$$= k \left\{ \left(2 \frac{TB}{k \times Tu} - 1 \right) E_{elec} + \epsilon_{amp} \times \left(\frac{Dis_{s,t}^2}{\lfloor \frac{TB}{k \times Tu} \rfloor} \right) \right\}$$

所以我們得知：

$$E(k, TB, Dis_{s,t}) \propto \frac{Dis_{s,t}^2}{\lfloor \frac{TB}{k \times Tu} \rfloor}$$

由上述分析，我們可以設計分配 Time Budget 的做法。由上個證明我們得知其正比關係。因此應該讓傳送的每個 data unit * distance 都分配到相同的 time budget。

5. 結論

在 IoT 中，無線感測網路扮演著資料收集這吃重的腳色，如何在要求的時間內以最省電的方式將資料即時傳送到達為一個重要的課題。觀察了這樣的環境特性與其背後的要求，本研究將此議題歸納與整理出一名為 RTQP 的研究議題，並將此議題細分出兩個比較容易處理的小問題。

在本研究中，Sink 產生一可行的查詢計畫，隨後透過本論文所提出的方法，繞送出能及時送達的路徑選擇傳送方案。我們的方法會分析感測網路的拓撲與傳送負擔，依據所取得的期限，巧妙的產生合適的傳送路徑。相關的特性本研究亦有所探討。

致謝

本文作者希望向國科會表達感謝。本論文在國科會計畫編號 NSC 101-2221-E-390-007, NSC 102-2221-E-390-009, NSC 101-2218-E-025-001, 102-2221-E-025-002-MY2 的支持下完成。

參考文獻

- [1] Hermann Kopetz, *Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications*, 2nd Edition, Norwell, MA: Kluwer, 2011.
- [2] Task Force. Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada. US Department of Energy.
- [3] Degani, A., Shafto, M. and Kirlik, A., "Mode Usage in Automated Cockpits: some Initial Observations," IFAC 1995, Cambridge, MA, USA.
- [4] Penrose, M. "A strong law for the longest edge of the minimal spanning tree," *The Annals Probab.* 27, 1, 246–260.
- [5] L. Li, J. Y. Halpern, P. Bahl, Y.-M. Wang, and R. Wattenhofer, "Analysis of a cone-based distributed topology control algorithm for wireless multi-hop networks," in *Proc. ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, Newport, Rhode Island, United States, Aug. 2001, pp. 264–273.
- [6] J. N. Al-Karaki and A. Kamal. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey. *IEEE Wireless Communications*, 11(6):6–28, 2004.
- [7] P.-C. Hsiu and T.-W. Kuo. A maximum-residual multicast protocol for large-scale mobile ad hoc networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 8(11):1441–1453, 2009.
- [8] R. C. Shah and J. M. Rabaey. Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks, 2002.
- [9] P. Santi. Topology control in wireless ad hoc and sensor networks. *ACM Comput. Surv.*, 37(2):164–194, 2005.
- [10] N. Li, J. C. Hou, and L. Sha. Design and analysis of an mst-based topology control algorithm. In *INFOCOM*, 2003.
- [11] X.-Y. Li, P.-J. Wan, Y. Wang, and O. Frieder. Sparse power efficient topology for wireless networks. In *HICSS '02*, Washington, DC, USA, 2002.
- [12] S.-C. Wang, D. S. L. Wei, and S.-Y. Kuo. An spt-based topology control algorithm for wireless ad hoc networks. *Computer Communications*, 29(16):3092–3103, 2006.
- [13] R. Wattenhofer and A. Zollinger. XTC: A practical topology control algorithm for ad-hoc networks. In *IPDPS*, 2004.
- [14] J. Cheriyan and A. Vetta. Approximation algorithms for network design with metric costs. In *ACM STOC '05*, New York, NY, USA, 2005.
- [15] Kaufman, C., "Internet Key Exchange (IKEv2) Protocol," RFC 4306, December 2005.
- [16] X. Li, X. Lu, J. Ma, Z. Zhu, L. Xu, and Y. Park, "Authentications and key management in 3G-WLAN interworking," *Mobile Networks and Applications*. Vol. 16, No. 3, pp. 394-407, 2011.
- [17] W. He, Y. Huang, R. Sathyam, K. Nahrstedt, and W. C. Lee, "SMOCK: A Scalable Method of Cryptographic Key Management for Mission-Critical Wireless Ad-Hoc Networks," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 4, no. 1, pp. 140–150, March 2009
- [18] M. Li, S. Yu, W. Lou, and K. Ren, "Group device pairing based secure sensor association and key management for body area networks," in *IEEE INFOCOM '10*, Mar. 14-19 2010, pp. 1–9.
- [19] Hailun Tan, J. Zic, Sanjay Jha, D. Ostry, "Secure Multihop Network Programming with Multiple One-Way Key Chains," *IEEE Trans. On Mobile Computing*, Jan. 2011.
- [20] Sunil Taneja, Ashwani Kush and C. Jinshong Hwang, "Secret Key Establishment for Symmetric Encryption over Adhoc Networks," in *WCECS 2011*, October 19-21, 2011, San Francisco, USA.
- [21] S. Sumathy and B. Upendra Kumar, "Secure Key Exchange and Encryption Mechanism for Group Communication in Wireless Ad hoc Networks", *International Journal on Applications of Graph Theory in Wireless Adhoc Networks and Sensor Networks (Graph-Hoc)*, Volume 2, No. 1, pp. 9-16, 2010.
- [22] L. Eschenauer and V. D. Gligor, "A key-management scheme for distributed sensor networks," in *ACM CCS '02*, NY, USA, 2002..
- [23] W. Du, J. Deng, Y. S. Han, and P. K. Varshney, "A key predistribution scheme for sensor networks using deployment knowledge," *IEEE Trans. Dependable Secur. Comput.*, 3(1):62, 2006.
- [24] J. Lopez, "Unleashing public-key cryptography in wireless sensor networks," *J. Comput. Secur.*, 14(5):469-482, 2006.
- [25] S. Tripathy, "Lisa: Lightweight security algorithm for wireless sensor networks," in *ICDCIT*, pages 129-134, 2007.
- [26] Z. Liu, J. Ma, Q. Pei, L. Pang, and Y. Park, "Key infection, secrecy transfer, and key evolution for sensor networks," *IEEE Trans. Wireless. Comm.*, 9:2643-2653, August 2010.
- [27] G. Wang, D. Choi, and D. Kang, "A lightweight key renewal scheme for clustered sensor networks," in *ACM ICUIMC '09*, pages 555-565, New York, NY, USA, 2009.
- [28] M. Ikram, A. H. Chowdhury, B. Zafar, H.-S. Cha, K.-H. Kim, S.-W. Yoo, and D.-K. Kim, "A simple lightweight authentic bootstrapping protocol for ipv6-based low rate wireless personal area networks (6lowpans)," in *ACM IWCMC '09*, pages 937-941, New York, USA, 2009.
- [29] D. Liu, P. Ning, and R. Li., "Establishing pairwise keys in distributed sensor networks," *ACM Trans. Inf. Syst. Secur.*, 8(1):41-77, 2005.
- [30] A. Rasheed and R. Mahapatra, "Key predistribution schemes for establishing pairwise keys with a mobile sink in sensor networks," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, 22:176-184, January 2011.
- [31] C.-M. Yu, C.-S. Lu, and S.-Y. Kuo, "Noninteractive pairwise key establishment for sensor networks," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 5(3):556-569, 2010.
- [32] Y.-M. Tseng, "A secure authenticated group key agreement protocol for resource-limited mobile devices," *Comput. J.*, 50:41-52, January 2007.
- [33] Y. Xiao, V. K. Rayi, B. Sun, X. Du, F. Hu, and M. Galloway, "A survey of key management schemes in

- wireless sensor networks,” *Comput. Commun.*, 30(11-12):2314-2341, 2007.
- [34] Yung-Feng Lu, Chin-Fu Kuo, and Ai-Chun Pan, “A Half-Key Key Management Scheme for Wireless Sensor Networks,” in *ACM RACS’11*, Miami, FL, USA, Nov. 2-5, 2011
- [35] A. Deshpande et. al., “Adaptive query processing,” in *Foundations and Trends in Databases*, 2007.
- [36] S. Babu et. al., “Adaptive ordering of pipelined stream filters,” in *SIGMOD*, pages 407–418, 2004.
- [37] Q. Li et.al. “Adaptively reordering joins during query execution,” in *ICDE*, pages 26–35, 2007.
- [38] K. Claypool et.al., “Teddies: Trained eddies for reactive stream processing,” in *DASFAA*, pages 220–234, 2008.
- [39] S. Madden, M. J. Franklin, J. Hellerstein, and W. Hong, “TAG: a tiny aggregation service for ad-hoc sensor networks,” in *Proceedings of the 5th symposium on Operating systems design and implementation (OSDI’02)*, 2002.
- [40] Duarte, M. F., Wakin, M. B., Baron, D., and Barniuk, R. G., “Universal distributed sensing via random projections,” in *Proceedings of the 5th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN’06)*, 177–185, 2006.
- [41] N. Pereira, R. Gomes, B. Andersson, and E. Tovar, “Efficient aggregate computations in large-scale dense WSN,” in *15th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS’09)*, San Francisco, California, USA, 2009, pp. 317–326, 2009.
- [42] Bjorn Andersson, Nuno Pereira, Eduardo Tovar, and Filipe Pacheco, “Using a prioritized MAC protocol to execute the database operation join in networked embedded computer systems,” in *WISES 10*, Heraklion, Crete, 2010.
- [43] Rimma V. Nehme, Elke A. Rundensteiner, and Elisa Bertino, “Self-tuning query mesh for adaptive multi-route query processing,” in *ACM EDBT’09*, Saint Petersburg, Russia, 2009.
- [44] O’Brien, James J.; Plotnick, Fredric L. (2010). *CPM in Construction Management, Seventh Edition*. McGraw Hill.
- [45] N. Li and J. C. Hou. Flss: a fault-tolerant topology control algorithm for wireless networks. In *MobiCom ’04*, New York, NY, USA, 2004.