

Cooperative Localization with Energy Minimization in Vehicular Long-Thin Networks

Lien-Wu Chen¹ and Chia-Chen Chang²

¹*Department of IECS, Feng Chia University, Taichung, Taiwan*

²*Department of Computer Science, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan*
lwuchen@fcu.edu.tw; cchang@cs.nctu.edu.tw

摘要

在本篇論文中，我們提出了一套適用於車載長鏈狀網路(Vehicular Long-Thin Networks, VLTNs)的協同式節能定位解決方案(Cooperative Energy-Efficient Localization Framework, CELF)，可針對使用智慧型手機並騎乘相同路線的自行車隊來節省定位所需之能源消耗。當自行車隊成員上傳其位置資訊並下載全體車隊狀態時，需要開啟高耗電的GPS接收器以取得到目前之位置。為了減少定位所需的耗電量，CELLF提供一套自行車隊協同式定位解決方案，包含車隊分群機制(Cyclist Group Mechanism)、定位錨點選擇策略(Anchor Selection Scheme)及位置估算方法(Position Estimation Method)。就目前所知，CELLF是第一個具有下列功能之協同式節能定位技術：(i) CELLF不需依靠額外架設於路旁的基礎設施，只需使用車間通訊；(ii) CELLF不用開啟GPS接收器即可提供最新的隊員位置資訊；(iii) CELLF基於單一移動錨點即可估算出隊員位置，而不需使用多個固定錨點來進行傳統的三角定位。透過VLTN的協同式定位，大部分的智慧型手機可以關閉其GPS接收器以達到省電效果，並延長VLTN的網路運作時間。模擬實驗結果顯示CELLF效能優於目前現存的方法，可大幅度地減少定位所需消耗的電量。

關鍵詞：分群、定位、省電、車載隨意網路、車載長鏈狀網路

Abstract

In this paper, we propose a cooperative energy-efficient localization framework (CELLF) for power saving in vehicular long-thin networks (VLTNs) with fleet cyclists using smart phones along a common cycling route. As cyclists upload their position data and download global fleet information, all power-consuming GPS receivers have to be turned on for obtaining their current locations. To minimize the energy consumption of positioning, CELLF provides cooperative localization among cyclists, which consists of a cyclist grouping mechanism, an anchor selection scheme, and a position estimation method. To the best of our knowledge, CELLF is the first cooperative solution for localization which provides the following features: (i) CELLF does not rely on costly roadside infrastructures but only employs vehicle-to-vehicle communications. (ii) CELLF can supply group members with up-to-date locations without

activating GPS receivers. (iii) CELLF can estimate the member position only based on single mobile anchor instead of multiple static anchors. Through cooperative localization among cyclists, most of GPS receivers can be turned off to save the battery power of mobile devices and to extend the network lifetime of VLTNs. Simulation results show that CELLF outperforms existing works and can significantly reduce the energy consumption of positioning.

Keywords: Clustering, Localization, Power Saving, Vehicular Ad Hoc Network, Vehicular Long-Thin Network.

1. 前言

近年來，由於環境生態及個人健康的考量，騎乘自行車越來越受大眾的歡迎，現有研究成果包括公共自行車租賃系統[1]、電動自行車[2]和以自行車為基礎之感測系統[3]。另一方面，越來越多人透過智慧型手機來上網，而學界和業界也以智慧型手機為基礎開發了社群網路[4]、智慧型運輸系統[5]和自行車隊通訊[6]的服務及系統。

一個使用智慧型手機的自行車隊形成一車載長鏈狀網路(Vehicular Long-Thin Networks, VLTN)，此自行車隊沿著一條共同的騎乘路線，並以IEEE 802.11作為通訊介面。在車隊中，每個自行車隊成員可能會頻繁地上傳自身的位置資訊與下載團隊的狀況資訊，包含共同訊息、成員位置和興趣點[6]等。因此，存在著能源消耗及電池時間有限的問題，需要透過最小化自行車隊定位所消耗的電量來解決，可透過自行車隊成員們之間的協同式定位，使定位所需的能源消耗降到最小。

現有的定位技術[7]、[8]、[9]、[10]、[11]、[12]、[13]已被廣泛採用，主要可以分成基於網路(Network-based)與基於衛星(Satellite-based)兩類。Network-based的方法包括Time of Arrival (TOA) [7]、[8]，Time Difference of Arrival (TDOA) [9]、[10]，Angle of Arrival (AOA) [11]和Received Signal Strength (RSS) [12]等定位方法。然而，TOA和TDOA的方法需要所有裝置時間同步，並且需要至少三個定位錨點(Anchor)來計算出唯一的位置；AOA方法則是仰賴高精準度的定向天線，因此硬體成本高；RSS方法需要額外的接收訊號強度分佈之數據資料庫，必須事先進行樣本收集訓練(Pattern Training)及誤差調整。

表 1 現有方法[14]、[15]、[16]、[17]、[18]、[19]與所提出方法之技術特徵比較

features	GPS enabled	Wi-Fi/GSM enabled	accelerometer enabled	received signal strength	single mobile anchor	fleet-based localization
reference [14]	✓		✓			
reference [15]	✓	✓		✓		
reference [16]	✓	✓	✓	✓		
reference [17]	✓	✓	✓	✓		
reference [18]	✓	✓	✓	✓		
reference [19]	✓	✓		✓		
our framework	✓	✓		✓	✓	✓

Satellite-based的方法仰賴於全球定位系統(Global Positioning System, GPS) [13], 其為車輛廣泛使用的全球性定位技術。GPS由一群週期性傳送定位訊號的衛星組成, GPS接收器透過多個不同的無線電頻道來同時接收多個GPS衛星訊號, 並透過每一個衛星訊號計算出其距離。一個GPS接收器可以經由四個距離值來算出其三維座標, 然而, GPS接收器對於使用電池的智慧型手機來說, 是一個非常耗電的元件, 另外, 距離的計算會因為大氣效應及多路徑傳輸(multi-path)影響, 分別造成Global及Local的定位誤差, 一般來說在都會區有十至數十公尺的誤差。

在本篇論文中, 我們提出一套適用於車載長鏈狀網路, 並針對使用智慧型手機並騎乘相同路線的自行車隊之協同式節能定位解決方案(Cooperative Energy-Efficient Localization Framework, CELF), 就目前所知, CELF是第一個協同式節能定位的技術, 包含隊員群組機制(Cyclist Group Mechanism)、定位錨點選擇策略(Anchor Selection Scheme)及位置估算方法(Position Estimation Method)。我們的貢獻主要有四項, 第一、CELF只需使用車間通訊, 而不需依靠額外架設於路旁的基礎設施; 第二、我們提出一個方法來取得最新的成員位置資訊, 而不需要開啟GPS接收器; 第三、可只基於單一移動錨點來估算隊員的位置, 而不需使用多個固定錨點來進行傳統的三角定位; 第四、CELF讓大部分的手機可以關閉其GPS接收器以達到最大化省電效果, 並延長在VLTN中的裝置使用時間。模擬結果顯示相較於其他現有的方法, CELF可以達到最佳的省電效果大幅提高電池的使用時間。

本篇論文的內容架構如下, 第二章節定義我們的自行車隊協同式定位問題, 第三章節描述解決此問題的解決方案, 包含自行車隊分群機制、定位錨點選擇及位置估計方法。模擬結果呈現於第四章節, 第五章節將總結論文的成果。

1.1 相關文獻

許多針對智慧型手機的省電定位方法已被提出[14]、[15]、[16]、[17]、[18]、[19], 表1為現有方法與我們的方法之技術特徵比較, 根據是否利用GPS、Wi-Fi/GSM、三軸加速度感測器、接收訊號

強度、單一移動錨點或基於群組之定位來提供最新的位置資訊。我們的框架對於協同式的定位提供最有效率的解決方法。

文獻[14]提出一套稱為EnTracked的系統, 根據系統的誤差限制與移動性做估計及預測, 安排位置的更新時間來同時將耗電量降到最低及優化其穩定性。EnTracked追蹤配有GPS功能設備的行人, 設備可被設定以實現能源消耗及其穩定度的權衡。如果要使用EnTracked, 追蹤目標的誤差限制必須由Location-based的應用服務提供, 但是大多數Location-based的應用服務可能需要盡量高的位置精準度。

文獻[15]發展出一個高效節能的定位方法, 稱作EnLoc, 使用Dynamic Programming針對給定的能源預算來評估最佳定位精準度之特性, 此外, [15]採用日常統計的移動模型及population-driven的機率地圖來開發用於real-time的prediction-based heuristics。EnLoc假設使用者沿著預測的路徑移動時, 手機的位置可被精確地追蹤, 但在現實生活中, 不同的移動速度或靜止時間都會導致其預測不精確。

文獻[16]提出一套根據三軸加速度感測器偵測人體的運動狀態來調整GPS定位頻率的方法, 可以調整GPS接收器的定位頻率來達到手機省電, 但是當GPS接收器被關閉時, 便無法取得最新的位置資訊。除了三軸加速器, 文獻[17]參考使用者移動的歷史軌跡來調整GPS定位頻率, [17]對於智慧型手機應用提出了一套自我適應速率的定位系統, 依據使用者位置時間的歷史資訊做速度的估計, 只有當估計位置的不確定性超出準確性Threshold才會開啟手機的GPS。然而, 手機用戶的移動軌跡需要先收集和分析。

文獻[18]研究了定位頻率、位置快取頻率、位置上傳頻率等, 目的是最小化Location-based Services (LBSs)的耗電量。此外, [18]也總結了現有的節能定位系統, 分為切換於GPS、Wi-Fi和GSM定位, 以及切換於GPS和讀取加速度來感測運動狀態。雖然上述大多數的方法對於單一移動設備可以有效地減少定位的耗電量, 但在現存的方法中, 並未探討多支手機間的協同式定位。

文獻[19]指出, 透過全球行動通訊系統(Global System for Mobile Communications, GSM)所量測的

RSSI訊號，手機可以在定位服務上消耗最少的電量，具有高可用性但精確度低。[19]藉由車輛的移動路線限制來改善基於RSSI定位的精確度，每個路段的RSSI向量被套用在隱馬爾可夫模型(Hidden Markov Model)，其值是由相關且鄰近的GSM基地台所傳送的領航信號(pilot signal)功率位準來偵測。然而，仍然沒有著墨於車隊間的協同式定位，對單一用戶來說省電的效果有限。

2. 系統架構

圖1顯示一個自行車隊形成三個ad-hoc通訊群組，我們考慮一騎乘相同路線的自行車隊，每一成員皆攜帶具有3G/3.5G和IEEE 802.11介面的手機，並有一個或多個專屬的LBS伺服器[18]管理資料交換，自行車隊員頻繁地上傳其位置至伺服器並下載團隊的資訊，隊員在定位時需使用GPS接收器。然而，GPS定位的使用應該有所限制才能進行省電並延長手機使用時間，因此，為了盡量不使用GPS定位，我們應盡可能地運用協同式定位以關閉GPS接收器。為了達成協同式定位，自行車隊員被分為群組，每一群組有最少兩個anchor nodes，在一群組中，成員可以利用IEEE 802.11介面的ad-hoc network彼此通訊。只有anchor nodes需要開啟GPS以取得定位資料，協同式定位採用以接收定位錨點週期性傳送的定位beacon為基礎，來估計non-anchor nodes的位置。舉例來說，如圖1所示，自行車騎士A與C為第一群組的anchor nodes，D、F、H與I為第二群組的anchor nodes，而J、L為第三群組的anchor nodes。

以下我們定義了協同式定位問題，自行車隊的ad-hoc network以不具方向性的圖 $G=(V,E)$ 表示，其中V為全體車隊成員集合，E為ad-hoc鏈結集合。由於自行車隊騎乘於同一條路線，G可能分割成多個長鏈狀群組，每一群組以其ad-hoc鏈結來進行通訊，並依據群組大小來決定anchor node數量(兩個或以上)。在騎乘過程中，群組中的anchor nodes利用GPS定位，並利用ad-hoc通訊廣播定位beacon至non-anchor nodes，Non-anchor nodes透過收到之beacon強度來估算與anchor node的距離，並利用此估算的距離和anchor node軌跡來計算出自己目前所在位置。我們的目標為藉由解決下列問題來最小化G中開啟GPS接收器的節點數量，並且同時取得最新的定位資訊：

1. **車隊分群(Cyclist Grouping)**：當自行車隊員加入或離開時，如何維持車隊群組，以確保anchor nodes與non-anchor nodes能分別廣播及接收定位beacon？
2. **成員更新(Member Updating)**：根據成員移動性，該如何合併或分開群組使得現有的anchor nodes被移除，新的anchor node被增加？
3. **錨點選擇(Anchor Selection)**：群組中成員應該如何分散式地被選擇來擔任anchor nodes，才能

達到anchor node數目最小？

4. **位置估算(Position Estimation)**：每一個non-anchor node應該如何根據收到的定位beacon來估計其最新所在位置？

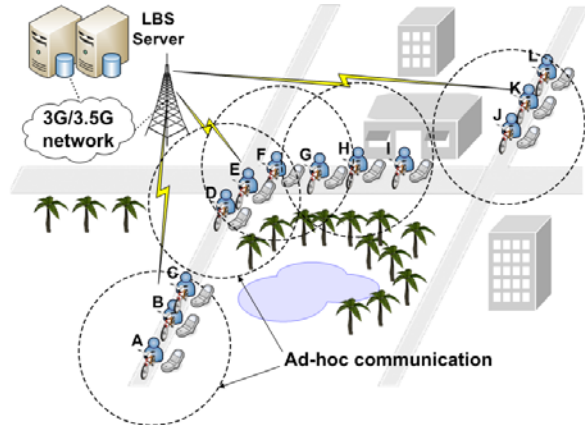


圖1 自行車隊員所形成之車載長鏈狀網路

3. 協同式省電定位

在此章節中，我們將說明所提出的解決方案。章節3.1提出車隊分群機制，而選擇anchor node來廣播定位beacon與判斷相對位置來計算non-anchor nodes最新位置分別在章節3.2與3.3提出。

3.1 車隊分群機制

我們假設車隊中的成員皆騎乘在已知並相同的路徑上，在每一個群組中，每一位自行車隊員的角色為Anchor node或Member node之一，一個one-hop群組具有兩個anchor nodes，而multi-hop群組則具有兩個以上的anchor nodes，群組中的anchor nodes會定期地廣播Cooperative Localization Beacons (CLBs)，而member nodes則會關閉其GPS接收器，改為根據從anchor nodes所接收的CLBs來計算自己的位置。CLB內容包括車隊ID、發送者ID、發送者位置、移動軌跡和序列號碼。車隊ID可用來判斷CLB是否來自同一車隊，根據發送者ID及其位置，接收者可以依CLB的接收訊號強度(received signal strength, RSS)測量與發送者之間的距離，有了移動軌跡和測量的距離，接收者可以藉由交叉比對近期的發送者軌跡來估計自己目前所在的位置。CLB的目的是為了使member nodes得知anchor nodes的存在，並提供必要的定位資訊。

當自行車隊員開啟其智慧型手機，它會花0秒偵聽車隊的CLB，如果沒有收到任何CLB，它會自己形成一個新的群組並使用GPS定位而成為anchor node；相反地，依據所收到的CLB數目，有兩種可能的情況來決定如何讓自行車隊員加入現有的群組當中。

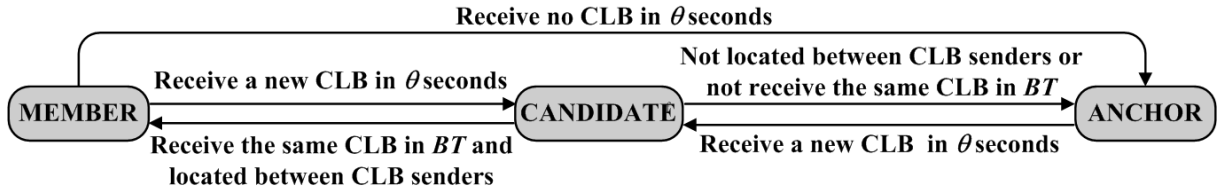


圖 2 自行車隊員之狀態轉換圖

1. 如果在 θ 秒內收到一個CLB，自行車隊員會成為此群組中的第二個anchor node並週期性地廣播CLB。
2. 如果在 θ 秒內收到兩個或以上的CLBs，自行車隊員會以章節3.3所提出的估計方法來決定與發送者們的相對位置，如果是位於兩個不同發送者之間，自行車隊員將成為member node，並使用協同式定位方法來省電；相反地，如果不是位於兩個發送者之間，自行車隊員將開啟其GPS接收器，並成為群組中新的anchor node並週期性的廣播CLB。

另一方面，如果anchor node因為加速或停止而離開群組，可藉由章節3.2的定位錨點選擇策略，從member node中選出新的anchor node。為了達到最佳省電效益，我們必須將member node的數目最大化，當一群接收者收到第一個CLB時，距離發送者最遠的接收者將優先成為anchor node，即node i 收到第一個CLB時， i 將花 θ 秒聽取第二個CLB並計算與發送者的距離 d_i ， d_i 的值越大，倒數計時器(Backoff Timer) BT_i 就設的越小。因此，距離發送者越遠的接收者將越優先成為anchor node。反之，如果當member node離開現有的群組，由於剩下的member nodes依然可以根據現有的anchor nodes發送的CLBs來估算自身的位置，所以群組並不會有任何改變與動作。

3.2 定位錨點選擇策略

接下來，我們將討論自行車隊員要如何被選為anchor node，自行車隊員 i 的狀態轉移圖為圖2所示，自行車隊員最初的狀態被預設為MEMBER且擁有以下三種可能的狀態。

- **ANCHOR**: 自行車隊員 i 在目前cycle廣播一新的CLB，每一個cycle長度為 θ 秒
- **CANDIDATE**: 自行車隊員 i 在目前的cycle內收到新CLB，並等待接收重廣播之CLB
- **MEMBER**: 自行車隊員 i 在目前的cycle內接收到新CLB和重廣播之CLB，並且 i 位在發送這些CLB的發送者之間

每當自行車隊員 i 轉換到ANCHOR狀態，將開啟其GPS接收器並廣播CLB，內容包含目前的位置及其one-hop軌跡。每當自行車隊員 i 在ANCHOR/MEMBER狀態且在 θ 秒內收到一新CLB，將立刻轉換成CANDIDATE狀態並依據發送

者的距離 d_i 設定倒數計時器 BT_i ， d_i 的值越大，倒數計時器 BT_i 就設的越小，其值定義如下[20]：

$$BT_i = \begin{cases} [0, 2^{\tau+1} - 1] & \frac{\rho-1}{\rho}r < d_i \leq r \\ [2^{\tau+1}, 2^{\tau+2} - 1] & \frac{\rho-2}{\rho}r < d_i \leq \frac{\rho-1}{\rho}r \\ \vdots & \\ [2^{\tau+\rho-1}, 2^{\tau+\rho} - 1] & 0 < d_i \leq \frac{1}{\rho}r \end{cases}, \quad (1)$$

其中 ρ 為倒數類別的數目， r 為傳輸範圍， τ 為一小整數。因此，距離發送者越遠的接收者將越優先成為anchor node。

如果 i 在 BT_i 內未接收到任何重廣播之CLB，或是 i 並未位於CLB發送者與重廣播者之間， i 將轉移至ANCHOR狀態並重廣播已接收的CLB，其中原本的發送者ID、位置與軌跡將被 i 的ID、位置與軌跡所取代；相反地，如果 i 接收到位於後方的自行車隊員重廣播之CLB，將視為隱含的ACK訊息以防止其他重廣播候選者再次競爭，當收到此重廣播之CLB，其他候選者將轉換成MEMBER狀態並移除在其等待重廣播之CLB。更進一步來說，為了增加可靠性，已廣播新CLB的anchor會嘗試偵測任何從後方候選者傳來的重廣播之CLB。

3.3 位置估算方法

在此子章節中，我們將設計出member node能夠從所收到的CLB的訊號強度與前方anchor的one-hop軌跡來估算目前位置。基於自由空間路徑耗損模型(free-space path loss model) [21]，member i 與前方anchor間的距離 d_i 可由以下算式計算(在此不包含天線增益)：

$$RSS(d_i) = 34.22 + 20\log_{10}d_i + 20\log_{10}f, \quad (2)$$

其中RSS為接收信號強度(dB)，而 f 為無線電訊號頻率(MHz)，前方anchor傳輸範圍 r 內的one-hop軌跡由 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ 組成，最新及最舊的位置分別為 (X_1, Y_1) 與 (X_n, Y_n) ，member i 目前的位置 (x_i, y_i) 可藉由求出下列聯立方程式之解來獲得：

$$d_i = \sqrt{(x_i - X_1)^2 + (y_i - Y_1)^2}, \quad (3)$$

$$\frac{x_i - X_j}{y_i - Y_j} = \frac{X_j - X_{j+1}}{Y_j - Y_{j+1}}, j = 1, 2, \dots, n-1, \quad (4)$$

其中 x_i 介於 X_j 和 X_{j+1} 之間， y_i 介於 Y_j 和 Y_{j+1} 之間。

另一方面，如圖3所示，當自行車隊員 i 收到兩個不同anchor A1與A2的CLBs時，會有三種可能的Case產生，實際的Case可由 i 與A1的距離 d_1 、 i 與A2的距離 d_2 及A1與A2的距離 S 來決定：

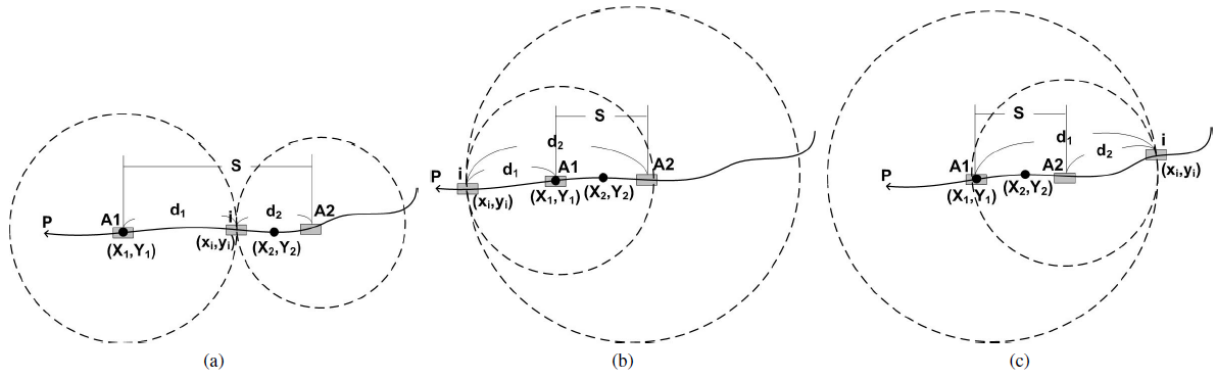


圖 3 自行車隊員位於(a)兩anchor之間 (b)兩anchor前方 (c)兩anchor後方

Case 1: 如果 $d_1 \leq S$ 且 $d_2 \leq S$ ，表示自行車隊員 i 位在 anchor A1 與 A2 之間，如圖 3(a) 所示， i 目前的位置可由公式 (3) 和 (4) 來估算，即是 A1 的軌跡 $P = \{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)\}$ 與以 (X_1, Y_1) 為圓心、半徑 d_1 畫圓之交叉點。

Case 2: 如果 $d_2 \geq d_1$ 且 $d_2 \geq S$ ，表示自行車隊員 i 位在 anchor A1 與 A2 的前方，如圖 3(b) 所示， i 將開啟其 GPS 接收器並擔任 anchor node 來廣播 CLB，A1 與 A2 收到 i 的 CLB 之後，由於 $d_2 \geq d_1$ ，從公式 (1) 當中可知，A2 相較於 A1 有較短的倒數計時器，A2 將會重廣播 CLB。因此，當 A1 收到兩個 CLB，將關閉其 GPS 接收器並成為 member node，A1 目前的位置同樣地可由公式 (3) 和 (4) 來估算。

Case 3: 如果 $d_1 \geq d_2$ 且 $d_1 \geq S$ ，表示自行車隊員 i 位在 anchor A1 與 A2 的後方，如圖 3(c) 所示， i 將開啟其 GPS 接收器並作為 anchor node 來廣播 CLB，A1 與 A2 收到 i 的 CLB 之後，由於 $d_1 \geq d_2$ ，從公式 (1) 當中可知，A1 相較於 A2 有較短的倒數計時器，A1 將會重廣播 CLB。因此，當 A2 收到兩個 CLB，將關閉其 GPS 接收器並成為 member node，A2 目前的位置同樣地可由公式 (3) 和 (4) 來估算。

4. 效能評估

表 2 模擬參數

Parameter	Value
Fleet size	50 ~ 500 cyclists
Cyclist riding speed	3.6 m/s ~ 7.2 m/s
Communication range	100 ~ 500 m
Range of initial cyclist position	500 ~ 5000 m
GPS power consumption	400 mW [15]
Wi-Fi power consumption	55 mW [15]
Accelerometer power consumption	80 mW [17]
Battery capacity	1520 mAh [22]

我們以 JAVA 模擬器實作傳統 GPS 定位方法、自我調整定位頻率方法 [14]、[15]、[16]、[17] 與所提出之協同式節能定位方法，並比較三種方法的總耗電量、平均耗電量、手機總工作時間和手機平均工作時間，在模擬實驗中，我們只考慮定位時所消耗的電量，表 2 列出基本的模擬參數。在自我調整定位頻率方法中，我們根據移動速度將自行車隊員分

為三類：高移動性 (6.0 m/s ~ 7.2 m/s)、中移動性 (4.8 m/s ~ 6.0 m/s) 和低移動性 (3.6 m/s ~ 4.8 m/s)，使用 GPS 定位的頻率分別是每一秒、二秒和三秒，車隊中的人數變化從 50 至 500 人，所有自行車隊員隨機分布在同一騎乘路徑的前一千公尺 (自行車隊員初始位置的範圍)，速度每一百公尺隨機定在 3.6 至 7.2 m/s 之間 (騎乘速度的最大差值為 3.6 m/s)，預設的通訊範圍為 300 公尺，並實驗調整通訊範圍從 100 至 500 公尺以驗證其影響，每一位自行車隊員每一秒鐘取得到自己的目前位置，當用盡手機電池的電量 1520 mAh [22] 即結束模擬實驗，其中 GPS 接收器、Wi-Fi 天線、加速度感測器的耗電量分別設為 400 mW [15]、50 mW [15] 與 80 mW [17]，我們設定 $\theta = 1$ s、 $\rho = 4$ 、 $\tau = 1$ ，每一次模擬至少重複執行 100 次並取其平均值。

圖 4(a) 和圖 4(b) 顯示在不同人數下，每一小時所消耗的總電量與平均電量，總人數設定範圍從 50、100、...、450 至 500 人。圖 4(a) 顯示出透過協同式定位，我們所提出方法消耗的電量最少，尤其當人數為 500 人時，其消耗的電量分別只有傳統 GPS 定位方法的六分之一與自我適調整定位頻率方法的三分之一。這是因為我們的方法可以估計 member 的位置且不需使用 GPS，只有 anchor 才需要打開 GPS 接收器來定位。此外，藉由所設計之定位錨點選擇策略可使得 anchor 之間的距離盡可能地遠而將 anchor 的數目降到最少。傳統 GPS 定位方法則是需要所有隊員持續開啟其 GPS 接收器來取得定位資訊，雖然自我調整定位頻率方法可藉由降低開啟 GPS 的頻率來減少耗電量，但是所有自行車隊員仍然需要平均約兩秒鐘開啟一次 GPS 接收器，因此，大量的隊員人數透過 GPS 定位所消耗的總電量更高。同樣地，圖 4(b) 顯示出，運用我們的方法會使手機的平均耗電量更少，其中平均耗電量為總耗電量除以自行車隊員數目。

圖 5(a) 和圖 5(b) 分別顯示一車隊網路在不同人數下，手機的總工作時間及平均工作時間。圖 5(a) 顯示當人數增加，使用傳統 GPS 及自我調整定位頻率方法的手機之總工作時間只有緩慢地增加；而我們的方法則是急遽地增加。這是由於傳統 GPS 及自我調整定位頻率方法需要所有自行車隊員開啟其

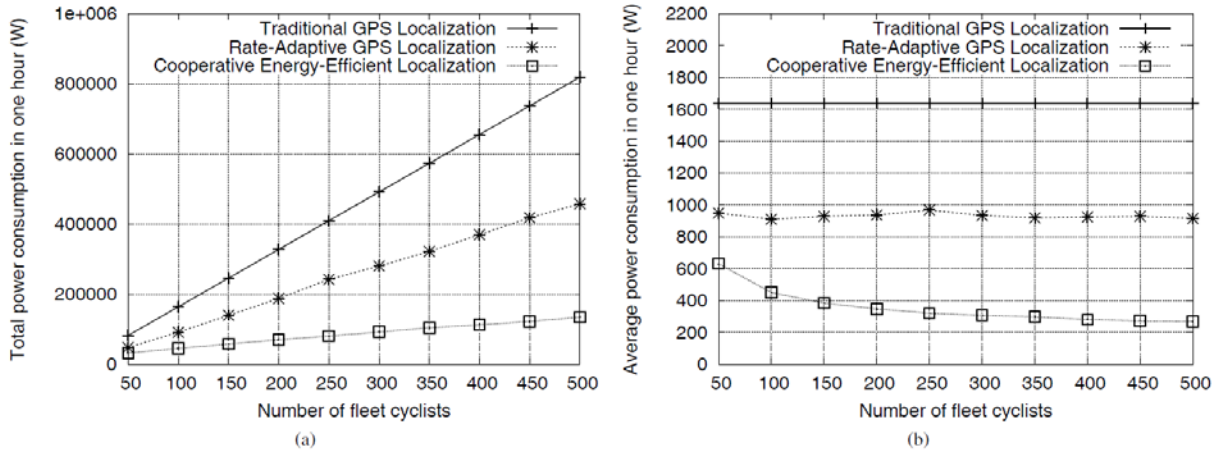


圖 4 在不同自行車隊員人數下一小時所消耗之(a)總電量與(b)平均電量

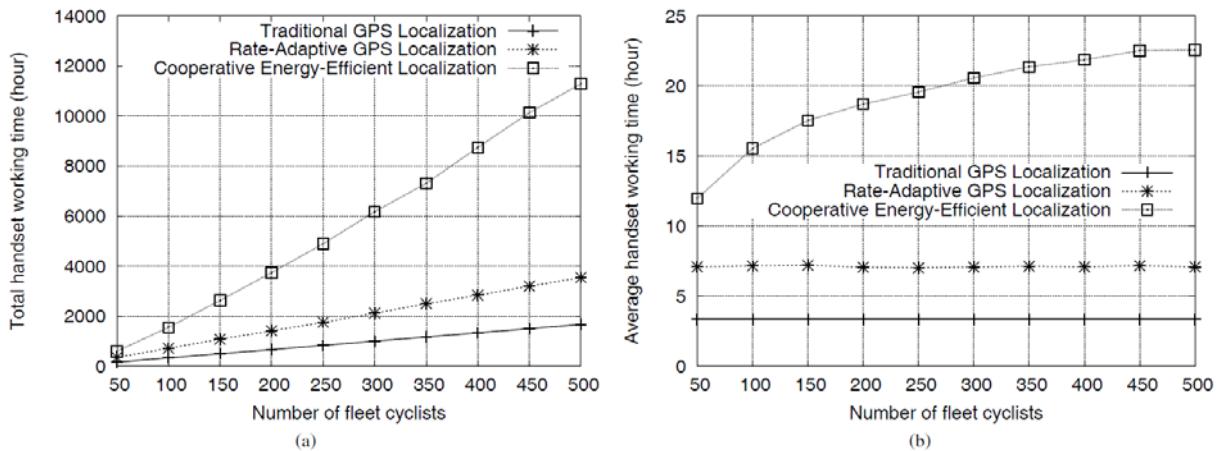


圖 5 在不同自行車隊員人數下手機之(a)總工作時間及(b)平均工作時間

GPS接收器來取得最新的位置資訊，而我們所提方法可使大部分自行車隊員藉由估算距離及軌跡交點來取代開啟GPS接收器以得到目前的位置，因此，手機的總工作時間能夠最大化。圖5(b)顯示當人數增加時，我們所提方法可以使手機的平均工作時間增加12至22小時，然而其他方法則是只能保持一定值，這是因為我們所提方法在有越多的自行車隊員騎乘在同一路線時，anchor數目幾乎能保持相同，卻還可以服務更多的member，因而能夠關閉更多的GPS接收器來延長電池使用時間。

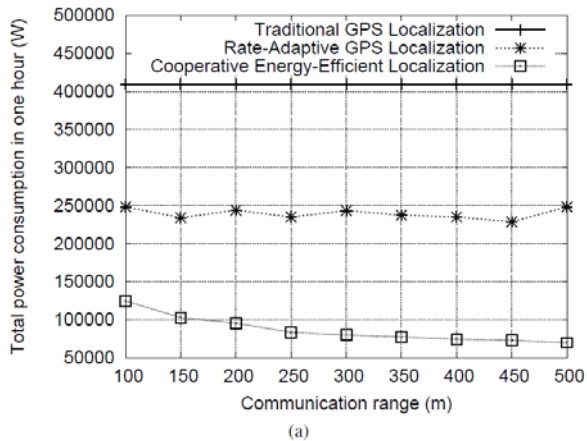
圖6和圖7分別表示在不同的通訊範圍、騎乘速差最大值和初始位置範圍下手機的一小時總耗電量及總工作時間。所設定的自行車隊員人數、通訊範圍、騎乘速差最大值、隊員初始位置範圍分別設為250人、300公尺、3.6 m/s和1000公尺。我們觀察到藉由使用更遠的通訊範圍、越小的騎乘速差、越小的初始位置範圍下，能得到更好的省電結果，這是由於越大的通訊範圍可使得每個anchor能擁有更多的member，如此一來，手機的總耗電量及總工作時間皆能大幅改善，此外，越小的騎乘速差可以降低沒有member的anchor數目，而越小範圍的初始位置可使得車隊可以更加緊密，在騎乘的時候只需要小數目的anchor即能覆蓋整個車隊。

5. 結論

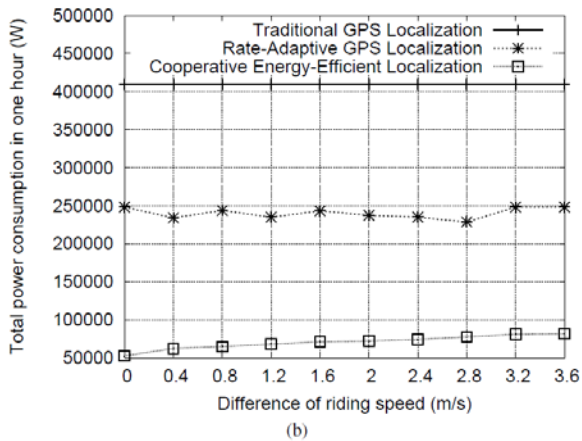
在本篇論文中，我們提出第一個能在車載長鏈狀網路中有效地節省能源的CELLF協同式定位解決方案，包含了車隊分群機制、定位錨點選擇策略及位置估算方法。車隊分群機制只需利用單一-hop的廣播來維持群組，一個群組包含了GPS-on anchor和GPS-off member；定位錨點選擇策略可將anchor的數目最小化；位置估算方法可藉由anchor的移動軌跡及測量距離來估計member的目前位置。模擬實驗結果顯示CELLF可以達到最好的節能效果，可以更有效地利用電池的電量，換句話說，在車載長鏈狀網路中採用CELLF可以避免不必要地開啟GPS接收器而浪費電源，以及預防頻繁的GPS定位使得手機工作時間縮短。

6. 致謝

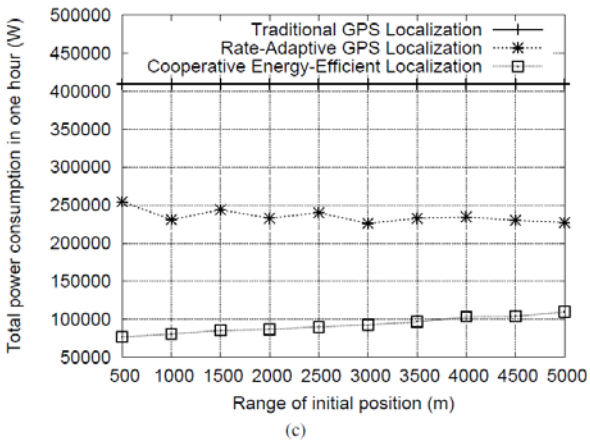
The authors would like to thank Chien-Cheng Wu and Chin-Hsuan Chen for their supports in simulations. The preliminary version of the paper is published in National Computer Symposium, Dec. 2011. This research is supported in part by NSC under Grant No. NSC101-2221-E-035-090 and NSC102-2221-E-035-031-MY3.



(a)

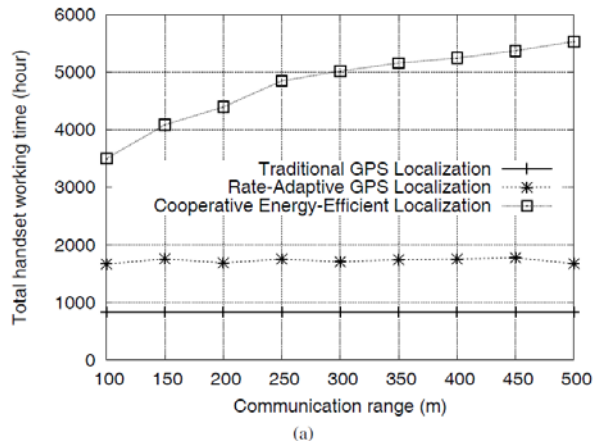


(b)

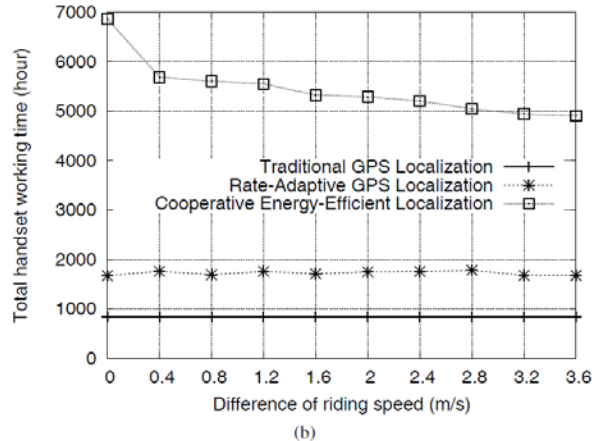


(c)

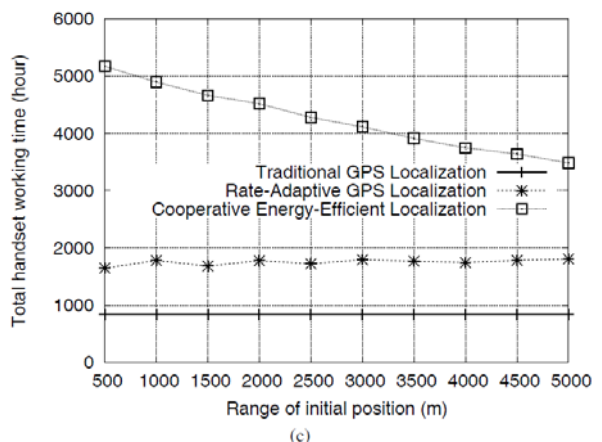
圖 6 在不同(a)通訊範圍、(b)騎乘速差最大值、(c) 隊員初始位置範圍之總耗電量



(a)



(b)



(c)

圖 7 在不同(a)通訊範圍、(b)騎乘速差最大值、(c) 隊員初始位置範圍之手機總工作時間

參考文獻

[1] R. Luo and Y. Shen. The design and implementation of public bike information system based on Google Maps. In *Proceeding of International Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT)*, July 2009.

[2] C.-Y. Liang, W.-H. Lin, and B. Chang. Applying fuzzy logic control to an electric bicycle. In *Proceeding of International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC)*, Aug. 2006.

[3] S. B. Eisenman, E. Miluzzo, N. D. Lane, R. A. Peterson, G.-S. Ahn, and A. T. Campbell. The BikeNet mobile sensing system for cyclist experience mapping. In *Proceeding of ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys)*, Nov. 2007.

[4] R.-H. Hwang, S.-Y. Tsai, and C.-Y. Wang. UbiPhone: Human-centered ubiquitous phone system. *IEEE Pervasive Computing*, 8(2):40-47, Apr. 2009.

[5] E. Koukoumidis, L.-S. Peh, and M. Martonosi. SignalGuru: Leveraging mobile phones for collaborative traffic signal schedule advisory. In *Proc. of ACM Int'l Conf. on Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys)*, June, 2011.

[6] L.-W. Chen, Y.-H. Peng, and Y.-C. Tseng. An augmented reality based group communication system for bikers using smart phones. In *IEEE Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, Mar. 2011.

[7] K.-W. Cheung, H.-C. So, W.-K. Ma, and Y.-T. Chan. Least squares algorithms for time-of-arrival-based mobile location. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 52(4):1121-1130, Apr. 2004.

- [8] N. Deligiannis, S. Louvros, K. Ioannou, A. Garmpis, and S. Kotsopoulos. An implementation of time of arrivals location positioning technique for GSM networks. In *Proc. of WSEAS Int'l Conf. on Telecommunications and Informatics*, May 2006.
- [9] I. Martin-Escalona, F. Barcelo-Arroyo, and M. Ciurana. Passive TDOA location in mobile ad-hoc networks. In *Int'l Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, Oct. 2010.
- [10] R. Yamasaki, A. Ogino, T. Tamaki, T. Uta, N. Matsuzawa, and T. Kato. TDOA location system for IEEE 802.11b WLAN. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Mar. 2005.
- [11] A. Boukerche, H. A. B. F. Oliveira, E. F. Nakamura, and A. F. Loureiro. Vehicular ad hoc networks: A new challenge for localization-based systems. *Computer Communications*, 31(12):2838-2849, July 2008.
- [12] X.-F. Lu, F. Wicker, I. Leung, P. Lio, and X. Zhang. A location prediction algorithm for directional communication. In *Int'l Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, Aug. 2008.
- [13] R. Bajaj, S. L. Ranaweera, and D. P. Agrawal. GPS: location-tracking technology. *IEEE Computer*, 35(4):92-94, Apr. 2002.
- [14] M.B. Kjargaard, J. Langdal, T. Godsk, and T. Toftkjar. EnTracked: Energy-efficient robust position tracking for mobile devices. In *Proc. of ACM Intl Conf. Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys)* June 2009.
- [15] I. Constandache, S. Gaonkar, M. Sayler, R. R. Choudhury, and L. Cox. EnLoc: Energy-efficient localization for mobile phones. In *Proc. of IEEE INFOCOM Mini Conf.*, Apr. 2009.
- [16] C.-O. Lee, M. Lee, and D. Han. Energy-efficient location logging for mobile device. In *IEEE/IPSJ Int'l Symp. on Applications and the Internet (SAINT)*, July 2010.
- [17] J. Paek, J. Kim, and R. Govindan. Energy-efficient rate-adaptive gps- based positioning for smartphones. In *Proc. of ACM Int'l Conf. on Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys)*, June, 2010.
- [18] M.B. Kjaergaard. Location-based services on mobile phones: minimizing power consumption. *IEEE Pervasive Computing*, 11(1):67-73, Jan. 2012.
- [19] S. Ergen, H. Tetikol, M. Kontik, R. Sevlian, R. Rajagopal, and P. Varaiya. RSSI fingerprinting based mobile phone localization with route constraints. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, to appear.
- [20] L.-W. Chen, Y.-H. Peng, and Y.-C. Tseng. An infrastructure-less framework for preventing rear-end collisions by vehicular sensor networks. *IEEE Communications Letters*, 15(3):358-360, Mar. 2011.
- [21] J. Zhu and G. D. Durgin. Indoor/outdoor location of cellular handsets based on received signal strength. *Electronics Letters*, 41(1):24-26, Jan. 2005.
- [22] HTC Sensation product specification. <http://www.htc.com/us/smartphones/htc-sensation/#specs>.