多跳車載網路叢集之貪婪演算法

李易庭　簡嘉妍　王丕中
國立中興大學 資訊科學與工程學系
pcwang@nchu.edu.tw

摘要

若要在車輛隨意網路(Vehicular Ad Hoc Network, VANET)提供服務，即時且高效的通訊系統是必須的，而目前通訊方式主要分為車輛對基礎設施(Vehicle-to-Infrastructure)，與車輛對車輛(Vehicle-to-Vehicle)[1][2]，其中兩者如何調配是值得考慮的，例如若所有車輛都直接與基礎設施通訊，基礎設施接收訊號時會受到大量干擾與過多的冗餘資訊，因此鄰近車輛若能將彼此行車資訊整理後，再由指定車輛與基礎設施進行通訊，則可降低資訊冗餘提昇通訊品質。為了達成此目的，可以使用叢集的方式[3]，由叢集成員(Cluster Member, CM)中挑選出最合適的叢集首(Cluster Header, CH)，由其接收並整理所有叢集成員的行車資訊再與基礎設施通訊，由此可知車輛如何組成叢集，與叢集首的挑選如何有效率地達成至關重要。本文將於叢集化加入階層結構，並根據車輛間的關係預測連線存活時間，以提供於車輛間進行叢集時作為預測連線品質的量化指標。並以實驗證明此演算法在車輛與基礎設施的連線，與車輛間叢集的效果較其他演算法有更好的效能。

關鍵詞：車載網路 叢集 貪婪演算法 資料聚集 多跳

1. 緒論

由於行車的高機動性與分佈不均性，建立穩定的通訊管理十分不易，然而叢集方法已被證明於提高可靠性及擴展性具有相當的成效[4]。叢集由一個叢集首負責管理叢集內成員的通信，並且由其負責與基礎設施和其他叢集首溝通，然而最初的叢集方法是針對移動隨意網路(mobile ad hoc network, MANET)而設計，對於行車的移動快速、變動的拓撲、限制的移動、極高的延伸性、節點間的易斷線性等[5]原因，原本於移動隨意網路的叢集演算法，必須根據其特性進行調整。本文將提出一個基於貪婪演算法(Greedy Algorithm)與階層式架構(Hierarchical Structure)以降低進行叢集所帶來的額外負擔，並以最大預測連線存活演算法(Maximum Predicted Connection Survival time algorithm, MPCS)，作為節點進行各項叢集活動的量化指標。

本文的貢獻如下：

1. 使用階層式架構達到一定的分散性，降低 CH 與 CM 間因叢集所帶來的額外傳輸成本
2. 提出基於連線存活時間與行徑方向的量化指標，作為節點狀態改變及叢集挑選的依據
3. 藉由定時叢集挑選，使節點與節點間保持最佳連線狀態
4. 叢集首定時測試與叢集成員之連線，以維護叢集整體連線品質

2. 相關文獻

Mengying Ren 等提出一個統一的叢集方法框架(Unified Framework of Clustering, UFC)[6]，可提高叢集的形成率與提高叢集的穩定性。其中包含了鄰車採樣方法(Neighbor Sampling, NS)，可用於過濾不穩定的鄰車，並從穩定的鄰車中挑選並建立叢集，與基於 Backoff 的叢集首挑選方法(Backoff-based Cluster head Selection, BCS)，每輛車計算自身的退避計時器(Backoff Timer)，以分散式方法選擇自己的叢集首，而有較高機率成為叢集首的車輛會設置較小的計時器，其中計時器以連線壽命(Link Lifetime, LLT)、相對速度(Relative Speed, RS)與相對距離(Relative Distance, RD)為量化指標，而為了減小叢集間歇性(Cluster Intermittent)所造成影響，也提出了基於備份叢集的叢集首備份方法(BackUp Cluster Head, BUCH)，由於叢集與叢集間極有可能發生重疊，行車可能同時接收到多個叢集首的邀約，因此每輛車可以容易地創建一份備份叢集首列表(Backup Cluster Head List)，以便在與原叢集首失去連線下緩存多個備份叢集首。

Xiang Ji 等提出一種基於連線可靠性的叢集方法(Link Reliability-based Clustering Algorithm, LRCA)[7]以提供高效且可靠的傳輸品質，使用連線可靠度度量方法(Link Reliability Metric)，來描述在特定時間區間，兩行車間持續保持連線的機率，其中假設車輛的速度分布為正態分布(Normal Distribution)，且為了降低複雜度，此作法只從鄰車採樣的結果中挑選，鄰車採樣標準以連線存活時間(Link Lifetime, LLT)[8]為指標。在叢集維護(Cluster Maintenance)時，為了降低維護時所造成的額外花費，只考慮叢集合併(Cluster Merging)與叢集首失去所有叢集成員轉移狀態至初始節點狀態(Initial Node, IN)此二種情況。在進行叢集合併時，若兩叢集首接收到雙方訊息，代表二叢集發生重疊(overlapping)，但由於此重疊可能只發生片刻，因此不立即合併，而是先採取資訊分享(information sharing)方式，直到叢集合併程序開始，由具有較低 LREL 的叢集首向較高的叢集首發送合併請求(MERGE_REQ)，若潛在合併叢集大小(potential merged cluster size)不超出可容許最大叢集大小(MAX_CM)則允許合併。

S. Ucar 等人則提出 VMaSC[9]，以實現多跳叢集(Multihop Clustering)，其中初始節點(Initial Node, IN)加入叢集時，不透過多跳(moltihop)與叢集首溝通再加入，而是直接通過叢集成員直接加

入叢集，從而以最小開銷加入叢集。選擇叢集首由叢集成員自身與平均鄰車相對速度(average relative speed)最小者決定，叢集合併則需要兩個叢集首成為鄰車時才進行，當兩車得知對方後，設定合併計時器(MERGE_timer)，合併計時器過程兩叢集共享對方叢集資訊，並互相檢驗對方之平均鄰車相對速度，在滿足合併可行性後，由較小者放棄叢集首身分，並將原叢集成員帶入新叢集中。

3. 模型系統

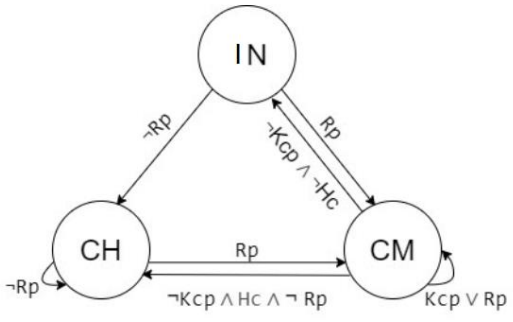
模型中假設每輛車具有唯一的身分識別碼(Identity Code, ID)並配備車載單元(Onboard Unit, OBU)，可以由全球定位系統(Global Positioning System, GPS)獲取當前位置、速率與移動方向。過程本文將使用符號 表 1：

表 1 符號表

符號	定義
$T_{collect}$	計時器，期間車輛會傳輸及接收封包，並於到期時進行MPCS演算法
Ci	車輛i之識別碼
State(i)	車輛i的狀態
Δx	兩車的x座標距離差
Δy	兩車的y座標距離差
ΔV_x	兩車的x方向速度差
ΔV_y	兩車的y方向速度差
Δθ	兩車的行徑方向角度差
TR	最大封包傳遞範圍
Clu(i)	車輛i所在叢集編號
Layer(i)	車輛i所在叢集層數
P_d	於$T_{collect}$期間接收失敗封包紀錄
P_{CM}	於$T_{collect}$期間接收CM車輛的封包
P_{CH}	於$T_{collect}$期間接收CH車輛的封包

每輛車將被賦予一個狀態，分別為：初始節點(Initial Node, IN)、叢集成員(Cluster Member, CM)叢集首(Cluster Header, CH) ，並於 $T_{collect}$ 到期後於特定事件發生下轉換狀態，見 圖 1

圖 1 節點狀態轉換表



Rp (receive packet)：收到邀請封包
Kcp (keep connect with parent)：與 parent 節點保持連線
Hc (have child)：具 child 節點

其中 CM 分為 parent 與 child，parent 負責將自身與 children 的行車資訊向 CH 方向傳遞，此階層式架構能達到分散化所帶來的效果，每個 parent 只需要維護自己 one-hop 範圍內的 children，節點的加入與退出都不需要經由 CH 認可，只需要與 parent 建立連線，此法可極大地降低與 CH 藉由 multi-hop 的通訊，且當 parent 因更換 parent 而更換叢集時也不必通知 children。

4. 車輛叢集

所有節點初始狀態皆為 IN，節點開始移動前進行一次 $T_{collect}$，計時過程中進行接收邀請封包，內容包含 表 2：

表 2 封包內容

符號	定義
Time	封包送出時間
C_i	車輛編號
X	車輛所在經度
Y	車輛所在緯度
V_x	東西向速度
Vy	南北向速度
Layer(i)	所在叢集層數
State(i)	車輛狀態
Upper_LLT(i)	車輛i的ancestor間平均LLT
NodeNum(i)	目前叢集成員數量

當車輛 $T_{collect}$ 到期，進行最大預測連線存活時間(Maximum Predicted Connection Survival time algorithm, MPCS) 演算法 1，其中車輛會根據自身狀態、P_{CM} 、P_{CH} 與 P_d 進行不同決策。

若車輛的狀態為 IN，於 $T_{collect}$ 過程中有接收到來自其他車輛的邀請封包，進行叢集挑選(Cluster Selection, CS)演算法(2)，選出具有最大預測連線數值的車輛與其連線，加入此叢集，並將自身狀態更新為 CM，若沒有接收到任何邀請封包代表附近沒有已存在之叢集可加入，則建立新的叢集與基礎設施建立連線，並更換狀態為 CH。

若車輛狀態為 CM，且 $T_{collect}$ 期間收到來自 CM 或 CH 的封包，進行叢集挑選(SC)演算法(2)挑選出最適合的 *newParent*，如果 *newParent* 不是目前的 *parent*，則與原本的 *parent* 斷開連線並與 *newParent* 連線，加入 *newParent* 所在叢集，否則保持與原 parent 的連線，如此車輛能保持與最合適的 parent 連線，CH 也不必特別對連線不佳而影響到整體叢集品質的 CM 做維護。若期間沒有收到 parent 的封包，也沒有收到其他叢集的邀請封包，代表此子叢集已脫離主叢集，則建立新的叢集，改變狀態為 CH，並與基礎設施建立連線。

若車輛狀態為 CH，且期間有收到來自其他叢集的邀請封包，將經過叢集挑選(SC) 演算法 2 挑選出最適合的 *newParent*，若判斷合併後不超出叢集最大成員限制、層數限制，則進行 Upper_LLT 比較，由具有較小 Upper_LLT 的節點向另一節點合併，並將加入節點狀態更改為 CM。

演算法 1 最大預測連線存活時間
(Maximum Predicted Connection Survival time algorithm, MPCS)

```
IF C.T_collect is Time Up OR Force THEN
  IF C.state is "IN" THEN
    IF C receive pak from other cars THEN
      LET newParent_list TO CS(C)
      FOR newParent IN newParent_list DO
        IF two clusters could be merge THEN
          CAR_CONNECT(C, newParent)
          C join newParent.cluster
          C change state to CM
          LET join_flag TO TRUE
          BREAK
        END IF
      END FOR
    ELSE
      LET newClu TO CLUSTER_CREATE(C)
      C join newClu
      C change state to CH
    END IF

  ELSE IF C.state is "CM" THEN
    IF C receive any pak THEN
      LET newParent_list TO CS(C)
      FOR newParent IN newParent_list DO
        IF two clusters could be merged
        AND newParent is not C.child THEN
          CAR_DISCONNECT(C, parent)
          CAR_CONNECT(C, newParent)
          C join newParent.cluster
        END IF
      END FOR
    ELSE
      LET newClu TO CLUSTER_CREATE(C)
      C join newClu
      C change state to CH
    END IF

  ELSE IF C.state is "CH" THEN
    IF C receive pak from other cluster THEN
      LET newParent_list TO CS(C)
      FOR newParent  IN newParent_list DO
        IF two clusters could be merge THEN
          IF newParent.Upper_LLT \
          > C.Upper_LLT THEN
            CAR_CONNECT(C, newParent)
            C join to newParent.cluster
            C change state to CM
            BREAK
          ELSE IF newParent.Upper_LLT \
                < C.Upper_LLT THEN
            CAR_CONNECT(newParent, C)
            newParent join to C.cluster
            newParent change state to CM
            BREAK
          END IF
        END IF
      END FOR
    END IF
  END IF
END IF
```

5. 叢集選擇

參考 LLT[8](1)式，加入行徑方向與其他因素，以作為節點選擇叢集時的量化指標，並以叢集選擇 演算法 2 取得 newParent_list、實現以基於叢集首備份方法(BackUp Cluster Head, BUCH)[6]的 newParent_list 備份方案，當 child 與原 parent 發生意外斷線時，可快取此列表中的下一 parent。

$$LLT(i,j) = \frac{-\Delta V_{ij}{}^2 + |\Delta V_{ij}| * TR}{\Delta V_{ij}{}^2}, \quad (1)$$

於原 LLT(1)式中加入 Upper_LLT(2)式，以評判車輛與 newParent 預測連線存活時間的相對好壞(3)式：

$$Upper\_LLT(i) = \frac{\sum_{j,k \in ancestor\ of\ i} LLT(j,k)}{2 * Number\ of\ ancestor\ of\ i}, \quad where\ j\ is\ parent\ of\ k \quad (2)$$

$$dLLT(i,j) = LLT(i,j) - Upper\_LLT(i), \quad (3)$$

若兩車行徑方向夾角(Δθ)於一定範圍內，給予方向夾角比例的額外獎勵，若於反向範圍則給予懲罰(4)式：

$$Ang(i,j) = \begin{cases} 1 - \frac{4|\Delta\theta_{ij}|}{\pi}, & |\Delta\theta_{ij}| < \frac{1}{4}\pi \\ 5 - \frac{4|\Delta\theta_{ij}|}{\pi}, & \pi < |\Delta\theta_{ij}| < \frac{5}{4}\pi \\ \frac{4|\Delta\theta_{ij}|}{\pi} - 3, & \frac{3}{4}\pi < |\Delta\theta_{ij}| < \pi \\ \frac{4|\Delta\theta_{ij}|}{\pi} - 7, & \frac{7}{4}\pi < |\Delta\theta_{ij}| \end{cases}, \quad (4)$$

為了降低叢集的變動，若兩車為同一叢集則獲得額外獎勵(5)式:

$$SC(i,j) = \begin{cases} 1, i.cluster = j.cluster \\ 0, i.cluster \neq j.cluster \end{cases}, \quad (5)$$

叢集選擇 演算法 2 中，以接收到的邀請封包與傳輸失敗的封包之差，為原始預測連線存活參數(predicted connection survival time argument, pcs)，由(3)式、(4)式、(5)式進行獎勵與懲罰，其中為了調整每式造成的影響程度，加入 LLTF、ANGF、SCF 參數。

演算法 2 叢集選擇
(Cluster Selection algorithm, SC)

```
LET cand_map TO EMPTY_MAP
FOR Cn IN C.Pcm, C.Pch DO
  IF Cn NOT IN cand_map THEN
    LET pos_pak TO pak number sent from Cn
    LET neg_pak TO pak number drop from Cn
    LET pcs TO pos_pak – neg_pak

    IF dLLT(C, Cn) > 0 THEN
      pcs += ln(dLLT(C, Cn)) * LLTF * pcs
    ELSE IF dLLT(C, Cn) < 0 THEN
      pcs -= ln(-dLLT(C, Cn)) * LLTF * pcs
    END IF
    pcs += Ang(C, Cn) * ANGF * pcs
    pcs += SC(C, Cn) * SCF * pcs
    cand_map ADD {Cn : pcs}
END FOR
RETURN cand_Map
```

6. 連線維護

車輛間的連線可能由於意外事件，而導致連線品質降低，此時若與 child 斷開連線，強制使 child 建立新的叢集或加入其他叢集，會比持續但低效率的傳輸更好。藉由 parent 定期對 child 的檢查，若 parent 與 child 的連線品質低於 parent 與其他 children 的連線品質兩個標準差之外，則與其斷線，並使 child 的 $T_{collect}$ 強制到期，並於 child 建立叢集或與其他從即建立連線後與其斷線，過程使用連線維護 演算法 3 ：

演算法 3 連線維護
(Connection Management algorithm, CM)

```
FOR child in C.childrenList DO
  LET μ TO average LLT of other children
  LET σ TO standard deviation LLT of other children
    IF LLT(child, C) < μ – 2* σ THEN
      make child GOTO EVENT_TIMEUP(Force)
      CAR_DISCONNECT(C, parent)
    END IF
END FOR
```

7. 效能分析

以 OpenStreetMap[11]與 SUMO[12]模擬台中市臺灣大道與五權路交叉路口為中心，1,024,000,000 平方公尺範圍作為模擬環境地 圖 1，並生成任意數量、旅程的行車圖 2，模擬 300 秒，並使用 NS-2[13][14]模擬實際行車與封包傳遞，其中使用參數表 3。

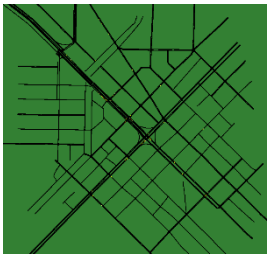



圖 2、圖 3 模擬環境地圖

表 3 參數設定

參數	設定值
模擬環境大小	3200m * 3200m
MAC協定	IEEE 802.11p
傳輸範圍	300m
傳輸速率	2Mbps
最大CM數量	15
邀請封包週期	50ms
邀請封包大小	64Bytes
行車資訊封包週期	500ms
行車資訊封包大小	10kb
$T_{collect}$週期	3s

實驗中將使用最小辨識碼叢集方法(Lowest Identification Clustering, LID)[10]、最大連結度叢集方法(High Connectivity Clustering, HCC)[10]與最大封包數量方法(Maximum Packet Collection, MPC)作為比較，其中 LID 作法以具有最小辨識碼的節點作為 CH，其優點為容易挑選 CH，但容易使叢集數量增加。而 HCC 作法則以具有最多連結的節點作為 CH，若連結數相同則以 LID 作為 CH，優點可降低叢集總數，但其中於最大傳輸範圍附近的節點可能會時常脫離又進入傳輸範圍，造成傳輸品質低落。而 MPC 方法則是以接收到的邀請封包為挑選根據，節點會優先加入接收到最多邀請封包的叢集，優點為當下挑選的叢集為通訊品質最佳叢集，但可能由於行車環境改變而造成不穩定。

由於叢集與基礎設施建立連線需耗費的成本，要比車輛間建立連線要高出許多，因此若叢集與基礎設施的斷線次數越多，則代表叢集與基礎設施間的連線品質越差，若能降低叢集與基礎設施的斷線數量，則可提升 V2I 的傳輸效率。圖 3 為時間對叢集首與基礎設施斷線累積次數，圖中以 HCC 表現最差，由於 HCC 的特性，大型的叢集會隨時間緩緩擴大，而小型叢集則會越來越小、越來越多；且若於最大連線範圍附近的節點，加入叢集後又極易脫離範圍，並於脫離範圍後建立新的叢集，但不久後又加入叢集，此行為會造成大量額外成本。圖中表現最好的為 MPCS 演算法，

由此可知叢集選擇 (Cluster Selection CS) 演算法於預測最佳叢集具有相當的成效。

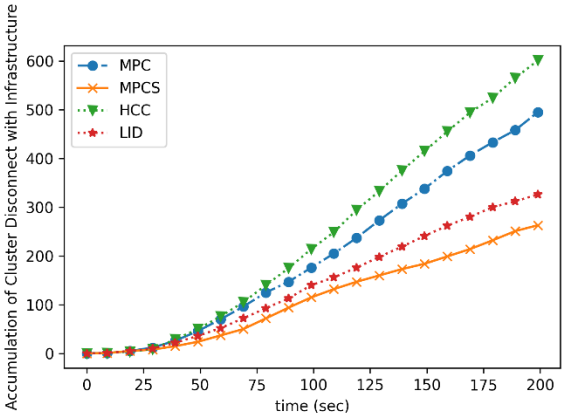


圖 4 時間 – 叢集首與基礎設施斷線累積次數

由於叢集數量越少，叢集化所帶來的優點越明顯，對基礎設施附近的干擾也越少，且車輛間的冗餘資訊也能大幅降低，圖 4 為時間對累積叢集數量， 圖 5 為時間對平均叢集成員數量。由 圖 4 可得知 MPCS 與 HCC 於降低叢集數量有明顯效果，MPC 由於不刻意降低叢集數量，只考慮節點與節點間的通訊品質，而 LID 在選擇 CH 時會發生小範圍內的節點連向同一具有最小辨識碼的節點，因此叢集數量較 MPC 少。

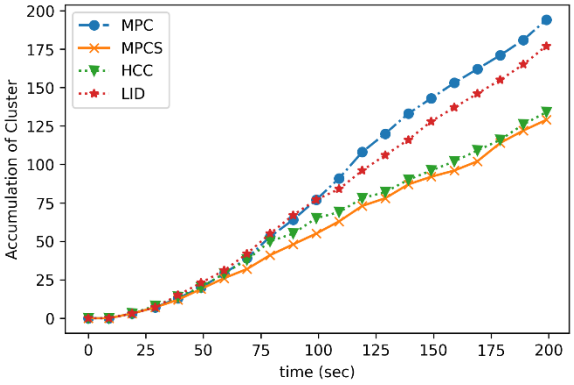


圖 5 時間 – 累積叢集數量

8. 結論

在本文中我們提出了基於階層式架構與貪婪演算法的最大預測連線存活時間演算法(Maximum Predicted Connection Survival time algorithm, MPCS)，以提供車輛於行駛中能動態挑選叢集，並降低因叢集過程而產生的額外成本。在叢集選擇中使用基於 LLT 的預測量化指標，並引入行徑方向夾角與同一叢集對連線預測的獎勵與懲罰，以提供叢集挑選的依據，並實現以基於叢集首備份方法(BackUp Cluster Head, BUCH)[6]的 newParent_list 備份方案，以提供相對穩定的叢集使行車做選擇。在之後的工作中，我們將進一步改進叢集策略與預測方式，使行車能挑選到最佳的叢集，使叢集變動機率下降，以滿足 VANET 對效率的要求。

9. 參考文獻

[1] H. Moustafa and Y. Zhang, Vehicular Networks: Techniques, Standards, and Applications, 1st ed. Boston, MA, USA: Auerbach Publications, 2009.

[2] X. Cheng, L. Yang, and X. Shen, “D2D for intelligent transportation systems: A feasibility study,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 16, no. 4, pp. 1784–1793, Aug. 2015.

[3] R. S. Bali, N. Kumar and J. J. Rodrigues, "Clustering in vehicular ad hoc networks: Taxonomy challenges and solutions", Veh. Commun., vol. 1, no. 3, pp. 134-152, 2014.

[4] C. Cooper, D. Franklin, M. Ros, F. Safaei, and M. Abolhasan, “A comparative survey of VANET clustering techniques,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 99, p. 1, 2017.

[5] M.Newlin Rajkumar, M.Nithya, and P.HemaLatha, OVERVIEW OF VANET WITH ITS FEATURES AND SECURITY ATTACKS, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol. 3, Jan. 2016

[6] Mengying Ren, Jun Zhang, Lyes Khoukhi, Houda Labiod, and Véronique Vèque. A Unified Framework of Clustering Approach in Vehicular Ad Hoc Networks. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, IEEE, 19 (5), pp.1401-1414, May. 2018.

[7] Xiang Ji, Huiqun Yu, Guisheng Fan, Huaiying Sun, and Liqiong Chen. Efficient and Reliable Cluster-Based Data Transmission for Vehicular Ad Hoc Networks. Hindiawi, Mobile Information Systems, DOI: 10.1155/2018/9826782 , July 2018.

[8] S. S. Wang and Y. S. Lin, “PassCAR: a passive clustering aided routing protocol for vehicular ad hoc networks,” Computer Communications, vol. 36, no. 2, pp. 170–179, 2013.

[9] S. Ucar, S. C. Ergen, and O. Ozkasap, “Multihop-cluster-based IEEE 802.11p and LTE hybrid architecture for VANET safety message dissemination,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 4, pp. 2621–2636, 2016.

[10] M. Gerla and J. T. C. Tsai, “Multiuser, mobile, multimedia radio network,” Wireless Network, vol. 1, pp.255–265, Oct. 1995.

[11] OpenStreetMap, 2017, http://www.openstreetmap.org/.

[12] SUMO: Simulation of Urban Mobility, 2015, http://sumo.sourceforge.net.

[13] The Network Simulator: NS2, 2015, http://www.isi.edu/nsnam/ns/.

[14] Teerawat Issariyakul, and Ekram Hossain (2012). Introduction to Network Simulator NS2. USA: Springer US