

稀疏机会网络中基于固定中继节点与消息相关性的 缓存管理策略

马学彬 李爱丽 张晓娟 贾磊磊 肖 静

(内蒙古大学计算机学院 呼和浩特 010021)

摘 要 针对稀疏机会网络中固定中继节点和移动节点间的相遇频率以及缓存资源的差异性问题,在多副本路由协议中,提出一种结合固定中继节点重要性和消息相关性的缓存管理策略。该策略通过交互固定节点和移动节点的接触信息和消息队列信息,减少固定中继节点缓存中冗余消息的数量,从而合理地利用固定中继节点的缓存资源。仿真结果表明,所提的缓存管理策略能够在保证消息传输成功率的基础上提高固定中继节点缓存空间的利用率。

关键词 机会网络,缓存管理,消息相关性,节点重要性

中图法分类号 TP393.0

文献标识码 A

Buffer Management Based on Stationary Relay Nodes and Message Correlation in Sparse Opportunistic Networks

MA Xue-bin LI Ai-li ZHANG Xiao-juan JIA Lei-lei XIAO Jing

(Department of Computer Science, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China)

Abstract Aiming at the difference of contact frequency and buffer resources between fixed relay nodes and mobile nodes in the sparse opportunistic networks, a buffer management strategy combining the importance of fixed relay nodes with message correlation was proposed in the multiple copy routing protocols. The proposed strategy can reduce the number of redundant messages in the buffer of fixed relay nodes by interacting the contact information and the message queue information of fixed relay nodes and mobile nodes so that using the buffer space of fixed relay nodes reasonably. Experiments show that the proposed buffer management strategy can improve the cache space utilization of fixed relay nodes on the basis of guaranteeing the successful rate of message transmission.

Keywords Opportunistic networks, Buffer management, Message correlation, Node importance

1 引言

在稀疏的机会网络^[1]中,由于节点可移动的范围较广,网络易出现分割现象,固定中继节点作为辅助节点引入到稀疏机会网络中不仅能够增加节点间的接触频率,而且能够改善网络的性能^[2-4]。然而,由于节点缓存资源有限,节点的缓存空间不能够将网络中全部的消息存储于自己的缓存区中,节点需要对冗余和无效的消息进行删除,从而将利用价值高的消息存储到消息队列中,为了实现这一过程,缓存管理策略具有至关重要的作用。

鉴于经典的缓存管理策略丢弃消息的盲目性^[5],研究者进行缓存管理策略设计时引入了网络和节点的属性,并将这类属性与消息的缓存代价相关联,从而更加理性地将消息的副本扩散在网络中。文献^[6]综合了节点的活跃程度和节点的有效相遇信息估计节点与目标节点的相遇概率,并根据消息的重要程度判断该消息是否被替换。但是该方法并未考虑节点间缓存资源的差异性。文献^[7]根据消息在网络中的扩

散程度确定消息替换风险,并按照消息替换风险为消息划分等级,当缓存溢出时,根据预留的阈值丢弃等级最低的消息。但是,消息丢弃时的阈值会直接影响缓存策略的性能。文献^[8]综合考虑消息的副本数和传播速度以用于评估消息的状态,当缓存空间溢出时,节点优先替换副本数较多、传播速度最快的消息,从而减少缓存中冗余消息的数量。但是该方法易造成优先级低但重要的消息得不到转发的情况,并且未考虑节点与消息队列中消息的相关性,间接增加缓存中消息冗余的数量。文献^[9,10]根据消息的生存时间、副本数量和剩余生存时间以确定消息的效用值,当缓存溢出时,节点根据消息的效用值丢弃消息。但是该方法需要根据历史信息计算效用值,易造成评估消息状态的不准确。文献^[11,12]根据预测的消息传输成功率为节点消息队列中的消息分配不同的优先级,当节点缓存溢出时,优先删除优先级低的消息。但是,该方法仅能保证消息递送率高的消息被成功传到目的节点,但会增加消息到达目的节点时的延迟时间。文献^[13]提出在大型网络中根据节点的活跃度和消息的副本数评估消息的传输

本文受国家自然科学基金(121142),内蒙古自然科学基金(2104MS0605)资助。

马学彬(1981—),男,博士,副教授,主要研究方向为计算机网络,E-mail: csmaxuebin@imu.edu.cn;李爱丽(1990—),女,硕士生,主要研究方向为无线网络与移动计算;张晓娟(1990—),女,硕士生,主要研究方向为延迟容忍网络;贾磊磊(1992—),男,硕士生,主要研究方向为机会网络;肖 静(1991—),女,硕士生,主要研究方向为无线网络。

状态,并以此为依据动态删除冗余的数据包。但是,该方法并未明确冗余消息的计算方法。文献[14]为了降低消息的丢弃率,提高消息的成功率,提出依据消息的大小、剩余生存时间、消息的滞留时间来计算消息的权重,并根据权重丢弃消息。但是,该方法仅根据消息的局部消息确定消息的状态并且未结合节点的属性,易造成消息的权重不精确。

综上所述,优化的缓存管理策略不仅衡量了消息的属性,而且将网络中节点间的运动规律考虑其中,避免了消息传递时的盲目性,更加适应网络的情景,但也存在一定的局限性。并且,当网络中节点的缓存资源具有差异性时,缓存调度策略并不适用。因此,本文提出一种适用于节点资源具有差异性的缓存管理策略,该策略结合了节点属性和消息队列属性两方面的因素来调度节点消息队列中的消息。

2 固定中继节点重要性和消息相关性

2.1 固定中继节点重要性

在大范围的稀疏机会网络中,移动节点的移动性并不能保证消息的传递。因此,为了增加节点间相遇的概率,固定中继节点有必要部署于这样的网络场景中。研究表明,消息能否成功传递到目的节点依赖于节点的重要性和网络中该消息的副本数^[8]。由于节点的移动性,固定中继节点被访问的频率具有差异性,并且固定节点和移动节点的相关性也不同。为了估计固定中继节点的重要性,每个固定中继节点维护一张节点重要性评估表,该表由两项组成:〈相遇节点 ID,重要程度值 Im_k^j 〉。

固定中继节点重要性 Im_k^j 的计算方法如下:

$$\text{Im}_k^j = \frac{n_{\text{contact}}}{\sum_{i=1}^n (T_{k,j}^{\text{up}}(i+1) - T_{k,j}^{\text{down}}(i))} \quad (1)$$

其中, Im_k^j 表示移动节点 j 和固定中继节点 k 的重要程度, n_{contact} 表示移动节点 j 和固定中继节点 k 在当前时间内建立连接的次数, $T_{k,j}^{\text{up}}(i+1) - T_{k,j}^{\text{down}}(i)$ 表示在第 $i+1$ 次连接时的间隔接触时间。表中的各项数据均可由本地的接触信息表获得。

显然,固定中继节点重要性越高说明移动节点 j 能够在越短的时间内与固定中继节点相遇,该固定中继节点对于移动节点而言更具有流行性。但是,固定中继节点重要性越高,表明固定中继节点和移动节点的接触概率越高,该节点将会接收大量来自移动节点的消息,造成固定中继节点的存储空间中存放更多的冗余消息。因此,固定中继节点在接收消息时还应考虑自身与消息的相关性。

2.2 消息相关性

固定中继节点作为一种大容量的缓存节点,其缓存消息的能力强于普通节点。通过实验观察发现,当固定中继节点和移动节点相遇时,移动节点将自身携带的消息转发给固定中继节点,从而释放自己的缓存空间,这会造成固定中继节点的缓存中存在大量冗余信息;而当固定中继节点将自身的消息转发给移动节点时,却发现移动节点与自己所携带的消息的关联性不强,从而造成发送消息时存在困难。因此,固定中继节点在接收消息时应应对消息进行甄别,从而将更有利的消息存放于自己的缓存中。

本文的“消息的相关性”是指固定中继节点转发某消息的

频繁程度。为了估计固定中继节点和相遇节点中消息的相关性,固定中继节点需要维护一张消息转发状态表,该表在消息队列的基础上对消息进行分类标记。当固定中继节点和普通移动节点相遇时,固定中继节点接收的消息被标记为“R”,固定中继节点发送的消息被标记为“S”。因此,消息队列的项目扩展为:〈消息 ID,源节点 ID,目的节点 ID,接收状态标记〉。其中,对于消息队列中的一条消息 M 而言,本文使用式(2)对消息进行分类:

$$\begin{cases} \frac{n_R}{n_S} > 1, \text{相遇节点中同一消息副本数多于发送次数} \\ \frac{n_R}{n_S} = 1, \text{相遇节点中同一消息副本数等于发送次数} \\ \frac{n_R}{n_S} < 1, \text{相遇节点中同一消息副本数少于发送次数} \end{cases} \quad (2)$$

其中, n_R 和 n_S 分别表示移动节点与固定中继节点相遇时,相遇节点中同一消息的副本数、消息被发送的次数。当其比值大于 1 时,固定中继节点频繁地遇到该消息,但很少将其发送至目的节点,因此,消息与固定中继节点的相关性较低;当其比值小于 1 时,固定中继节点频繁地发送该消息,其到达目的节点的概率较高,因此,消息与固定中继节点的相关性较高。因此,由消息的转发状态可以确定消息和固定中继节点之间的相关性。

3 基于固定中继节点和消息相关性的缓存管理策略的设计

为了合理地利用固定中继节点的缓存资源,本文根据固定中继节点中储存的消息的属性和相遇节点的规律对固定中继节点的缓存进行管理,提出了基于固定中继节点和消息相关性的缓存管理策略(Buffer Management based on Stationary Relay Nodes and Message Correlation, BMSRNMC)。该策略在接收消息时,根据节点相遇状态和消息相关性对消息进行入消息队列操作和出消息队列操作,不再是对消息队列进行单一的融合操作。该策略的基本原理是当网络中某一个消息的副本数量越多,该消息在网络中被传递成功的概率越高。

该策略在执行过程中用到的参数如下。

SN: 固定中继节点。

MN: 普通的移动节点。

Msg(SN): 固定中继节点消息队列中的一条消息。

Msg(MN): 移动节点消息队列中的一条消息。

Msg(SN). Des: 固定中继节点消息队列中的某一条消息的目的节点地址。

Msg(MN). Des: 移动节点消息队列中的某一条消息的目的节点地址。

EmptyBuffer(SN): 固定中继节点消息队列中剩余的空缓存的大小。

Buffer[Msg(MN)]: 移动节点消息队列中的一条消息的大小。

该策略的执行过程如下。

3.1 出消息队列操作

当移动节点和固定中继节点相遇时,固定中继节点查看消息队列中是否有目的节点是当前相遇节点的消息,如果有,固定节点将消息转发给移动节点,固定中继节点的出消息队

```

graph TD
    Start([开始]) --> Meet[SN与MN相遇]
    Meet --> Decision{Msg(SN).Des =  
Msg(MN).Des}
    Decision -- 是 --> Receive[MN接收  
Msg(SN)]
    Decision -- 否 --> Continue[SN继续拥  
有Msg(SN)]
    Receive --> End([结束])
    Continue --> End

```

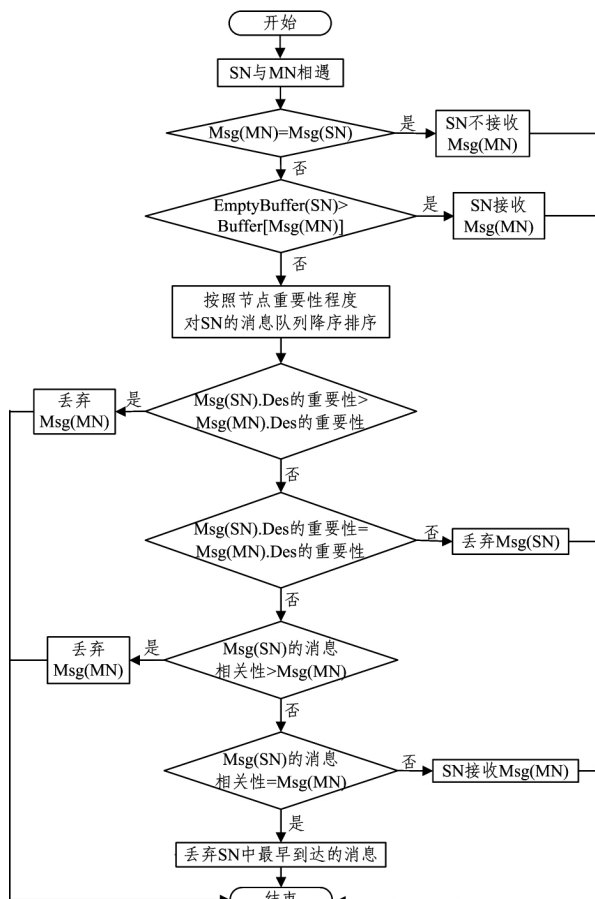


图4描述了平均端到端延迟随着消息生成间隔增大时的变化情况。由图可知,随着消息生成间隔时间的增大,所有缓存管理策略的平均端到端的延迟呈现递减趋势。随着网络中消息数量的减少,每个消息能够被更快地传输到目的节点。BMSRNMNC策略将固定中继节点的消息队列按照消息相关性递减排序,因此,当移动节点与固定中继节点相遇时,移动节点会优先接收与自身消息相关性最高的消息。FIFO策略和LIFD策略分别采用队列首部丢弃消息的策略和队列尾部丢弃消息的策略,因此,两者的性能曲线相似。DLRL策略丢弃消息剩余生存时间最短的消息,因此,DLRL的性能最差。

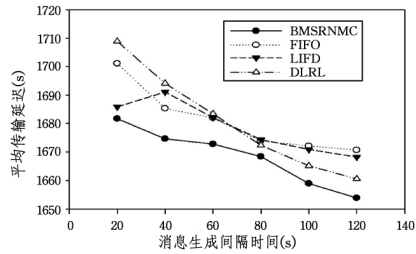


图4 不同消息生成间隔下的平均端到端延迟

图5描述了网络负载率随着消息生成间隔增大时的变化情况。由图可知,随着消息生成间隔时间的增大,网络中每个消息被转发的机会增加,因此所有缓存管理策略的网络负载率呈现递增趋势。因为固定中继节点消息队列中消息的频繁更新,FIFO策略和LIFO策略在网络负载率方面的性能最差。由于DLRL策略优先丢弃消息剩余生存时间最少的消息,消息在生存时间充裕时有更多的转发机会,消息剩余生存时间较少时消息被丢弃,因此,DLRL策略优于两者。由于BMSRNMNC策略对固定中继节点的消息队列进行了有效的管理,BMSRNMNC策略的网络负载率最小,提升了固定中继节点缓存资源的利用率。

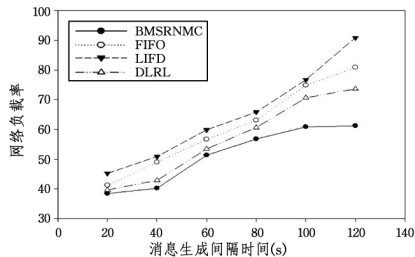


图5 不同消息生成间隔下的网络负载率

4.3.2 不同移动节点数量下缓存策略性能对比

图6描述了消息递送率随着移动节点数量增加时的变化情况。由图可知,随着移动节点数量的增多,所有缓存管理策略的消息递送率在移动节点数较少的时候呈现递增趋势,而当移动节点数大于40时消息递送率趋于平稳。BMSRNMNC在移动节点数量较少时,其性能比其他3种缓存策略的性能高2%~10%;BMSRNMNC在移动节点数量较多时,其性能比其他3种缓存策略的性能高2%~6%。因此,当网络中节点分布稀疏时,BMSRNMNC能够更加合理地利用缓存管理的空间;当网络中节点分布密集时,固定中继节点的作用在下降,其缓存空间中的消息频繁更新,导致网络中各节点的缓存空间呈现出拥塞的现象。由于BMSRNMNC会根据节点与消息的关联性进行消息转发,BMSRNMNC的性能优于其他3种缓存管理策略。

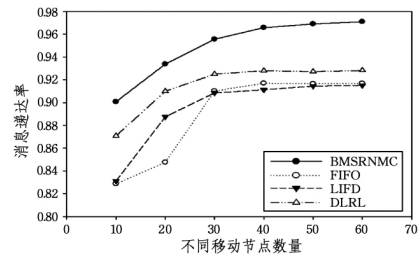


图6 不同移动节点数量下的消息传输成功率

图7描述了平均端到端延迟随着移动节点数量增加时的变化情况。由图可知,随着网络中节点数量的增多,所有缓存管理策略的平均端到端延迟呈现递减趋势。当网络中移动节点数量增加时,每条消息在网络中的副本增多,传递到目标节点的概率增加,而消息到达目的节点时平均端到端延迟下降。FIFO策略和LIFD策略随着移动节点数量的增加,固定中继节点消息队列中的消息冗余频繁地被丢弃,降低了消息传递到目的节点的概率,从而增加了消息传递的平均端到端延迟。但是,BMSRNMNC策略能够根据消息相关性对消息队列进行管理,保留传递到目的节点概率高的消息,从而降低消息到达目标节点的平均端到端延迟。因此,BMSRNMNC策略的性能更优。

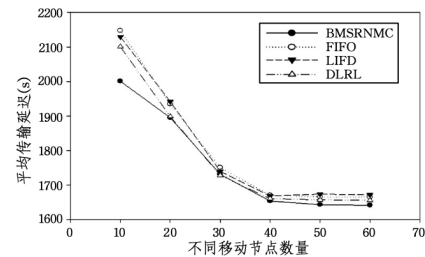


图7 不同移动节点数量下的平均端到端延迟

图8描述了网络负载率随着移动节点数量增加时的变化情况。由图可知,随着移动节点数量的增加,网络中每条消息的副本增加,从而造成消息传递到目的节点时被转发的次数增加。由于BMSRNMNC策略对固定中继节点的消息队列进行了有效的管理,BMSRNMNC策略的网络负载率最小,提升了固定中继节点缓存资源的利用率。

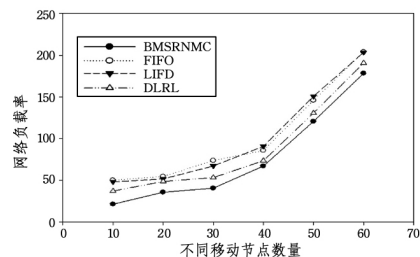


图8 不同移动节点数量下的网络负载率

结束语 针对固定中继节点缓存资源得不到合理利用的现象,本文提出了基于固定中继节点与消息相关性的缓存管理策略。该策略针对固定中继节点缓存资源丰富的特点,在固定中继节点和普通移动节点间建立联系,并根据新到来消息的目的节点和固定中继节点的相关性管理缓存资源,从而将固定中继节点和移动节点间虚拟组成社群关系,使消息的目的节点和固定节点尽量处于同一网络范围内,提高网络的传输性能,降低网络的资源消耗。在未来的工作中,将会在移

动节点和固定节点间消息的转发规律的基础上完善移动节点的缓存管理策略,使其更加适用于基础设施辅助的机会网络。

参 考 文 献

- [1] Shahbazi S, Karunasekera S, Harwood A. Improving performance in delay/disruption tolerant networks through passive relay points[J]. *Wireless Networks*, 2012, 18(1): 9-31
- [2] Ying Z, Zhang C, Wang Y. Social based throwbox placement in large-scale throwbox-assisted delay tolerant networks [C]// 2014 IEEE International Conference on Communications (ICC). IEEE, 2014: 2472-2477
- [3] Li F, Yin Z, Tang S, et al. k-Throwbox placement problem in throwbox-assisted delay tolerant networks [C]// 2014 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). IEEE, 2014: 253-258
- [4] Li F, Yin Z, Tang S, et al. Optimization Problems in Throwbox-Assisted Delay Tolerant Networks: Which Throwboxes to Activate? How Many Active Ones I Need? [J]. *IEEE Transaction on Computers*, 2016, 65(5): 1663-1670
- [5] Erramilli V, Crovella M. Forwarding in opportunistic networks with resource constraints [C]// Proceedings of the Third ACM Workshop on Challenged Networks. ACM, 2008: 41-48
- [6] 应俊, 杨慧婷, 王汝言. 带有相遇概率估计的机会网络缓存替换策略[J]. *上海交通大学学报*, 2015, 49(11): 1680-1684
- [7] 黄沛昱, 应俊. 消息替换风险动态感知的缓存管理策略[J]. *重庆邮电大学学报(自然科学版)*, 2014, 26(2): 233-237
- [8] Liu Y, Wang J, Zhang S, et al. A buffer management scheme based on message transmission status in delay tolerant networks [C]// 2011 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011). IEEE, 2011: 1-5
- [9] Shin K, Kim S. Enhanced buffer management policy that utilises message properties for delay-tolerant networks[J]. *Communications, IET*, 2011, 5(6): 753-759
- [10] Iranmanesh S. A novel queue management policy for delay-tolerant networks[J]. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2016, 2016(88): 1-23
- [11] Rashid S, Abdullah A H, Ayub Q, et al. Dynamic prediction based multi queue (DPMQ) drop policy for probabilistic routing protocols of delay tolerant network[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2013, 36(5): 1395-1402
- [12] Liu Q, Li G, Li Y, et al. Cache scheduling policy for opportunistic networks based on message priority[J]. *Journal of Information and Computational Science*, 2013, 10(2): 621-632
- [13] Wu D, Zhou J, Zhang P, et al. Intelligent Dynamical Buffer Scheduling Mechanism for Intermittently Connected Mobile Network[J]. *Wireless Personal Communications*, 2013, 73(3): 1269-1288
- [14] Rashid S, Ayub Q, Abdullah A H. Reactive Weight Based Buffer Management Policy for DTN Routing Protocols[J]. *Wireless Personal Communications*, 2015, 80(3): 993-1010
- [15] Keränen A, Ott J, Kärkkäinen T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation [C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques (ICST). 2009: 55
- [16] Pan D, Ruan Z, Zhou N, et al. A comprehensive-integrated buffer management strategy for opportunistic networks[J]. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2013, 2013(1): 1-10
- [17] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks [C]// Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking. ACM, 2005: 252-259
- [18] Ekman F, Keränen A, Karvo J, et al. Working day movement model [C]// Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE workshop on Mobility models. ACM, 2008: 33-40
- (上接第 281 页)
- [7] Gao Yu-dong, Wu Jin-jie, Hu Min, et al. Design and Development of Hardware-in-Loop Simulation of Spacecraft Attitude Control System Based on Wireless Ad Hoc Networking [C]// Industrial Control and Electronics Engineering (ICICEE), 2012. Xi'an: IEEE, 2012: 584-587
- [8] Gurkan T, Gungor V C, Gulez K, et al. An autonomous wireless sensor network deployment system using mobile robots for human existence detection in case of disasters[J]. *Ad Hoc Networks*, 2012, 13(A): 54-68
- [9] 马新华, 容晓峰. 基于排队模型的无线传感器网络实时性能分析[J]. *西安邮电大学学报*, 2009, 14(1): 112-115
- [10] Li Xu, Falcon R, Nayak A, et al. Servicing wireless sensor networks by mobile robots[J]. *Communications Magazine, IEEE*, 2012, 50(7): 47-54
- [11] 夏家莉, 陈辉, 杨兵. 一种动态优先级实时任务调度算法[J]. *计算机学报*, 2012, 35(12): 2685-2695
- [12] Xie Li-guang, Shi Yi, Hou Y T, et al. On Traveling Path and Related Problems for A Mobile Station in A Rechargeable Sensor Network [C]// 14th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing (MobiHoc 2013), 2013. New York: ACM New York, 2013: 109-118
- [13] Dai Hai-peng, Wu Xiao-bing, Xu Li-jie, et al. Practical Scheduling for Stochastic Event Capture in Wireless Rechargeable Sensor Networks [C]// Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2013), 2013. Shanghai: IEEE, 2013: 986-991
- [14] Wang Yong-yan, Wang Qiang, Wang Hong-gan, et al. A Real-Time Scheduling Algorithm Based on Priority Table and Its Implementation[J]. *Software Journal*, 2004, 15(3): 360-370
- [15] He Liang, Gu Yu, Pan Jian-ping, et al. On-demand Charging in Wireless Sensor Networks: Theories and Applications [C]// 2013 IEEE 10th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (MASS) 2013. Hangzhou: IEEE, 2013: 28-36
- [16] Naghshtabrizi P, João P. *Hespanha Wireless Networking Based Control* [M]. New York: Springer New York, 2011: 1
- [17] Zou Cai-feng, Wan Jia-fu, Chen Min, et al. *Embedded and Multimedia Computing Technology and Service* [M]. Netherlands: Springer Netherlands, 2012: 269