

基于接触概率的机会网络低时延休眠调度算法

任 智, 王中永, 武 杨, 李季碧

(重庆邮电大学 移动通信技术重庆市重点实验室, 重庆 400065)

摘 要: 提出了一种基于接触概率的机会网络低时延休眠调度算法—LDSCP(an Low Delay Sleep Scheduling Algorithm base on Contact Probability for Opportunistic Networks). 算法通过精准预测机制向前后预测错失相遇的下次唤醒时间, 保证了预测下次相遇的准确度, 而且对重叠后的时间采用相遇概率最大化机制来提高相遇机会, 减小消息投递时延. 理论分析验证了 LDSCP 算法设计的有效性, 仿真结果表明, LDSCP 算法在消息投递成功率、消息平均时延和消息平均传输跳数等方面的性能均优于 WS 算法和 Epidemic 路由算法.

关键词: 机会网络; 休眠调度; 接触概率; 低时延

中图分类号: TP393.04

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)02-0034-05

An Low Delay Sleep Scheduling Algorithm for Opportunistic Networks base on Contact Probability

REN Zhi, WANG Zhong-yong, WU Yang, LI Ji-bi

(Chongqing Key Lab of Mobile Communication Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: We propose an Low Delay sleep Scheduling algorithm base on Contact Probability for opportunistic networks(LDSCP). Algorithm predicts the next wakeup time through the accurate prediction mechanism. This mechanism predict the next wakeup time before and after the current wakeup time which missed encounter with the expected node, so it can ensure the accuracy of prediction at the next encounter. And when the wakeup time is overlapped with each other, the algorithm uses the probability maximization mechanism to increase the chance of encounter and reduce the message delivery delay. Theoretical analysis verifies the effectiveness of LDSCP. Also, Simulation results show that LDSCP outperforms the WS algorithm and the classical epidemic algorithm in terms of message delivery success ratio, average end-to-end delay, message average transmission hops.

Key words: opportunisti c networks; sleep scheduling; contact probability; low delay

1 引言

机会网络^[1]是一种不需要在源节点和目的节点之间存在完整链路、利用节点移动带来的相遇机会实现通信的时延和分裂可容忍的无线自组织网络. 休眠调度算法是一种使网络中节点进入低功耗休眠状态保存能量并延长网络寿命的节能算法. 将休眠调度算法与机会网络路由算法相结合将会大量节省

机会网络的能量.

目前, 国内外对于机会网络中的节点休眠算法研究主要分为两类. 一类为采用周期性唤醒机制来调整节点唤醒和休眠比例的休眠调度算法. 如 Zhou Huan 等^[2]提出的自适应工作调度(Adaptive Working Schedule, AWS)算法, 算法通过周期分配唤醒时隙调整与节点接触的机会, 能够较少的错失接触机会. H. Ko 等^[3]提出的 AARP 算法, 另一

收稿日期: 2016-06-30; 修回日期: 2016-07-22

基金项目: 国家自然科学基金(61379159); 长江学者和创新团队发展计划基金资助项目(IRT1299); 重庆市基础与前沿研究计划重点项目(cstc2015jcyjBX0085); 重庆市教委科研项目(Kjzh11206)

类为采用接触间隔分布或接触间隔时间等节点特性自适应地设置唤醒和休眠时长的调度算法. 如付凯等^[4]提出的基于接触时间的节点休眠机制. Wei Gao 等^[5]提出了一种基于预测机制的机会网络唤醒调度算法(Wakeup Scheduling, WS).

研究发现,现有基于预测机制的机会网络唤醒调度算法中存在预测不准确和相遇概率较低等问题,基于以上研究成果,并在文献^[5]的基础上,本文提出了一种基于接触概率的机会网络低时延休眠调度算法—LDSCP(an Low Delay sleep Scheduling algorithm base on Contact Probability),对机会网络消息投递成功率及时延进行了分析,仿真实验验证了本算法的有效性^[6-7].

2 系统模型与问题描述

2.1 网络模型

由于机会网络端到端的路径是否存在具有不确定性,则其拓扑模型不同与传统的无线自组织网络. 本文对机会网络中随机移动模型进行了数学抽象,并作如下定义.

定义 1 机会网络中节点间的接触可描述为接触图 $G < V, E >$. 其中 V 为节点集合; E 为接触时长集合.

定义 2 假设节点对 A 与 B 的接触时间间隔为指数分布,则节点间的接触时长是接触率为 λ 的 Poisson 分布;

定义 3 研究发现节点的接触时间间隔远大于接触时长,则有性能需求函数:

$$\begin{aligned} P(t_1 - t_L \leq t_{AB} \leq t_2 - t_L) \\ \geq p \cdot P(t_0 - t_L < t_{AB} \leq t_2 - t_L) \end{aligned} \quad (1)$$

其中, t_{AB} 为节点 A 与 B 下次相遇的时间间隔, t_L 为当前唤醒状态的开始时间, t_0 为当前唤醒状态的结束时间, t_1 为需预测的下次唤醒状态的开始时间, t_2 为需预测的下次唤醒状态的结束时间, p 为性能调节参数.

2.2 唤醒调度预测方法

在机会网络中,网络中的每个节点都需要记录与相遇节点的接触时间间隔和接触时长. 假设节点 A 与节点 B 之间的当前接触时长为 $[t_L, t_0]$,则可以采用下列方法预测 A 与 B 之间下次的唤醒时间 $[t_1, t_2]$.

由网络模型可知,由于节点对的接触时间间隔服从指数分布,通过解式(1)可得下列公式:

$$(t_2 - t_1)_{\min} = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{1}{1 - p_s e^{\lambda(t_1 - t_L)}} \quad (2)$$

上式求极值,可得

$$\lambda(t_1 - t_0) = \frac{1 - p_s e^{\lambda(t_1 - t_L)}}{p_s e^{\lambda(t_1 - t_L)}} \cdot \ln \frac{1}{1 - p_s e^{\lambda(t_1 - t_L)}} \quad (3)$$

由式(2)和式(3)可计算得下次唤醒开始时间 t_1 和结束时间 t_2 ,从而根据当前相遇的时间预测出了下次唤醒调度的时间.

2.3 问题描述

在研究中发现 WS 算法在重叠的唤醒时间调整和相遇预测错失方面存在以下问题:

(1)重叠时间调整后相遇概率较低. 为延长了节点的唤醒时间长度,该算法将重叠的调度时间向前移动到当前调度时间的前面. 虽然由指数分布可知,向前移动调度时间可以增加节点的相遇概率,但延长的调度时间并不能最大地增加节点对的接触概率. 而且只向前移动使时间间隔超过最小值时,可能不会存在接触机会,从而会降低消息投递成功率,浪费节点的能量.

(2)相遇错失的预测不够准确. 在机会网络唤醒调度 WS 算法中,当在预测的调度时间内与对应节点错失接触时,算法认为错失的接触在当前预测的调度时间之前,据此来调整错失的接触. 然而,错失的接触也有可能在当前预测的调度时间之后,只考虑在当前调度时间之前这一种情况,会导致继续预测不准确,增加消息传输的时延.

3 LDSCP 算法

针对以上问题,本文提出了一种基于接触概率的机会网络低时延休眠调度算法—LDSCP(an Low Delay Sleep Scheduling Algorithm base on Contact Probability). 该算法采用相遇概率最大化和精准预测机制来优化调度时间,使网络中节点的不再错失接触机会并最大化接触概率,从而提高相遇次数,减少节点消息投递的时延,提高分组的投递率.

3.1 LDSCP 算法的新机制

3.1.1 相遇概率最大化机制

当节点预测的唤醒调度时间与已有的唤醒时间发生重叠时,取所有成对调度时间间隔的最小值 $d_{\min}$ 来调整重叠时间,则该时间间隔发生的概率比所有时间间隔发生的概率都要大. 即:

$$P(t = d_{\min}) \geq P(t = d) \quad (4)$$

其中, $d = \{d \mid d \in D, d > d_{\min}\}$.

对于重叠的唤醒调度时间,采用以下步骤调整重叠时间:

步骤 1:取整合后所有调度时间的并集,并计算

整合后调度时间与上次调度之间的时间间隔 $T = (t_1 - t_0)$;

步骤 2: 比较 $d_{\min}$ 与 T 的大小, 若 $T > d_{\min}$, 则将重叠的时间移动到 $t_1 - (T - d_{\min})$ 处; 若 $T \leq d_{\min}$, 则将重叠的时间移动到整合时间之后。

采用相遇概率最大化机制, 增加了节点相遇的概率, 使在重叠时间内相遇概率达到最大化, 提高了消息投递的成功率。

3.1.2 精准预测机制

在 WS 算法中, 在预测的调度时间内没有与对应的节点相遇时, 认为错失的接触在当前预测的调度时间之前, 然后使用唤醒调度方法来调整错失的相遇使得下次唤醒时间提前。然而, 还存在错失的接触在当前预测的调度时间之后这种情况。精准预测机制通过在假设节点的当前唤醒时间为 $[t_1, t_2]$, 则唤醒调度算法可简化为公式:

$$\{t_1, t_2\} = f(t_0, t_L, p, \lambda) \quad (5)$$

若节点在当前唤醒时间内没有与预期节点相遇时, 采用下列步骤进行精准预测:

步骤 1: 取所有接触时长集合 E 中的最大值 $e_{\max}$;

步骤 2: 采用式(6) 预测错失相遇发生在当前唤醒时间之前的下次调度时间; 采用式(7) 预测错失相遇发生在当前唤醒时间之后的下次调度时间;

$$\{t'_1, t'_2\} = f(t_1, t_1 - e_{\max}, p, \lambda) \quad (6)$$

$$\{t'_1, t'_2\} = f(t_2 + e_{\max}, t_2, p, \lambda) \quad (7)$$

步骤 3: 在算法操作过程中, 先只唤醒在错失之前的下次调度时间。若在错失之前的下次调度时间之内与预期的节点相遇, 则不唤醒预测的在错失之后的下次调度时间。否则, 唤醒预测的在错失之后的下次调度时间。

采用精准预测机制, 错失接触的唤醒调度前后分别预测下次唤醒调度的时间, 从而保证下次的相遇一定发生在唤醒时间内。

3.2 LDSCP 算法操作步骤

网络初始化后, 假设任意一个节点基于唤醒调度预测方法设置了第一次唤醒的时间长度, 根据 LDSCP 算法设计原理, 算法的主要操作步骤如下:

步骤 1: 当节点处于唤醒状态时, 节点首先通过发送 Hello 探测邻居节点, 发现邻居节点后, 执行步骤 2; 否则, 执行步骤 3。

步骤 2: 若发现邻居节点, 则进行数据传输。在当前两节点相互数据传输完成或接触将结束时, 立即相互交换本节点已预测的与其他邻居间的唤醒调度时间, 这些交换的唤醒调度时间的开始时间应大

于当前时间, 然后执行步骤 4。

步骤 3: 若没有发现邻居节点, 表明当前预测的唤醒时间不准确, 则在调度下次唤醒时间时, 采用精准预测机制预测下次唤醒时间。

步骤 4: 将交换得到的相遇节点的唤醒调度时间与本节点 A 已有的与其自己邻居的唤醒调度时间取交集, 即得到相遇的两节点共同唤醒的时间段。然后根据指数分布计算两节点在共同的时间段内的相遇概率 p_{s*} , 最后在基于唤醒调度预测方法计算下次与该节点相遇的开始时间和时长, 若 $p_{s*} \geq p_s$, 执行步骤 5; 否则执行步骤 6。

步骤 5: 表明在共同唤醒时间内的相遇概率大于在预期时间间隔内的相遇概率, 则不需要再预测两节点下次的唤醒调度时间, 接着执行步骤 7。

步骤 6: 需要在预期时间间隔内的相遇概率中减去在共同唤醒时间内的相遇概率, 即将式(2) 和式(3) 的 p_s 换为 $(p_s - p_{s*})$ 来计算下次的唤醒调度时间, 执行步骤 7。

步骤 7: 将交换得到的相遇节点的唤醒调度时间与自己已有的唤醒调度时间取并集, 然后使用前面的相遇概率最大化机制, 整合每个节点的唤醒调度时间。

3.3 LDSCP 算法性能的理论分析

为确定 LDSCP 算法的正确性和有效性, 本文对其做了详细的理论分析, 具体如下:

引理 1 LDSCP 算法的节点接触成功率高于 WS 算法。

证明: 假设节点 A 与相遇节点 B 通过唤醒调度预测方法预测的唤醒时间与已有的唤醒调度时间发生了重叠, 重叠长度为 $[t'_1, t'_2]$ 。

由 WS 算法可知, 重叠的时间仅移动到当前调度开始时间的前面。假设移动后的调度时间与上次唤醒时间的时间间隔为 d , 则移动后, 在重叠时间 $[t'_1, t'_2]$ 内与对应节点的相遇概率为:

$$\begin{aligned} P(d \leq t_{AB} \leq d + t'_2 - t'_1) &= \int_1^{d+t'_2-t'_1} \lambda e^{-\lambda t} dt \\ &= e^{-\lambda d} (1 - e^{-\lambda(t'_2-t'_1)}) \quad (8) \end{aligned}$$

其中, 则节点 t_{AB} 为节点 A 与 B 两次相遇之间的时间间隔。

由于 LDSCP 算法采用重叠时间调度机制, 将重叠的时间移动到与上次唤醒时间的时间间隔仅为 $d_{\min}$, 则移动后, 在重叠时间 $[t'_1, t'_2]$ 内与对应节点的相遇概率为:

$$P(d_{\min} \leq t_{AB} \leq d_{\min} + t'_2 - t'_1)$$

$$= \int_{d_{\min}}^{d_{\min}+t_2-t_1} \lambda e^{-\lambda t} dt = e^{-\lambda d_{\min}} (1 - e^{-\lambda(t_2-t_1)}) \quad (9)$$

由于,节点的接触时间间隔 $d_{\min} \leq d$, 而且指数分布为递减函数,所以:

$$\begin{aligned} P(d_{\min} \leq t_{AB} \leq d_{\min} + t_2 - t_1) \\ \geq P(d \leq t_{AB} \leq d + t_2 - t_1) \end{aligned} \quad (10)$$

综上所述,采用重叠时间调度机制的 LDSCP 算法的节点接触成功率要高于 WS 算法,证毕。

4 仿真分析

为了验证 LDSCP 算法的性能,本文采用机会网络仿真工具 ONE 搭建仿真平台,并将 LDSCP 算法与 WS 算法和无节能机制的 Epidemic 算法进行算法性能的比较。

(1) 消息投递成功率

图 1 在不同消息寿命的情况下,比较了三种算法的消息投递成功率。可以看出,随着消息寿命的增加,算法的消息投递率都在增高并趋于稳定。LDSCP 算法的消息投递成功率比 WS 算法的投递成功率高,但比 Epidemic 算法的投递成功率低。这是因为 LDSCP 算法采用了精准预测机制,使节点能够准确的与预期的节点相遇,增加了相遇机会,进而提高了消息投递成功率。而由于 LDSCP 算法和 WS 算法采用了休眠调度机制,节点休眠时会错失相遇,导致消息投递率比 Epidemic 算法低。

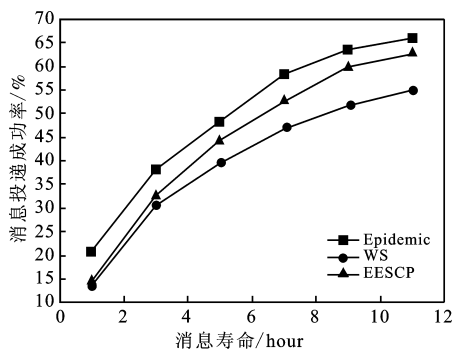


图1 消息投递成功率

(2) 消息平均时延

图 2 比较了三种算法在不同的消息寿命下的消息平均时延。随着消息寿命的增加,LDSCP 算法的消息平均时延比 WS 算法的低,这是因为 LDSCP 算法采用了精准预测和相遇概率最大化机制,这些机制增加了节点的相遇机会,减少了相遇错失次数,进而减少了消息的平均时延。由于 LDSCP 算法和 WS 算法均采用了休眠调度机制,导致节点在休眠时会错失相遇,虽然 LDSCP 算法减少了错失的次

数,但还是会有错失的相遇,这就导致它们的消息平均时延比 Epidemic 算法要高。

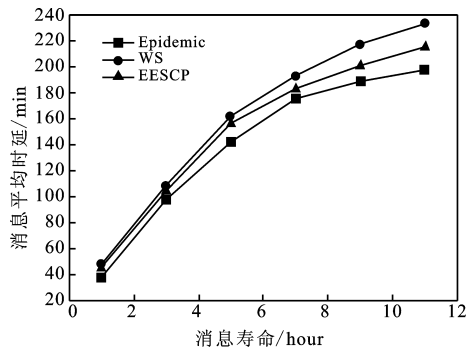


图2 消息平均时延

(3) 消息平均传输跳数

图 3 在不同消息寿命的情况下,统计了三种算法的消息传输的平均跳数。可以看出,随着消息寿命的增加,消息传输的平均跳数逐渐减少。这是因为随着消息寿命延长,投递成功的消息逐渐地增多,从而消息的平均投递跳数则会降低。LDSCP 算法的消息的平均跳数比 WS 算法的低是因为 LDSCP 算法采用了精准预测和相遇概率最大化机制,增加了节点的相遇机会,提高了消息的平均时延,减少了平均跳数。而由于 LDSCP 和 WS 算法采用了休眠调度机制,导致节点在休眠时会错失相遇,所以它们的消息平均跳数比 Epidemic 算法都要大。

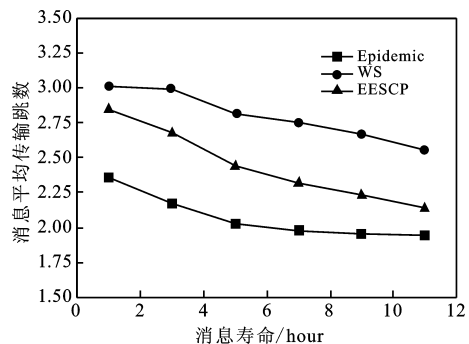


图3 消息平均传输跳数

(4) 消息平均转发次数

图 4 比较了三种算法在不同的消息寿命下消息的平均转发次数。从图中可看出随着消息寿命的增加,消息的平均转发次数逐渐增加。WS 和 LDSCP 算法的消息平均转发次数比 Epidemic 算法的要低,这是因为 WS 和 LDSCP 算法采用了休眠调度机制后错失了一部分相遇机会,导致消息的转发次数较低。但 LDSCP 算法通过采用精准预测机制和相遇概率最大化机制提高了节点的相遇机会,从而增加了消息的平均转发次数,

进而提高了消息投递成功率.

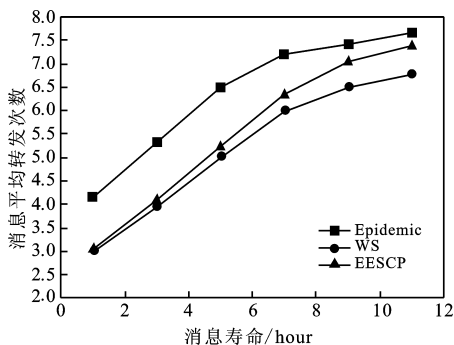


图 4 消息平均转发次数

5 结束语

本文针对采用接触预测机制的机会网络休眠调度算法中存在的相遇预测不准确和移动重叠的调度时间后接触概率较低的问题,提出了一种基于接触概率的机会网络低时延休眠调度算法 LDSCP.该算法通过精准预测机制在当前错失相遇的调度时间前后预测下次相遇的唤醒时间,保证了下次相遇的准确度,提高了消息的投递成功率,而且对重叠后的唤醒调度时间采用相遇概率最大化机制来提高相遇机会,减小消息投递时延.理论分析和仿真结果验证了 LDSCP 算法的有效性.

参考文献:

[1] Xiong Y P, Sun L M, Niu J W, et al. Opportunistic networks[J]. Journal of Software, 2009, 20 (1): 124-137.

(上接第 33 页)

参考文献:

[1] Meng Xianbing, Liu Yu, Gao Xiaozhi, 用. A new bio-inspired algorithm: chicken swarm optimization[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2014 (8794): 86-94.

[2] Jeong Jung Kim; Ju Jang Lee. Trajectory optimization with particle swarm optimization for manipulator motion planning[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2015, 11(3): 620-631.

[3] 孔飞,吴定会. 一种改进的鸡群算法[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2015, 14(6): 681-688.

[4] 林蔚天,许伟,顾幸生. 基于随机学习因子混沌 PSO 算法的甲醇合成转化率测量[J]. 化工学报, 2012, 63(9): 2899-2903.

[5] 敖永才,师奕兵,张伟,等. 自适应惯性权重的改进粒子群算法[J]. 电子科技大学学报, 2014, 43(6): 874-880.

[6] Anupam Biswas, Lakra A V, Sharad Kumar, et al. An improved random inertia weighted particle swarm optimization[C] //Computational and Business Intelligence

[2] Zhou H, Zhao H, Chen J, et al. Adaptive working schedule for duty-cycle opportunistic mobile networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2014, 63(9):4694-4703.

[3] Ko H, Oh S, Kim C. Adaptive, asynchronous rendez-vous protocol for opportunistic networks [J]. Electronics Letters, 2012, 48(8):462-464.

[4] 付凯,夏靖波,尹波. DTN 中一种基于接触时间的休眠机制[J]. 计算机科学, 2013, 40(2): 87-90.

[5] Wei Gao, Qinghua Li. Wakeup scheduling for energy-efficient communication in opportunistic mobile networks [C]// 2013 Proceedings IEEE INFOCOM. Italy, Turin, 2013:2058-2066.

[6] 吴大鹏,杨正川,刘乔寿,等. 带有相遇预测的自适应路由机制[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学报, 2013, 25(3):368-371.

[7] 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. USA, Colorado, 2009: 55.

作者简介:

任智男, (1971-), 博士后, 教授, 博士生导师. 研究方向为宽带自组网与无线通信.

王中永(通讯作者) 男, (1988-), 硕士研究生. 研究方向为基于博弈论的机会网络路由算法. E-mail: lim182@163. com.

武杨男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为机会网络.

李季碧女, (1975-), 讲师. 研究方向为机会网络.

(ISCBI'13). India, New Delhi, 2013:96-99.

[7] 刘春波. 混合模拟退火算法的研究及其在电机优化设计中的应用[D]. 广州:中山大学, 2010.

[8] Sarah Lyden, Md Enamul Haque. A simulated annealing global maximum power point tracking approach for PV modules under partial shading conditions[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 31 (06): 4171-4181.

[9] 吴进华,吴华丽,周仕. 基于模拟退火的粒子群优化算法[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(8): 50-53.

[10] 李田来,刘方爱,王新华. 基于分治策略的人工蜂群算法[J]. 控制与决策, 2015, 30(2): 316-320.

作者简介:

李振璧男, (1959-), 教授. 研究方向为信息处理、智能控制.

王康(通讯作者) 男, (1991-), 硕士研究生. 研究方向为智能算法、模式识别. E-mial: lampardwk8@163. com.

姜媛媛女, (1982-), 副教授. 研究方向为先进算法与控制、模式识别.