

基于自适应时间调整的机会网络可靠休眠调度算法

任 智, 武 杨, 张剑波, 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: 针对现有采用周期性唤醒机制的机会网络休眠算法中节点进入休眠状态会导致消息发送或接收中断, 从而降低数据传送成功率的问题, 提出了一种更可靠的基于自适应时间调整的休眠调度算法 - RSATA (Reliable sleep Scheduling base on Adaptive Time Adjustment). RSATA 结合 RSSI 测距机制和消息跨层通告机制, 通过分析节点接触过程滤除节点不能够发送数据的相遇机会, 然后对唤醒时间和休眠时间进行动态调整, 避免消息收发被休眠中断. 仿真结果显示: 与 AWS 算法和 ETAWS 算法相比, RSATA 算法不仅提高了消息投递率, 而且降低了消息发送次数、发送中断率和节点能耗.

关键词: 机会网络; 算法; 休眠调度; 可靠; 时间调整

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 7180(2016)02 - 0012 - 06

A Reliable Sleep Scheduling Algorithm for Opportunistic Networks Based on Adaptive Time Adjustment

REN Zhi, WU Yang, ZHANG Jian-bo, LI Ji-bi

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

Abstract: To solve this problem that the nodes send or receive a message is interrupted when enter a sleep state which reduces the data delivery success rate in existing sleep algorithms based on the periodic wake mechanism for opportunistic networks, a more Reliable sleep Scheduling algorithm base on Adaptive Time Adjustment (RSATA) is proposed. Combining RSSI ranging mechanism and message cross-layer notification mechanism, RSATA analyzes the contact process between the nodes to exclude the encounter chance node can not send data and then dynamically adjusts the wake time and sleep time. So RSATA algorithm avoids message sending and receiving interrupted by sleep. Simulation results show that, compared with AWS algorithm and ETAWS algorithm, RSATA algorithm not only improves the message delivery rate, but also reduces the number of messages sent, sending interrupt rate and nodes' energy consumption.

Key words: opportunistic network; algorithm; sleep scheduling; reliable; time adjustment

1 引言

不同于无线自组织网络和传感器网络, 机会网络中由于节点的移动等原因, 节点间基本不存在端到端的连接路径, 节点采用存储-携带-转发的方式多跳地传递消息(数据分组)^[1]. 由于不存在端到端的路径, 节点需要不断地通过探测发现邻居节点来进行消息的投递. 较少的连接机会使设计机会网络中的路由时很少考虑节点的能量, 往往以实现消息成功投递为主要考虑目标, 这就造成了节点能量的大量消耗.

机会网络中, 节点大多由能量有限的手持设备组成. 研究发现, 机会网络中节点的能量大多消耗在没有消息传输的探测发现节点过程中^[2]. 为减少不

必要的能量消耗并节省节点能量, 机会网络最理想的传输方式是节点在不接触的时候进入休眠状态, 在接触的时候被唤醒传输消息. 因此, 休眠调度算法最适用于这种情况.

针对现有周期性唤醒机制的休眠调度算法中, 节点在发送消息时进入休眠状态, 导致消息传输中断并降低消息传送成功率的问题, 提出了一种基于自适应时间调整机制的机会网络可靠休眠调度算法 - RSATA (Reliable sleep Scheduling based on Adaptive Time Adjustment). RSATA 算法结合 RSSI 测距和消息跨层通告机制, 采用自适应时间调整, 避免消息在收发过程中因休眠而中断, 提高了算法的可靠性. 此外, RSATA 通过分析节点间接触过程, 滤除了节点不能够发送数据的相遇机会, 降低了能耗.

2 网络模型与问题分析

2.1 网络模型

RSATA 算法的网络模型与 AWS^[3] (Adaptive Working Schedule, AWS) 算法相同, 机会网络中共 N 个节点, 每个节点 $i \in N$ 都周期性地运行一个自己选定的工作机制, 即 $s_i = \langle w_i, T_i, \Delta_i \rangle$. 其中, w_i 为节点 i 的位图, 每一位代表休眠状态或者唤醒状态; T_i 表示周期的时长; Δ_i 表示 w_i 中的每一位的时长. 网络中节点只有休眠状态和唤醒状态^[4].

假设网络中的所有的节点都有相同的周期时长 T , 所有节点都有相同的占空比 $D = n_w/n_p$. 其中 n_w 代表每个周期 T 内唤醒的时隙数, 而 n_p 代表每个周期 T 内总共的时隙数. 如图1所示, 网络中节点 i 和 j 的周期都为 180 s, 分为了 6 个时隙, 每个时隙为 30 s. 灰色时隙为唤醒状态, 白色时隙为休眠状态. 实框为有效相遇, 即节点在通信范围内能够发现对方, 节点间可进行消息传输; 虚框为错失相遇, 即节点在通信范围内不能够发现对方, 此时无消息传输.

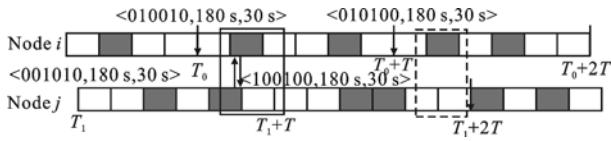


图1 节点间相遇模型

2.2 问题分析

在 AWS 算法中, 时隙长度较大才能使接触间隔时间落在相应的时隙中. 然而, 算法中对节点每个周期时隙的划分并没有详细描述, 时隙太小可能使时间间隔匹配不到相应时隙, 从而影响算法性能. 此外, 当两节点相遇并都处于唤醒状态, 即接触为有效时, 唤醒时隙剩余时间太短, 发送数据过程中节点进入休眠状态致使连接中断, 从而消息传输失败, 消息传送成功率降低. 由于不能充分利用接触机会, 再次接触又要等待一段时间, 增加了消息成功投递的时延. 而且再次接触时重新传输又增加了额外发送的能量消耗. 文献[5]中, 对于唤醒时隙内数据发送不完的情况采取时隙扩展的数据传输方式, 即: 如果一个时隙内未完成数据的传输, 则节点使下一时隙继续保持唤醒状态, 继续传输数据, 直到数据传输完成为止. 但这样大大增加了节点的能量消耗, 网络能耗与数据大小密切联系, 极端情况下可能导致节点不存在休眠状态. 而且, 对于时隙较大的自适应工作调度算法完全唤醒下个时隙不仅增大了能耗而且打乱

了每周算法设置的唤醒时隙.

3 RSATA 算法

针对上述问题, RSATA 算法提出了以下改进:

将发现邻居节点的最短时间, 即一个扫描时间间隔, 定为一个最小时间单位. 一个时隙由一个或多个最小单位组成, 从而解决时隙过短使时间间隔匹配不到相应的时隙的问题.

在唤醒时隙每次发送数据时, 通过分析节点相遇过程, 结合了 RSSI 测距和消息跨层通告机制, 排除掉节点不能够发送数据的相遇, 降低节点能耗. 然后采用自适应时间调整机制避免消息传输中断, 提高消息传送成功率.

3.1 RSSI 测距与消息跨层通告机制

RSSI (Received Signal Strength Indication), 即信号强度指示值. 节点通过 RSSI 值可以测定两节点之间的距离, 基于节点距离的远近可估算连接时长是否满足数据发送所需时间. 若不满足, 则不发送数据包; 否则发送数据包. 本文假设节点在通信过程中, 节点的运动速度和方向恒定. 则节点通过 RSSI 可测得距离变化, 从而得知节点的运动状态进而估算连接时长. 本文采用的 RSSI 测距模型^[6]为

$$d_{\text{测}} = (c \cdot \frac{P_s}{P_r})^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

式中, P_s 表示节点的发射信号强度; P_r 表示节点的接收信号强度; c 为传播影响因子, 它是由天线增益和具体的无线信号传播环境等因素决定的一个常数.

在节点间建立连接后, 路由层要将相遇节点请求发送的数据长度通告给休眠调度算法, 调度算法计算完成发送所需的时间, 然后与 RSSI 估算的连接时长进行比较. 最后通过跨层通告将比较结果告知路由. 使得路由层可采取相应措施处理数据, 从而减少消息的冗余发送, 节省节点能量, 提高路由效率.

3.2 节点相遇分析

在节点运动过程中, 网络中的节点都在唤醒状态和休眠状态之间转换. 假设节点 i 与节点 j 相遇, 则其有两种相遇可能: 有效相遇和错失相遇. 只有有效相遇时节点间才可以传输消息.

当两节点相遇都处于唤醒状态或在相遇结束前都处于唤醒状态时, 节点相遇为有效相遇. 有效相遇时, 节点在建立连接过程中, 首先使用 RSSI 机制测量收到的相遇节点的信号强度, 通过式(1)估算相对距离. 然后通过预测距离的变化估算相遇时间的

长度.

节点建立连接后,节点 i 首先根据相遇节点的路由请求的消息长度估算消息传输需要消耗的时间 t ,即:

$$t = \frac{L}{v} + \frac{d_{\text{测}}}{c} \quad (2)$$

式中, L 为所需交互的消息总长度, v 为数据发送速率, $d_{\text{测}}$ 为 RSSI 测量的节点之间的距离, c 为无线传输速率.

若估算的 $d_{\text{测}}$ 趋于增大,表示相遇节点一直在远离. 这里假定测量的第一个 $d_{\text{测}}$ 为离节点最近的距离,相遇的节点以最大速率运动. 通过式(3) 可估算相遇剩余的时长 t_1 ,即:

$$t_1 = \frac{\sqrt{R^2 - d_{\text{测}}^2}}{V_i + V_{\text{max}}} \quad (3)$$

式中, R 为节点通信半径, $d_{\text{测}}$ 为 RSSI 测量的第一个节点之间的距离, V_i 为节点自身运动速率, V_{max} 为相遇节点运动速率.

若估算的 $d_{\text{测}}$ 趋于减小,表示相遇节点先靠近后远离. 假定相遇节点都以最大速率运动,通过式(4) 可估算最大的相遇时长 t_1 ,即:

$$t_1 = \frac{\sqrt{R^2 + d_{\text{测}}^2 + 2Rd_{\text{测}}}}{V_i + V_{\text{max}}} \quad (4)$$

式中, R 为节点通信半径, $d_{\text{测}}$ 为 RSSI 测量的节点之间距离, V_i 为节点自身运动速率, V_{max} 为相遇节点运动速率.

3.3 自适应时间调整

在网络模型中,时隙长度固定. 在消息投递过程中,由于唤醒时隙剩余长度不足可导致消息传输中断,从而无法完成相遇节点间全部消息的传输. 针对以上问题,结合节点相遇分析过程,提出了以下自适应时间调整机制.

首先将算法发现邻居节点的时间定为一个最小时间单位,从而每个时隙可划分为由一个或多个最小单位组成的时隙. 假设每个时隙的长度为 Δ_i ,当前节点的唤醒时隙剩余时间为 t_2 ,且由节点相遇分析得知节点发送数据所需的时间为 t ,相遇时长为 t_1 . 采用以下方式调整时间:

(1) 节点在唤醒时隙相遇时

步骤1:比较相遇时长 t_1 与发送数据所需时间 t .

若 $t_1 \geq t$,表明有足够的时间进行消息传输,则节点通过消息跨层通告机制告知上层可进行路由消息传输.

若 $\frac{t}{2} < t_1 < t$,表明剩余的相遇时长不足够传输

所有的消息,此时休眠算法跨层告知路由只传输目的节点为相遇节点的消息.

若 $t_1 < \frac{t}{2}$,休眠算法跨层告知路由不进行消息

传输,此时节点进入休眠状态,不仅可弥补自适应时间调整过程中延长的唤醒的时间,而且可节省节点能量.

步骤2:比较唤醒时隙剩余时间 t_2 与发送数据所需时间 t .

若 $t_2 < t$,即在唤醒时隙剩余的的时间内不能完成节点间的消息传输. 当下一时隙为休眠时隙时,节点相应地将唤醒时隙延长 $[t - t_2]s$,用于完成在相遇时间内剩余数据的发送. $[t - t_2]$ 向上取整,其由整数个最小时间单位组成. 如图2所示,节点 i 与 j 在有效接触中, j 节点唤醒时间长度不足,则延长了 $[t - t_2]s$ 唤醒时间,图中虚线框部分. 当下一时隙为唤醒时隙时,节点不进行时间延长,继续发送或接收数据.

若 $t_2 \geq t$,则剩余唤醒时间足够完成节点间数据交互,不需要进行时间调整.

(2) 节点在唤醒时隙不相遇时

为保证与原算法相比不消耗多余的能量,在节点再次进入唤醒时隙时,若节点在唤醒时隙的 $(\Delta_i - [t - t_2])s$ 内没有与其他节点相遇,则节点将在唤醒时隙的尾部剩余的 $[t - t_2]s$ 进入休眠状态,从而弥补延长时隙造成的能量损耗,使唤醒时间和休眠时间的比例与原算法相同. 如图2所示,节点 i 和 j 在实线框内相遇,并延长了图中虚线框部分 $[t - t_2]s$,在节点 j 下次没有相遇的唤醒时隙的尾部留出了 $[t - t_2]s$,从而弥补休眠时间.

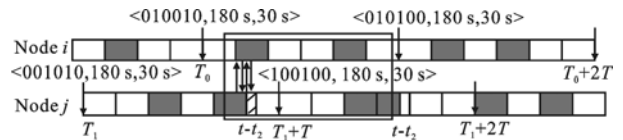


图2 时间调整示意图

3.4 RSATA 算法操作步骤

(1) 首先每个节点记录与其他每个节点的接触时间间隔. 然后在每个周期的开始时间,每个节点会更新与其他节点在上一个周期内的最后一次接触时间,并且将周期长度 T 分为 n_p 个时隙;

(2) 在更新完与其他节点在上一个周期内的最后一次接触时间后,利用存储的接触历史记录,每个

节点根据式(5) 计算在当前周期内每个时隙的预计相遇值 EV;

$$EV_i(m) = \sum_{1 \leq j \leq N, j \neq i} \frac{r_{ij}^m}{u_{ij}}, \quad \forall m = 1, 2, \dots, \frac{T}{\Delta t} \quad (5)$$

式中, t_{ij}^0 为节点 i 和 j 上次的接触时间, m 为第 m 个时隙, t_{ij}^k 为节点 i 和 j 第 k 次的接触时间间隔,

$$u_{ij} = |U_{ij}|, r_{ij}^m = |R_{ij}^m|, U_{ij} = \{t_{ij}^k | t_{ij}^k \in H_{ij},$$

$$t_{ij}^k > t - t_{ij}^0\},$$

$$R_{ij}^m = \{t_{ij}^k | t_{ij}^k \in H_{ij}, t + (m-1)\Delta t - t_{ij}^0 < t_{ij}^k \leq t + m\Delta t - t_{ij}^0\}.$$

(3) 然后,网络中的每个节点将会选择有最大的 EV 值的 n_w 个时隙去唤醒,剩余时隙休眠;

(4) 在节点运动中,每个节点在唤醒时隙发现邻居节点时,通过自适应时间调整机制,相应地延长唤醒时隙长度. 在唤醒时隙无邻居节点时,通过自适应时间调整机制,相应地缩短唤醒长度.

(5) 在每个周期和每个消息传输时隙重复地进行上述过程,这样网络中的每个节点就可以在每个周期的开始时间自适应地设定自己的工作机制,且可在发送数据时自适应调整时间.

4 仿真分析

本文使用机会网络环境模拟器 ONE^[7] 进行算法的仿真实验. 仿真中,将本文提出的 RSATA 算法与 AWS 算法、采取时隙扩展的 AWS (ETAWS) 算法从消息投递成功率、消息平均时延、消息平均发送次数、消息平均中断率和节点平均能量消耗五个方面进行性能比较. 与原算法相同,我们将算法的周期长度设为 5 min,分为 10 个时隙,每时隙 30 s. 则仿真参数设置如表 1 所示.

表 1 仿真默认参数

仿真参数	参数值
移动模型	RWP
地图大小	400 × 400
路由方式	Epidemic
仿真时间	12 h
节点数量	30
消息节点数量	15
移动速度	0.5 ~ 1.5 m/s

发送速率	250 kb/s
传播半径	10 m
消息大小	500 kB ~ 1 MB
发射/接收能耗	0.08 J/s
空闲能耗	0.02 J/s

(1) 消息投递成功率

实验结果表明,随着唤醒时隙越来越多,消息投递率都是越来越大. 与 AWS 算法相比,ESATA 算法的投递率提高了. 这是因为 RSATA 算法延长唤醒时隙保证了消息传输的成功,进而能增加消息的投递率. RSATA 算法的投递率几乎与 ETAWS 算法相同,表明 RSATA 算法不采用时隙扩展也能够达到 ETAWS 算法的消息投递率. 见图 3.

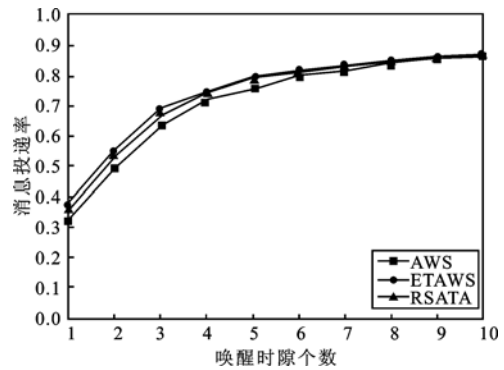


图 3 消息投递率

(2) 消息平均时延

图 4 显示的是不同唤醒时隙下 AWS 算法、ETAWS 算法和 RSATA 算法的平均时延的比较. 与 AWS 算法相比,RSATA 算法降低了消息的平均时延. 这是因为 RSATA 算法延长唤醒时隙减少了消息的跳数. 虽然 ETAWS 算法比 AWS 和 RSATA 算法都低,但其大大增加了节点的能耗,在能量有限的移动设备组成的机会网络中,会因节点死亡影响网络性能.

(3) 消息平均发送次数

图 5 显示的是不同唤醒时隙下 AWS 算法、ETAWS 算法和 RSATA 算法的消息平均发送次数的比较. 随着唤醒时隙越来越多,消息平均发送次数都是递增的. 从图中可看出,RSATA 算法相对其他两种算法的消息发送次数大大减少,主要是因为 RSATA 算法通过分析节点的相遇去除了可能导致消息发送中断的接触,并通过动态时间调整减少了消息再次相遇时的重新传输,进而减少了发送次数.

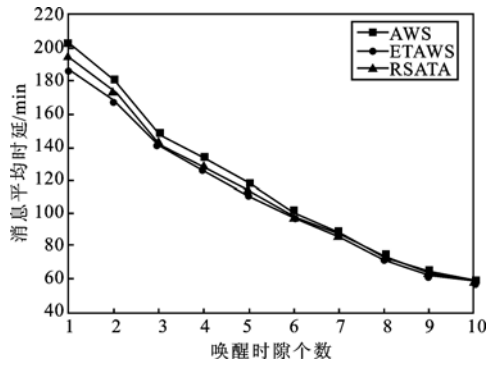


图4 消息平均时延

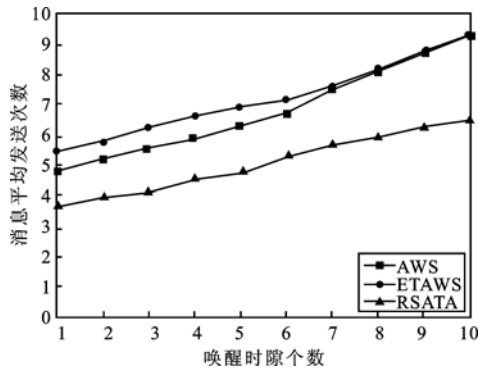


图5 消息平均发送次数

(4) 消息平均中断率

图6显示的是不同唤醒时隙下 AWS 算法、ETAWS 算法和 RSATA 算法的消息平均中断率的比较. 相对于 AWS 和 ETAWS 算法, RSATA 算法的在不同唤醒时隙下的平均中断率都是最小的. ETAWS 算法减少了因节点休眠造成的中断, 但节点超出传输范围时的发送中断却没有减少. 而 RSATA 算法通过分析节点相遇, 不仅减少了因节点休眠造成的中断而且减少了因连接中断造成的消息发送中断.

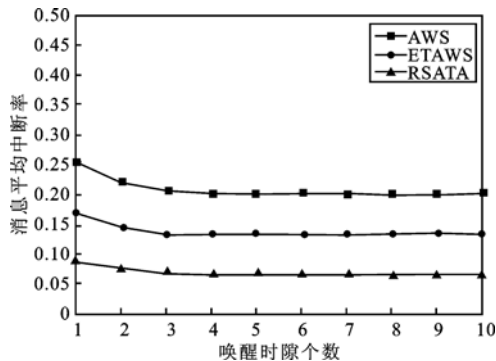


图6 消息平均中断率

(5) 平均能量消耗

随着唤醒时隙越来越多, 节点平均能量消耗都

是增加的. 但 RSATA 算法中节点的平均能量消耗相对于其他两种算法减少了 10% 左右. 这是因为 RSATA 算法虽然延长了唤醒时隙增加了能量消耗, 但通过时间的动态调整随后又弥补了唤醒时间, 且该动态调整减少了消息再次相遇重新发送的次数, 结合相遇节点分析又减少了不必要的消息发送, 从而降低了节点能量消耗. 此外, ETAWS 算法虽然能够提高投递率, 但明显增加了节点的能耗, 不利于能量有限的机会网络环境. 见图 7.

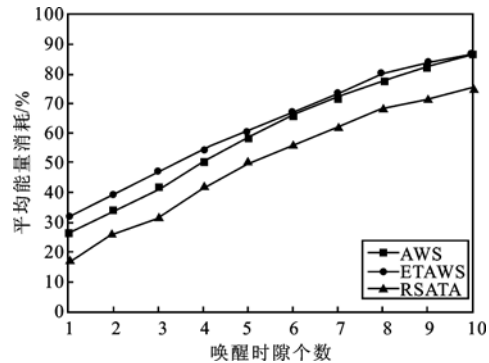


图7 节点平均能量消耗

5 结束语

本文针对周期性机会网络休眠算法中^[7], 因节点进入休眠状态导致消息发送或接收中断的问题, 提出了 RSATA 算法. 该算法采用动态时间调整机制, 结合 RSSI 测距和消息跨层通告机制, 在节点相遇过程中, 分析时间状态并自适应延长或缩短时隙长度. 仿真验证表明, 与 AWS 和 ETAWS 算法相比, RSATA 算法能够很好地节省网络中节点的能量, 减少消息时延和发送次数, 降低消息中断率.

参考文献:

- [1] Carrano R C, Passos D, Magalhaes L C S, et al. Survey and taxonomy of duty cycling mechanisms in wireless sensor networks [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(1): 181-194.
- [2] Feng Y, Bai X. Energy-saving mechanisms for delay-and disruption-tolerant networks [C]// Proceedings of the 4th International Conference on Computer Engineering and Networks. China, Shanghai, 2015: 1165-1176.
- [3] Ko H, Oh S, Kim C. Adaptive, asynchronous rendezvous 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] Choi B J, Shen X. Adaptive asynchronous sleep scheduling protocols for delay tolerant networks [J]. Mobile Computing, IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011, 10(9): 1283-1296.
- [6] 李季碧,李宾,任智,等. 自适应动态功率控制的机会网络节能高效路由算法[J]. 西安交通大学学报, 2014, 48(12): 49-56.
- [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. Italy, Rome, ICST, 2009: 55.

作者简介:

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

武杨(通讯作者)男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为机会网络节能路由算法. E-mail: 472417016@qq.com.

张剑波男, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为水声传感器网络路由算法.

李季碧女, (1975-), 讲师. 研究方向为机会网络.

(上接第11页)

- [9] D'Angelo R, Trakimas M, Sonkusale S, et al. Compressed sensing of EEG using a random sampling ADC in 90nm CMOS[C]//Body Sensor Networks (BSN), 2013 IEEE International Conference on. USA, Cambridge, IEEE, 2013: 1-5.
- [10] Trakimas M, D'Angelo R, Aeron S, et al. A compressed sensing analog-to-information converter with edge-triggered SAR ADC core[J]. Circuits and Systems I: Regular Papers, IEEE Transactions on, 2013, 60(5): 1135-1148.

作者简介:

韩晨曦男, (1990-), 硕士. 研究方向为模拟及数模混合集成电路设计、SOC 集成电路设计技术等.

E-mail: hcx12@mails.tisnghua.edu.cn.

魏经纬男, (1992-), 博士研究生. 研究方向为模拟及数模混合集成电路设计、SOC 集成电路设计技术等.

李冬梅女, (1966-), 副教授. 研究方向为模拟及数模混合集成电路设计、SOC 集成电路设计技术以及集成电跳入的抗辐射加固技术等.