

未来网络休眠机制研究

张国鼎, 杨龙祥

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要:随着网络技术的发展、网络普及率的提高和网络规模的不断增大,网络能量消耗在社会总能量消耗中的比率已引起了社会的广泛关注,控制网络能耗以降低网络运营成本已刻不容缓。为此,网络节能技术已成为当今的研究热点之一。由于技术等多种原因,难以在根本上解决传统网络能耗过大的问题。为此,需要采用新技术、新观念设计革命性的未来网络架构,并在此网络架构下,探索包括休眠机制在内的网络能耗控制技术。在介绍两种未来网络架构 OpenFlow 和 DTN 的基础上,着眼于未来网络新架构内休眠机制的研究进展,着重阐述了 OpenFlow 架构下的节点与链路休眠机制,以及 DTN 架构下情景感知和异步时钟等休眠机制,分析了网络休眠机制研究中面临的问题与困难,并且给出了未来网络休眠研究的建议。

关键词:OpenFlow 网络;DTN;节能;休眠

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)04-0012-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.04.003

Investigation on Sleep Mechanism for Future Network

ZHANG Guo-ding, YANG Long-xiang

(College of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract:Due to development of network technology, improvement of Internet popularity and increasing scale of network, ratio of network energy consumption in total energy consumption has caused high attention in the society, and it is imperative that network energy consumption be managed to lower operating cost. Therefore, the technique for network energy saving is one of most popular issues under investigation nowadays. Because of various reasons involving technical cause, it is very hard to solve the problem of excessive energy consumption of traditional network fundamentally. Thus, new techniques, revolutionary concepts and new designs are required to construct future network architectures, under which technical explorations of network energy consumption control include that of sleep mechanism. On the basis of general introductions on both future network architectures of OpenFlow and DTN, with an eye to the progress on the investigations of dormancy mechanism under new framework of future network, various mechanisms, such as node and link dormancy mechanism under OpenFlow framework, situational awareness and asynchronous clock sleep mechanism in DTN architecture, have been expounded emphatically. Analysis on the problems and difficulties encountered in above investigations have been presented as well as future directions for network dormancy investigations.

Key words:OpenFlow network;DTN;energy conservation;sleep

0 引言

随着网络规模的不断增大以及各种网络需求的出现,网络中能源浪费的问题引起了广泛关注。根据文献[1],在如今的发达国家中网络的能量消耗大约占到社会总能量消耗的5%,所以网络节能问题变得尤为突出。当前互联网普遍采用网络带宽超额提供和网络资源冗余部署的方式来满足网络峰值负载的需求,

然而大部分时间内互联网的负载都远低于峰值负载,使得互联网中存在大量空闲或低利用率的网络资源。又因为设备固有能耗开销的存在以及硬件技术的制约,当前互联网设备和部件的能耗几乎不受到负载变化的影响,其在低负载时的能耗与满负载时的能耗相近,导致网络设备在全天全时的工作方式下消耗着大量无效的能量。然而在现有的网络体系结构中很难有

收稿日期:2016-04-23

修回日期:2016-08-16

网络出版时间:2017-02-17

基金项目:国家“973”重点基础研究发展计划项目(2013CB329104);国家自然科学基金资助项目(61372124)

作者简介:张国鼎(1992-),男,硕士,研究方向为移动通信与无线技术;杨龙祥,教授,博士生导师,研究方向为移动无线通信与物联网。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170217.1630.050.html>

效地解决这种网络的高能耗问题,所以一种不受现有 TCP/IP 体系结构所限制,重新设计的未来网络体系架构、运行机制、控制机制等的革命式方案成为迫切需要,国内外将这些网络称之为未来网络。

网络休眠是网络节能的主要手段之一,近年来国内外很多研究机构和学者投身于未来网络的休眠方案的研究。Bhed Bahadur Bista 等致力于在 OpenFlow 网络下的网络休眠,先后提出对网络节点和网络链路的休眠方案。Tiago Filipe 等基于 PSIRP (Publish/Subscribe Internet Routing Paradigm) 网络架构,提出一种将通信流量合并到常用链路使得不常用链路可以休眠的方案。Bong Jun Choi 等基于容迟/容断网络 (DTN),提出了自适应异步时钟休眠方案。Lefebvre 等提出一种应用于 P2P 网络的休眠机制,该机制是一种能量高效点对点存储系统,即将空闲状态的节点调至休眠模式,同时为这种休眠设置一个时间上限,使之不影响数据的存储与传输。文献[2]根据邻居发现机制,对实现最小能耗问题进行了研究;文献[3]提出了 HABS (硬件辅助缓冲休眠),可以有效避免数据包的丢失。

由于技术等多种原因,难以在根本上解决传统网络能耗过大的问题。为此,需要采用新技术、新观念设计革命性的未来网络架构,并在此架构下,探索包括休眠机制在内的网络能耗控制技术。目前的未来网络体系可以划分为有线网络以及无线网络,文中在介绍两种未来网络架构的基础上,着眼于未来网络新架构内休眠机制的研究进展,着重阐述了 OpenFlow 架构下的节点与链路休眠机制,以及 DTN 架构下情景感知和异步时钟等休眠机制,分析了网络休眠机制研究中面临的问题与困难,给出了未来网络休眠研究的建议。

1 有线 OpenFlow 网络架构及网络下的休眠方案

本节首先介绍了 OpenFlow 网络架构,然后分析了在该架构下的两种休眠方案,即网络节点休眠方案和网络链路休眠方案。介绍了两种休眠方案的原理与执行过程,并且着重分析了它们的休眠条件、节能效果、适用场景等问题。

1.1 OpenFlow 网络架构

OpenFlow 网络被开放网络基金会的成员 (包括谷歌、思科、微软、Facebook 等) 标准化。这种网络已经在 Internet2、美国斯坦福大学、日本的 JCN2plus 以及其他的 10~15 个科研机构中进行了部署和应用,并将在国家科研骨干网以及其他生产与科研中应用。OpenFlow 网络的国际覆盖已经包括葡萄牙、意大利、美国、日本、瑞典、波兰和俄罗斯等。这种网络被认为是一种具有

灵活性和可维护性的未来网络架构。

OpenFlow 网络由一个控制器和大量的节点 (交换机/路由器) 组成,如图 1 所示。

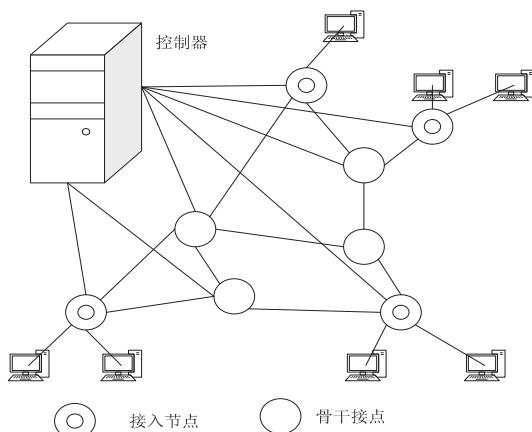


图 1 OpenFlow 基本网络

图中的节点分为两种,分别是接入节点和骨干节点。接入节点连接用户终端,骨干节点是连接在两个接入节点之间的中间节点。控制器通过安全通道以及 OpenFlow 协议与每一个节点通信,并且收集每个节点的网络数据。

1.2 OpenFlow 网络中的节点与链路休眠方案

Gupta 等在文献[4-6]中最早研究在有线网络下的网络节能问题,他们研究出很多算法让节点或链路在一定时间内休眠,但是这些算法并没有给出节点或链路的休眠时间长短,也就是没有解决在何时唤醒休眠的节点或者链路的问题。下面介绍的基于 OpenFlow 网络中的休眠方案则很好地解决了节点或链路休眠以及唤醒的问题。在 OpenFlow 网络下的休眠方案主要分为对网络中节点的休眠以及对网络中链路的休眠。

文献[7]提出一种基于 OpenFlow 网络下的节点休眠方案。该方案是根据整个网络的通信量以及每个节点的通信能力计算出保证网络正常工作所需要的节点数,通过比较网络中所需的节点数和网络现在正在工作的节点数,确定是否需要通过网络中的节点进行休眠。当网络中工作的节点比需要的节点数多时,通过算法将一些节点休眠,使工作的节点数与网络中需要的节点数相等。当网络中工作的节点数少于需要的节点数时,要将网络中所有休眠的节点唤醒,再通过算法进行休眠,使得工作的节点数与需要的节点数相等。值得注意的是,要在保证网络正常运行的前提下选择将要被休眠的节点,所以在选择休眠节点时与主机和服务器相连的节点以及通信量较大的节点不能被休眠。

上述这种对于节点休眠的方案可以有效减少网络中的能量消耗,但很多的节点在网络运行中都有至关重要的作用,该方案难免会将一些重要的节点休眠,难

以保证网络的正常运行,当不能将一个节点完全休眠时,可以考虑不去休眠整个节点而是将这个节点中的某些链路休眠。基于这种考虑,文献[8]提出基于 OpenFlow 网络下的链路休眠方案。

链路休眠方案是将每个链路的利用率与设定好的门限值进行比较,将链路利用率小于休眠门限值的链路休眠,当节点中某些链路利用率大于唤醒门限时要将这个节点中所有正在休眠的链路唤醒。因为链路利用率超过唤醒门限值说明该链路连接的节点的流量负载较大,需要唤醒节点中其他的休眠链路,提升节点的处理性能。当有链路需要休眠时要注意以下两点:一是休眠的链路不能属于边缘节点,二是链路休眠后不能将网络分割。每次有链路被休眠或者被唤醒时,控制器都要根据新的网络拓扑来更新流表,节点将按照更新后的流表进行数据转发。

上述的链路休眠方案中的休眠门限值以及唤醒门限值的选取是非常困难的,它与网络中的通信量有关,所以只能通过不断的实验取出一个理想值。该方案中只是考虑怎样将链路休眠来减少网络中的能量消耗,并没有考虑网络负载特征以及链路休眠后对网络的影响,比如将链路或者节点休眠后会增大数据包的延迟到达。所以对于这个休眠方案在包延迟、包丢失等问题上还要做进一步改进。

在对有线网络的休眠方案中,文献[9]提出了在 PSIRP 网络架构下对网络节点/链路休眠。这里还是利用每个链路的利用率与设定好的门限值进行比较,不同的是并不是将链路利用率低于门限值的链路直接休眠,而是将链路利用率低的链路上的通信集中到链路利用率高的链路上,这样是为了进一步降低这些链路的利用率使得这些链路有可能被休眠。将网络通信集中到常用的链路之后再网络中链路和节点排序,这个排序反映了各个链路和节点在网络中的重要性,根据这个排序可以决定哪些链路和节点可以被休眠。当休眠链路时要保证链路休眠后网络还能正常地连接通信。当休眠节点时要保证两点:一是该节点的所有链路没有在通信中,二是休眠该节点后不会对其他没有休眠的节点之间的正常通信产生影响。

这种休眠方案可以有效减少网络中的能量消耗,达到网络节能的目的。文中提出了按网络单元重要性的排序机制,这种机制能在减少网络能耗的同时尽可能减少对网络运行的影响。同时在低负载场景下,该休眠方案能很好地减少能耗并且不会对网络运行产生大的影响;但是在高负载场景下,该方案也能减少能耗,但是效果不是很好。在以后的研究中,应该考虑如何适应不同拓扑结构和负载情况,让这种休眠方案有更强的鲁棒性。

2 无线 DTN 网络及网络下的休眠方案

本节首先介绍了 DTN 网络架构,然后详细介绍了三种在 DTN 网络下的休眠机制,即情景感知休眠机制、基于接触时间休眠机制、异步时钟下的循环差集休眠机制。在循环差集休眠机制的基础上介绍两种改进方案,即 EACDS(Exponential Adaptive Cyclic Difference Set)和 MACDS(Multiplicative Adaptive Cyclic Difference Set),这两种改进方案能够适应不同网络场景与休眠时序长度。

2.1 容迟/容断网络(DTN)架构

容迟/容断网络^[10-11]是近年来新兴的一个研究方向,Fall K 等在文献[12]提出一种面向消息的覆盖层网络体系结构。DTN 是未来网络研究领域的一个重要方向,而对其的研究主要由互联网研究专门工作组(IRTF)中的 DTN 工作组领头。文献[13]中 DTN 的设计最初是为了解决星际间的通信问题,后来发展延伸至同样具有大延时、断续连接等特征的无线传感器网络^[14]、车辆网络^[15]、战术通信网等。DTN 的研究领域主要是在无法保证端到端连接性的极端环境下,设计一些架构和协议以满足网络通信的互操作性需求。DTN 具有和传统网络不同的特性,比如在文献[16]中提到路由策略上需要考虑节点移动性、数据缓存和能量消耗等问题。DTN 的网络环境直接决定它有着以下有别于传统无线网络的特点:间歇连接、时延极高、数据速率低、资源有限、寿命有限、随机动态拓扑等。

为了适应各种特殊的网络场景,DTN 的网络协议与传统的网络协议相比在传输层上增加了一个新的协议层来实现数据的存储-携带-转发,即 Bundle 协议层。其结构如图 2 所示。

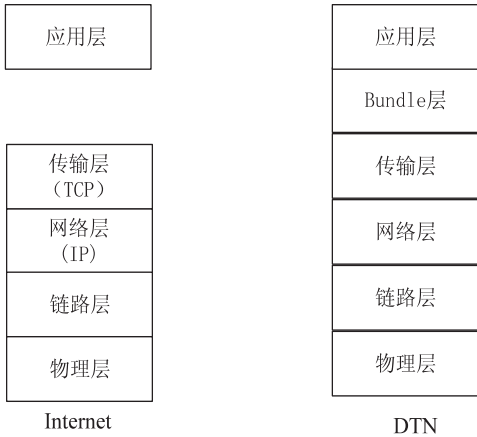


图 2 Internet 和 DTN 协议

由于叠加了一个新层,DTN 的数据传递形式相比于传统的 TCP/IP 有很大不同,由原来的报文分组和报文交换变为数据束。也就是说,第一步各个域网络要把数据包在 Bundle 层中转化成数据束,然后通过 DTN 的传递之后,在目标域网络中还原成正常的数据包的

形式。这样各个网络就可以在不改动原有网络架构的情况下,通过 Bundle 层进行网络间的互联通信以及各种网络操作。

2.2 情境感知能量管理 (CAPM) 休眠机制

文献[17]提出一种在 DTN 网络下通过情境感知能量管理机制对网络中节点进行休眠的方案。图 3 给出了 CAPM 机制的休眠模式,每个节点都有一个固定长度的工作周期。在每个工作周期内,节点只在一个固定时间段 W 内觉醒,其余的时间段 S 都在休眠。假设一个周期的时间为 $C(C = W + S)$,且在第 K 周期内,节点保持完全活跃。这是为了保证任意两个节点

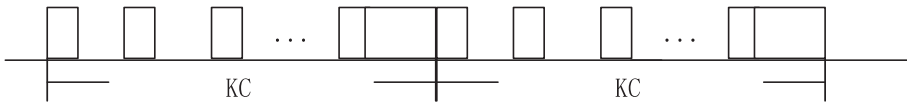


图 3 CAPM 机制休眠模式

从文献[17]的仿真结果中可以看到,在不同节点密度以及网络负载环境下,选择合适的 W, C, K 的值可以让网络节点在休眠的同时不会对网络传输比率、平均时延产生大的影响。CAPM 休眠方案可以适应多种多样的网络环境,节省了大量的能量,同时对网络性能的影响也不明显。

2.3 基于接触时间的休眠机制

文献[18]提出的休眠机制是一种基于历史相遇信息的休眠方案,在网络结构不发生较大突变时,利用历史信息可以有效预测未来的网络状态。在这个机制中每个节点维护一张接触时间表,表中记录了最近 N

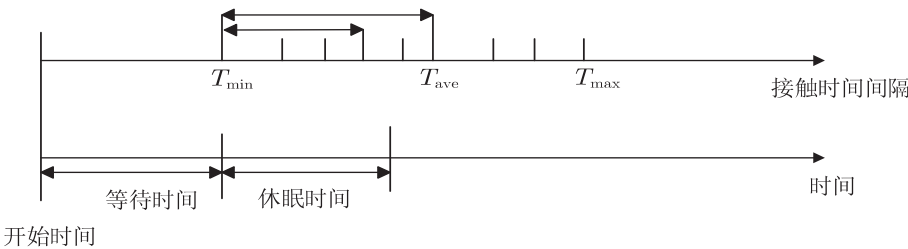


图 4 基于接触时间休眠示意图

这种休眠机制是根据与历史节点相遇信息决定等待时间和休眠时间的长短,接触时间表的长度 N 越大,则记录的历史相遇信息越多,对于休眠时间参数的设置就越准确,但会花费更多的计算时间。仿真结果表明,这种算法在保证消息交付率的基础上降低网络开销和能耗,但平均时延较大,在降低平均时延上需要做进一步的研究。

2.4 自适应异步时钟休眠机制

在对 DTN 网络下的休眠方案的研究中,研究人员提出的休眠方案可以分为同步时钟休眠和异步时钟休眠。同步时钟休眠是网络里的节点在经过时间同步的前提下,在相同的时间间隔被唤醒并进行通信;异步时钟休眠则不需要时钟同步,而是通过一个设定好的休

眠/唤醒时隙结构,每个节点在这个时隙结构中会在特定的时间间隔内被唤醒,而在其他的时间里处于休眠的状态,通过设定好的协议算法保证每个节点与邻居节点的唤醒间隔重叠,在重叠的时间间隔内节点之间可以进行通信。

之间有着共同的觉醒时间,保证网络运行的性能。因此,一个节点的完整工作周期内包含了 K 个觉醒活跃期,在这 K 个活跃期内实现节点之间的相互通信。节点间通信的方式是网络的每个节点在活跃期内周期性地广播信标 (beacon), 当一个节点想要传输数据时,它会在其 beacon 消息上携带一个投递扩展通知,在该通知里包括目标节点的 ID 消息。此时,如果目标节点处于活跃期就会收到该扩展通知,目标节点将发送一个投递接收消息给原发送节点,这样两个节点之间就能够正常通信。

次与其他节点的接触时间,并记录节点与其他节点的接触时间间隔,接触时间的间隔反映了节点之间相遇的频率,根据接触时间间隔的历史信息可以进行休眠时间的设置。节点休眠采用的是“等待-休眠”的分段模式,如图 4 所示,即在休眠前有一段等待时间,如果在等待时间内没有发现其他节点,则节点转入休眠状态。如果在等待时间内发现其他节点,则进行消息传输。接触时间间隔 T^i 分布在坐标轴 $[T_{\min}, T_{\max}]$ 范围内, T_{ave} 是接触时间间隔的平均值,开始时间是每次消息传输完毕或中止后开始计时进入等待阶段,或每次休眠结束后重新开始计时进入下一轮的等待阶段。

眠/唤醒时隙结构,每个节点在这个时隙结构中会在特定的时间间隔内被唤醒,而在其他的时间里处于休眠的状态,通过设定好的协议算法保证每个节点与邻居节点的唤醒间隔重叠,在重叠的时间间隔内节点之间可以进行通信。

文献[19]提出了在一种异步时钟下基于循环差集 (Cyclic Difference Set) 的休眠方案,这种方案在保证网络性能的前提下使节点充分休眠。因为时钟是不同步的,所以不可能保证所有节点会在同一个时隙内被唤醒,为了保证节点间的通信,引入循环差集。在循环差集中引入一个集合 (v, k, x) , 集合中的元素是由 v 个时隙组成的长度为 v 的序列,在这组序列中存在 k 个唤醒时隙,这样就能保证集合中任意两个不同的序

列一定存在 x 个重叠的唤醒时隙。但是,由于 DTN 网络的长延时和节点分布稀疏等特性,使得节点等待通信的时间间隔极为漫长。这就要求循环差集的长度尽可能长一些,以便节点有更多的机会休眠。又因为构建循环差集的条件比较苛刻,难以匹配各种场景要求和时序长度,所以衍生出了两种自适应的休眠方案,分别为 EACDS 和 MACDS。其中,EACDS 是依靠单一的级数集构建不同等级的休眠时序,而 MACDS 是依靠一组不同的级数集合来构建不同等级的休眠时序。这两种自适应的循环差集休眠方案都能够匹配不同休眠时序长度和各种网络场景。

3 结束语

主要围绕未来网络下休眠方案的研究进展,介绍了目前国内外对于未来网络下休眠机制的几种算法及其优缺点。其中,基于 OpenFlow 网络下的节点和链路休眠算法在减少网络能耗的同时增加了网络时延;DTN 网络中的 CAPM 虽能适应不同的网络环境,有效减少了网络能耗,但研究仅限于 Prophet 路由机制下 CAPM 对数据传输性能和能量节省的影响;DTN 网络架构下基于循环差集的休眠方案及其衍生出的 EACDS 和 MACDS 算法则能根据网络环境的要求,在网络时延与能量消耗之间做出平衡。即使如此,仍有涉及未来网络休眠机制的诸多问题和关键技术亟待解决。

未来网络休眠机制研究是一个复杂且艰巨的系统性工程,目前国内外对未来网络架构及其休眠机制的研究仍处于起步阶段,研究工作还面临着很多挑战。除 OpenFlow 网络和 DTN 网络外,未来网络架构还包括 CCN 网络体系架构、PSIRP 网络体系架构、面向服务体系架构(Service Oriented Future Internet Architecture, SOFIA)等。可见,今后的研究范畴不仅包括 OpenFlow 和 DTN 网络休眠机制所涉及的新技术和新方法,而且还应包括上述网络体系架构下的休眠方案研究。

参考文献:

- [1] Global e-Sustainability Initiative (GeSI). Smart 2020report; global ICT solution case studies[R]. [s. l.]; GeSI, 2008.
- [2] Yang D, Shin J, Kim J, et al. An energy-optimal scheme for neighbor discovery in opportunistic networking[C]//Proceedings of the 6th IEEE conference on consumer communications and networking. [s. l.]; IEEE Press, 2009.
- [3] 織田,翔太,野林,等. Flow-based routing schemes for minimizing network energy consumption using OpenFlow[J].

電子情報通信学会技術研究報告=IEICE technical report; 信学技報, 2014, 113: 85-90.

- [4] Gupta M, Singh S. Dynamic Ethernet link shutdown for power conservation on Ethernet links[C]//Proceedings of IEEE international conference on communications. [s. l.]; IEEE, 2010.
- [5] Gupta M, Grover S, Singh S. A feasibility study for power management in LAN switches[C]//Proceedings of the 12th IEEE international conference on network protocols. [s. l.]; IEEE, 2004: 361-371.
- [6] Gupta M, Singh S. Using low-power modes for energy conservation in Ethernet LANs[C]//INFOCOM 2007. [s. l.]; [s. n.], 2007: 2451-2455.
- [7] Bista B B, Takanohashi M, Takata T, et al. A power saving scheme for open flow network[J]. Journal of Clean Energy Technologies, 2013, 1(4): 276-280.
- [8] Bista B B, Fukushima A, Takata T, et al. Reducing energy consumption in wired OpenFlow-based networks[J]. International Journal of Control & Automation, 2014, 7(6): 401-402.
- [9] Comunicações E D. Energy efficient architectures for the current and future Internet[M]. [s. l.]; [s. n.], 2012.
- [10] Farrell B S, Cahill V. Delay-tolerant networking research group[EB/OL]. 2009-08-22. <http://www.dtnrg.org/wiki>.
- [11] Vahdat A, Becker D. Epidemic routing for partially-connected Ad Hoc Networks[R]. North Carolina: Duke University, 2000.
- [12] Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets[C]//ACM SIGCOMM conference on applications. [s. l.]; ACM, 2003: 27-34.
- [13] Burleigh S, Hooke A, Torgerson L, et al. Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary Internet[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(6): 128-136.
- [14] 刘唐, 彭舰, 王建忠, 等. 延迟容忍移动传感器网络中基于节点优先级的数据转发策略[J]. 计算机科学, 2011, 38(3): 140-143.
- [15] Li X, Shu W, Li M, et al. DTN routing in vehicular sensor networks[C]//Proceedings of GlobeCom. [s. l.]; IEEE, 2008: 1-5.
- [16] 苏金树, 胡乔林, 赵宝康, 等. 容延容断网络路由技术[J]. 软件学报, 2010, 21(1): 119-132.
- [17] Xi Y, Chuah M, Chang K. Performance evaluation of a power management scheme for disruption tolerant network[J]. Mobile Networks & Applications, 2007, 12(5-6): 370-380.
- [18] 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.
- [19] Choi B J, Shen X. Adaptive asynchronous sleep scheduling protocols for delay tolerant networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011, 10(9): 1283-1296.