



用于准二维移动容迟容断网络的 实时资源分配策略^{*}

王 颖, 张永晖

(福建工程学院福建省汽车电子与电驱动技术重点实验室 福州 350118)

摘 要: 资源分配是移动容迟容断网络的核心问题之一,影响着容迟容断网络路由甚至整个系统的效率。然而目前移动容迟容断网络的资源分配策略大多基于神经网络和遗传算法的混合算法,计算量大,不利于实时应用。为此根据移动网络可预测环境,提出了接入路由器消息矩阵及准二维接入带宽的约束条件,在此基础上建立了基于效用函数的资源分配策略,以满足实时要求。算法具有 $O(n)$ 的算法复杂度,仿真结果显示切换掉话率和新呼叫阻塞率仅比最优化算法升高约 1/4,计算用时则只有其 36.99%。说明其在保证实时性的前提下仍能提供较好的 QoS。算法可以进一步推广到二维移动场景中。

关键词: 资源分配;移动网络接入;实时;容迟容断网络;效用函数;服务质量

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.06.019

Real-Time Resource Allocation Algorithm for the Quasi-Two-Dimensional Mobile Delay/Disrupt Tolerant Networking

Wang Ying, Zhang Yonghui

(The Key Lab for Automotive Electronics and Electric Drive of Fujian Province,
Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: Resource allocation is one of the core techniques in multi-homing delay/disrupt tolerant networking(DTN), which decides the efficiency of DTN routing, and even affects the whole system. However, schemes based on neural network and genetic algorithms are of computational complexity that is not applied to real-time applications. Therefore the information matrix of access routers and quasi-two-dimensional access bandwidth constraints were designed based on predictable environment of train mobile network, and then an approximation algorithm with $O(n)$ algorithm complexity, based on utility differential, was proposed to meet the real-time applications. Finally simulation showed that call-drop-rate in handover and new call-block-rate only increase by about 1/4, compared with that of the optimized-algorithm, but calculation time decrease down to its 36.99%. It means the algorithm ensures real-time response and could provide good QoS at the same time. The algorithm could be further applied to the real 2-dimensional moving scene.

Key words: resource allocation, mobile internet access, real-time, delay/disrupt tolerant networking, utility function, quality of service

^{*} 福建省自然科学基金资助项目(No.2012J01243)



1 前言

容迟容断网络(delay/disrupt tolerant networking, DTN)近年转为民用。相较于以网络连通为前提的一般网络协议,更适合移动网络的高误码率、频繁中断和大延迟的环境^[1]。目前决定性能的核心问题之一是 DTN 覆盖层上的资源分配^[2]。

现有 DTN 的资源分配机制以随机转发为主流^[3],基于路径不可预测前提,没有利用到多数移动网络的路径可预测条件,若直接应用到准二维移动网络,可能会造成网络资源不必要的占用。2010 年 Zarafshan-Araki M 提出 TrainNet^[4],以车辆网络传输延迟敏感的数据,以海量存储设备提供视频等大流量非实时服务;Lattanzi F^[5]提出卫星网络和蜂窝网络结合的资源分配。但是两者都没有涉及预取机制,都无法满足大流量非实时服务的在线传输需求。2011 年 Varshney P A U^[6]基于路径可预测前提提出借用资源没充分利用的连接带宽资源提高 QoS,利用了预取机制,然而仅在前后一跳的接入路由器之间进行分配。其他场景的分配模型有从网络资源利用的角度、服务提供商(ISP)或消费者的角度,也有从 ISP 和消费者非合作博弈下的纳什均衡角度考虑最优化的^[7-9],但都无法进行简单移植而适用本文环境。

2010 年 12 月提出容迟容断网络多宿移动网络方案^[10],使用存储—转发消息交换体系,使用 DTN 保管传递、多宿以及资源预取机制来优化多宿移动网络性能,其资源分配效用模型与上述方案有一个根本性的区别,资源分配空间从常规的单一时刻单条路径扩展到一个时间段的多条路径,初步实现了最优分配。然而使用的是基于神经网络的遗传算法,迭代次数较多,实时应用对于路由器的硬件要求较高。

通过对上述遗传算法的计算发现,使用上一轮的历史数据而非随机初始化,迭代次数会大为减少。尽管最差情况下迭代次数仍然较大,无法用作实时网络调度算法,然而得到启发,在对准二维移动信息充分利用的前提下,以历史资源分配数据为依据,计算效用的增减,以局部最优来逼近全局最优化,从而减小计算量,从而满足实时应用要求。

2 准二维移动网络前提条件

现今城市和交通干道普遍为蜂窝网络全面覆盖。而部分地区如城市热区,各车站点则存在宽带无线局域网的

热点,以此为背景,基于如下前提条件分析资源分配问题。

(1)AR 信息向量矩阵信息已知

接入路由器(access router, AR)信息向量矩阵信息已知(第 3 节详细说明求解方法),有:

$$\begin{pmatrix} ID(l) & \cdots & ID(k) & \cdots & ID(n) \\ B(l) & \cdots & B(k) & \cdots & B(n) \\ x_s(l) & \cdots & x_s(k) & \cdots & x_s(n) \\ x_f(l) & \cdots & x_f(k) & \cdots & x_f(n) \\ y_s(l) & \cdots & y_s(k) & \cdots & y_s(n) \\ y_f(l) & \cdots & y_f(k) & \cdots & y_f(n) \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中,列代表行车线路 l ; k 是路由器在线路 l 中的顺序号; $ID(k)$ 标志路由器身份的 MAC 地址或 IP 地址; $B(k)$ 是路由器 k 覆盖下的平均带宽; $(x_s(k), y_s(k))$ 和 $(x_f(k), y_f(k))$ 分别是线路 l 开始接入和结束接入 k 的坐标。

(2)通信资源被过量预订

上下行数据带宽不一,路由不对称,上行带宽小于下行带宽。

(3)以效用函数作为尺度

令 $Sigmoid(x)=1/(1+e^{-x})$,则效用函数可表示为^[10]:

$$U(b'(i), \lambda) = U(j) e^{-\alpha Sigmoid(g(j) \cdot (\tau_f(b'(i)) - \tau_f(B(i))/2))} \quad (2)$$

其中, $b'(i)$ 为 P2P 和下载通过资源后取获得的附加带宽, $g(j)$ 表征 S 函数的倾斜系数,与用户和业务相关; $\tau_f(B(i))$ 为请求下载总量, $\tau_f(b'(i))$ 为当前下载量。 $e^{-\alpha}$ 为考虑延迟 λ 影响后再加入修正因子 α 的计算式。

之所以使用效用函数,是因为传统的网络资源分配方法(如优先级调度、资源预留等)不能很好地支持受控服务降级、适应带宽变化^[9],以效用作为评价尺度的资源分配模型则更为灵活,被广泛应用于无线资源分配、功率控制、无线网络中的流控制等研究中^[7-9]。

3 准二维接入带宽约束

合理分配资源的前提是接入路由器信息向量矩阵,这首先要判断移动路由器何时进入 $AR(k)$ 范围。时间预测决定着预取策略实现的好坏,进一步决定未来几跳的接入路由器之间如何分配下载流量。目前有很多好的预取算法可以直接用于 DTN,然而时间预测法可直接用于准二维 DTN 的不多。既有的历史趋势法、时间序列法、卡尔曼滤波、多元回归、交通模拟和神经元网络等方法多半只适用于交通流监控得力的场景,而且考虑的是普适场景,复杂

度过高,不利于实时应用,同时也受到路由器的限制。

考虑到目前 GPS 定位精度已经达到米级、无线传感器网络定位已达到厘米级,可以根据地点分配资源,从而绕过时间预测这一使计算复杂的参数。准二维 DTN 沿线链路容量函数可表达为 $B(t)$,可预知,而且由于沿线链路专用,带宽波动不大,可视为常数。根据运行时刻表 t 可以表示为 (x,y) 的函数,于是有 $B(x,y)$ 已知。

基站中心 $(x_0(k),y_0(k))$ 和半径 $R(k)$ 已知,由于半径一般在 3~5 km,因此穿越轨迹可近似表示为式(3), $A(l)$ 、 $B(l)$ 、 $C(l)$ 是与线路有关的常数,由先后轨迹和 $\arctan \Delta y/\Delta x$ 确定。

$$\begin{cases} x^2-(x_0(k))^2+(y^2-(y_0(k))^2)=(R(k))^2 \\ A(l)x+B(l)y=C(l) \end{cases} \quad (3)$$

以上方程组表示的是穿越轨迹与覆盖区域的交点,即第 2 节中的 $(x_s(k),y_s(k))$ 和 $(x_f(k),y_f(k))$ 。

于是得到准二维接入带宽约束:

$$B_r(x,y)=\begin{cases} B(k), (x_s(k) \leq x \leq x_f(k), y_s(k) \leq y \leq y_f(k)) \\ k=1, \dots, n \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

一般来说,对于任意一点 (x,y) ,有唯一接入带宽约束 $B(k)$ 与之相对应。但对于蜂窝重叠区域,则对应有 $B(k_1)$ 与 $B(k_2)$,对应切换前后的不同接入带宽。最关键的一点是必须通过程序判断 k_1 和 k_2 何者在切换之前,何者在切换之后。

重叠小区中心坐标之差为 $\Delta x_0=x_0(k_2)-x_0(k_1)$, $\Delta y_0=y_0(k_2)-y_0(k_1)$, 配合轨迹差分 Δy 和 Δx 的符号以及两者夹角 $\theta=\lvert \arctan(\Delta y_0/\Delta x_0)-\arctan(\Delta y/\Delta x) \rvert$, 本文提出表 1,以判断 k_2 和 k_1 切换的前后关系。

在此称为准二维,是因为引入轨道的约束条件后, $(x_s(k),y_s(k))$ 和 $(x_f(k),y_f(k))$ 就变得不独立,存在线性相关,可改写为 $l_s(k)$ 和 $l_f(k)$ 的形式。为简化问题起见,认为 $B(k)$ 在覆盖范围内保持不变。事实上,有许多研究者正致力于这一问题研究,以保证接入的公平性。

4 资源分配实时算法

经济学的价格理论可证明,各请求业务 i 按 $\partial U/\partial B(i)$ 值大小排成队列分配资源是最有效率的^[11],为简化算法起见,按差分形式 $\Delta U/\Delta B(i)$ 或 $U/\min(B(i))$ 排成队列。参考文献[12]是先排序再满足队列中所有业务 i 的需求。所用尺度不同。用其思想设计算法 1。

算法 1 效用函数队列调度简化算法 A

输入和输出: QueueASKService (传址)

Procedure_of_initializeA () //资源分配初始化

Begin

For each i in QueueASKService Order i by $U/\min(B(i))$ //计算用户 i 的 $U/\min(B(i,j))$,使用堆排序;

记录对应的最小带宽 $B(i,j)$ 入数组 $Bq()$;

对于接入点 (x,y) ,按表 1 判断 k_1 和 k_2 何者是切换之前,何者在切换之后,从而决定 $B(k)$ 取 $B(k_1)$ 还是 $B(k_2)$ 的值

If (带宽有剩余) and (队列不为空) Then call Procedure_allocation_on_queue ($Bq()$); //调用队列资源分配

While (带宽有剩余) and (队列不为空) //分配边际带宽

For each i in QueueASKService order i by $\Delta U/\Delta B(i)$ //对队列中所有可变带宽业务 i 按照边际效用 $\Delta U/\Delta B(i)$ 进行排序

Record 增量带宽 $\min \Delta B(i)$ 入 $Bq()$ //新分配带宽为 $\Delta B(i)$, CBR 业务不用排序

call Procedure_allocation_on_queue; //调用队列资源分配

End

End

Procedure_allocation_on_queue ($B()$) //按队列进行资源分配

Begin

For each i in QueueASKService //从队头开始,从高到低分配带宽 $B(b)=B(i)$,如无传入数组参数,置最低带

表 1 准二维接入切换前后关系判断表

	$\Delta x > 0, \Delta y > 0$	$\Delta x > 0, \Delta y < 0$	$\Delta x < 0, \Delta y > 0$	$\Delta x < 0, \Delta y < 0$
$\Delta x_0 > 0, \Delta y_0 > 0$	$k_2 > k_1$	if $(\theta < \pi/2), k_2 < k_1, k_2 > k_1$	if $(\theta < \pi/2), k_2 > k_1, k_2 < k_1$	$k_2 < k_1$
$\Delta x_0 > 0, \Delta y_0 < 0$	if $(\theta < \pi/2), k_2 < k_1, k_2 > k_1$	$k_2 > k_1$	$k_2 < k_1$	if $(\theta < \pi/2), k_2 > k_1, k_2 < k_1$
$\Delta x_0 < 0, \Delta y_0 > 0$	if $(\theta < \pi/2), k_2 > k_1, k_2 < k_1$	$k_2 < k_1$	$k_2 > k_1$	if $(\theta < \pi/2), k_2 < k_1, k_2 > k_1$
$\Delta x_0 < 0, \Delta y_0 < 0$	$k_2 < k_1$	if $(\theta < \pi/2), k_2 > k_1, k_2 < k_1$	if $(\theta < \pi/2), k_2 < k_1, k_2 > k_1$	$k_2 > k_1$

注: $k_2 > k_1$ 表示 k_1 在切换之前, k_2 在切换之后; if(J, a, b) 表示如果 J 成立, 有 a; 不成立, 有 b。



宽(或递增带宽)为缺省值 B_m

If (带宽有剩余) and (队列不为空)Then

If $\text{bandwidth}(\text{queue}) \geq B(b)$ Then

allocation(i, $B(b)$)//分配资源

$\text{bandwidth}(\text{queue}) = \text{bandwidth}(\text{queue}) - B(b)$

Else

置标志 $\text{skip}(i)=1$ //如果 $\text{skip}(i)=0$ 说明 i 属于分配队列

End if

End if

Next

End //发送资源预取/后取的相关信令总是最高级别的

服务需求的效用函数随带宽变化不一,满足一轮业务需求之后,业务队列中的 $U/\min(B(i))$ 会发生变化,几乎要重新排列,因此排序的时间复杂度是 $O(n \ln n)$ 。排序最多要经过 $\text{Int}(\text{bandwidth}(\text{queue})/\min(B(i)))$, n 越大, $\text{Int}(\text{bandwidth}(\text{queue})/\min(B(i)))$ 越小,是一个有界的数,可以视为常数级参数。因此整个算法的时间复杂度是 $O(n \ln n)$ 。然而,每次分配之后都要重新排序, $O(n \ln n)$ 的计算量依然不小。

为此,提出改进算法 2 进一步简化算法的时间复杂度。算法 2 增加服务的子优先级,以之分配带宽,实际上是使带宽分配离散化,以减少重新计算的费用。

算法 2 效用函数队列调度简化算法

Procedure_of_enhanced_initialize ()

Begin

按用户 i 和请求业务 j 映射最小带宽等级 $\min B(i, j)$ 。
按客户实际请求和服务提供商的收费标准升降子等级 m 。
// $O(n)$

If ($B_{\text{remainder}} > 0$) and ($\text{count} < \text{sizeof}(\text{queue})$) then
// 带宽有余且队列不空

For $j=5$ to 0 step-1 //从信令开始分配资源

For $m=9$ to 0 step-1

For Each e In group (j, m)

If $\text{bandwidth}(\text{queue}) \geq \min B(i, j)$ Then

Allocation ($\text{bandwidth}(\text{queue}), e, \min B(i, j)$) //分配资源

$\text{bandwidth}(\text{queue}) = \text{bandwidth}(\text{queue}) - \min B(i, j)$

Else

置标志 $\text{skip}(e)=1$; 累加器 $\text{count}+1$ //将 i 剔出队列

End if

Next e

Next m

Next j

End If

End

/* 首次计算按最小带宽需求分配;类似的,如果带宽有剩余,对队列中所有 $\text{skip}(e)=0$ 从高到低分配边际带宽: $+diff\%$; 如果带宽无剩余,则终止。//算法中的效用可以用用户和服务提供商双方效用函数之和。*/

由协议和端口号,可得到服务种类 j 。令 $B_{j,m}(j=0\sim 3, m=0\sim h)$ 表示第 j 种业务的可用带宽等级,按效用值映射基本带宽子级 m ,仿真中取 $h=9$,则 $m=0\sim 9$ 。然而 $B_{j,m}$ 与 $B_{j,m+1}$ 总是相差 $diff\%(m=0\sim 8)$ 。 $j=4, 5$ 时,定义为实时通信,没有带宽变化。设 B_t 为当前网络总带宽, B_A 为当前网络可用总带宽,定义当前带宽忙闲度为 $\delta_{\text{busy}} = \text{Int}((h+1) \times B_A / B_t)$,则分给请求 i 带宽 $B_{j,m}$,业务子级 $m = h - \delta_{\text{busy}}$ 。当网络越繁忙时, δ_{busy} 越大,则分配给的带宽子级越小。因此可自适应调节业务子级。服务子级 m 也可以根据用户要求或其他系统要求进行调整。特殊情况允许 $m < 0$ 或 $m > 9$,为和原有服务种类有区别,仅在资源分配时才仿照十进制计算进位或者退位,对相应的 j 增或减 1;资源分配完毕后,恢复前面的设置。如果这样的情况增加,最方便是增加子级级别;对于业务 j 也可以按照高级用户的类型数目增加,执行相关的资费标准。

算法 2 对业务 i 进行分级计算后,划分到 $\text{group}(j, m)$ 。在 $\text{group}(j, m)$ 中不进行排序,而是按照队列或者链表串起来,因此,算法大大改进。虽然有嵌套循环,但实际执行次数不大于 $\text{Int}(\text{bandwidth}(\text{queue})/\min(B(i)))$,总的算法复杂度是 $O(n)$ 。优于根据参考文献 [12] 提出算法的 $O(n \ln n)$ 。

5 仿真和分析

根据 DTNrg 提供的容迟容断网络体系结构代码 DTN2 和束层协议 LTP 部分源代码,将之植入 NS2,得到本次试验的平台。取 NEMO 优化算法(简称 n 方案)^[13]、SIP+SCTP+NEMO 的方案(简称 S 方案)^[14]、多宿移动网络方案^[10](简称最优算法)及本文算法(称实时算法)。铁道为两条 100 km 的正交十字型,采用 Wi-Fi 小区沿途不完全覆盖(带宽 54 Mbit/s),蜂窝网络带宽 3.84 Mbit/s,假定有 500 个 MS_j ,各类业务的到达时间服从泊松分布。通话也随机产生。

算法在一般微机上运行,CPU 为 4 核 2.0 GHz, 算法执行 1 000 次的平均时间分别是:实时(0.786 s),最优(2.125 s), n 方案(1.524 s),S 方案(0.917 s),如图 1 所示。实时算法的计算用时只有最优算法的 36.99%,n 方案的 51.57%,S 方案的 85.71%,可见在实时性方面具有较大的优势。在保证实时性的场景下,性能差别不大,其结果对比见表 2 和表 3。

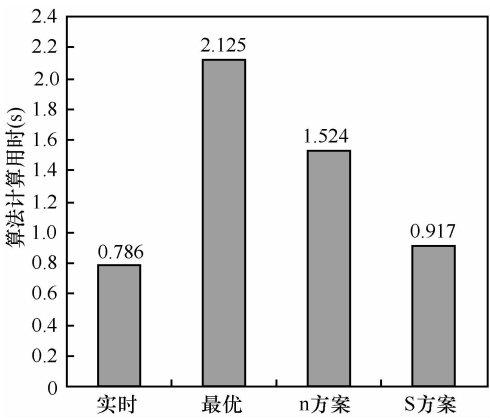


图 1 算法计算用时比较

表 2 切换掉话率

业务量(Erl)	切换掉话率			
	实时算法	最优算法	S 方案	n 方案
16	0.050 66	0.043 99	0.050 90	0.062 77
18	0.055 35	0.054 73	0.063 73	0.067 38
20	0.110 35	0.093 98	0.117 85	0.142 62
22	0.138 58	0.130 82	0.173 32	0.179 34
24	0.149 81	0.140 12	0.185 53	0.196 61
26	0.187 88	0.182 20	0.240 30	0.254 57
28	0.253 35	0.216 19	0.295 86	0.354 41

表 3 新呼叫阻塞率

业务量(Erl)	新呼叫阻塞率			
	实时算法	最优算法	S 方案	n 方案
16	0.064 05	0.048 78	0.056 55	0.074 54
18	0.074 66	0.065 76	0.077 37	0.087 83
20	0.137 76	0.095 22	0.121 59	0.171 74
22	0.175 34	0.145 42	0.187 40	0.222 26
24	0.216 74	0.173 40	0.223 68	0.277 81
26	0.288 55	0.240 70	0.317 66	0.382 56
28	0.413 38	0.310 82	0.414 66	0.575 68

从切换掉话率和新呼叫阻塞率两种指标来看,最优算

法效果最好,实时算法各指标居第二。以实时算法作为除数来比较,切换掉话率最优方案是其 0.85~0.87 倍,n 方案是 1.23~1.41 倍,S 方案是 1.01~1.17 倍。而新呼叫阻塞率,最优方案为 0.76~0.83 倍,n 方案是 1.16~1.39 倍,S 方案是 0.88~1.01 倍。可见相差不大,对于其他算法还有优势。n 方案在准二维移动网络中表现不理想,是由于其根据信号和带宽来选择接入基站,之后又争用蜂窝窄带,导致流量改变较为剧烈。成群切换移出 Wi-Fi 热区时,流量甚至可能下降到 0。实时算法没有为新呼叫特意设计高优先级,因此新呼叫阻塞率较 S 方案为高,但是切换掉话率要低。总的来说相差无几,然而速度上优于 S 方案。尽管最优法大约只有实时化法的 80%,然而其较大的计算量无法应用到实时业务中。因此总的来看,实时化法作为实时性解决方案有一定优势。

从表 2 和表 3 还能看出,业务量在 18 Erl 以下时,切换掉话率和新呼叫阻塞率增加平缓;而 20 Erl 以上时增长较快,业务请求进入了繁忙阶段;业务量从 24~26 Erl,增长迅速,说明此时原有网络的容量已经不足以提供令人满意的服务质量;在业务量在 26~28 Erl 时,各项指标迅速恶化,相关数据没有实际意义。因此,有必要将业务量控制在 22 Erl 以下。

6 结束语

针对准二维移动的容迟容断网络提出资源分配的实时算法,旨在极端环境下提供移动互联网的实时应用。其仿真结果表明,实时算法在保持实时性前提下,能够提供较好的实时 QoS,具有一定的顽健性。算法的适用范围是路径可预知的容迟容断网络环境,但是加入路径预测算法后,也可以扩展到一般化的容迟容断网络环境。将来工作是考虑与路径预测算法的配合,将算法进一步推广到二维移动场景中。

参考文献

1 苏金树,胡乔林,赵宝康等.容延容断网络路由技术.软件学报,2010,21(1):119~132

2 Chen R, Bao F, Chang M, et al. Integrated social and QoS trust-based routing in delay tolerant networks. Wireless Personal Communications, 2012,66 (2): 443~459

3 Zheng E, Luo Q. Spray and wait routing based on ACK-mechanism in disruption tolerant networks. Journal of Computer Applications, 2012,36 (2): 367~369



- 4 Zarafshan-Araki M, Chin K W. TrainNet: a transport system for delivering non real-time data. *Computer Communications*, 2010,33(15):1850~1863
- 5 Lattanzi F, Giambene G, Acar G, *et al.* Admission control and handover management for high-speed trains in vehicular geostationary satellite networks with terrestrial gap-filling. *International Journal of Satellite Communications and Networking*, 2010,28(1):1~27
- 6 Varshney P A U. Novel resource allocation methods to support transaction level quality of service for mobile applications. *International Journal of Mobile Network Design and Innovation*, 2011, 3(4): 239~246
- 7 Orphanoudakis T, Leligou H C, Kosmatos E, *et al.* Future Internet infrastructure based on the transparent integration of access and core optical transport networks. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 2009,1(2): A205~A218
- 8 Brand R, Durairaj R, Lavian T, *et al.* Content-aware dynamic network resource allocation. US Patent 7580349, 2009
- 9 陈晓梅,党岗,苏金树. 引入价格因素的网络资源分配模型与算法实现. *国防科技大学学报*, 2007, 29(6): 75~80
- 10 张永晖,蒋新华,林漳希. 基于中断和时延效用函数的多宿分级 DTN 列车移动网络资源分配模型. *铁道学报*, 2010,32(6): 15~22
- 11 宋亚楠,仲茜,胡成臣. 基于效用函数簇的效用类服务分层调度模型. *电子学报*, 2012, 40(2): 156~162
- 12 Chen L W, Tseng Y C, Wang Y C, *et al.* Exploiting spectral reuse in routing, resource allocation, and scheduling for IEEE 802.16 mesh networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2009, 58(1): 301~313
- 13 任彦,苏伟,张思东等. 列车移动网络关键技术的研究. *铁道学报*, 2006, 28(1): 121~124
- 14 Leu F Y. A novel network mobility handoff scheme using SIP and SCTP for multimedia applications. *Journal of Network and Computer Applications*, 2009, 32(5): 1073~1091

[作者简介]



王颖,女,硕士,福建工程学院实验师,主要研究方向为移动网络、无线接入网络、人工智能。



张永晖,男,博士,福建工程学院副教授、CCF 会员,主要研究方向为移动互联网接入、容迟网络。

(收稿日期:2013-04-03)

(上接第 88 页)

- 8 张雅清,李方伟. 增强 DRX 技术对 TD-LTE 系统节能机制中的研究与应用. *计算机应用研究*, 2010, 27(12): 4758~4760
- 9 Matthew B, Stefania S, Issam T 著. LTE——UMTS 长期演进理论与实践. 马霓, 钨钢, 张学军等译. 北京:人民邮电出版社, 2009
- 10 戴凌龙. TD-SCDMA 终端的低功耗研究及设计. *电子技术应用*, 2007, 33(3): 97~99
- 11 李方伟, 彭喻玮. LTE-Advanced 中继网络中的终端省电机制研究. *重庆邮电大学学报(自然科学版)*, 2012, 24(10): 185~189
- 12 IEEE 802.16m-07/080. IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document, 2011
- 13 Xiao Z, Guo L, Jeto T. Understanding instant messaging traffic characteristics. *Proceedings of 27th International Conference on Distributed Computing Systems(ICDCS 7)*, Toronto, Canada, 2007
- 14 Hong F, Liu R, Hu L T, *et al.* Analysis and characteristic at the chat session level in instant message traffic. *Proceedings of 1st International Conference on Information Science and Engineering (ICISE '09)*, Nanjing, China, 2009

[作者简介]



朱芹,女,重庆邮电大学硕士研究生,主要研究方向为移动通信高层协议栈等。



李小文,男,重庆邮电大学教授,主要研究方向为 TD-SCDMA 系统、TD-LTE 系统等。

(收稿日期:2013-01-29)