

用于多宿容迟移动网络的实时资源分配算法

张永晖^{1,2}, 林漳希³, 刘建华¹, 梁 泉¹

(1 福建工程学院 福建省汽车电子与电驱动技术重点实验室, 福建 福州 350118; 2 中南大学
信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083; 3 德州理工大学 罗尔斯商学院, 美国 TX 79409-2101)

摘 要: 多宿容迟移动网络适用于物流业物联网等误码率高、频繁中断的环境。然而由于其多宿的特点, 其资源分配复杂, 难以保证实时性。针对接纳控制过程的资源分配, 以效用差分法设计资源分配算法, 能够保证过程中的每一步效用单调增加, 同时该算法时间复杂度降低到 $O(n)$, 可以保证实时性。最后将容迟网络协议框架代码 DTN2 和 LTP 植入网络模拟软件 NS2, 就节点稀疏的场景进行仿真。实验结果说明算法能够提供较好性能, 并同时具有良好的实时性。

关键词: 移动网络; 资源分配算法; 效用函数; 容迟网络; 多宿主; 物流业物联网

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)03-0093-04

Real-time Resource Allocation Algorithm on Multi-homing Delay Tolerant Mobile Network

ZHANG Yong-hui^{1,2}, LIN Zhang-xi³, LIU Jian-hua^{1,2}, LIANG Quan¹

(1 Key Lab For Auto. Electronics & Electric Drive of Fujian Prov., Fujian University of Tech, Fuzhou 350108, China;
2 School of Information Science & Engineering, Central-South University, Changsha 410083, China;
3 The Rawls College of Business Admin, Texas Tech University, TX 79409-2101, USA)

Abstract: Multi-homing delay tolerant mobile network can alleviate the high error rate and frequent disruptions effectively, adopted by logistics internet of things. However, its resource allocation algorithms are of computational complexity and poor real-time because of multi-homing. Give a resource allocation algorithm on the access procedure with utility differential method, and can ensure every step utility of processes increasing, with $O(n)$ algorithm time complexity for real-time application. Finally, having implanted delay tolerant network protocol framework code such as DTN2 and LTP in NS2, scenario simulation with parse nodes shows approximation algorithm can still provide satisfied performance and meet the real-time demands.

Key words: mobile internet access; resource allocation algorithm; utility; delay tolerant network; multi-homing; logistics internet of things

1 引言

对移动网络由于中断和切换延迟导致的问题, 基于容迟网络的多宿主移动网络方案提出存储-转发消息交换体系和资源分配效用模型^[1-3]。然而其大都使用遗传算法, 迭代次数较多, 如果用于物流业物

联网, 则无法支其海量数据的实时性传输要求。

计算^[2-4]的遗传算法时, 发现初始化染色体时, 如果完全随机产生, 平均需要 87~158.7 次迭代; 如果使用上一轮的历史数据来初始化, 则迭代次数降低到 21~48.6 次 (100 次平均结果)。然而最差情况下有可能迭代 51.2~88.7 次, 仍无法用于实时资

收稿日期: 2012-06-20; **修回日期:** 2012-07-22

基金项目: 福建省自然科学基金(2012J01243); 福建省工商发展资金(2011704-41-52); 福建工程学院基金(GY-Z10067, GY-Z11065)

源分配.然而,如果放弃遗传算法,专注于计算每一次资源分配时预期效用的增减,则可以根据增减决定分配与否;这样计算量将大为减小,无需多次迭代,从而满足实时应用.类似的算法有 Chen^[4]方案:其按效用排序再依次满足队列中所有业务 i 的需求,然而每次分配后都要重新排序,算法时间复杂度为 $O(n \log n)$,计算量依然不能满意.

本文独特之处(创新点)是:①是按效用的增减而不是仅按效用来排队,因此命名为 differential (以下简称 DF)方案;②算法增加了服务的子优先级,只按服务等级来分配带宽.这使得带宽分配离散化和粗糙化,但是却可以避免资源分配调整过于频繁,从而减少了重算费用.

2 移动网络资源分配前提条件

据公共交通网络特点,设如下条件已知:

(1)接入路由器(access router, AR)向量矩阵信息已知,即 $[AR](l) = (AR_1, AR_2, \dots, AR_k, \dots, AR_n)$, $AR_k = (a(k), B(k), x_s(k), y_s(k), x_f(k), y_f(k))^T$.

l 是路线 ID,则 $[AR](l)$ 唯一,不受行车时刻表变更或晚点的影响.仅当基站 AP 或 AR 变化才需要更新. k 是 AR 的 ID, $B(k)$ 是其平均带宽, $x_s(k)$, $y_s(k)$, $x_f(k)$, $y_f(k)$ 分别是接入开始和结束的坐标,由车载 GPS 或移动基站定位技术得到.由当前位置 (x_0, y_0) 和当前车速 V ,按^[1]可计算下一 AR 接入开始时间 $t_s(k)$ 和结束时间 $t_f(k)$.

(2)考虑各大城市,交通干道主要情况,设研究场景普遍存在窄带蜂窝移动网络(带宽为 B_C)及部分区域存在无线宽带网络(带宽 $B_T(k) \gg B_C$).

(3)资源通常会被过量预订,上下行数据带宽不一,路由不对称.

(4)效用函数统一用 $U(b'(i), \lambda) = U(j) \exp(-\alpha \lambda) * \text{Sigmoid}(g(j) * (\tau_T(b'(i)) - \tau_i(B(i))/2))$ 表示^[2].其中, i 为请求业务种类, $b'(i)$ 为资源分配带宽 $b(i)$ 和资源预取获得的附加带宽 $b_f(i)$ 之和; $\tau_i(B(i))$ 为请求下载总量, $\tau_T(b'(i))$ 为当前下载量, $\exp(-\alpha \lambda)$ 为延迟修正因子. $\text{Sigmoid}(x) = 1/(1 + \exp(-x))$ 常用于表征效用函数, $g(j)$ 为倾斜系数,取 0.05 ^[5].

3 接纳控制算法设计

接纳控制的思想是:

(1)当空闲带宽可供多个(或一个)业务请求时,根据经济学的价格理论^[5]为达到最大效率,将

业务按其最大分配带宽的边际效用 $\partial U_i / \partial B(i)$ 值大小降序排列来分配资源.由于算法针对离散业务,表示为差分形式 $\Delta U_i / \Delta B(i)$.具体表现为:算法按请求业务种类和服务种类内部的子优先级分配带宽.排序仅仅在子优先级 m 内部进行,为最优分配的一种近似,但是带宽分配离散化的结果是减少了多次计算的费用. $j = 5, 4$ 是带宽固定的业务种类,按从高到地依次分派指定带宽; $j = 0 \sim 3$ 时,为可变带宽业务种类,按 j 和 m 依次分配该级最小带宽 $B_{j,m}$.令子级别相差 $\Delta B_{j,m} = B_{j,m+1} - B_{j,m}$,可定为 $\text{diff } j\%$.子级数 m 可根据用户要求或其他系统要求进行调整.

(2)当剩余带宽不够供给任何一个业务请求时,启用微调,全部添加给已分配资源的服务边际效用 $\Delta U_i / \Delta B(i)$ 的最大者.

(3)新业务呼叫/切换的申请有空闲带宽时按 * 触发效用增量计算.如果允许之后增量大于 0 则进行调整,否则拒绝执行.从 t 时刻变化到下一个时间片 $t+1$,总是计算系统下一时刻可能的总效用 $U_{t+1} = \max_R \sum_{i \in k} U_i(R_i)$,如果增加则允许改变,否则就拒绝.式中 k 代表 t 时刻路由器范围内所有通话的 MS 集合.详见算法 1 ~ 算法 3 描述.

(4)注销业务则增加所释放带宽,从略.

算法 1 供调用的通用分配过程

```

Procedure Allocation_Bandwidth( $i, j$ , Array[m0, service])
(1) If count <  $i$  and (Bremainder > 0) then  $\Delta i$  为 sizeof(queue)
(2) For  $j = \text{serviceJ}$  to 0 step -1  $\Delta$ 从信令开始分配资源
(3) For  $m = m0$  to 0 step -1
(4) For Each  $e$  In group( $j, m$ )
(5) If bandwidth(queue)  $\geq$  Array[m, serviceJ] Then
(6) allocation (bandwidth(queue),  $e$ , Array[m, serviceJ])
(7) bandwidth(queue)  $-$  = Array[m, serviceJ]  $\Delta$ 分配资源
(8) Else //将  $i$  剔出队列
(9) 置标志 skip( $e$ )  $\leftarrow 1$ ;累加器 count + 1
(10) End if
(11) Next  $e$ 
(12) Next  $m$ 
(13) Next  $j$ 
(14) End If
END
  
```

算法 2 新呼叫或切换分配过程

Procedure Allocation4Newcall _ HO (minB[i], deltaB[$m0, j$])

△当系统有空闲带宽,按平均带宽分配带宽.恒有 U 增加;

(1) If Bremainder > 0 then
 (2) Call Allocation_Bandwidth(1,6, minB[$m0, 6$])
 (3) Call Allocation_Bandwidth(1,3, deltaB[$m0, 3$])
 (4) Else △当系统无带宽,则减少正在进行呼叫的带宽:从最低优先级业务开始,将带宽等级标记为最小带宽.
 (5) For $j=0$ to serviceJ △从 0 级业务开始
 (6) For $m=9$ to 0 setp -1 △减少资源子级直至最小带宽

(7) For Each e In group(j, m)
 (8) If $B(e) > \min B(e)$ and skip(e) = 0 then
 (9) If MarkBremainder $< \min B[i]$ then
 (10) MarkDecreaseBandwidth(e , deltaB[m, j])
 (11) MarkBremainder $+= \text{deltaB}[m, j]$
 (12) Else
 (13) allocation(i, e , Bremainder) △分配资源
 (14) End △跳出循环
 (15) End if
 (16) else
 (17) 置标志 skip(e) $\leftarrow 1$; 累加器 count $+1$
 (18) End if
 (19) Next e
 (20) Next m

(21) Next j △下面试图中止正在进行呼叫的低优先级带宽:从最低优先级业务的开始,将带宽等级标记为可删除:

(22) If MarkBremainder $< \min B[i]$ then
 (23) For $j=0$ to serviceJ △从 0 级业务开始
 (24) For $m=9$ to 0 setp -1
 (25) For Each e In group(j, m)
 (26) If MarkBremainder $< \min B[i]$ then
 (27) MarkDecreaseBandwidth(e , minB[e])
 (28) MarkBremainder $+= \min B[e]$

△计算效用增减 $\Delta U = U_{\text{New}} - \sum U_i - \gamma(U_{\text{HO}}(B(i_N)) - (1 - \beta)U_d)$. 公式中 U_{New} 表示接入切换呼叫带来的收益; U_d 为中止正在进行的呼叫带来的损失; γ 为设定系统的切换掉话率权重,切换呼叫的优先级越高,权重值越大,通过调整 γ 可以改变掉话率对系统服务质量的影响(本文实验采用 γ 等于服务级别); β 为 boolean 变量,当拒绝切换呼叫时,取值为 0; 当接受切换呼叫时,取值为 1.

△如果 $\Delta U \leq 0$,不分配带宽,算法结束;如 $\Delta U > 0$,则带宽重新分配,按照标记执行:中止呼叫.

(29) ElseIf $U_{\text{New}} - \sum U_i - \gamma(U_{\text{HO}}(B(i_N)) - (1 - \beta)U_d) > 0$ then
 (30) DoKillMarkDecreaseBandwidth()
 (31) Allocation_Bandwidth($i, 6$, Bremainder)

(32) End
 (33) else
 (34) 置标志 skip(e) = 1; 累加器 count $+1$
 (35) End If
 (36) End if
 (37) Next e
 (38) Next m
 (39) Next j
 (40) else
 (41) DeMarkDecreaseBandwidth(e , deltaB[m, j])
 (42) MarkBremainder $\leftarrow 0$
 (43) Endif
 END

算法 3 简化效用函数接纳控制算法

Procedure Access_on_Enhanced_Utility ()

△对应解释(1),当队列不空且带宽有余时,首次按最小带宽需求分配;如果仍有剩余,则对队列中标志 skip(e) 为 0 的业务再次降序分配边际带宽:直到带宽无剩余,则终止.

(1) minB[i] 初始化 △按用户 i 所属业务 j 等级映射最小带宽.

(2) Call Allocation_Bandwidth($i, 6$, minB[9,6]) △ $O(n)$

△group(j, m) 中并不进行排序,仅按照队列串连,因此算法效率大为改进.虽有嵌套循环,但实际执行次数不大于 $\text{Int}(\text{bandwidth}(\text{queue}) / \min(B(i)))$,总算法时间复杂度度是 $O(n)$. 优于根据文献^[4]提出的算法 $O(n \log n)$.

△下面是第二轮剩余带宽的分配,剩余带宽不够一个完整业务的需求,则加给其他可变带宽($j=3 \sim 0$).其复杂度仍为 $O(n)$,但是一般最多分配 3~4 次剩余带宽即告罄.

(3) 将 $\Delta B_{j,m}$ 映射到数组 deltaB[i, j]
 (4) Call Allocation_Bandwidth($i, 3$, deltaB[9,3]) △ $O(n)$
 (5) If Newcall or Handover Then △调用算法 2
 Call Allocation4Newcall_HO(minB[J], deltaB[9,3])
 END △最多步数不大于全体节点数的两倍($2n$),即 $O(n)$.

4 仿真和分析

将 IRTF 工作组 DTNrg(www.dtnrg.org) 容迟网络协议框架 DTN2 和束层协议 LTP 代码植入 NS2,比较本文算法(简称 DF)与最优算法[1]、NEMO 优化算法(简称 N+)^[6],及 Chen^[4]方案(简称 Chen). 模型采用 wifi 小区沿途不完全覆盖,直径为 1km (站点数 k 分别为 20, 40, 80, 140, 200). 设 Wifi 网络带宽 54Mbps,蜂窝网络带宽 3.84Mbps. 车辆在两条 100km 的正交十字型的道路上运行,速度为 350km/h,并作规律性的停止,从上到下,从左到右.假定有 500 个 MS_j ,各类业务的到达时间服从泊松分布,移动站 MS_{p1} 请求业务 t_p 精确到 0.1 秒,

时长 $t_0 \sim t_4$ 服从负指数分布, 均值分别为 3000s, 100s, 200s, 100s, 200s, $j=4 \sim 0$ 依次为信令业务定 34kbps; 语音带宽取 $r_{v-\min} = 12\text{Kbit/s}$; 参数取 $U_{\min} = 1.5$; $U_v = 4$; 多媒体流为 350kbps, 电子邮件类 30kbps, 数据库类 200kbps, 交互式应用 200kbps, 每一子级相差 5%. 资源预取设命中率为 0.85, 结果如图 1~图 3 所示.

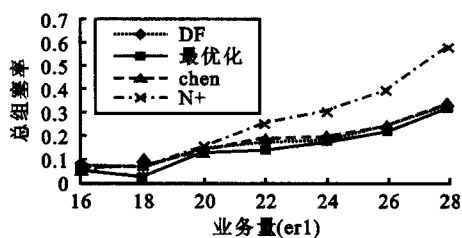


图 1 总阻塞率

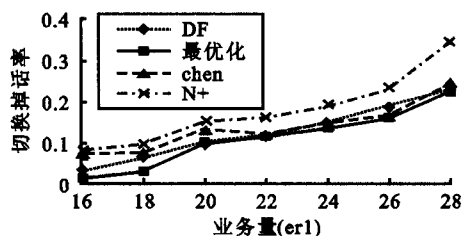


图 2 语音业务的切换掉话率

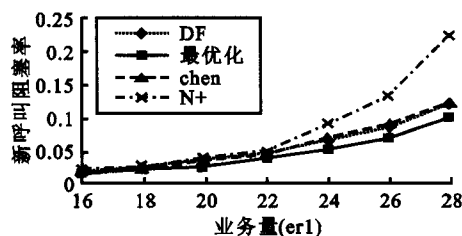


图 3 新呼叫阻塞率

在普通微机上 500 次执行平均时间对比如下: DF 算法(1.0923s), 最优算法^[1], 及 Chen^[4] 方案(2.3892s). 可见算法实时性 DF 方案最好, N+ 方案其次, Chen 方案居中, 而最优算法最慢. 而执行效率 DF 算法与 Chen 相差无几, 略逊于最优方案, 而各方面均大大优于 N+ 方案. 这是因为 N+ 方案没有针对容迟网络场景做优化, 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, 尤其是 NEMO 成群切换移出 WiFi 热区时, 流量可能下降到 0.

新呼叫阻塞率 DF 算法比 Chen 方案略差. 因为, DF 算法是以切换优先, 但两者相差仅仅为 $-0.00072 \sim 0.00748$, 可忽略不计.

效用分级机制是按数据包所携带信息的重要度、而不仅仅只根据服务的类型进行分级; 旨在灵活实现等级升降调整, 过滤数据流中高于预约服务等级的非必要数据, 从而保障重要信息, 以满足异质网络中不同等级的端到端 QoS 要求.

其优点在于可针对每一类业务甚至具体的业务实行不同的策略. 如对切换掉话率的处理通常假定掉话用户的满意度(效用)下降更大, 然而事实上不同类业务掉线的负效用不一, 同一类业务优先级不同而掉线的负效用不一, 以不同的效用函数参数来描述可以更有针对性. 其优点还在于可让预留信道的阈值精确适应话务量变化, 与概率路由^[7]相结合, 更进一步可用于容迟网络 QoS 路由. 如按照概率和效用的乘积预留信道, 以保证 QoS 路由的相应带宽. 最后, 低优先级业务如果根据用户或用户群请求调高相应参数, 也可能得到优先执行, 如多人请求的战况实时组播就可以优先于个人视频通讯.

5 结束语

文中提出实时性资源分配次优算法, 用于容迟网络的初始化过程和接纳控制过程, 在不明显降低性能的前提下, 达到了 $O(n)$ 算法时间复杂度, 能在极端环境下提供移动互联网的实时应用, 灵活实现了等级升降调整, 以保障重要信息, 其优点在于可针对具体的业务实行不同的策略, 从而满足异质网络中不同等级的端到端 QoS 要求.

将来工作是与概率路由相结合, 更进一步拓展到容迟网络 QoS 路由.

参考文献:

- [1] 张永晖, 蒋新华, 林漳希. 基于中断和时延效用函数的多宿主分级 DTN 列车移动网络资源分配模型 [J]. 铁道学报, 2010, 32 (6): 15-22.
- [2] Yeh W C, Wei S C. Economic-based resource allocation for reliable Grid-computing service based on Grid Bank [J]. Future Generation Computer Systems, 2012, 28 (7): 989 - 1002.
- [3] Angelides MC, Sofokleous A. A game approach to optimization of bandwidth allocation using MPEG-7 and MPEG-21 [J]. Multimedia Tools and Applications, 2012, 67 (7): 1-23.
- [4] 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 [J]. IEEE

(下转第 101 页)

tionary Computation, 2008,12(3):269-283.

- [8] Saha S, Bandyopadhyay S. Use of different forms of symmetry and multi-objective optimization for auto-

matic pixel classification in remote sensing satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010,31(22): 5751-5775

作者简介:



李金忠 男,(1976—),硕士,副教授,CCF 会员.研究方向为服务计算、智能算法、网格计算.

夏洁武 女,(1969—),硕士,教授,CCF 会员.研究方向为服务计算、智能算法.

刘昌鑫 男,(1963—),男,硕士,教授.研究方向为计算机网络、信息隐藏.

曾劲涛 男,(1978—),硕士,副教授,CCF 会员.研究方向为服务计算、智能算法、网格计算.

(上接第 96 页)

Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58 (1): 301-313.

- [5] 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[J]. 电子学报, 2012, 40 (2): 156-162.

- [6] 任彦, 苏伟, 张思东. 列车移动网络关键技术的研究[J]. 铁道学报, 2006, 28 (1): 121-124.

- [7] 杜方, 汪芸. 移动网络环境中混合式任务调度策略的研究与实现 [J]. 微电子学与计算机, 2011, 28 (8): 162-165

作者简介:



张永晖 男,(1973—),博士.研究方向为移动互联网接入、容迟网络.

林漳希 男,(1953—),博士.博士生导师.研究方向为 QoS 路由和网络安全.

刘建华 男,(1967—),博士.副教授,研究方向为移动网络、机会网络.

梁泉 男,(1972—),博士.副教授,研究方向为移动网络、机会网络.