

基于位置的开放式容迟网络路由算法

张永晖^{1,2}, 林漳希³, 蒋新华^{1,2}, 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 德克萨斯理工大学 商学院, 美国 TX 79409-2101)

摘 要: 移动环境下互联网接入网络频繁中断, 需使用容迟网络协议。然而时间概率不确定性导致 DTN 路由算法的先验知识计算复杂, 文中提出基于空间的路由算法以消除。进一步由接入路由器信息矩阵决定实现接入路由器的 k 集合, 提出广义 k 选播以缓解概率不确定性, 使用效用最大化的规划模型, 在整个许可时间段和 k 个路由器之间进行路由和资源分配, 结合 DTN 的托管传送, 可以对多个目的地同时传送数据包。仿真验证了传输性能和鲁棒性整体较优, 能灵活支持开放式网络拓扑结构变化。

关键词: 移动互联网接入; 容迟网络; k 选播; DTN 路由; 效用

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)09-0087-04

Open Delay Tolerant Network Routing Algorithm Based on Location Information

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

(1 Key Lab For Auto. Electronics & Electric Drive of Fujian Prov., Fujian University of Technology, Fuzhou 350108, China;

2 School of Information Science & Engineering, Central-South University, Changsha 410083, China;

3 College of Business Admin, Texas Technology University, TX 79409-2101, USA)

Abstract: Mobile Internet access must deal with frequent network disruption, segmentation and highly error rate. Delay tolerant network protocol can help it. However, in this circumstance, the knowledge oracle, that DTN routing algorithms need, is probabilistic uncertain. So a space-based routing algorithm was proposed to eliminate it. Access router information matrixes in Path Predictable Environment were designed to decided k -Anycast router aggregate, so that the generalized k -Anycast can moderate traffic explosion. Utility maximization model allocates bandwidth resources to k eligible access routers in access period, with DTN custody transfer, can be transmitted packets simultaneously to multiple destination. Simulations show that it gains better transmission performance and robustness and more flexibility to support open network topology changes.

Key words: mobile internet access; delay tolerant network; k -anycast; DTN routing; utility

1 引言

高速移动网络难以保证网络连通性, 移动 IP、NEMO, SIP 等基于网络连通性前提的方案性能不佳^[1]。容迟网络(Delay Tolerant Network, DTN)协议可解决这一问题, 然而高速移动带来了时间上的

概率不确定性, 导致基于路径可预测的所有六类 DTN 路由算法的先验知识计算复杂, 无法满足实时性^[2]。

因为移动网络空间上的每一点路由都是确定的, 将先验知识表示为空间的函数, 可以避免计算对数正态分布这一概率不确定性。以接入路由器信息

收稿日期: 2012-02-06; 修回日期: 2012-03-09

基金项目: 福建省自然科学基金项目(0212J01243); 福建省工商发展资金企业技术创新专项(2011-41-52); 福建工程学院基金(GY-Z10067, GY-Z11065)

矩阵增加先验知识的准确性,并提出广义 k 选播以弱化不确定性的影响,DTN 路由问题也就转化为资源分配问题^[3],在效用最大化模型^[4]的接入路由器(AR)集合里分配带宽资源,被选中的 k 个 AR 联合起 DTN 渡轮的作用.不同于一般只考虑某一时刻的路由和资源分配,本文要考虑整个许可空间上对一组路由器进行路由和资源分配.

2 接入路由器信息矩阵

对于交通运输等 DTN 环境,拓扑结构随时间和空间变化是已知的,可以建立基于时空变化的接入路由器信息矩阵.一般把链路容量函数表达为一个通用的带宽函数,即 $B(t)=B(t(x,y))$;接入网络的期望带宽与时间无关,只与地点有关;则有 $B=B'(x,y)$;如果已知基站的中心 $(x_0(k),y_0(k))$ 和半径 R ,则根据穿越轨迹与半径 R 的交点,可以很容易地求出开始接入和结束接入的坐标 $(x_s(k),y_s(k))$ 和 $(x_f(k),y_f(k))$.对于铁道,城市轻轨等应用,可以将先验知识直接表示为接入路由器(Access Router, AR)矩阵信息,有

$$[AR](l)=(AR_1,AR_2,\dots,AR_K,\dots,AR_n)$$

其中 $AR_K=(a(k),B(k),(x_s(k),y_s(k)),(x_f(k),y_f(k)))^T$.

将移动网络接入路由器所辖 AP 范围看作是移动网络接入路由器范围,以圆形覆盖: $R(k)$ 为接入路由器 AR_K 的覆盖范围半径.此时有

$$B_T(x,y)=B(k) \quad (1)$$

$$\sqrt{(x_0(k)-x)^2+(y_0(k)-y)^2} \leq R(k)$$

这是节点对整个网络 DTN 相关链路容量随地点位置变化的函数 $C_{ij}(t)$,只依赖地理信息,与时间无关.也就是说路由先验知识与历史信息无关,而只与拓扑结构有关;因此可以使用基于空间的表驱动路由,除非拓扑结构变化(如网络变更)才需要对路由表进行维护和更新;这样开销是很小的.

得到信息矩阵以后,就可根据覆盖半径范围确定路由器的选播候选集合.

3 广义 k 选播

2006 年 Wu. B 和 Wu. J 针对 ad-hoc 环境提出 k 选播(Anycast)^[5],2009 年修改后用于 IPv6^[6].然而在路径可预测的 DTN 移动网络中,可选路由器 k 的选播候选集合数 n 随时间变小,而不是 k 选播认为的 n 不变.因此将上述概念扩展到广义 k-选播(General k-anycast, G-cast).

如果说组播是访问同一 Multicast 地址所标识的一组 n 个组成员^[7],任播只访问 Anycast 候选集合中距离源主机某一尺度最近的一个成员,那么 k-Anycast 则以某一阈值为界限,访问组中距离源主机某一尺度最近的 k 个成员($1 \leq k \leq n$).而 n 随时间变化.不同于选播,可以传递到多个目的地;不同于组播,多个目的地的信息包不重复,而只有在多个目的地的信息包合并后成为一个完整的信息.从定义可以看出 Unicast Multicast 和 Anycast 与 k-Anycast 是广义 Anycast 的特殊情况.

在 DTN 覆盖层上使用 k 选播,可以避免路由聚合问题、目的地址不受限于路由器;并对选播进行改造,使之可以同时进行选定节点的传输.使用 DTN 选播服务后,IP 层的路由器不需要增加多余的功能,不必考虑包被发往一个还是多个主机,因此不但适用于 IPv6,也可以支持 IPv4.

k-Anycast 组中的所有 n 个成员的参数向量 $C=(c_0,\dots,c_i,\dots)$ 必须满足

(1) $g(C) \leq f(C) \leq G(C)$; $g(C)$ 和 $G(C)$ 表示基于 C 的最小和最大约束函数,是属于有序集合函数列 g 和 G 中的一员;有序集合中 g 和 G 是 C 的量度.比较简单的情况下,可以让 $g(C)$ 和 $G(C)$ 等于某个函数列 g 和 G 中的一个常数;

(2) 可以根据不同尺度距离(根据不同服务要求,可以选取不同的尺度来度量服务 QoS,例如效用,或者简单地使用某种性能,如距离、延迟、跳数等).选取其中 k 个成员,要求($1 \leq k \leq n$);

(3) k 个成员可以同时传输、接力传输,也可以根据负载情况彼此无关地进行传输和停止传输.

(4) 本模型中,每个成员都可以作为信息的汇聚点,都有计算和分配资源的能力.成员名字二元组(Name Tuples)作为群名二元组(Group Tuples)的成员加入广义 k-选播集.当任何一个成员收到请求时,会作为代理获得服务参数,如带宽延时,和最小最终吞吐量,成员还可以接受群名二元组(Group Tuples),实现群名二元组(Group Tuples)到名字二元组(Name Tuples)的转换.实现模糊匹配.

G-cast 让可变的 n 个 DTN 路由器响应同一个选播地址.并自动查找满足最大化效用条件的 DTN 路由器集,协作提供服务.效用条件根据文中提出的统一效用函数^[4]计算. G-cast 追逐实现了多路传输,起到鲁棒性和负载均衡作用.

4 路由算法

大多数路径可预测 DTN 路由算法是修改 Di-

jkstra 或 ford 算法中的路由代价而得到的. 如 MED 的代价是各链接平均延时, ED 是各链接在指定时刻准确延时 $w(e, t)$ (边 e 在时刻 t 的权值), MED 是平均延时, EDLQ, EDAQ, LP 也是如此. 因此也对经典的链路状态算法进行改变, 以中断和时延的统一效用函数 $U(b(i))$ 作为代价^[4]:

$$U(b(i)) = \exp(\beta(-d_T + d_{AVE}) - \alpha\lambda U(j) * \text{Sigmoid}(g(j)(\tau_T(b(i)) - \tau_T(x, y))/2)) \quad (2)$$

其中, $b(i)$ 表示连接 i 的带宽; d_{AVE} 为平均时延, d_T 为当前时延; $\tau_i(B(i))$ 为请求的传输总量, $\tau_T(b(i))$ 为当前传输量; j 为业务种类, 不同 j 参数 β, α, λ 不同. Sigmoid 函数被广泛用于表征效用函数, 形式如下:

$$\text{Sigmoid}(X) = 1/(1 + \exp(-X))$$

X 对于本文来说就是分配的带宽 $b(i)$. $g(j)$ 表征为 Sigmoid 函数的倾斜系数, $h(j)$ 为平移系数.

使用式(1)作为代价的表达式, 并用接入路由器信息矩阵消去时间的对数正态分布, 可以提出基于位置信息的 Dijkstra 算法. 描述如下:

网络抽象为连通图 $G(V, E)$, V 表示顶点集合, 一般是路由器的集合 E 表示边集合, 一般是传输线路的集合. S 是源节点. ED 算法是将 $w(e, t)$ 作为代价, t 是路由的当前时刻; 本文则修改代价为 $w(e, U(b(i)))$, $U(b(i))$ 中消去了时间 t , 描述边 e 随节点位置变化而改变的权值, $L(u)$ 是节点 u 的 Dijkstra 标记, 为源节点 s 到 U 的最小权重和.

算法 1 基于位置以效用为代价的 Dijkstra 算法

```

输入:  $G=(V, E), s, T, w(e, U(b(i)))$ 
输出:  $L$ 
 $Q \leftarrow w$ 
 $L[s] \leftarrow 0, L[v] \leftarrow \infty \forall (v \in V) \text{ s. t. } v \neq s.$ 
while  $Q \neq \emptyset$  do
    Let  $u \in Q$  be the node s. t.
     $L[u] = \min\{L[x]\} (x \in Q)$ 
     $Q = Q - \{u\}$ 
    for each edge  $e \in E$ , s. t.  $e = (u, v)$  do
        if  $L[v] < (L[u] + w(e, U(b(i))))$  then
             $L[v] \leftarrow L[u] + w(e, U(b(i)))$ 
        end if
    end for
end while
}
```

算法 1 和 ED 思想一致, 时间复杂度没有增加, 所需要的先验知识也没有增加, 然而用位置关系消

去了时间, 避免了不确定性带来的计算复杂性.

5 仿真与分析

IRTF 工作组 DTNrg 在 dtnrg.org 提供了 DTN 的协议框架, 将代码 DTN2 和 LTP 代码植入 NS2, 自行编写本文算法, 得到试验平台.

设线路为两条 100km 的正交十字型, 采用 WiFi 小区沿途不完全覆盖, 直径为 1km (站点数 $k = 20, 40, 80, 140, 200$). 速度 $v = 350\text{km/h}$, 每 10km 停车 60s, 从上到下, 从左到右. 设 WiFi 网络带宽 54Mbit/s, 蜂窝网络带宽 3.84Mbit/s, 假定有 500 个 MS_j , 各类业务的到达时间服从泊松分布, 用户到达相互独立, 移动站 MS_{pi} 请求业务 t_p 精确到 0.1s. 不同的业务组合服务等级为: 0-下载类; 1-Email 类; 2-IM 类; 3-VBR; 4-CBR; 5-DTN 信令, 0 到 4 级业务所占业务组合的比例依次为: 50%, 5%, 10%, 15%, 18%, 时长 $t_0 \sim t_4$ 服从负指数分布, 均值 $1/\mu$ 取 3000s, 100s, 200s, 100s, 200s. 对于通信带宽, 业务 4 取固定值 12.0kbit/s, 业务 5 固定为 34kit/s. 对车辆速度引入随机变量 $V = \xi + V_{\max}$, ξ 服从正态分布, 有 $\xi \sim N(0.1 \times V_{\max}, 1)$.

目前没有相近的高速移动 DTN 网络模型可供比较, 2009 年文献[8]提出一种普适性 DTN 多播算法 (后面以作者头三字母 San 作为简称), 不区分业务组合, 用其思想做对比仿真实验, 如图 1~4 所示. 数据点取 10 次平均.

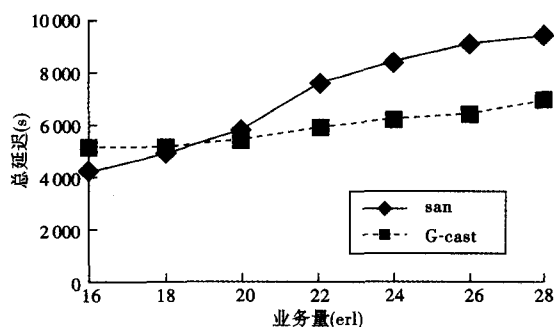
G-cast 的设计思想就是按效用决定 CAC, 希望牺牲较低类的延时以换取较高类业务的 QoS. 因此 0 类业务只计算单个信息包的延时会比 san 方案差很多, 没有可比性. 方案只比较文件传输总延时. 出乎意外, 0 类业务虽然优先级较低, 但在业务量超过 20erl 时, G-cast 的总延迟反而比 san 方案好. 细究其原因, 是因为 G-cast 对 k 个相关路由器进行多路保管传输, 之后一次性上传. 因此在节点业务繁重的情况下, 只要局部无线网络的带宽没有消耗完, 就可以继续增加流量, 此时吞吐量明显要好, 从而总延迟要小. San 方案对于时间估计有误差, 导致保管传输未在一性性上传之前完成, 此时尽管 san 方案有足够的带宽, 然而受制于之前较小的网络业务量. 0 类掉话率 G-cast 较优是因为 San 方案没有对多媒体类服务进行资源管理.

1-3 类 G-cast 略优, 从略. 4 类 CBR 语音通信和 5 类信令通信各项指标都优于 San 方案, 见图 2~3. 因为 G-cast 根据效用所作优化将压制 0 类业务、保

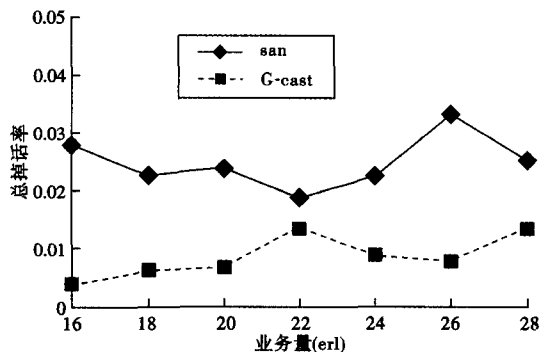
证 4、5 类业务的服务质量。

有效带宽利用率定义为总传输的数据与总流量之比,见图 3,可见在业务量 20~22 之时发生比较剧烈的变化。业务量小于 20 时,本方案与 san 方案相差不大,这说明 DTN 束层数据和 G-cast 信令虽然增加了部分开销,但占总流量的比例不大。在业务量大于 20~22 之后,本方案明显要优于 san 方案,说明本方案对于流量爆炸场景控制较好。广义 k 参数的引入能够缓解类似于 O2 网络阻塞的问题,这是通过充分利用不同路线的空闲时段和空闲路段来实现的,而这部分空闲时段/闲路段是一个完整的任务无法利用的。

综上,G-cast 整体优于 San 方案。



(a) 下载总延迟



(b) 掉话率

图 1 (0 类) 下载类/多媒体流

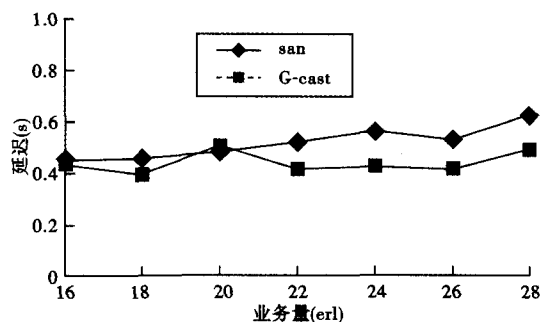


图 2 (4 类) CBR 中的延迟

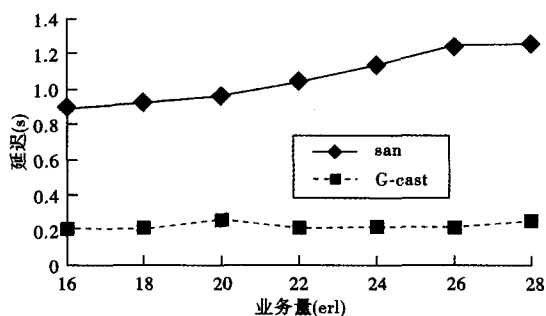


图 3 (5 类) 信令类通信的延迟

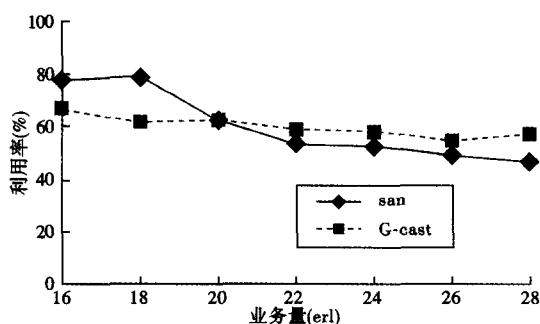


图 4 有效带宽利用率

6 结束语

基于地址的 DTN 路由算法计算简单容易实现,消去了先验知识在高速移动网络环境下的概率不确定性;其中广义 k-选播概念的提出,使得同时对可变路由器集合进行多点传输成为可能,相当于增加了传输路径。而用效用作为路由选择的代价,可以灵活地支持开放式网络拓扑结构的变化,这对于保持开放式网络的负载均衡,缓解流量爆炸,以及提高网络的鲁棒性有着实际意义。

参考文献:

- [1] Pack S, Kwon T, Choi Y, et al. An adaptive network mobility support protocol in hierarchical mobile ipv6 networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58 (7): 3627-3639.
- [2] 苏金树, 胡乔林, 赵宝康, 等. 容迟容断网络路由技术 [J]. Journal of Software, 2010, 21 (1): 119-132.
- [3] 樊秀梅, 单志广, 张宝贤, 等. 容迟网络体系结构及其关键技术研究 [J]. 电子学报, 2008, 36 (1): 161-170.
- [4] 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.

(下转第 94 页)

- [J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(10): 63-67.
- [2] Zhang L, Zhu J, Yao T. An evaluation of statistical spam filtering techniques[J]. ACM Transactions on Asian Language Information Processing, 2004, 4 (13): 243-269.
- [3] Androutsopoulos I, Koutsias J, Chandrinos K, et al. An experimental comparison of naive bayesian and keyword-based anti-spam filtering with personal e-mail messages[C]//Proceedings of the International ACM SIGIR Conference. Athens: ACM Press, 2000: 160-167.
- [4] Adwait R. A simple introduction to maximum entropy models for natural language processing[R]. University of Pennsylvania, 1997.
- [5] Yang Y, Pedersen J. A comparative study on feature selection in text categorization[C]//Proceedings of IC-ML-97, 14th International Conference on Machine Learning. San Francisco: IEEE Computer Society, 1997: 412-420.
- [6] Internet Engineering Task Force (IETF). RFC821: simple mail transfer protocol[EB/OL]. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc821.txt>. 1982.

作者简介:



陈 炼 男, (1963—), 副教授. 研究方向为网络技术与网络信息安全.

(上接第 90 页)

- [5] Wu B, Wu J. k-Anycast routing schemes for mobile ad hoc networks [C]//Proceedings of IEEE IPDPS 2006 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2006). 2006 Rhodes Island, Greece: Citeseer. 27-35.
- [6] Wang X N, Tang Z M, Qian H Y. Study and design of k-Anycast communication model in IPv 6 [J]. Journal of China Institute of Communications, 2009, 30 (6): 120-125.
- [7] 张园园, 余镇危. 基于覆盖网络的应用层选播服务的设计与研究 [J]. 微电子学与计算机, 2011, 28 (12): 72-74.
- [8] Santiago J, Casaca A, Pereira P R. Multicast in delay tolerant networks using probabilities and mobility information [J]. I. J. of Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, 2009, 7 (1/2): 51-68.

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.

蒋新华 男, (1956—), 博士生导师. 研究方向为智能交通通信、高速移动网络.

梁 泉 男, (1972—), 博士, 副教授. 研究方向为移动网络、机会网络.