

基于局部路由策略的复杂网络拥塞控制

刘伟彦 刘斌

Congestion control in complex network based on local routing strategy

Liu Wei-Yan Liu Bin

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 63, 248901 (2014) DOI: 10.7498/aps.63.248901

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.248901>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2014/V63/I24>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于节点间依赖度的社团结构划分方法

Partitioning community structure in complex networks based on node dependent degree

物理学报.2014, 63(17): 178901 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.178901>

基于时滞耦合映像格子的多耦合边耦合网络级联抗毁性研究

Study on cascading invulnerability of multi-coupling-links coupled networks based on time-delay coupled map lattices model

物理学报.2014, 63(7): 078901 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.078901>

基于相继故障信息的网络节点重要度演化机理分析

Evolution mechanism of node importance based on the information about cascading failures in complex networks

物理学报.2014, 63(6): 068902 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.068902>

基于节点度信息的自愿免疫模型研究

Analysis of voluntary vaccination model based on the node degree information

物理学报.2013, 62(21): 218901 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.218901>

基于超图结构的科研合作网络演化模型

An evolving model for hypergraph-structure-based scientific collaboration networks

物理学报.2013, 62(19): 198901 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.198901>

基于局部路由策略的复杂网络拥塞控制*

刘伟彦^{1)2)†} 刘斌¹⁾

1)(江苏开放大学信息工程系, 南京 210017)

2)(威斯康辛大学密尔沃基分校, 工程和应用科学学院土木工程系, 威斯康辛州 WI 53201, 美国)

(2014年6月20日收到; 2014年8月19日收到修改稿)

提出一种复杂网络上的局部路由策略, 算法采用节点收缩法评估节点的重要度, 发送节点根据邻居节点的重要度及网络的状态自适应地调整向邻居节点转发数据包的概率. 在网络处于自由流通状态时充分发挥关键节点的优势, 保证数据包快速到达目的地; 在网络处于即将拥塞时分散业务, 根据节点重要度准确识别网络中的关键节点, 通过有效分流予以保护. 仿真结果表明: 在网络处于自由流通状态时, 该局部路由策略能充分发挥网络中关键节点的枢纽作用, 保持较低的传输时延; 在网络部分关键节点出现拥塞时, 该局部路由策略能有效避开拥挤严重的节点, 将数据包均匀地分布在各个节点上, 有效抑制网络拥塞, 提高网络的容量.

关键词: 复杂网络, 拥塞控制, 局部路由策略, 重要度

PACS: 89.75.Fb, 89.75.Hc, 89.20.Hh

DOI: 10.7498/aps.63.248901

1 引言

继 Welsh^[1] 和 Barabasi^[2] 提出网络具有最小世界属性和无标度特性之后, 复杂网络研究得到了越来越多的关注. 近10年来复杂网络已经成为力学、物理、生物、系统控制、通信技术、社会、经济和军事等不同学科领域的研究热点^[3-5]. 复杂网络是由数量巨大的节点及节点间错综复杂的关系共同构成的网络, 广泛存在于自然界、生物界以及工程界^[6,7]. 对复杂网络的拓扑结构研究借鉴了统计物理学研究方法, 这些方法也被应用到对复杂网络的动态特性研究中, 如网络拥塞现象、通信网络中的搜索等^[8]. 随着网络的发展, 网络规模越来越大, 网络的拥塞控制问题也日趋复杂. 由于网络拥塞控制算法的分布性、网络的复杂性、对算法性能要求高等原因使得拥塞控制算法的设计具有很高的难度^[9]. Ohira 和 Sawatari^[10] 研究计算机网络拥塞发现, 复杂的网络结构和不合理的路由会造成网络拥塞, 拥塞的产生主要取决于路由器对数据包采取的

路由选择方式. 路由策略为数据包选择传输路线, 本身不会导致拥塞的发生, 但当网络拥塞时, 差的路由策略会进一步加剧网络拥塞, 而好的路由策略能够在不改变底层基础架构的情况下提高网络信息处理效率. 因此采用好的路由策略, 能提高网络的吞吐量, 改善网络拥塞, 例如利用局部拥塞信息将发生拥塞的节点上的数据包重分布到其他节点上去阻止拥塞的加剧. 分析目前路由策略, 主要分为全局路由策略、局部路由策略以及基于全局和局部的混合路由策略.

传统最短路径路由就是典型的全局路由策略, 数据包从起始节点 A 沿着最短路径传输到终止节点 B, 这种策略的优点是数据包能够以最快速度或最小的代价到达目的地, 但容易在度较大的节点上发生拥塞^[11,12]. 文献^[13] 提出了一种改进的最短路径, 采用加权的全局路由策略, 即给网络的边附上权重, 权值的大小与边的两端节点的度有关, 该算法使网络流量比较均匀地通过各个节点, 克服了网络易在度较大的节点拥塞的问题, 但该路由策略

* 江苏省高校“青蓝工程”中青年学术带头人项目(2014)、江苏省高校优秀中青年骨干教师境外研修计划项目和江苏开放大学“十二五”2013年度规划项目(批准号: 13SEW-Y-013)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: liu87@uwm.edu

的每个节点都需要知道整个网络的拓扑, 该路由策略在大规模的网络中实施有一定的难度.

全局路由策略在网络规模比较小时, 计算网络中全部节点之间的最短路径是可行的, 然而在复杂网络中获取所有节点的信息是不可能的. 与全局路由策略相比, 局部路由策略只需知道局部信息建立路由^[14,15], 局部信息包括本地信息、邻居节点的负荷和节点发送能力等, 局部路由策略仅考虑局部信息或本地信息, 比较容易实现. 文献^[16]提出了一种基于节点度的局部路由策略, 该策略根据邻居节点的度对下一跳节点进行选择. 文献^[17]提出了一种基于偏好因子的自适应局部路由策略, 发送节点根据每个邻居节点当前负载与其发送能力的关系, 调整向该邻居节点转发信息包的概率. 文献^[18]利用邻居节点的静态信息, 节点对数据包进行路由选择时根据邻居静态信息和实时动态信息进行, 该策略使得网络中的负载均匀地分布在各个节点上控制拥塞. 文献^[19]提出一种局部路由策略, 对任一节点A, 如果数据包的目的地是节点A的直接邻居则送达; 如果邻居不是目的节点, 那么数据包按一定的概率发送给邻居节点.

研究表明, 复杂网络中节点存在明显差异, 即网络中节点的地位是不平等的, 掌握网络中节点的重要度有利于更好地把握系统的状态. 目前节点重要度的评估方法不多, 文献^[20]提出的以节点的度作为衡量节点重要程度忽视了“桥节点”的重要性, 文献^[21]以节点介数作为衡量标准, 介数能很好地衡量节点的重要度, 但计算节点的介数非常复杂, 代价较高. 为了衡量一条边在保持网络联通方面的重要性, 文献^[22]提出了一个度量标准桥接性 Bridgeness, 又叫桥系数, 通过桥系数能够衡量边在网络联通性中起的作用. 桥系数是衡量一条边属于社团内部还是社团之间的重要依据, 通常桥系数较大时边位于社团之间, 在网络的联通方面起重要作用, 处于网络的关键位置, 重要度较大; 当桥系数较小时此边可能位于社团内部, 重要度较小. 根据文献^[23, 24]仅用桥系数来判断一条边位于社团之间还是内部是不够的, 需要桥系数与 Jaccard 系数共同判断.

本文提出一种新的局部路由策略, 发送节点根据邻居节点的重要度以及网络的状态自适应的调整向邻居节点转发数据包的概率. 节点的重要度比节点的度、介数、桥系数更能准确地发现复杂网络中的关键节点. 节点重要度的评估借鉴文献^[25]提

出的节点收缩法, 该方法既能准确评估网络中的关键节点, 又降低了算法的复杂度. 本文的局部路由策略在网络处于自由状态时能充分发挥关键节点的优势, 保持较低的传输时延, 保证数据包快速到达目的地; 在网络处于拥塞状态时及时分流, 保护网络中的关键节点, 充分利用网络资源, 提高网络的容量.

2 网络模型及定义

本文采用BA网络模型, 描述如下: 对于给定的复杂网络, 假设网络中的每个节点都具有路由、收包、发包等功能, 每一时间步系统产生的数据包个数为 R , 源节点和目标节点的选择是随机的, 源节点和目标节点不一样. 节点 i 在每个时间步内向邻居节点发送数据包的最大个数为 v_i , 每个节点的数据包队列长度假设是无限长, 数据包的传递规则为FIFO. 节点传递数据包时首先在邻节点内搜索, 如果邻节点中有目标节点, 则直接传递给目标节点并删除该数据包; 如果邻节点中没有目标节点, 则数据包根据邻居节点的重要度按给定的局部路由策略传递到下一个节点, 数据包到达目标节点后被删除.

网络从自由流通状态进入拥塞状态, 存在一临界负载量 R_c , 又称临界速率, 整个网络的通信能力用序参量 H 定量描述该过程:

$$H(R) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{R} \frac{P(t)}{t}, \quad (1)$$

(1)式中, R 为网络的负载. 当 $R < R_c$ 时, 网络处于负载稳定状态; 随着网络中数据包总个数的连续增加, 当 $R > R_c$ 时, 网络进入拥塞状态, 网络中部分节点开始出现拥塞, 而且可能在短时间内快速蔓延到整个网络, 此时大多数数据包滞留在系统中, 并不断累加, 从而可能导致整个系统的崩溃.

3 基于重要度的局部路由策略

分析复杂网络中节点的重要度, 找出重要的“枢纽节点”, 重点保护“枢纽节点”以提高整个网络的可靠性. 因此复杂网络节点重要度的研究备受关注, 这对复杂网络的拥塞控制具有非常重要的意义. 评估网络节点重要性的方法很多, 这些方法本质上都是源于图论, 其中以节点的度作为节点重要度的衡量标准是最简单的, 但这种评估方法具有片

面性. 本文的节点重要度的评估采用文献 [25] 提出的节点收缩方法, 该算法更能有效“识别”那些度不大但相当重要的“桥节点”, 并极大降低了节点重要度算法的时间复杂度.

3.1 节点收缩

所谓节点收缩就是通过融合, 把节点与它周围的所有连接节点凝聚成一个节点. 设 v_i 为图 $G = (V, E)$ 中的一个节点, 把与节点 v_i 相连的 K_i 个节点及 v_i 融合在一起, 节点 v_i 就把它周围的 K_i 个节点通过收缩凝聚成了一个节点, 将节点 v_i 收缩后所得到的图用 $G * v_i$ 表示. 节点 v_i 越重要, 则收缩后得到的网络凝聚程度越高. 图 G 的凝聚程度由网络中各个节点之间的连通力决定的, 定义为节点数与平均路径长度乘积的倒数, 用 $\partial[G]$ 表示,

$$\partial[G] = \frac{1}{n \cdot l} = \frac{n-1}{\sum_{i \neq j \in v} d_{ij}}, \quad (2)$$

(2) 式中, $n \geq 2$, d_{ij} 为节点 i 和 j 之间的最短距离, $0 < \partial < 1$.

3.2 节点重要度定义及评估

节点 v_i 的重要度用 $\text{IMG}(v_i)$ 表示

$$\text{IMG}(v_i) = 1 - \frac{\partial[G]}{\partial[G * v_i]}, \quad (3)$$

(3) 式中, G 为节点 v_i 收缩前的图, $G * v_i$ 为节点 v_i 收缩后所得到的图. 节点 v_i 的重要度由图 G 和 v_i 收缩后的图 $G * v_i$ 的凝聚度决定.

将 (2) 式代入 (3) 式整理得

$$\begin{aligned} \text{IMG}(v_i) &= 1 - \frac{\partial[G]}{\partial[G * v_i]} \\ &= \frac{n \cdot l(G) - (n - k_i) \cdot l(G * v_i)}{n \cdot l(G)}. \end{aligned} \quad (4)$$

分析 (4) 式, 节点 v_i 的重要度 $\text{IMG}(v_i)$ 主要由节点 v_i 在网络中的位置和节点 v_i 的度 k_i 决定. 节点 v_i 在网络中的位置越关键, 网络中经过该节点的最短路径越多, 则该节点收缩后的平均最短路径越小, 网络的凝聚度就越大; 同样, 节点的度越大, 该节点收缩后网络中节点数目越少, 网络的凝聚度越大. 用节点的重要度衡量节点的重要性克服了用节点的度衡量的片面性, 能有效“识别”度不大但很重要的“桥节点”. 节点的介数虽然也能反映出节点的重要性, 但节点介数的计算非常复杂, 介数的计算

不仅要计算各个节点对之间的最短路径长度, 还包括这些最短路径的路线. 本文基于节点收缩法评估节点重要度的时间复杂性大大下降, 文献 [25] 通过实验分析验证了该节点重要度评估方法的有效性, 评估算法的时间复杂度为 $O(n^3)$, 对于大型复杂网络也能获得理想的计算能力.

3.3 基于节点重要度局部路由选择

基于节点重要度的局部路由策略根据邻居节点的重要度以及网络负载情况动态调整数据包的发送概率, 网络的状态通过临界负载量 R_c 与当前网络的负载 R 判定. 每个数据包到达目的节点前的每一个节点都先查询邻居节点, 如果邻居节点里有目的节点, 则直接发送到目的节点, 邻居节点中没有目的节点, 则 v_i 的数据包发往邻居节点 vn_i 的概率 Π_i 为

$$\Pi_i = \frac{[\text{IMG}(vn_i)]^\alpha}{\sum_j [\text{IMG}(vn_i)]^\alpha}, \quad (5)$$

(5) 式中, $\text{IMG}(vn_i)$ 是邻居节点 vn_i 的重要度, 分母是节点 v_i 所有邻居节点重要度的和, α 是调整系数, $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$, $\alpha_{\min} < 0$, $\alpha_{\max} > 0$, $\alpha_{\max} = -\alpha_{\min}$, α 的变化步长为 $\frac{1}{20}\alpha_{\max}$. 当 $\alpha = 0$ 时, 所有邻居节点的选择概率相同, 这时的路由策略等同于随机游走.

实验证明, 网络中的拥塞来源于网络资源和网络流量分布的不均衡性 [26-28], 本文基于局部路由策略的拥塞控制在不改变底层架构的情况下提高网络信息处理效率, 减少由于网络资源及流量分布不均引起的拥塞. 当 $R < R_c$ 时, 网络处于自由流通状态, 每次发送完后不会有数据包滞留在节点, 此时节点处于未饱和的平稳状态, 此时调整系数 $\alpha > 0$, 加大对重要度大的节点的利用率, 在网络不拥塞的前提下使数据包发往邻居节点中重要度大的中心节点, 提高数据包到达目的节点的概率, 减少数据包的传输时延, 提高网络运行效率. 当网络数据包连续增加到 $R > R_c$ 时, 数据包不断地在节点堆积, 此时节点处于即将拥塞状态, 尤其是网络中的关键节点开始出现拥塞, 此时本文路由策略调整系数 $\alpha < 0$, 及时把数据包分流到重要度小未被充分利用的节点上, 充分利用网络资源, 缓解这种局部负载过重引起的拥塞, 有效提高网络的容量.

4 仿真与分析

本文的仿真实验采用BA网络模型, 模型的产生方法与文献[29]相同, 节点数 $N = 10000$, $M = 5$, 节点的度分布 $p(k)$ 具有幂律特性, $p(k) \sim k^{-\gamma}$, $\gamma = 3$, 其中 k 为节点的度, γ 为幂律指数.

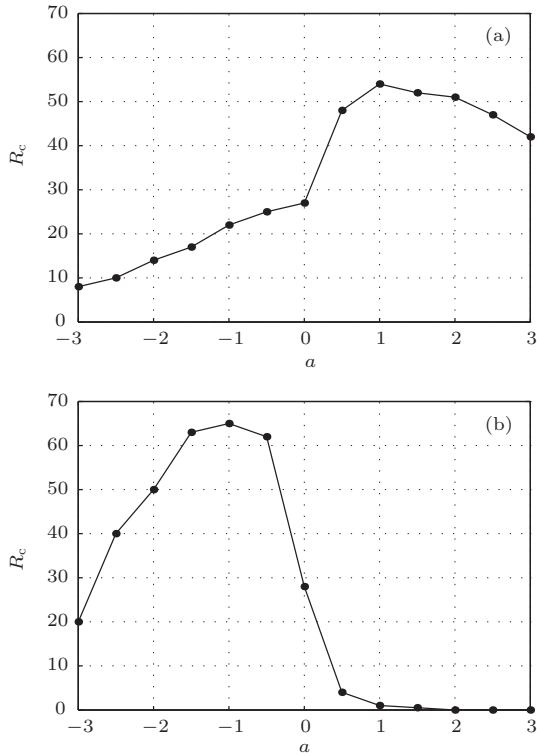


图1 α 与拥塞相变点 R_c 的关系 (a) 自由流通状态; (b) 拥塞状态

α 与拥塞相变点 R_c 的关系如图1所示. 当调整系数 α 取不同的值时, R_c 的值也不同. 仿真实验选取不同的 α 值, 得到相应的网络拥塞相变点 R_c . 分析图1, 当网络处于自由流通状态, $\alpha = 1$ 左右, 可以得到最大 R_c , 原因是此时的路由策略偏向于重要度大的枢纽节点, 数据包大量流向“枢纽”节点, 这些节点的数据包虽然比较多, 但传输时延小, 数据包不会有滞留, 这些节点处于未饱和平稳状态, 因此网络的性能最优. 反之当网络处于即将拥塞状态时, $\alpha = -1$ 左右, R_c 有最大值, 此时的路由策略是保护“枢纽”节点, 网络中的负载均匀地分布在各个节点, 而不是拥挤在重要度大的节点, 网络资源得到充分利用, 网络的性能达到最优. 如果 α 的值太小, 由图1可以看出, 此时会导致网络部分重要度低的次要节点因数据包过多不能得到及时处理而导致拥塞发生, 因此当网络处于繁忙状态, α 的取值在 -1 左右较为理想. $\alpha = 0$ 时, R_c 的值不是很

大, 本文路由策略比随机游走路由策略的 R_c 更大, 因为随机游走策略所有邻居节点的选择概率相同, 不能充分利用网络资源, 本文提出的路由策略能获得更大的网络容量.

平均传输时延是反映网络路由策略效能的重要指标之一, 不同路由策略下的平均传输时延比较如图2所示. 由图2可以看出, 本文路由策略下网络平均传输时延始终小于文献[18], 当 R 较小时, 传输时延略大于传统最短路径路由. 传统最短路径路由策略在 R 较小时能够保持较低的传输时延, 但是随着 R 的增加其平均传输时延也迅速增大. 文献[18]通过节点的度信息及节点队列实时长度进行路由选择存在片面性, 因为节点的度信息不能正确反映节点的重要程度, 会忽略“桥节点”, 因为“桥节点”的度较小. 本文的局部路由策略比文献[18]和传统最短路径路由策略都精准, R 较小时, 本文算法根据邻居节点的重要度调整数据包的发送概率, 发挥关键节点交通枢纽的作用, 有效减少数据包的传输时延, 与传统最短路径路由一样能保持较小的平均传输时延. 传统最短路径路由在 R 比较小时传输效率较高, 随着 R 的增大网络处于拥塞状态时, 传统最短路径的平均传输时延迅速增大. 而本文路由策略能在 R 较大时调整系数保护网络中的关键节点, 向未饱和的节点分流信息包, 数据包被及时分流到重要度小未被充分利用的节点上, 避免大量数据包集中在关键节点处被大量长时间积压而导致传输时延的增长. 实验证明, 当网络处于拥塞时, 网络中关键节点处数据包的排队等候时间变长是增大时延的主要原因, 本文路由策略避免数据包集中在关键节点上, 网络传输延时始终较小.

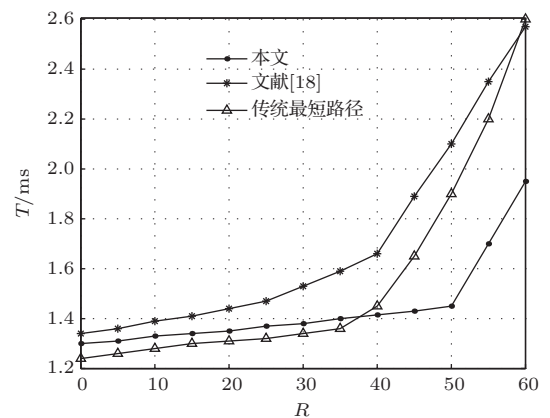


图2 不同路由策略下的时延

不同路由策略下的带宽利用率的比较如图3所示, 横坐标是节点数 N . 由图3可知, 当 N

不太大时, 本文路由策略下的带宽利用率比文献 [18] 稍高一点, 优势不明显. 但当 N 较大时, 本文路由策略下的带宽利用率高于文献 [18], 优势明显且能保持. 原因是文献 [18] 的静态信息不能准确反映出节点的重要性, 基于节点度的衡量标准认为与节点相连的边越多则该节点越重要, 但有些重要的核心节点, 如“桥节点”度不大但属于核心节点, 用桥系数衡量要更准确一些. 本文基于邻居节点重要度的局部路由策略能准确识别网络的关键节点, 直接有效评估出节点对网络的贡献大小, 在网络处于拥塞状态时及时分流, 避免了大量的数据流经重要度大的核心节点, 避免数据包在核心节点的拥堵, 提高了带宽利用率. 从图 3 可以看出, 传统最短路径路由的带宽利用率随着节点的增多也缓慢变大, 但变化比较小, 带宽利用率始终都比较小. 原因是传统最短路径路由遵循最短路径, 一般用于规模不大且拓扑结构固定的网络, 最短路径遍历计算的节点很多, 所以效率低, 尤其当网络中某些关键节点不堪重负发生拥塞时, 进而影响网络的传输性能, 带宽利用率不高.

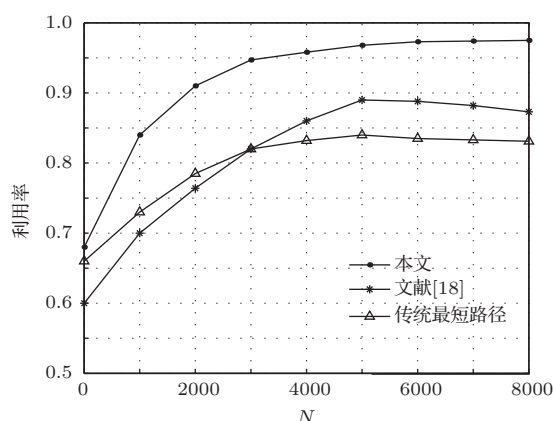


图3 不同路由策略下的带宽利用率

5 结 论

本文提出了一种新的基于节点重要度的局部路由策略, 发送节点根据邻居节点的重要度及网络的状态及时调整向邻居节点转发数据包的概率. 该路由策略能够显著提高网络的传输能力, 提高网络的吞吐量. 算法采用节点收缩法评估节点重要度, 解决了以节点的度、桥系数衡量节点重要度的片面性以及节点介数评估代价太高的问题. 节点的重要度比节点的度、节点的介数、桥系数更能准确、有效评估复杂节点的重要程度, 该算法有效且运算速度

较快, 对于大型复杂网络能获得理想的计算能力, 算法的复杂度为 $O(n^3)$. 仿真结果表明, 该局部路由策略能充分利用网络中的节点, 在网络处于自由流通状态时, 数据包大量流向网络中的重要度大的节点, 利用枢纽节点减少数据包的传输时延, 发挥关键节点的作用. 在网络处于即将拥塞状态时使数据包相对均匀地分布在各个节点上, 根据节点重要度准确识别出网络中的关键节点, 通过有效分流予以保护, 能有效抑制网络拥塞, 提高网络的容量.

参考文献

- [1] Welsh R 2008 *Contemp. Sociol.* **37** 479
- [2] Barabasi A L 2002 *Linked: The New Science of Networks* (Cambridge Mass: Persus Pub.)
- [3] Chen G R 2008 *Adv. Mech.* **38** 653 (in Chinese) [陈关荣 2008 力学进展 **38** 653]
- [4] Olaf S 2011 *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **1224** 109
- [5] Hearnshaw E J S, Wilson M M J 2013 *Int. J. Operat. Product. Manage.* **33** 442
- [6] Su G 2013 *Instant Cytoscape Complex Network Analysis How-to* (Birmingham: Packt Pub.)
- [7] Kruse K, Sewitz S, Babu M M 2013 *Nucl. Acids Res.* **41** 701
- [8] Sun W, Chen Z, Kang Y H 2012 *Chin. Phys. B* **21** 010504
- [9] Liu W Y, Zhang S Y 2008 *J. Electron.* **25** 102
- [10] Ohira T, Sawatari R 1998 *Phys. Rev. E* **58** 193
- [11] Goh K I, Kahng B, Kim D 2001 *Phys. Rev. Lett.* **87** 278701
- [12] Zhao L, Lai Y C, Park K, Ye N 2005 *Phys. Rev. E* **71** 026125
- [13] Chen H L, Liu Z X, Chen Z Q 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 6068 (in Chinese) [陈华良, 刘忠信, 陈增强 2009 物理学报 **58** 6068]
- [14] Tang M D, Zhang G Q, Sun Y, Liu J X, Yang J, Lin T 2013 *Sci. China. Inform. Sci.* **56** 102311
- [15] Hu M B, Wang W X, Jiang R, Wu Q S 2007 *Phys. Rev. E* **75** 036102
- [16] Wang W X, Wang B H 2006 *Phys. Rev. E* **73** 026111
- [17] Zhao H, Liu F, Li M 2008 *Univ. Shanghai Sci. Technol.* **30** 264 (in Chinese) [赵寒, 刘峰, 李明 2008 上海理工大学学报 **30** 264]
- [18] Liu Z H, Tang Z L, Guo W Z 2012 *J. Huaqiao Univ. Natural Sci.* **33** 396 (in Chinese) [刘漳辉, 汤振立, 郭文忠 2012 华侨大学学报自然科学版 **33** 396]
- [19] Wang W X, Wang B H, Yin C Y, Xie Y B 2006 *Phys. Rev. E* **73** 026111
- [20] Callaway D S, Newman M E J, Strogatz S H 2000 *Phys. Rev. Lett.* **85** 5468
- [21] Barthelemy M 2004 *Euro. Phys. J. B* **38** 163
- [22] Cheng X Q, Ren F X, Shen H W, Zhang Z K, Zhou T 2010 *J. Stat. Mech.* **10** 10011
- [23] Nepusz T, Petróczy A, Négyessy L 2008 *Phys. Rev. E* **77** 016107

- [24] Wang L, Gao L 2013 *J. Xidian Univ.* **40** 30 (in Chinese)
[王珣, 高琳 2013 西安电子科技大学学报 (自然科学版) **40** 30]
- [25] Zhu T, Zhang Y P, Guo R X, Chang G C 2009 *Engineer. Electron.* **31** 1902 (in Chinese) [朱涛, 张永平, 郭戎潇, 常国岑 2009 系统工程与电子技术 **31** 1902]
- [26] Floyd S, Henderson T 1999 *RFC* 2582
- [27] Pal G, Agrawal S 1995 *IEEE Potent.* **13** 14
- [28] Przemyslaw I 2013 *Congestion Control in Data Transmission Networks Sliding Mode and Other Designs* (London: Springer)
- [29] Barabasi A L, Albert R 1999 *Science* **286** 509

Congestion control in complex network based on local routing strategy*

Liu Wei-Yan^{1)2)†} Liu Bin¹⁾

1) (Department of Information Engineering, Jiangsu Open University, Nanjing 210017, China)

2) (Department of Civil Engineering and Mechanics, College of Engineering and Applied Science, University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee 53201, USA)

(Received 20 June 2014; revised manuscript received 19 August 2014)

Abstract

In this paper, we propose a local routing strategy in a complex network, use the node contraction method to evaluate the node importance. The probability of the node transmit packet to its neighbors is adaptively adjusted based on the importance of neighbor nodes and the state of the network. The strategy can take advantage of key nodes when the network is in free flow state, ensure that packets can arrive at their destination faster, protect the key nodes by accurately identifying its importance, and fully use the capabilities of all nodes when the network is in a congestion state, and stop some key nodes from becoming the bottleneck of network. Simulation results show that the proposed local routing strategy can effectively control the network congestion, enhance the network capacity.

Keywords: complex network, congestion control, local routing strategy, node importance

PACS: 89.75.Fb, 89.75.Hc, 89.20.Hh

DOI: 10.7498/aps.63.248901

* Project supported by the Qing Lan Project of Universities of Jiangsu Province, China (2014), the Jiangsu Overseas Research and Training Program for University Prominent Yong and Middle-aged Teachers Presidents, China, and the “Twelfth Five-year Plan” of Jiangsu Open University, China (Grant No. 13SEW-Y-013).

† Corresponding author. E-mail: liu87@uwm.edu