

DTN 分发网络中基于数据投递概率的拥塞控制机制

夏奕¹, 邓广宏²

(1. 湖北交通职业技术学院 交通信息学院, 湖北 武汉 430079; 2. 武汉数字工程研究所 系统科技部, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对 DTN 网络数据编码分发过程中数据拥塞造成投递性能下降的问题, 提出了一种基于主题数据投递概率的节点拥塞控制机制(CCM-DP)。综合考虑节点移动模型、主题包投递概率、节点拥塞程度等因素建立数据投递概率模型, 从两方面进行拥塞控制, 一方面基于数据投递概率动态调节数据分组转发过程, 避免节点因收取过多的数据分组造成拥塞, 另一方面, 通过设计合理的丢弃策略, 降低因拥塞造成数据分组丢失产生的影响。最后, 将该拥塞控制机制应用在数据分发过程中进行了仿真分析, 结果表明, 该方法能提升数据拥塞情况下的数据投递性能。

关键词: 延迟容忍网络; 数据投递概率; 拥塞控制; 数据编码分发

中图分类号: TN919.3

文献标识码: A

Congestion control mechanism based on data delivery probability in DTN data dissemination network

XIA Yi¹, DENG Guang-hong²

(1. Institute of Traffic Information, Hubei Communications Technical College, Wuhan 430079, China;

2. Department of Scientific Research on System, Wuhan Digital Engineering Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: A congestion control mechanism based on data delivery probability (CCM-DP) was proposed to work out the decline of data delivery performance on account of data congestion in delay tolerant networks (DTN) network coding-based data dissemination process. Considering the node mobility model, data delivery probability and data congestion degree, the data delivery probability model was constructed, and the congestion control mechanism was designed from two aspects, on the one hand, by the means of adjusting the packet forwarding process, it equilibrates the data packet delivery to avoid node congestion caused by too many packets received; and on the other hand, through the design of efficient discarding strategy, it reduces the impact of packet loss caused by data congestion. Ultimately, it was put into use in data dissemination process and some simulations were taken, the simulation results show that, CCM-DP can improve data delivery performance in data congestion environment.

Key words: delay tolerant networks; data delivery probability; congestion control; network coding-based data dissemination

1 引言

网络编码和数据订阅分发机制在 DTN(delay tolerant networks)数据分发过程中的应用, 提升了数据分发的投递性能^[1]。但由于网络编码的洪泛传播的多副本冗余的特性, 使 DTN 网络中数据量增加, 数据拥塞的风险增大。同时, DTN 网络间

歇连通、动态拓扑的网络特点, 以及采用的“存储—携带—转发”的保管传输协议也很容易造成节点缓存资源耗尽从而导致数据投递性能下降^[2]。当中继节点的分组接收速率远大于分组转发速率时, 节点的缓存空间不断被占用, 剩余空间越来越少, 最终无法继续接受分组, 导致节点数据拥塞, 分组丢失, 影响网络投递性能。因此, 需要针对 DTN

收稿日期: 2015-10-28

基金项目: 船舶基金资助项目(10J3.7.2)

Foundation Item: The Shipbuilding Science Foundation(10J3.7.2)

网络的数据投递特性设计高效、合理的节点拥塞控制机制,以降低数据拥塞对数据投递性能的影响。

近年来国内外对 DTN 网络拥塞控制机制的研究主要集中在 2 个方面。一是对数据转发过程中数据转发调度的研究^[2];二是对拥塞丢弃策略的研究^[3],拥塞策略的研究大都是针对特定的网络场景结合相应的路由策略提出的,在不同的环境下往往会有不同应用效果。在 DTN 中,网络拓扑频繁变化,链路状态的不可预测导致传统可靠网络的拥塞控制机制已得不到有效的利用^[4,5],同时,DTN 分发网络中不同的数据传输模式及路由机制也对拥塞控制策略的设计提出了新的需求,因此需要针对这种 DTN 的应用需求,综合考虑各种因素设计一种适应于 DTN 数据分发网络的节点拥塞控制机制。

本文针对 DTN 数据编码分发过程,采用网络编码传输时,数据拥塞造成数据投递性能下降的问题,综合考虑节点移动模型、数据投递概率、节点拥塞程度等因素,设计节点拥塞控制策略,提出一种基于数据投递概率的节点拥塞控制机制(CCM-DP, congestion control mechanism based on delivery probability),从两方面进行拥塞控制:一方面通过监测目标节点的拥塞程度以及数据分组的转发概率,调节数据分组转发过程,均衡邻接连通节点的数据投递量,避免部分节点因收取过多的数据分组造成拥塞,提高数据投递效率;另一方面,通过设计合理的丢弃策略,降低因拥塞造成数据分组丢失产生的影响。

2 信宿连通概率模型

在 DTN 中,节点的移动会造成网络的割裂,网络拓扑的变化,但同时节点的移动也能增强网络的机会连通性,充分利用节点的移动模型信息预测节点与信宿间的连通概率,将有效提升数据拥塞转发策略和拥塞丢弃策略的投递效率^[6]。根据节点的移动连通性特征,本文设计了一种基于节点移动模型的信宿连通概率模型。

在节点的移动模型中,以周期移动模型^[7,8]、群组移动模型^[9]和社会移动模型^[10,11]的节点移动特征信息对数据拥塞转发策略能提供有价值的指导。

利用节点的连通矩阵和连通性生灭特征获

得节点移动模型信息^[6],预测数据分组在本节点向信宿投递的转发概率,可以为数据分组的投递转发提供有价值的路由决策,提升数据投递性能。

首先,根据各种移动模型的运动特征,确定这些运动模式下节点与信宿连通的概率,然后在数据中继转发过程中逐跳预测本节点与信宿的连通概率,并以此判定数据分组向信宿的投递概率。

在周期性节点移动模型中,本节点与周期性相遇的节点存在一种稳定的相遇机会,因此,在不考虑相遇周期是否满足数据分组投递的时延要求时,可以认为周期性相遇节点间的连通概率为 1。表示为

$$P_{opp_con(i,j)} = 1, (i,j) \in G_{period} \quad (1)$$

在群组性移动模型和社会性移动模型中,处于一个群组的移动节点存在较稳定的连通链路,因此,也可认为群组内节点相互连通的概率为 1。

$$P_{opp_con(i,j)} = \begin{cases} 1, (i,j) \in G_{group} \\ 1, (i,j) \in G_{social_group} \end{cases} \quad (2)$$

节点处于其他运动方式时则根据节点连通统计信息获得节点连通概率,然后逐级计算处于本节点的数据分组投递到信宿节点的投递概率。节点间的连通概率取一个滑动时间窗口内节点连通时间与窗口持续时间的比率,以此来预测在最近这段时间的节点连通概率。节点间的连通概率表示为

$$P_{opp_con(i,j)} = \begin{cases} \frac{t_{connect(i,j)}}{T_{aperture}}, (i,j) \text{ 不连通} \\ 1, (i,j) \text{ 连通} \end{cases} \quad (3)$$

其中, $t_{connect(i,j)}$ 为节点 (i,j) 在时间窗口 $T_{aperture}$ 内连通的累计时间。

在复杂机会网络中,信源信宿间往往不是直接连通的,而是通过节点间多跳传递的间接连接。若节点间的数据投递需要以逐跳中继的间接连通链路进行数据传输,则节点间连接成为级联连接,级联节点间的连通概率采用级联连通概率表示。

定义 1 级联连通概率。级联连通概率为非直连节点间采用数据中继转发时途径节点形成的级联连通链路的连通概率。

级联连通概率根据节点的级联方式采用不同的方法计算, 将无环网络映射到平面网络流图中可以发现节点级联方式可分为串行连接和并发连接。

数据在串行连接的级联链路中传递时, 数据沿级联链路在逐跳向目标节点传递, 因此, 链路的级联连通概率以累积的方式表示

$$P_{opp_con(i,j,k)} = P_{opp_con(i,j)} P_{opp_con(j,k)} \quad (4)$$

在并发连接的级联链路中, 数据可在并发链路中同时传递, 因此, 级联连通概率以并发链路的连通概率之和表示

$$P_{opp_con(i,k)} = P_{opp_con(i,j,k)} + \dots + P_{opp_con(i,m,k)} \quad (5)$$

以图 1 所示的蝴蝶网络为例, s 为信源节点, u 、 v 为信宿节点, 链路上的数值为该链路的连通概率, 则数据向信宿投递过程中各节点级的级联连通概率如表 1 所示。

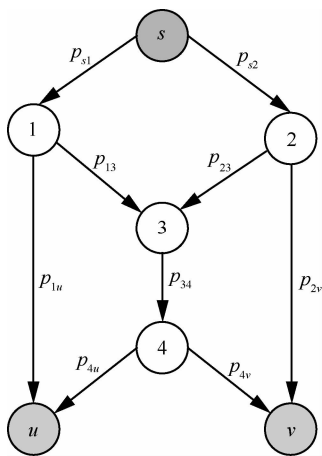


图 1 节点连通概率示意

表 1 各节点到信宿的级联投递概率

源节点	信宿	
	节点 u	节点 v
节点 4	p_{4u}	p_{4v}
节点 3	$p_{34}p_{4u}$	$p_{34}p_{4v}$
节点 2	$p_{23}p_{34}p_{4u}$	$p_{23}p_{34}p_{4v}$
节点 1	$p_{1u}+p_{13}p_{34}p_{4u}$	$p_{13}p_{34}p_{4v}$
节点 S	$p_{s1}(p_{1u}+p_{13}p_{34}p_{4u})+p_{s2}p_{23}p_{34}p_{4u}$	$p_{s1}p_{13}p_{34}p_{4v}+p_{s2}(p_{23}p_{34}p_{4v})$

定义 2 信宿匹配率。本地节点中数据分组的信宿匹配率为本地节点与数据分组的信宿节点间所有连通路径的级联连通概率。

$$P_{target_match}(data,i) = P_{opp_con(i,target(data))} \quad (6)$$

其中, $target(data)$ 表示数据分组 $data$ 的目标节点, $P_{target_match}(data,i)$ 为节点 i 与数据分组 $data$ 投递目标的信宿匹配率。

由于 DTN 是动态网络, 网络连通状态随时可能发生变化, 因此各节点周期性的探测周边节点的连通信息和移动状态信息, 并逐级反馈和更新节点的信宿连通概率信息, 以减少信息匹配率与真实网络状态的失真偏差。

3 数据投递概率模型

数据分组向信宿投递过程中, 投递链路的连通概率是影响数据投递性能的重要因素, 但投递过程中数据分组的时效性要求、信宿匹配率、节点的数据接收转发比等因素也会影响数据的投递性能。

数据分组的信宿匹配率直接反应了数据分组向信宿投递的成功概率, 信宿匹配率越高, 则数据分组由本节点向信宿投递的成功概率越大。但信宿匹配率高的节点吸引数据分组向其投递同时也会导致节点处理负载过大, 数据拥塞, 反而会降低节点的数据投递成功率, 因此, 在数据投递过程中对投递过程中数据分组的投递概率进行动态调整, 根据节点的数据转发比调整节点信宿匹配率, 以均衡数据向不同信宿匹配率的节点的数据转发量。

节点的数据接收转发比反映本节点的数据转发效率和拥塞程度, 表示为数据接收量和数据转发量的比值, 比值越大表明数据转发速度跟不上数据的接收速度, 数据聚集较多, 易产生数据拥塞。

$$P_{data_trans}(i) = \frac{d_{recv}}{d_{trans}} \quad (7)$$

节点的数据接收转发比可以直接影响到节点数据的投递率, 因此数据投递率根据接收节点接收转发比进行动态调整。转发比大于 1 说明节点发生拥塞的概率增加, 此时需要降低节点的数据投递概率, 由此反向引导数据分组向其他投递概率高的节点转发, 减少本节点数据接收量; 转发比小于等于 1 说明节点数据转发负载处于正常范围, 则数据投递率保持不变。因此, 节点 i 中数据分组 $data$ 的投递概率调整为

$$P_{data_deliver}(data, i) = \begin{cases} P_{target_match}(data, i)^{p_{data_trans}^{(i)}}, & p_{data_trans} > 1 \\ P_{target_match}(data, i), & p_{data_trans} \leq 1 \end{cases} \quad (8)$$

由于在容迟容断网络中, 数据分组的延迟往往较长且无法确定, 因此除了通过采用一些优化机制和算法尽可能快的实现数据向信宿投递外, 对于一些有时效性要求的数据分组, 若仍无法再规定的时

$$P_{data_deliver}(data, i) = \begin{cases} P_{target_match}(data, i)^{p_{data_trans}^{(i)}}, & \text{数据分组剩余生存时间} > 0 \text{ 且 } p_{data_trans} > 1 \\ P_{target_match}(data, i), & \text{数据分组剩余生存时间} > 0 \text{ 且 } p_{data_trans} \leq 1 \\ 0, & \text{数据分组剩余生存时间} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

4 节点拥塞控制机制设计

本节基于数据投递概率模型设计节点拥塞控制机制, 从两方面进行拥塞控制: 一方面通过调节数据分组转发过程, 均衡数据分组投递, 设计基于数据转发概率的拥塞转发策略, 避免节点因收取过多的数据分组造成拥塞; 另一方面, 通过设计合理的丢弃策略, 降低因拥塞对数据投递性能造成的影响。

4.1 基于数据转发概率的拥塞转发策略

采用网络编码方式进行数据分发时, 数据经过编码形成若干较小的编码分组, 以编码洪泛传播的方式进行数据投递, 因此传统的路由策略在编码分发方式下并不是很适用, 编码分组的数据转发策略则更侧重于如何实现信宿的快速解码, 提升数据投递率, 降低投递延迟。

编码分发模式下的数据转发策略需要综合考虑节点的拥塞度、节点移动模型、信宿连通度、数据投递概率等多方面的因素, 以实现编码分组的高效转发, 避免数据拥塞。本节基于第 2 节和第 3 节的连通概率模型和数据投递概率模型, 综合分析以上各方面因素对数据投递效率的影响, 设计一种数据拥塞转发策略。

定义 3 节点拥塞度。节点拥塞度定义为节点滞留数据量 $\sum p_i$ 与节点缓存 M_i 的比值

$$Jam(i) = \frac{\sum p_i}{M_i}, \quad Jam(i) \leq 1 \quad (10)$$

节点拥塞度反映了节点的缓存占用比, 拥塞度高的节点若继续保持当前的数据接收速率, 则节点发生数据拥塞的概率越大, 因此, 对拥塞度较高的

间向信宿投递, 则数据失去其投递的意义。因此, 在本文的数据分发算法设计时也考虑了这种存在时效性分发的数据传输策略, 通过设置数据分组的剩余生存时间来反映数据的网络生存周期, 若数据分组的剩余生存时间不足以满足向信宿的投递时间, 即使选择的投递链路的连通概率很高, 也不能完成有效投递, 因此, 数据分组的投递概率为 0, 故节点 i 中数据分组 $data$ 的投递概率为

节点应控制向其转发的数据量。

数据投递转发概率反映了数据分组选择的转发路径成功向信宿投递的概率, 数据投递概率越高则说明该转发路径的投递成功率越高, 因此, 数据分组应向对应的数据投递转发率较高的节点路径转发。

在特定的节点移动模型下, 一些节点间的连通度和连通概率会呈现一种规律性和稳定性, 利用这些特性也能更好的实现数据的高效转发, 因此, 在第 2 节和第 3 节的数据分组连通概率模型和投递概率模型中也利用了这些节点移动特性引导数据的转发。

综合以上分析, 总结得到数据分组拥塞转发的基本规则。

1) 数据首先向数据投递概率较高的投递路径转发。

2) 避免向节点拥塞度较高的节点继续转发大量数据, 给拥塞节点留出转发处理的时间, 待拥塞度降低再提升转发量。

基于以上的设计考虑, 结合节点移动模型和连通概率, 综合计算主题数据分组转发概率, 设计相应的数据转发概率计算公式, 向拥塞度较低、译码概率较高、连通概率较高的节点转发。

假定主题数据分组 $data$ 从节点 i 向节点 j 转发过程中, 节点 j 的数据接收转发比为 $P_{data_trans}(j)$, 拥塞度为 $Jam(j)$, 计算得到主题包 $data$ 向节点 j 投递的投递概率为 $P_{data_deliver}(data, j)$, 则数据分组 $data$ 向节点 j 转发的概率为

$$forward_{data}(i, j) = (1 - Jam_j) P_{data_deliver}(data, j) \quad (11)$$

其中, $P_{data_deliver}(data, j)$ 为式 (9) 的数据投递概率,

$0 < Jam_j < 1$, 则 $1 > (1 - Jam_j) > 0$, 拥塞度越高, 则相应计算得到的转发概率越低。 $P_{data_deliver}(data, j)$ 综合反映节点接收转发比, 信宿匹配率, 数据分组时效等因素, 由式 (9) 可知, $0 < P_{target_match}(data, i) < 1$, 当 $p_{data_trans}(i) > 1$ 时, 则相应的 $P_{data_deliver}(data, j)$ 降低, 减少数据转发量; 当 $p_{data_trans}(i) \leq 1$ 时, 则 $P_{data_deliver}(data, j)$ 保持不变; 当数据分组超过其数据存在时效期, 则不用转发, 转发概率为 0。

由此可通过计算主题数据分组的节点转发概率简化数据分组的拥塞转发策略, 即仅需选择转发概率较高的节点进行数据转发即可。

基于转发概率的拥塞转发算法的基本思想如算法 1 所示。其中, 候选转发节点列表为数据订阅分发机制中节点接收到订阅包组成的订阅列表中的订阅路径节点^[1]。

算法 1 数据拥塞转发算法

- 1) 节点 i 探测连通节点 $\{j | (i, j) \in E, j \in V\}$
- 2) 每个连通节点 j 根据式(10)计算节点拥塞度 $Jam(j)$, 根据式(7)计算接收转发比 $P_{data_trans}(j)$
- 3) 节点 i 根据式(9)计算主题包 $data$ 向节点 j 投递的投递概率 $P_{data_deliver}(data, j)$
- 4) 节点 i 计算数据分组 $data$ 向候选转发节点列表中的节点 j 转发的概率 $forward_{data}(i, j)$
- 5) if ($forward_{data}(i, j) > 0$)
- 6) 节点 i 将数据分组 $data$ 向节点 j 转发。
- 7) endif

拥塞控制算法每次会计算节点的拥塞度, 然后反馈给转发节点, 转发节点根据反馈值计算数据转发概率, 根据转发概率选择转发节点, 拥塞度高则转发概率低。因此, 依据数据转发概率的选择判断来避免多次转发造成节点拥塞。

算法的处理开销主要是计算数据分组的投递转发概率, 其时间复杂度为 $O(n)$, 空间复杂度为 $O(n)$ 。

4.2 拥塞丢弃策略

定义 3 数据译码概率。节点主题数据译码概率为节点接收到的同一主题编码分组的个数 $\sum p_{topic}$ 与编码向量长度 $|A|$ 的比值。

$$D = \frac{\sum p_{topic}}{|A|} \quad (12)$$

节点主题数据译码概率越高说明该节点接收

到的该主题的编码分组较多, 相对于译码率较低的节点, 从此节点编码转出的编码分组携带有丰富的编码数据^[12], 若丢弃这些编码分组将可能造成信宿节点解码信息不完整, 因此, 应保留译码率较高的同类主题编码分组。

数据分组的投递概率反映了数据分组向信宿投递成功的概率, 因此, 投递概率高的数据分组应尽量保留, 以避免浪费前期投递占用的资源。

在 DTN 的多副本数据投递策略中, 普遍认为网络副本较多的数据分组, 在部分拥塞节点丢弃少量数据分组对投递率影响不大。本文认为在网络编码投递过程中, 以编码融合的方式对数据原始信息进行了冗余处理, 编码转发次数越多则网络编码操作融合的原始数据分组信息越丰富, 因此, 若数据分组经过多次中继转发, 则网络中会产生较多该信息的冗余数据分组, 丢弃这些数据分组将对数据投递影响不大。另外, 中继次数较少的编码分组由于原始信息还未得到广泛扩散, 因此中继次数较少的数据的信息更单一, 也更重要。因而, 相较于中继次数较少的编码分组, 应丢弃中继次数较多的编码分组。

另外, 数据分组的重要程度对拥塞丢弃策略也存在较大的影响, 若数据分组较为重要, 则不应考虑数据分组投递概率, 中继次数和译码率, 都应尽力将其快速投递。因此, 应尽量保证不要丢弃较重要的数据分组。

综合上述分析, 当节点出现数据拥塞时, 制定如下的数据分组丢弃策略。

- 1) 数据分组重要程度低于某一阈值时, 选择丢弃投递概率较低的数据分组。
- 2) 若数据投递概率都处于某一个相近的区间, 则选择丢弃中继次数较多的编码分组。
- 3) 若编码分组的中继次数仍然处于一个相近的区间, 则选择丢弃译码率较低的编码分组。

5 应用与仿真

在 DTN 网络仿真软件 ONE(opportunistic network environment)^[13]中对采用本文介绍的拥塞控制机制(CCM-DP)、不采用拥塞控制策略(non-CC), 以及采用通用的 DOA(drop-oldest)丢弃策略时数据编码分发^[1,12]的数据投递性能进行了仿真测试, 得出了实验结果, 并进行了对比分析。

5.1 仿真环境

在 ONE 仿真环境中, 设计了一个半径为 5 000 m 的微型 DTN 网络场景, 场景中设置 4 类移动节点。1 类节点模拟卫星、摆渡节点等周期性运动节点, 节点设置为 MapBasedMovement 移动模型在场景中移动; 2 类节点模拟编队运动的群组移动节点, 如航行编队等, 组内节点设置相同的移动速度和路径; 3 类节点模拟动态群组运动节点, 节点运动中不固定属于一个群组, 而是根据需要不断加入其他群组; 4 类节点模拟随机运动节点。场景中的所有节点都可发布、接收和转发数据。仿真场景选定总节点数的 10% 作为信源和信宿, 其余节点为中继节点。部分仿真参数如表 2 所示。

表 2 部分仿真参数配置

配置项	说明	数值
Scenario.nrofHostGroups	节点分组个数	4
Scenario.transType	数据传输方式	DRNC
Events.size	消息数据分组大小	500 KB, 1 MB
Group1.movementModel	组 1 节点移动模型	MapRouteMovement
Group1.bufferSize	组 1 节点缓存大小	5 MB
Group2.movementModel	组 1 节点移动模型	MapRouteMovement
Group2.bufferSize	组 2 节点缓存大小	20 MB
Group3.movementModel	组 2 节点移动模型	MapRouteMovement
Group3.bufferSize	组 2 节点缓存大小	10 MB
Group4.movementModel	组 3 节点移动模型	RandomWaypoint
Group4.bufferSize	组 3 节点缓存大小	100 MB

实验过程中, 各节点在区域内移动, 信源节点以动态随机网络编码传输的方式向信宿节点投递数据, 各节点根据设定的拥塞控制策略进行拥塞控制, 信宿节点接收编码分组并译码获得原始数据分组。

5.2 结果分析

仿真过程中, 对在网络节点中分别部署 CCM-DP 拥塞控制策略、DOA 丢弃策略及无拥塞控制机制的数据投递性能进行了仿真实验。3 种方法简要描述如下。

DOA: 采用动态随机网络编码方法传输, 当节点拥塞时丢弃在网络中存在时间最久的数据

分组。

Non-CC: 不采用丢弃策略, 直接采用动态随机网络编码方法传输。

CCM-DP: 在动态随机网络编码传输方法中, 采用本文介绍的基于数据投递概率的拥塞控制策略。

为验证在网络负载较大的情况下拥塞控制策略对数据编码分发算法的增益, 对 ONE 仿真环境中 Non-CC、CCM-DP、DOA 3 种方法随网络发送数据分组数量变化的数据投递率和投递延迟进行了对比分析, 如图 2 和图 3 所示。

随信源节点的数据发布量增大, 网络节点中积留数据分组增多, 易出现数据拥塞, 因此数据投递率逐渐下降, 数据的投递延迟也逐渐增加。Non-CC 方法中, 由于没有采用拥塞控制方法, 当接收节点出现拥塞时, 将无法接收到数据, 因此相当于采用的是丢弃最新数据分组的丢弃策略, 当出现数据拥塞时, 数据丢分组现象增多, 数据投递率下降, 数据解码延迟增加导致投递延迟增大。DOA 方法中, 节点拥塞是丢弃节点中存放最久的数据分组, 相较于 Non-CC 方法, 这种丢弃策略在网络编码传输中存在一定的合理性, 因为在节点中留存时间越久, 编码扩散的可能性越大, 数据分组丢失对信息投递和译码影响相对较小, 因此其投递率和延迟要略好于 Non-CC 方法, 但当网络中没有拥塞时, 由于拥塞处理增加了处理量, Non-CC 方法的性能要优于另外 2 种方法。CCM-DP 方法采用了拥塞转发控制和丢弃控制策略, 因此, 当数据发送量达到网络拥塞临界值时, 数据投递率和投递延迟下降较少, 相对于另外 2 种方法有更好的投递性能。

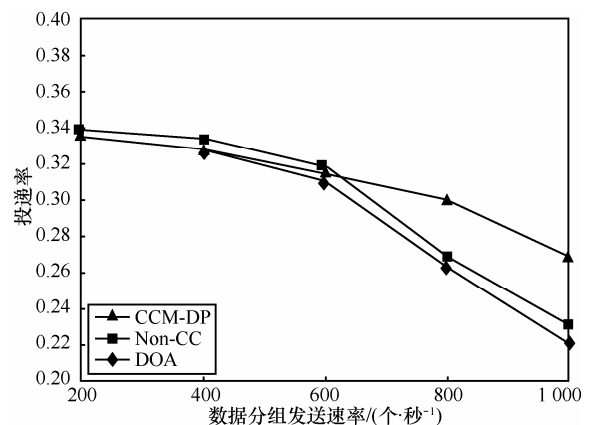


图 2 数据投递率随数据发送速率增加的性能比较

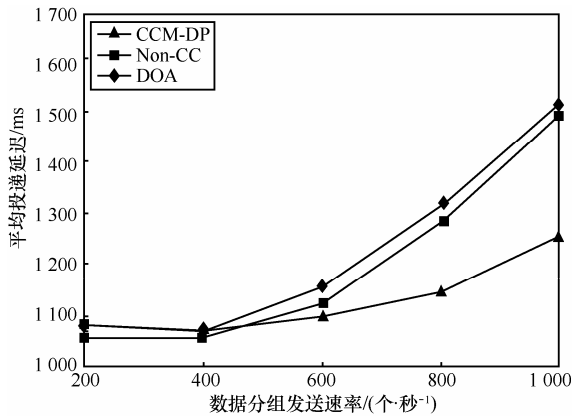


图 3 平均投递延迟随数据发送速率增加的性能比较

为验证网络传输不稳定性增加时拥塞控制算法对投递性能的影响，将网络中节点移动速度增加，增强网络的动态性，验证 3 种策略的数据投递性能。通过设置 ONE 仿真环境中的节点移动速度，对比分析了信源按每秒发送 500 个数据分组时，3 种方法随节点移动速度变化的数据投递率和投递延迟。如图 4 和图 5 所示。

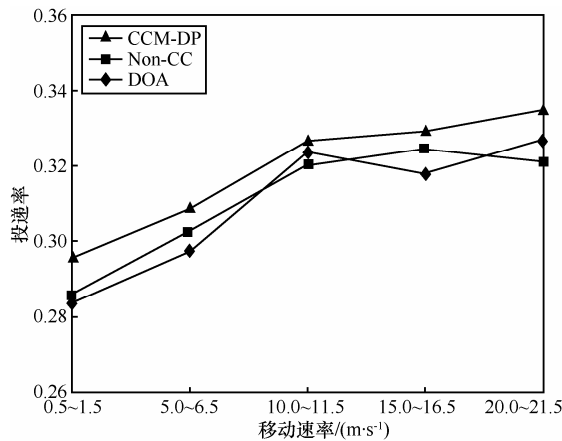


图 4 数据投递率随节点移动速度变化的性能比较

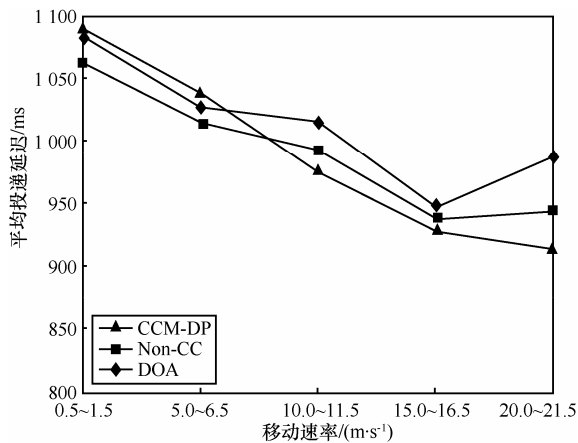


图 5 平均投递延迟随节点移动速度变化的性能比较

节点移动速度加快，使得节点间链路变化更频繁，节点间数据转发的频率增加，消息扩散更快更广，因此在机会投递的 DTN 中，数据投递率和投递延迟等随速率增加而性能更好，但随节点移动速度增加，网络中数据副本也更多，发生拥塞的概率增加，导致性能下降，在速度增加的性能增益与拥塞造成的性能损耗达到一定平衡后，性能增益趋于平缓。DOA 方法中，数据投递到拥塞节点时，节点丢弃存放最久的数据分组，因此网络达到拥塞的程度后，投递率和投递延迟都略有下降。在 Non-CC 方法中，当节点出现拥塞后，将无法接收新的数据分组，采用丢弃最新的数据分组的策略，但节点移动速度增加使节点间接触机会更多，新数据分组往往能迅速的转发到其他不拥塞的节点，因此在网络没有大面积拥塞的情况下，相对于 DOA 方法，数据丢分组稍少，数据投递性能略优。CCM-DP 方法中，采用拥塞转发策略避免拥塞的发生，同时发生拥塞后丢弃投递概率较小的数据分组，减少了拥塞分组丢失的概率同时也降低了丢分组对投递性能的影响，因此，其投递性能要优于其他 2 种方法。

6 结束语

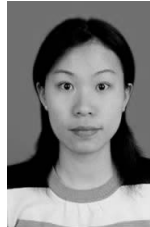
本文针对采用网络编码传输机制进行数据编码分发时，数据拥塞造成数据投递性能下降的问题，综合考虑节点移动模型，链路连通概率和节点拥塞程度等因素，建立信宿连通概率模型和数据投递概率模型，提出了一种基于数据投递概率的节点拥塞控制机制，从两方面进行拥塞控制：一方面综合考虑数据投递概率和节点拥塞程度对数据分组进行拥塞转发控制，避免数据分组向拥塞节点和低效率投递节点转发；另一方面，通过设计合理的丢弃策略，降低因拥塞造成数据分组丢失产生的影响。最后将拥塞控制机制应用到数据编码分发算法中进行了仿真实验，并与其他方法进行了对比分析，结果表明，该方法能提升数据拥塞情况下数据编码传输的数据投递性能。

参考文献:

[1] DENG G H, CAO W H, ZHANG J, *et al.* data dissemination mechanism with network coding based on ant colony algorithm in DTN Environment[J]. Acta Electronica Sinica. 2014, 42(8):1636-1641.

- [2] GRUNDY A, RADENKOVIC M. Promoting congestion control in opportunistic networks[A]. Proc of the IEEE WiMob 2010[C]. Niagara Falls, 2010. 324-330.
- [3] ZHAO G S, CHEN M. Congestion control mechanism based on accepting threshold in delay tolerant networks[J]. Journal of Software. 2013, 24(1):153-163.
- [4] COE E C, RAGHAVENDRA. Token based congestion control for DTNs[A]. Aerospace Conference[C]. 2010. 1-7.
- [5] RADENKOVIC M, GRUNDY A. Congestion aware forwarding in delay tolerant and social opportunistic networks[A]. Proc of the WONS 2011[C]. 60-67.
- [6] DENG G H, CAO W H, ZHANG J, *et al.* Mobility model detection method based on birth and death model in DTN environment[J]. Journal of Software. 2015, 36(1):2015007-1-2015007-11.
- [7] JEMIE L, TIMUR F, VANIA C. DTN routing in a mobility pattern space[A]. SIGCOMM'05[C]. Philadelphia, USA, 2005.
- [8] PENG M. Research on Mobility Model and Routing in Delay Tolerant Network[D]. University of Science and Technology of China, 2010.
- [9] WU L, WANG X M, LIU M, *et al.* Group mobility adaptive event delivery scheme for delay tolerant mobile sensor networks[J]. Journal of Software, 2012, 23(3):629-647.
- [10] YUAN Y, PENG Y, XING L S, *et al.* Efficient heuristic algorithm for the mobile sink routing problem[J]. Journal on Communications, 2011, 32(10):107-117.
- [11] CAI Q S, NIU J W, LIU M Z. Method for identifying node dissemination capability in opportunistic social networks[J]. Journal of Software, 2012, 23(Suppl(1)):49-58.
- [12] DENG G H, CAO W H, ZHANG J, *et al.* Method of dynamic random network coding in DTN environment[J]. Journal on Communications, 2014, 35(2):76-86.
- [13] ARI K, JÖRG O, TEEMU K. The ONE simulator for DTN protocol evaluation[A]. SIMUTools 2009[C]. Rome, Italy, 2009.

作者简介:



夏奕 (1982-), 女, 湖北武汉人, 硕士, 湖北交通职业技术学院讲师, 主要研究方向为容迟容断网络、传感器网络、机会路由、拥塞控制等。



邓广宏 (1981-), 男, 湖北钟祥人, 博士, 武汉数字工程研究所高级工程师, 主要研究方向为移动传感器网络、机会网络、网络编码等。