

基于校园机会网络的协作小组缓存调度策略

崔苑茹^{1,4}, 李 鹏^{1,2,3,4}, 刘 宏^{1,4}, 王小明^{1,2,3,4}, 吴晓军^{1,2,3,4}

(1. 陕西师范大学计算机科学学院, 陕西西安 710119; 2. 民歌智能计算与服务技术文化和旅游部重点实验室, 陕西西安 710062;
3. 现代教学技术教育部重点实验室, 陕西西安 710062; 4. 陕西省教学信息技术工程实验室, 陕西西安 710119)

摘 要: 缓存管理已经成为机会网络的研究热点, 目前大多数缓存管理方法都集中在单节点, 本文在校园协作学习背景下提出了缓存共享的协作小组资源调度方法. 节点活跃度描述了移动节点的缓存空间利用率和节点参与消息转发积极性, 消息树描述了消息在网络中的扩散程度. 以协作小组为单位建立已送达消息链表, 对已成功投递消息所占缓存空间及时进行释放. 该方法能有效提升节点空间利用率和消息投递率并且降低了消息的投递延迟. 实验结果表明, 与已有算法相比, 消息投递成功率平均提高了10.53%, 为小组缓存的共享利用与资源的高效调度提供方法.

关键词: 协作学习; 机会网络; 缓存调度; 消息树; 积极性

中图分类号: TC 393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2021)12-2399-08

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.12263/DZXB.20210420

Cache Scheduling Strategy for Collaborative Group Based on Campus Opportunistic Network

CUI Yuan-ru^{1,4}, LI Peng^{1,2,3,4}, LIU Hong^{1,4}, WANG Xiao-ming^{1,2,3,4}, WU Xiao-jun^{1,2,3,4}

(1. School of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China;

2. Key Laboratory of Folk Song Intelligent Computing and Service Technology, Ministry of Culture and Tourism, Xi'an, Shaanxi 710062, China;

3. Key Laboratory of Modern Teaching Technology, Ministry of Education, Xi'an, Shaanxi 710062, China;

4. Engineering Laboratory of Teaching Information Technology of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710119, China)

Abstract: Cache management has become a research hotspot in opportunistic networks. At present, most cache management methods are concentrated on single node. In this paper, we propose a cache sharing resource scheduling method for collaborative groups under the background of campus collaborative learning. Node activity describes the cache space utilization of mobile nodes and the enthusiasm of nodes to participate in message forwarding. Message tree describes the degree of message diffusion in the network. A linked list of delivered messages is established based on the collaboration group, and the cache space occupied by the successfully delivered messages is released in time. This method can effectively improve the node space utilization and message delivery rate, and reduce the message delivery delay. The experimental results show that, compared with the existing algorithms, the success rate of message delivery is increased by 10.53% on average, which provides a method for the sharing and utilization of group cache and the efficient scheduling of resources.

Key words: collaborative learning; opportunistic network; cache scheduling; message tree; activity

1 引言

移动机会网络是一种在间歇式连通的网络环境下, 通过节点移动带来通讯机会的网络^[1]. 随着手持设备的广泛使用, 节点间的通信机会增多, 移动机会网络

顺应发展趋势已经成为研究热点. 移动机会网络^[2]采用节点存储-携带-转发的方式实现通信. 在移动机会网络中, 由于便携设备物理存储条件限制, 便携设备的缓存空间受限, 影响了消息的传递率. 建立合适的缓存策略可以对节点缓存空间内的消息进行管理调度, 对

收稿日期: 2021-03-31; 修回日期: 2021-06-03; 责任编辑: 梅志强

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61877037, No. 61872228, No. 61977044, No. 62077035); 陕西省重点研发计划项目(No. 2020GY-221, No. 2019ZDLSF07-01, No. 2020ZDLGY10-05); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(No. 2020JM-303, No. 2020JM-302); 西安市科技计划项目(No. 2019216914GXRC005CG006-GXYD5.1); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(No. GK201903090, No. GK201801004.); 教育部陕西师范大学基础教育课程研究中心项目 No. (2019-JCJY009); 教育部高等教育司新工科研究与实践项目(No. E-RGZN20201045)

消息的留存或优先度进行调整,从而最大化利用节点缓存空间提高消息传递率。

校园移动机会网络是一种无线自组织的校园网络,其中学习者节点可以通过手持智能设备参与校园协作学习。每个学习者都是一个参与交流的学习者节点,节点在网络中的积极性反映了节点的活跃度,其交互方式取决于学习者的群体以及群体中学习者的信息所形成的机会网络。在校园协作学习背景下,同一协作学习小组存在多个学习者节点且协作小组内部学习节点之间交流密切,因此可建立适当的缓存互联管理机制对同一协作小组的缓存空间进行统一管理,有效降低消息的冗余程度并减少由于缓存空间不足而出现的消息传输失败等问题。

本文首先介绍了通过消息在网络中的扩散程度计算消息自身效用值,如果消息在网络中的扩散程度低,则消息的效用值高,在存储空间不足的情况下优先对效用值高的消息进行转发扩散;然后通过节点缓存空间使用率和缓存空间空闲率计算节点的空间利用率;接着由节点转发的消息效用值之和和节点自身的空间利用率确定节点的活跃度;最后提出缓存共享的协作小组资源调度算法,实验表明在缓存空间受限的情况下,该算法可以有效提高消息传递率。

2 相关工作

机会网络中,合理利用节点缓存空间实现消息的有效转发已经成为研究的热点。国内外的学者对机会网络中的缓存管理问题已经提出了一些相应的解决方案,研究成果如下。

文献[3]为了解决节点能量不足缓存空间受限的问题提出了 MIEBR 算法,节点对消息价值进行计算,由转发消息收益确定消息转发顺序,有效降低了节点转发过程中能量消耗。文献[4]通过抽象社团成员间的权重关系,针对不同的机会网络情况选用不同的权重转化方案,更加真实有效反映成员间的关系,解决了社团关系定量化单一的问题。文献[5]通过设计带阈值的移动模型实现不同簇之间的消息传输,有效减少了网络中消息的冗余度。文献[6]利用深度卷积神经的优势,提出了多节点间的链路预测方法,用以解决机会网络中拓扑结构变化频繁的消息传输。

文献[7]为了使节点的请求得到更快的响应,利用马尔科夫链将缓存决策定义为优化问题,提出了一种基于博弈的机会缓存策略文献,提高了节点请求的响应速度。文献[8]通过对消息的产生和消亡过程进行建模和分析,判断节点的缓存能力及合作意愿,提高了节点的缓存空间利用率。文献[9]通过建立概率评估机制(ICMT)对节点的缓存空间优先级进行排序,重构节点

缓存空间,分析节点在传输过程中的通讯区域,对消息进行了有效传输。文献[10]提出节点社会特征关系评价算法(NSFRE)根据每个节点的置信水平迭代删除过滤后的特征属性以解决消息泛滥的问题。

上述文献中对缓存模式进行分类、预测节点移动轨迹以及改善节点传输环境等方面进行了分析与研究。以上文献中均未对以校园机会网络为背景形成的协作小组之间实现缓存共享进行研究,这些方案提及的缓存管理策略均不适用于校园机会网络情景下的协作小组缓存调度情况。因此本文提出基于校园机会网络的协作小组缓存调度策略,通过评估消息在网络中的扩散度以及节点缓存空间的利用率对节点活跃度进行建模,并且及时删除已送达的消息释放节点的缓存空间。本文实验部分与文献[9]和文献[10]中提出的算法 ICMT 和 NSFRE 以及经典算法 Epidemic 进行对比并将实验数据进行归一化处理,可得本文提出的算法与其他算法相比,消息投递成功率平均提高 10.53%。

3 节点活跃度模型构建

3.1 消息效用建模

节点在转发消息的过程中,将消息的属性如消息的源节点 ID、消息的目的节点 ID、消息的生存时间和消息经过的路径等信息作为消息的一部分进行传递。为了对消息的扩散程度进行精确掌握,消息的转发路径用消息树进行记录,树的第一层记录消息扩散过程中经过的小组编号,树的第二层记录消息转发所经过的节点 ID。通过消息树的记录,分组被作为单独的一层抽象出来,便于以小组为整体掌握消息在网络中的扩散情况,节点内存受限时可以根据消息在自身所属小组的扩散情况决定是否删除该信息,消息自身在被转发时也可以根据在小组间的扩散情况优先选择扩散较少的小组节点或者和目的节点处于同一小组的节点进行转发,减少全局缓存空间的浪费,提高消息传递率。维护消息树会造成一定存储空间的消耗,但是对于消息在全局的扩散程度可以进行掌握,便于节点有目的地对消息进行转发和删除操作,可进一步提高缓存空间的利用率以及减少盲目转发消息对节点能量的消耗。

可根据消息 q 的扩散情况给出以下消息扩散度计算公式:

$$D_q = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n q_i}{G_{\text{all}}}\right)^2 + \left(\frac{\sum_{j=1}^m q_j}{J_{\text{all}}}\right)^2} \quad (1)$$

D_q 是消息 q 在全局的扩散程度,其中 $\sum_{i=1}^n q_i$ 表示消息

q 在扩散过程中经过小组数之和, $\sum_{j=1}^m q_j$ 表示消息 q 在扩散的过程中所经过节点数之和, G_{all} 表示分组总数, J_{all} 表示节点总数. 消息树由消息自身维护, 根节点存储产生消息的源节点和源节点所在分组. 当共同携带消息 q 的两个节点相遇时, 需要对 q 的消息树进行更新: 两个消息树查询双方共同存在的小组 ID 并对小组 ID 相同的叶子节点进行合并; 在消息树中添加对方消息树中存在但是自身无记录的小组 ID 及其叶子节点. 如图 1~3 所示:

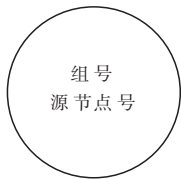


图1 消息产生

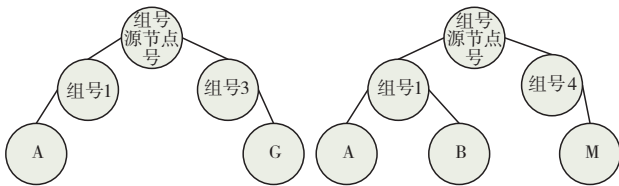


图2 消息扩散树相遇

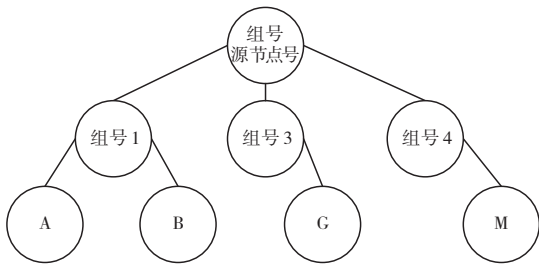


图3 更新消息扩散树

根据以上对消息扩散度的描述, 可得到消息效用值 V_q 的计算方法如下所示:

$$V_q = \frac{\lambda_1 A_h + \lambda_2 A_d}{D_q} \quad (2)$$

其中 A_h 是消息 q 产生节点的活跃度, A_d 是消息 q 目的节点的活跃度, λ_1 和 λ_2 的值分别为 1/2. 规定所有节点的活跃度初始值为 1, 随着节点对不同效用值消息的转发以及节点对自身缓存空间利用率的计算, 节点的活跃度会随之发生变化.

本文规定消息效用值越大的消息在节点转发过程中会优先被节点进行转发扩散. 随着消息扩散度的增大, 消息效用值会随之降低, 节点会优先选择扩散度较低的消息进行转发, 以提高总体的投递率; 消息效用值的大小与消息产生节点与目的节点的活跃度密切相关, 激励节点不断提高自身的活跃度, 活跃度越高的节

点产生的消息以及以自身为目的节点的消息也会被其他节点优先考虑转发. 消息效用值越高的消息会优先占用节点的缓存空间.

3.2 节点缓存空间活跃值

组内节点在随机移动过程中, 若某一节点在自身缓存空间受限时, 可以在可通讯范围内选取与自身处于同一小组且节点活跃度低于自身的节点, 作为该节点的备用缓存节点, 备用缓存节点的缓存空间称为副缓存空间. 组内节点的活跃度在节点相遇且需要扩展自身缓存时进行区分, 分为积极节点和消极节点. 节点的区分标准由节点缓存空间的利用率和消息效用值共同决定, 其中节点缓存空间活跃值由缓存空间使用量和缓存空间使用频率来计算.

对于节点 i 缓存空间使用量 U_i 可用如下公式进行计算:

$$U_i = \frac{C_{initially} - C_{remaining} + C_{releasing}}{T_{rema} - T_{init}} \quad (3)$$

其中 $C_{initially}$ 为节点 i 在初始状态的缓存空间大小, $C_{remaining}$ 为节点 i 在评估时的缓存空间大小, $C_{releasing}$ 为节点 i 在该时间段内所释放的节点空间大小, T_{init} 为初始时间, T_{rema} 为评估时间, 该公式可对节点 i 在任意时间段内缓存空间的使用量进行表征.

对于节点 i 的缓存空间使用频率 F_i 可用如下方法进行计算:

$$F_i = \frac{\sum_{v=1}^n T_{v-end} - T_{v-start}}{T_{all}} \quad (4)$$

其中 n 表示节点 i 在任意时间段所进行连接的次数, T_{v-end} 为第 v 次连接的终止时间, $T_{v-start}$ 为第 v 次连接初始时的时间, T_{all} 为该时间段的时间总长度, 该公式可对节点的缓存空间使用频率进行表征.

节点 i 的缓存空间活跃值 P_i 可用式(5)进行计算:

$$P_i = \theta_1 U_i + \theta_2 F_i \quad (5)$$

在本文中我们结合缓存空间使用量 U_i 和缓存空间使用频率 F_i 对任意节点缓存空间的使用情况进行评估, 其中 θ_1 和 θ_2 分别为基于对节点连接情况及节点所传输文件等影响因素进行整合后所做的控制系数.

3.3 节点活跃度计算

结合以上对节点空间缓存利用率和消息效用值的计算, 节点活跃度 A_i 的计算公式如式(6)所示:

$$A_i = \partial e^{P_i} + (1 - \partial) \left(\sum_q V_q \right) \quad (6)$$

其中 ∂ 为指定参数, $\sum_q V_q$ 为节点 i 所转发的所有消息效用值之和.

为了减少节点缓存空间的浪费, 充分体现协作小组的优势, 可规定当节点在进行消息转发时, 若产生消

息的节点与消息的目的节点位于同一协作小组中,该消息只在组内节点之间进行转发,消息转发类型称为组内转发;若产生消息的节点与消息的目的节点不属于同一协作小组,消息在组内组外节点之间皆可转发,消息转发类型称为非组内转发。

由于节点不断移动的特点以及减少作为副存储空间节点能量的消耗,规定作为积极节点的副缓存空间节点在与积极节点维持的可通讯范围内没有遇到自身需要的缓存空间不够的情况下,默认对之前作为副缓存空间保存的消息一直进行保留;若可通讯范围内自身需要的缓存空间不够的情况下,按照消息效用值进行排序,优先删除消息效用值低的节点。作为副缓存空间的节点与积极节点超出可通讯范围时对其充当副缓存节点所存储的消息进行删除。

4 小组缓存互联管理机制

4.1 消息时效性

消息自身维护的消息树在消息在被转发的过程中会不断完善,从而为我们掌握消息的扩散程度提供方便。随着消息不断转发,消息树会持续增大,节点转发消息所消耗的能量也会增大,因此当消息传输成功后及时通知存有该消息的节点删除有关该消息的所有信息对于提升节点的缓存的利用率来说也是必不可少的一部分。

每个节点维护一个已送达消息链表 φ_m^n ,其中 n 表示节点名称, m 表示节点 n 所在小组编号。规定链表 φ_m^n 中每个结点类型为集合 S_g ,集合 S_g 的构造为 $\{g, \text{消息ID}, \text{消息ID}, \dots\}$,其中 g 表示小组编号且默认为集合中第一个元素,其余元素为该小组节点所送达的消息ID。借助消息树分层的特点,规定最后一个节点将消息转发到目的节点时,根据节点所在小组编号将消息ID放入集合内。可通讯范围内节点相遇时,查询自身维护的链表中是否存在对方节点所在小组的集合,如果存在则节点间进行交互并更新各自的已送达消息链表;如果不存在则在链表中创建新的链表节点。节点通过对比链表中的消息ID和自身待转发消息中的消息ID,筛选出同时存在两个表中的消息并对该消息进行删除,及时释放节点缓存空间提高节点空间利用率。节点 p_1 的已送达消息链表如图4所示。

根据消息的平均送达时间,规定平均送达时间为一个周期,每个集合中的每个消息ID生存时间为两个周期,到达两个周期后,消息自动从集合中消亡。消息平均送达时间的计算公式为:

$$T_{\text{ave}} = \frac{\sum T_{\text{info}}}{S_{\text{info}}} \quad (7)$$

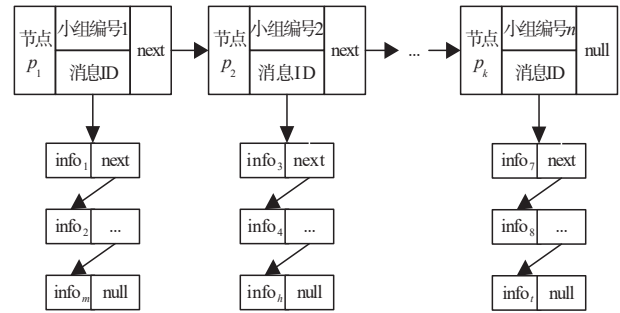


图4 p_1 节点的已送达消息链表

其中 T_{ave} 表示消息的平均送达时间,也表示已送达消息集合中消息生存的一个周期时长, $\sum T_{\text{info}}$ 表示已送达消息所花费的总时间, S_{info} 表示已送达消息的总个数。

4.2 缓存空间调度策略

本文提出机会网络缓存共享的协作小组资源调度算法(CLGC, Collaborative Learning Group Cache),实现小组间的缓存空间共享。

算法1 CLGC算法

```

1: WHILE (消息  $q$  存在于节点  $i$  && 消息  $q$  不存在于节点  $j$ )
2:   IF (消息  $q$  的源节点与目的节点不属于同一小组)
3:     IF (节点  $j$  的空闲缓存空间  $\geq$  转发消息  $q$  所需缓存空间)
4:        $j$  forward  $q$ ;
5:       update  $q$ . tree;
6:     END IF;
7:   IF (节点  $j$  的空闲缓存空间  $<$  转发消息  $q$  所需缓存空间)
8:     计算节点  $j$  的积极性  $A_j$ ;
9:     IF (存在节点  $k$  作为节点  $j$  的备用缓存节点)
10:       $k$  forward  $q$ ;
11:    END IF;
12:   IF (无节点可作为节点  $j$  的备用缓存节点)
13:     计算消息  $q$  的效用值  $V_q$ ;
14:     IF (节点  $j$  中存在效用值低于消息  $q$  的消息)
15:       删除效用值低于消息  $q$  的消息;
16:      $j$  forward  $q$ ;
17:     update  $q$ . tree;
18:   END IF;
19: END IF;
20: END IF;
21: END IF;
22: IF (消息  $q$  的源节点、目的节点和节点  $j$  属于同一小组)
23:   IF (节点  $j$  的空闲缓存空间  $\geq$  转发消息  $q$  所需缓存空间)
24:      $j$  forward  $q$ ;
25:     update  $q$ . tree;
26:   END IF;
27: END IF;
28: WHILE (消息  $q$  存在于节点  $i$  && 消息  $q$  存在于节点  $j$ )
29:   update  $q$ . tree;

```

当机会网络中两个节点相遇时,节点*i*携带消息*q*且节点*j*未携带消息*q*,首先判断消息*q*的转发类型是否为组内转发.如果消息*q*的转发类型为组内转发,节点*j*与*q*的目的节点为同一小组节点并且*j*缓存空间充足,*j*转发消息*q*,否则,*j*不转发消息*q*.如果消息*q*的转发类型为非组内转发,当节点*j*的缓存空间充足时,*j*转发消息*q*.当节点*j*的缓存空间不充足时,*j*在可通讯范围内寻找自身备用缓存节点,如果存在备用缓存节点,由备用缓存节点转发消息*q*.如果不存在备用缓存节点,由节点*j*计算消息*q*的效用值,查找并删除*j*缓存空间中消息效用值低于*q*的消息,*j*转发消息*q*.如果节点*j*缓存空间中不存在效用值低于*q*的消息,*j*不转发消息*q*.流程图如图5所示,CLGC算法如算法1所示.

5 仿真验证与结果分析

5.1 实验参数设置

为了验证本文所提出的机会网络缓存共享的协作小组资源调度算法(CLGC)的有效性,本部分采用机会网络的仿真环境 ONE (Opportunistic Network Environment) 进行仿真验证,并与 ICMT, NSFRE 和 Epidemic^[11] 算法进行比较, ONE 仿真环境中主要参数如表1所示:

相同的实验环境下,分别统计4种策略在不同缓存空间,不同消息生存时间和不同传输速度下的性能指标,并进行分析比较.其中第3章节中提到的参数 θ_1 和 θ_2 分别取 1/2, 经测试 ϑ 值取 0.25 时,实验结果较好.

5.2 实验结果分析

本文采用数据归一化的方法对实验数据进行处理,数据归一化的结果值越大说明路由算法提升的消息投递成功率越大,路由算法的性能越好.数据归一化计算公式如下:

$$Y = \frac{y - R^{\min}}{R^{\max} - R^{\min}} \quad (8)$$

式(8)中 R^{\max} 和 R^{\min} 分别表示四种路由的实验数据中最大值和最小值, Y 表示归一化后的实验数据.

将仿真环境中的传输速度设置为 500KB/s 以及消息生存设置为 3600s, 仿真结果如图6和图7所示.

通过图6可以看出,随着缓存空间的增大,4种算法的消息投递成功率都有显著提高,其中 CLGC 在不同缓存空间下消息投递成功率是最好的.缓存空间大小的变化对 Epidemic 算法的影响最大,由于 Epidemic 算法对每一个遇到的节点都进行消息转发,随着缓存空间的增大,消息投递成功率超过了 NSFRE 算法和 ICMT 算法. ICMT 算法在缓存空间小于 20MB 时与 CLGC 的消息投递成功率相差不大,随着缓存空间的增大, CLGC 的

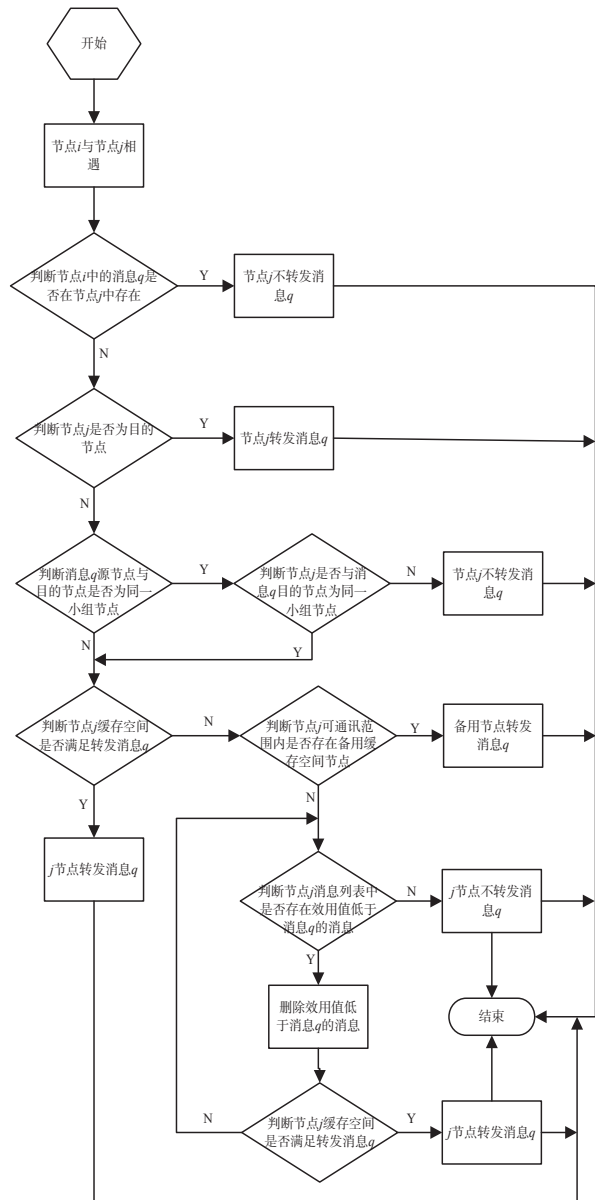


图5 算法流程图

表1 仿真参数设置

参数名称	参数值
数据集	haggle6-infocom6
仿真时长/s	100000
消息大小/KB	500~5000
仿真区域/m ²	4500*3400
等待时长/s	0~120
节点个数/个	98
节点分组数/个	5
节点移动速度/(m/s)	1~10

消息投递成功率远高于 ICMT. 通过图7可以看出,随着缓存空间的不断增大,4种路由算法的网络负载量都有

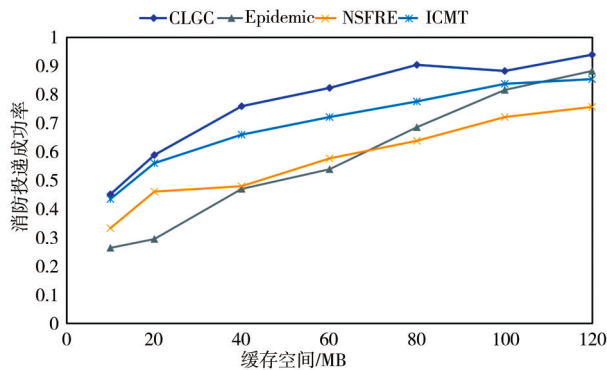


图6 不同缓存空间下的消息投递率

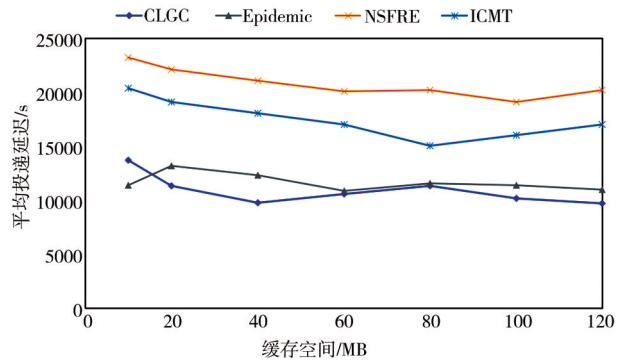


图8 不同缓存空间下的平均延迟投递时间

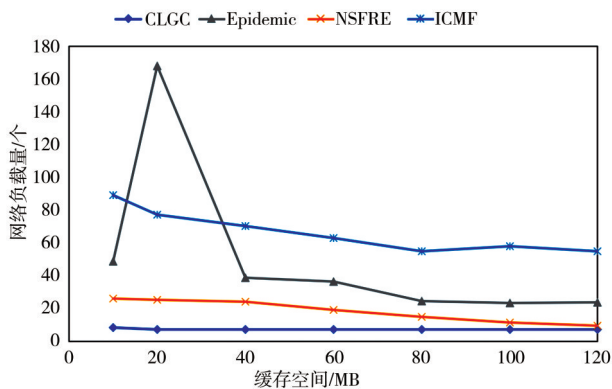


图7 不同缓存空间下的网络负载量

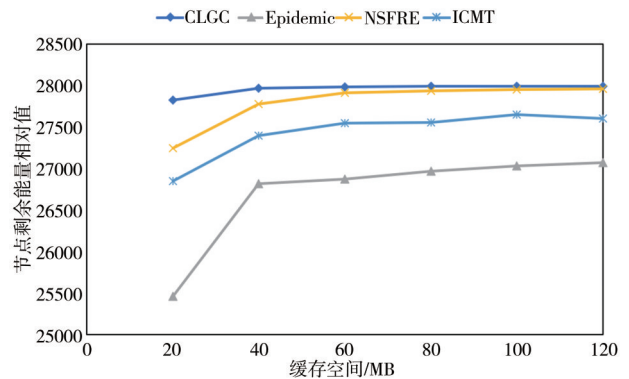


图9 不同缓存空间下的节点剩余能量

一个明显的下降。CLGC和NSFRE算法的网络负载量远远小于其他两种路由算法,结合图6可知CLGC的消息投递成功率高于NSFRE. 根据上述归一化公式可在不同缓存空间下,CLGC算法的消息投递成功率提升了64.01%,Epidemic算法的消息投递成功率提升了48.63%,NSFRE算法的消息投递成功率提升了55.18%,ICMT算法的消息投递成功率提升了61.45%. CLGC算法相比于其他三种算法,消息投递成功率平均提高了10.53%.

通过图8可以看出,CLGC和Epidemic平均延迟投递时间基本持平并且平均延迟投递时间远远小于NSFRE算法和ICMT算法. CLGC在判断消息转发的过程中由节点的活跃度和消息效用值共同决定,并且消息在传递的过程中,组内消息只在组内节点之间进行转发,因此虽然CLGC和Epidemic平均延迟投递时间相差不大,但是CLGC网络负载率远远小于Epidemic. 通过图9可以看出,CLGC的节点剩余能量是最多的,Epidemic的节点剩余能量是最少的. 由于Epidemic对所有遇到的节点都进行消息转发,节点能量消耗快,所以节点的剩余能量远远小于其他三种算法.

将仿真环境中的消息生存设置为3600s以及缓存空间设置为30MB,仿真结果如图10和图11所示.

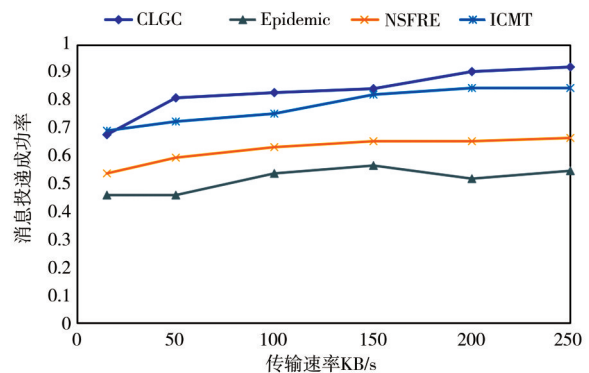


图10 不同传输速率下的消息投递成功率

通过图10可以看出,随着节点传输速率的增大,4种路由的消息投递成功率都有提高. CLGC的消息投递成功率明显高于NSFRE,ICMT和Epidemic算法. 通过图11可以看出NSFRE和CLGC的平均投递延迟是4种路由中最低的. 由于缓存空间和传输速率的影响,Epidemic算法的平均投递延时高于NSFRE,ICMT和CLGC算法. NSFRE的平均投递延迟在节点传输速率小于

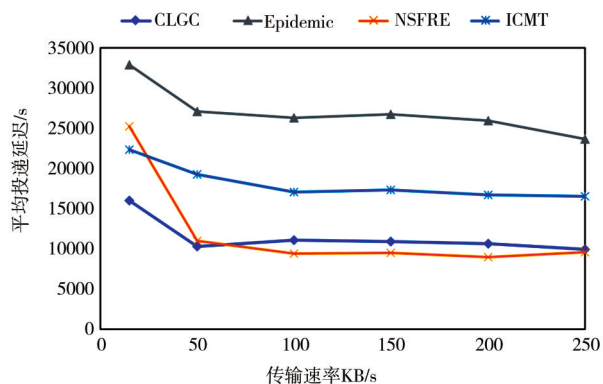


图 11 不同传输速率下的平均投递延迟时间

20KB/s 时高于 ICMT 和 CLGC, 随着传输速率的增大, NSFRE 平均投递延迟是四种路由中最低的, 但是其消息投递成功率远远小于 CLGC.

从以上实验结果可以看出, 当节点缓存空间受限时 CLGC 算法的综合性能是最优的, 本文提出的算法综合考虑消息在网络中的扩散程度以及节点参与消息转发的积极性, 激发节点积极地参与进消息转发的过程中, 使得在空间受限时可以最大限度完成不同效用值消息的扩散. CLGC 算法在消息投递成功率、网络负载量和平均投递延时等方面优于 NSFRE, ICMT 和 Epidemic 算法, 为解决节点缓存空间不足而导致消息投递失败等问题提供了良好的解决方案.

6 总结

为了使机会网络中节点的缓存空间得到充分利用, 延长节点使用时间, 提高消息的投递成功率, 本文提出基于校园机会网络的协作小组缓存调度策略, 通过计算消息效用值将消息的目的节点和源节点的活跃度, 激励节点积极地参与网络中消息的传递过程, 提高节点的空间利用率. 以小组的缓存空间为单位, 活跃度高的节点在缓存空间不足的情况下可以借助同组活跃度低于自己的节点作为自身的副缓存空间. 通过实验表明, CLGC 算法表现出较高的性能, 能够均衡节点的空间利用率, 与已有算法相比有效提高消息投递成功率 10.53%, 实现了节点缓存的合理配置, 可为移动机会网络等相关研究领域提供理论与方法支撑.

参考文献

[1] 马学彬, 郑田玉, 李明珠. 机会网络中自私行为影响的分析与调节[J]. 电子学报, 2019, 47(4): 71 - 81.
Ma X B, Zheng T Y, Li M Z. Analysis and regulation of effects of selfishness on opportunistic network[J]. Acta Elec-

tronica Sinica, 2019, 47(4): 71 - 81. (in Chinese)

[2] 李鹏, 王小明, 张立臣, 等. 机会网络视频数据的分块渐进传输新方法[J]. 电子学报, 2018, 46(9): 2165 - 2172.
Li P, Wang X M, Zhang L C, et al. A novel method of video data fragmentary and progressive transmission in opportunistic network[J]. Acta Electronica Sinica, 2018, 46(9): 2165 - 2172. (in Chinese)

[3] 陈志刚, 殷滨安, 吴嘉. 基于消息重要性的机会网络能量均衡路由算法[J]. 通信学报, 2018, 39(12): 91 - 101.
Chen Z G, Yin B A, Wu J. Energy balanced routing algorithm for opportunistic network based on message importance[J]. Journal on Communications, 2018, 39(12): 91 - 101. (in Chinese)

[4] 马学彬, 白婧, 郑田玉. 机会网络中基于有权社团结构图的路由协议研究[J]. 电子学报, 2016, 44(10): 2449 - 2458.
Ma X B, Bai J, Zheng T Y. A routing algorithm based on weighted community detection for opportunistic networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2016, 44(10): 2449 - 2458. (in Chinese)

[5] 刘春蕊, 张书奎, 贾俊铖, 等. 机会网络中基于摆渡节点与簇节点相互协作的路由机制[J]. 电子学报, 2016, 44(11): 2607 - 2617.
Liu C R, Zhang S K, Jia J C, et al. Routing mechanism based on the cooperation of the ferry nodes and cluster nodes in opportunistic networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2016, 44(11): 2607 - 2617. (in Chinese)

[6] 舒坚, 张学佩, 刘琳岚, 等. 基于深度卷积神经网络的多节点间链路预测方法[J]. 电子学报, 2018, 46(12): 2970 - 2977.
Shu J, Zhang X P, Liu L L, et al. Multi-nodes link prediction method based on deep convolution neural networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2018, 46(12): 2970 - 2977. (in Chinese)

[7] Liu Q, Wang Y, Zhuge L, et al. A game theoretical distributed approach for opportunistic caching strategy[J]. Wireless Networks, 2019, 25(5): 2817 - 2829.

[8] Yang P, Kang X, Zhang P, et al. Cooperation willingness aware caching mechanism towards opportunistic network [A]. 2018 IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS)[C]. Chengdu, China: IEEE, 2018. 473 - 477.

[9] Goudar G, Batabyal S. Optimizing bulk transfer size and scheduling for efficient buffer management in mobile opportunistic networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2021, DOI: 10.1109/TMC.2021.3075993.

[10] Yu G, Chen Z G, Wu J, et al. Quantitative social rela-

tions based on trust routing algorithm in opportunistic social network[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2019, 2019(1): 1 – 18.

- [11] Mundur P, Seligman M, Lee G. Epidemic routing with immunity in delay tolerant networks[A]. MILCOM 2008 - 2008 IEEE Military Communications Conference[C]. San Diego, CA, USA: IEEE, 2008. 1 – 7.

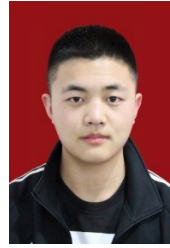
作者简介



崔苑茹 1996年生于陕西西安, 陕西师范大学计算机科学学院硕士研究生. 主要研究方向为机会网络、移动计算等.
E-mail: cui_yuanru@snnu.edu.cn



李鹏(通信作者) 男, 1981年生于陕西扶风, 博士, 副教授. 主要研究方向为物联网、机会网络、移动计算、多媒体信息处理等.
E-mail: lipeng@snnu.edu.cn



刘宏 男, 1996年生于陕西富平, 陕西师范大学计算机科学学院硕士研究生毕业生. 主要研究方向为物联网、机会网络、移动计算、多媒体信息处理等.

E-mail: liuhong@snnu.edu.cn



王小明 男, 1964年生于甘肃天水, 博士, 教授, 博士生导师. 主要研究方向为无线传感器网络、移动自组织网络、社会计算与社会网络等.

E-mail: wangxm@snnu.edu.cn



吴晓军 男, 1970年生于陕西凤翔, 博士, 教授, 博士生导师. 主要研究方向为机器学习, 大数据处理, 传感器网络以及复杂系统理论与应用等.

E-mail: xjwu@snnu.edu.cn