

# 机会网络视频数据的 分块渐进传输新方法

李 鹏<sup>1,2,3</sup>, 王小明<sup>1,2,3</sup>, 张立臣<sup>1,2,3</sup>, 卢俊岭<sup>1,2,3</sup>, 朱腾蛟<sup>2,3</sup>, 张 丹<sup>2,3</sup>

(1. 陕西师范大学现代教学技术教育部重点实验室, 陕西西安 710119; 2. 陕西省教学信息与技术工程实验室, 陕西 710119;  
3. 陕西师范大学计算机科学学院, 陕西西安 710119)

**摘 要:** 各类移动多媒体智能终端的普及使得设备间的自组织机会通信成为国际研究热点, 而移动节点间的机会通信方式已无法满足日益增长的多媒体传输需求. 面向机会组网与视频内容传输问题, 基于机会网络实际通信能力计算, 提出了一种视频分块大小最优化计算方法, 使机会网络通信能力得到最大化利用; 提出了一种能够实现渐进式接收视频分块的路由调度算法, 建立分块紧缺度模型, 引导分块在目标节点趋于均匀分布. 实验结果表明, 该方法能在恶劣通信环境下实现高效的视频数据预览与传输, 可为相关视频内容的无线移动传输提供支持.

**关键词:** 机会网络; 分块传输; 调度算法

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0372-2112 (2018)09-2165-08

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>

**DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2018.09.017

## A Novel Method of Video Data Fragmentary and Progressive Transmission in Opportunistic Network

LI Peng<sup>1,2,3</sup>, WANG Xiao-ming<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Li-chen<sup>1,2,3</sup>, LU Jun-ling<sup>1,2,3</sup>, ZHU Teng-jiao<sup>2,3</sup>, ZHANG Dan<sup>2,3</sup>

(1. Ministry of Education Key Laboratory for Modern Teaching Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China;

2. Engineeruny Laboratory of Teach Information Technology of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710119, China;

3. School of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China)

**Abstract:** Ad hoc opportunistic communication has become a hotspot with the popularity of various mobile multimedia intelligent terminals. However, the opportunistic communication style among mobile nodes cannot satisfy the growing of multimedia transmission. Aiming to the issues of opportunistic networking and video content transmission, based on the opportunistic network communication capability calculation, we proposed a method of calculating the optimal size of video fragment. The method could maximize the use of network communication capabilities. After that, a video routing and scheduling algorithm is proposed to receive video fragments progressively, and to create fragment priority model which results to uniform fragments distribution at destination node. The experimental results show that the proposed methods can make efficient video content preview and transmission in challenging communication environment, and can support the related video content transmission in wireless mobile environment.

**Key words:** opportunistic networks; fragment transmission; scheduling algorithm

## 1 引言

随着智能手机、平板电脑等大量便携式、移动多媒体无线通信设备的普及和发展, 移动自组织网络

(Mobile Ad Hoc Networks, MANET) 的相关研究面临新的挑战. 节点社会属性的逐步增强以及因节点移动、分布稀疏、射频关闭或受阻等, 都可能频繁出现网络大部分情况下无法连通, 或者大多数连通持续时间短

收稿日期: 2017-05-04; 修回日期: 2017-10-24; 责任编辑: 梅志强

基金项目: 国家重点研发计划 (No. 2017YFB142102); 国家自然科学基金 (No. 61702317, No. 61402273, No. 61373083); 国家留学基金 (No. 201506875069); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目 (No. 2015JQ6238, No. 2017JM6060, No. 2017JM6103); 中央高校基本科研业务费专项资金 (No. GK201803082, No. GK201401002, No. GK201703061); 陕西省重点科技创新团队项目 (No. 2014KTC-18); 高等学校学科创新引智计划 (No. B16031).

暂等情况,这对 MANET 的有效传输造成严重影响<sup>[1]</sup>. 机会网络 (Opportunistic Networks) 是一种不需要源节点和目标节点之间存在完整链路,利用节点移动带来的相遇机会,逐跳传输信息,以存储-携带-转发的路由模式实现节点间通信的新型网络模式. 它改变了 MANET 中,对因节点移动造成连接中断的消极观点,反而将移动看作达成信息流动与传播的机会来源. 作为一种全新的组网方式,机会网络借鉴了延迟(中断)容忍网络 (Delay/Disruption Tolerant Networks, DTNs, 也称容忍网络) 不需要建立端到端完整连接的特性,迎合了目前大量的区域性、短距离无线通信应用实际<sup>[2]</sup>. 在人人都能产生数据并对其加工、共享的大数据时代,机会网络将在众多社会活动领域发挥重要作用,产生可观经济价值.

移动社会网络的快速发展,使得终端用户特别是智能手机用户愿意拍摄或者收集图片和短视频,再上传至网络空间与社会网络中的其他节点分享. 但是,视频多媒体时代的数据量急剧增长,特定时段的网络通信已不堪重负,有必要研究新的方法,缓解这种通信压力. 同时,因各种原因临时无法使用区域内 Wi-Fi 也是采用机会通信的另一个原因;高速的 4G、5G 蜂窝网络虽然通信流畅,但增加了用户通信支付成本;在地震、飓风等自然灾害造成基础通信设施受损或者通信网络拥堵的情况下,机会网络成了最便于即时切换的后备网络连接形态.

鉴于以上原因,移动终端间的机会通信方式成为常规网络通信方式之外的良好备选方案. 研究<sup>[3]</sup>表明,社会网络中节点的强连接数量是有限的,关系密切的强连接节点常常在一定时间内处在同一个活动区域中,这也是即时数据分享的期望范围. 比如,各类在校学习活动中,基于学习资源分享与传输的社会关系扩散特征更加明显. 这时,通过节点间的直连或者免流量转发分享成为可能.

然而,受节点间传输带宽限制,一个多媒体视频文件往往在短暂的机会连接中无法一次完成传输,当通信断开时,之前所传送的数据或者不可用,或者只包含视频开始端部分内容,无法进行全局视频内容梗概预览. 而且,频繁的不成功传输也会让节点产生大量能量消耗. 如何在不影响节点自身活动的前提下,以更自然、无扰的方式,克服节点间的频繁中断,有效传输视频数据成为面临的难题.

本文在前期机会网络通信能力分析评测研究基础上,提出了面向机会网络的视频媒体最优化分块方案与视频分块路由、调度策略,可实现视频内容在恶劣通信条件下的最大化内容与信息量传输.

## 2 相关工作

近年来,对于包含 MANET、DTN 等在内的机会网络、机会计算相关研究正不断涌现,主要研究方向包括机会网络节点移动建模、机会路由方法、数据分发和调度、能耗管理、缓存管理、节点的自私性和激励策略、加密安全以及与社会网络的结合应用等. 本文的研究内容主要是针对节点间的视频媒体数据分发和调度. 当机会网络中的节点在移动中相互进入通信范围时,对于特定节点,如果此时有多个节点与之建立连接,在单信道通信模式下,就要决定与相遇的哪个节点建立通信<sup>[4]</sup>,确定了节点之后,还要决定是否将所持消息向其发送,这些都是机会网络中的路由问题. 与路由问题紧密相关的还有数据传输中存在的调度问题,即当存在着多个可用消息向对方节点发送时,确定应该发送哪个消息或者按照什么样的优先级发送.

特别地,当机会网络中消息的数据量较大时,比如视频类型数据,在一次机会通信中往往无法将一个消息一次传送完成,这使得大消息的成功递交要耗费较大延时,也会常常因为连接超时或中断而传输失败. 常用的方法是将消息分块后再传输,即将一个较大的数据文件在源节点划分为多个大小相等的分块消息,每个分块被当作一个独立的消息在节点间传送,目标节点收到所有分块消息之后再合并成完整数据. 在这个过程中,数据分块大小的确定成为首要解决的问题.

文献[5]认为,分块的大小必须与网络形态实际相符,根据网络中节点相遇时长和节点间的传输带宽来决定合适的分块大小,以最大限度地利用有限的网络通信资源. 包含同样大小分块的众多消息在机会网络中被转发、传播也必须考虑消息的调度问题,良好的调度方案能有效提高网络节点中消息的异质性,增加节点相遇时消息转发的可用机会,降低同质节点浪费通信机会的情形,缩短消息的全局递交延时.

文献[6]提出了一种基于流行度的一般消息调度方法,通过局部统计消息的分发副本数,为消息建立流行度序列,当有节点相遇时,优先发送流行度低的消息来增加异质性,提高递交效率. 但未能与压缩视频的特殊要求相结合,在视频的分块传输中存在较大局限.

文献[7]针对视频流媒体在移动自组织网络中传输的问题,提出了一种在压缩视频流中为图片组的不同帧按照其类型定义不同优先级的视频传输方法,降低了数据包在传输过程中的丢包率,提高了视频流质量. 在全局递交率较高的情况下,能获得较好视频质量. 但如果以帧为最小单位组建分块,容易发生关键帧缺失导致 GOP 无法解码或者不完全解码的情况. 尤其在

恶劣网络通信环境下,对于视频分块接收不足的节点,难以有效实现视频内容预览。

文献[8]介绍了机会网络编码支持下的视频传输关键方法,通过仿真的方法研究无线网络中基于机会网络编码的实时视频传输性能,并比较、分析了传输后的图像重构质量.该方式适用于网络节点分布密集、网络通信能力较强的情形,在节点稀疏、中断频繁的恶劣通信环境下效果有限。

在实际应用中,若视频数据量较大,用户在判断是否接收该视频文件时,需要预览视频的梗概内容,以判断是否继续花费资源获取该视频,而不是完整的下载该视频之后,再判断该视频是否满足所需.这就要关注视频传输中的最大化内容预览问题.同时,视频播放时的流畅性要求和视频摘要内容的预先获取都对视频分块的调度有特殊的要求。

本文在网络模型计算基础上提出一种分块大小优化方法,并提出一种考察分块缺失紧急程度的定义,通过该方法引导分块在节点相遇时实现有序调度,使得在不影响分块传输效率、不增加递交延时的条件下,使最终接收的分块总体分布尽可能均匀,让用户在短时难以获得完整视频内容的时候,能最大限度的了解视频概略信息,为视频数据的后期传输提供决策。

### 3 视频分块最优化计算

大量研究证实,数据量大的信息通过分块传输能够有效提高机会网络的通信效率,而分块大小对传输效率有重要的影响.分块的大小应依照网络的实际通信能力来确定.描述网络通信能力最重要的两个参数是节点间通信带宽和通信时长分布.我们在前期的研究中<sup>[9]</sup>,已经明确了机会网络中任意两个节点间通信时长期望  $t_{ave}$  的计算方法为:

$$t_{ave} = \frac{\pi^2 R}{8v_0} \quad (1)$$

其中,  $R$  为节点通信半径,  $v_0$  表示节点在活动区域中的移动速率.节点采用随机路点(Random Waypoint, RW)移动模型。

相应地,全局通信次数期望  $C_{ave}$  的计算方法为:

$$C_{ave} = 4n \cdot (n-1) \cdot \frac{v_0 \cdot T \cdot R}{\pi \cdot S} \quad (2)$$

其中,  $v_0$  和  $R$  分别代表节点移动速率和节点通信半径,  $T$  表示机会网络总运行时长,  $S$  表示节点运动场景总面积,  $n$  代表全局节点总数。

该公式通过对机会网络基本参数的计算,从通信机会与强度的角度确定了机会网络综合传输能力的量化表达.在此基础上,再进一步确定节点间传送数据的最优分块大小计算方法。

对于本文所关注的视频媒体数据,首先需分析视频文件基本特征.以经典 MPEG-4 压缩编码为例,压缩视频可被表现为时间轴上的图片组(Group Of Pictures, GOP)多帧序列,所划定的分块至少包含一个完整 GOP.要实现分块传输,则在源节点对视频数据进行分块,之后经过机会传输在目标节点接收并完成合并.拟传输的视频文件本身包含有信息块(也称文件头)、数据块、索引块等,若不加区分地对数据做分块并编号,则必须确保在目标节点中能成功接收到包含文件头的数据分块,否则所有已收到的其他分块难以合并成可播放的文件。

为了解决该问题,在对视频数据进行分块处理时,需通过分析视频数据结构,计算 GOP 个数及大小,参照最优分块大小划定 GOP 数量,并给每一个分块重新定义一个与之对应的视频文件头.记录该分块中数据的大小、编解码等信息,并连同相应的 GOP 数据共同组成分块,这样每个分块成为一个独立的可播放视频,若接收端分块接收不完整,仍可合并成可播放的视频文件。

除了新生成的分块视频文件头,还需要记录视频的文件名、分块在视频文件中的位置、视频播放时长、消息的生命周期等相关参数,将这些内容都统一放置于称作标记字段的数据结构之中,与视频分块数据一起构成节点间传输的消息.显而易见,消息中的标记字段规模和所占比重会对网络吞吐率产生影响。

假定标记字段大小为  $h$ ,分块大小为  $m$ ,则消息大小为  $h+m$ ,平均一个数据块传输的吞吐率为:

$$\xi_0 = B \cdot \frac{m}{m+h} = B \cdot \left(1 - \frac{h}{m+h}\right) \quad (3)$$

其中,  $B$  表示节点间的通信带宽。

当分块大小  $m$  减小时,标记信息  $h$  在网络传播的消息中的数据量比例增加,使得网络吞吐率下降.结合之前有关机会网络通信时长期望与通信次数期望的相关计算,可以给出全局有效视频数据分块吞吐率为:

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{(t_{ave} - t') \cdot C_{ave} \cdot B}{T} \cdot \frac{m}{m+h} \\ &= \left(\frac{\pi^2 R}{8v_0} - \frac{(m+h)}{2B}\right) \cdot 4n \cdot (n-1) \\ &\quad \cdot \frac{v_0 \cdot T \cdot R}{\pi \cdot S} \cdot \frac{B}{T} \cdot \frac{m}{m+h} \\ &= \frac{n \cdot (n-1) \cdot \pi R^2 \cdot B}{2S} \cdot \left(1 - \frac{h}{m+h}\right) \\ &\quad - \frac{2n(n-1) \cdot v_0 \cdot R \cdot m}{\pi \cdot S} \end{aligned} \quad (4)$$

其中,  $t_{ave}$  为任意节点通信时长期望,  $t'$  为每次通信未被有效使用的传输剩余时间期望,  $C_{ave}$  为全局通信次数期望,  $B$  表示节点间的通信带宽,  $T$  为全局通信时长.要获

得最高数据吞吐率,则需要  $m$  取最优值如下:

$$m = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{R \cdot B \cdot h}{v_0}} - h \quad (5)$$

由此,确定了适合当前网络通信能力的视频分块最佳大小计算方法.在此基础上,继续研究分块消息在节点间的路由和调度问题.

#### 4 视频分块调度策略

机会网络中,节点的移动具有随机性,节点间的通信具有机会性,节点的产生和消亡难以预测,无法保证在指定时间内,所有数据分块都能完整被传输到目标节点,尤其当数据分块较多时,容易出现个别或者部分分块在传播途中被节点丢弃或消亡的情况.在视频传播的实际应用中,由于网络的不确定性,也容易发生视频分块接收不完整的情况.当缺块数量较少时,少量、短暂的停顿或者模糊过往也不会影响视频的正常播放及对视频内容的理解.但如果缺块较多,而限于网络环境又无法及时接收到比较齐备、完整的分块,就会对视频的播放、理解造成影响.在很多具体应用中,如果网络通信环境恶劣,分块缺失严重时,更希望能获得均匀分散在时间轴上的视频内容,通过一系列视频片段或者不连贯的帧图像来了解视频的概略内容或者摘要信息,并由此来判断,是否继续接收或者传播该视频内容.因此,有必要通过算法来引导、调整数据分块的机会通信行为,有目的地干预数据分块使其最终在目标节点中趋于均匀分布.

##### 4.1 缺块对视频质量影响分析

当有数据分块缺失时,最终得到的视频序列质量必然受到影响,缺块率越高,质量影响越大.可采用峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)参数来评价视频质量.

PSNR 是经典的图像和视频质量评价方法,它用解码后图像偏离原始图像的误差来评价图像的总质量.离散图像信号的 PSNR 定义如下:

$$\text{MSE} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f_{ij} - f'_{ij})^2 \quad (6)$$

$$\text{PSNR} = 10 \times \lg \frac{255^2}{\text{MSE}} \quad (7)$$

其中,  $f_{ij}$  和  $f'_{ij}$  分别表示像素点  $(i, j)$  位置上原始图像和解码后图像中的灰度值,  $M, N$  分别为图像水平方向和垂直方向的像素点数.根据 PSNR 定义,机会网络中视频数据分块传输的递交率越高, PSNR 值就越大,相应地视频分块越齐备,视频质量也就越好.可以用 PSNR 直接评价缺块率或者递交率对视频质量的影响.

##### 4.2 分块紧缺度建模

为了更准确地描述目标节点中,尚未接收到的分块

的紧缺程度,提出分块紧缺度概念并给出具体的定义.

##### 定义 分块紧缺度

分块紧缺度是对每个缺失的分块在其分块序列中所在位置周边缺块情况的刻画.如下图所示:



图1 分块紧缺度示意图

图中方格序列代表某个节点对特定视频数据分块的接收情况示意.每个小方格表示一个视频数据分块,带阴影部分的方格表示已接收到该分块,空白部分表示该分块暂时缺失,而且缺块不均匀,缺失的每个分块都有可能在下次数据传输中得到补足.假定接下来的通信中,对方节点中包含 A、B、C 三个分块,为了达到缺块分布趋于均匀的目的,在连接随时可能断开的情况下,应该优先传输 C 分块,减少 C 分块区域连续的空缺.如果只比较 A、B 两个缺块的优先级,可以发现, A、B 两个缺块位置附近总长度为 5 的范围内, A 位置附近包含了 4 个分块, B 位置附近只包含了 3 个分块,因此若仅二者相比,优先传送 B 分块数据.

假定视频数据共被分为  $k$  个分块,编号依次为  $0, 1, 2, 3, \dots, k-1$ ,分块紧缺度只考察当前缺块位置附近  $[0, L]$  ( $L$  为偶数)范围内的分块收到和缺失情况,当前缺块位置位于该区间正中.

按照与缺块位置远近关系定义分块紧缺度权值函数:

$$f_{\text{weight}}(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x < \frac{L}{2} \\ \frac{L}{2}, & x = \frac{L}{2} \\ L - x, & \frac{L}{2} < x \leq L \end{cases} \quad (8)$$

其中,考察区域长度为  $L+1$ .

考察区域的长度设定要考虑两方面因素,如果  $L$  值设置的过大,会出现较大冗余计算;  $L$  设置较小,运算速度快,但缺块程度表征意义下降.为了有效权衡上述两个因素,应将  $L$  的值的大小设定为符合当前网络递交率状况,如果递交率为  $\delta$ ,可设定  $L$  为:

$$L = (1 - \delta) \times \frac{k}{2} \quad (9)$$

其中,  $k$  为分块总数.递交率未知的情况下预设  $L$  值介于  $k/100 \sim k/10$ ,可获得较好的分块分布和运算速率.

由此,可定义处于  $j$  位置的分块紧缺度  $U_j$  为:

$$U_j = \sum_{x=j-\frac{L}{2}}^{j+\frac{L}{2}} \left( f_{\text{weight}}\left(x - j + \frac{L}{2}\right) \cdot (1 - E(j)) \right) \quad (10)$$

其中,  $j \in (0, k-1)$ ,  $E(j)$  为分块的存在向量,缺失取值

为 0, 已收到取值为 1, 用于标记当前分块是否已经接收.  $1 - E(j)$  表示当前分块缺失状态取反. 最后对缺失的分块进行加权累加.

分块紧缺度的计算采用类似滑动窗口的方法给出定义. 在中继节点或者目标节点的视频分块序列中, 缺失分块位置上的紧缺程度计算来源于对其附近宽度为  $L+1$  的窗口中所有缺失分块的权值累加. 不同的缺块位置对应着不同的测算窗口. 通过该公式能计算每个缺块位置及周边的缺块程度, 并找出整个分块序列中, 缺块情形最严重的位置, 为节点间的分块传输提供引导依据.

由该模型可以获知每个缺失分块位置上等待接收分块的紧急程度. 在通信随时可能断开的情况下, 应该优先传输待接收节点中紧缺度高的对应分块, 以期最终目标节点能接收到分布趋于均匀的分块序列.

在后面的实验中, 为了量化并判断分块序列趋于均匀分布的程度, 定义了缺块均匀度. 缺块均匀度是描述某个节点中, 特定某个视频文件的分块序列中发生分块缺失时, 缺失分块的分布均匀程度, 用分块序列中所有缺块位置的分块紧缺度最大值表示, 即:

$$P = \max_{j=0}^{k-1} (U_j) \quad (11)$$

当递交率非 0 非 1 时, 节点当前已接收到的视频分块分布越均匀, 越不容易出现长时连续缺块的情形, 其均匀度越高; 相反地, 当视频分块分布呈现较高的聚集时, 必然同时出现较多的缺块聚集, 其整体均匀度降低, 用户得到的视频内容信息量减少.

### 4.3 视频分块调度策略

确定了分块紧缺度量化模型后, 可在节点通信时以此为依据, 引导节点间的视频分块调度, 实现转发节点和目标节点的数据分块渐进式接收, 并在任意缺块率时保证分块的最大可能性均匀分布.

本文提出以分块紧缺度计算的方式实现分块调度的算法 (Partial Emergency Schedule Algorithm, PESA), 实现分块在节点间通信时的调度.

当机会网络中任意两个节点相遇时, 首先交换各自的存在向量表, 获得可以传给对方的可用分块集合. 之后, 计算集合中每个分块编号在对方分块序列中的分块紧缺度, 选择分块紧缺度最高的分块优先传送. 传送结束后, 对方更新存在向量表, 换由对方计算分块紧缺度, 发起传送. 对于支持全双工通信的节点, 可以双向同时传送. PESA 算法如算法 1.

#### 算法 1 PESA 算法

```
1: while contact_with( $n_j$ ) do
2:   receive_from( $n_j, a_j$ );
```

```
3:   if ( $a_i \wedge (1 - a_j) \neq 0$ ) And (initiate_connection_with( $n_j$ )) then
4:      $C_{i,j} = \text{PESA\_selection\_from}(a_i \wedge (1 - a_j))$ ;
5:     send_to( $n_j, C_{i,j}$ );
6:   end if
7:   if ( $a_j \wedge (1 - a_i) \neq 0$ ) And (initiate_connection_with( $n_j$ )) then
8:     receive_from( $n_j, C_{j,i}$ )
9:      $q_{j,i} = \{i_0, i_1, \dots, i_{k-1}\}$ ;
10:     $a_i = a_j \vee q_{j,i}$ 
11:  end if
12: end while
```

机会网络中两个节点建立通信时, 首先依据相关路由算法确定是否实现数据传输, 如果产生数据传输, 就要计算当前节点优先向对方节点发送哪些分块, 在通信随时可能断开的情况下, 按 PESA 算法给定的优先次序发送分块. 比如, 在  $s_p$  节点中, 通过  $s_p, s_q$  两节点的存在向量, 统计  $s_p$  节点中有而  $s_q$  节点中空缺的分块, 并计算每个空缺节点在  $s_q$  节点中的紧缺度, 确定具有最大紧缺度的分块编号并发送该分块给  $s_q$ . 然后在  $s_q$  节点中, 更新存在向量并统计可发给  $s_p$  的分块集合, 计算紧缺度最大的分块进行传输. 反复执行该过程, 直到无分块可传或者通信断开. 该算法的时间复杂度为  $O(k \times L)$ , 与机会通信延时相比, 其运算耗时可忽略不计.

## 5 仿真与评价

为了评估算法性能, 使用机会网络环境 (Opportunistic Network Environment, ONE) 仿真器建立机会网络通信实例, 配置不同的节点移动模型和路由算法, 结合不同的分块调度算法开展实验. 为了体现算法效用, 节点与环境参数的设置需要避免连通过强和过弱两种极端情况. 当连通过强时, 节点间成功传输的几率很高, 在短时间内能够将视频分块完整地或者比较完整地传输给目标节点, 这时渐进式传输算法的效用难以察觉. 当连通过弱时, 目标节点在有限的时间内难以获得适当的分块数量, 零星获得的分块即使依照时间均匀分布, 用户仍难以获知视频梗概信息, 难以发挥算法效用. 只有当目标节点在适当时间内能达到 5% ~ 95% 的分块递交率时, 才能有效发挥算法的渐进式调度策略, 引导分块有序传输, 完成实验效果验证.

另外, 视频内容的机会网络传输能涵盖众多的应用领域, 除却本研究所涉及的基本调度算法, 在特定应用领域中可能还需要增加如社交模型、交通行为模型、信任度模型等不同模型和算法, 有针对性的解决具体应用问题. 本实验中, 为了测试具有普遍意义的最优分块算法和基于分块紧缺度的调度算法的效率, 只设置满足网络通信强弱度需要的若干参数, 并观察关键参

数变化对实验结果的影响,体现算法的普遍适用性.

### 5.1 分块大小仿真实验

为了验证提出的视频数据的分块大小最优化算法的有效性,可设置节点移动场景为  $500\text{m} \times 500\text{m}$ ,通信半径  $R = 20\text{m}$ ,节点移动速率  $v_0 = 1\text{m/s}$ ,节点通信带宽为  $256\text{B/s}$ ,并假定视频数据大小为  $100\text{MB}$ . 实验中,将分块分别设定大小为  $4\text{KB} \sim 8\text{MB}$ ,标记字段为  $2\text{KB}$ ,其递交延时分布如图 2 所示. 可以看出,在该网络通信环境下,不同的分块大小会产生不同的递交延时效果,太大或者太小的分块都导致了较大的延时产生. 按照本文最优分块大小计算方法得到的值是  $158.9\text{KB}$ ,该值位于产生最小递交延时的分块大小附近,表明该最优值在实际传输中能够保证高效的分块传输效率.

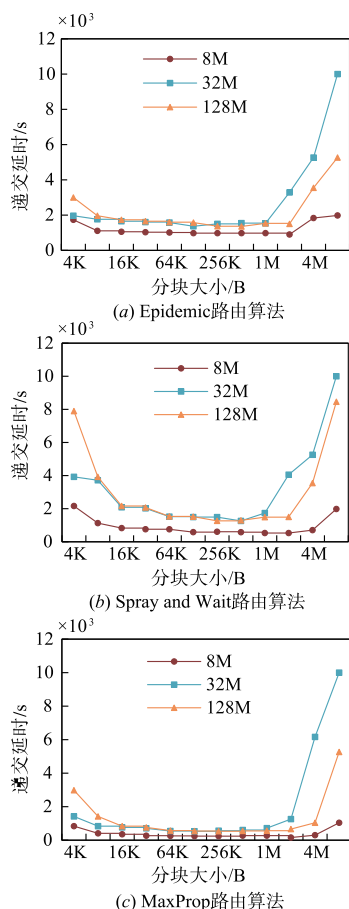


图2 不同路由算法下分块大小对递交延迟的影响

### 5.2 递交率对视频质量的影响

从视频质量评价指标 PSNR 的定义可知,目标节点中视频分块的递交率是影响视频质量的关键因素. 当分块缺失时,合并已接收到的所有分块对视频的播放时长并不产生影响,只是缺失分块对应的视频内容以无内容零值呈现. 这样递交率越低,视频内容与源节点内容差异越大,PSNR 值就越小. 如图 3 所示,针对 1 号、

50 号和 99 号三个节点的消息接收情况,分别计算不同递交率对 PSNR 的影响. 实验表明,尽管每个节点接收到的消息分块集合与分布各不相同,但只要递交率相同,则视频的 PSNR 几乎没有差异.

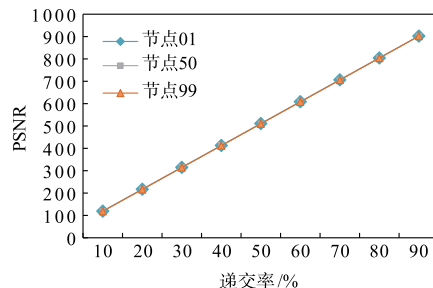


图3 不同节点中递交率对PSNR的影响

### 5.3 调度算法对递交延时和递交率的影响

本文提出的 PESA 调度算法是机会路由算法的延伸,目的是为了在不降低递交率的前提下,提高节点中视频内容的信息量,让接收不完全的视频分块趋于均匀分布. 对比常见的顺序调度 (SEQ)、随机调度 (RAN) 以及文献 [6] 提到的基于流行度的调度 (POP) 方法,对递交延时作以测试.

由图 4 可以看出,四种调度算法随着递交率的提高,延时均在增加. 顺序调度算法要求,在前序分块未接收到之前,不接收后续分块,所以延时最大;随机调度算法次之;基于流行度的算法加入了分块的副本计数功能,效果有所改善;本文算法,从视频信息量上提出调度方法,客观上促进了分块的差异化扩散,有较好的递交延时表现.

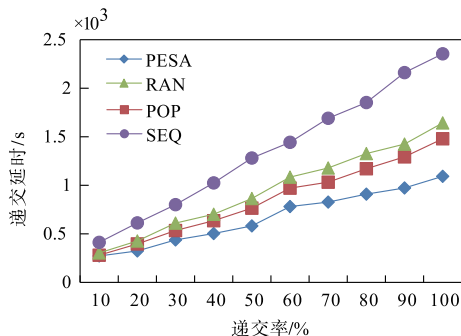
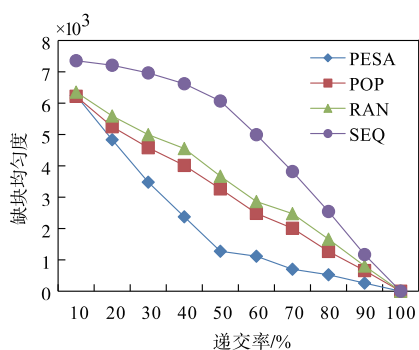


图4 RW模型四种调度算法对递交率的影响

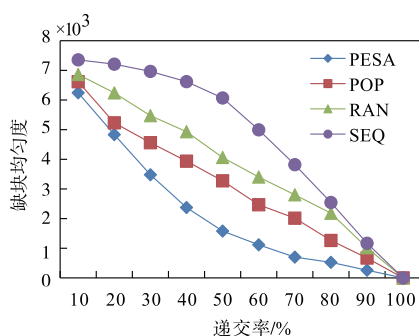
### 5.4 调度算法对分块均匀度的影响分析

为了分析不同的调度算法对目标节点中视频数据分块均匀度的影响,在上述网络参数环境下,继续展开实验. 图 5 中给出了在不同视频大小及分块大小情况下的实验结果,使用的是 RW 移动模型和 Epidemic 路由方法,共 100 个节点在  $300\text{m} \times 300\text{m}$  的场景中移动. 图 5 (a) ~ 图 5 (d) 中,横坐标表示目标节点中视频分块的递交率,纵坐标表示目标节点接收的视频分块序列中

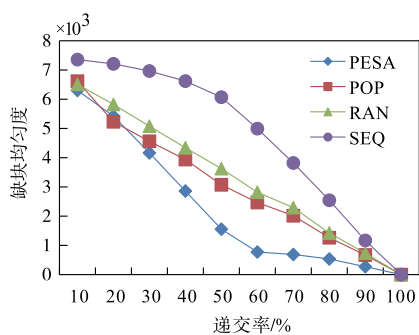
整体缺块均匀度的量值. 值越小, 表明分块分布越均匀.



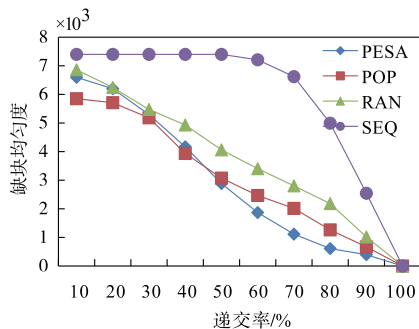
(a) 视频文件5MB, 分块50KB, 100个分块



(b) 视频文件5MB, 分块100KB, 50个分块



(c) 视频文件10MB, 分块50KB, 200个分块



(d) 视频文件10MB, 分块100KB, 100个分块

图5 四种调度算法性能分析

从实验结果可以看出, 当递交率极小或者极大时, 不同的调度算法对分块分布的影响较小. 即目标节点接收到的分块太少时, 难以获取整部视频内容简略的摘要信息; 当目标节点接收的视频分块趋于完整时, 几乎可以浏览到任意时刻的视频帧. 这两种情况下, 缺块

均匀度的表征意义不大. 只有当视频分块因网络环境恶劣而无法在有限时间内接收完整时(如递交率介于5%~95%), 才需要引导分块按照需求提供均匀分布的视频摘要信息. 而本文所述 PESA 算法能有效引导节点间的视频分块调度, 并促成最终目标节点中, 已收到视频分块的均匀分布趋势, 为有限时间内视频内容的最大化传输提供良好的解决方法.

## 6 总结

本文面向无基础设施的机会通信实际, 建立符合机会网络通信能力和视频压缩规则的视频数据最优化分块方法, 并结合机会网络中视频传输的实际应用需要, 分析了恶劣网络环境下视频分块调度方法的特殊性, 提出了基于分块紧缺度的视频分块调度算法. 实验表明, 提出的分块大小确定方法和分块紧缺度调度算法能实现视频内容的渐进式均匀接收, 能提高数据转发效率, 为恶劣机会通信环境下的最大化视频内容传输提供有效解决方案.

## 参考文献

- [1] 刘春蕊, 张书奎, 贾俊铨, 林政宽. 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, Lin C K. 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)
- [2] 丁旭, 吴晓蓓, 黄成. 基于改进粒子群算法和特征点集的无线传感器网络覆盖问题研究[J]. 电子学报, 2016, 44(4): 967-973.  
Ding X, Wu X B, Huang C. Area coverage problem based on improved pso algorithm and feature point set in wireless sensor networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2016, 44(4): 967-973. (in Chinese)
- [3] 徐方, 张沪寅, 王晶, 徐宁, 汪志勇, 邓敏. 基于社会上下文认知的机会路由算法[J]. 电子学报, 2015, 43(5): 833-840.  
Xu F, Zhang H Y, Wang J, Xu N, Wang Z Y, Deng M. Social context-aware routing algorithms in opportunistic networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2015, 43(5): 833-840. (in Chinese)
- [4] 邵星, 王翠香, 饶元. 基于跨层网络编码感知的无线传感器网络节能路由算法研究[J]. 电子学报, 2015, 43(12): 2484-2490.  
Shao X, Wang C X, Rao Y. Research on cross layer network coding aware energy efficient routing for wireless sensor network[J]. Acta Electronica Sinica, 2015, 43(12): 2484-2490. (in Chinese)

- [5] Ginzboorg P, Niemi V, Ott J. Fragmentation algorithms for DTN links[J]. Computer Communications, 2013, 36(3): 279 – 290.
- [6] Belblidia N, Sammarco M, Costa L H M, Amorim M D. Epics: Fair opportunistic multi-content dissemination[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2015, 14(9): 1847 – 1860.
- [7] Rhaïem O B, Fourati L C, Ajib W. Network coding-based approach for efficient video streaming over MANET[J]. Computer Networks, 2016, 103(1): 84 – 100.
- [8] Yoon H, Kim J, Hsieh R. Peer-assisted video on-demand streaming system in practical wifi-based mobile opportunistic networks[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2014, 37(1): 33 – 44.
- [9] Li P, Wang X M, Zhang L C, Lu J L, Zhang F, He Z B. Higher-load data transmitting in opportunistic networks based on probability analysis of communicating capabilities [A]. Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Social Computing [C]. Atlanta, USA: IEEE, 2016. 325 – 332.

### 作者简介



**李 鹏** 男, 1981 年生于陕西扶风, 博士, 讲师. 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



**王小明 (通信作者)** 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



**张立臣** 男, 1979 年生于河北宁晋, 博士, 副教授. 主要研究方向为物联网、机会网络、移动计算等.  
E-mail: zhanglichen@snnu.edu.cn



**卢俊岭** 男, 1972 年生于河南武陟, 博士, 讲师. 主要研究方向为隐私保护、社会网络、无线网络路由.  
E-mail: lujunl@snnu.edu.cn