

文章编号:1001-9081(2009)01-0012-04

一种适用于无线网络的流媒体传输机制

孙 伟¹, 温 涛², 郭 权²

(1. 东北大学 软件中心, 沈阳 110004; 2. 东北大学 东软信息学院, 辽宁 大连 116023)

(sunwei@neusoft.edu.cn)

摘 要:为保证无线网络中多媒体数据的传输质量,提出了一种适用于无线网络的流媒体传输机制(WMTCC)。该机制通过发送探测报文区分网络拥塞丢包和链路误码随机丢包,准确判断网络的拥塞状况,实施发送速率调节,保证了流媒体服务质量(QoS)。由于准确区分出无线链路误码丢包,该机制在链路误码率较高时能维持较高的网络吞吐量。仿真实验结果显示在高误码率无线网络中,该机制可以获得更高的吞吐量和更大的拥塞窗口,并且发送速率的变化更加平滑。

关键词:拥塞控制;无线网络;流媒体

中图分类号:TP393.04 **文献标志码:**A

Transport mechanism for streaming media in wireless network

SUN Wei¹, WEN Tao², GUO Quan²

(1. Software Center, Northeastern University, Shenyang Liaoning 110004, China;

2. Neusoft Institute of Information, Northeastern University, Dalian Liaoning 116023, China)

Abstract: A novel transport protocol Wireless Multimedia Transport Congestion Control (WMTCC) to was presented to improve the performance of streaming media transmission over wireless networks. The proposed protocol can distinguish packet loss due to network congestion from packet loss due to wireless link error by sending probing packets. In this way the sender can get the accurate state of the networks and adjust the transmission rate appropriately to maintain the Quality of Service (QoS) of the streaming media services. Due to the accurate distinguishing of the packet loss between network congestion and wireless link error, the protocol can maintain high throughput even with high bit error rate. The simulation results show that the new protocol can get higher throughput and larger congestion window in wireless networks and performs consistently better than other existing mechanisms.

Key words: congestion control; wireless network; streaming media

0 引言

随着无线网络的迅速发展,对基于语音和视频等流式媒体服务的需求量不断增大。视频以及音频的通信正逐步成为无线通信的主要业务之一。目前的流式媒体传输协议多是基于 UDP 协议,而 UDP 协议对分组的超时或丢弃不敏感。在有线网络中,由于网络的低误码率、高吞吐量,以及接收终端的强计算能力和纠错能力,因而可以得到较好的效果。然而,相对于有线网络,无线网络中存在大量计算能力受限的弱终端,它们的纠错能力和缓存能力都较弱,所以对于分组的缺失非常敏感。更为严重的是,单纯基于 UDP 协议的流媒体传输方式由于没有拥塞控制机制,所以在网络发生拥塞时仍然会向网络中注入大量数据包,导致发生拥塞的路由将分组丢弃,进而造成终端恢复视频质量的急剧下降,严重时将导致终端解码器崩溃。

最近的研究表明,越来越多的流式媒体采用 TCP 而非 UDP 作为传输协议^[1]。但是,目前 TCP 协议的实现(TCP-Reno, TCP-NewReno, TCP-SACK)都把数据包的丢失作为网络拥塞的指示,进而将拥塞窗口减半,造成发送速率呈现较大的抖动性,影响了接收端的显示效果。尤其在无线高误码率网络下,丢包在很大程度上是由于链路错误而非拥塞,盲目进入

拥塞控制,会导致网络利用率降低^[6-7,12],影响接收效果。因此,需要对原有的 TCP 协议做一定修改,使其适用于无线网络环境。

近年来,以增强无线网络流式媒体传输性能为目标的协议开发和设计已成为研究的热点之一^[2,4-5]。本文提出的 WMTCC(Wireless Multimedia Transport Congestion Control)方法是一种适用于小范围的无线自组网(MANET)中流式媒体传输的 TCP 改进方法,其基本思想是在传统的 TCP 协议中加入探测报文机制,通过探测报文来确定网络的拥塞情况,进而调节发送速率。

1 相关工作

当前,适用于流媒体传输的拥塞控制方法主要有两类,一类是基于窗口的控制方法^[10,12],通过一种确认的反馈机制来进行流量控制,拥塞窗口初始为 1 个数据段,然后每收到一个确认消息,拥塞窗口增加,当接收端检测到数据包丢失时,拥塞窗口减小。通过采用 TCP 协议窗口的加性增加乘性减少(AIMD)的方法或类似方法(GAIMD)^[11]调节发送速率,其拥塞窗口变化规律如式(1)所示:

$$\text{AI: } w_{i+1} = w_i + \alpha / w_i^k \quad (1)$$

$$\text{MD: } w_{i+1} = w_i - \beta w_i^l \quad (2)$$

收稿日期:2008-07-07;修回日期:2008-09-24。 基金项目:国家 863 计划项目(2004AA113020)。

作者简介:孙伟(1978-),男,河北石家庄人,博士研究生,主要研究方向:无线网络、拥塞控制; 温涛(1962-),男,陕西宝鸡人,教授,博士生导师,主要研究方向:无线网络、网络安全; 郭权(1973-),男,辽宁抚顺人,副教授,博士,主要研究方向:网络计算。

其中: α, β, k 和 l 是速率调整参数; w_t, w_{t+1} 分别表示间隔 T_{rtt} 时间拥塞窗口的大小。在传统的 TCP 中 AIMD 参数组为 $\alpha = 1, \beta = 0.5, k = 0, l = 1$ 。因此,降低 β 的取值,可以得到更加平滑的发送速率,文献[10]指出,当满足 $\alpha = \frac{3\beta}{2-\beta}$ 时,可以保证新协议与原有 TCP 协议的公平性。因此,该类机制主要通过选择 β 的值来使得 TCP 协议适合流式媒体的发送。

该方法可以在有线网络中得到很好的应用,原因在于有线网络的低误码率,数据包的丢失主要是由于网络拥塞引起的。与有线网络不同的是,无线链路容易受到不同因素的影响(如干扰、衰落、阴影效应和移动,等等),因此会有较高的误码率。这些特点将导致频繁产生丢包,可是基于窗口的控制方法把所有的丢包简单归结为网络拥塞,进而盲目采取拥塞控制策略,从而大大降低了网络的性能。

另一类是基于速率公式的控制算法,TFRC(TCP Friendly Rate Control)^[3]是根据 TCP 的流量方程提出了一种基于速率控制的算法,由式(3)来决定数据发送速率的上限。

$$T = \frac{s}{R \sqrt{\frac{2p}{3}} + t_{RTO} \left(3 \sqrt{\frac{3bp}{8}} p (1 + 32p^2) \right)} \quad (3)$$

由该算法确定的发送速率具有较好的稳定性,但是由于采用根据前 n 个发送窗口来确定当前发送速率,因而对于网络的短时的波动反应迟钝^[9]。

2 基于探测报文的传输机制

以上的方法中,都没有考虑到无线链路的高误码率对拥塞控制造成的影响。发送端根据接收端反馈的丢包情况进行拥塞控制,然而,在接收端反映出来的丢包却是拥塞丢包和链路误码丢包之和,因此导致调节速率过度,影响网络性能。为此,我们在发送端采用了新的拥塞控制方案。

2.1 探测报文发送

发送端按照一定的比例 R_d (具体讨论见 2.2 节)在数据报文中插入探测报文,该探测报文会被标记为低优先级(根据网络路由转发协议不同,该优先级的标注方式有所不同)。如图 1,2 所示。

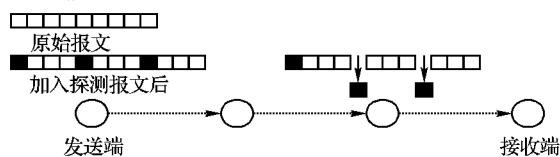


图1 拥塞丢包(低优先级的探测报文丢失)

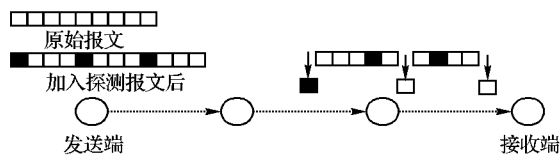


图2 链路错误(随机丢包)

当网络发生拥塞时,中间路由器会优先丢弃低优先级的探测报文(图中深色的报文)。而正常的报文,由于优先级高于探测报文,只有在探测报文被全部丢弃后,才会开始被丢弃。此时,正常数据报文丢包率要远远小于探测报文的丢包率(如图1所示)。

如果网络没有发生拥塞,丢包是由无线链路的错误引起的,那么对正常报文和探测报文造成的丢包率应该大致相同(如图2所示)。因此,通过在接收端比较探测报文和正常报

文的丢包率,就可以判断网络的拥塞状况。

2.2 探测报文的数量

如果发送探测报文的速率过快,即插入正常数据报文中的探测报文过多,必将降低网络效率。而发送探测报文的速率过低,插入发送队列中的低优先级的探测报文数量很少,当无线链路发生错误时,很容易和正常报文一起发生随机错误,此时会误判为发生网络拥塞,进而盲目进行拥塞控制,降低网络效率。所以存在发送探测报文的合理速率。

假设一媒体流,包含数据报文数量为 N_d , 无线链路拥塞丢包率为 P_c , 无线链路误码率引起的丢包概率为 P_w , 探测报文占数据报文比例为 R_d 。

1) $R_d > P_c$ 。探测报文占数据报文的比例 R_d 大于网络拥塞丢包率 P_c , 则存在 $N_d(R_d - P_c)$ 数量的探测报文永远不会被拥塞策略丢弃,只会增加网络负荷。

2) $R_d < P_c$ 。探测报文占数据报文的比例 R_d 小于 P_c , 当网络突发数据风暴(burst),将有 $N_d(P_c - R_d)$ 数量的正常数据报文被丢弃,导致终端解码效果突然恶化。

因此,在理想状态下应以网络拥塞丢包率 P_c 插入探测报文(即 $R_d = P_c$)。但是在实际应用中, P_c 的得到是非常困难的,因此,在本文中,采用平滑的前 n 个发送周期的加权平均丢包率代替 P_c , $\eta_k = \alpha\eta_{k-1} + (1 - \alpha)\eta$, η_{k-1} 是最近一个周期接收端反映出来的丢包率, η 是前 n 个发送周期丢包率的加权均值。由于采用探测报文机制,随着往返周期的增长,平滑丢包率是一个渐进 P_c 的过程。在实验中,取 $\alpha = 0.4, n = 8$ ^[3]。

2.3 控制算法描述

接收端以一个接收窗口 λ 为单位统计到达的探测报文的丢包率(L_{dp})和普通报文的丢包率(L_p)。每隔一个测量周期回传包含(L_{dp}, L_p)的监测应答消息。这样,发送端就可以根据(L_{dp}, L_p)推测一个测量周期内的网络拥塞情况。

1) $L_{dp} = 100\%$ 。探测报文丢包率为 100%,全部探测报文丢失。说明此时网络拥塞严重,在探测报文全部被丢弃后,将开始丢弃正常报文。应该迅速减少网络中数据的注入量。采取 TCP 协议中的乘性减少策略,将拥塞窗口减小。

2) $L_{dp} < 100\%$ 且 $L_p < L_{dp}$ 。只有部分探测报文丢失,正常的数据报文丢包率约为无线链路误码丢包率,未因拥塞而被丢弃。说明网络轻度拥塞,应适当减少拥塞窗口的大小。采用加性减少策略。

3) $L_{dp} = L_p$ 且 $L_{dp} < 100\%$ 。探测报文和正常报文的丢包率相等,探测报文部分丢失。说明这是由于网络链路误码造成的,网络未发生拥塞,网络吞吐量有空闲。应增加拥塞窗口大小,提高发送的数据量。速率调节策略如式(4)所示。

$$w_{t+1} = \begin{cases} w_t - \beta w_t^l, & L_{dp} = 100\% \\ w_t - \alpha/w_t^k, & L_{dp} < 100\% \text{ 且 } L_p < L_{dp} \\ w_t + \alpha/w_t^k, & L_{dp} = L_p \text{ 且 } L_{dp} < 100\% \end{cases} \quad (4)$$

其中:参数组为 α, β, k 和 l 取式(1)、(2)中的值。

为保证平滑性,可以根据文献[10],降低 β 的取值来增加发送速率的平滑性,因为在本文中与 TCP-NewReno 进行性能比较,故采用标准 AIMD 参数来设定 α 和 β 。降低 β 取值后,与采用相同 β 参数的 GAIMD 策略进行性能比较,可以得到相同的实验结果。

3 算法准确率分析

假设无线网络中一多媒体数据流含 s 数量数据包。按照

(见 2.2 节) R_d 插入的探测报文数量为 y (即 $y = s \times P_e$), 假设现在网络无拥塞, 即所有丢包都是由于无线链路错误。在 s 中有 r 个数据包丢失, 那么, 丢包 r 将是在 s 中的一次随机采样, 如果其中包含 x 个探测报文, X 是 x 的分布函数, 则根据概率知识可知:

$$p(X = x) = \frac{\begin{bmatrix} y \\ x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s-y \\ r-x \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} s \\ r \end{bmatrix}} \quad (5)$$

$$p(X = x) = \frac{\prod_{k=y-x+1}^y k \times \prod_{l=(s-y)-(r-x)+1}^{s-y} l \times r!}{\prod_{m=s-r+1}^s m \times x! \times (r-x)!} \quad (6)$$

理想情况下, 如果能够以合理的比例插入探测报文, 使得探测报文数量 $N_{detect} = 1/P_e$, 那么拥塞控制策略会优先将探测报文全部丢掉, 即 $r = y$ 。并且设 p 为无线误码率, 则因为无线链路错误的丢包 $y = s \times p$ 。

$$p(X = x) = \frac{\prod_{k=sp-x+1}^{sp} k \times \prod_{l=(s-sp)-(sp-x)+1}^{s-sp} l \times (sp)!}{\prod_{m=s-sp+1}^s m \times x! \times (sp-x)!} \quad (7)$$

按 NS2 给出的无线链路标准 UDP 模拟情况, $S = 500$ (最大传输单元长度 MTU 为 1500), 无线误码率 $p = 0.01$ 。则 $P(x = 5)$ ($x = s \times p$, 误码率造成的丢包数目) 约为 0.7×10^{-5} 。即, 将无线链路错误引起的丢包误判为因拥塞引起的丢包为小概率事件。

4 实验仿真与分析

采用 UC Berkeley 大学网络模拟器 NS2 进行仿真实验, 实验环境 Windows XP + cygwin + ns - 2.27, 在原有 TCP 协议上加入 WMTCC 拥塞控制算法, 重新编译。考虑两种网络结构, 简单的链式结构和随机节点分布。在链式结构中, 每个节点传输半径 200 m, 包含 6 个无线节点。在两端节点分别部署 WMTCC 和 TCP-NewReno 的发送端和接收端。无线链路错误产生的随机丢包通过调用 NS2 中的随机错误模块来实现。随机节点分布利用 NS2 的随机场景生成器产生, 在 $2000 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ 的矩形区域随机产生 80 个节点, 从中随机选择 1, 2, 5, 15, 20, 25, 30, 35, 40 对 TCP-NewReno 和 WMTCC 数据流。数据包大小为 1000 B。两种模式中, 均假定应用层始终有数据发送。

首先比较链式结构下的网络吞吐量, 从图 3 中可看出, 当链路误码率比较低时, 两种协议吞吐量大致相等, 稳定在 0.4 附近。由于无线链路误码引起的丢包非常低, 丢包都是由拥塞引起, 所以 TCP 协议可以取得和 WMTCC 基本相等的吞吐量。由图 4 可知, 随着无线误码率的提高, 两种协议的吞吐量都有所下降, 但是由于加入探测报文, 可以准确探测网络拥塞情况, WMTCC 数据流的网络吞吐量要高于 TCP-NewReno 协议。

利用归一化吞吐量来比较两种不同的协议。假设网络中有 n 个数据流, 则归一化吞吐量 $T_i = \frac{x_i}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j}$, 其中 x_i 为某一

数据流的吞吐量。图 5、6 显示了随机场景下, 不同数量的 TCP-NewReno 和 WMTCC 数据流的归一化吞吐量及其均值。可以发现, 随着网络误码率的提高, WMTCC 协议可以获得的

更高网络吞吐量。

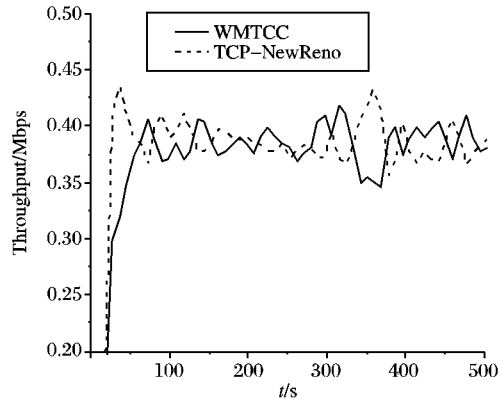


图 3 无线网络链路吞吐量比较 ($BER = 10^{-5}$)

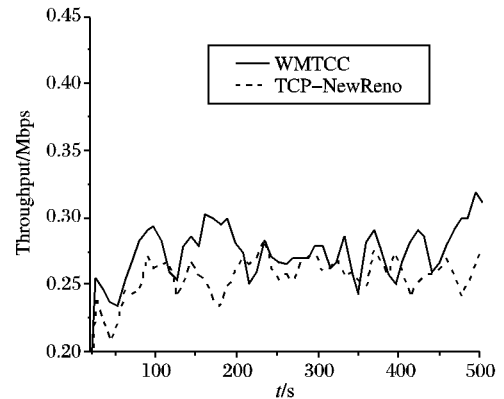


图 4 无线网络链路吞吐量比较 ($BER = 10^{-2}$)

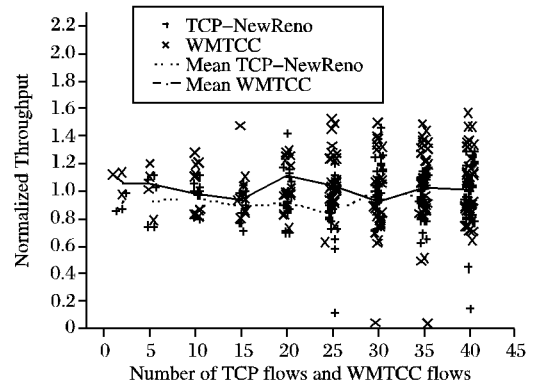


图 5 归一化吞吐量 ($BER = 10^{-5}$)

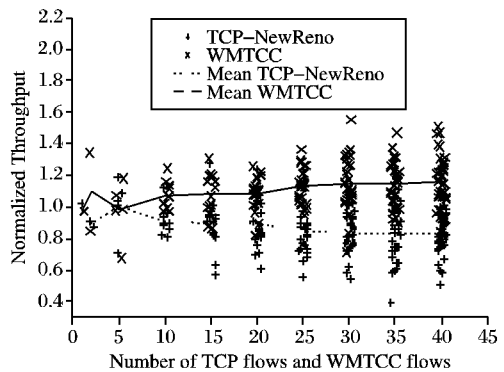


图 6 归一化吞吐量 ($BER = 10^{-2}$)

流式媒体的传输对于发送速率的平滑性有较高的要求, 发送速率的抖动会造成接收端显示效果的下降。以往的研究中, 认为 TCP 协议不适合作为流式媒体传输协议的主要原因就是当有数据包丢失时, TCP 认为网络中发生拥塞, 进而将发送窗口减半。加入探测报文后, 由于区分了链路误码丢包和

拥塞丢包,传输速率的平滑性将得到提高。为了更直观比较发送速率的变化情况,定义相邻时间间隔吞吐量比例 $R_i = \frac{T_i}{T_{i+1}}$, T_i 和 T_{i+1} 为相邻时间间隔的吞吐量(在无线自组网中,往返时延 RTT 通常需要持续几秒钟,因此,选择 10 s 作为短期吞吐量的计量单位,可以保证每个时间间隔都包含几个 RTT,减少突发性对短期吞吐量的影响), $R_i = 1$ 意味相邻时间间隔发送端的发送速率相同, $R_i < 1$ 意味发送速率增加,反之意味发送速率减小。图 7 显示了随机选取的 6 对不同协议的吞吐量比例的概率分布。

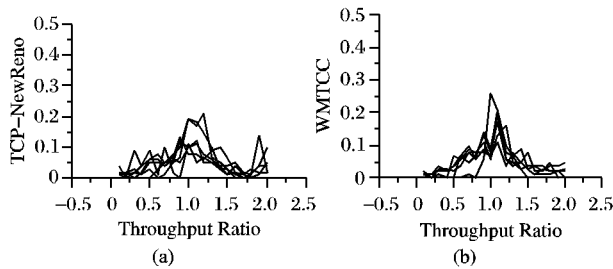


图7 短期吞吐量变化

可以看出 TCP-NewReno 的吞吐量比例分布范围更广,发送速率表现出更强的抖动性。而采用 WMTCC 协议的数据流吞吐量比例基本分布于 0.5 ~ 1.5,并且集中于 1.0 附近,说明发送速率的变化更加平滑。

5 结语

本文讨论了无线网络中流媒体的传输机制,提出了一种适用于无线网络的流媒体传输机制,它通过发送探测报文区分拥塞丢包和链路丢包,动态调节发送速率,从而获得较高的网络利用率。仿真实验表明算法在无线高误码率网络中有效可行。该方法的有效实施,在于网络中的路由机制采用优先级丢弃策略,但目前网络中很多的路由仍采用 drop-tail 策略,因此在大范围部署上受到一定限制。但是由于无线自组网络通常节点数量有限,因此该协议在无线自组网络中部署方便,有较高应用价值。

参考文献:

[1] SRIPANIDKULCHAI K, MAGGS B, ZHANG H. An analysis of

live streaming workloads on the Internet[C]// Proceeding of ACM Internet Measurement Conference (IMC). Taormina, Italy: ACM Press, 2004: 41 - 54.

- [2] BALAKRISHNAN H, SECHAN S, AMIR E. Improving TCP / IP performance over wireless networks[C]// ACM MOBICOM '95. Berkeley, CA: ACM Press, 1995: 2 - 11.
- [3] FLOYD S, HANDLEY M, PANDHYE J, *et al.* Equation-based congestion control for unicast applications[EB/OL]. [2008 - 05 - 05]. <http://www.icir.org/tfrc/tcp-friendly.pdf>.
- [4] STOCKHAMMER T. Streaming video over variable bit-rate wireless channels[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2004, 6(2): 268 - 277.
- [5] 陈志刚, 邓晓衡, 张连明, 等. 无线网络中 TCP 友好流媒体传输改进机制[J]. 通信学报, 2007, 28(5): 22 - 28.
- [6] KUN TAN, FENG JIANG, QIAN ZHANG, *et al.* Congestion control in multihop wireless networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(2).
- [7] SHARMA G, MAZUMDAR R, SHROFF N B. Delay and capacity trade-offs in mobile Ad Hoc[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2007, 15(5): 981 - 992.
- [8] MENG XIAO - QIAO, NANDAGOPAL T, WONG S H Y, *et al.* Scheduling delay-constrained data in wireless data networks[C]// WCNC 2007: IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Hongkong: IEEE Press, 2007.
- [9] CHEN K, NAHRSTEDT K. Limitations of equation-based congestion control in mobile Ad Hoc networks[C]// ICDCSW '04: Proceedings of the 24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops - W7: EC. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004: 756 - 761.
- [10] YANG Y R, LAM S S. General AIMD congestion control[C]// Proceedings of the 8th International Conference on Network Protocols. Osaka, Japan: [s. n.], 2000.
- [11] BANSAL D, BALAKRISHNAN H. Binomial congestion control algorithms[C]// Proceeding IEEE INFOCOM. Washington, DC: IEEE Press, 2001: 631 - 640.
- [12] BIAZ S, VAIDYA N H. De-randomizing congestion losses to improve TCP performance over wired-wireless networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2005, 13(3): 596 - 608.

(上接第 11 页)

期任务分配相同的情况下,图 4 所示顶点 v_{10} 和 v_{12} 的主进程将都是 p_2 ,因此 v_{10} 和 v_{12} 代表的计算区域无法实现并行 I/O,必然增加 I/O 时间。

4 结语

本文由应用层出发研究提高 I/O 并行度,针对具有计算空间划分成多个计算区域,任务分配算法实现进程跨区域分配以及计算区域数据跨进程分配,以区域为单位组织并行 I/O 等特点的算例,提出了多级极大独立集算法。实例分析表明,采用多级极大独立集算法,很好地解决了这一类算例中的问题,在 I/O 并行度达到最高的情况下,通信量取得最小值。

参考文献:

- [1] DONGARRA J, FOSTER I, FOX G. 并行计算综论[M]. 莫则尧, 陈军, 曹小林, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [2] OLDFIELD R A, WOMBLE D E, OBER C C. Efficient parallel I/O in Seismic imaging[J]. The International Journal of High Perform-

ance Computing Applications, 1998, 12(3): 333 - 344.

- [3] THAKUR R, GROPP W, LUSK E. Data sieving and collective I/O in ROMIO[C]// Proceedings of the Seventh Symposium on the Frontiers of Massively Parallel Computation. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999: 182 - 189.
- [4] KOTZ D. Disk-directed I/O for MIMD multiprocessors[J]. ACM Transactions on Computer Systems, 1997, 15(1): 41 - 74.
- [5] 卢开澄, 卢华明. 图论及其应用[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [6] 刘鑫, 陆林生. 数据不规则问题并行计算的负载均衡策略的研究[J]. 计算机应用, 2004, 24(10): 108 - 121.
- [7] BRUALDI R A. 组合数学[M]. 冯舜玺, 罗平, 裴伟东, 译. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [8] 李有梅, 徐宗本, 孙建永. 一类求解最大独立集问题的混合神经网络演化算法[J]. 计算机学报, 2003, 26(11).
- [9] 张大方. 基于矩阵的极大独立点集生成算法[J]. 电子学报, 1998, 26(5): 222.