

基于 QoE 的 VoIP 带宽分配机制研究

羊秋玲^{1,2} 金志刚¹ 黄向党²

(天津大学电子信息工程学院 天津 300072)¹ (海南大学信息科学技术学院 海口 570228)²

摘 要 利用比例积分微分(PID)控制理论控制 IP 语音(VoIP)数据流带宽需求和用户体验(QoE)之间的平衡关系,并将该信息纳入带宽再分配模型中,提出一个基于 QoE 的带宽分配机制 QBAV(QoE-based bandwidth allocation mechanism for VoIP application),它在满足用户期望 QoE 的同时兼顾带宽分配的公平性。理论证明该算法满足非线性问题最优化约束条件,所分配带宽满足目标函数全局收敛。仿真结果表明,该算法分别以低于传统 NRG 算法 9% 及最新 FC-MDI-S 算法 15% 的带宽满足了 90% 以上用户的期望 QoE,避免了现有带宽分配机制针对小部分高优先级数据流的弊端,提高了 VoIP 业务的整体性能及网络利用效率。

关键词 带宽分配机制, QoE, VoIP, PID

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Research on QoE-based Bandwidth Allocation Mechanism for VoIP

YANG Qiu-ling^{1,2} JIN Zhi-gang¹ HUANG Xiang-dang²

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)¹

(College of Information Science & Technology, Hainan University, Haikou 570228, China)²

Abstract This paper used the Proportional Integrative Derivative (PID) control theory to allow a controlled trade-off between the bandwidth requirement of the VoIP data stream and its Quality of user Experience (QoE), then quantifying the perception in the bandwidth reallocation model, proposed a QoE-based bandwidth allocation mechanism for VoIP (QBAV), which maximizes the fairness between users while targeting the expected QoE. This paper proved the global optimum of the algorithm. The simulation shows that the proposed algorithm can meet about 90% of users, comparing with the NRG algorithm and the latest FC-MDI-S algorithm, and the bandwidth cuts down 9% and 15% respectively. The existing algorithms rely on minor high priority data streams. Avoiding this problem, the proposed algorithm enhances the overall performance of VoIP and the network efficiency.

Keywords Bandwidth allocation mechanism, QoE, VoIP, PID

1 引言

伴随着无线通信网络的发展,无线网络技术所能承载的各类多媒体业务已经深入到普通用户和社会生活的各个方面,高效的音频压缩格式及廉价的通信设备和方便的无线网络延伸了人们传统的网络应用范围,越来越多的用户选择廉价的 VoIP(Voice over IP)进行通信。因此,如何提高无线网络对 VoIP 业务的支持引起越来越多研究学者的重视。

目前针对 VoIP 的研究主要是以服务质量(Quality of Service, QoS)多约束满足为目标的资源调度算法,然而以 QoS 为目标的资源管理策略只能保证如时延、抖动等 QoS 约束参数,并不能保证资源分配满足用户体验(Quality of Experience, QoE)。在实际应用中,用户并不关心具体的 QoS 参数,而只关心自身的体验感受。目前针对 QoE 的大量研究主要集中在如何增强 QoE 作为一个评价指标的评价性能上,并

以最大化 QoE 为目标^[1],而利用 QoE 作为资源调度及管理工具的研究则少之又少。本文首次提出用户期望 QoE 的概念,并采用 PID 控制理论分析数据流带宽需求,在此基础上提出一个基于期望 QoE 的带宽分配算法。该算法在满足用户期望 QoE 的同时兼顾用户的公平性,最小化网络带宽无序波动,为用户提供平稳带宽,可有效提高无线网络带宽利用率及 VoIP 整体服务性能。

2 研究现状

现有带宽优化算法主要是针对 QoS 的多约束优化算法,大致可分为:1)兼顾公平和吞吐量的均衡平均调度机制(Proportionally Fair, PF)^[2]; 2)以最大化吞吐量为目标的 NRG(Normalized Rate Guarantee)^[3,4]算法,本文将 NRG 作为本文算法的对比算法; 3)各类以 NUM 模型为指导的调度算法,最具代表性的为 2006 年的 NUM 模型应用于 Ad-Hoc 网络

到稿日期:2013-06-23 返修日期:2013-10-21 本文受国家自然科学基金项目(61261024, 61162010),海南大学社会服务专项基金项目(HDSF201301)资助。

羊秋玲(1981—),女,博士生,副教授,CCF 会员,主要研究方向为无线 Mesh 网络 VoIP 增强机制, E-mail: yql0515@163.com; 金志刚(1972—),博士后,教授,博士生导师,主要研究方向为无线 Mesh 网络、无线传感器网络; 黄向党(1977—),男,硕士,副教授,主要研究方向为无线 Mesh 网络, E-mail: xiangdanghuang@126.com(通信作者)。

优化机制^[5],其以资源价格或服务价格为约束,以提高资源利用率为目标;4)基于控制理论的资源优化机制,文献[6]将实际负载和分配带宽之间的差分作为约束源端最优发送速率,该类算法着重从 QoS 角度优化数据流,具有一定的参考价值;5)针对实时业务的带宽预留机制^[7],该机制可在一定程度上保证实时业务带宽需求,但该类方法的计算开销及路由切换开销^[8,9]较大。

以 QoE 为资源管理指导参数的算法极少,文献[10]给出满足 QoE 需求的最优路由选择算法;文献[11,12]利用反馈 QoE 值调整源端发送速率;文献[13,14]以 QoE 为评价模型提出优化多跳无线网络多业务数据包投递率的包调度算法;文献[15]用于接纳控制,具有一定的借鉴意义。

综上所述,目前大部分的研究都是从 QoS 角度出发,忽略了用户体验这一最重要的因素,而少量的基于 QoE 的资源优化算法均以最大化 QoE 为目标,忽略了用户期望 QoE 的指导作用,造成了带宽的浪费。因此,以用户期望 QoE 为指导参数的带宽优化的研究是必要且紧迫的。

3 算法和模型

3.1 基于 QoE 的带宽需求分析

本小节阐述由 QoE 推导数据流带宽需求的反馈控制机理,为标准化地从用户角度评价 VoIP 通信质量,国际电信联盟(ITU-T)G. 107 建议书^[16]提供了可映射为主观 QoE 评价方法^[17]的 MOS 值。在 VoIP 数据流传输中,由于无线信道的波动性以及 QoE 评价机制的主观成分,QoE 波动较大,而用户并不清楚自身带宽需求量,但可以确定的是自身当前 QoE 和期望 QoE 的差距。由此,本文利用控制理论中的 PID(Proportional Integrative Derivative)控制为 VoIP 数据流在网络中的传输建模,以提前预见数据流带宽需求的变化,反馈控制机理参见图 1。针对 QoE 的数字等级化特征,本文将带宽需求等级量化为具体的数值,相关关系导出如式(1)所示。

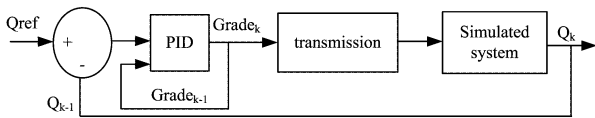


图 1 PID 反馈控制原理图

$$Grade_k = Grade_{k-1} + k_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + k_p \frac{T_d}{T}\right) (Q_k - Q_{ref}) - k_p \left(1 + \frac{2T_d}{T}\right) (Q_{k-1} - Q_{ref}) + k_p \frac{T_d}{T} (Q_{k-2} - Q_{ref}) \quad (1)$$

式中, $Grade_i$, k_p , T , Q_i 和 Q_{ref} 分别表示数据流在时序 i 的带宽需求等级、比例增益、时间指标、当前测得的 QoE 值、期望 QoE 值; T_i 和 T_d 分别等于 $\frac{k_p}{k_i}$ 和 $\frac{k_d}{k_p}$, 其中 k_p , k_i 和 k_d 分别表示比例增益、积分增益和微分增益。带宽需求等级依赖于 PID 控制器监控目标节点的 QoE 所得,其最终结果由 3 个调节项决定:1)比例调节降低 QoE 当前值和期望值的偏差;2)微分调节加速 QoE 差值的收敛;3)积分调节消除 QoE 调节后的稳态误差。式(1)中最重要的参数为期望 QoE 的参考 QoE 值 Q_{ref} , 该值越大,则带宽需求等级越高(定义需求等级 K 高于 $K+1$),反之,则越低。控制目标为在维持一定水平的 QoE 的基础上降低带宽需求等级。

本文将用户的优先级及其带宽需求等级用矩阵的形式表

示,如式(2)所示,矩阵的行表示 VoIP 类业务可划分的优先级,列表示隶属该优先级的数据流,矩阵的元素表示接收端反馈的数据流带宽需求等级。在本例中,3 行表示采用 3 种不同的数据流等级,3 列表示每个等级最多包含 3 个数据流,如 $A_{2,2}(m)=4$ 表示数据流 m 属于优先级 2,位于第 2 行第 2 列,其带宽需求等级等于 4。矩阵信息将被引入带宽再分配模型中,下一小节对其进行介绍。

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 2 & A_{i,j}=k & 3 \\ 2 & 6 & 2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3.2 基于 QoE 的带宽分配机制

假设网络中存在一组相互独立的 VoIP 数据流 $i(1 \cdots n)$ 并传输至不同的接收端,则本文基于 QoE 的带宽分配算法的优化目标可用函数描述如下:

$$\begin{aligned} \text{Maximize}\{U_v\} &= \Lambda[U_1, U_2, \dots, U_n] \\ U_i &= \frac{QoE_i}{B_i} \\ B_i &= \arg \max\{U_v\}, \forall i=1, \dots, n; \\ \text{subject to } QoE_i &\leq Q_{ref-i} \\ B_i &\leq B_{i,max} \end{aligned} \quad (3)$$

式中, U_v 表示 VoIP 类业务的整体目标函数, U_i 表示数据流 i 的目标函数, U_v 及 U_i 均描述数据流在获得带宽资源 B_i 时 QoE 的增长率, Q_{ref-i} 表示数据流 i 的期望 QoE, $B_{i,max}$ 表示干扰区域(maximal clique)最大可用带宽。 $\Lambda[\cdot]$ 表示数据流对该类业务整体性能的贡献率函数,描述数据流优先级及其带宽需求等级。

本文采用最小逼近原则,对带宽需求等级矩阵(式(2))进行搜索,每行搜索一个满足带宽分配条件的数据流,并修改其目标函数 U_i ,修改方式见下文。搜索过程可描述为:

$$\begin{aligned} m &= \text{Loc}_i \{ \min_j (A_{i,j} | A_{i,j} < \forall A_{i,\sim}) \} \\ \text{if } A_{i,j} &= A_{i,k} (\forall k \neq j) \\ \text{then } m &= \text{Loc} \{ \min(\text{throughput}_{u_1}, \text{throughput}_{u_2}) \} \\ u_1 &= \text{Loc}(A_{i,j}), u_2 = \text{Loc}(A_{i,k}) (\forall k \neq j) \end{aligned} \quad (4)$$

式中, Loc 表示矩阵定位函数,如 $\text{Loc}(A_{i,j})=m$ 表示位于矩阵 i 行 j 列的数据流为 m , throughput_u 表示数据流 u 的吞吐量,如式(4)所示,若一个优先级里有两个以上带宽需求等级相同的数据流,为兼顾公平性,本文为其中吞吐量最低的数据流优先分配带宽。以式(2)为例,最先获得带宽分配的两个数据流依次为 $\{m(1,1), m(2,1)\}$ (其中 $m(a,b)$ 表示位于矩阵 a 行 b 列的数据流 m),对于 $m(3,1)$ 和 $m(3,3)$ 两个带宽需求等级相同的数据流,则选择其中吞吐量最低的作为继 $m(2,1)$ 之后的调度对象,依此类推,直至干扰区域的带宽资源分配完毕。该分配方式在保证高优先级高带宽的数据流带宽需求的同时兼顾了公平原则,有效平衡了业务内数据流带宽竞争能力,避免了带宽长时被高优先级数据流占用而低优先级数据流长时得不到服务的弊端。

假设获得带宽的数据流 i 的带宽需求等级由 d 降为 e ,则其带宽分配目标函数 U_i 的差值为:

$$U_{gap} = U_i(e) - U_i(d), \forall 1 \leq d \leq e \leq t \quad (5)$$

式中, t 为带宽需求等级最低值。 U_i 调整方式可以描述如下:

$$\begin{aligned} U_i(r') &= U_i(r) - (e-r)U_{gap}, \forall 1 \leq r \leq e \\ U_i(v') &= U_i(v), \forall e \leq v \leq t \end{aligned} \quad (6)$$

式中, r' (或 v') 表示原带宽需求等级为 r (或 v) 的数据流获得

带宽分配后的带宽需求等级。

下面以定理的形式证明本文带宽分配机制满足全局收敛。

定理 1 当 U_i 满足带宽分配条件时, 存在最优解 B_i 满足算法优化目标(式(3))。

证明:

$$\begin{aligned} \Delta U_i(r') &= U_i(r') - U_i(r) \\ &= U_i(r) - (e-r)U_{gap} - [U_i(r-1) - (e-r+1)U_{gap}] \\ &= U_i(r) - U_i(r-1) + U_{gap} \\ &= \Delta U_i(r) + U_{gap} > \Delta U_i(r) \end{aligned}$$

且 $U_i(v') = U_i(v), \forall e \leq v \leq t$, 因此 $\Delta U_i(v') = \Delta U_i(v), \forall e \leq v \leq t$ 。

由此可证: 数据流 i 获得带宽后目标函数仍为凹函数, 满足最优解存在条件。

4 仿真实验与分析

4.1 实验目的

通过对比本文算法 QBAV 和基于 QoS 的 NRG 算法^[3], 基于 QoE 的带宽分配算法 FC-MDI-S^[18] 在时延、QoE 及 VoIP 业务总体性能上的表现, 来说明本文算法的有效性。QBAV-3 (QBAV-3.5, QBAV-4) 表示本文算法的期望 QoE 值为 3(3.5, 4)。

4.2 实验环境及参数

在本小节中采用 NS2 模拟如图 2 所示的含 35 个节点的无线 Mesh 网络, 在该网状拓扑内, 节点之间距离为 200m, 传输距离和干扰距离为 250m, 链路容量为 2Mbps。图中实线表示节点间的无线链路, 带箭头的虚线表示 VoIP 数据流, 起点表示源节点, 箭头指向其终端节点, 如 f3 表示该数据流起点为节点 15 终点为节点 29。该区域内分布 10 个 VoIP 数据流, 均采用 G. 711 编码标准, 可以接受的最大时延为 ITU-T 组织所建议的 250ms, 仿真时间为 500s。具体的仿真参数如表 1 所列, 仿真结果从以下 3 个方面说明本文算法的有效性。

表 1 仿真参数设置

| 参数 | 值 |
|-----------|----------------|
| Q_{ref} | 3, 3.5, 4, 4.5 |
| k_p | 0.006 |
| k_i | 0.003 |
| k_d | 0.005 |
| 仿真持续时间 | 500s |
| 最大接受时延 | 250ms |

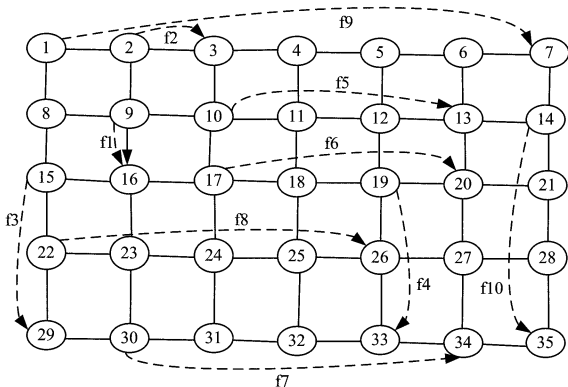


图 2 仿真拓扑及 VoIP 数据流

(1) PID 控制器对带宽需求等级控制的合理及有效性

数据流带宽需求等级随时间的变化趋势如图 3 所示, 带宽需求等级初始化为最高级 1, 在仿真持续时间内, QBAV-4 和 FC-MDI-S 的带宽需求等级一直持续稳定在 1。这是由于用户 QoE 在较高值 4 左右波动(见图 5), 因此带宽需求等级一直保持在最高水平。而 QBAV-3、QBAV-3.5 及 NRG 算法的带宽需求等级则随着用户 QoE 的满足而降低, 其中, NRG 算法需要一定量的带宽以维持其吞吐量目标, 因而其带宽需求等级也保持在较高水平。此外, 本文算法带宽需求等级在仿真持续时间内处于阶段性的稳定常态, 由此可见, 通过 PID 控制器的控制, 可以避免 QoE 的乒乓效应^[15], 并确保 QoE 收敛于其目标值(见图 5)。

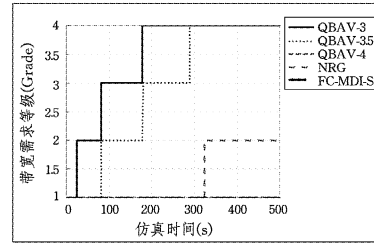


图 3 带宽需求等级变化收敛图

(2) 端到端延迟

本实验以端到端延迟的概率密度函数的形式说明本文算法在端到端延迟方面的表现。如图 4 所示, QBAV-4 与 FC-MDI-S 均可获得优于 NRG 及其它算法的延迟表现, 而 QBAV-3 也可满足 VoIP 业务 250ms 的最大时延要求, 而传统算法的延迟则在 250ms 以上, 不能满足 VoIP 传输需求。

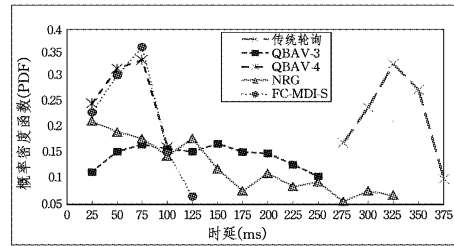


图 4 端到端延迟

(3) QoE 表现

图 5 所示为不同算法在不同期望 QoE 指导下的平均 QoE 水平比较。从图中观察可得, NRG 算法及 FC-MDI-S 算法的平均 QoE 水平波动较小, 在期望 QoE 值较高时其平均 QoE 水平低于期望 QoE, 这主要是由于算法没有考虑不同数据流不同的期望 QoE 的指导作用, 导致了期望 QoE 较低数据流的带宽的过量分配以及较高期望 QoE 数据流的带宽的不足。由此可见, NRG 算法及 FC-MDI-S 算法均存在带宽分配无序波动的问题。

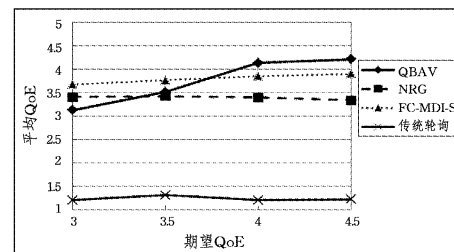


图 5 平均 QoE 水平

表 2 和表 3 给出应用本文算法 QBAV 和 NRG 算法及

FC-MDI-S算法的带宽分配结果对比,应用本文算法的带宽平均增长率与NRG算法及FC-MDI-S算法相比分别降低了9%及15%,并在此基础上获得了明显优于NRG及FC-MDI-S的用户期望QoE满足率,如表4所列,直观结果如图6(a)和图6(b)所示。该实验表明,本文算法在期望QoE的指导下有效避免了NRG及FC-MDI-S算法均存在的带宽分配无序波动问题,避免了现有带宽分配机制针对小部分高优先级数据流的弊端,有效提高了VoIP类业务的整体性能及带宽利用率。

表2 实验中带宽(单位:Mbps)变化

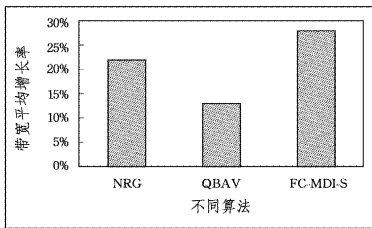
| 流 | 初始带宽 | NRG | QBAV | FC-MDI-S |
|-----|-------|-------|-------|----------|
| f1 | 0.155 | 0.382 | 0.23 | 0.285 |
| f2 | 0.178 | 0.39 | 0.253 | 0.289 |
| f3 | 0.31 | 0.381 | 0.363 | 0.301 |
| f4 | 0.343 | 0.41 | 0.395 | 0.402 |
| f5 | 0.55 | 0.406 | 0.57 | 0.54 |
| f6 | 0.49 | 0.401 | 0.461 | 0.44 |
| f7 | 0.48 | 0.411 | 0.506 | 0.71 |
| f8 | 0.486 | 0.421 | 0.489 | 0.58 |
| f9 | 0.493 | 0.416 | 0.509 | 0.69 |
| f10 | 0.476 | 0.429 | 0.503 | 0.601 |

表3 带宽总额及平均增长率对比

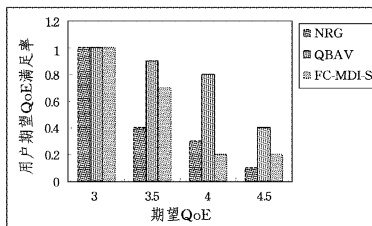
| 不同算法 | NRG | QBAV | FC-MDI-S |
|-------|-------|-------|----------|
| 分配总带宽 | 4.074 | 4.273 | 4.832 |
| 平均增长率 | 22% | 13% | 28% |

表4 用户期望QoE满足率

| 期望QoE | NRG | QBAV | FC-MDI-S |
|-------|-----|------|----------|
| 3 | 1 | 1 | 1 |
| 3.5 | 0.4 | 0.9 | 0.7 |
| 4 | 0.3 | 0.8 | 0.2 |
| 4.5 | 0.1 | 0.4 | 0.2 |



(a) 数据流带宽平均增长率



(b) 用户期望QoE满足率

图6

结束语 本文针对现有算法在无线Mesh网络VoIP数据流带宽分配过程中没有考虑用户期望QoE的指导作用,造成VoIP数据流间带宽分配无序波动及VoIP类业务整体服务性能不高的问题,提出一个基于QoE的带宽分配机制,首次将PID控制理论应用于VoIP数据流带宽需求定性判断中,理论证明该算法满足全局收敛,存在定量带宽满足VoIP用户期望QoE。仿真实验表明本文算法能够在满足用户期望QoE基础上实现带宽的高效利用,从而提高VoIP类业务

的整体性能,在无线通信快速发展的今天有着实质的研究意义和应用价值。

在仿真实验中PID控制参数(k_p , k_i 和 k_d)的启发式设置对带宽需求等级的变化存在一定的影响,本文仿真实验选取其中使得用户QoE平均水平最低的一组参数。而实际上,适当的PID参数选择可使得带宽需求等级降低,从而更有效地提高带宽利用率。未来的研究方向在于探索一种可根据网络环境适应性地动态调节PID控制参数的算法,可在VoIP数据流负载增加或复杂化网络环境下保证系统稳定性。

参考文献

- [1] 林闯,胡杰,孔祥震. 用户体验质量(QoE)的模型与评价方法综述[J]. 计算机学报,2012,35(1):1-15
- [2] Jalali A, Padovani R, Pankaj R, et al. Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency-high data rate personal communication wireless system[C]//Proc. of IEEE VTC 2000 Spring. Tokyo, Japan, 2000; 1663-1667
- [3] Singh K, Ros D. Normalized rate guarantee scheduler for High Speed Downlink Packet Access[C]// Proc. of IEEE GLOBECOM'07. Washington D C, USA, 2007; 576-580
- [4] Singh K, Orozco J, Ros D, et al. Improving perceived streaming-video quality in High Speed Downlink Packet Access[C]//Proc. of IEEE GLOBECOM 2008. New Orleans, USA, 2008; 1-6
- [5] Yuan Xue, Li B, Nahrstedt K, et al. Optimal resource allocation in wireless Ad Hoc networks; a Price-based approach[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006, 5(4): 347-364
- [6] Wang X. QoS Mechanism for WLAN Based on PID Control [C]// 2012 IEEE 12th International Conference on Computer and Information Technology (CIT). IEEE, Chengdu, China, 2012; 892-894
- [7] Cicconetti C, Gardellin V, Lenzini L, et al. End-to-End Bandwidth Reservation in IEEE 802.16 Mesh Networks[C]//Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2007 (MASS 2007). Pisa, Italy, 2007; 1-6
- [8] Comaniciu C, Vincent Poor H. On the capacity of mobile Ad Hoc networks with delay constraints [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5(8): 2061-2071
- [9] Sharma G, Mazumdar R, Shroff N B, et al. Delay and capacity tradeoffs in mobile Ad Hoc networks; a global Perspective[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2007, 15 (5): 981-992
- [10] 张大陆,曹孝晶,胡治国. 基于用户体验评价模型的最优路由选择算法[J]. 计算机应用, 2012, 32(10): 2683-2688
- [11] Piamrat K, Singh K D, Ksentini A, et al. QoE-aware scheduling for video-streaming in High Speed Downlink Packet Access[C]// Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). IEEE, Sydney, Australia, 2010; 1-6
- [12] Piamrat K, Ksentini A, Bonnin J M, et al. Q-DRAM: QoE-based Dynamic Rate Adaptation Mechanism for Multicast in Wireless Networks[C] // Global Telecommunications Conference, 2009 (GLOBECOM 2009). IEEE, Honolulu, HI, USA, 2009; 1-6
- [13] Reis A B, Chakareski J, Kessler A, et al. Quality of experience optimized scheduling in multi-service wireless mesh networks [C]//2010 17th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). IEEE, Hong Kong, China, 2010; 3233-3236
- [14] Reis A B, Chakareski J, Kessler A, et al. Distortion optimized Multi-Service Scheduling for Next-Generation Wireless Mesh

Networks[C] // INFOCOM IEEE Conference on Computer Communications Workshops, 2010. San Diego, CA, USA, 2010; 1-6

- [15] Piamrat K, Ksentini A, Viho C, et al. QoE-Aware Admission Control for Multimedia Applications in IEEE 802. 11 Wireless Networks[C]// Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008 Fall. IEEE 68th. Calgary, BC, Canada, 2008; 1-5
- [16] Bergstra J A, Middelburg C A. ITU-T Recommendation G. 107;

The E-model, A Computational Model for Use in Transmission Planning[S]. 2005

- [17] 胡治国, 张大陆, 张俊生. 一种 VoIP 语音质量评价模型[J]. 计算机科学, 2011, 38(5): 49-53
- [18] Lygizou A, Xergias S, Passas N, et al. rtPS Scheduling with QoE metrics in Joint WiMAX/Satellite Networks[C] // 4th International Conference on Personal Satellite Services (PSATS). Bradford, UK, 2012; 1-8

(上接第 85 页)

表 1 本文方法在 Oxford 数据库下的平均查准率均值

| 查询目标 | AKM+SA | RVD(L=5) | RVD(L=25) | WCV(L=5) |
|-----------|--------|----------|-----------|----------|
| Ashmolean | 63.1 | 61.5 | 74.2 | 81.4 |
| Bodleian | 54.6 | 44.7 | 57.8 | 70.9 |
| Balliol | 59.1 | 38.1 | 67.4 | 74.2 |
| Hertford | 77.4 | 74.8 | 89.2 | 90.4 |
| Keble | 75.3 | 62.4 | 87.1 | 86.3 |
| 平均 | 65.90 | 56.32 | 75.14 | 80.64 |

最后, 由于本文采用单词投票策略, 每幅图片在检索时需要查询的单词个数不变, 单词映射链中索引图片数量的增加与整体数据库的增长相比变化较小, 因此本文所用方法在数据库规模增大时, 依然能够有效地进行检索。

结束语 本文采用 E2LSH 作为聚类算法并引入软量化思想生成单表视觉词典, 在此基础上采用嵌入汉明码的方法生成单词映射链, 并提出一种权重赋予函数, 此外引入投票策略进一步优化检索性能。实验结果表明本文方法降低了内存使用量, 提高了检索精度, 且在数据规模大的情况下仍有较强的适用性; 但要指出的是, 从硬盘中读取索引文件需要一定的响应时间, 并不能有效地利用目标区域的上下文信息, 因此, 研究其他更高效的图像检索机制仍十分必要。

参 考 文 献

- [1] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110
- [2] Jurie F, Triggs B. Creating efficient codebooks for visual recognition[C]// Proceedings of International Conference on Computer Vision. Beijing, 2005; 604-610
- [3] Jegou H, Douze M, Schmid C. Hamming embedding and weak geometric consistency for large scale image search[C]// IEEE Conference on European Conference on Computer Vision. Heidelberg, 2008; 1-29
- [4] Philbin J, Chum O, Isard M, et al. Lost in quantization; improving particular object retrieval in large scale image databases[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Anchorage, 2009; 278-286
- [5] Nister D, Stewenius H. Scalable recognition with a vocabulary tree [C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York, 2006; 2161-2168
- [6] Philbin J, Chum O, Isard M, et al. Object retrieval with large vocabularies and fast spatial matching [C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Min-

neapolis, 2007; 1-8

- [7] Cao Yang, Wang Chang-hu, Li Zhi-wei, et al. Spatial-bag-of-features[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco, USA, 2010; 3352-3359
- [8] Zhao Yong-we, Li Bi-cheng, Peng Tian-qiang, et al. An Object Retrieval Method Based on Randomized Visual Dictionaries and Query Expansion [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2012, 34(5): 1154-1161
- [9] Gionis A, Indyk P, Motwani R. Similarity search in high dimensions via hashing[C]// Proceedings of the 25th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB). Edinburgh, Scotland, 1999; 518-529
- [10] Zhang Bo-lin, Wang Chun-heng, Xiao Bai-hua, et al. Image Representation Using Bag-of-phrases[J]. Acta Automatica Sinica, 2012, 38(1): 46-54
- [11] Philbin J, Chum O, Isard M, et al. Object retrieval with large vocabularies and fast spatial matching[C] // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Minneapolis, 2007; 1-8
- [12] Sadeghi M A, Farhadi A. Recognition Using Visual Phrases [C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Providence, 2011; 20-25
- [13] Datar M, Immorlica N, Indyk P, et al. Locality-sensitive hashing scheme based on p-stable distributions[C]// Proceedings of the Twentieth Annual Symposium on Computational Geometry. Brooklyn, New York, 2004; 253-262
- [14] Lv Q, Josephson W, Wang Z, et al. Multi-probe LSH: efficient indexing for high-dimensional similarity search [C] // Proceedings of the 33rd international conference on Very large data bases, VLDB'07. VLDB Endowment, 2007; 950-961
- [15] Gao Hao-lin, Peng Tian-qiang, Li Bi-cheng, et al. A Fast Retrieval Method Based on Frequent Items Voting of Multi Table and Bucket Map Chain[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2012, 34(11): 2574-2581
- [16] Wu X, Hauptmann A G, Ngo C W. Practical elimination of near-duplicates from web video search[C]// Proceedings of the 15th International Conference on Multimedia. New York, USA; ACM Press, Sep 2007; 218-227
- [17] Jegou H, Douze M, Schmid C. Improving bag-of-features for large scale image search[J]. International Journal of Computer Vision, 2010, 87(3): 316-336
- [18] Robotics research group. Oxford dataset[OL]. http://www.robots.ox.ac.uk/_vgg/data/oxbuildings, 2011-04-16