

对位置信息服务的连续查询攻击算法

杨琼*, 俞立峰

(浙江工业职业技术学院 数字媒体与信息工程学院, 浙江 绍兴 312000)

(* 通信作者电子邮箱 yanghan104@126.com)

摘要:为了解决连续查询攻击算法给位置信息服务(LBS)带来的安全隐患,基于已有的 k -匿名化 Cloaking 算法提出了一种新的连续查询攻击算法——CQACA。该算法首先利用熵和查询匿名度量定义了查询识别率的目标函数,并结合元胞蚁群给出了目标函数的求解算法。最后,利用移动对象数据生成器进行实验,深入研究了影响 CQACA 的关键因素,同时对比分析了该算法与 Cloaking 算法的性能差异:CQACA 与实际数据的误差为 13.27%,而 Cloaking 算法则为 17.35%。结果表明 CQACA 具有一定的有效性。

关键词:位置信息服务;连续查询攻击算法;查询匿名度量;查询识别率;元胞蚁群

中图分类号: TP309 **文献标志码:** A

Continuous queries attacking algorithms of location based service

YANG Qiong*, YU Lifeng

(College of Digital Media and Information Engineering, Zhejiang Industry Polytechnic College, Shaoxing Zhejiang 312000, China)

Abstract: In order to mitigate the security risks in Location Based Service (LBS) with continuous query attacking algorithm, a new algorithm — Continuous Queries Attacking algorithm based on Cellular Ant (CQACA) was proposed by k -anonymity measurement. At first, the objective function of query recognition rate was defined with entropy and anonymity measurement, and the algorithmic process of objective function was presented by cellular ant. Finally, a simulation with the moving object data generator was conducted to study the key factors of CQACA, and the performance between CQACA and Cloaking was compared. Compared with the actual trajectory, the error of CQACA was 13.27%, and error of Cloaking was 17.35%. The result shows that CQACA has better effectiveness.

Key words: Location Based Service (LBS); continuous query attacking algorithm; anonymity measurement; query recognition rate; cellular ant colony

0 引言

随着定位技术的迅速发展,基于位置的服务(Location Based Service, LBS)在通信网络中得以广泛应用^[1-5]。LBS是根据用户的位置提供特定服务,但也存在诸如位置或隐私信息遭泄露或滥用等安全隐患。目前,位置隐私分为敏感位置隐私和位置-ID 隐私,敏感位置隐私通过模糊化或者加密位置来保护位置隐私,而位置-ID 隐私是通过 k -匿名技术来实现保护位置隐私的。 k -匿名是指当一个移动用户的位置无法与其他 $k-1$ 个用户的位置区别时,称此位置满足位置 k -匿名。M Gruteser 首先将 k -匿名引入到位置隐私保护,为用户提供相同隐私要求的匿名服务。

目前,LBS 匿名技术主要有错误或假的位置信息方法,区域化位置信息的方法和加密方法,典型代表算法有 CliqueCloak、Casper、Hilbert Cloak 和 k NN Cloak^[6-10]。CliqueCloak 主要是为用户建立一个无向图并寻找满足 k -匿名相互连通的小集团,但该算法缺乏灵活性。Casper 作为 Quad-Tree 的经典方法在匿名器上广泛应用,但 Casper 盲目递归查找匿名空间时导致产生的较大匿名空间,为后期查询操作带来不便。而 Hilbert Cloak 则是用希尔伯特空间填充弧,将二

维空间映射为 k -匿名组,该算法具有较高的安全性,但是系统开销较大。 k NN Cloak 是根据 k 个最近邻居为匿名伙伴进行随机选择,以此改善匿名效果。对此,国内外学者也提出了大量改进算法。高枫等^[11]深入研究了基于位置服务应用的隐私保护需求多样性,提出了一种以用户为中心的信任隐私保护模型,允许用户对隐私偏好进行自主设置。林欣等^[12]通过融合查询发送时间的间隔模型,提出了一种连续查询发送模型,并结合两种 k -匿名算法 Clique Cloaking 和 Non-clique Cloaking,分别提出了连续查询攻击算法。针对基于位置的服务中的 k -匿名机制的最小匿名度的 QoS,杨朝晖等^[13]提出一种新的 QoS 指标——匿名结果集势指标 R^* ,用于度量和约束匿名服务和 LBS 为用户的每次查询所平均消耗的计算资源。王彩梅等^[14]基于用户轨迹隐私保护方法 Silent Cascade,将用户运动轨迹用带权无向图描述,提出一种新的轨迹隐私度量方法,并从信息熵的角度来计算用户轨迹隐私。为了提高现有地点识别方法精确度,丰江帆等^[15]基于速度剪枝、时间剪枝和空间剪枝相结合的 VSTPruning 算法提出了一种新的地点识别方法,并综合 R^* -树空间索引机制和密度相交提出了基于密度的 RTcluster 聚类方法。

针对上述问题,本文基于 k -匿名集 Cloaking 算法提出了

收稿日期:2013-07-15;修回日期:2013-09-11。

基金项目:浙江省教育厅科研项目(Y201329895);绍兴市科技局公益性技术应用研究计划项目(2013B70023)。

作者简介:杨琼(1982-),女,湖南湘西人,讲师,硕士,主要研究方向:信息安全;俞立峰(1978-),男,浙江海宁人,讲师,硕士,CCF 会员,主要研究方向:信息安全、网络优化。

一种新的连续查询攻击算法(Continuous Queries Attacking algorithms based on Cellular Ant, CQACA)。该算法首先定义了查询识别率以及查询匿名度量目标函数,并利用元胞蚁群算法对上述模型进行求解。利用移动对象数据生成器,通过仿真实验对比分析了CQACA与Cloaking算法之间的性能差异,同时深入研究了影响CQACA的关键因素。

1 连续查询攻击算法

Clique Cloaking作为典型的连续查询攻击算法,它通过定义四元组 $\{u, q, t, r\}$ 来表示 k 个用户的快照,其中 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_i\}$ 为用户 id 集合, $q = \{q_1, q_2, \dots, q_j\}$ 为 k 个用户提交的 k 个查询, r 表示 k 个用户共享的模糊化区域, t 表示匿名器发出快照的周期序号。LBS可以知道 k 个用户中每个用户发送了 k 个查询中的一个,但无法将某一个具体用户 u_i 和一个具体查询 q_j 进行匹配。而攻击者的目标就是要将用户真实 id 和某一个查询对应起来,以此获得该用户的实际移动信息。攻击者直接破译匿名器和用户的密钥较为困难,但可以通过截取快照并解析其内容获取到相关统计信息:查询种类、每一种查询的连续性参数以及用户查询时间间隔。

文献[12]结合Clique Cloaking提出过一种连续查询攻击算法,它定义用户 u_i 发送查询 q_j 的概率为 p_{ij} ,通过计算概率 p_{ij} 找出发送查询 q_j 可能性最大的用户 u_i ,并且概率 p_{ij} 满足如下条件:

$$\sum_{j=1}^k q_j = 1 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^k p_{ij} = 1 \quad (2)$$

其中:式(1)表示所有用户发送查询 q_j 概率的和为1,式(2)表示用户 u_i 发送所有查询概率的和为1。结合式(1)~(2),文献[12]算法具体分为如下两个步骤:

1) 在未知式(1)~(2)的条件下,通过计算概率 p_{ij} 找出每个用户 u_i 的前继快照。

2) 根据每个用户 u_i 的前继快照并结合式(1)~(2),找出发送查询 q_j 可能性最大的用户 u_i 。

该方法通过假设每个查询的概率相等,并且各个查询作为独立事件存在。但是实际应用中,各个查询并非完全独立,而且查询概率不等,因此,上述攻击算法具有一定的局限性。因此,上述攻击算法具有一定的局限性。本文将其转化为最优化问题,然后利用人工智能方法对上述攻击算法进行改进,提高查询的识别效率。最后,防御者通过设置该识别效率的最低阈值,达到让攻击者无法将查询和用户联系起来的目的。

2 改进算法

2.1 查询识别率

目前,衡量一个攻击算法性能的重要指标是查询识别率,即攻击算法成功匹配用户对应的查询与总查询数量的比率。而Cloaking算法一般采用 k -匿名集进行度量,当 k 越大查询识别率越低。通常具有 k 度量的查询集合,其查询识别率理论阈值为 $1/k$,但是由于干扰等信息存在,实际查询识别率远低于理论阈值。因此,这里首先结合熵来给出查询匿名度量。

对于某个给定查询 q_j ,经过Cloaking保护后产生其匿名

集,假设 p_{ij} 为连续查询攻击算法计算得到的用户 u_i 发送查询 q_j 的概率。这里采用香农公式来表示概率 p_{ij} 的熵和匿名度量,与理论值比较吻合。查询概率 p_{ij} 的熵可以表示为:

$$H = - \sum p_{ij} \lg p_{ij} \quad (3)$$

而查询匿名度量 $f(H)$ 则表示为:

$$f(H) = \frac{1}{1 + e^{-H}} \quad (4)$$

为了在实际应用中能够以最低开销来防御连续查询攻击算法的破坏性,这里针对上述查询匿名度量 $f(H)$ 建立最优模型。

目标函数:

$$z = \max(f(H)) \quad (5)$$

约束条件:

$$p_{ij} = \frac{\sum_{b(i)=j} \prod_{n=1,2,\dots,k} p_{nb(i)}}{\sum_{\forall b(i)} \prod_{n=1,2,\dots,k} p_{nb(i)}} \quad (6)$$

$$\sum_i p(u_i, q, t, r) + p(\text{NULL}, q, t, r) = 1 \quad (7)$$

$$\sum_j p(u, q_j, t, r) + p(u, \text{NULL}, t, r) = 1 \quad (8)$$

$$p(u_i, q, t, r) \geq 0, p(\text{NULL}, q, t, r) \geq 0 \quad (9)$$

$$p(u, q_j, t, r) \geq 0, p(u, \text{NULL}, t, r) \geq 0 \quad (10)$$

$$p_{ij} \geq 0; i > 0; j > 0 \quad (11)$$

其中: $b(i)$ 表示数据1至 i 的排列集合, $p(u_i, q, t, r)$ 表示用户 u_i 在周期 t 发送查询 q 的概率, $p(\text{NULL}, q, t, r)$ 表示没有用户在周期 t 没有发送查询 q 的概率,式(7)约束了这两种概率之和为1, $p(u, q_j, t, r)$ 表示用户 u 在周期 t 发送查询 q_j 的概率, $p(u, \text{NULL}, t, r)$ 表示用户 u 在周期 t 内没有发送查询的概率(式(8)约束了这两种概率之和为1)。

上述目标函数是一个非线性问题,常用的线性规划或者整数规划不能有效求解。因此,本文结合元胞蚁群算法^[16-17]对上述问题进行研究,以获得全局最优解。

2.2 求解方法

假设元胞邻域采用MOORE结构,如图1所示。在某区域 K_i 内,中心元胞视作当前节点的查询匿名度量值,在下一时刻该节点状态可以演化为这9个元胞状态中的最大者,并按照定义的元胞演化规则循环执行上述操作。

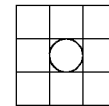


图1 元胞结构示意图

首先这里给出元胞演化规则:

1) 选择任意一个元胞 c_i ,计算 $y = (f(H_1), f(H_2), \dots, f(H_9))$,记录其中最优化 $y_{\text{opt}} = y, C_{\text{opt}} = c_i$ 。

2) 在 K_i 中任意选取元胞 c_i 和 c_j ,并计算相应的 y_i 和 y_j ;如果 $y_i < y_j$,且 $y_{\text{opt}} < y_j$,则单位面积内信息素 φ_j 增加 $\Delta\varphi$;当 $\Delta y_{ij} < 0$ 时,蚂蚁 i 按照概率 λ_{ij} 从其邻域 i 移至蚂蚁 j 的邻域,丢弃区域 K_i ;当 $\Delta y_{ij} \geq 0$ 时,蚂蚁 i 继续在区域 K_i 搜索。

同时,本文基于元胞蚁群算法给出查询匿名度量 $f(H)$ 最大值的计算算法CQACA:

第1步 在开始时刻 T 初始化元胞蚁群参数:蚂蚁个数

为 n , 搜索半径 r , 最大迭代次数为 N_{max} 。

第 2 步 按照蚂蚁个数及空间大小确定邻域规模, 并根据式 (12) 将所有蚂蚁置于各自搜索区域的中心:

$$O(i) = R_{min} + \frac{i(R_{max} - R_{min})}{1 + n}(1 - rand()) \quad (12)$$

其中: R_{max} 和 R_{min} 分别为搜索区域上下界, $rand()$ 产生 0 至 1 之间的随机数。

第 3 步 将各蚂蚁的初始出发点置于当前解集中, 对蚂蚁 k 以搜索半径 r 进行区域搜索, 并按照概率 λ_{ij} 转移至邻域 j :

$$\lambda_{ij} = \frac{1 + (1 + \varphi_j)^\alpha [y_j - y_i]^\beta}{\sum_k (\varphi_k)^\alpha [y_i - y_k]^\beta} \quad (13)$$

其中: α 和 β 为非负常数, φ_j 为蚂蚁 i 为中心的邻域内的单位面积内信息素数量。

第 4 步 如果移动成功, 则丢弃区域 K_i 。

第 5 步 计算当前各蚂蚁的目标函数值, 并记录当前的最优解。

第 6 步 更新方程修改轨迹强度, 并令 $T = T + 1$, 将每个蚂蚁信息素增量 $\Delta\varphi_k$ 趋于 0。

第 7 步 如果预定迭代次数小于 N_{max} , 则转第 2 步; 否则转第 8 步。

第 8 步 输出最优解, 即实际查询匿名度量 $f(H)$ 。

第 9 步 算法结束。

3 性能评估

本文利用著名的 Network-based Generator of Moving Objects 模拟器^[18]来产生市区的交通网络图中各用户的运动轨迹实验数据。移动对象可以进行随机移动, 并且在每一时刻每个固定区域的数目差异较大。同时, 本文利用 C 语言来实现上述算法, 运行环境为: Windows 7.0 操作系统, Intel 酷睿 i3-2350M 处理器, 4 GB 内存, 并且设置元胞蚁群算法的最大迭代次数为 200, 蚂蚁个数为 100, α 和 β 分别为 0.3 和 0.8。为了验证本文提出的 CQACA 的有效性, 这里将实际运动轨迹与 Cloaking 算法^[19]、CQACA 的计算结果进行对比, 如图 2 所示。从图 2 可看出, CQACA 计算结果与实际数据较为接近, 而 Cloaking 算法误差较大, 这说明 CQACA 将查询和用户相联系的效率较高。对实验结果进行数据分析, CQACA 与实际数据的误差为 13.27%, 而 Cloaking 算法则为 17.35%。

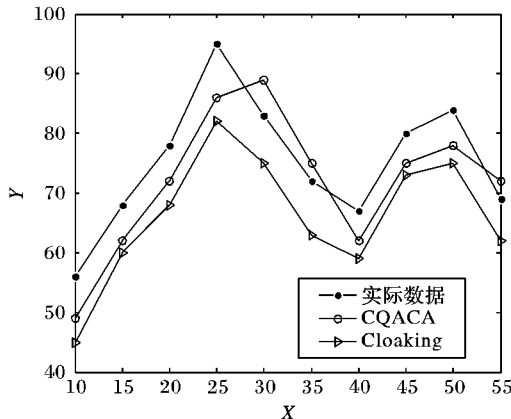


图 2 运动轨迹比较

进一步地, 这里将影响 CQACA 性能的关键因素进行分

析。这里定义 CQACA 平均误差 $error$ 为:

$$error = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{|Y_{CQACA} - Y_{actual}|}{Y_{actual}} \quad (14)$$

其中: Y_{CQACA} 为 CQACA 算法计算结果, Y_{actual} 为实际位置, T 为实验周期长度。图 3 给出了单位面积内不同信息素数量 φ 下平均误差 $error$ 的变化情况。从图 3 可看出: 在实验开始阶段, 信息素数量 φ 越小对应的平均误差 $error$ 越小; 而在后期情况发生突变, 信息素数量 φ 越大对应的平均误差 $error$ 越小。由于在开始阶段, 蚁群性能普遍偏低, 此时邻域内单位面积信息素数量越大所带来的开销越大, 使得算法收敛性减缓, 从而使得计算误差增大。而在后期蚁群性能普遍提高, 此时单位面积信息素数量越大可以更加有效避免陷入局部最优。

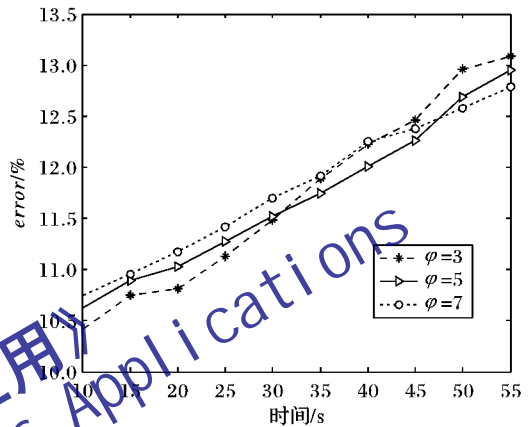


图 3 不同信息素数量的平均误差对比

针对用户 u 在周期 t 发送查询 q_j 的不同概率 p 下, 图 4 给出了算法平均误差 $error$ 与发送查询 q_j 频度 τ 之间的变化关系。从图中整体情况来看, 随着查询频度的增加平均误差呈现递减趋势。这是由于查询次数的增加导致用户被识破的概率将提高, 从而平均误差降低。并且在同一查询频度下, 发送查询 q_j 的概率越大平均误差越小。对于某一用户发送查询 q_j 的概率越大, 那么基于该查询的整体移动意图越明显, 从而使得算法识别的平均误差越小。

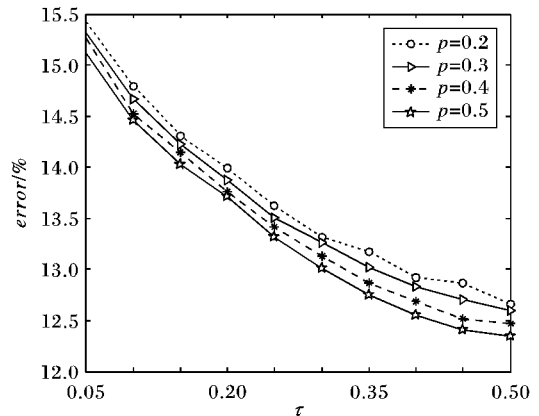


图 4 不同概率 p 下平均误差与发送查询频度之间的变化关系

同时, 在图 5 中给出了不同蚁群搜索半径 r 下算法平均误差 $error$ 的变化情况。类似于图 3 中曲线的变化趋势, 在实验开始阶段, 搜索半径 r 越小对应的平均误差 $error$ 越小, 而在后期搜索半径 r 越小对应的平均误差 $error$ 越大。这是由于在开始阶段蚁群性能偏低时, 半径 r 越大每个邻域所需要的搜索资源越大, 系统收敛减缓。而在后期蚁群性能得到提高时, 半径 r

越大可以有效避免陷入局部最优,从而降低平均误差。

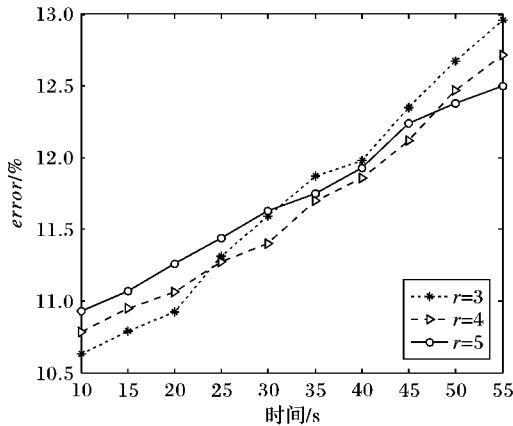


图5 不同蚁群搜索半径下平均误差对比

最后,图6给出了不同元胞移动概率 λ 下平均误差 $error$ 与单位面积内信息素数量 φ 之间的变化情况。从图6来看,随着单位面积内信息素数量 φ 的增加,平均误差 $error$ 呈现出先降低后增加的趋势。当单位面积内信息素数量 φ 较小时,此时增加信息素数量有利于扩大信息资源,提高匹配用户和对应查询的概率。当达到极值时,此时进一步增加信息素数量,将使得算法开销增加,元胞蚁群进行的搜索减缓,从而使得匹配用户和对应查询的概率降低,平均误差增大。并且在单位面积内信息素数量 φ 较小时(如 $\varphi < 6$ 时),元胞移动概率 λ 越小对应的平均误差越大,其原因是对于获取较少的信息素数量所需的元胞移动概率较少,因此元胞移动概率越大则会增加系统开销,使得平均误差增加;而当单位面积内信息素数量 φ 较大时,元胞移动概率 λ 越大对应的平均误差越大。

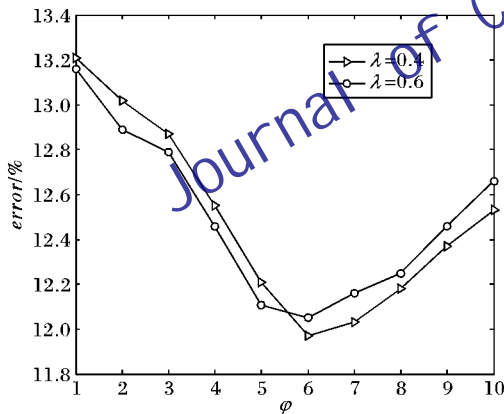


图6 不同元胞移动概率 λ 下平均误差与单位面积内信息素数量之间的关系

4 结语

针对查询隐私存在的安全隐患,本文在已有的 k -匿名集Cloaking算法基础上,结合元胞蚁群算法进行改进,提出了一种基于LBS的连续查询攻击算法CQACA。该算法利用熵和查询匿名度量定义了查询识别率的计算模型,并给出了元胞蚁群的演化规则以及算法流程。最后,利用移动对象数据生成器来进行实验,对比分析了CQACA与Cloaking算法的性能差异,同时深入研究了影响CQACA的关键因素,结果表明该算法具有一定的适应性。在以后的研究工作中,可以考虑采用多种人工智能和聚类算法针对各类轨迹距离度量进行研究,以设计和建立完善有效的隐私保护轨迹数据模型。

参考文献:

- [1] MOURATIDIS K, YIU M L. Anonymous query processing in road networks[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2010, 22(1): 2-15.
- [2] GUTING R H, BOHLEN M H, ERWIG M, et al. A foundation for representing and querying moving objects[J]. ACM Transactions on Database Systems, 2000, 25(1): 1-42.
- [3] ARDAGNA C. An obfuscation-based approach for protecting location privacy[J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2011, 8(1): 13-27.
- [4] XU J, TANG X, DU J. Privacy-conscious location-based queries in mobile environments[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2010, 21(3): 313-326.
- [5] ABUL O, BONCHI F, NANNI M. Anonymization of moving objects databases by clustering and perturbation[J]. Information Systems, 2010, 35(8): 884-910.
- [6] DOMINGO-FERRER J, TRUJILLO-RASUA R. Microaggregation and permutation-based anonymization of movement data[J]. Information Sciences, 2012, 208: 55-80.
- [7] HU H, XU J. PASS: bandwidth-optimized location cloaking for anonymous location-based services[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2010, 21(10): 1458-1472.
- [8] PAN X, HAO X, MENG Y. Privacy preserving towards continuous query in location-based services[J]. Journal of Computer Research and Development, 2010, 47(1): 121-129. (潘晓,郝兴,孟小峰. 基于位置服务中的连续查询隐私保护研究[J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(1): 121-129.)
- [9] REBOLLO D. Private location-based information retrieval through user collaboration[J]. Computer Communications, 2010, 33(6): 762-744.
- [10] HASHERN T, KULIK L. Don't trust anyone: privacy protection for location-based services[J]. Pervasive and Mobile Computing, 2011, 7(1): 44-59.
- [11] GAO F, HE J, ZHANG F, et al. Trust based privacy protection method in LBS[J]. Journal on Communications, 2011, 32(11A): 63-70. (高枫,何泾沙,张峰,等. LBS应用中基于信任的隐私保护方法研究[J]. 通信学报, 2011, 32(11A): 63-70.)
- [12] LIN X, LI S, YANG Z. Attacking algorithms against continuous queries in LBS and anonymity measurement[J]. Journal of Software, 2009, 20(4): 1058-1068. (林欣,李善平,杨朝晖. LBS中连续查询攻击算法及匿名性度量[J]. 软件学报, 2009, 20(4): 1058-1068.)
- [13] YANG Z, LI S, LIN X. Anonymity level adaptation algorithm to meet resource constraint of K -anonymity service in LBS[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2011, 45(7): 1154-1160. (杨朝晖,李善平,林欣. LBS中面向 K -匿名服务资源约束的匿名度调节算法[J]. 浙江大学学报:工学版, 2011, 45(7): 1154-1160.)
- [14] WANG C, GUO Y, GUO Y. Privacy metric for user's trajectory in location-based services[J]. Journal of Software, 2012, 23(2): 352-360. (王彩梅,郭亚军,郭艳华. 位置服务中用户轨迹的隐私度量[J]. 软件学报, 2012, 23(2): 352-360.)
- [15] FENG J, XIONG Y. An important place identification algorithm based on personal GPS location[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2013, 34(3): 503-507. (丰江帆,熊雨虹. 一种基于个人位置信息的重要地点识别方法[J]. 小型微型计算机系统, 2013, 34(3): 503-507.)

比较,容易看出,对各种不同类型的测试序列,本文算法总能较比文献[9]算法更大程度地减少计算复杂度。

同本文算法相比,文献[9]算法仅利用视点间的相关性定义模式复杂度,而实际上,模式复杂度不仅与视点间模式有关,也同时与空间和时间上的模式有关,本文算法兼顾了这三个方面的相关性,因此取得了比文献[9]算法更好的结果。此外,文献[9]算法仅考虑了各个模式的加权因子,并没有考虑到处于不同位置的宏块对当前宏块的影响程度是不一样的,也即必须要考虑宏块加权因子,这也是本文算法优于文献[9]算法的另一个原因。

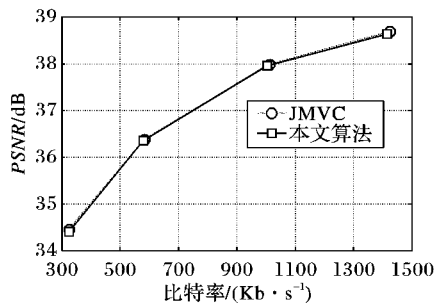


图3 Ballroom序列RD曲线

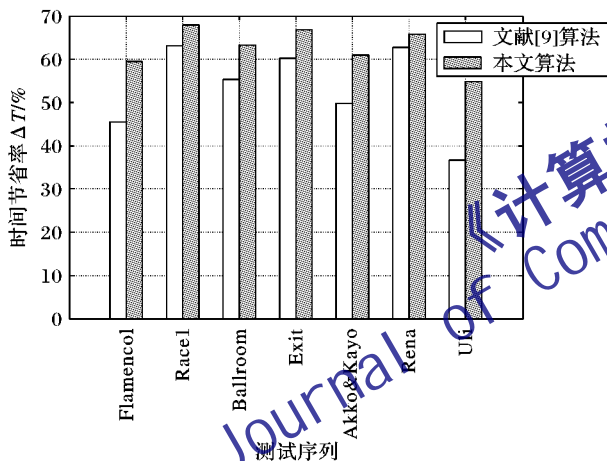


图4 本文算法与文献[9]算法计算复杂度比较

4 结语

本文提出一种有效的多视点视频编码帧间快速模式选择方法,计算复杂度减少主要是因为模式选择的过程中跳过不必要的模式分块。在本文算法中,首先计算当前宏块的模式复杂度,然后根据其值的大小确定宏块所处的模式类型,每种类型仅选择指定的模式分块,其余模式分块则不必检查。

模式复杂度的设计是算法的关键,提出算法综合考虑空间、时间及视点间的相关性定义模式复杂度参数。实验结果表明同JMVC的全搜索算法相比,提出算法不仅大大减小了计算复杂度,且保持了几乎不变的编码效率。

参考文献:

- [1] TANIMOTO M, TEHRANI M P, FUJII T, *et al.* Free-viewpoint TV [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2011, 28(1): 67-76.
- [2] MULLER K, MERKLE P, WIEGEND T. 3-D video representation using depth maps [J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(4): 643-656.
- [3] PANDIT P, VETRO A, CHEN Y. JVT-AA208 Joint Multiview Video Model (JMVM) 8.0 software[R]. Geneva: JVT, 2008.
- [4] VETRO A, WIEGAND T, SULLIVAN G J. Overview of the stereo and multiview video coding extensions of the H.264/MPEG-4 AVC standard [J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(4): 626-642.
- [5] DING L F, TSUNG P K, CHIEN S Y, *et al.* Content-aware prediction algorithm with inter-view mode decision for multiview video coding [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2008, 10(8): 1553-1563.
- [6] HUO J Y, CHANG Y L, LI M, *et al.* Scalable prediction structure for multiview video coding [C]// Proceedings of the 2009 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 2593-2596.
- [7] ZHANG W, TIAN Y, ZHOU F, *et al.* Fast inter mode decision based on texture segmentation and correlations for multiview video coding [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(3): 1696-1704.
- [8] PENG Z J, JIANG G Y, YU M. A fast multiview video coding algorithm based on dynamic multi-threshold [C]// Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 113-116.
- [9] SHEN L Q, YAN T, LIU Z, *et al.* Fast mode decision for multiview video coding [C]// Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Image Processing. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 2953-2956.
- [10] WIEGAND T, SCHWARZ H, JOCH A, *et al.* Rate-constrained coder control and comparison of video coding standards [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7): 688-703.
- [11] WANG F S, ZENG H Q, SHEN Q H, *et al.* Efficient early direct mode decision for multi-view video coding [J]. Signal Processing: Image Communication, 2013, 28(7): 736-744.
- [12] KOO H S, JEON Y J, JEON B M. JVT-W081 MVC Motion skip mode[R]. San Jose: JVT, 2007.

(上接第98页)

- [16] SONG Y, JIANG G, XU J. An epidemic spreading model in adaptive networks based on cellular automata[J]. Acta Physica Sinica, 2011, 60(12): 110-119. (宋玉蓉, 蒋国平, 徐加刚. 一种基于元胞自动机的自适应网络病毒传播模型[J]. 物理学报, 2011, 60(12): 110-119.)
- [17] CAO C, WANG L, ZHAO D. The research based on the discrete cellular ant algorithm in the geometric constraint solving[J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 38(5): 1127-1130. (曹春红, 王利民, 赵大哲. 基于离散元胞蚂蚁算法的几何约束求解技术研究

[J]. 电子学报, 2011, 38(5): 1127-1130.)

- [18] BRINKHOFF T. A framework for generating network-based moving objects[J]. Geoinformatica, 2002, 6(2): 153-180.
- [19] ZOU Y, ZHANG Y. Location-cloaking algorithm based on grid-divided space[J]. Application Research of Computers, 2012, 29(8): 3059-3061. (邹永贵, 张玉涵. 基于网格划分空间的位置匿名算法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(8): 3059-3061.)