

基于 Hausdorff 距离的图像匹配并行 算法设计与实现

于二丽,周宁宁

(南京邮电大学 计算机学院,江苏 南京 210003)

摘 要:随着图像匹配的应用越来越广泛,图像匹配的实时性要求也越来越高。为了提高图像匹配的速度和更好地利用多核计算资源,设计了一种基于 Hausdorff 距离的图像匹配并行算法。首先介绍了 Hausdorff 距离的定义,然后分析了图像匹配串行算法的效率,在此基础上设计了基于 Hausdorff 距离的图像匹配并行算法,最后采用 Matlab 在多核计算机上对并行算法进行了实现。实验结果表明,文中所设计的并行算法能够显著提高图像匹配速度,并具有较好的抗失真和抗噪声性能。文中设计的并行算法有较好的扩展性,可以将这种并行思想应用到其它图像匹配算法的并行设计中。

关键词:Hausdorff 距离;图像匹配;多核计算机;并行算法

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)09-0028-04

Design and Implementation of a Parallel Image Matching Algorithm Based on Hausdorff Distance

YU Er-li, ZHOU Ning-ning

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: With extensive application of image matching, real-time requirements of image matching are also increasing. In order to improve the speed of image matching and use the multi-core computing resources efficiently, a parallel image matching algorithm based on Hausdorff distance is designed. Firstly it introduces the definition of Hausdorff distance, and analyzes the efficiency of serial image matching algorithm based on Hausdorff distance. On this basis, a parallel image matching algorithm based on Hausdorff distance is designed and implemented in multi-core computer using Matlab. The experimental results show that the parallel algorithm is designed can greatly improve matching speed, and has good anti-distortion and anti-noise performance. This parallel idea presented in this paper has good scalability, and can be applied to other parallel image matching algorithms' design.

Key words: Hausdorff distance; image matching; multi-core computer; parallel algorithm

0 引 言

Hausdorff 距离作为距离测度,只是一种相似度的度量^[1],无需考虑两个点集中的点与点之间的对应关系,所以它在图像比较^[2]、定位^[3]、匹配^[4]和识别^[5,6]等领域有广泛的应用。Hausdorff 距离用于图像匹配中,对尺度变换、平移变换和角度变换都有较好的效果^[7,8],同时匹配的精度也比较高,抗干扰性能比较强^[9],但是匹配耗费的时间太长,不能应用于对时间要求较高的图像匹配中。尽管目前有很多改进的基于

Hausdorff 距离的算法^[10,11]以提高图像匹配速度,但实时性并不太理想。并行计算技术的发展和多核计算机的普及,为利用并行计算技术来提高图像匹配的速度提供了良好的条件。所以,在多核计算机平台上,开发基于 Hausdorff 距离的图像匹配并行算法,从而提高图像匹配的速度,具有重要的实用价值。

1 Hausdorff 距离

1.1 Hausdorff 距离定义

对于两个有限点集合 $A = \{a_1, \dots, a_p\}$, $B = \{b_1, \dots, b_q\}$, 则这两个点集合之间的 Hausdorff 距离定义^[12]为:

$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (1)$$

其中 $h(A, B) = \max(a \in A) \min(b \in B) \|a - b\|$, 表示对点集 A 中的每个点 a_i 到距离此点 a_i 最近的 B 集合中点 b_j 之间的距离 $\|a_i - b_j\|$ 进行排序,然后取排

收稿日期:2011-02-18;修回日期:2011-06-04

基金项目:软件开发环境国家重点实验室开放课题(BUAA-SKLSDE-09KF-03);国家重点基础研究发展计划(973)(2005CB321901)

作者简介:于二丽(1982-),女,河南驻马店人,硕士研究生,研究方向为图像处理;周宁宁,博士,副教授,CCF 会员,研究方向为图像处理和虚拟现实。

序后的最大值作为 $h(A, B)$ 的值,它是从 A 集合到 B 集合的单向 Hausdorff 距离。同理, $h(B, A) = \max(b \in B) \min(a \in A) \|b - a\|$, 表示对点集 B 中的每个点 b_i 到距离此点 b_i 最近的 A 集中点 a_j 之间的距离进行排序,然后取排序后的最大值作为 $h(B, A)$ 的值,它是从 B 集合到 A 集合的单向 Hausdorff 距离。 $\|\cdot\|$ 是点集合 A 和 B 之间的距离范式。

双向 Hausdorff 距离 $H(A, B)$ 是单向距离 $h(A, B)$ 和 $h(B, A)$ 两者中的较大者,它描述了两组点集之间的相似程度,即两个点集的匹配程度。

1.2 部分 Hausdorff 距离定义

由于 Hausdorff 距离易受突发噪声的影响,当图像受到噪声污染或存在遮挡等情况时,原始的 Hausdorff 距离容易造成误匹配。所以在 1993 年, Huttenlocher 提出了部分 Hausdorff 距离的概念^[13]。

简单说,包含 q 个点的集合 B 与集合 A 的部分 Hausdorff 距离就是选取 B 中的 $K(K \geq 1$ 且 $K \leq q)$ 个点,然后求取这 K 个点到 A 集合的最小距离并排序,则排序后的第 K 个值就是集合 B 到集合 A 的部分单向 Hausdorff 距离。定义公式如式(2):

$$h_K(B, A) = K^{\text{th}} \min_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\| \quad (2)$$

$K^{\text{th}} \min_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\|$ 表示集合 B 中的点到距离最近的集合 A 中点的最小距离值按从小到大排序后的第 K 个值,换句话说,先计算 B 中的每个点到最近的 A 中点的距离值,然后这些点按照它们对应的距离值排序。 $K^{\text{th}} \min_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\|$ 的值 d 说明集合 B 中有 K 个点与图像中的某些点的距离值小于 d 。当 $K = q$ 时,所有的点都被考虑了,就变成了单向 Hausdorff 距离 $h(B, A)$ 了。

在计算 $h_K(B, A)$ 时, K 值并不是固定的, K 的求取是通过 $K = \lfloor f \times q \rfloor$ 来得到的, f ($0 < f \leq 1$) 是给定的一个分数, q 是集合 B 中的点数, $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整运算。

部分的双向 Hausdorff 距离定义为:

$$H_K(A, B) = \max(h_L(A, B), h_K(B, A)) \quad (3)$$

其中, $h_K(B, A) = K^{\text{th}} \min_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\|$, $h_L(A, B) = L^{\text{th}} \min_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$

这里的 $L^{\text{th}} \min_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$ 表示集合 A 中的点到集合 B 中点的最小距离值按从小到大排序后的第 L 个值。

为了有效解决图像中存在噪声以及目标被部分遮挡情况下的匹配问题,文中采用部分 Hausdorff 距离算法对图像进行匹配。

2 Hausdorff 距离图像匹配并行实现

2.1 Hausdorff 距离图像匹配并行算法思想

基于 Hausdorff 距离的串行匹配算法是:将模板图在目标图上按从上到下、从左到右的顺序移动,然后计

算模板图 and 对应模板图下方的目标图中的搜索子图的 Hausdorff 距离。这种串行算法每次只能计算一个搜索子图和模板图的 Hausdorff 距离,速度较慢。

而基于 Hausdorff 距离的并行匹配算法的思想是:将匹配任务分解为多个子任务同时进行,即将模板图在目标图上按从上到下、从左到右的顺序移动,但每次可同时进行多个搜索子图和模板图的 Hausdorff 距离的计算,至于可同时进行几个,这由 CPU 核数决定。这种并行思想明显可提高匹配速度,同时程序由几个核并行执行,这与处理器的个数有关,CPU 的核数越多执行速度越快。

文中利用 Matlab 并行计算工具箱对并行计算的支持,在 Matlab 环境中编程实现。图 1 显示了并行匹配过程。



图 1 基于 Hausdorff 距离的图像匹配并行实现示意图

白色、灰色、黑色和深灰色方框表示模板图在目标图上进行图像匹配的移动顺序,即从上到下,从左到右的顺序进行匹配。对于单核的情况,每次只能对一个方框计算与其下方的搜索子图的 Hausdorff 距离。对于双核的情况,每次可选择两个方框同时进行计算(如图白色方框和灰色方框可同时进行)。对于四核的情况,每次可选择 4 个方框同时进行计算(如图白色、灰色、黑色和深灰色方框可同时进行)。这里只列出了最大有 4 个 CPU 时,模板图与目标图并行匹配的情况。当然,当处理器的个数多于 4 个时,可选择与处理器个数相同的模块数同时并行执行。这种并行方案不需要针对不同的处理器个数更改程序,只需在 Matlab 的命令窗口用 Matlab 池打开多个核数即可实现,程序的扩展性较好。

2.2 Hausdorff 距离图像匹配并行算法设计步骤

(1) 读取模板图 A 和目标图 B , 并分别求出图 A 和图 B 的行和列;

(2) 定义一个矩阵 C , 大小为图 A 在图 B 上所能移动的最大的行数和列数,用以记录每次移动的模板图 and 对应下方目标图中的搜索子图的 Hausdorff 距离值;

(3) 按从上到下,从左到右的顺序在目标图上并

行移动模板图;

(4)并行计算模板图与对应下方搜索子图的像素点的 Hausdorff 距离,并行结果保存在矩阵 C 中的对应坐标上;

(5)重复第 3,4 步,直到计算出所有模板图和对应该搜索子图的 Hausdorff 距离,取最小值作为最佳匹配的位置。然后对得到的匹配图进行定位搜索,确定精确匹配位置。

基于 Hausdorff 距离的图像匹配的 Matlab 并行代码如下:

```
m = size(A,1);
n = size(A,2);
p = size(B,1);
q = size(B,2);
C = ones((p-m+1),(q-n+1));
C=inf * C;
parfor i2=1:(q-n+1);
    C1=ones((p-m+1),1);
    C1=inf * C1;
    for i1=1:(p-m+1);
        D = B(i1:(i1+m-1),i2:(i2+n-1));
        C1(i1) = hausdorff(A,D);
    end
    C(:,i2)= C1;
End
```

3 实验结果与分析

(1)实验环境。

表 1 给出了程序运行环境的硬件参数,操作系统和编译器等信息。

表 1 实验环境信息

CPU	Intel(R) Core(TM) 2 Duo CPU 1.83GHz * 2	Intel(R) Core(TM) 2 Quad CPU 2.33GHz * 4
内存	2G	3G
操作系统	Microsoft Windows XP Pro- fessional Service Pack 3	Microsoft Windows XP Pro- fessional Service Pack 3
编程工具	MATLAB 7.9.0(R2009b)	MATLAB 7.9.0(R2009b)
编译器	MATLAB Compiler	MATLAB Compiler
分析软件	MATLAB Profiler	MATLAB Profiler

以一张 lena. bmp 图像为例,图 2 中(a)是模板图 A(大小为:50×50), (b)是目标图 B(大小为:128×128), (c)是匹配结果图,其中脸部方框定位出匹配结果。

首先打开 Matlab 池开启程序并行执行环境,如 matlabpool open local 2(或 4),这里的 2 或 4 代表 work 个数(一个 matlab 实例进程称为一个 work),然后运行程序。当程序运行中遇到 parfor 语句时,便进行并行

执行,并行执行的 work 个数由 CPU 核数决定。程序运行结束后,输入 matlabpool close 关闭 Matlab 池。

(2)实验结果与分析。



图 2 图像匹配模板图、目标图和匹配结果图

表 2,3 分别给出了 lena. bmp 图像在双核机器上串、并行运算时间及匹配结果。

表 2 lena. bmp 图像在双核机器上串行、并行运行时间及匹配结果

所选择算法	执行时间	模板图在目标图中的起始位置	匹配结果	匹配误差
串行算法	9.916s	(51,51)	匹配成功	0
2 核并行算法	5.620s	(51,51)	匹配成功	0

表 3 lena. bmp 图像在 4 核机器上串行、并行运行时间及匹配结果

所选择算法	执行时间	模板图在目标图中的起始位置	匹配结果	匹配误差
串行算法	7.644s	(51,51)	匹配成功	0
4 核并行算法	2.336s	(51,51)	匹配成功	0

在并行计算机上进行并行计算的目的是就是要提高运算速度,从而节省时间。加速比等于最优串行算法的执行时间/并行算法的执行时间,它描述了程序并行化后的性能增益。对并行算法进行性能评价和优化是设计高效率并行程序必不可少的重要工作。

从表 2 的实验结果得知:在双核处理器平台中 Hausdorff 距离多核并行计算算法加速比=串行时间/并行时间=9.916s/5.620s=1.76;并行效率=加速比/CPU 核数=0.88。

从表 3 的实验结果得知:在四核多处理器平台中

加速比 = 串行时间/并行时间 = 7.644s/2.336s = 3.278; 并行效率 = 加速比/CPU 核数 = 0.819。

图像匹配中,通常会遇到目标图像有一定角度的旋转变换,或图像会受噪声的影响。为了进一步测试文中设计的基于 Hausdorff 距离的图像匹配并行算法的性能,图3给出了 lena.bmp 图像在旋转和有噪声情况下的匹配情况。



图3 lena.bmp 图像在有噪声和旋转情况时的匹配图

图3中(a)是模板图A(大小为:50×50), (b)是目标图中加椒盐噪声的匹配结果图(大小为:128×128), (c)是目标图中加高斯噪声的匹配结果图, (d)是目标图旋转5度时的匹配结果图,其中脸部方框定位出匹配结果。

实验结果表明,文中设计的 Hausdorff 距离图像匹配并行算法在多核环境下匹配速度显著提高。另一方面,在图像存在旋转和噪声的情况下,使用该算法虽然有一定的误差,但最终匹配成功(见表4)。说明文中所设计的并行算法具有一定的抗失真和抗噪声性能。

表4 lena.bmp 图像在存在旋转和噪声情况下的匹配结果

	旋转角度(5)	加高斯噪声(0.05)	加椒盐噪声(0.04)
匹配前模板图在目标图中的位置	(51,51)	(51,51)	(51,51)
匹配后模板图在目标图中的位置	(55,57)	(51,46)	(51,48)
匹配误差	6个像素	5个像素	3个像素
匹配结果	匹配成功	匹配成功	匹配成功

4 结束语

大多数图像处理应用对图像处理的实时性要求很高,随着多核计算机的普及和并行处理技术的发展,设计多核环境下的满足实时要求的并行算法显得越来越重要。由于应用需求的推动,文中设计并实现了一种基于 Hausdorff 距离的图像匹配并行算法,这种并行算法的扩展性很好,可以将这种并行思想运用到其它图像匹配算法的并行设计中。

同时,实验结果表明,文中所设计的并行算法在多核平台上能够显著提高匹配速度,而且具有较好的抗失真和抗噪声性能。

参考文献:

- [1] Rote G. Computing the minimum Hausdorff distance between two point sets on a line under translation[J]. Information Process Letters, 1991, 38:123-127.
- [2] 康建新. 一种改进的 Hausdorff 距离的图像匹配算法仿真分析[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(7):123-126.
- [3] 王卫星, 刘娟. 基于 Hausdorff 距离的飞机定位方法[J]. 计算机应用, 2009, 29(12):210-214.
- [4] 芮挺, 王金岩, 沈春林, 等. Hausdorff 距离下的景象特征快速匹配[J]. 光电工程, 2005, 32(6):20-23.
- [5] 邱志敏, 李军, 葛军, 等. 基于 Hausdorff 距离的自动目标识别算法的研究[J]. 红外技术, 2004, 28(4):199-202.
- [6] Gao Y. Efficiently comparing face images using a modified Hausdorff distance[J]. IEEE Proc. Vis. Image Signal Process, 2003, 150(6):346-350.
- [7] 臧铁飞, 沈庭芝. 改进的 Hausdorff 距离和遗传算法在图像匹配中的应用[J]. 北京理工大学学报, 2000, 20(6):733-737.
- [8] Sim D G, Kwon O K, Park R H. Object matching algorithm using robust Hausdorff distance measures[J]. IEEE Trans. Image Process, 1999, 8(2):425-429.
- [9] 陈岚岚, 毕笃彦, 马时平. Hausdorff 距离在图像匹配中的应用[J]. 现代电子技术, 2002(9):68-69.
- [10] 陈玲芝, 王保保, 董建国. 一种改进的 Hausdorff 距离模板匹配算法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(5):82-85.
- [11] 刘珂, 张宪民, 付永会. 一种改进的 Hausdorff 距离目标跟踪算法[J]. 上海交通大学学报, 2001, 35(2):223-227.
- [12] 张筑生. 微分动力系统原理[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [13] Huttenlocher D P, Klanderman G A, Rucklidge W J. Comparing Images Using the Hausdorff Distance[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(3):850-863.