

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.06.029

基于 OpenMP 并行技术的多核环境下 轮对图像处理方法研究*

朱 瑾, 吴开华*

(杭州电子科技大学 生命信息与仪器工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 基于光电图像的轮对磨耗在线检测过程中, 轮对图像处理的速度对在线检测的实时性有重要影响。针对轮对图像的处理速度不能够满足轮对高速在线检测要求的问题, 利用多核处理器的计算优势, 对基于 OpenMP 并行技术的轮对图像处理方法进行了研究。通过分析轮对图像的特点, 对不同类型的轮对图像采用了不同的分割方法, 减小了轮对图像分割环节对后期处理的影响; 提出了采用多图并行处理的编程模式, 设计了并行优化方案, 利用 OpenMP 并行技术对轮对图像的处理进行了并行优化; 并将 OpenMP 多线程与单线程对轮对图像的处理结果进行了对比分析, 验证了轮对图像处理加速效果。研究表明, 多核环境下, 轮对图像处理通过 OpenMP 并行优化, 获得了高于 2 倍的加速比, 可满足车辆轮对检测速度达到 80 km/h 的在线检测要求。

关键词: 多核; 轮对图像; 并行优化; OpenMP

中图分类号: TH87; TP391.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2015)06-0883-04

Wheel set image processing method under the multi-processor environment based on OpenMP parallel technology

ZHU Jin, WU Kai-hua

(College of Life Information Science & Instrument Engineering,
Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: During the online detection of wheel set wear based on optoelectronic image, the speed of wheel set image processing has significant impact to the real-time of online detection. Aiming at the problem that the wheel set image processing speed can not meet the requirement of high speed wheel set online detection, the calculation advantage of multi-core processors was used and the wheel set image processing method based on OpenMP parallel technology was studied. Through the analysis of the characteristics of wheel set image, according to the different type of wheel set image, different segmentation method was used and the influence of wheel set image segmentation step to the post-processing was reduced; the programming mode of multi image parallel processing was proposed and the parallel optimization scheme was designed, the OpenMP was used to realize the parallel optimization of the processing of wheel set image. Then the image processing effect of OpenMP four threads and single thread was compared to verify the processing acceleration effect of wheel set image through the experiment. The research results indicated that, based on multi-core, the parallel optimization of wheel set image processing by OpenMP has improved the speed more than 2 times and met the requirement of wheel set online detection under 80 km/h speed.

Key words: multi-core; wheel set image; parallel optimization; OpenMP

收稿日期: 2015-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61372155)

作者简介: 朱瑾(1991-), 女, 安徽宿州人, 主要从事精密测量与光电检测技术方面的研究. E-mail: zhujinhua@163.com

通信联系人: 吴开华, 男, 博士, 教授. E-mail: wukaihua@hdu.edu.cn

0 引 言

轮对是铁路车辆重要的走行部件,其磨损参数的在线检测对交通运输安全具有重大意义^[1-2]。基于光电图像的轮对磨损参数在线检测方法^[3-5]因其非接触、检测精度高和速度快等优势受到关注和研究。该方法是将激光照射在轮对上,由 CCD 摄像机获取激光投影即轮对图像,通过数字图像处理技术对轮对图像进行分析获取磨损参数。由于在线检测中轮对图像的数据量大且采用的图像处理算法复杂度高而导致处理速度慢、影响轮对在线检测的实时性。目前国内的轮对磨损在线检测速度低于 20 km/h,随着列车的不断提速,对车辆轮对在线检测的速度及轮对图像的处理速度提出更高的要求。

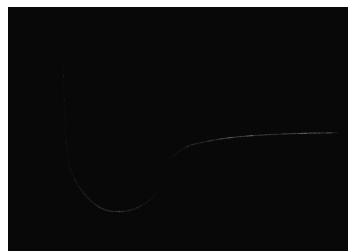
随着计算机软硬件的发展,计算机中使用多核处理器逐渐成为主流,多核处理器在计算机中的应用^[6]使得基于多核的图像并行处理受到广泛的研究和应用^[7-8],图像并行处理能够使图像的处理速度大大提高,在实际生产应用中能够带来巨大的经济效益同时也影响着工业技术的发展。

基于多核的图像并行处理技术取得了较多的研究成果^[9],但针对轮对图像的并行研究还很少^[10]。为保障高速轮对在线检测的实时性和高效性,本研究针对轮对图像,提出 OpenMP 并行技术^[11-12]在多核环境下对轮对图像的处理进行并行优化,并设计并行优化方案,通过实验分析其并行效果。

1 轮对图像的特点及处理流程

轮对图像是由 CCD 摄像机获取的 8 位灰度图,每个像素点的灰度值范围是 0 ~ 255。外界因素如曝光时间、环境光等变化的影响会使获取的轮对图像的灰度发生动态变化,其灰度分布和噪声强弱也存在差异。通过统计大量轮对图像,根据其特点分为常规轮对图像、弱光轮对图像以及强光轮对图像 3 种类型,3 种典型轮对图像如图 1 所示。

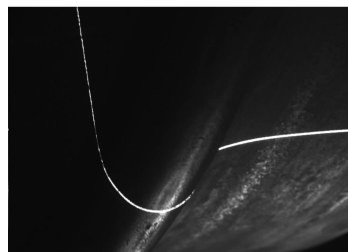
轮对图像的处理流程主要包括图像分割、图像细化和像素跟踪等。通过图像分割,获取目标轮廓曲线,图像分割后,轮到轮廓曲线将有一定宽度,这对后期特征点的确定和参数计算不利。因此,研究者要采用图像形态学对轮对图像进行图像细化处理,使得轮到轮廓曲线变成单像素线条。图像由于拍摄或者前期处理的原因,细化后轮廓曲线可能是不连续的,还要对图像



(a) 弱光轮对图像



(b) 常规轮对图像



(c) 强光轮对图像

图 1 3 种典型轮对图像

进行像素跟踪,将相邻的不连续点连接。最终得到一条单像素连贯的目标轮到轮廓曲线。

由于图像分割对后期的处理影响较大,本研究针对 3 种类型的轮对图像,采用不同的分割方法。常规轮到图像,目标与背景差异明显,可采用普通的分割方法,本研究采用区域生长分割算法对常规轮到图像进行处理。对于轮廓线不清晰的弱光轮到图像,为了保留较多的图像信息,笔者先采用 K-均值聚类法进行预处理。对背景噪声较强的强光轮到图像,普通的分割算法容易造成分割不足的现象。本研究采用灰度线性变换对图像进行预处理,对预处理后的弱光轮到图像和强光轮到图像采用二维大津法进程图像分割。分割流程如图 2 所示。

2 轮对图像处理的并行优化设计

在线检测的过程中,轮到图像的处理还包括图像的读入和写出,因此程序的设计分 3 个处理单元:图像数据读入、图像分析处理和结果图像写出。图像数据的读入和结果图像的写出过程涉及 I/O 接口的交互操作,运行时间受到外设设备能力、带宽和总线频率的影

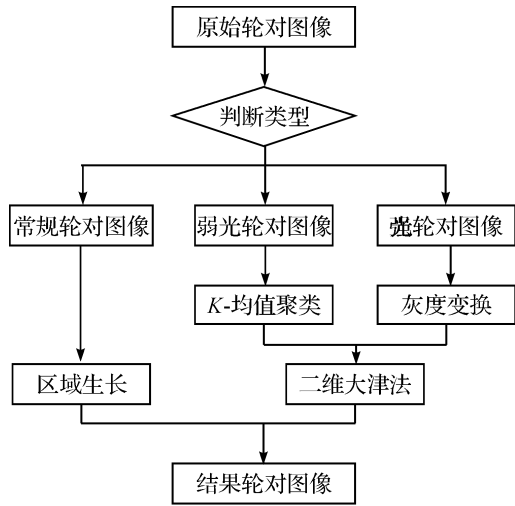


图 2 轮对图像分割流程图

响和制约;而图像分析处理单元是通过图像处理算法对轮对图像进行分析,主要利用 CPU 的计算资源,算法中需要大量的运算操作,处理速度受 CPU 性能的影响。

OpenMP 并行是基于 fork-join 执行模型,该模型如图 3 所示。在这种执行模型中,程序开始时一个主线程串行执行,到并行区域是会启动一组线程来并行执行。当并行结束后,回到主线程串行操作模式。

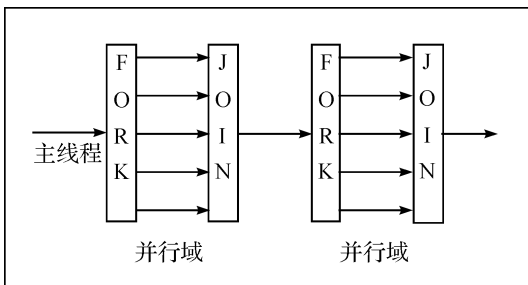


图 3 fork-join 并行模型

本研究的软件开发设计采用 Visual Studio 2010 编译器,能够直接支持 OpenMP 的并行实现。OpenMP 的并行编译指导语句主要是:①#pragma omp parallel 指并行结构,其中的代码被多个工作线程执行;②#pragma omp for 指工作共享结构,使循环被分配带多个线程中并行执行。通过编译指导语句,能够快速地进行程序中线程的创建和销毁,实现极低的系统开销和线程等待时间。

OpenMP 具有灵活简易、可移植等优点,在程序架构的设计较为简洁易懂,且编译指导指令能够较容易的达到并行化目的。用于循环结构的并行化操作,该技术也受到循环的制约,应用范围受到限制。由于轮对图像具有数量多,且处理流程一致的特点,可以利用

OpenMP 并行技术进行编程指导,采用多图并行处理的编程模式,实现轮对图像的并行优化。

对轮对图像处理的并行优化设计如图 4 所示,可将多幅图像分成一组,按组操作。本研究对图像的每个处理单元通过 OpenMP 编译指令语句开辟多个线程,实现一组轮对图像的并行处理。当一个处理单元完成后回到主线程,再进行下一个处理单元的并行化。笔者总共设计 3 个循环,开辟的线程数参考 CPU 的核数设定。当一组图像写出后再进行下一组图像数据的处理。

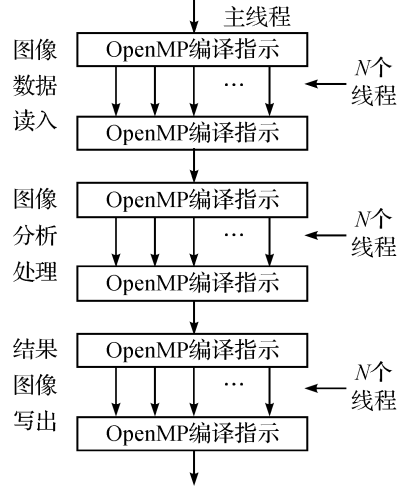


图 4 OpenMP 对轮对图像的处理流程

3 实验及结果分析

为满足最大 256 辆编组的轮对在线检测,本研究采用基于光电图像的轮对磨耗在线检测方法,需处理 4 092 组轮对,共 8 184 幅轮对图像。当车辆轮对的在线检测速度为 80 km/h 时,要保证检测的实时性,全部轮对图像的处理时间需限定在 353 s 内完成,因此轮对图像的处理应不大于 43 ms/幅。

本研究将 OpenMP 技术对轮对图像并行优化处理与轮对图像单线程处理进行实验对比分析。实验的测试平台是基于四核处理器的凌华工控机,操作系统为 Windows XP,处理器为 Pentium 4,内存为 3.5 GB。

轮对图像处理中,OpenMP 并行编程对图像处理 3 个单元均开辟 4 个线程。笔者将轮对图像分成 8 幅图像一组,分析轮对图像特点,每组组合不同类型的轮对图像,分成 6 种情况,每种情况实验 10 次,得到运行结果。取每种情况在单线程和 OpenMP 四线程环境下得到的轮对图像处理速度的最大值、最小值以及平均值,结果如表 1 所示。

表 1 单线程和 OpenMP 四线程对轮对图像的处理结果(单位:ms/幅)

轮对图像组合 情况单位/幅	单线程			OpenMP 四线程		
	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg
R:4 Z:2 Q:2	115	101	108	48	39	41
R:2 Z:4 Q:2	94	83	89	46	36	40
R:2 Z:2 Q:4	96	87	92	49	38	41
R:8 Z:0 Q:0	134	114	122	45	34	37
R:0 Z:8 Q:0	87	77	81	27	19	24
R:0 Z:0 Q:8	61	51	55	21	12	16

R—弱光轮对图像;Z—常规轮对图像;Q—强光轮对图像;
Max—最大值;Min—最小值;Avg—平均值。

该实验每次对 8 幅轮对图像进行处理,由于不同类型的轮对图像采用的分割方法不同,一组输入图像不一定为同一类型的图像,多图并行处理会存在等待和资源竞争,耗时差别较明显。由表 1 可知,采用单线程对轮对图像进行处理,平均处理时间达 91 ms/幅,远大于 43 ms/幅在线检测的要求。采用 OpenMP 并行技术对轮对图像的处理进行并行优化,平均耗时为 33 ms/幅,比单线程轮对图像的处理速度有大于 2 倍的提升,能够满足车辆轮对在线检测速度达到 80 km/h 时对轮对图像处理速度的要求。OpenMP 并行技术能够更充分地利用计算机多核资源,提高图像的处理速度。

4 结束语

本研究针对基于光电图像的轮对在线检测中的轮对图像,在多核环境下,采用 OpenMP 并行技术对轮对图像的处理进行并行优化,设计并行方案,并通过实验与单线程对轮对图像的处理进行对比分析。

实验结果表明,通过 OpenMP 并行技术对轮对图像处理的并行优化能够有效提高轮对图像的处理速

度,可满足车辆轮对 80 km/h 速度在线检测时的图像处理速度要求,保障了在线检测的实时性和高效性。

参考文献(References):

- [1] 郭 琼,崔建英,张志峰. 铁路车辆轮对检测技术综述[J]. 仪器仪表学报,2008,(z2):1125-1127.
- [2] 高静涛,戴立新,王泽勇. 轮对状态动态检测系统应用综述[J]. 铁道技术监督,2009(7):10-12.
- [3] WU K H, CHEN J. Dynamic measurement for wheel diameter of train based on high-speed CCD and laser displacement sensors[J]. *SENSOR LETTERS*,2011,9(5):2099-2103.
- [4] 赵 勇. 基于激光图像的轮对踏面磨耗动态测量[J]. 激光与红外,2012,42(7):743-746.
- [5] 任宏伟,李 声. 基于图像的轮对在线动态检测应用研究[J]. 机车车辆工艺,2004(5):29-31.
- [6] 李晓明,王 韬,刘 东,等. 走进多核时代[J]. 计算机科学与探索,2008,2(6):562-568.
- [7] 杨冠勇,袁 杰. 多核并行运算加速图像处理[J]. 现代电子技术,2013,36(2):36-38.
- [8] 王成良,谢客家,刘 昕. 多核图像处理并行设计范式的研究与应用[J]. 计算机工程,2011,37(14):221-225.
- [9] 黄文慧. 图像处理并行编程方法的研究与应用[D]. 广州:华南理工大学软件学院,2012.
- [10] 史 倩,吴开华. 轮对磨耗在线检测技术研究[D]. 杭州:杭州电子科技大学生命信息与仪器工程学院,2013.
- [11] JIN H, JESPERSEN D, MEHROTRA P, et al. High performance computing using MPI and OpenMP on multi-core parallel systems[J]. *Parallel Computing*,2011,37(9):562-575.
- [12] 陈永健. OpenMP 编译与优化技术研究[D]. 北京:清华大学计算机科学与技术学院,2004.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

朱 瑾,吴开华. 基于 OpenMP 并行技术的多核环境下轮对图像处理方法研究[J]. 机电工程,2015,32(6):883-886.

ZHU Jin, WU Kai-hua. Wheel set image processing method under the multi-processor environment based on OpenMP parallel technology[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2015,32(6):883-886.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>