



分布式并行计算在超分辨率图像增强中的应用

郑杰¹, 包盛¹, 杨莹²

(1. 百视通新媒体股份有限公司研究院 上海 200233;

2. 上海文化广播影视集团有限公司 上海 200041)

摘要: 主要介绍了分布式并行计算在超分辨率图像增强领域中的应用, 超分辨率图像增强是指在不升级现有采集设备、不增加传输带宽的情况下, 对现有 1080P 的视频内容通过软件方法提高图像分辨率, 从而使图像达到 4K 的画面质量。由于超分辨率图像增强技术需要强大的计算能力支持, 研究了分布式并行计算环境下的超分辨率图像增强系统的搭建以及性能对比测试, 得出了分布式并行计算技术可以成百倍地提升超分辨率图像增强处理能力的结论, 在实际应用中可大幅提升 4K 内容的生产能力。

关键词: 超分辨率; 图像增强; 分布式计算; 并行计算

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015103

Application of Distributed Parallel Computing in Super-Resolution Image Enhancement

Zheng Jie¹, Bao Sheng¹, Yang Ying²

(1. Research Institute of BesTV New Media Co., Ltd., Shanghai 200233, China;

2. Shanghai Media Group Co., Ltd., Shanghai 200041, China)

Abstract: The distributed parallel computing in the super-resolution image enhancement applications was introduced. Super resolution image enhancement refers to improving the image resolution of 1080P video to 4K by software without upgrading existing acquisition device and increasing the transmission bandwidth. Due to the fact that super resolution image enhancement technology needs enormous computing power, super resolution image enhancement system and performance comparison testing by distributed parallel computing was studied. The conclusion shows that the super-image enhancement processing ability can be enhanced hundreds of times with distributed parallel computing technology, so that the production capacity of 4K video can be improved in real-world application.

Key words: super resolution, image enhancement, distributed computing, parallel computing

收稿日期: 2015-03-17; 修回日期: 2015-04-09

基金项目: 上海市科学技术委员会“基于 4K 关键技术的互联网电视产业化应用示范”基金资助项目 (No.14511109702)

Foundation Item: Internet TV Industrialization Demonstration Based on Key Technology of UltraHD (No.14511109702)

论文引用格式: 郑杰, 包盛, 杨莹. 分布式并行计算在超分辨率图像增强中的应用. 电信科学, 2015103

Zheng J, Bao S, Yang Y. Application of distributed parallel computing in super-resolution image enhancement. Telecommunications Science, 2015103

1 引言

随着视频和图像处理技术的飞速发展,人们对高分辨率视频和图像序列的需求越来越强烈。高分辨率图像能提供目标的更多细节信息,对于图像的分析 and 处理有重要作用。然而在某些应用场合,由于光学物理器件、处理器性能、信道传输带宽或存储容量等的限制,人们获得图像的分辨率往往较低,并且无法或很难通过直接方式突破这些限制。因此,如何在现有条件限制下,提高图像和视频序列的空间分辨率,成为人们研究的重点。

图像分辨率增强的本质是一个求解多维线性方程的问题,如图 1 所示。由于原图 Y 的维度小于增强图 X 的维度,因此 X 有无穷组解,因此要通过相关性构造矩阵 A ,并引进一些约束条件,获得 X 的最优解。超分辨率图像增强目前主要采用图像插值算法,不同的插值算法有不同的精度,插值算法的好坏也直接影响着图像的失真程度。最常用的插值算法有 3 种:最近邻插值、双线性插值和立方卷积插值。

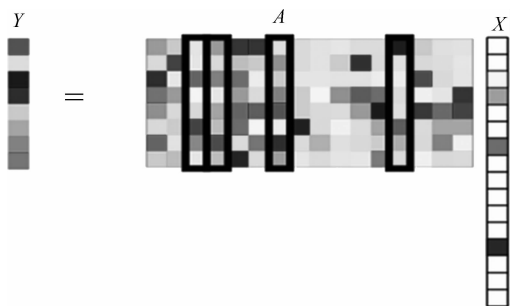


图 1 图像增强本质线性方程

最近邻插值算法是最简单的插值法,也叫零阶插值法。即选择离它所映射到的位置最近的输入像素的灰度值为插值结果。对二维图像,取待测样点周围 4 个相邻像素点中距离最近的 1 个相邻点的灰度值作为待测样点的像素值。最近邻插值法处理图像的速度最快,但是效果最差,有明显的锯齿状且细节部分很不清晰。

双线性插值算法又叫一阶插值法,要经过 3 次插值才能获得最终结果,是对最近邻插值法的一种改进,先对两水平方向进行一阶线性插值,然后在垂直方向上进行一阶线性插值。双线性插值法效果要好于最近邻插值,只是计算量稍大一些,算法复杂些,程序运行时间也稍长些,但缩放后图像质量高,基本克服了最近邻插值灰度值不连续的缺点,因为它考虑了待测采样点周围 4 个直接邻点对该采

样点的相关性影响。但是,此方法仅考虑待测样点周围 4 个直接邻点灰度值的影响,而未考虑到各邻点间灰度值变化率的影响,因此具有低通滤波器的性质,从而导致缩放后图像的高频分量受到损失,图像边缘在一定程度上变得较为模糊。用此方法缩放后的输出图像与输入图像相比,仍然存在由于插值函数设计考虑不周而产生的图像质量受损与计算精度不高的问题。

立方卷积插值算法又叫双三次插值法,是对双线性插值算法的改进,是一种较为复杂的插值方式。该方法计算量最大,算法也最为复杂。不仅考虑到周围 4 个直接相邻像素点灰度值的影响,还考虑到灰度值变化率的影响。因此克服了前两种方法的不足之处,能够产生比双线性插值更为平滑的边缘,计算精度很高,处理后的图像像质损失最少,效果是最佳的。

从上述分析可以看到,超分辨率图像增强算法的优劣完全取决于计算机的计算能力,在相同时间内,计算机的算力越强,就可以采用越复杂的图像增强算法,获得更好的图像质量。在同等算力的情况下,采用越复杂的图像增强算法,消耗的处理时间就越长。对于企业来讲,选取合适的图像增强算法,就是选取算力成本与生产能力的平衡。

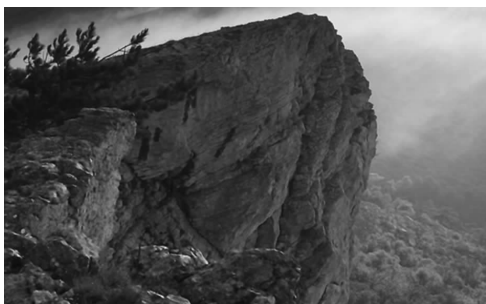
但是,云计算技术的出现,使得企业获得大规模计算能力的成本大大降低。以前,单台服务器单线程将一个 1 h 的 1080P 视频内容进行 2K (HD 1 920 dpi×1 080 dpi) 转 4K (ultraHD 3 840 dpi×2 160 dpi) 的上变换处理大概需要 240 h,采用了云计算技术后,可以成百倍地降低图像增强处理时间。下面介绍基于分布式并行计算的超分辨率图像增强技术。

2 关键技术

2.1 超分辨率图像增强技术

超分辨率图像增强技术是采用软件方法对图像或者视频进行一系列的分析处理,提高图像或视频分辨率的一种数字图像处理技术。利用超分辨率图像增强技术能够在不升级现有采集设备的情况下,提高采集图像的分辨率;也能够在不增加传输信号带宽的情况下,改善图像或视频的画面质量。

超分辨率图像增强技术在现实生活中有十分广泛的用途。在数字电视领域,可以利用超分辨率重建技术将高清数字电视 (HDTV) 信号转化为超高清清晰度电视 (ultra HDTV) 接收机相匹配的信号,从而提高用户的体验。图 2 展



(a)原始图像



(b)超分辨率图像

图2 超分辨率图像处理效果

示的是超分辨率图像处理前后的效果。可以看出,经过超分辨率图像增强技术处理后,在视觉上有了更加清晰的效果。

超分辨率图像增强主要包含以下几种处理方法。

- 智能边缘锐化:是指能够根据图像内容自动地调整边缘梯度,实现没有晕轮效应的边缘锐化,并且达到视觉效果最优。
- 纹理细节重构:是指重构图像的高频信息,针对不同的视频内容和特性对纹理细节的可视度进行优化,能够独立于其他图像特性对纹理细节可视度进行调节。
- 智能影调调节:是指能够调节图像影调并且提高内容的可视度,当将夜暗场景的内容进行转换时,能够提高夜暗场景的可视度,以适应家庭环境中的光照条件。
- 色彩鲜艳增强:是指能够通过自适应地提高图像的色彩鲜艳度使得图像更为鲜活生动,同时保持图像的整体色调风格仍然与原始作品一致。
- 对比度增强:是指能够通过自适应地提高图像对比度,使得图像更为鲜活生动,同时保持图像的整体影调风格仍然与原始作品一致。
- 压缩噪声消除:是指能够通过预处理滤镜,用于消除压缩过程中产生的块效应和“飞蚊”噪声,同时保留更多的图像细节。
- 锯齿消除:是指能够通过预处理滤镜,有效消除原始图像边缘存在的锯齿效应。

2.2 分布式并行计算技术

硬件扩展的条件始终是有限制的,将计算任务分散到网络中多个机器的多个 CPU 上以提供更高的计算性能,并同时进行计算,那么总体计算瓶颈会减小,计算的性能会显著提高,这就是分布式并行计算的总体思路。

并行计算是相对于串行计算来说的,其可分为时间上的并行和空间上的并行。时间上的并行就是指流水线技术,而空间上的并行则是指用多个处理器并发地执行计算。并行计算的目的是提供单处理器无法提供的性能(处理器能力或存储器),使用多处理器求解单个问题。

分布式计算研究如何把一个需要非常巨大的计算能力才能解决的问题分成许多小的部分,然后把这些部分分配给许多计算机进行处理,最后把这些计算结果综合起来得到最终的结果。最近的分布式计算项目已经被用于利用世界各地成千上万名志愿者的计算机的闲置计算能力,通过互联网,分析来自外太空的电讯号,寻找隐蔽的黑洞,并探索可能存在的外星智慧生命等。

并行计算和分布式计算两者是密切相关、相辅相成的,有以下 5 个主要原因使得分布式并行计算必然会越来越普遍,逐渐发展成主流的计算模式而取代集中式的大型计算机。

- 具有比集中式系统更好的性能价格比。可以用很低的成本获得高效能计算。
- 多数应用本身就是分布式的。如工业企业应用,其管理部门和现场不在同一个地方。
- 高可靠性。现代分布式系统具有高度容错机制,目前主要采用分布式技术来实现高可靠性。
- 可扩展性。可以通过直接增加 PC 或者服务器设备来方便地进行扩容。
- 高度灵活性。能够兼容不同硬件厂商的产品,兼容低配置机器和外设而获得高性能计算。

3 基于分布式并行计算的超分辨率系统设计

由于图像超分辨率增强的过程需要大量的计算,往往耗时较多,因此这里采用分布式并行计算的方案进行处理。整个系统的框架如图 3 所示。

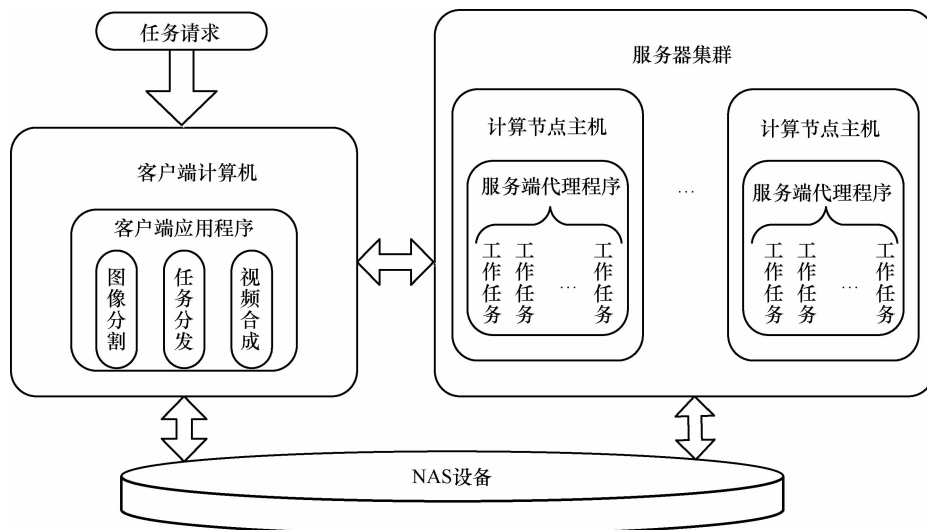


图3 系统设计框架

系统主要分为以下几个模块。

- 客户端应用程序:作为守护进程存在于客户端计算机中,负责发现当前服务器集群中的节点,生成工作任务,并分发给集群中的各个节点进行工作,处理工作的返回结果。
- 服务端代理程序:作为守护进程运行在每个计算节点中,负责接收客户端发来的任务并启动工作任务进行运算。最大工作任务数量根据 CPU 核心数确定。
- NAS(network attached storage,网络附加存储)设备:负责存储原始素材和增强后的输出文件。
- 工作任务:可独立执行的超分辨率应用程序,由服务端代理程序启动和销毁。

整个系统的工作流程分为系统初始化阶段和作业执行阶段。

在系统初始化阶段,服务端代理程序会获取当前主机的资源信息,并存储在本地,客户端程序运行时,会自动发现当前集群中的主机数目,并调用服务端代理程序接口获取主机资源信息。由此,客户端便创建了虚拟的工作集群并获取了集群中的最大可分配任务数目。

系统初始化完成之后,就可以接收请求进行作业了。一旦收到了一个任务请求,整个作业执行分以下4个阶段进行。

(1)作业初始化阶段

客户端作业守护进程会为作业分配作业序号,并初始化作业相关信息 jobinfo,包括输入视频信息、文件名称、存

储位置、输出文件格式等。

(2)视频分片阶段

用户提交的视频文件传输到 NAS 服务器之后,作业会交给视频分片程序进行处理。视频分片程序会根据当前集群可运行的最大任务数,将输入视频分割成相应个数的原始视频序列,并存储在 NAS 设备上。分片完成之后,分片处理程序通知客户端守护进程并发送分片完成的消息,消息中包括分片文件的存储位置、每个分片的大小、索引号等信息。

(3)视频处理阶段

客户端作业守护进程在收到视频分片完成消息之后,将每个分片打包成任务分发给集群中的各个节点。节点服务端代理程序根据收到的任务,启动相应的工作进程进行超分辨率运算,同时对工作任务进行监控,并汇报给客户端作业守护进程。客户端守护进程会收集集群中各个节点的工作状态信息,如果有错误发生,则将出错的任务转发给其他节点进行运算。

(4)视频合并阶段

一旦任务完成,客户端作业守护进程会收到任务完成的消息,其中包括转换后文件的存储路径和文件索引号等信息。等到切片的所有任务都完成后,客户端守护进程会启动视频合并程序按照切片的输出索引号进行视频合并。在相应视频合并完成后,视频合并程序会向客户端守护进程发送一个消息,其中包括合并完成的视频的外部可访问路径。作业守护进程收到合并完成消息后会更新数据库中视频状态为完成并通知用户获取视频的路径。用户在收到



通知后就可以通过相应路径获取到转换完成的视频。

4 系统搭建及性能测试

4.1 系统环境搭建

基于以上设想,笔者搭建了一套实验性系统进行验证,如图4所示。其中,NAS设备配备了8TB的存储空间,通过吉比特以太网口和交换机连接,可对外提供NFS(network file system,网络文件系统)和Samba服务(Samba是在Linux和UNIX系统上实现SMB协议的免费软件);客户端计算机采用了Windows操作系统,并在其上安装了客户端应用程序,方便操作人员进行操作;吉比特交换机使用了思科24端口的吉比特网管型交换机,支持12.8 Gbit/s的背板交换能力,以适应大规模的数据交换,并方便以后进行横向扩展;采用了4台E5-2680核心的服务器作为计算节点组成一个小型集群,每台主机带有32个核心线程,最多可运行任务数为128个。

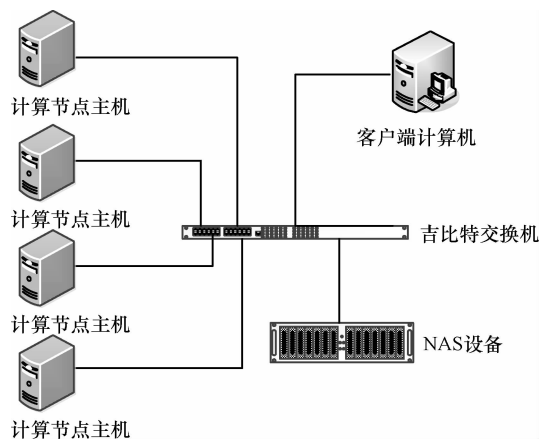


图4 设备环境结构

4.2 系统性能测试

为了测试实验系统,笔者使用H.264编码的50 Mbit/s码率的输入文件进行超分辨率变换性能测试,测试结果见表1。

表1 系统性能对比

不同情况	不使用分布式 并行计算	2台主机参与 计算	4台主机参与 计算
效率	1:240	1:5.7	1:2.5

从表1中的数据可以得知,在不使用分布式并行计算的情况下,变换效率只有1:240,也就是说,1h的输入片源需要经过240h才可以转换完成,而采用集群计算之后,效率有上百倍的提升。



(a) 原始图像

(b) 增强图像

图5 增强效果实际对比

在增强效果方面,截取了处理前后的两段视频进行对比,如图5所示。图5(b)中松鼠的毛发和胡子等细节都比图5(a)要丰富,整体感觉也更为生动。就背景部分处理来说,经过增强后,地面石子清晰可见,边缘锐度也更加突出。从整体上看,增强后图像的细节可视度和画面整体对比色彩感觉比原始图像要更胜一筹。

5 系统改进思考与展望

从以上的分析和实验可以看出,分布式并行计算的架构非常适合于一些需要大量重度计算的环境,目前,此系统已经正式在生产环节投入使用,并取得了良好的效果。

当然的系统更多的是实验性的,针对使用过程中发现的一些问题提出了一些改进的想法。

- 存储的瓶颈。实验系统是集中式的存储,网络I/O的带宽有限,这就限制了整体效率的提升,并且这种瓶颈效应会在系统横向扩容时体现出来。在改进时可考虑采用分布式架构的存储系统,并且做好冗余备份。
- 多任务支持。目前的系统一次只能接受一个任务,可考虑支持多个任务以并行的方式运行,提高资源利用率。
- I/O效率问题。由于视频文件本身尺寸较大,这对本地存储I/O和网络I/O都是一次挑战,可考虑采用万兆交换机提高网络I/O效率,针对本地存储,可考虑使用固态硬盘或者内存计算暂存文件。

6 结束语

笔者将分布式并行计算技术引入超分辨率图像增强领域,并且在实际应用中取得了非常好的效果。对于4K视

频内容的制作,除了图像增强处理外,视频编码将是下一个突破点,H.265 编码的出现,使得相同图像质量的视频内容,可以降低一半的视频码率,但是付出的代价是视频编码的复杂度。通过在 H.265 视频编码中引入分布式并行计算技术,可以进一步提升编码速度,从而提升整个 4K 视频内容制作的生产效率。

参考文献

- 1 高传善. 分布式系统设计. 北京:机械工业出版社, 2001
Gao C S. The Design of Distributed Systems. Beijing: Machinery Industry Press, 2001
- 2 Dollimore J, Coulouris G. Distributed Systems: Concepts and Design, Fifth Edition. Beijing: Machinery Industry Press, 2012
- 3 李文军, 万海. 分布式计算. 北京:机械工业出版社, 2012
Li W J, Wan H. Distributed computing. Beijing: Machinery Industry Press, 2012
- 4 Pacheco P S. 并行程序设计导论. 北京:机械工业出版社, 2013
Pacheco P S. An Introduction to Parallel Programming. Beijing: Machinery Industry Press, 2013
- 5 夏卫民. 并行操作系统原理与技术. 北京:国防工业出版社, 2002
Xia W M. The Principle and Technique of Parallel Operating System. Beijing: National Defense Industry Press, 2002

- 6 杨欣. 图像超分辨率技术原理及应用. 北京:国防工业出版社, 2013
Yang X. Image Super Resolution Technology Principle and Application. Beijing: National Defense Industry Press, 2013
- 7 Hughes C, Hughes T. Parallel and Distributed Programming Using C++. Beijing: Chinese Power Press, 2004

[作者简介]



郑杰,男,百视通新媒体股份有限公司研究院常务副院长,主要从事 SMG 旗下的各项新媒体业务的探索与研发工作,重点参与数字电视、高清电视、手机电视、IPTV、互联网视频等业务板块。

包盛,男,现就职于百视通新媒体股份有限公司研究院,负责公司的知识产权运营管理工作,主要研究方向为 IPTV 领域的技术和产品研发。

杨莹,女,现就职于上海文化广播影视集团有限公司,曾先后参与 SMG 高清虚拟演播室视音频技术改造、电视新闻共享平台的视音频制播系统改造等大型广电行业的系统项目建设,在视音频技术的融合与创新应用方面富有经验。

2015103-6

(上接 2015098-5)

- 6 庞韶敏, 李亚波. 3G UMTS 与 4G LTE 核心网—CS, PS, EPC, IMS. 北京:电子工业出版社, 2011
Pang S M, Li Y B. 3G UMTS with 4G LTE core network-CS, PS, EPC, IMS. Beijing: Electronic Industry Press, 2011
- 7 Chen J Y, Mai Y T. Relay node mobility support in the LTE-Advanced networks. Proceedings of the 22nd Wireless and Optical Communication Conference, Chongqing, China, 2013
- 8 Holma H, Toskala A. UMTS 中的 LTE: 向 LTE-Advanced 演进. 郎为民译. 北京:机械工业出版社, 2012
Holma H, Toskala A. LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced. Translated by Lang W M. Beijing: China Machine Press, 2012
- 9 Buyya R. 内容分发网络. 宋伟译. 北京:机械工业出版社, 2014
Buyya R. Content Delivery Network. Translated by Song W. Beijing: China Machine Press, 2014
- 10 Xu Y H, Chow C O, Tham M L, et al. An enhanced framework for providing multimedia broadcast/multicast service over heterogeneous networks. Journal of Zhejiang University Science, 2014(1):63~80
- 11 易飞. EPC 原理与实践. 北京:电子工业出版社, 2014

Yi F. Principle and Practice of EPC. Beijing: Electronic Industry Press, 2014

[作者简介]



施唯佳,男,中国电信股份有限公司上海研究院高级产品经理,主要研究方向为以三网融合为重点领域的 IPTV、OTT TV 等视讯业务系统、机顶盒终端等方面相关技术及产品。



吕冠中,男,中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师,主要研究方向为 IPTV、OTT TV 的 CDN 流媒体服务和 EPC 业务交互技术。

2015098-6