

基于 FPGA 的小波图像实时处理方法

季云松, 郭成志, 范璐璐, 赵毅

(华光光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:基于小波变换的滤波方法应用于红外图像处理中可以在降低噪声的同时提升图像细节,有效改善图像画质。介绍了一种采用 FPGA 的小波图像处理方法及其硬件处理架构。通过合理有效地进行算法硬件设计,在单片 FPGA 芯片上实现了图像的实时处理,有利于红外机芯的小型化。

关键词:小波变换;图像处理;红外图像滤波;FPGA

中图分类号:TP391

文献标识码:A

Realtime image processing method of wavelet based on FPGA

Ji Yun-song, Guo Cheng-zhi, Fan Lu-lu, Zhao Yi

(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract:In IR image processing, applying wavelet filtering is effective on noise reduction and image detail enhancement. In this article, we are introducing a wavelet image processing method based on FPGA, and its hardware processing structure. After making the hardware designation of the arithmetic properly and effectively, we have achieved the real-time processing of it on a single FPGA chip, and is an advantage on small IR device.

Key words:wavelet; image processing; IR image filtering; FPGA

1 引言

在非制冷红外探测器芯片中,由于光电感应器件所处的环境温度高,电路噪声较大,伴随而使图像噪声也较大。为减小图像噪声,提高显示的图像画质,在图像采集后,通常需要进行具有优良效果的图像噪声滤波。常见的图像滤波算法有:模板平滑滤波算法、频域滤波算法、小波滤波算法等。模板平滑滤波算法由于处理后图像边缘模糊,损失细节分辨能力,一般在观测系统中应用较窄。频域滤波算法在频谱变换域中针对噪声特点进行滤波处理,效果较好^[1],但由于需要进行 FFT 和 IFFT 处理,运算量过大,存储参数过多,不宜应用在实时显示设备中。

小波处理算法由于具有图像滤波效果好、图像细节损失少的优点,引起广泛关注^[2-4]。由于其运算量大,实时图像滤波一直是个难题。我们在设计新型高性能机芯中,为得到清晰的图像画质,在依赖不断发展的硬件数字信号处理技术基础上,开展基

于小波处理的高性能机芯硬件研制工作,通过对小波正反变换相似性的研究和模块优化,实现了一种具备实时处理能力、逻辑资源占用少的硬件小波图像处理器。

2 算法分析

小波滤波的原理^[5-6]如下:

$$W_{\psi}^i(j, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi_{j, m, n}^i(x, y),$$
$$i = \{H, V, D\} \quad (1)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_m \sum_n W_{\psi}(j_0, m, n) \varphi_{j_0, m, n}(x, y) +$$
$$\frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{i=H, V, D} \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_m \sum_n W_{\psi}^i(j, m, n) \psi_{j, m, n}^i(x, y) \quad (2)$$

作者简介:季云松(1976-),男,硕士,工程师,主要从事电子设计和图像处理相关的工作。E-mail:yunsong263@126.com

收稿日期:2009-08-14

其中, x, y 为图像空间坐标; m, n 为变换后空间坐标; j 为分解层数; W 为小波变换后由高频分解系数和剩余系数组成的集合; f 为逆变换后图像; ϕ 为正变换滤波数组; ψ 为逆变换滤波数组。

通过公式(1)得到的小波变化系数进行软阈值滤波,再进行公式(2)表示的小波逆变换,得到滤波图像^[7-8]。

图像的单级小波分解原理如图1所示。

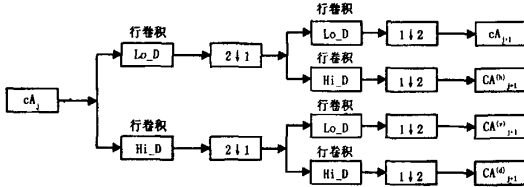


图1 图像的单级小波分解

图像的单级小波重构原理如图2所示。

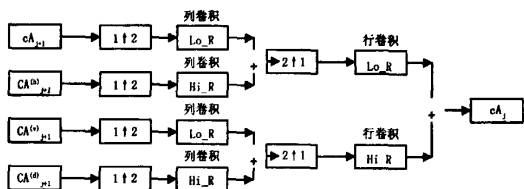


图2 图像的单级小波分解

其中, $2 \downarrow 1$ 表示列抽样,即保留所有偶数列; $1 \downarrow 2$ 表示行抽样,即保留所有偶数行; $2 \uparrow 1$ 表示列插样,即在奇数列插入0值; $1 \uparrow 2$ 表示行插样,即在奇数行插入0值。

3 硬件实现方案

对于红外图像每帧时间为20 ms,需要处理的像素为110592个,则每个像素的处理时间 ≤ 180.8 ns。

为实现 320×240 dpi, 8 bit, 50 f/s 图像的实时小波处理,需要满足下列条件:

(1) 内存资源需求

最低数据存储需求为:

一块图像数据存储区 ($320 \times 240 \times 8$ bit), 一块小波系数存储区 ($320 \times 240 \times 16$ bit)。

(2) 算法计算量需求

理想状态的纯乘加计算量 (Mac) 为: $320 \times 240 \times 50 \times (16 \times 2 + 2) = 130$ M Mac。

在并行实现模式中,原始图像的数据传输率为4 MB/s。为满足多层图像的正变换、系数处理和逆变换,理想状态的时钟处理频率应为数据传输率的8倍以上 (> 31 MHz)。

万方数据

目前常用于高速实时信号处理的硬件芯片分为两大类:基于大规模可编程集成电路FPGA的纯硬件实现方案和基于高速通用DSP的软件实现方案。

采用FPGA的硬件实现方案硬件接口设计灵活,可以和任意数字外围电路直接使用,硬件设计简洁。目前得到应用的高端FPGA有Altera公司的StratixII和Xilinx公司的Vertex-II Pro等产品。

基于高速通用DSP的软件实现方案代码设计灵活,可以快速修改和调试信号处理程序。目前得到应用的高端DSP有ADI公司的TigerSHARC系列和TI公司的TMS320C6000系列。

考虑算法的计算量,采用纯FPGA实现方案以保证足够的并行处理速度。为保证足够多的高速内存空间,方案采用大容量的EP2S60F484芯片,利用片内的Memory存储图像和小波系数,用FPGA中的硬件DSP模块实现图像的卷积。FPGA的功能模块框图如图3所示。

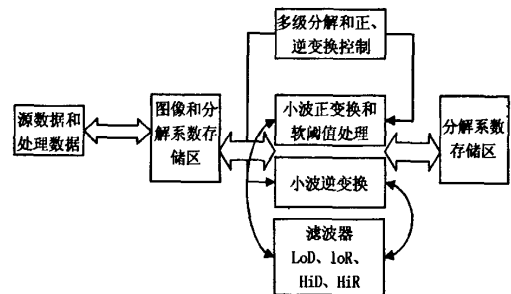


图3 小波变换模块的功能结构图

硬件实现的特点可归纳为:多并行图像数据处理简单模块在主进程(中心控制单元)的时序控制下,并行完成正、逆变换所需的高、低通滤波(并行处理单元),协调完成滤波数据的参数存取管理(动态存取单元),并实现外部数据的输入输出(外部数据接口单元)。

“多级分解和正、逆变换控制”(中心控制单元)模块由主模块中的两个进程构成。该部分控制模块顺序完成:多级分解滤波;多级重构。

“小波正、逆变换和软阈值处理”均由两个进程构成。其中,主进程完成算法处理,辅助进程完成启动控制。为提高算法的可重复使用性,降低逻辑资源的占用,小波正、逆变换均采用相同的实现方式,进在调用时对不同变换采用不同的参数和分解、重构处理流程。

“图像和分解系数存储区”由 FPGA 片内双口 RAM 构成,用于输入、输出数据的存储和中间分解变量的存储。当对图像进行处理时,该部分空间被内核用于中间系数和处理结果的存取,直至 Busy 信号无效时。由于采用了地址转换,输入、输出外部接口表现为空间地址连续存储。

“分解系数存储区”由 FPGA 片内双口 RAM 构成,用于小波分解中的中间结果存储,无外部接口。

滤波器模块有 4 个滤波器构成,用于计算输入数据的小波分解、重构滤波结果。4 个滤波器为 LoD, LoR, HiD, HiR。当小波处理模块进行图像处理时,小波正变换、逆变换的处理在多个并行的滤波器模块间同时处理,以提高处理速度。

4 测试结果

为测试本实现方案的有效性和实时性,采用 Altera 公司的 EP2S60F484 为算法处理芯片设计了硬件试验电路板,连接到红外采集硬件电路中进行实时处理。图 4 所示为我们设计的硬件试验电路板。

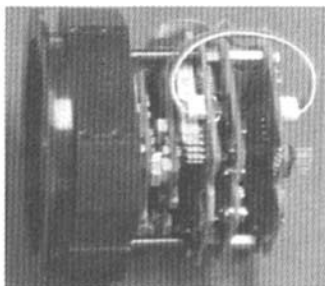


图4 红外机芯进行小波处理的试验板

采用 Altera 公司的 FPGA 开发环境 QuartusII 对小波处理模块编译结果如图 5 所示。

Family	Stratix II
Device	EP2S60F484C5
Tining Models	Final
Met timing requirements	N/A
Logic utilization	5%
Combinational ALUTs	2, 139/48, 352(4%)
Dedicated logic registers	465/48, 352(<1%)
Total registers	465
Total pins	57/335 (17%)
Total virtual pins	0
Total block memory bits	1, 769, 472/2, 544, 192(7-%)
DSP block 9-bit elements	16/288 (6%)

图5 处理算法在 FPGA 开发环境中的编译结果

将本模块写入试验板中进行实时处理,对 50 Hz 的红外图像能够无延迟输出结果,实际处理图像时间小于 20 ms,达到实时处理的要求。图 6、图 7 为信号处理板的小波处理图像和原始图像的对比。

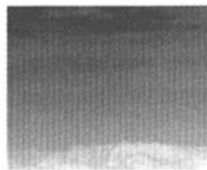


图6 原始红外图像



图7 经小波处理噪声降低了的红外图像

5 结论

采用本文所用的简化型并行设计架构,利用 FPGA 的并行滤波结构提供了硬件处理的实时性。同时,基于小波正、逆变换的相似性,使本文设计中的逻辑资源占用很少,利于小波处理占用硬件资源的最简化。

经过仔细设计和调试,我们在单芯片无外围存储和辅助处理的 FPGA 实验版上验证了算法,并测试了其运行速度和图像质量,发现能实时处理出清晰的红外图像,处理速度达到 50 Hz。测试结果表明,采用该硬件实现方法,在改善图像效果的同时,达到硬件处理速度实时性高、设备集成化程度高的目标。

将来我们将开展进一步的工作,对小波硬件处理模块进行接口扩展,以适应不同的图像输出形式,提高其在不同产品中的适应性;同时,针对新的 640 × 480 大面阵探测器件,需要优化算法处理流程,提高并行处理能力。

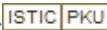
参考文献:

- [1] 杨丽娟,张白桦,叶旭植.快速傅里叶变换 FFT 及其应用[J].光电工程,2004,31(z1):1-3.
- [2] 谢杰成,张大力,等.小波图象去噪综述[J].中国图像图形学报:A辑,2002,7(3):3-11.
- [3] 李迎春,孙继平,付兴建.基于小波变换的红外图像去噪[J].激光与红外,2006,36(10):988-991.
- [4] 周凤岐,遼小光,周军.基于平稳多小波变换的红外图像噪声抑制方法[J].红外与毫米波学报,2005,24:151-155.
- [5] 冈萨雷斯.数字图像处理[M].第2版.北京:电子工业出版社,2003.
- [6] 胡昌华,张军波,夏军,等.基于 MATLAB 的系统分析与设计——小波分析[M].西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [7] 孙兆林.MATLAB 6.x 图像处理[M].北京:清华大学出版社,2002.
- [8] 飞思科技产品研发中心.小波分析理论与 MATLAB7 实现[M].北京:电子工业出版社,2005.

基于FPGA的小波图像实时处理方法

作者: [季云松](#), [郭成志](#), [范璐璐](#), [赵毅](#), [JI Yun-song](#), [GUO Cheng-zhi](#), [FAN Lu-lu](#),
[ZHAO Yi](#)

作者单位: [华光光电技术研究所, 北京, 100015](#)

刊名: [激光与红外](#) 

英文刊名: [LASER & INFRARED](#)

年, 卷(期): 2009, 39(10)

被引用次数: 0次

参考文献(8条)

1. [杨丽娟, 张白桦, 叶旭桢](#) [快速傅里叶变换FFT及其应用](#) 2004(z1)
2. [谢杰成, 张大力](#) [小波图象去噪综述](#) 2002(03)
3. [李迎春, 孙继平, 付兴建](#) [基于小波变换的红外图像去噪](#) 2006(10)
4. [周凤岐, 遑小光, 周军](#) [基于平稳多小波变换的红外图像噪声抑制方法](#) 2005(02)
5. [冈萨雷斯](#) [数字图像处理](#) 2003
6. [胡昌华, 张军波, 夏军](#) [基于MATLAB的系统分析与设计—小波分析](#) 2001
7. [孙兆林](#) [MATLAB 6. x图像处理](#) 2002
8. [飞思科技产品研发中心](#) [小波分析理论与MATLAB7实现](#) 2005

相似文献(10条)

1. 学位论文 [曹青](#) [基于小波变换的图像处理算法研究](#) 2008

图像分解和图像增强都是图像处理中关键的预处理技术, 而围绕小波变换在这两方面的图像处理算法一直是人们研究的热点。

本文的研究工作主要在以下两个方面:

首先, 传统基于小波变换的图像分解算法通常采用偏微分方程求解, 导致很大的计算量, 本文研究了基于小波变换的几何信息特性和变分问题的图像分解改进算法。使用正则化和最小化变分泛函的方法来求解, 从而避免了偏微分方程的求解过程, 使得运算简单化, 提高了运算速度。实验证明改进算法在相对于软阈值滤波器等方法优越性。

其次, 小波变换在图像增强方面不能很好的保留图像中的细节信息, 在增大有用信息的同时, 不可避免地会增强噪声。Contourlet变换能够有效地抑制噪声, 弥补了小波变换在多方向性的不足。本文实现了Contourlet变换和小波变换相结合的图像增强改进算法。实验结果表明改进算法在增强有用信号的同时较大幅度地抑制图像噪声。

2. 期刊论文 [杨福增, 王宏斌, 杨青, 王峥, Yang Fuzeng, Wang Hongbin, Yang Qing, Wang Zheng](#) [小波变换在果品图像处理中的应用](#) - [农业机械学报](#)2005, 36(5)

针对果品图像处理常用方法不能同时在时域和频域分析图像, 且不具有多分辨率特性的问题, 应用小波变换理论和技术, 以红枣图像为例, 对果品图像进行了去噪、增强等处理。小波去噪所需时间为9 s, 还不及数学形态学的1/4; 小波变换用于红枣图像增强所用的时间仅为7 s, 是模糊数学形态学的1/495。试验结果表明: 小波变换用于果品图像增强和消噪, 具有方便快捷、去噪效果好、目标明确等优点; 小波变换用于果品图像处理是有效的、可行的。

3. 学位论文 [杨娜](#) [基于小波变换的雷达图像处理](#) 2009

随着我国国民经济的快速增长和对内对外贸易量的不断增大, 海上交通运输更加繁忙, 雷达保障海上运输安全的作用显得越来越突出。雷达数据处理系统是航海雷达探测海上目标的关键技术, 雷达信号的去噪、检测目标等处理是雷达数据处理系统的重要组成部分, 可以改善雷达的探测能力、提高雷达性能, 对安全和高效率的海上运输起到至关重要的作用。

十几年来, 小波分析理论不断发展, 小波变换的多分辨分析性质在图像处理、数据压缩、非线性分析等领域中得到了广泛的应用。本文主要应用小波变换的多分辨分析性质, 研究雷达信号的杂波抑制、图像的去噪、增强、边缘检测等方法。

首先, 在对航海雷达信号的特点和小波分解下噪声的特性进行分析的基础上, 选取进行去噪处理的小波基、小波尺度。实验证明, 在现有的条件下对本实验室雷达信号进行处理, 得出尺度为4的haar小波对雷达回波信号以及二维数据存储后的图像的去噪处理达到很好的效果, 并且处理速度也合理。

其次, 应用多尺度自适应阈值边缘检测算法对雷达图像进行边缘检测。为提高目标边缘检测效率, 首先应用多尺度方法的增强技术对雷达图像进行增强处理。在此基础上, 针对目标可能出现的分裂问题, 提出了滑窗检测与多尺度自适应阈值相结合的检测目标精细边缘的方法。实验结果也达到了预期的目的。

最后, 为使基于小波变换的目标检测算法能够应用在实际雷达数据处理系统中, 本文分析了以DSP为核心的系统硬件, 研究了系统的数据传输和存储, 并设计出算法流程图, 进行仿真验证, 为在DSP系统上实现小波变换的雷达图像算法奠定了基础。

本文的主要研究工作和结果不仅可以直接应用于雷达图像处理, 而且对今后雷达数据处理系统的研究具有一定的理论和实际意义。

4. 期刊论文 [田勇, 敦建征, 马义德, 夏春水, 吴记群, TIAN Yong, DUN Jian-zheng, MA Yi-de, XIA Chun-shui, WU Ji-qun](#) [小波变换与PCNN在图像处理中的比较与结合](#) - [甘肃科学学报](#)2006, 18(4)

主要介绍了小波变换和PCNN的基本原理, 结合它们在图像处理中的应用, 比较说明了小波变换和PCNN各自的优缺点。通过分析表明, 将小波变换和PCNN技术相结合在图像处理中会产生更好的效果。

5. 学位论文 [沈飞](#) [小波变换在图像处理中的应用](#) 2009

小波分析理论作为新的时频分析工具, 在信号分析和处理中得到了很好的应用。平面图像可以看成是二维信号, 因此, 小波分析很自然地应用到了图像处理领域。图像去噪和边缘检测是图像预处理中应用非常广泛的技术, 其作用是为了提高信噪比, 突出图像的期望特征, 以便对其进行更高层次的处理。小波变换由于其自身的优良特性而在图像处理中得到了越来越多的应用。

本文从基本理论出发, 首先对小波变换进行了详尽而深刻的阐述。循序渐进地介绍了从概念到小波分析等一系列相关内容, 最终引出小波分析中非

常重要的Mallat算法。对小波变换在图像去噪和边缘检测领域的应用本文作了重点研究。为用作对比，简要介绍了几种传统的图像去噪算法和边缘检测算法，重点研究和详细阐述了运用小波变换进行图像去噪和边缘检测算法的原理和具体实现步骤，分别运用高频系数置零、硬阈值和软阈值三种不同的阈值化函数对图像进行去噪处理，以SNR和PSNR作为评价标准，将小波算法与传统的图像去噪算法和边缘检测算法作仿真对比以得出结论。

6. 期刊论文 [张莉, 蔡绍哲, 刘冰, 蒋稼欢 二维多分辨率小波变换在生物图像处理中的应用 -重庆医学2007, 36 \(23\)](#)

目的 探讨小波变换在生物学图像处理中的应用.方法 利用基于多分辨率分析的二维小波变换方法进行图像分解、消噪与图像压缩.结果 比较直方图的曲线分布和灰度中心,能从本质上判断图像间的差异;将小波分解系数中置零的系数个数百分比设为93%压缩后,仍保留了原始图像99%的能量.结论 二维多分辨率小波变换在图像处理中的应用效果明显,能最大程度反映图像的特征,并有利于图像的保存与传输.

7. 学位论文 [王文龙 基于小波变换的红外图像处理技术研究 2008](#)

红外成像技术是大量应用于军事、民用的无源探测技术，如：夜视成像、制导、搜索、跟踪、勘探、医疗等方面。因为红外图像有对比度低、边缘模糊、整幅图像噪声较大而且成份复杂的缺点，所以红外图像的质量直接影响着红外成像技术的广泛应用，而红外图像的质量好坏很大程度上取决于红外图像处理技术的先进性和正确应用。20世纪80年代开始，国内外就已经投入了大量人力、财力研究红外图像的处理技术，虽有不少新理论、新算法问世，但就满足现代多变战术和自然环境中使用的高级武器系统来说，还无法满足要求，所以对红外图像的处理技术的研究，以及新的、更加有效的算法的提出就显得非常重要。

目前主要应用的红外图像处理方法都集中在空域或频域中进行，由于小波变换具有同时对“时-频”进行分析的特性，它能把二维信号分解到不同的分辨率尺度，因此特别适合进行图像分析，基于小波变换的图像处理技术也成为目前图像处理技术的研究热点之一。研究表明，将小波变换应用于红外图像的处理技术中能有效的提高图像质量，以及准确获取我们需要的图像信息。

本文基于小波变换的红外图像处理技术，主要从两个方面进行了系统、深入的研究。第一方面是对红外图像的去噪问题进行横向的对比研究。从空域滤波到频域滤波，同时介绍了自适应滤波、二值形态学滤波等常用的滤波方式，最后发展到基于小波变换的红外图像的去噪，通过实验揭示了各个去噪算法的优缺点，显示出了小波变换应用于红外图像去噪中的可行性和优越性；第二方面是对红外小目标检测的问题进行了纵向的深入研究。通过分析红外小目标图像的特性，以及对常用红外小目标检测算法的研究、仿真，提出了一种基于小波变换的红外小目标检测算法，算法采用了新的阈值提取方法、更加有效的阈值化函数以及一种综合表决方式，使红外小目标探测的效果和速度得到了全面提高，仿真结果证明：无论是实时性还是可靠性，新算法都优于其他算法。

8. 期刊论文 [方培生, 李广, 陆岚, 夏海江, 方国宏 小波变换在磁敏传感器图像处理中应用 -传感技术学报2004, 17 \(1\)](#)

叙述了小波变换,中值滤波、均值滤波的原理,并将其应用于磁敏传感器图像处理中,通过小波去噪后,使磁敏传感器的输出波形得到明显改善,取得良好效果.

9. 学位论文 [李庆周 基于小波变换和偏微分方程的图像处理 2006](#)

小波用于信号分析和图像处理中具有特别的优势，使得它能满足各种去噪要求，如低通、高通、陷波、随机噪声的去除等，成为信息处理的一个强有力的工具。而偏微分方程在图像处理中的应用是一个比较新的课题。由于它可以准确对图像建模，从而很好的解决了图像处理中许多复杂的问题。本文先详细介绍了小波图像去噪的几种常用的方法，然后重点阐述了简单实用的小波阈值去噪方法，并且针对其阈值去噪的缺点，提出了基于小波变换和维纳滤波的去噪方法。接着介绍偏微分方程的图像处理的建模和去噪方法。最后，阐述了小波变换和偏微分方程的联系，并且结合小波分析和偏微分方程各自的特性，提出了基于小波和偏微分方程的图像去噪方法。

10. 学位论文 [张瑾 基于小波变换的红外图像处理应用研究 2006](#)

近年来，红外图像被广泛应用于许多领域。然而，由于红外探测器的固有特性所产生的噪声污染、边缘模糊等现象对红外图像造成了严重的影响。为了降低这类现象对红外图像的影响、改善图像质量，本论文引入了小波分析技术。小波变换将图像分解到不同分辨率尺度，这一特性非常适合于图像分析，并且通过小波变换重建后，被处理的图像质量能有效地改进。

本论文主要对红外图像的去噪技术和边缘检测技术进行了研究，完成了以下一些工作：介绍了小波变换的一些关键技术；提出了一种基于小波系数阈值处理的红外图像去噪方法，该方法针对红外图像的噪声分布特性，对红外图像中的乘性噪声进行对数变换，使乘性噪声变为加性噪声，并对变换后红外图像的小波变换系数进行阈值处理实现图像去噪；在分析小波多尺度边缘检测技术以及噪声和边缘小波变换的不同规律的基础上，提出了一种基于传统边缘检测算法的改进算法。

仿真结果表明，本文所提出的红外图像去噪算法比传统的小波变换方法对噪声有更好的抑制作用；基于传统边缘检测算法的改进算法能够有效的增强图像边缘的清晰度和连续性。综上，本文所提出的算法对红外图像的噪声平滑、细节保持、目视质量有相当程度的改善。

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jgyhw200910022.aspx

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: 3dfcab80-1b11-447b-8efd-9df201096ee6

下载时间: 2010年9月15日