

· 电路与控制 ·

## 基于动态规划的红外弱小目标检测算法的硬件实现

刘万成<sup>1</sup>, 张悦玲<sup>1</sup>, 王春风<sup>2</sup>

(1. 光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 三河 065201; 2. 国家电网辽宁锦州供电公司, 辽宁 锦州 121000)

**摘要:** 提出基于动态规划的红外弱小目标检测算法的硬件实现方法, 分析基于动态规划的能量累加原理, 阐述了目标识别的过程, 分析图像处理所需要的硬件资源, 建立FPGA+DSP硬件处理平台, 验证了算法的实时性和可靠性。文中提出的方法解决了大多数算法无法满足实时性要求的问题, 为红外弱小目标的检测提供了一个新的思路。

**关键词:** 动态规划; 能量累加; 红外弱小目标检测

中图分类号: TN710.6; TP274+.52

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)05-0077-04

## Hardware Implementation of Infrared Weak and Small Target Detection Algorithm Based on Dynamic Programming

LIU Wan-cheng<sup>1</sup>, ZHANG Yue-ling<sup>1</sup>, WANG Chun-feng<sup>2</sup>

(1. Science and Technology on Electro-Optical Information Security Control Laboratory, Sanhe 065201, China;

2. State Grid Liaoning Jinzhou Power Supply Company, Jinzhou 121000, China)

**Abstract:** The hardware implementation method of the infrared weak and small target detection algorithm based on dynamic programming is proposed. Energy cumulative principle based on dynamic programming is analyzed. The target distinguishing process is explained. The hardware resource for image processing is analyzed. A FPGA+DSP hardware process platform is established and the real-time and reliability of the algorithm are validated. The proposed method can figure out the real-time problem that cannot be solved by the most algorithm and propose a new method for infrared weak and small target detection.

**Key words:** dynamic programming; energy cumulative; infrared weak and small target detection

运动目标的检测是应用视觉研究领域的一个重要课题, 其在军用、民用领域都有着广泛的应用前景<sup>[1]</sup>。红外目标的检测由于可以全天候工作的特点, 越来越受到人们的重视, 但是红外图像目标与背景的对比如度低又兼有较强的高斯黑白噪声、脉冲噪声和非随机噪声<sup>[2]</sup>, 因此红外弱小的目标检测难度相对较大。

动态规划法 (Dynamic Programming Algorithm, DPA) 是 1985 年 BARNIV<sup>[3]</sup> 提出的一种实用而有效的方法, 它通过分段最优化过程完成序列图像轨迹的穷举搜索, 以实现慢速运动弱小目标的检测。国内对

DPA 的研究也有很多<sup>[4-8]</sup>, 主要是通过对递归方程的改进来提高算法性能。现阶段目标检测的算法很多, 仅是在计算机上实现, 而在实际应用中, 目标检测设备由于特定的要求大多对实时性有很高的要求, 因此找到一种基于硬件平台可实现的算法尤其重要。文中提出一种动态加权弱小目标检测的算法, 并在硬件平台上加以实现。

### 1 动态加权检测算法的原理

对于弱小目标的检测, 首先要解决的是目标与

背景对比度低的问题,目标的能量积累算法可以较好地解决这个问题。一般来说,基于加权动态规划的能量累加算法对目标的运动速度没有严格的要求,可以检测任意时刻、任意位置、任意速度出现的点目标,但是在实际应用过程中,由于其他条件的限制,一般应用于低速运动的目标。基于加权动态规划的小目标检测算法的实现途径如图1所示。

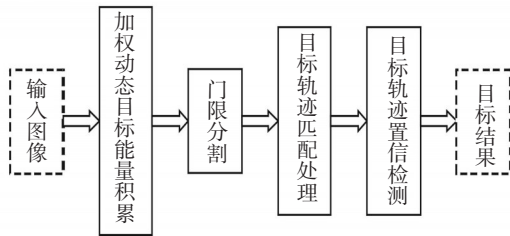


图1 目标检测实现流程图

对于一般的能量累加算法,其应满足能量最大化原则。设 $X_i$ 为第 $i$ 帧图像上的任意像素点,其对应的任意轨迹的能量累加函数为

$$E(X_N, X_{N-1}, \dots, X_1) = E_N(X_N, X_{N-1}) + E_{N-1}(X_{N-1}, X_{N-2}) + \dots + E_1(X_2, X_1) \quad (1)$$

则真实目标的运动轨迹应为

$$E(T_N, T_{N-1}, \dots, T_1) = \max\{E_N(X_N, X_{N-1}) + E_{N-1}(X_{N-1}, X_{N-2}) + \dots + E_1(X_2, X_1)\} \quad (2)$$

这种方法将每个像素点的所有运动轨迹用穷举法实现,对于 $N$ 帧 $M \times M$ 的图像序列,其计算量将是 $M^{2N}$ 。对于连续5帧 $256 \times 256$ 的图像序列,其计算量已经非常大,无法应用到实际工程中去。

动态规划法的原理是将整个运动轨迹过程分割成 $N$ 个轨迹进行优化,其运动轨迹满足

$$E(T_N, T_{N-1}, \dots, T_1) = \max_{X_N} \{E_N(X_N) + \max_{X_{N-1}} \{E_{N-1}(X_N, X_{N-1}) + \max_{X_{N-2}} \{E_{N-2}(X_{N-1}, X_{N-2}) + \dots + \max_{X_1} \{E_1(X_2, X_1)\}\}\}\} \quad (3)$$

通过动态规划,上述图像序列的轨迹累加计算量可减小为 $M^2 \times N$ ,这样对于每帧图像计算是可以接收的。

在实际应用过程中目标的最大运动速度一般是

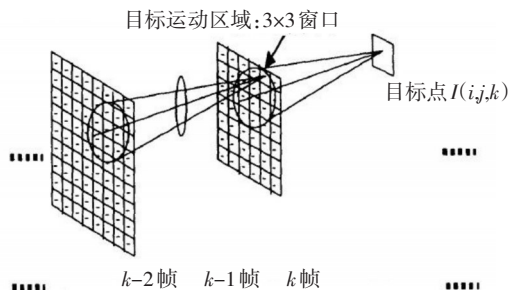


图2 目标运动轨迹示意图

预知的,因此在相邻帧内目标的运动范围是已知的,对于慢速目标,其运动速度一般为几个像素/帧,假设运动目标运动速度为1像素/帧,则目标运动范围不会超出 $3 \times 3$ 窗内,目标运动轨迹如图2所示。

在此算法中,第 $k-1$ 阶段目标的位置是由目标在第 $k$ 阶段的状态和第 $k-1$ 阶段的抉择确定的,而不是由第 $k-1$ 阶段目标的状态和第 $k-1$ 阶段的抉择,来确定第 $k$ 阶段目标的状态,这种从目标的当前位置逆推到目标初始位置的动态规划方法为后向法。后向法一个最大的优点就是能确保目标轨迹能量得到有效积累,但是每阶段目标能量都会扩散,目标第 $k-1$ 帧目标轨迹能量积累值会扩散至第 $k$ 帧邻域窗内的所有点。

在视频图像处理中,由于成像帧频比较高,短时间内目标的运动轨迹为一直线或锯齿形,目标的运动是“不可后退”的,因此可以将图像中目标的运动区域进一步缩小。减小搜索区域可以减少能量扩散范围,目标轨迹能量的积累又不受影响。

## 2 红外目标检测算法的硬件实现

### 2.1 红外图像数据量计算

对于50 Hz的红外灰度图像,在进行能量积累工程中,需要对每个点像素进行操作。设每幅图像大小为 $640 \times 512$ ,灰度为8阶,则每秒需要处理的数据量为 $640 \times 512 \times 8 \times 50 = 125 \text{ M}$ 。数据量的累加部分采用顺序的处理方式,对输入的数据是一个接一个地处理,结果输出相对于输入数据只允许有几行的延时,否则将导致数据累计或丢失,无法满足对红外目标实时性的要求。本设计中,数据时钟速率为100 MHz,因此在10 ns的时间内,就要对红外图像序列进行一次运算,因此对图像中能量累加部分的实时性要求非常高。

### 2.2 硬件平台设计与实现

设计中采用FPGA+DSP实现高速信号电路处理平台,如图3所示.其中采用Altera公司的FPGA芯片ep3c120对红外图像进行能量的累加及分割,用Ti公司的DSP芯片tms320c6416进行红外目标的提取工作,如图3所示。红外图像数据经FPGA芯片进行预处理传到FIFO芯片,DSP芯片通过FIFO芯片得到经过预处理之后的数据后再进行图像的目标提取工

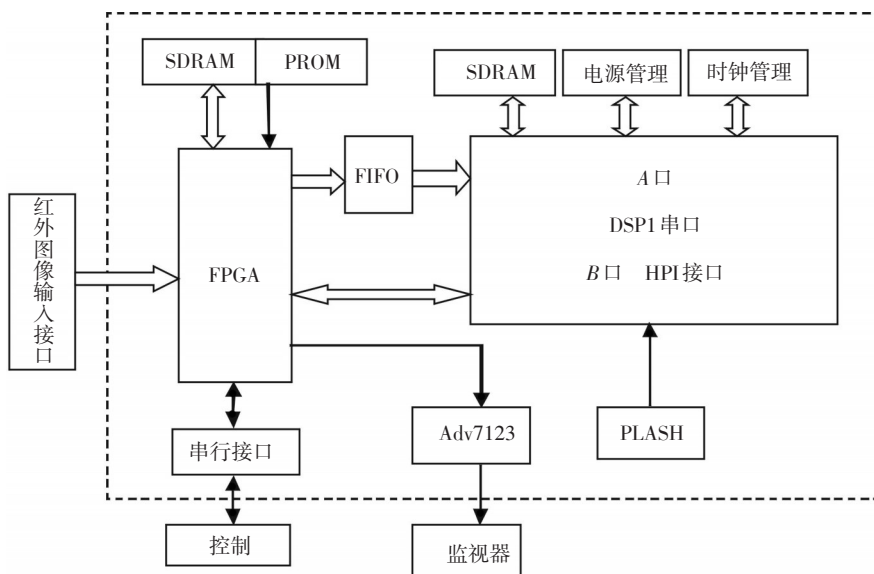


图3 高速信号处理电路框图

作。FPGA实现红外图像数据的预处理,主要包括滤波、能量累加等。DSP实现红外图像的后期目标提取工作,主要包括图像分割、图像匹配、目标检测等。

基于动态规划的能量累加算法由于实时性要求高、算法结构固定用FPGA实现效果好且能满足算法对硬件资源的要求,其具体实现框图如图4所示。其中,数据接口:完成对红外图像数据的采集工作;计数模块:完成接收外部的帧同步信号、数据时钟信号对其计数、并产生控制信号;累加模块:完成图像序列

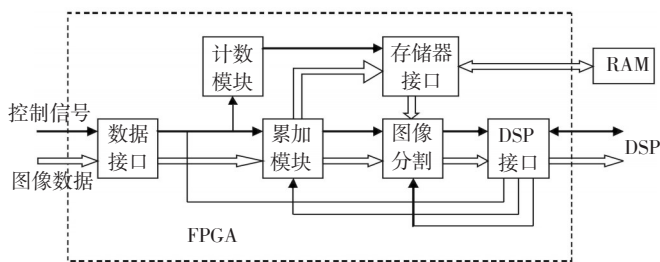


图4 FPGA实现图像序列能量累计原理图

的能量累加功能;存储器接口模块:完成对外部存储器的控制;图像分割模块:完成对累加后的图像进行选取和分割的功能;DSP接口模块:完成对DSP的数据传输和控制信号的通信功能。

### 2.3 实验结果

在实际实验过程中,基于动态规划的能量累加算法可以在上面提到的硬件平台上实现,并且完全满足实时性的要求,得到了预想的效果。在信号处



(a)



(b)

图5 实验结果图

理硬件平台上,对远距离红外弱小目标进行目标检测发现,没有加入动态规划的能量累加算法,目标模糊、信噪比低;加入动态累加算法可以有效提高信噪比,实现对红外目标的检测。图5a是没有应用能量累计的视频图像截图,图5b是应用能量累计的图像。

### 3 结论

在目标背景复杂、信噪比低的情况下要实现对

红外目标的检测算法有多种多样,但是要实现目标的实时检测,则难度很大,一般算法都无法满足实时性的要求。通过对动态规划的能量累加算法理论的分析,结合FPGA+DSP高速信号处理电路设计,在硬件平台上实现了对红外弱小运动目标的检测,验证了基于动态规划的能量累加算法的有效性和实时性,为实现红外弱小目标检测算法提供了一个新的解决思路。在试验过程中发现该算法对天空背景的红外慢速运动目标检测可靠性高,对地物背景复杂的情况下,算法检测可靠性差,还有许多可以改进的地方。再有该算法适合应用于对固定场景进行检测,对于运动场景的跟踪则需要先进行图像的配准,难度增加,可以在下一步工作中深入研究。

### 参考文献

- [1] 王亮,胡卫明,谭铁牛.人运动的视觉分析综述[J].计算机学报.2002.25(3):225-2371.
- [2] 刘其真,姚剑,孙薇,等.红外成像运动目标识别与跟踪方法研究[J].遥感技术与应用,1999,14(2):27-33.
- [3] Barniv Y. Dynamic programming solution for detecting dimming targets[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1985, 21(1):144-156.
- [4] 陈尚锋,陈华明,卢焕章.基于加权动态规划和航迹关联的小目标检测技术[J].国防科技大学学报,2003,25(2):46-50.
- [5] 陈华明,孙广富,卢焕章,等.基于动态规划和置信度检验的小目标检测[J].系统工程与电子技术,2003,25(4):472-476.
- [6] 强勇,焦李成,保铮.动态规划算法进行弱目标检测的机理研究[J].电子与信息学报,2003,25(6):721-727.
- [7] 张兵,卢焕章.动态规划算法在运动点目标检测中的应用研究[J].电子与信息学报,2004,26(12):1895-1900.
- [8] 谭晓宇,陈谋,姜长生.改进动态规划算法在小目标检测中的应用[J].光电工程,2008,35(5):23-27,84.
- [9] Oscar P Bruno, Fernando Reitich. Numerical solution of diffraction problem: a method of variation of boundaries. III. Doubly periodic gratings [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 1993, 10(12):2551-2562.
- [10] Li Lifeng. Recent advances and present limitations of the electromagnetic theory of diffraction gratings [C]// Diffraction Optics and Micro-Optics (DOMO). Québec City, Canada: OSA, 2000: 1-3.
- [11] Song Peng, G Michael Morris. Resonant scattering from two-dimensional gratings [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 1996, 13(5):993-1005.
- [12] Nicolas Chateau, Jean-Paul Hugonin. Algorithm for the rigorous coupled-wave analysis of grating diffraction [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 1994, 11(14):1321-1331.
- [13] Guido Niederer, Wataru Nakagawa, Hans Peter Herzig. Design and characterization of a tunable polarization-independent resonant grating filter [J]. Optics Express, 2005, 13(6):2196-2200.
- [14] Fu Xiaoyong, Yi Kui, Shao Jianda, et al. Nonpolarizing guided-mode resonance filter [J]. Optics Letters, 2009, 34(2):124-126.
- [15] 张帆,袁博,许丽丽. Nonpolarizing guide-mode resonance filter with ultra-narrow linewidth [J]. Chinese Optics Letters, 2011, 9(3):033101.
- [16] Akio Mizutani, Hisao Kikuta, Kiminori Nakajima, et al. Nonpolarizing guided-mode resonant grating filter for oblique incidence [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 2001, 18(16):1261-1265.
- [17] Tina Clausnitzer, Alexander V Tishchenko, Ernst-Bernhard Kley, et al. Narrowband, polarization-independent free-space wave notch filter [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 2005, 22(12):2799-2803.
- [18] Li Lifeng. New formulation of the Fourier modal method for crossed surface-relief gratings [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 1997, 14(10):2758-2767.
- [19] Bai Benfeng, Li Lifeng. Group-theoretic approach to enhancing the Fourier modal method for crossed gratings with square symmetry [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 2006, 23(3):572-580.
- [20] Bai Benfeng, Li Lifeng. Group-theoretic approach to the enhancement of the Fourier modal method for crossed gratings: C<sub>2</sub> symmetry case [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 2006, 22(4):654-661.
- [21] Bai Benfeng, Li Lifeng. Reduction of computation time for crossed-grating problems: a group-theoretic approach [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 2004, 21(10):1886-1894.
- [22] Thomas Schuster, Johannes Ruoff, Norbert Kerwien, et al. Normal vector method for convergence improvement using the RCWA for crossed gratings [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 2007, 24(9):2880-2890.
- [23] Joerg Bischoff. Formulation of the normal vector RCWA for symmetric crossed gratings in symmetric mountings [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 2010, 27(5):1024-1031.

(上接第71页)