

〈图像处理与仿真〉

基于 DSP 的双层流水线在弱小目标检测中的应用

王忍宝，许四祥，翟健健，侍海东  
(安徽工业大学 机械工程学院，安徽 马鞍山 243032)

**摘要：**针对工业现场中复杂背景下弱小目标检测的难题，提出了一种基于 DSP 的双层流水线的弱小目标检测新方法。该方法以双层流水线算法为背景，以半因果支持域背景预测为辅助，以 DSP 硬件图像处理系统平台为核心。利用 C 语言编写检测弱小目标的双层流水线算法，通过 DSP 集成开发软件 Code Composer Studio 3.3 进行移植、编译、调试及优化，将调试无误的算法程序烧写到 DSP 中，应用于高温镁熔液中弱小目标的检测。实验结果表明基于 DSP 的双层流水线方法可以有效检测出弱小目标，为实现工业现场弱小目标的实时检测奠定了基础。  
**关键词：**DSP；双层流水线；弱小目标；Code Composer Studio 3.3  
**中图分类号：**TP391      **文献标识码：**A      **文章编号：**1001-8891(2016)07-0587-05

Application of Double-pipeline on Dim and Weak Target Detection Based on DSP

WANG Renbao, XU Sixiang, ZHAI Jianjian, SHI Haidong  
(Mechanical Engineering Institute, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032, China)

**Abstract:** It is difficult to detect dim and weak target in complex background on industrial scene, a new method with double-pipeline based on DSP was proposed in order to solve the problem. It was set in double-pipeline algorithm, based on semi causal support domain background prediction and centered on DSP image processing system platform. Firstly, a double-pipeline algorithm used for dim and weak target detection was programmed with C language. Then, it was operated by transplantation, compilation, debugging and optimization on Code Composer Studio 3.3, which was an integrated development environment for DSP. Lastly, debugged algorithm program was rewritten into DSP, which was applied on the dim and weak target detection in magnesium melt. Experimental result shows that double-pipeline algorithm based on DSP could detect the dim and weak target. It also lays the foundation of real-time detection of dim and weak target on industrial scene.  
**Key words:** DSP, dim and weak target, double-pipeline, Code Composer Studio 3.3

0 引言

弱小目标的检测一直是图像处理领域的热点和难点，在复杂背景下，因其目标成像面积小，缺乏结构纹理特征，信噪比小，故极易淹没在背景杂波中<sup>[1-3]</sup>。近年来国内外学者对其研究也越来越多，文献[4]采用形态学带通滤波器对红外图像进行预处理并提取弱小目标的 RoI；侯旺等人<sup>[5]</sup>提出了一种基于分块速度域 RMTI 算法，解决了弱小目标检测实时性的难题；此外，文献[6]中运用改进的背景预测和双层流水线算法实现了镁熔液表面第一气泡的实时检测。然而，前

人对弱小目标研究较多局限于 Matlab 软件仿真，与工程化应用存在一定的距离；而随着数字信号处理（DSP）技术的不断发展，其由于多集成、实时性、并行处理能力强等优势，克服了 Matlab 在工程应用上的局限性，在工业现场弱小目标的实时检测发挥重大作用。如采用改进的形态滤波算法和 Top-hat 滤波算法进行信息融合，结合硬件 DSP 较好实现了低信噪比下弱小目标图像的检测<sup>[7-8]</sup>；王克勇<sup>[9]</sup>等人也采用 DSP 芯片和局部纹理分析检测方法有效地检测出了占极少像素的弱小目标。因此，本文利用构建的 DSP 系统平台，设计一种快速的双层流水线检测算法，用于工

收稿日期：2015-12-17；修订日期：2016-02-03。  
作者简介：王忍宝（1987-），男，安徽省临泉人，硕士研究生，主要研究方向为机器视觉与人工智能。E-mail: wangrenbao912@163.com。  
基金项目：国家自然科学基金资助项目（51374007）；安徽省自然科学基金资助项目（11040606M104）。

业现场铸造镁合金液态质量检测中镁熔液复杂背景下的弱小目标检测,为工业现场镁熔液含氢量的实时检测奠定基础。

1 DSP 检测平台及流水线算法原理

1.1 图像检测平台

DSP 图像检测平台所使用的芯片是 TMS320DM642 (简称 DM642),它是 TI 公司推出的一款高性能数字信号处理,与其他芯片相比,具有开发周期短,芯片功耗低,产品稳定性高<sup>[10]</sup>等特点,且包括一个新的 C 编译器,1 个简化程序和调度的组装机优化器,1 个具有执行代码可见性的 Windows 调试窗口的完整发展工具<sup>[11]</sup>,是目前定点 DSP 领域里性能较高的一款。其检测系统平台如图 1 所示。

该平台以 Code Composer Studio 3.3 (简称 CCS3.3)为编程载体,以 XDS560 仿真器为媒介,以 DM642 为核心。首先根据硬件结构和控制寄存器设置,初始化系统并编写算法程序,在 CCS3.3 开发环境下利用 Profiler 工具进行程序优化产生.OUT 文件;其次利用 Load Program 将产生的.OUT 文件通过 USB 口连接的 XDS560 仿真器,将其烧写到 DSP 中,并在 CCS3.3 中运行 Main 程序;最后根据运行结果,分析程序性能,对其反复改进优化,直到获得满足性能要求的程序。

1.2 半因果支持域最大化背景预测

最大化背景预测能有效抑制背景噪声,适用于复杂背景中弱小目标的检测;然而其预测窗口选取的背景点数多,计算量较大,存在运算速度慢的缺点<sup>[12]</sup>,不利于实时检测。支持域有因果支持域、半因果支持域和非因果支持域 3 种基本形式;半因果支持域不仅兼顾了因果支持域弱小目标检测的优异性能,而且具备非因果支持域对杂波抑制的优势<sup>[13]</sup>。比较 7×7 的背景预测窗口,半支持域背景预测仅选用其预测窗口中的 17 个点,在处理时间上有着其他算法不可比拟的优势。

因此,本文通过半因果支持域对最大化背景预测的预测窗口进行改进,进而达到改进最大化背景预测算法的目的,改进的最大化背景预测模型如式(1)到式(6)所示:

$$Y_1(m,n)=\sum_{(l,k)\in R_1}W_1(l,k)f(m+l,n+k)$$
 (1)

$$Y_2(m,n)=\sum_{(l,k)\in R_2}W_2(l,k)f(m+l,n+k)$$
 (2)

$$Y_{\max}(m,n)=\{Y_1(m,n)-Y_2(m,n)\}$$
 (3)

$$X(m,n)=f(m,n)-Y_{\max}(m,n)$$
 (4)

$$R_1=\{(l,k)|-(N-1)/2< l\leq (N-1)/2,\\k=-(N-1)/2\}\cup\{(l,k)|l=-(N-1)/2,\\-(N-1)/2\leq k\leq (N-1)/2\}\cup\{(l,k)|\\-(N-1)/2< l< 0, -(N-1)/2< k< 0\}$$
 (5)

$$R_2=\{(l,k)|-(N-1)/2\leq l\leq (N-1)/2,\\k=(N-1)/2\}\cup\{(l,k)|l=(N-1)/2,\\-(N-1)/2\leq k< (N-1)/2\}\cup\{(l,k)|\\0< l< (N-1)/2, 0< k< (N-1)/2\}$$
 (6)

式中:  $Y_1(m,n)$ 和  $Y_2(m,n)$ 为预测灰度值;  $W_1(l,k)$ 和  $W_2(l,k)$ 为  $N\times N$ 支持域的等权重权值矩阵;  $f(m+l,n+k)$ 为领域内以被测点为中心的像素点灰度值;  $Y_{\max}(m,n)$ 为最终预测值;  $X(m,n)$ 为预测残差图像;  $R_1$ 和  $R_2$ 为-45°方向的半因果支持域对。

1.3 双层流水线结构

流水线结构是一种并行技术,也称为管道,是一个由  $n$  帧组成的先进先出的队列,在每个帧周期,从队列的底部删除 1 帧而在队列的顶部添加 1 帧,用来更新管道。该技术在各个领域已得到广泛应用,并且已证实,采用流水线技术检测序列图像中弱小目标能够加快运算速度<sup>[14]</sup>。本文设计的双层流水线结构示意图如图 2 所示。

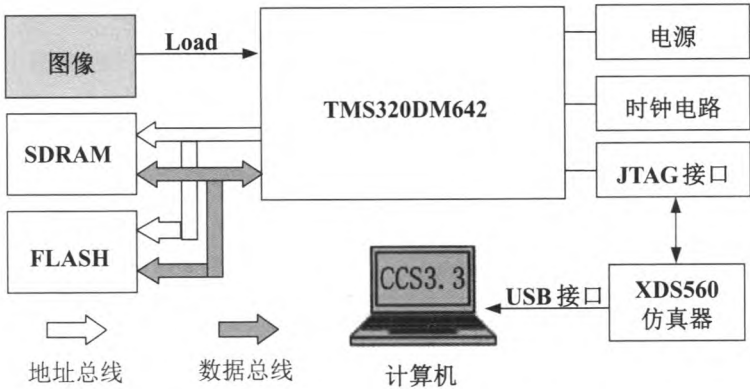


图 1 DSP 检测平台 Fig.1 DSP detection platform

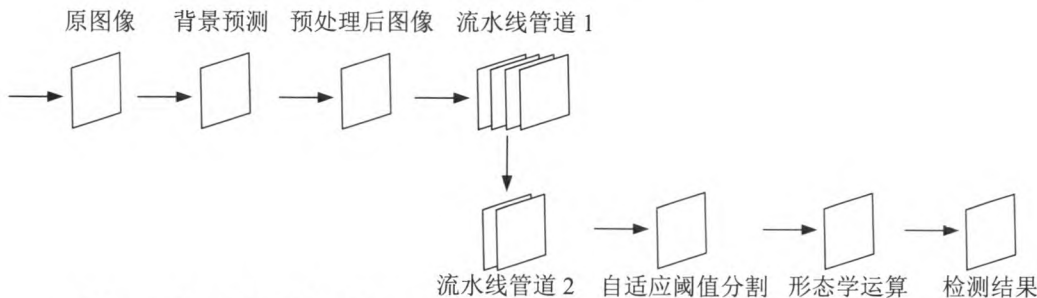


图2 双层流水线结构示意图 Fig.2 Double-pipeline architecture schematic diagram

2 算法设计与检测

弱小目标检测算法多种多样，本文在构建的 DSP 检测系统平台上，设计了一种基于 DM642 的双层流水线算法，能有效检测出镁熔液中的弱小目标。该算法原理主要是先对序列图像进行背景预测处理，同时初始化双层流水线管道；然后采用自适应阈值分割和形态学开运算去除噪声点，获得真正的目标。此检测算法流程如图 3 所示。

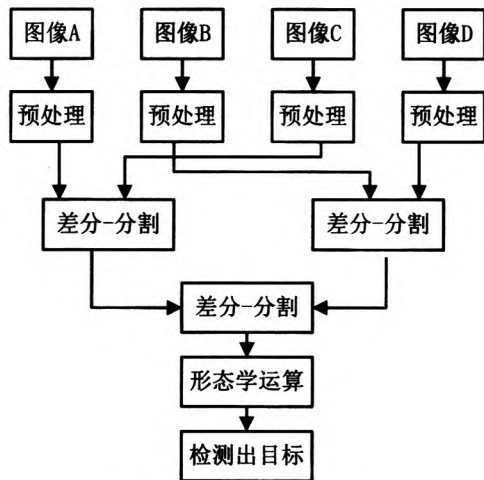


图3 检测算法流程图

Fig.3 Flow chart of detection algorithm

- 1) 图像 A、图像 B 和图像 C 分别为弱小目标析出前的连续 3 帧图像,图像 D 为析出后的第一帧图像。
- 2) 预处理采用 7×7 半因果支持域最大化背景预测模型,利用该模型先对 A 图像进行处理,去除图像中的噪声点,将获得的图像与 A 图作差分运算,得到预处理图像;然后依次处理 B、C 和 D 图像,得到三帧预处理图像;将所得四帧图像进行交叉差分运算,得到两帧残差图像。
- 3) 经过交叉差分处理后,图像中除了包含目标点外,还包含一些类目标干扰信息和噪声点。为消除干扰信息和噪声点,对图像进行自适应阈值分割,选取阈值分割加权系数λ=16,并初步分离出目标点。对分割后的二值图像再进行差分运算和自适应阈值分割,获得含有目标点的图像。

4) 形态学运算是用来去除比结构元素小的亮点,同时保持所有的灰度级和较大的亮区特性相对不变<sup>[15]</sup>。选用结构元素为 3×3 垂直结构元素,参数为 1,对经过自适应阈值分割处理后的图像作腐蚀运算,去除噪点,获得检测结果。

其中,自适应阈值分割算法的数学表达式如式(7)和式(8)所示:

$$S(m,n)=\begin{cases} 255 & f(m,n)\geq T \\ 0 & f(m,n)<T \end{cases}$$

(7)

式中:  $f(m,n)$ 、 $S(m,n)$  分别表示预处理图像的灰度值和阈值分割处理后图像的灰度值,其中阈值  $T$  表示自适应阈值法确定的阈值:

$$T=\text{mean}+\lambda\sigma$$

(8)

式中:  $\text{mean}$ 、 $\lambda$ 、 $\sigma$  分别表示预处理图像的灰度均值、阈值分割加权系数和预处理图像的灰度均方差。

3 实验结果分析

本实验中图像大小为 560×530,实现检测目标的程序主要包括主程序 main.c、命令文件.cmd、库文件 img64.lib、rts6400.lib、cs1DM642.lib 以及.gel 文件等几部分。

通过 C 语言进行编程,在 CCS 下进行编译、调试、优化、运行,实现了弱小目标的检测。在算法设计过程中,采用半因果支持域最大背景预测,同时在检测过程中采用了数据边读边丢的策略,这样无需分配整幅图像空间的中间变量,提高了数据访问速度和图像处理速度。利用编写好的 C 程序,读取弱小目标析出前的连续三帧图像 A, B, C 和析出后的一帧图像 D。其循环函数读取的程序如下:

```
for(m=t; m<=j; m+=2)
{
    int i, j, k;
    unsigned char *pWork;
    FILE *fp;
    switch(m)
    {case t:if ( fp=fopen("t.bmp","rb" ) )
```

```
{
    fseek(fp,1078L,SEEK_SET);
    pWork=dbImagee+(IMAGEHEIGHT-1)*IMAG
EWIDTH;
    .....
}
}
```

图 4 为弱小目标检测算法图像，其中白色方框内为弱小目标。

4 结 论

本文提出了一种基于 DSP 的双层流水线弱小目标检测方法，利用构建的图像处理检测平台，并设计基于半因果支持域最大化背景预测的双层流水线算法，通过 CCS3.3 移植到检测平台上，应用于镁熔液中弱小目标的检测，检测结果良好。验证了此弱小目标检测方法在实际应用中的可行性，同时弥补了 Matlab 软件仿真在工程应用上的不足，为后续工业现场进行镁熔液含氢量的实时检测奠定了重要基础。

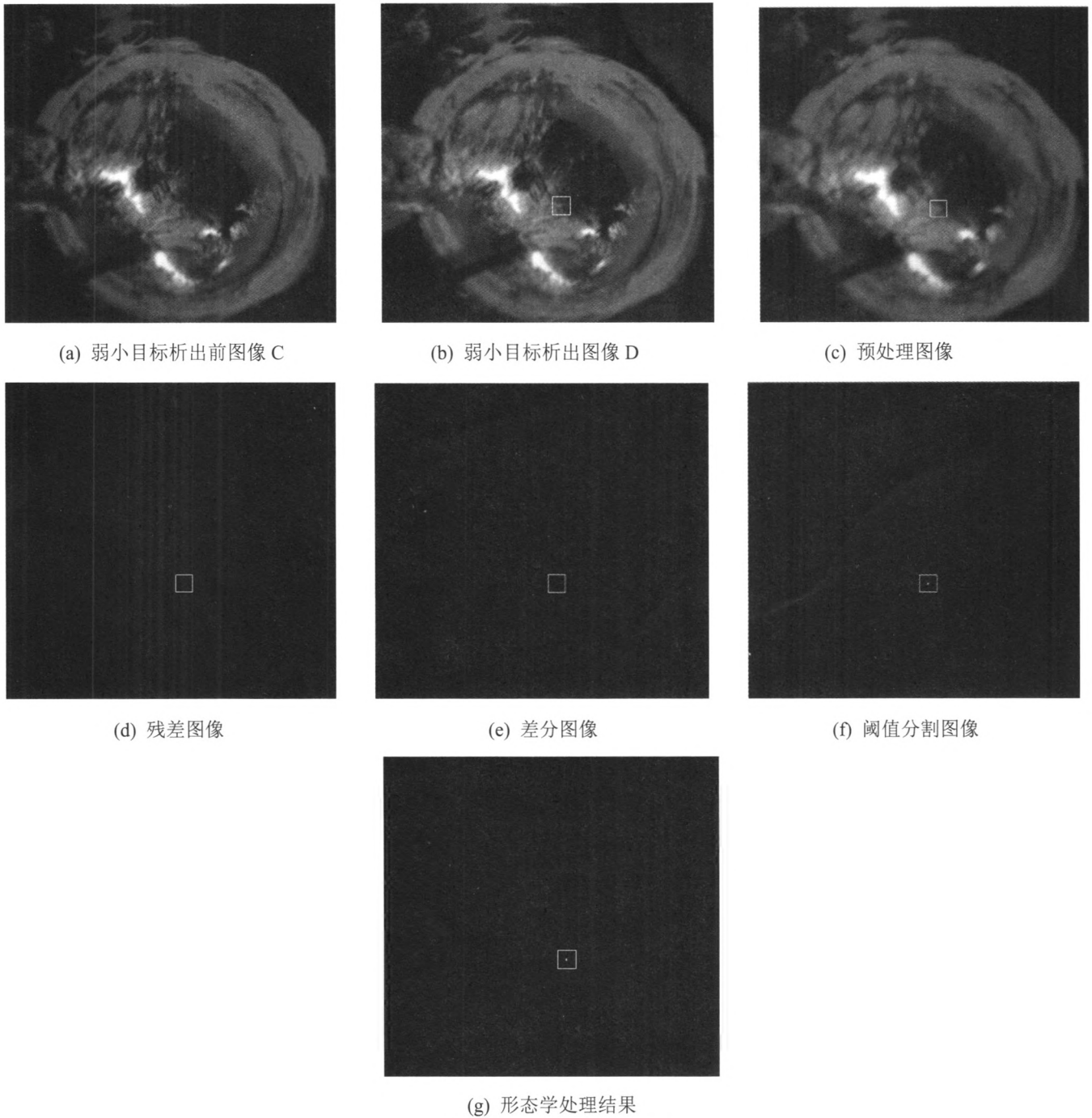


图 4 弱小目标检测算法图像

Fig.4 Detecting image algorithm of the dim and weak target

## 参考文献:

- [1] 管志强, 陈钱, 钱惟贤, 等. 一种基于算法融合的红外目标跟踪方法[J]. 光学学报, 2008, 28(5): 860-865.  
GUAN Zhiqiang, CHEN Qian, QIAN Weixian, et al. Infrared target tracking algorithm based on algorithm fusion[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(5): 860-865.
- [2] 杨琳娜, 安玮, 林再平, 等. 基于空间距离改进的视觉显著性弱小目标检测[J]. 光学学报, 2015, 35(7): 0715004.  
YANG Linna, AN Wei, LIN Zaiping, et al. Small target detection based on visual saliency improved by spatial distance[J]. *Acta Optica Sinica*, 2015, 35(7): 0715004.
- [3] MA Ke, PENG Zhenming, HE Yangmin, et al. An improved method for dim infrared target detection with nonsub sampled Contourlet transform[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2013, 25(11): 2811-2815.
- [4] 程焱, 郭雷, 韩军伟, 等. 基于形态学带通滤波和尺度空间理论的红外弱小目标检测[J]. 光学学报, 2012, 32(10): 1015001.  
CHENG Gong, GUO Lei, HAN Junwei, et al. Infrared dim small target detection based on morphological band-pass filtering and scale space theory[J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(10): 1015001.
- [5] 侯旺, 于起峰, 雷志辉, 等. 基于分块速度域改进迭代运动目标检测算法的红外弱小目标检测[J]. 物理学报, 2014, 63(7): 074208.  
HOU Wang, YU Qifeng, Lei Zhihui, et al. A block-based improved recursive moving-target-indication algorithm[J]. *Acta Physica Sinica*, 2014, 63(7): 074208.
- [6] 许四祥, 孙杰, 郭宏晨. 基于改进背景预测和流水线的弱小目标检测[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(8): 129-132.  
XU Sixiang, SUN Jie, GUO Hongchen. Detecting weak and small targets by modified background prediction and pipeline[J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2012, 40(8): 129-132.
- [7] 徐江丰, 张涌, 汤心溢. 红外目标检测的形态滤波改进算法及其 DSP 实现[J]. 激光与红外, 2006, 36(8): 715-717.  
XU Jiangfeng, ZHANG Yong, TANG Xinyi. An improved morphology filtering algorithm for infrared target detection and realization on DSP[J]. *Laser & Infrared*, 2006, 36(8): 715-717.
- [8] 周成, 季云松, 赵毅. 一种单帧图像红外弱小目标检测算法及 DSP 实现[J]. 激光与红外, 2009, 39(12): 1356-1359.  
ZHOU Cheng, JI Yunsong, ZHAO Yi. Algorithm of infrared small target detection and application of DSP chip[J]. *Laser & Infrared*, 2009, 39(12): 1356-1359.
- [9] 王克勇, 宋承天, 郑链. 基于局部纹理分析的红外小目标检测及其 DSP 实现[J]. 光学技术, 2008, 34(s1): 167-169.  
WANG Keyong, SONG Chengtian, ZHENG Lian. Dim target detection system based on local texture analysis and hardware implementation with DSP[J]. *Optical Technique*, 2008, 34(s1): 167-169.
- [10] 高潮, 李天长, 郭永彩. 基于 DM642 的嵌入式实时多路图像采集处理系统[J]. 微计算机信息, 2008, 24(30): 282-283.  
GAO Chao, LI Tianchang, GUO Yongcai. Embedded image system based on DM642[J]. *Microcomputer Information*, 2008, 24(30): 282-283.
- [11] 赵小强. DSP 原理及图像处理应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013: 26.  
ZHAO Xiaoqiang. *The Principle of DSP and Image Processing*[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2013: 26.
- [12] 徐军. 红外图像中弱小目标检测技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2001.  
XU Jun. Research on the detection of small and dim targets in infrared images[D]. Xian: Xidian University, 2001.
- [13] 刘志军, 陈朝阳, 沈绪榜, 等. 基于卡尔曼滤波器的背景抑制及小目标检测[J]. 华中科技大学报: 自然科学版, 2004, 32(12): 7-9.  
LIU Zhijun, CHEN Chaoyang, SHEN Xubang, et al. Background suppression and small targets detection based on Kalman filter[J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2004, 32(12): 7-9.
- [14] 韩客松, 王永成. 红外序列图像中缓动点目标的流水线检测算法[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(8): 66-67.  
HAN Kesong, WANG Yongcheng. A pipeline algorithm for detecting slowly moving targets in infrared sequence images[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2000, 22(8): 66-67.
- [15] 冈萨雷斯. 数字图像处理 (MATLAB 版) [M]. 阮秋奇, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005: 178.  
Gonzale. Translated by RUAN Qiuqi. *Digital image processing Using MATLAB*[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2005: 178.