

TDNLMS 自适应预测器有限字长效应分析及 其在设计中的应用

桑红石 张天序

(华中科技大学图像识别与人工智能研究所图像信息处理与智能控制教育部重点实验室, 武汉 430074)

摘要 为了使预测器在特定应用环境中的有限字长效应满足应用系统的性能要求, 以小目标检测为应用背景, 提出了理论和实验相结合确定 TDNLMS(二维归一化最小均方误差)自适应预测器运算字长的方法。同时分析了步长参数、输入数据字长、图像统计特性、预测器支撑区域等因素与 TDNLMS 自适应预测器权值和迭代运算中间结果量化误差之间的联系, 并通过实验对分析结果进行了验证。仿真结果表明, 用该方法设计的有限精度预测器, 其小目标检测性能与无限精度预测器十分接近。

关键词 自适应滤波器 有限字长效应 小目标检测 二维归一化最小均方误差

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)09-1055-07

Analysis of Finite-precision Effect of TDNLMS Adaptive Predictor and its Application in Digital Filter Design

SANG Hong-shi, ZHANG Tian-xu

(State Education Commission Laboratory for Image Processing and Intelligence Control, Institute for Pattern Recognition & Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract The TDNLMS (two dimensional normalized least mean squared error) adaptive filter can be used as a pre-whitening filter in small object detection application in digital image. The performance of the digital implementation of the adaptive filter is influenced by the finite-precision effect. In this paper, the finite-precision effect of TDNLMS adaptive predictor used for small objects detection is analyzed, and a method of determining computation word length of the digital adaptive filter by experiments is presented. The relation between the word length of the adaptive predictor and the features of the environment, including the step-size parameter, input data word length, statistic characteristic of image processed and the support region of the predictor, is discussed. Simulation results are consistent with the analysis. Through the method presented in this paper, a finite-precision TDNLMS adaptive predictor is designed, and compared with an infinite-precision predictor which is implemented by double-precision floating point numbers. Simulation results shown that the MSE (mean squared error) and the mean SNR (signal-to-noise ratio) gain produced by the finite precision TDNLMS adaptive predictor is very close to the infinite-precision TDNLMS adaptive predictor.

Keywords adaptive filter, finite-precision effect, small object detection, two dimensional normalized least mean squared error (TDNLMS)

1 引言

降低有限字长效应是自适应滤波器数字实现中的重要课题。以数字形式实现自适应滤波器时, 其输入数据、自适应参数和中间结果量化为有限精度方

式, 由量化误差导致算法的数字实现偏离其理论值的现象称为有限字长效应^[1]。

用于降低 LMS (least mean squared) 算法有限字长效应的方法很多^[2~5], 其中常用的是增加运算字长, 以使有限精度运算产生的偏差在系统允许的范围内。这样, 通过抽头权值和中间结果来确定合适

字长就成为滤波器设计过程中的关键环节。

一直以来,关于 LMS 算法有限字长效应的推导均建立在独立性假设的基础上,但该假设对于自适应预测器不能成立^[1],因为自适应预测器的运算字长不能借助理论计算得到,所以,理论分析只能作为定性参考,实际应用中的预测器的运算字长需要通过实验确定。

目前,由于自适应滤波器有限字长效应的分析均基于一维算法,二维自适应算法的基本原理与一维算法虽完全相同^[6],但是在构造方式和性能上与一维滤波器却有较大差别,因此有必要对二维自适应滤波器设计进行专门研究。本文以小目标检测为应用背景,首先分析了影响二维自适应预测器有效字长效应的因素,然后在此基础上,提出了理论分析和实验相结合的确定预测器运算字长的数字实现方法。实验结果显示:采用本文方法设计的有限精度二维自适应预测器,其小目标检测性能与用浮点方式实现的无限精度预测器十分接近。

2 二维归一化最小均方差预测器计算流程

二维归一化最小均方差(two dimensional normalized least mean square, TDNLMS)算法属于 LMS 类算法。该算法如式(1)~式(3)所示,其中 Y_k 、 X_k 、 W_k 、 E_k 、 D_k 分别为第 k 次迭代的预测值、输入向量、权值向量、预测误差和期望响应, $\|X_k\|^2$ 为输入向量 X_k 的欧几里德范数的平方,即输入数据能量和。

$$Y_k = X_k^T W_k \quad (1)$$

其中, $X_k = (x_k, x_{k-1}, \dots, x_{k-N+1})^T$ 。

$$E_k = D_k - Y_k \quad (2)$$

$$W_{k+1} = W_k + \mu E_k X_k / (a + \|X_k\|^2) \quad (3)$$

其中, μ 为步长参数, $\|X_k\|^2 = \sum_{i=1}^{N-1} x_i^2$

式(3)中, a 为一个较小的正数,用于防止因欧几里德范数 $\|X_k\|^2$ 过小而导致的除法运算溢出。

在小目标检测系统中,TDNLMS 算法以自适应预测器方式工作^[7,8],其期望响应从输入过程中抽取,而预测器则通过自适应迭代过程来跟踪图像中相关统计特性,以达到抑制相关背景和提高小目标可检测性的目的。

二维横向自适应预测器采用的支撑区域有多种

形式。图 1 所示为部分支撑区域的示意图。图中 5×5 方框表示 5×5 抽头矩阵,用于存放输入数据;灰色方块表示参加预测的输入数据,黑色方块为被预测值,白色方块中的数据不参加预测。

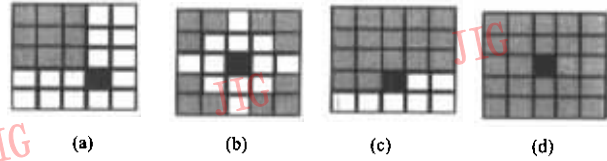


图 1 支撑区域示意图

二维支撑区域是 TDNLMS 自适应预测器有别于一维自适应预测器的重要特征,它需要根据被处理图像中背景和目标的统计特性进行设置^[9,10]。

3 影响有限字长效应的因素

确定自适应预测器数字实现的理想字长,需要采用理论分析与仿真实验相结合的方法,即通过理论分析来确定影响自适应预测器有限字长效应的因素,并通过仿真实验来观察自适应预测器在特定应用环境中的有限字长效应,以便从中确定能够满足性能要求的运算字长,其中,包括分析影响自适应预测器有限字长效应的因素,并构造一组实验条件,使之覆盖特定应用领域中各个因素可能出现的情况,这是根据实验确定运算字长的基础。

分析自适应预测器的特性和计算过程可知,影响预测器有限字长效应的因素包括其结构参数和应用环境特性,其中预测器的结构参数包括步长参数和预测器的支撑区域;应用环境特性包括输入数据的统计特性和表示单个像素数据的字长。

由于步长参数是影响 LMS 类算法性能的关键因素,较小的步长参数虽可使自适应误差减小,但却导致严重的有限字长效应;另一方面,由于自适应滤波器的有限字长效应还受输入过程自相关函数条件数的影响(条件数为共扼矩阵的最大最小特征值之比),因此一般输入过程自相关矩阵条件数越大,算法数字实现的有限字长效应越严重^[1],也就是说,若输入过程数据相关性越强,白噪声成分越少,则 LMS 算法的有限字长效应越严重。可见,步长参数和应用环境统计特性是影响自适应预测器有限字长效应的两个因素。

在小目标检测中,自适应预测器的处理对象分别为红外和可见光图像。大家知道,不同成像方式产生的图像具有不同的统计特性,其中可见光成像清晰,图像中噪声成分很少,其反映在输入数据中,则

表现为自相关程度较高,自相关特性变化较快;红外成像因受热噪声和粒子噪声的影响,往往包含较多白噪声成分,此外,由于红外线波长较长,容易产生干涉和衍射而造成物体边缘成像模糊,其反映在输入数据中,就表现为自相关程度较低和自相关特性变化较慢,因此,自适应预测器处理可见光图像时的有限字长效应比处理红外图像时严重,同时对运算环节各变量的精度要求更高。

二维支撑区域形式将对自适应预测器的有限字长效应产生以下多方面影响:(1)支撑区域控制输入数据能量在预测通道和误差通道之间的分配,因而显著影响 E_k 大小;(2)预测器均方误差与预测器的抽头数量有关^[1],即 E_k 大小受支撑区域中工作抽头个数影响;(3)由于改变参加预测的抽头数量和位置,将会相应生成不同的预测器输入向量,从而会改变输入过程的自相关特性。

自适应预测器接收的输入数据可能有不同字长,如对于小目标检测系统,像素字长在 8~16bit 之间。从理论上分析,不同字长的输入数据虽对抽头权值没有影响,但是由于要求对迭代计算的中间结果字长有相应的调整,因此,输入数据字长也是必须考虑的因素之一。

综上所述,设计 TDNLMS 自适应预测器时,需要考虑步长参数、输入数据相关程度、支撑区域和输入数据字长 4 个因素对有限字长效应的影响,才能确定不同条件下自适应预测器中各变量的精度和数值表示范围,以降低有限字长效应和防止自适应过程发生溢出。

4 TDNLMS 预测器各变量分析

数字运算中,可以认为加减运算不会溢出,即加减运算不引入量化误差,而乘、除法运算中,如果存储结果的寄存器位数不足以存放全部计算结果,则会引入量化误差。在 TDNLMS 预测器的计算流程中,有以下两个计算环节会引入量化误差:

$$T_k = \mu E_k / \|X_k\| \quad (4)$$

$$U_k = T_k X_k \quad (5)$$

T_k 和 U_k 分别表示算法中第 k 次迭代产生的两个中间变量,算法的权值更新方程式(3)可以重新写为

$$W_{k+1} = W_k + U_k \quad (6)$$

分析式(4)~式(6)可知,TDNLMS 自适应预测器计算流程中需要考察的变量有: T_k 、 U_k 、 W_k ,其中 T_k 、

U_k 则通过引入量化误差来产生有限精度效应。预测器抽头权值 W_k 的精度由 U_k 决定,对 W_k 的研究目的在于防止自适应权值大小超出预测器的表示范围。下面将分别分析 3 个变量受应用环境统计特性和结构参数影响的情况。

4.1 抽头权值 W_k

W_k 的取值范围受像素字长、输入数据自相关函数和步长参数的影响不大,如果以相同的支撑区域处理相同图像,则自适应收敛过程结束后,权值将达到基本相同的稳定状态。如果步长参数过大,将引起权值振荡,则预测器就丧失了正常预测功能,但这种情况不属于有限精度问题的讨论范围。

4.2 中间变量 T_k

T_k 的精度是自适应预测器中的关键因素,因其可能导致自适应过程停滞。自适应预测器中,抽头输出 $x_i \times w_i$ 和 E_k 以全精度方式表示。中间变量 T_k 可以从 E_k 的移位结果中截取^[9,10],而截取操作将会引入量化误差。这一环节需要确定 T_k 的最高有效位 (most significant bit, MSB) 和最低有效位 (least significant bit, LSB)。像素数据字长、步长参数等 4 个参数对 T_k 精度的影响情况如下:

(1) 像素数据字长

设输入数据字长为 8bit 时,第 k 次迭代的中间结果为 T_k 。为简化分析起见,更高灰度分辨率的输入数据表示为 $X_{l_k} = X_k \times 2^n$, $n = l - 8$,其中, l 为像素字长,第 k 次迭代的被预测值表示为 $D_{n_k} = D_k \times 2^n$,将 D_{n_k} 带入式(6),即得到 $T_{l_k} = \frac{1}{2^n} \times T_k$ 。可见, T_k 与 2^n 成反比。若输入像素字长增加 1bit,则相应地要求 T_k 的 LSB 分辨率提高一倍。

(2) 步长参数 μ

从 T_k 的定义可知: T_k 与 μ 成正比,即 μ 值越小,要求 T_k 的 LSB 分辨率越高。

(3) 支撑区域

由于支撑区域决定预测器可预测的输入数据的最小相关长度,因此其将影响预测器误差通道的输出能量,并进一步影响 T_k 的大小,例如,因图 1(d) 支撑区域去相关步长为 1,这将使输入数据中大部分能量进入预测通道,故 E_k 较小,此时要求 T_k 达到较高精度,以保证预测器充分收敛;因图 1(b) 支撑区域去相关步长为 2,这将使输入数据中较多能量进入误差通道,故 E_k 较大,这样完成充分收敛所需 T_k 的精度就相应降低。

(4) 输入数据统计特性

预测器处理对象为红外图像时,由于预测误差含有足够噪声成分,因此对 T_k 的精度要求相应降低;当处理对象为可见光图像时,由于预测误差中噪声成分不足,使得 E_k 较小,为了防止自适应过程停滞,需要提高抽头权值和中间结果的精度,因此对 T_k 的精度要求相应提高。

4.3 中间变量 U_k

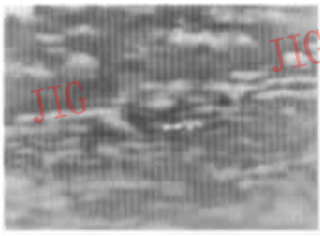
由式(5)可知,由于 U_k 是由 T_k 与输入数据相乘得到,因此不受输入像素字长的影响,而且其受其他参数的影响情况与 T_k 相同。权值更新方程(式(6))中,由于 U_k 与 W_k 之间为加法运算,不会引入新的量化误差,因此 W_k 与 U_k 精度相同,但是 W_k 的数值表示范围大于 U_k 。

5 运算字长的实验确定方法

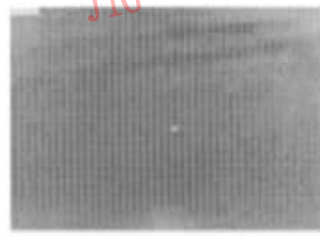
下面的实验使用无限精度 TDNLMS 自适应预测器来处理红外和可见光图像,以考察不同条件下 W_k 、 T_k 、 U_k 运算结果的分布情况,并由此确定该变量的数值表示范围和运算环节应当达到的精度。实验条件必须覆盖影响有限字长效应的 4 个因素的可能

变化范围,以保证根据实验结果确定的运算字长能够使预测器在实际应用中具有良好的检测性能;无限精度运算可以用双精度浮点运算形式实现,而在双精度浮点运算方式下,有限字长效应则可以忽略。

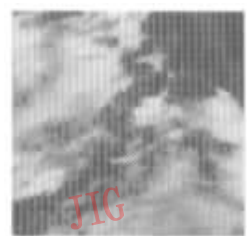
图 2 所示为被处理图像,其中图 2(a)、图 2(b)为红外图像,图 2(c)为可见光图像。这 3 幅图像代表了空中小目标检测系统可能处理的图像特性,其分别为强杂波背景红外图像,高斯背景红外图像和强杂波背景可见光图像。表 1 所示为不同实验条件下, T_k 的分布情况。表 1 中实验条件栏定义为:图像名称_像素字长_支撑区域。其中,图像名称指图 2(a)、图 2(b)、图 2(c);支撑区域 b、d 分别指图 1(b)支撑区域和图 1(d)支撑区域。实验中预测器的步长参数为 0.1,实验条件栏标有“*”的行,步长参数为 0.01。表 1 中数据取自预测器稳态阶段,表示 T_k 小于某字长 LSB 的次数占所有迭代次数的比例,简称为超精度比例,例如, 2^{-30} 列第 1 行数据用 0.0011 表示,即以图 1(d)的支撑区域来处理像素字长为 8bit 的图像(图 2(a))时, T_k 小于 2^{-30} 的次数在处理整幅图像过程中所占的比例为 0.0011。实验数据中,有参考价值的是接近最大、最小精度的数据,表中空单元为非关键数据,不影响观察实验结果。



(a) 强杂波背景小目标红外图像



(b) 高斯背景小目标红外图像



(c) 强杂波背景小目标可见光图像

图 2 3 幅不同统计特性的小目标图像

表 1 自适应稳态阶段中间结果 T_k 分布受各参数的影响情况

条件	2^{-42}	2^{-40}	2^{-36}	2^{-32}	2^{-30}	2^{-28}	2^{-26}	2^{-24}	2^{-20}	2^{-16}
a-8-d	3.107×10^{-5}	3.107×10^{-5}		2.175×10^{-4}	0.0011	0.0032	0.0121	0.0512	0.6040	0.9970
a-16-d	3.107×10^{-5}	2.175×10^{-4}	0.0032	0.0512	0.1983	0.6040	0.9417	0.9970	1	1
a-8-b	0	0	0	6.214×10^{-5}	2.175×10^{-4}	7.146×10^{-4}	0.0033	0.0126	0.2037	0.9558
a-16-b	3.107×10^{-5}	6.214×10^{-5}	7.146×10^{-4}	0.0126	0.0523	0.2033	0.6256	0.9558	1	1
a-16-b*	0	5.592×10^{-4}	0.0081	0.1216	0.4386	0.8791	0.9960	1	1	1
b-8-d	0	0	2.905×10^{-4}	2.905×10^{-4}	0.0010	0.0039	0.0163	0.0650	0.7834	1
b-8-d	4.357×10^{-5}	2.614×10^{-4}	0.0039	0.0647	0.2577	0.7829	0.9970	1	1	1
b-8-b	0	0	0	8.715×10^{-5}	2.614×10^{-4}	0.0011	0.0043	0.0189		0.9983
b-16-b	4.357×10^{-5}	1.017×10^{-4}	0.0011	0.0189	0.0736	0.2882	0.8283	0.9993	1	1
c-8-d	0	0	2.603×10^{-5}	8.330×10^{-4}	0.0026	0.0127	0.0507	0.1999	0.9458	1
c-16-d	1.302×10^{-4}	6.508×10^{-4}	0.0128	0.1950	0.5763	0.9364	0.9999	1	1	1
c-8-b	0	0	0	1.041×10^{-4}	4.685×10^{-4}	0.0021	0.0097	0.0376	0.4379	0.9981
c-16-b	5.206×10^{-5}	2.343×10^{-4}	0.0022	0.0378	0.1442	0.4380	0.8355	0.9981	1	1
c-16-d*	0.0020	0.0078	0.1215	0.8135	0.9963		1	1	1	1

表 1 的实验数据验证了文章第 4 节中关于各个因素对 T_k 精度要求的分析结果,即

(1) 输入像素字长扩展到 16bit 时,对应于相同超精度比例的 T_k 最小值缩小 2^{-8} 倍。

(2) 对应相同的超精度比例,步长参数为 0.1 (表 1 中 c_16_d、a_16_b) 和 0.01 (表 1 中 c_16_d*、a_16_b*) 时,对应的 T_k 基本相差 10 倍(根据表中数据按照插值法估计)。

表 2 自适应稳态阶段中间结果 U_k 分布受各参数的影响情况

条件	2^{-28}	2^{-26}	2^{-24}	2^{-22}	2^{-20}	2^{-16}	2^{-14}	2^{-12}	2^{-10}	2^{-8}
a_8_d	3.107×10^{-5}	9.321×10^{-5}	5.592×10^{-4}	0.002 1	0.007 1		0.329 6	0.816 4	0.991 4	1
a_16_d	3.107×10^{-5}	9.321×10^{-5}	5.592×10^{-4}	0.002 1	0.007 1		0.329 6	0.816 4	0.991 4	1
a_8_b	0	0	0	4.350×10^{-4}	0.002 2	0.032 2			0.843 1	0.996 1
a_16_b	0	0	0	4.350×10^{-4}	0.002 2	0.032 2			0.843 1	0.996 1
a_16_b*	0	3.418×10^{-4}	0.001 5	0.004 9	0.020 5	0.302 9	0.667 6	0.975 7	1	1
b_8_d	0	1.017×10^{-4}	6.391×10^{-4}	0.002 1	0.009 2	0.145 8	0.468 8	0.961 4	0.999 8	1
b_16_d	0	1.017×10^{-4}	6.391×10^{-4}	0.002 1	0.009 2	0.145 8	0.468 8	0.961 4	0.999 8	1
b_8_b	0	0	1.452×10^{-4}	5.229×10^{-4}	0.002 4	0.041 4		0.516 8	0.980 3	1
b_16_b	0	0	1.452×10^{-4}	5.229×10^{-4}	0.002 4	0.041 4		0.516 8	0.980 3	1
c_8_d	0	3.905×10^{-4}	0.001 3	0.005 1	0.022 1	0.346 4	0.769 2	0.994 7	1	1
c_16_d	0	3.905×10^{-4}	0.001 3	0.005 1	0.022 1	0.346 4	0.769 2	0.994 7	1	1
c_8_b	0	0	1.822×10^{-4}	0.001 0	0.003 9	0.062 7	0.208 7	0.596 2	0.953 1	0.999 8
c_16_b	0	0	1.822×10^{-4}	0.001 0	0.003 9	0.062 8	0.208 7	0.596 2	0.953 1	0.999 8
c_16_d*	0.001 1	0.003 5	0.013 6	0.053 7	0.206 9	0.979 7	1	1	1	1

权值向量 W_k 的精度由 U_k 决定,实验中对 W_k 的考察着重于确定权值的最大值。由于篇幅限制,在此省略有关 W_k 的实验数据。

由于图 2 中的图像代表了天空背景小目标图像的一般统计特性,因此,实验数据能够在统计意义上为用于空中小目标检测的 TDNLMS 自适应预测器的精度要求提供参考。根据表 1、表 2 的实验数据,本文选择 5% 的超精度比例为门限,可以得到如表 3 所示的 T_k 、 U_k 和 W_k 的二进制字长。

表 3 根据实验数据确定的 TDNLMS 预测器字长

变量名称	MSB	LSB	字长(bit)
T_k	2^{-17}	2^{-32}	16
U_k	2^{-9}	2^{-20}	12
W_k	2^1	2^{-20}	20

但需要说明的是,表 3 中字长选择没有考虑步长参数取值 0.01 和以图 1(d) 类型的支撑区域处理可见光图像的情况(表 2 中 c_16_d* 数据)。由于步长参数较小,并且可见光图像白噪声含量很少,从而导致自适应预测器在该条件下的有限字长效应最为严重。在实际应用中选择较大步长参数 μ 值则可以避免出现上述情况^[10]。

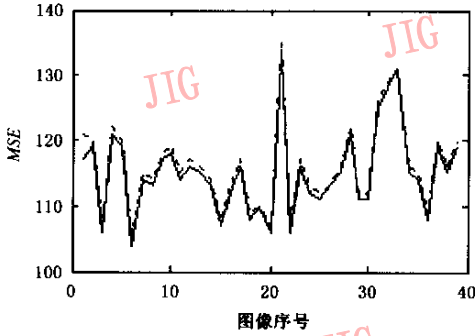
(3) 对应相同的超精度比例,在相同条件下,预测能力较弱的图 1(b) 支撑区域所需的 T_k 字长少于预测能力较强的图 1(d) 支撑区域。

表 2 为不同实验条件下, U_k 取值的分布情况,其中实验条件和实验数据的定义与表 1 相同。表 2 数据显示,像素从 8bit 等比扩展为 16bit 时,对 U_k 的分布没有影响,且 U_k 受步长参数、支撑区域、输入数据相关程度影响的情况与 T_k 类似。

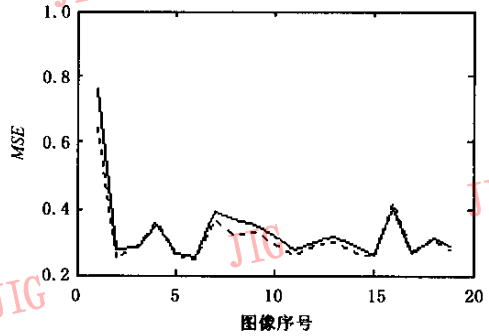
6 有限字长预测器性能检验

对有限精度预测器的性能检验包括自适应预测器的背景抑制能力和提高小目标可检测性的能力两部分。前者以预测器均方误差(mean square error) MSE 作为评价指标,后者以小目标信噪比增益作为评价指标。

下面的实验以具有不同统计特性的小目标图像为处理对象,用于比较有限精度预测器和无限精度预测器产生的均方误差。图 3 所示为其中两个图像序列的处理结果。图 3(a) 序列包含 39 帧图像,为强杂波背景红外图像,经自适应预测器处理后,残余误差较大;图 3(b) 序列包含 19 帧图像,为高斯背景红外图像,经自适应预测器处理后,残余误差较小。图中横坐标为图像序号,纵坐标为一帧图像中的预测均方误差。实线表示无限精度预测器的 MSE ,虚线表示有限精度预测器的 MSE 。两组图像经有限精度和无限精度预测器处理后的平均 MSE 之差分别为 0.947 4 和 0.011 5,它们占无限精度 MSE 的比例分别为 0.82% 和 3.71%。更多的实验数据表明,采用



(a) 强杂波背景红外图像序列处理结果



(b) 高斯背景红外图像序列处理结果

图 3 有限精度预测器处理图像序列产生的 MSE(虚线)与无限精度预测器生成的 MSE(实线)比较

表 3 所示字长的自适应预测器稳态跟踪的 MSE 偏差小于无限精度运算的 4%。

表 4 列出图像序列中,部分小目标在预测器处理前后的信噪比(signal-to-noise ratio)SNR,用以确定有限字长运算对自适应预测器小目标检测性能的影响。信噪比按以下公式计算:

$$SNR = 10 \times \log_{10} \frac{(I - u)^2}{\sigma^2} \quad (7)$$

其中, u 为背景均值, σ^2 为背景方差, I 为目标平均亮度。

表 4 小目标信噪比增益比较

目标编号	原图 SNR	有限精度 SNR	无限精度 SNR
1	2.34	8.72	10.90
2	-4.27	14.30	15.21
3	-1.15	13.79	15.39
4	4.19	12.01	12.58
5	1.64	11.76	12.15
6	1.53	13.10	13.15
7	3.02	14.87	14.96
8	-3.76	12.30	11.28
9	0.35	10.40	9.23
10	3.53	18.35	18.49
11	-2.49	11.60	10.89
12	3.80	15.86	14.29
13	0.65	14.86	10.89
14	2.13	16.47	17.29
平均信噪比增益	—	12.64	12.52

表 4 说明,采用表 3 所示字长的有限精度自适应预测器,其提高小目标可检测性的能力与无限精度预测器十分接近。

以上实验从稳态跟踪性能和小目标信噪比增益两方面证明了以下两点:①按照本文提出的方法确定的自适应预测器运算字长,使预测器的数字实现能够较好保持无限精度预测器的小目标检测性能;

②本文提出的理论和实验相结合来确定自适应预测器运算字长数字实现的方法是切实可行的。

7 结 论

确定自适应滤波器数字实现的运算字长是滤波器设计过程中的关键步骤。本文以小目标检测为应用背景,通过 TDNLMS 自适应预测器有限字长效应受步长参数、支撑区域、输入数据字长和输入过程统计特性影响的分析,提出了理论分析和实验相结合来确定自适应预测器数字实现的运算字长的方法。仿真结果表明,按照本文提出的方法确定的自适应预测器运算字长,可以保证由有限字长运算导致的预测器性能损失在设计要求的范围之内。在今后的工作中,作者将进一步从定量分析的角度来研究确定自适应预测器运算字长数字实现的方法。

参 考 文 献

- 1 Simon Haykin. Adaptive filter theory (third edition) [M]. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall, 1996.
- 2 Nicol C J, Larsson P, Azadet K, et al. A low-power 128-tap digital adaptive equalizer for broadband modems [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1997, 32(11): 1777-1789.
- 3 Nascimento V H, Stayed A H. Unbiased and stable leakage-based adaptive filter-[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1999, 47(12):3261~3276.
- 4 Chang P S, Willson A N. A round-off error analysis of the normalized LMS algorithm[A]. In: Proceeding of ASILOMAR-29[C], Pacific Grove, California, USA, 1996: 1337~1341.
- 5 Chi Hsiang-Feng. Efficient computation schemes and bit-serial architectures for normalized LMS adaptive filtering in audio applications [A]. In: Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems[C], Geneva Switzerland, 2000, 3: 666~669.

- 6 Hadhoud M M, Thomas D W. The Two-dimensional Adaptive LMS (TDLMS) algorithm[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 1988, 35(5): 485~494.
- 7 Soni T, Zeidler J R, Ku W H. Performance evaluation of 2-D adaptive prediction filters for detection of small objects in image data[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1993, 2(3): 327~340.
- 8 朱红,赵亦工. 基于背景自适应预测的红外弱小目标检测[J]. 红外与毫米波学报,1999, 18(4): 305~310.
- 9 桑红石,沈绪榜,陈朝阳. 用于小目标检测的 TDNLMS 自适应预测器结构优化[J]. 小型微型计算机系统,2004, 25(5): 882~885.
- 10 Sang Hong-shi, Shen Xu-bang, Chen Chao-yang. Architecture of a configurable two-dimensional adaptive filter used for small object detection and digital image processing [J]. Optical Engineering, 2003, 42(8): 2182~2189.



桑红石 1970 年生,先后于 1990 年、1994 年在华中理工大学自控系获得学士和硕士学位,2003 年获华中科技大学模式识别与智能系统专业博士学位,现在华中科技大学从事博士后研究。主要研究领域为嵌入式信息处理系统设计、数字图像处理和数字集成电路设计。

E-mail:sanghs@sina.com



张天序 1947 年生,教授,博士生导师。中国科学技术大学无线电专业本科毕业生,华中理工大学计算机硕士毕业,浙江大学光科系博士毕业。现为华中科技大学图像识别与人工智能研究所所长,特聘教授。研究领域为图像信号分析、机器视觉、精确制导智能化信息处理等。

HP 个人工作站新产品系列

近期 intel 联合 HP 预发布了“EM64T”(Extended Memory 64 Technology)技术,EM64T 技术也就是扩展 64 位存储技术,“扩展”有以下两方面含义:首先是处理器实现了 64 位计算,更重要的是,并没有因为有了 64 位而抛弃了 32 位技术,由于现存的像微软这样的操作系统和主流行业应用软件还是基于 32 位设计,因此新推出的三款个人工作站产品采用 32/64 位兼容。其次,工作站级产品的标志性内存 ECC 内存,在新工作站中也由老的 DDR 升级到 DDR-2。随着技术的发展及工程设计的新需求,传统的 DDR 内存越发“不堪负重”,升级后的 DDR-2 内存很好地解决了这些问题。另外,工作站的一大特点就是硬盘要求高、速度快。新产品中还配备了目前最新潮流的 SATA 和 SCSI 接口标准的硬盘,供用户根据自己需要选装,而传统的 ATA 硬盘已经不再采用。

xw4200: HP 在生产这款工作站时,市场定位为“高性能、低成本”(Evolutionary Low-cost, High-performance workstation)。从技术上来看,xw4200 采用的 P4 处理器,实现了从 32 位到 64 位的飞跃。使用 EM64T 技术的 P4 处理器计算速度将更快,并且可以支持 4GB 的内存。芯片组采用英特尔的 925X,这是英特尔 2004 年新推出的产品。其强大主板硬件配置使这款工作站图形表现能力良好;显卡方面根据用户的不同需要,选择了不同等级的 NVIDIA 或 ATI 的图形显示芯片,可保证无论是 2D 还是 3D 图形都具有良好的表现能力。

xw6200:xw6200 比起它的上一代产品,外观有不少改进。主机箱的空间被压缩了,变得很精致小巧。xw6200 可以支持双至强处理器,加上小巧的机箱,非常适合紧凑的办公条件。另外,这款产品还可以同时支持 8 台显示器,这样当进行视觉创作时,需要多角度操作,8 台显示器会给创作者最大的支持。xw6200 采用了 64 位至强处理器,内存支持也非常强大,最大可达到 8GB。采用 PCI E 图形接口,可使最高总带宽达到原来的 4 倍。

xw8200:xw8200 采用了双至强 EM64T 处理器和 E7525 下一代高性能芯片组,上一代产品的 xw8200 内存已经达到 12GB,xw8200 采用 64 位扩展技术,使得内存容量可以支持到 16 个 GB。工作站需要大容量的硬盘,而 xw8200 能够支持 4 个 SATA 硬盘,最大容量达到 1.5TB;或 5 个 Ultra 320 SCSI 硬盘,最大容量可达 1.5TB。这款产品大量使用 PCI E 图形接口标准,速度比起 AGP8X 要提高许多。此外,xw8200 还为高端 3D 图形用户配置了 NVIDIA Quadro FX 3400 图形显示芯片。