

自动目标识别中的图像序列质量评价方法

刁伟鹤 毛峡 常乐

(北京航空航天大学电子信息工程学院 北京 100191)

摘要: 图像质量评价是自动目标识别(ATR)性能评估中的重要组成部分。传统的评价指标如目标信噪比(SNR)等针对的皆是单幅图像,而对于图像序列质量评价的研究尚属空白。针对该问题,该文首次提出了“帧间目标变化程度”的概念,利用其定量描述图像序列的质量。该指标融合了 3 部分信息:图像序列中帧间目标区纹理变化的信息,帧间目标大小变化的信息以及帧间目标位置不规律的信息。为验证所提指标的有效性,设计了用于分析“帧间目标变化程度”和 ATR 算法实际效果关系的实验,实验用样本为真实的目标图像序列。实验结果表明,“帧间目标变化程度”与 ATR 算法性能具有很强的相关性,基本呈现单调关系,是一种有效的图像序列质量评价标准。

关键词: 自动目标识别性能评估; 图像序列质量评价; 帧间目标变化程度

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2010)08-1779-07

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2009.01194

Quality Estimation of Image Sequence for Automatic Target Recognition

Diao Wei-he Mao Xia Chang Le

(School of Electronic and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: Image quality estimation is an important part of performance evaluation for Automatic Target Recognition (ATR). Traditional image metrics are focused on single image, and there is no valid method to estimate the quality of image sequence. According to the above problem, this paper proposes the concept “Inter-Frame Change Degree of Target (IFCDT)” which is used for quantitatively describing image sequence quality for the first time. There are three key elements in the formula of the proposed metric, which embody the information of inter-frame change of target image texture, inter-frame change of target size and inter-frame change of target position respectively. To validate this image sequence metric, this paper designs an experiment for analyzing the relationship of IFCDT and ATR algorithm performance, while the samples of this experiment are actual target image sequences. The experiment result shows that there is a good monotone relationship between the image sequence metric and algorithm actual performance. Therefore, it can be concluded that the metric is a valid criterion to evaluate the quality of target image sequence.

Key words: ATR (Automatic Target Recognition) performance evaluation; Image sequence quality estimation; Inter-Frame Change Degree of Target (IFCDT)

1 引言

自动目标识别(ATR)技术是当今军事技术研究领域的一个前沿课题。在ATR算法的理论研究方面,基于各种理论的算法层出不穷、日新月异,空频域滤波、小波变换、模版匹配、卡尔曼滤波、粒子滤波等理论都已经应用到算法的设计中。算法创新上的瓶颈已经不再是缺乏理论的支持或是算法本身如何构造,而是如何客观准确地评价算法性能,从而指导算法的设计。在评价ATR算法性能时,许多学者利用图像库测试其算法,但却很难准确比较这些算法的性能。因为在某个图像库上得出的测试结果

不一定在其它图像库上也能得出相同的结果;而且,由于测试时往往使用的是有限个战场条件下的图像,算法的性能测试也就被限制在少数战场条件范围内,无法验证所有战场条件下的鲁棒性。另外,很多学者在评价算法时使用自己采集或模拟合成的图像,利用这些图像对算法进行评价可靠性更低。因此,ATR算法性能评价迫切要求对输入图像进行准确的定量描述,即需要一个适合各种战场条件的图像度量,本文将其称为图像质量评价。

对国内外相关文献进行总结分析后发现,该领域的研究主要集中在对单幅图像的质量评价,目前为止尚未发现针对图像序列特点的质量评价方法。然而,目标跟踪作为ATR的重要组成部分,面对的正是由多帧图像构成的图像序列,这使得对图像序

2009-09-08 收到, 2009-11-26 改回

航天支撑技术基金和北京航空航天大学博士生创新基金资助课题

通信作者: 刁伟鹤 diaoweihe@163.com

列的质量评价成为不可忽视的问题。目前应用最广泛的图像指标如目标与背景对比度^[1](TBC)、目标信噪比^[2](SNR)、信杂比^[3](SCR)等都只是考虑了单幅图像内部的相关因素,而没有考虑多幅图像之间的相互影响,所以这些指标用于图像序列的质量评价是不妥当的。由于处理图像序列的目的主要是进行目标跟踪,因此,本文将探寻图像序列中干扰目标跟踪的因素,进而从目标跟踪难易程度的角度提出图像序列的质量评价方法。

本文针对ATR中的图像序列质量评价问题进行研究。首先介绍了传统图像质量指标及其在评价序列图像中的缺陷,然后定性分析了图像序列中影响目标跟踪的因素,进而提出了用于定量描述图像序列质量的指标——帧间目标变化程度,最后通过实验验证了该指标的有效性。

2 基本的动机

ATR算法性能评价通常分为两步^[4]:首先获取影响ATR性能的图像质量的描述量;然后建立图像质量与ATR性能之间的相互关系的数学模型。ATR性能评价一般采用响应函数模型的方法,该方法的实现是通过建立ATR的输入和输出的函数关系,如式(1)所示:

$$P_m = P_m(P, M) \quad (1)$$

式中 P_m 为ATR的性能; P 为ATR系统的参数; M 为输入图像的图像质量指标,也正是本文所研究的问题。一般而言,图像质量的评价结果应该与ATR算法性能相关,好的图像评价指标与ATR算法性能之间应呈现单调关系^[5-7]。

2.1 传统图像质量指标在评价序列图像中的缺陷

当前,图像质量评价方法可以大致分为两类:(1)基于统计量的图像度量。主要包括:目标与背景对比度^[1](Target to Background Contrast, TBC),信噪比^[2](SNR),信杂比^[3](SCR),目标与背景区灰度分布熵差^[4](Target versus Background Entropy, ETB),K-S统计^[4](Kolmogorov-Smirnov Statistic, KSZ),目标图像区像素数(Pixels On Target, POT),目标周长平方与面积比(Perimeter Squared Area, P2/A),目标图像边缘平均强度^[4](Average Target Edge Strength, ATES),目标遮隐度、目标混淆度^[8]等。(2)基于“杂波”的图像度量。“杂波”一般被定义为场景中类似于目标,但不是目标的物体,基于该方法主要包括:统计方差杂波度^[9](Statistical Variance, SV),边缘概率杂波度量^[10](Probability Of Edge, POE),改进共生矩阵^[11](Improved Co-Occurrence Matrix, ICOM),基于纹理的图像杂

波^[5,6](Texture-based Image Clutter, TIC)以及基于CRLB(Cramer-Rao Lower Bound)的杂波^[12]等。

本文对上述图像指标进行了分析,发现这两类图像指标都是基于单幅图像而提出的,将它们应用于图像序列的质量评价存在致命的缺陷,主要表现在两个方面。

(1)传统图像指标都是描述单幅图像内部背景、噪声与目标之间的关系,而没有考虑序列中不同帧之间的相关信息,这势必造成信息的缺失。

(2)传统图像指标主要愿望是描述图像中检测或识别目标的难易程度,而图像序列一般用于目标跟踪,这也使得对图像序列的质量评价会造成误差。

传统指标在目标图像序列质量评价上的固有缺陷使得有必要提出一种新的适用于序列特点的图像指标。一般而言,处理图像序列的目的是跟踪目标,所以,图像序列质量的评价结果应体现目标跟踪难易程度的信息。一个有效的图像序列质量评价方法应该能够提取序列中对跟踪算法造成影响的因素,并保证其有用信息的完备和无用信息的低冗余。因此,本文在提出目标图像序列质量评价方法之前,首先分析了序列中干扰目标跟踪的因素。

2.2 图像序列中干扰目标跟踪的因素

对多种典型的跟踪算法进行研究发现,与目标检测或者识别不同,单幅图像本身的复杂对目标跟踪并没有干扰,而真正造成干扰的是图像所包含信息在帧间的变化。如图1所示,图1(a)序列中的目标和背景都比较复杂,但它们帧间没有变化,实验证明,在这组序列中跟踪目标的难度是很小的;图1(b)序列中任何一帧图像的目标和背景都比较简单,但是它们在帧间的变化较大,显而易见,在这组序列中对目标进行跟踪是比较困难的。

进一步研究发现,并不是所有背景区域的变化都会对目标跟踪造成干扰。对于序列中的某一帧图像而言,与目标距离较远的区域对目标的影响是可以忽略的。例如图1(a)序列中图像左上角的树林虽然很复杂,但并不会对跟踪目标的任务产生干扰。基于上述分析,本文将影响目标跟踪的因素归纳为3类。

(1)帧间目标纹理的变化,这里的目标区域包括目标本身及其邻近的局部背景区域;

(2)帧间目标大小的变化;

(3)帧间目标位置的变化。

如果图像序列质量评价方法可以定量且准确描述这3方面的信息,则可以认为该方法是有效的。

在提出定量的描述方法之前,还需要确定两个问题:(1)局部背景区域如何定义?(2)目标位置如何

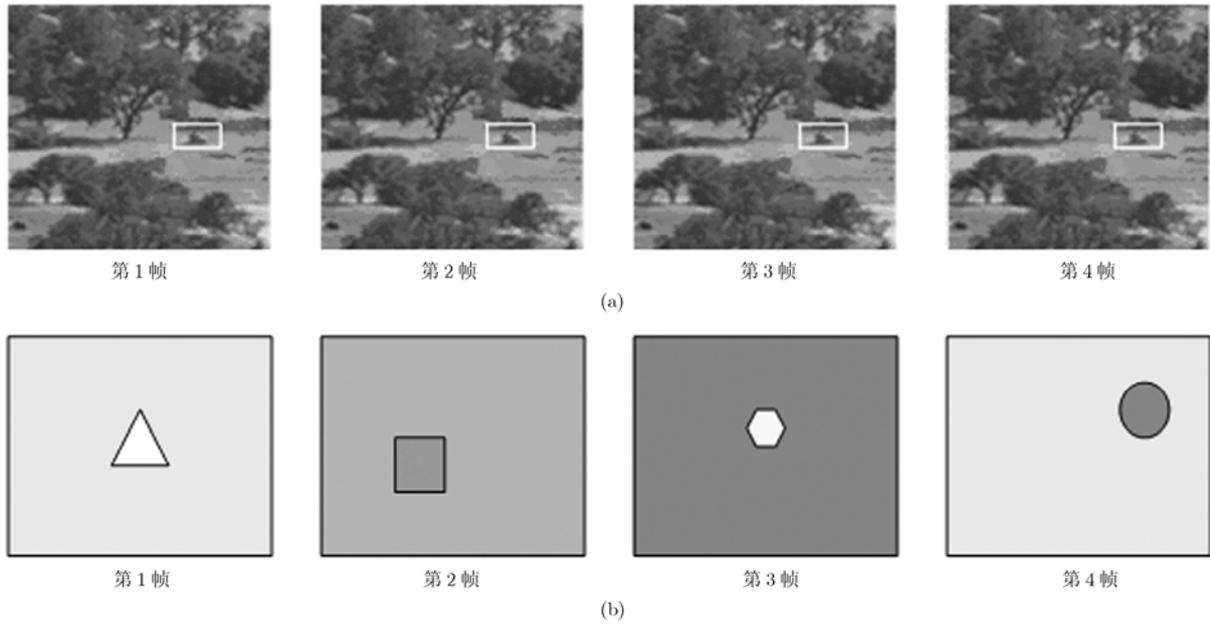


图1 两组特点不同的图像序列

变化才会对目标跟踪造成干扰？

本文对局部背景区域的定义参照文献[6,13]。局部背景区域为面积是包含目标最小矩形两倍的矩形区域中除去目标的部分，如图2所示，可以认为该区域外的背景对目标跟踪没有干扰。

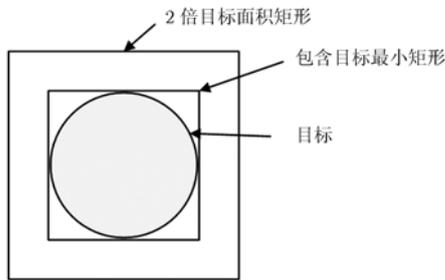


图2 局部背景区域定义示意图

本文发现并不是只要目标位置在帧间发生变化就会对目标跟踪造成干扰。如图3所示，图3(a)表示帧间目标位置不变；图3(b)表示目标位置在帧间规律变化，呈现匀速直线运动；图3(c)表示目标位置在帧间不规律变化，呈现不规则的运动轨迹。本文利用合成的理想图像序列进行了实验，序列中不同帧之间的目标图像内容及大小不变，只有目标位置发生变化。实验发现，对于大多数跟踪算法而言，图3(a)和3(b)中的目标位置变化对目标跟踪基本没有影响，跟踪精度很高。而图3(c)所示的目标位置变化会对目标跟踪造成干扰，跟踪精度较低。因此，本文做如下规定：图像序列中，当目标在帧间呈现静止或匀速直线运动时，认为目标位置变化对目标

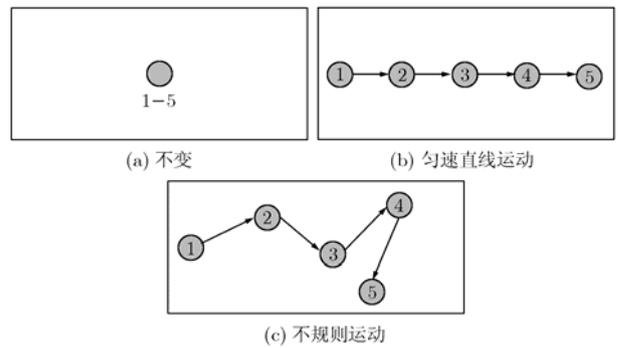


图3 帧间目标位置变化示意图

跟踪没有干扰。

基于上述分析，本文提出了“帧间目标变化程度”，并将其用于评价图像序列的质量。在该指标的计算过程中包含了3部分内容：(1)目标纹理变化程度，主要体现帧间目标图像纹理变化的信息；(2)目标大小变化程度，主要体现帧间目标各向尺寸变化的信息；(3)目标位置变化程度，主要体现帧间目标位置不规则的信息。

3 帧间目标变化程度

定义 1 帧间目标变化程度 (Inter-Frame Change Degree of Target, IFCDT)是一个用于评价目标图像序列质量的指标，主要描述了序列中目标区域包含信息的帧间变化，包括纹理、大小和位置。其值越大，表示目标区域包含信息在帧间变化越剧烈，反之亦然。

该指标的计算方法如式(2)所示：

$$IFCDT = \sqrt{c_t^2 + c_s^2 + c_p^2} \quad (2)$$

其中元素 c_t 表示序列中帧与帧之间的目标纹理变化程度，元素 c_s 表示目标大小变化程度，元素 c_p 表示目标位置变化程度。上述3个元素中所代表信息及计算方法描述如下。

3.1 目标纹理变化程度

定义2 目标纹理变化程度是一个定量的值，用 c_t 表示，体现一组图像序列中帧间目标图像纹理的变化信息，目标图像区域为面积等于包含目标最小矩形两倍的矩形区域。为便于标准化，令其最大值为1，表示帧间目标图像纹理信息变化幅度最大；最小值为0，表示帧间目标纹理信息没有发生变化。

图像纹理的变化归根结底表现在像素灰度信息和像素空间分布的变化。灰度共生矩阵 (Cooccurrence Matrix, CM) 是公认的一种有效的图像纹理表征方法，它既描述了像素灰度信息又描述了像素空间分布信息^[14,15]。这些特点使得利用该方法来度量帧间目标纹理的变化是可行的。本文通过一个简单的例子来说明共生矩阵的计算方法。如图4所示，图4(a)为3×3像素大小的一幅图像，灰度值如图中所示。共生矩阵为一个 $N \times N$ 的矩阵， N 为图像中可能出现的灰度值的数目，如对于一幅灰度值范围为0~255的图像， $N=256$ ，在该实例中 $N=3$ 。共生矩阵的计算中，每个像素对计算该矩阵的贡献取决于该像素相邻像素的灰度分布，以图4(a)中的中心像素为例，该像素的灰度值为2，与其相邻有1个1，3个2，4个3，则该像素对共生矩阵的贡献如图4(b)所示。依照上述规则，可以得到图像图4(a)完备的共生矩阵，如图4(c)所示。

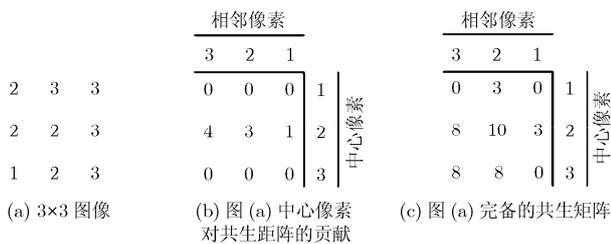


图4 灰度共生矩阵计算实例

本文利用 $\frac{|CM_i - CM_j|}{CM_i + CM_j}$ 来表示两帧图像中目标

区的图像纹理的变化，其中 CM_i 为第 i 帧的目标图像共生矩阵， CM_j 为第 j 帧的目标图像共生矩阵。当两个矩阵完全相同时该式等于0，当两个矩阵非零元素的分布完全不同时该式为1。从而得到目标纹理变化程度的计算方法，如式(3)所示。

$$c_t = \frac{1}{N-1} \sum_{i=2}^N \left(\frac{|CM_i - CM_{i-1}|}{CM_i + CM_{i-1}} \right) \quad (3)$$

式中 N 表示图像序列包含的图像数目。

由于背景遮挡等原因，图像序列中可能会出现目标消失的帧，对于这种特殊情况，在计算时将相关帧图像的共生矩阵 CM_i 设为全0矩阵， CM_{i-1} 设为目标消失前一帧图像的共生矩阵。

3.2 目标大小变化程度

定义3 目标大小变化程度是一个定量的值，用 c_s 表示，体现一组图像序列中帧间目标各向尺寸的变化信息。为便于标准化，令其最大值为1，表示帧间目标大小变化很大，其幅度已经超过目标本身的尺寸；最小值为0，表示目标的大小没有变化。

一般来说，目标的几何形状是不规则的，本文中对目标大小通过包含目标的最小矩形来描述，如图2所示，以下简称为目标矩形。目标大小变化程度的计算过程中主要考虑了目标矩形长和宽的变化，计算方法如式(4)所示。

$$c_s = \frac{1}{N-1} \sum_{i=2}^N \left(\frac{|l_i - l_{i-1}|}{l_{i-1}} + \frac{|w_i - w_{i-1}|}{w_{i-1}} \right) \quad (4)$$

其中 N 为图像序列中的图像数目， l_i 为第 i 帧图像中目标矩形的长， w_i 为第 i 帧图像中目标矩形的宽。由式(4)可知，当相邻帧之间目标矩形的长和宽都不变时该式等于0，当相邻帧之间目标矩形的变化幅度等于目标本身大小时该式等于1。当式(4)的值大于1时，将其设为1。

对于序列中目标消失的情况，在计算时将相关帧图像中目标矩形的长 l_i 和宽 w_i 设为0， l_{i-1} 和 w_{i-1} 设为目标消失前一帧图像中目标矩形的长和宽。

3.3 目标位置变化程度

定义4 目标位置变化程度是一个定量的值，用 c_p 表示，体现一组图像序列中帧间目标位置的不规律性。为便于标准化，令其最大值为1，表示在序列中目标帧间轨迹杂乱无序，帧间目标位移的变化幅度已经超过目标自身的尺寸；最小值为0，表示目标位置在帧间轨迹规律，呈现静止或匀速运动。

当目标呈现静止或匀速直线运动时的特殊情况下，目标在图像中的坐标可能是变化的，但目标在帧间的位移量是不变的。因此，本文利用帧间位移量的变化来描述帧间位置变化程度。同时，本文发现对于帧间位移量的变化相同而目标大小不同的图像序列，目标跟踪的难度是不同的。如图5所示，图5(a), 5(b)表示两组帧间位移变化相同而目标大小不同的图像序列，明显地，图5(a)序列中目标跟踪的难度大于5(b)。因此本文将目标大小引入到目标位

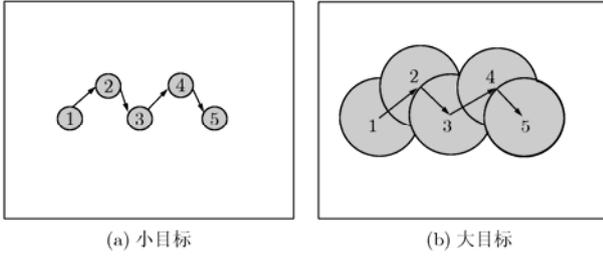


图5 两组帧间位移相同的图像序列示意图

置变化程度的计算中。

令 d_i 表示图像序列中目标从第 $(i-1)$ 帧到第 i 帧的位移, Δ_i 表示第 i 帧中目标图像的各向平均尺寸即目标矩形长和宽的平均值, N 表示图像序列中图像的数目, 则可以得到目标位置变化程度的计算式:

$$c_p = \frac{1}{N-2} \sum_{i=3}^N \frac{|d_i - d_{i-1}|}{\Delta_{i-2}} \quad (5)$$

当利用式(5)计算得到的值大于1时, 将该值强制取1。

对于序列中目标消失的情况, 在计算时将相关帧图像与前一帧图像的目标位移量 d_i 设为0, d_{i-1} 设

为目标消失前两帧之间的目标位移量, Δ_{i-2} 为目标消失前一帧的目标各向平均尺寸。

4 实验及结果

前面的叙述中指出, 图像质量的评价结果应该与ATR算法性能相关, 好的图像评价指标与ATR算法性能之间应呈现单调关系。因此, 为了评价“帧间目标变化程度”的有效性, 本文利用真实的图像序列作为实验样本, 分析了图像指标和跟踪算法实际跟踪效果的关系。具体的实验条件如下:

(1)跟踪算法 ATR中的目标跟踪算法大致分为两类, 即“基于目标建模、定位”的跟踪框架和“基于滤波、数据关联”的跟踪框架^[6]。实验中, 为保证算法的普适性, 采用的跟踪算法结合了两种跟踪框架的优势: 利用Kalman滤波器进行位置预测, 同时利用Mean-shift算法进行精匹配, 算法细节不在此详述。

(2)实验样本 实验中采用的样本为真实的目标图像序列, 共26组, 图6所示为其中的4组。

(3)图像序列质量评价方法 实验中, 利用本文

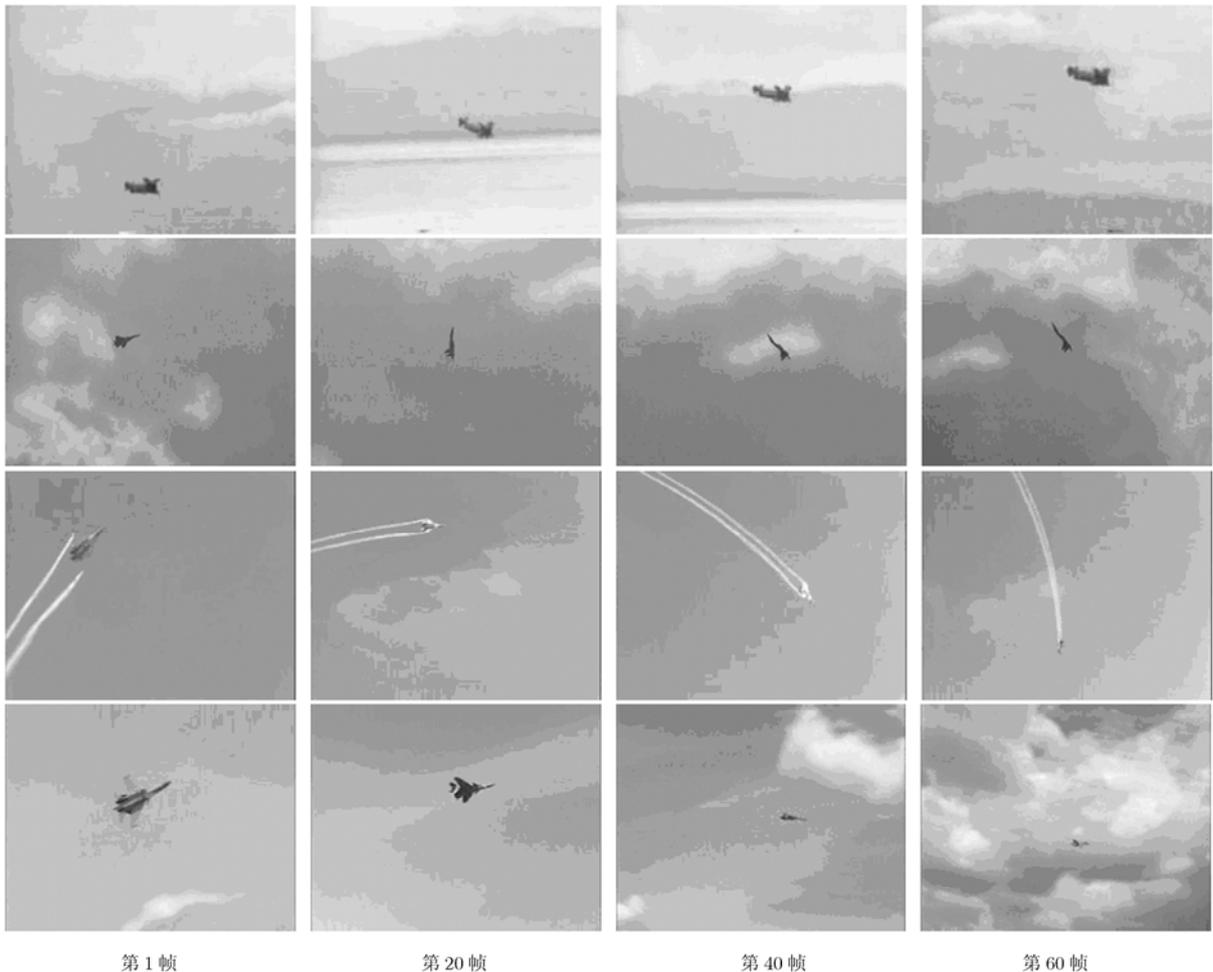


图6 实验用到的4组目标图像序列

提出的“帧间目标变化程度”来度量图像序列的质量,计算方法如式(2)所示。

(4)跟踪算法的实际跟踪效果表示方法 最常用用来表征跟踪效果的是跟踪精度,但该指标仅在目标跟踪为正确跟踪轨迹时有意义,当跟踪过程中丢失目标时利用该指标来度量算法跟踪效果是不可靠的。本文利用“跟踪评价值”来弥补跟踪精度在表征跟踪效果上的不足,当跟踪轨迹正确时称为有效跟踪,跟踪评价值为1,当跟踪过程中丢失目标时称为无效跟踪,跟踪评价值为0,其定义如式(6)所示。该实验中,首先定性分析“帧间目标变化程度”与跟踪评价值之间的关系;然后,对实现有效跟踪的序列定量地分析了“帧间目标变化程度”与平均跟踪精度之间的关系,平均跟踪精度的计算方法如式(7)所示。

$$m = \begin{cases} 1, & \text{有效跟踪} \\ 0, & \text{无效跟踪} \end{cases} \quad (6)$$

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(|S_{oi} - S_{ri}|)^2} \quad (7)$$

其中 m 为跟踪评价值, S 为一组序列的平均跟踪精度, S_{oi} , S_{ri} 表示第 i 帧的真实目标位置和算法获取的目标位置。

在上述实验条件下,得到了26组实验结果,图7为跟踪评价值与“帧间目标变化程度”的关系,图8为有效跟踪情况下跟踪精度与“帧间目标变化程度”的关系,曲线中每个点代表一组目标图像序列的实

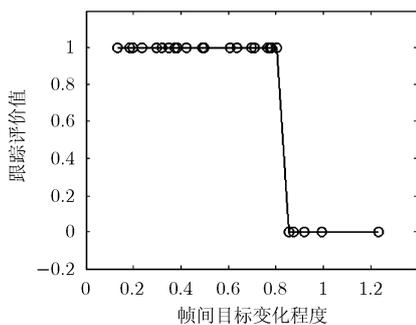


图7 跟踪评价值与“帧间目标变化程度”的关系

验结果。

由图7可知,26组图像序列中有5组中出现目标丢失的情况。这5组序列的“帧间目标变化程度”均大于或等于0.8564,而在小于该值的序列中没有出现目标丢失的情况。由实验可知,当“帧间目标变化程度”比较大时,目标跟踪非常困难,跟踪过程中极有可能丢失目标,这说明该指标可以定性的描述序列中目标跟踪难易程度。

由图8可知,在实现有效跟踪的21组序列中,平均跟踪精度与“帧间目标变化程度”基本呈现单调递增的关系,即图像序列的“帧间目标变化程度”越大,跟踪精度越低,跟踪效果越差。该实验结果说明,“帧间目标变化程度”的评价结果与跟踪算法性能呈单调关系,有很强的相关性,是一种有效的图像序列质量评价方法。

5 结论

针对ATR中图像序列质量评价的问题,本文对序列中干扰目标跟踪的信息进行了分析,得出帧间图像信息的变化是影响目标跟踪主要原因的结论。在此基础上,提出了“帧间目标变化程度”,并将其用于定量评价图像序列质量,该指标描述的信息包括:目标图像变化程度、目标大小变化程度以及目标位置变化程度。由实验结果可以看出,“帧间目标变化程度”可以准确地描述图像序列中目标跟踪的难易程度,是一种有效的图像序列质量评价指标。

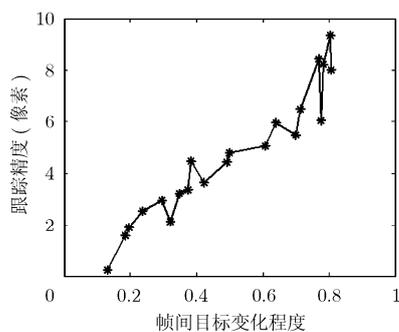


图8 平均跟踪精度与“帧间目标变化程度”的关系

参考文献

- [1] Li Min and Zhang Gui-lin. Image measures for segmentation algorithm evaluation of automatic target recognition system[C]. 1st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics, Harbin, China, 2006: 674-679.
- [2] Edmondson R, Rodgers M, and Banish M, et al. Single-frame image processing techniques for low-SNR infrared imagery[C]. Proceeding of SPIE, 2008, 6940: 74-78.
- [3] Yang L, Zhou Y, Yang J, and Chen L. Variance WIE based infrared images processing[J]. *Electronics Letters*, 2006, 42(15): 857-859.
- [4] Clark L G and Vincent V J. Image characterization for automatic target recognition algorithm evaluations[J]. *Optical Engineering*, 1991, 30(2): 147-153.
- [5] Trievdi M M and Schirvaikar M V. Quantitative characterization of image clutter: problems, progress, and promises[C]. proceedings of SPIE, 1993, 1967: 288-299.

- [6] 李敏, 周振华, 张桂林. 自动目标识别算法性能评估中的图像度量研究[J]. *红外与激光工程*, 2007, 36(3): 412-416.
Li Min, Zhou Zhen-hua, and Zhang Gui-lin. Image measures in the evaluation of ATR algorithm performance [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(3): 412-416.
- [7] 周川, 张桂林, 陈鸿翔等. 基于试验设计的 ATR 算法的性能评估[J]. *华中理工大学学报*, 1996, 24(2): 43-45.
Zhou Chuan, Zhang Gui-lin, and Chen Hong-xiang. Performance evaluation for ATR algorithms based on experiments design[J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology*, 1996, 24(2): 43-45.
- [8] Mao Xia and Diao Wei-he. Criterion to evaluate the quality of infrared small target images[J]. *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 2009, 30(1): 56-64.
- [9] 常洪花, 张建奇. 基于人眼视觉的红外背景杂波量化技术[J]. *红外技术*, 2004, 26(5): 13-18.
Chang Hong-hua and Zhang Jian-qi. Human vision-based on quantitative characterization of IR background clutter [J]. *Infrared Technology*, 2004, 26(5): 13-18.
- [10] Chang Hong-hua and Zhang Jian-qi. Evaluation of human detection performance using target structure similarity clutter metrics[J]. *Optical Engineering*, 2006, 45(9): 41-47.
- [11] Aviram G and Rotman S R. Analyzing the effect of imagery wavelength on the agreement between various image metrics and human detection performance of targets embedded in natural images[J]. *Optical Engineering*, 2008, 40(9): 1877-1884.
- [12] He Guo-jing, Zhang Jian-qi, and Chang hong-hua. Clutter metric based on the Cramer-Rao lower bound on automatic target recognition[J]. *Applied Optics*, 2008, 47(29): 5534-5540.
- [13] Rotman S R, Hsu D, Cohen A, Shamy D, and Kowalczyk M. Textural metrics for clutter affecting human target acquisition[J]. *Infrared Physics & Technology*, 1996, 37(6): 667-674.
- [14] Salem Y B and Nasri S. Texture classification of woven fabric based on a glm method and using multiclass support vector machine[C]. 6th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, Djerba Tunisia, 2009: 1-8.
- [15] Wang Jian-hui, Li Feng, Doi Kunio, and Li Qiang. A novel scheme for detection of diffuse lung disease in MDCT by use of statistical texture features[C]. Proceeding of SPIE, 2009, 7260: 382-389.
- [16] 杨磊. 复杂背景条件下的红外小目标检测与跟踪算法研究[D]. [博士论文], 上海: 上海交通大学图像处理与模式识别研究所, 2006.
Yang Lei. Study on infrared small target detection and tracking algorithm under complex backgrounds [D]. [Ph.D. dissertation], Shanghai: Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiao Tong University, 2006.
- 刁伟鹤: 男, 1984 年生, 博士生, 研究方向为自动目标识别、图像质量评价.
毛 峡: 女, 1952 年生, 教授, 研究领域为图像处理、模式识别.
常 乐: 男, 1986 年生, 硕士生, 研究方向为目标跟踪、跟踪算法性能评价.