

基于 Lebesgue 积分理论的时间序列信号中的背景重建

刘 飞^{1,2} 王新洲³ 张鹏林¹ 余 旭⁴

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)
(2 黑龙江工程学院测绘工程系, 哈尔滨市红旗大街 999 号, 150008)
(3 武汉大学灾害监测与防治研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)
(4 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京市朝阳区大屯路甲 11 号, 100101)

摘要: 提出了一种基于 Lebesgue 积分理论的时间序列信号背景重建方法, 该方法利用测度函数对时间域进行划分, 进而实现对信号能量的划分, 最终实现对背景信号的重建。

关键词: 信号分析; 时间序列; Lebesgue 积分; 背景重建

中图分类号: TP 391

运动目标检测是模式识别和计算机视觉等研究的重要内容, 在军事、交通和工业等领域有着广泛的应用前景。在其算法中, 差分影像法是通过以帧影像为单位取广义微分, 依此得到两帧影像的差分影像^[1]。差分法的优点是处理速度快, 可轻易实现实时处理; 其缺点是相减的前后帧影像之间有很强的相关性, 运动目标影像和目标运动过后的背景混杂在一起, 出现在相减后的结果中。如果差分方法减的不是前一帧影像而是纯粹的背景影像, 那么得到的结果较为理想。所以, 可以认为差分法目标检测的核心问题即是背景提取问题, 本文尝试引入实变函数论中的 Lebesgue 积分理论来解决序列影像的背景重建问题。

从分割区间入手, 而是从分割函数值着手, 即任给 $\delta > 0$, 使得 $m = y_0 < y_1 < \dots < y_{i-1} < y_i < \dots < y_n = M$, 其中, $y_i - y_{i-1} < \delta, M$ 是 $f(x)$ 在 $[a, b]$ 上的下界与上界; 并作点 $E_i = \{x: y_{i-1} \leq f(x) < y_i\} (i = 1, 2, \dots, n)$, 这样, 在 E_i 上, $f(x)$ 的振幅就不会大于 δ 。再计算 $|E_i| = y_i - y_{i-1} \times |E_i|$, 并作和 $\sum_{i=1}^n |E_i|$, 它是 $f(x)$ 在 $[a, b]$ 上积分的近似值。然后让 $\delta \rightarrow 0$, 且定义 $\int_{[a,b]} f(x) = \lim_{\delta \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n |E_i|$, 此即 Lebesgue 积分。

1 实变函数论与 Lebesgue 积分理论简介

实变函数的核心内容是测度和积分理论, 它是近代分析数学领域的基础知识。由数学分析可知, 对于定义在 $[a, b]$ 上的正值函数, 为使 $f(x)$ 在 $[a, b]$ 上可积, 按照 Riemann 的积分思想, 必须使得在划分 $[a, b]$ 后, $f(x)$ 在多数小区间 Δx_i 上的振幅足够小, 这迫使具有较多激烈振荡的函数被排除在可积函数之外。对此, Lebesgue 提出, 不

2 间序列影像的信号分析

2.1 时域信号的特征分析

图 1 是对图 2 所示的 24 位真彩色影像序列, 通过观察单个同位像素点的颜色信号, 在 250 帧内随时间的变化得到的信号变化。通过人眼判读可知, 信号中所占分量最大且平稳的部分是背景信号, 突变部分对应目标信号, 不同的突变信号对应同一运动目标的不同部分。由图 1 可以得出背景不变或缓变的时间序列影像信号变化特征如

下。

- 1) 背景信号在整个时间序列中属平稳信号,整体呈现单调性或是缓变性;
- 2) 运动目标信号具有突变性,在微观上具有

短时平稳性;

- 3) 在整个时间域内,信号的能量大部分集中在背景信号,表现为低频;少量集中在运动目标信号上,表现为高频。

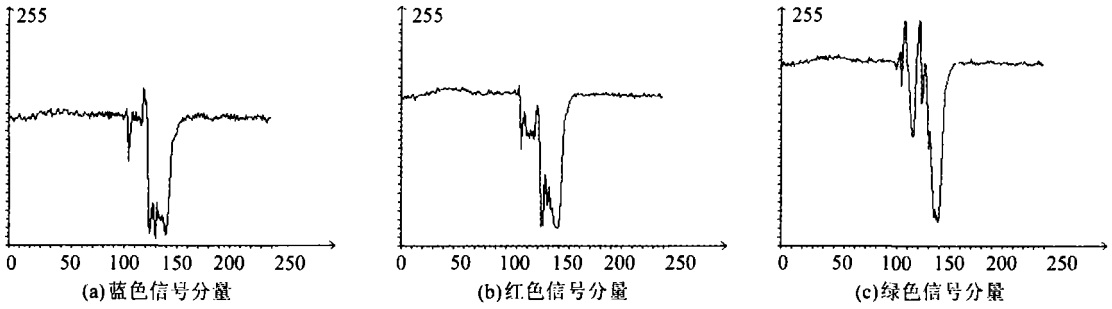


图 1 同位像素点颜色分量随时间变化图

Fig. 1 Change of Color Parameters of the Same Pot

2.2 时域信号的能量分析

由信号学可知,在 $(0, t)$ 时刻内信号的能量为^[5, 6]:

$$E(t) = \int_0^t f(x) \delta(t-x) dx = f \times \delta \quad (1)$$

其中, $\delta(\cdot)$ 为狄拉克函数。 $E(t)$ 在时域上表现为叠加性,而且这种叠加性在 Riemann 积分中是不可消除的,这也是以往有些时域滤波算法不能很好重建背景的原因。为了克服 $E(t)$ 的这种叠加性所造成的影响,考虑将信号强度值划分为 $p = y_0 < y_1 < \dots < y_i < \dots < y_n = P$, 其中 p 与 P 分别对应信号的最小强度和最大强度,构造测度函数 $\varphi(y_i)$, 将时间 $(0, t)$ 看作一空间 T , 依测度函数将空间 T 规格化划分为 T_1, T_2, \dots, T_n , 使 $\{T_i\}$ 具有如下性质: $T_i \neq \emptyset$; $\bigcup_{i=1}^n T_i = T$; $T_i \cap T_j = \emptyset, i \neq j$ 。可以证明, $\{T_i\}$ 为 T 的一个 L -覆盖 (Lebesgue 覆盖)。构造 T 上的非负可测函数 $g(x)$, 使 $g(x)$ 在 T_1, T_2, \dots, T_n 的取值分别为 c_1, c_2, \dots, c_n , 即

$$g(x) = \begin{cases} c_1, & x \in T_1 \\ c_2, & x \in T_2 \\ \dots \\ c_n, & x \in T_n \end{cases} \quad (2)$$

构造特性函数 $x_{T_i}(x)$ 如下:

$$x_{T_i}(x) = \begin{cases} 1, & x \in T_i \\ 0, & x \notin T_i \end{cases} \quad (3)$$

于是, $g(x) = \sum_{i=1}^n c_i x_{T_i}(x)$, 这里 \sum 代表空间的相加而非数值的相加,则 $g(x)$ 在 T 上的 Lebesgue 积分为:

$$\int_T g(x) dx = \sum_{i=1}^n c_i m(T \cap T_i) \quad (4)$$

式中, dx 为 T 上的 Lebesgue 测度, $m(T \cap T_i)$ 为 $T \cap T_i$ 的 Lebesgue 测度,其值由规定的测度函数决定,且使

$$\int_T g(x) dx = E(t) \quad (5)$$

由此可知, $g(x)$ 实质就是信号能量 $E(t)$ 的一个划分。依测度将 T 划分为 T_1, T_2, \dots, T_n , 当 $T < \infty$ 时, T 内的划分为可数个,如果所取的测度为像素类别的相似度,则对应的 T_1, T_2, \dots, T_n 就是相应的背景域、目标 1 域、目标 2 域等所对应的时间域分布。由上述信号分析可知,在 T 足够大的情况下,时间域划分中最大的部分就是背景所对应的能量部分。假设 c_i 与 T_i 分别是背景所对应的能量和时间域划分,则由概率论可知, $\bar{t} = c_i/T_i$ 即是背景信号强度的无偏估计。至此,即恢复了一个像素点的背景,对整帧影像应用上述计算方法,即可恢复其背景信号。

3 背景重建算法设计

依据上述思想,本文设计的基于 Lebesgue 积分的时间序列背景恢复算法如下。

- 1) 将首帧影像的像素值作为类别的初值。
- 2) 依次对后续影像的同名像素依照其与所有已知类别的测度作类别归属判别,如果其依测度属于第 j 类,则将其归入第 j 类,并将第 j 类的类别中心、时间域划分值加以更新;如果其依测度不属于任一已知类别,则新建一类别,将该像素值作为类别的初值。
- 3) 对同位像素序列,将时间域划分值最大的类别所对应的类别中心恢复,作为背景值。

4) 对所有的同位像素序列应用上述运算,即可完成整帧影像的背景恢复。

4 实验

基于上述算法思想,本文利用VC 6.0平台进行了实验,以检验算法的可用性。实验数据为25

帧/s 视频数据转24位真彩色位图,共50帧,如图2所示。通过50帧影像重建的背景如图3(a)所示。可以看出,背景得到了完美的重建,重建结果不带有运动目标的影响,同时背景中的高斯白噪声及随机噪声都得到了最大限度的抑制。将背景重建结果用于目标分割,结果如图3(b)、3(c)。可以看到,运动目标被完整地分割出来,效果较好。



图2 用于背景重建的影像序列

Fig.2 Photo Sequence to Rebuild the Background

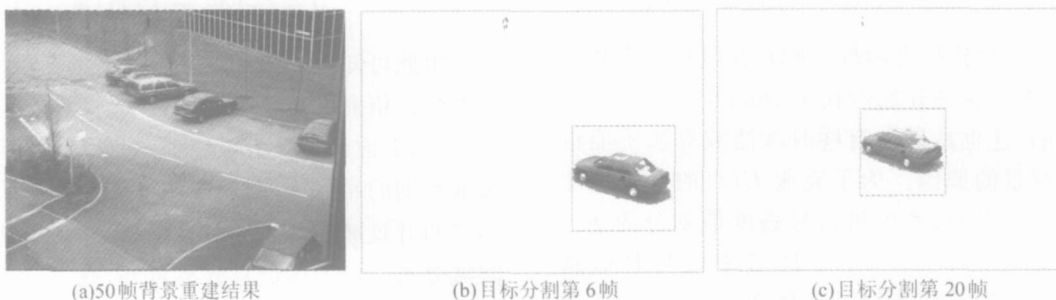


图3 背景重建结果及运动目标分割结果

Fig.3 Result of Background Rebuilding and Moving Object Segmentation

5 结语

本文将Lebesgue积分理论应用于时间序列平稳信号的背景重建,并设计了相应的算法。经实验检验,算法可以达到理论设计的要求,实现背景的完美重建,重建后背景彻底摆脱运动目标及随机噪声的影响。本文算法同样可以用于受椒盐噪声及其他噪声影响的序列影像的恢复,以及其他所有类似的平稳序列信号的恢复与重建。

参 考 文 献

[1] 朱辉,李在铭.视频序列中运动目标检测技术[J].信号处理,2002,18(5):448-451
[2] 周民强.实变函数论[M].北京:北京大学出版社,

2001
[3] 梁学章,何甲兴.小波分析[M].北京:国防工业出版社,2005
[4] Sanjit K M. Digital Signal Processing A Computer-Based Approach[M].北京:清华大学出版社,2001
[5] 姚端正,梁家宝.数学物理方法[M].武汉:武汉大学出版社,1997
[6] 郑君里,应启衍,杨为理.信号与系统[M].北京:高等教育出版社,2000
[7] 叶中付,李厚强.一种基于高阶累积量的运动目标检测新方法[M].计算机工程与应用,2002,18(4):102-105

第一作者简介:刘飞,硕士生。现主要从事动态目标检测与时间序列分析研究。

Email: liufei_7711@126.com

Background Rebuilding of Time Sequence Signal Base on Lebesgue Integral

LIU Fei^{1,2} WANG Xinzhou³ ZHANG Penglin¹ YU Xu⁴

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Department of Surveying, Heilongjiang Engineering Institute, 999 Hongqi Road, Harbin 150008, China)

(3 Hazard Monitoring & Prevention Research Center, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(4 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, 11A Datun Road,
Chaoyang District, Beijing 100101, China)

Abstract: The paper presents a method for the rebuilding of the background based on Lebesgue integral. For the method, the time space is segmented by measure function. And from the segmentation of the time space, the energy of the signal is segmented too. Finally the aim of rebuilding the background is achieved.

Key words: signal analysis; time sequence; Lebesgue integral; background rebuilding

About the first author: LIU Fei, postgraduate, engaged in moving target detect and time series analysis.

E-mail: liufei_7711@126.com

(上接第 453 页)

Monitoring Seasonal Variations of Ionospheric TEC Using GPS Measurements

CAI Changsheng^{1,2} GAO Jingxiang¹ LI Zhenghang³

(1 School of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Zhaishan,
Quanshan District, Xuzhou 221008, China)

(2 Geomatics and Applications Laboratory, Liaoning Technical University, 47 Zhonghua Road, Fuxin 123000, China)

(3 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: Georgiadiou ionospheric model was adopted to determine satellite plus receiver differential delay. The satellite plus receiver differential delay was estimated as constant values for each day. Dual-frequency GPS pseudorange observables were used to compute vertical TEC (VTEC). All the monthly mean VTEC profiles were presented using GPS data of Beijing IGS site between 2000 and 2004. All the monthly averaged values and amplitudes of VTEC were also presented. The results indicate that the VTEC has seasonal dependency. The maximum VTEC values are observed in March and April, the minimum VTEC values in December. The seasonal variations trend is found to be the same after polynomial fitting between 2000 and 2004.

Key words: GPS; differential delay; ionosphere; TEC

About the first author: CAI Changsheng, Ph. D candidate. He is concentrated on the research and education in the GPS theory and application.

E-mail: cai_chang_sheng@sina.com