

基于颜色和纹理特征的伪装色矿工目标检测

鲜晓东*, 李克文

(重庆大学 自动化学院, 重庆 400044)

(*通信作者电子邮箱 xxd@equ.edu.cn)

摘要: 针对矿井下某些地段低光照低对比度导致矿工目标与环境颜色相似, 呈现伪装色特点, 一般场景目标检测方法易产生矿工漏检、误检的问题, 提出了采用高斯混合模型(GMM)和局部二值模式(LBP)纹理模型线性融合的方法对目标矿工进行检测。首先利用高斯混合模型拟合背景颜色信息, 然后通过局部二值模式纹理模型提取图像纹理信息, 最后将颜色信息和纹理信息线性融合对矿工进行检测。实验结果表明, 在满足实时性的同时, 减少了矿工目标出现漏检、误检的问题, 该方法可对具有伪装色特征的矿工目标进行实时检测, 准确性高。

关键词: 伪装色; 高斯混合模型; 局部二值模式; 颜色信息; 纹理信息

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Detection of camouflaged miner objects based on color and texture features

XIAN Xiaodong*, LI Kewen

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Due to the low illumination, low contrast and similar color between target and environment in a coal mine, problems of undetected objects and false detections appear. An improved miner target detection method was proposed, integrating Gaussian Mixture Model (GMM) with Local Binary Pattern (LBP). The color information of background was fitted by means of GMM, and the texture information was extracted by employing LBP, then the miners targets were detected by integrating the color and the texture information. The simulation results indicate that the proposed algorithm decreases the problems of undetected objects and false detections, and can detect miner target in real-time with high precision.

Key words: camouflage; Gaussian Mixture Model (GMM); Local Binary Pattern (LBP); color information; texture information

0 引言

保障矿工安全在煤矿生产中占据重要位置, 矿井机车在运输过程中, 利用前端单目摄像头采集前方信息, 通过视频图像处理技术, 检测前方矿工位置并预警, 有助于提高矿工安全性和矿井监控智能化水平^[1]。但矿井下某些地段受灯光昏暗、环境复杂、对比度低等因素的影响, 传统的基于视频图像识别的运动目标检测方法在矿井背景下难以实时、精确地检测到前方矿工目标, 无法很好地用于该类场景^[2-4]。

背景模型的选取和建立是运动目标检测的关键。叶锋等^[5]用平均背景模型对简单场景下目标进行检测, 该算法计算简单、速度快, 但对环境光照变化和背景的多模态性比较敏感。Kim等^[6]用Codebook背景模型分割前景目标, 能够很好地处理时间起伏, 缺点是需要消耗大量内存, 且环境突变时, 无法有效地检测前景目标。Wren等^[7]用单一高斯模型对背景像素值进行建模, 该方法在光照相对稳定的室内监控场景下有较好的效果。但矿井背景下, 由于环境复杂、背景像素值容易发生剧烈变化, 单一高斯模型便无法适用。Stuffer等^[8]提出了一种基于混合高斯模型(Gaussian Mixture Model, GMM)建立背景模型的算法, 它用若干按照不同权值叠加的高斯分布来模拟多峰分布, 各个高斯分布的权值和分布参数随时间更新, 即通过选取一个适合的学习速度参数, 当新的值来到时, 采用最大期望算法(Expectation Maximization, EM)对

每个高斯分布进行参数估计更新。混合高斯模型能够适用于环境复杂的场景, 但前景目标与背景颜色相似时, 单纯地用混合高斯模型进行检测容易造成误检和漏检。

随着视频图像处理技术的发展, 当背景像素与前景像素在颜色信息上接近时, 人们利用纹理信息来解决这类问题。Serrano等^[9]用优化的Gabor filter来描述纹理特征, 达到识别人脸的效果; Souillard等^[10]用小波提取纹理信息, 并通过分析实现图像纹理分类; Assefa等^[11]提出了用四元傅里叶变换对图像纹理进行分析。但是由于Gabor filter、小波、傅里叶变换等计算复杂度较大, 难以满足实时性要求。Ojala等^[12]提出了利用局部二值模式(Local Binary Pattern, LBP)来描述图像纹理特征, LBP纹理模型具有灰度和旋转不变性且计算复杂度低, 在很好地描述图像纹理信息的同时, 保证了处理的实时性。

针对矿井下环境复杂多变、矿工目标与周围环境颜色相似, 传统算法难以达到实时性和精确性的问题, 本文提出了采用高斯混合模型模拟背景, 利用LBP提取纹理特征, 将颜色特征和纹理特征线性融合, 实现矿井下矿工目标检测的算法。实验结果表明, 本文算法不仅满足了实时性的需求, 而且提高了目标检测的准确性。

1 矿工目标特点

矿井处于低光照环境, 因此采集的视频呈现出低对比度

收稿日期: 2012-08-13; 修回日期: 2012-09-28。 基金项目: 重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJ08A01)。

作者简介: 鲜晓东(1966-), 女, 重庆人, 副教授, 硕士, 主要研究方向: 无线传感器网络、移动机器人控制、信号处理; 李克文(1986-), 男, 湖北钟祥人, 硕士研究生, 主要研究方向: 视频图像处理。

的特点,矿工目标与环境的亮度和颜色相似。本文在矿井视频中随机选取100帧图像进行直方图测试,图1(a)为其中一帧原始图,图1(b)是它的亮度直方图,图1(b)表明原始图的亮度信息呈现单一波峰,且方差较小。这100帧图像的统计结果表明,其中有76帧直方图为单峰,且方差小于等于30;其他24帧为多峰,方差大于30。

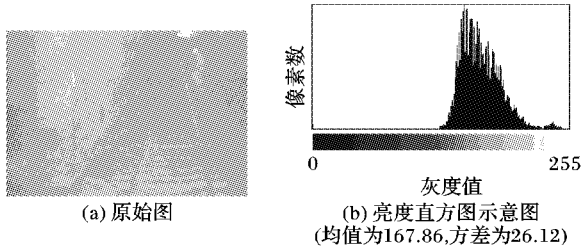


图1 矿工颜色与背景颜色相似

单一波峰、低方差值表明矿工目标颜色与背景颜色十分接近,呈现伪装色特征^[13-14]。矿工伪装色的特点使得目标与背景颜色相似,利用图像的颜色特征很难检测到目标^[15]。

2 高斯混合模型和 LBP 模型融合

高斯混合模型拟合背景颜色信息,对旋转、非刚性变换及遮挡等目标的检测具有较好的鲁棒性,能够在复杂场景中检测运动目标。但高斯混合模型不包含像素的空间信息,当检测目标与周围背景在颜色信息上相似时,单纯用颜色特征来检测目标会产生误差。

高斯混合模型对每个像素点建立 K 个多维高斯分布来模拟模拟该点的背景值。某一像素点在时间 t 的值为 X_t ,概率密度函数可以表示如下:

$$P(X_t) = \sum_{i=1}^K \omega_{i,t} \cdot \eta(X_t, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (1)$$

$$\eta(X_t, \mu, \Sigma) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(X_t - \mu)^T \Sigma^{-1}(X_t - \mu)\right\} \quad (2)$$

其中: K 是高斯分布的个数,一般取值为3~5, K 值越大,模型越能表示复杂的场景,但是计算量也将增加; $\omega_{i,t}$ 是 t 时刻第 i 个高斯分布的权值重, $\sum_{i=1}^K \omega_{i,t} = 1$; $\mu_{i,t}$ 是 t 时刻第 i 个高斯分布的均值向量; $\Sigma_{i,t}$ 是 t 时刻第 i 个高斯分布的协方差阵; η 是概率密度函数。为了计算方便,假设 R 、 G 、 B 分量统计独立,即 $\Sigma_{i,t} = \sigma_i^2 I$ 。

图2是利用高斯混合模型对矿井下矿工目标进行检测的仿真实验图:图(a)是一帧原始图,矿工颜色与背景颜色相似,呈现伪装色;图(b)是检测结果。图(b)显示的结果表示高斯混合模型检测出的矿工不完整,难以辨别。

考虑到仅用颜色特征进行矿工检测的不足,而纹理特征描述了图像中像素灰度在空间上的分布信息,于是采用纹理特征描述空间结构信息,将颜色信息和纹理信息线性融合,对矿工进行检测。

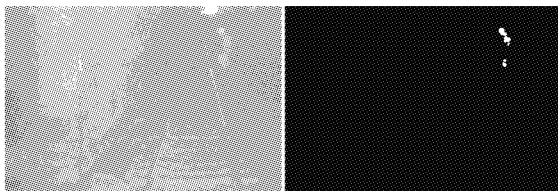


图2 高斯混合模型检测矿工目标

2.1 LBP 纹理特征

LBP 纹理模型利用图像中每个像素及其半径为 R 的环形邻域上的 P 个像素点的联合分布 $T = t(g_c, g_0, \dots, g_{P-1})$ 来描述图像的纹理。其中 g_c 表示局部邻域中心点的灰度值, g_p ($p = 0, 1, \dots, P-1$)对应着半径为 R 的圆环上 P 个等分点的灰度值。如图3所示。

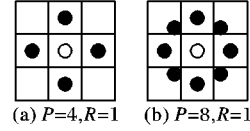


图3 不同 (P, R) 的环形对称邻域

在不丢失信息的情况下,用邻域中心点的灰度值 g_c 减去其环形邻域上 P 个等分点的灰度值 g_p ,得到

$$T \approx t(g_c, g_0 - g_c, g_1 - g_c, \dots, g_{P-1} - g_c) \quad (3)$$

进一步,假设 g_c 与 $g_p - g_c$ 独立,且从图像的局部纹理分布考虑,上式可以通过差分的联合分布来描述:

$$T \approx t(g_0 - g_c, g_1 - g_c, \dots, g_{P-1} - g_c) \quad (4)$$

对式(4)进行分析,发现 $g_p - g_c$ 不受图像平均光照变化的影响,它对局部纹理的描述具有灰度不变性。用中心像素与邻域像素差值的符号代替具体的数值来描述,可以得到:

$$T \approx t(s(g_0 - g_c), s(g_1 - g_c), \dots, s(g_{P-1} - g_c)) \quad (5)$$

式中 s 为符号函数,即

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

通过给每一项 $s(g_p - g_c)$ 赋予二项式因子 2^p ,可以将像素的局部空间纹理结构表示为

$$LBP_{P,R} = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c) 2^p \quad (6)$$

2.2 融合高斯混合模型和 LBP 模型的目标检测

高斯混合模型拟合背景颜色信息的变化,LBP 提取图像的纹理特征。将颜色信息和纹理信息线性融合,进行运动目标检测。即

$$D(p) = \omega_i(p) \cdot d_i(p) + \omega_t(p) \cdot d_t(p) \quad (7)$$

$$d_i(p) = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi T}}\right) \exp\left\{-\frac{\|X_t - \bar{x}\|^2}{\sigma^2 T}\right\} \quad (8)$$

其中: $\omega_i(p)$ 表示颜色信息权值, $\omega_t(p)$ 表示纹理信息权值, $d_i(p)$ 为颜色信息差异, $d_t(p)$ 为纹理信息差异, $D(p)$ 是背景图像与当前帧的总体差异。

式(7)、(8)的参数通过如下方法来计算:高斯混合模型更新参数,计算当前观测值 X_t 与高斯分布的匹配情况,将最佳匹配者的均值 \bar{x} 定义为更新后的背景颜色,将对应的标准差 $\sigma_{i,t}$ 定义为阈值 T ;同时将对应的权值定义为 $\omega_i(p)$,而 $\omega_t(p) = 1 - \omega_i(p)$ 。

这样计算参数,既可以实时更新背景,同时又能将 $\omega_i(p)$ 与 $\omega_t(p)$ 相关联,通过计算 $\omega_i(p)$ 得到 $\omega_t(p)$,计算量减少。

像素 p 处的纹理特征通过 LBP 纹理特征直方图来描述,纹理差异 $d_t(p)$ 通过 Bhattacharyya 距离来计算,用 Bhattacharyya 系数度量纹理特征的相似性,并将其归一化,即

$$d_t(p) = \sqrt{1 - \sum_m \frac{\sqrt{H_{ip}(m) \cdot H_{tp}(m)}}{\sum_m H_{ip}(m) \cdot \sum_m H_{tp}(m)}} \quad (9)$$

其中: H_{ip} 表示目标局部区域的 LBP 直方图, H_{tp} 表示背景局部区域的 LBP 直方图, m 表示直方图区间的个数。

以上计算得到 $D(p)$ 后,根据下式进行目标分割:

$$F(p) = \begin{cases} 1, & D(p) > 0.5 \\ 0, & D(p) \leq 0.5 \end{cases} \quad (10)$$

$F(p) = 0$, 则对应像素被判别为背景; $F(p) = 1$, 则对应像素被判别为前景目标。

本文矿工目标检测算法步骤如下:

1) 计算序列图像前几帧的颜色平均图像将其作为初始背景图像, 高斯模型的均值初始化为平均图像的均值, 方差初始化为一个较大的值, 这里取值为 100, 从初始背景图像提取 LBP 纹理特征直方图;

2) 读入下一帧视频图像, 计算 $d_i(p)$, $\omega_i(p)$, $d_i(p)$, $\omega_i(p)$;

3) 根据式(7)得到背景图像与当前帧的总体差异 $D(p)$, 利用式(10)对图像进行分割;

4) 采用 EM 算法对高斯模型进行更新, 获得新的背景图像后, 更新 LBP 纹理特征直方图;

5) 继续读取下一帧图像, 转向 2) 处理直到帧序列结束。

3 实验结果分析

为了验证本文算法的有效性, 通过实验对矿井下视频序列进行了测试, 并传统的利用高斯混合模型算法以及融合高斯混合模型和小波变换的运动目标检测算法进行了对比。实验硬件配置为 3.06 GHz 奔腾 4 处理器, 4 GB 内存, Windows XP 操作系统, 用 VC6.0 和 Matlab 平台编程进行实验, 测试视频的帧图像的大小均为 352×288 像素, 检测对象是矿井下具有伪装色特点的矿工。

如图 4 所示, 通过图(e)与图(c)、图(d)的结果对比, 明显看出图(c)中矿工目标检测的不完整性, 在伪装色的情况下, 前景目标的检测容易受背景颜色的影响; 图(d)中加入了小波变换提取纹理特征信息, 比较完整地提取出矿工目标; 图(e)中通过融合局部二值模式纹理模型, 能够很好地检测出矿工目标, 完整性比较高。

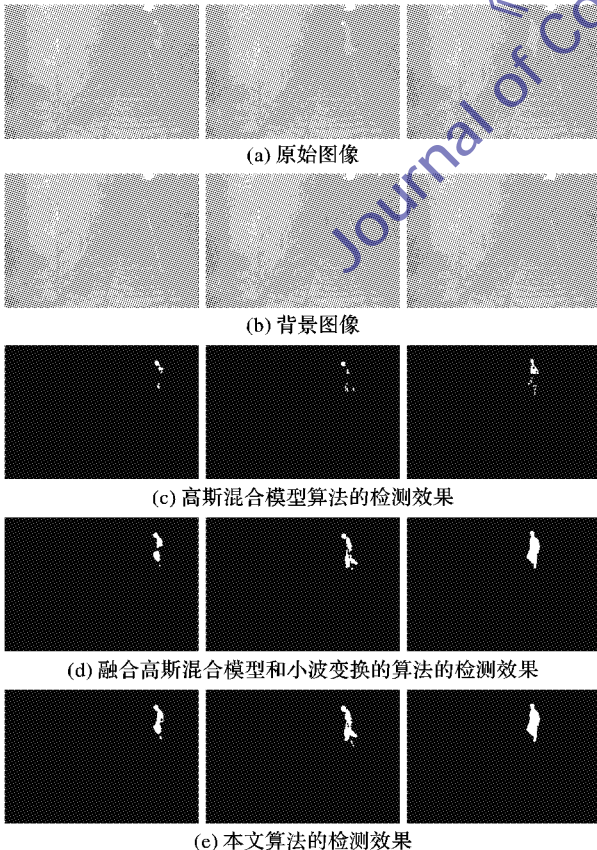


图4 不同算法的实验结果对比

图5是高斯混合模型算法、融合高斯模型和小波变换算

法以及本文算法对 100 帧视频序列图像检测过程中耗时情况分析, 可以看出本文算法耗时低于融合高斯模型和小波变换算法, 略高于高斯混合模型算法。

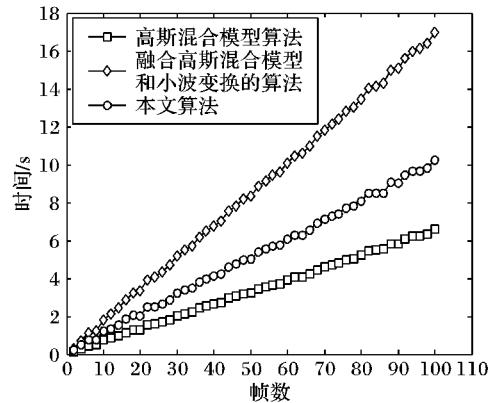


图5 耗时对比

图6和图7是三种算法对矿井下 100 帧序列图像进行矿工目标检测时, 检测目标出现误检和漏检的概率曲线。从图中可以看出本文算法误检率、漏检率最低, 且远远低于单纯利用高斯混合模型算法的结果。

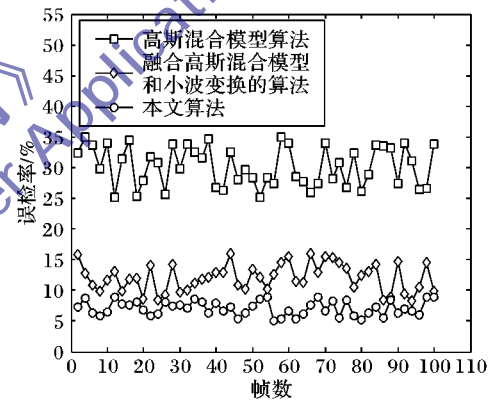


图6 误检率对比

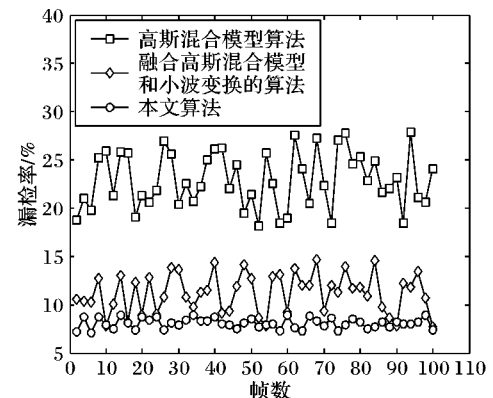


图7 漏检率对比

从实时性和准确性角度综合考虑, 本文算法在保证实时性的同时提高了矿工目标检测的准确性。

4 结语

本文针对矿井下伪装色矿工目标检测出现的漏检、误检现象, 利用 LBP 纹理特征计算简单且具有对颜色变化不敏感的特点, 提出了一种高斯混合模型和 LBP 模型相融合检测目标矿工的算法。在矿井视频监控场景下, 比较了本文算法、高斯混合模型以及融合高斯混合模型和小波变换的算法检测矿工的效果, 实验结果表明, 本文算法在满足实时性的同时, 可

以有效地克服视频中矿工颜色与背景颜色相似等干扰,具有很好的检测矿井下伪装色目标矿工的效果。

参考文献:

- [1] 牛犇, 梁山, 鲜晓东, 等. 基于 S3C2440 的矿车防撞预警系统设计 [J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(8): 82-86.
- [2] HA J-E, LEE W-H. Foreground objects detection using multiple difference images [J]. Optical Engineering, 2010, 49(4): 047201.1-047201.5.
- [3] JODOIN P-M, MIGNOTTE M, KONRAD J. Statistical background subtraction using spatial cues [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(12): 1758-1763.
- [4] QI Y G, AN G. Infrared moving targets detection based on optical flow estimation [C]// 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology. Piscataway: IEEE, 2011: 2452-2455.
- [5] 叶锋, 范曼曼, 郑子华, 等. 一种改进的基于平均背景模型的运动目标检测算法 [J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2011, 27(4): 44-49.
- [6] KIM K, CHALIDABHONGSE T H, HARWOOD D, *et al.* Real-time foreground-background segmentation using codebook model [J]. Real-Time Imaging, 2005, 11(3): 172-185.
- [7] WREN C R, AZARBAYEJANI A, DARRELL T, *et al.* Pfunder: real-time tracking of the human body [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 780-785.
- [8] STAUFFER C, GRIMSON W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [C]// IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999, 2: 246-252.
- [9] SERRANO Á, de DIEGO I M, CONDE C, *et al.* Analysis of variance of Gabor filter banks parameters for optimal face recognition [J]. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(15): 1998-2008.
- [10] SOULARD R, CARRÉ P. Quaternionic wavelets for texture classification [J]. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(13): 1669-1678.
- [11] ASSEFA D, MANSINHA L, TIAMPO K F, *et al.* Local quaternion Fourier transform and color image texture analysis [J]. Signal Processing, 2010, 90(6): 1825-1835.
- [12] OJALA T, PIETIKAINEN M, MAENPAA T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(7): 971-987.
- [13] JIA Q, LYV X L, WU C. Evaluation of engineering camouflage effectiveness based on human visual attention mechanisms [C]// 2011 International Conference on E-Business and E-Government. Piscataway: IEEE, 2011: 1-4.
- [14] CHANDESA T, PRIDMORE T, BARGIELA A. Detecting occlusion and camouflage during visual tracking [C] // IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications. Piscataway: IEEE, 2009: 468-473.
- [15] 李金屏, 李倩. 基于 Laws 能量和变化频次的伪装色移动目标检测 [J]. 中国体视学与图像分析, 2011, 16(1): 18-23.

(上接第 521 页)

4 结语

针对传统的多数地形合成算法存在的结果不可预测性和过程不可控制性,本文提出了一种新的地形合成算法,其特点包括:1) 基于改进的分形插值方法生成了真实感独立山体;2) 基于特征草图和一定数量的独立山体能够有效地合成多种类型的地形模型。今后将研究具有良好视觉效果精细地形纹理图像合成方法,从而进一步提高合成地形的真实感。

参考文献:

- [1] PARRY S H. The generation and use of parameterized terrain in land combat simulation [C]// WSC '77: Proceedings of the 9th Conference on Winter Simulation Conference. New York: ACM, 1977: 422-431.
- [2] BELHADJ F. Terrain modeling: a constrained fractal model [C]// AFRIGRAPH '07: Proceedings of the 5th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa. New York: ACM, 2007: 197-204.
- [3] 齐敏, 郝重阳, 佟明安. 基于分形技术的多分辨率三维地景建模方法研究 [J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(7): 568-572.
- [4] SALA N, METZELTIN S, SALA M. Applications of mathematics in the real world: territory and landscape [C]// Proceedings of the International Conference on the Humanistic Renaissance in Mathematics Education. Palermo, Italy: Pergamon Press, 2002: 326-333.
- [5] SCHNEIDER J, BOLDTE T, WESTERMANN R. Real-time editing, synthesis, and rendering of infinite landscapes on GPUs [C]// Proceedings of the Vision, Modelling, and Visualization. Aachen: IOS Press, 2006: 145-152.
- [6] OLSEN J. Realtime procedural terrain generation [R]. Copenhagen: University of Southern Denmark, 2004.
- [7] DACHSBACHER C. Interactive terrain rendering: towards realism with procedural models and graphics hardware [D]. Nürnberg: University of Erlangen-Nürnberg, 2006.
- [8] NEIDHOLD B, WACKER M, DEUSSEN O. Interactive physically based fluid and erosion simulation [C]// NPH'05: Proceedings of the Eurographics Workshop on Natural Phenomena. Aire-la-vile: Eurographics Association Press, 2005: 25-32.
- [9] MEI X, DECAUDIN P, HU B G. Fast hydraulic erosion simulation and visualization on GPU [C]// Proceedings of the 15th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications. Hawaii: IEEE Computer Society, 2007: 47-56.
- [10] ZHOU H, SUN J, TURK G, *et al.* Terrain synthesis from digital elevation models [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007, 13(4): 834-848.
- [11] HNAIDI H, GUÉRIN E, AKKOUACHE S, *et al.* Feature based terrain generation using diffusion equation [J]. Computer Graphics Forum, 2010, 29(7): 2179-2186.
- [12] DORAN J, PARBERRY I. Controlled procedural terrain generation using software agents [J]. IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games, 2010, 2(2): 111-119.
- [13] RUSSELL B, MOULD D, ERAMIAN M. Feature-rich distance-based terrain synthesis [J]. The Visual Computer: International Journal of Computer Graphics, 2009, 25(5/7): 573-579.
- [14] 李庆忠, 高秀荣. 三维可控真实感地形生成方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(11): 2938-2941.
- [15] 尹华飞, 郑昌文, 胡晓惠. 交互式数字地形合成算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(7): 909-917.
- [16] MANDELBROT B B. The fractal geometry of nature [M]. San Francisco: Freeman, 1982.
- [17] FERRARIS J, GATZIDIS C, TIAN F. Automating terrain texturing in real-time using a rule-based approach [J]. International Journal of Virtual Reality, 2010, 9(4): 21-28.