

8-14-2020

Random-walk Smokescreen Simulation Model of Real-time Correction

Sun Xun

1. Department of graduate management of Institute of NBC Defence, Beijing 102205, China;;2. Department of chemical defence equipment of Institute of NBC Defence, Beijing 102205, China;

Xuanyu Wang

2. Department of chemical defence equipment of Institute of NBC Defence, Beijing 102205, China;

Wang Xian

1. Department of graduate management of Institute of NBC Defence, Beijing 102205, China;;

Shunhua Liu

1. Department of graduate management of Institute of NBC Defence, Beijing 102205, China;;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Random-walk Smokescreen Simulation Model of Real-time Correction

Abstract

Abstract: Gaussian diffusion mode of smokescreen is not suitable for complex atmospheric conditions and it is not easy to accurately obtain statistical properties of particles by utilizing random-walk mode, so the practicability of these two kinds of modes is limited. In view of the problems mentioned above, *the revised random-walk smokescreen simulation model method was put forward, in the method, mathematical morphology algorithm was utilized to detect the data on smokescreen edge in a video in real-time and the model was rectified in real-time on basis of such data.* The test result indicates that the revised model is suitable for actual smokescreen modeling and simulation under complex atmospheric conditions. The precision of the generated simulation smokescreen is controllable and the model is approximate to the real smokescreen. The method realizes precise simulation of smokescreen and solves the problems that the random-walk model and gauss smokescreen simulation model are not practical.

Keywords

smokescreen, mathematical morphology, edge detection, random-walk mode, simulation

Recommended Citation

Sun Xun, Wang Xuanyu, Wang Xian, Liu Shunhua. Random-walk Smokescreen Simulation Model of Real-time Correction[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(9): 1979-1984.

实时修正的烟幕随机游走仿真模型

孙逊^{1,2}, 王玄玉², 王献¹, 刘顺华¹

(1.防化学院研究生管理大队, 北京 102205; 2.防化学院防化装备系, 北京 102205)

摘要: 烟幕的高斯扩散模式不适合复杂大气条件, 随机游走模式不易精确求得微粒的统计性质, 这两种模式实用性均受到限制。针对上面所说的问题, 提出了利用数学形态学算法实时检测视频中烟幕边缘数据, 根据此数据实时修正的随机游走烟幕仿真模型的方法。试验结果表明, 修正后的模型适合实际的复杂大气条件下烟幕建模仿真, 所生成的仿真烟幕精度可控, 比较接近真实的烟幕, 实现了烟幕的精确化仿真。解决了随机游走和高斯烟幕仿真模型不太实用的问题。

关键词: 烟幕; 数学形态学; 边缘检测; 随机游走; 仿真

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2016) 09-1979-06

Random-walk Smokescreen Simulation Model of Real-time Correction

Sun Xun^{1,2}, Wang Xuanyu², Wang Xian¹, Liu Shunhua¹

(1. Department of graduate management of Institute of NBC Defence, Beijing 102205, China;

2. Department of chemical defence equipment of Institute of NBC Defence, Beijing 102205, China)

Abstract: Gaussian diffusion mode of smokescreen is not suitable for complex atmospheric conditions and it is not easy to accurately obtain statistical properties of particles by utilizing random-walk mode, so the practicability of these two kinds of modes is limited. In view of the problems mentioned above, the revised random-walk smokescreen simulation model method was put forward, in the method, mathematical morphology algorithm was utilized to detect the data on smokescreen edge in a video in real-time and the model was rectified in real-time on basis of such data. The test result indicates that the revised model is suitable for actual smokescreen modeling and simulation under complex atmospheric conditions. The precision of the generated simulation smokescreen is controllable and the model is approximate to the real smokescreen. The method realizes precise simulation of smokescreen and solves the problems that the random-walk model and gauss smokescreen simulation model are not practical.

Keywords: smokescreen; mathematical morphology; edge detection; random-walk mode; simulation

引言

高斯扩散模式是研究一个固定空间上的扩散过程, 假设烟云浓度正态分布, 利用高斯方程得到的烟幕是一个椭圆, 适用条件是地面开阔平坦、性

质均匀, 扩散物质是稳定的、被动的, 地面对其全反射; 扩散物质处于同一类温度层结的气层中, 计算范围不超过 10 km; 平均流场平直、稳定、平均风速和风向没有明显的时间变化, 且风速大于 1 m/s。其局限性由其假定可以看出, 由于以湍流交换系数为常数(梯度传送理论中的系数)作前提, 在实际的复杂大气条件下(如非定常、非均匀、非全反射等)往往是不适宜的。而在稳定的大气条件下, 选择高斯扩散模式是比较适合的^[1]。



收稿日期: 2015-05-12 修回日期: 2015-07-30;
作者简介: 孙逊(1973-), 男, 吉林公主岭, 博士生, 研究方向为武器系统工程; 王玄玉(1965-), 男, 陕西蒲城, 博士, 博导, 研究方向为军事化学与烟火技术, 武器系统工程; 王献(1976-), 男, 河南浙川, 博士生, 研究方向为军事化学与烟火技术。

<http://www.china-simulation.com>

• 1979 •

拉赫特曼模式是我军在烟幕估算方面采用的另一个主要模式,它同高斯模式一样其前提条件是风温场平直均匀、地面平坦开阔,但实际战场环境通常无法满足这种前提条件,因此建立在这两种模式基础之上的烟幕估算方法在实际应用中往往会存在较大的误差^[2]。

随机游走方法模拟污染物在大气中的扩散,物理概念清晰,具有准确性高、易于控制、适用性广、无数值扩散等优点,能够体现复杂风场和地形对污染物的影响,所计算的结果更加符合真实情况^[3]。随机游走方法用大量标记粒子的施放来表示污染物的排放,跟踪粒子的运动轨迹,统计得出污染物的散布状况。适用条件是各类稳定度条件,可模拟近、中、远距离上的扩散;不仅适用于平坦的地形,也适用于复杂的地形条件,如山区、城市、海岸等;其局限性在于不易精确求得微粒的统计性质,这导致了方程的实用性受到限制^[1]。

换句话说,随机游走模式需要知道所划分的每个网格里面的温度、湿度、风速、风向等相关参数,而这一点是不容易做到的,很多都是采用插值算法对风速风向等进行求解。

针对上面所说的问题,本文提出了利用混合现实技术实时修正烟幕随机游走三维仿真模型的方法。也就是,依据传感器数据,得到温度、湿度、风速、风向等相关参数,再根据摄像机实时图像,对烟幕图像进行边缘识别,利用实际烟幕的边缘实时修正烟幕随机游走三维仿真模型,由此得到的烟幕外形轮廓是最接近观测点实际烟幕扩散模式的。在多个观测点,多个角度实时修正烟幕随机游走三维仿真模型,所生成的仿真烟幕接近真实的烟幕,实现了烟幕的精确化仿真。

1 烟幕随机游走扩散模式

大气扩散具有随机性,可以用大量粒子随机游走的方法来模拟。跟踪离开污染源的所有污染物粒子的轨迹,把每个粒子都做上标志,模拟其平流输送和湍流扩散两种作用,进而导出轨迹的总体统计

特征。

按照粒子随机扩散模拟的原理,需要计算多个粒子的运行轨迹。每个粒子的轨迹可分割成若干个离散的区间,粒子在每个区间上都经历相同的时间间隔,称为步长。

在每个步长的时间内,水平速度和垂直速度分量都认为保持定常。每个速度分量都由平均速度和叠加在上面的脉动(或称涨落)部分构成。脉动速度由两部分构成,即相关部分和随机部分,由马尔可夫方程表示^[3]。

其中任意一个粒子的轨迹方程为:

$$\begin{cases} x(t + \Delta t) = x(t) + \\ \quad \overline{u}(t) + u'(t) \exp(-\Delta t / T_{L,u}) + u''(t) \Delta t \\ y(t + \Delta t) = y(t) + \\ \quad \overline{v}(t) + v'(t) \exp(-\Delta t / T_{L,v}) + v''(t) \Delta t \\ z(t + \Delta t) = z(t) + \\ \quad \overline{w}(t) + w'(t) \exp(-\Delta t / T_{L,w}) + w''(t) \Delta t \end{cases} \quad (1)$$

式中 $x(t + \Delta t)$ 、 $y(t + \Delta t)$ 、 $z(t + \Delta t)$ 分别为粒子在 $t + \Delta t$ 时刻 3 个坐标轴方向的位置, $x(t)$ 、 $y(t)$ 、 $z(t)$ 分别为粒子在 t 时刻 3 个坐标轴方向的位置, Δt 为计算轨迹所取时间步长; 其中 $\overline{u}(t)$ 、 $\overline{v}(t)$ 和 $\overline{w}(t)$ 表示在这个时间步长内风速在各方向上的平均量, $u'(t)$ 、 $v'(t)$ 和 $w'(t)$ 为脉动速度; $T_{L,u}$ 、 $T_{L,v}$ 、 $T_{L,w}$ (在后简单表示成 T_u 、 T_v 、 T_w) 为拉格朗日时间尺度。 $u''(t)$ 、 $v''(t)$ 、 $w''(t)$ 为涨落量中的随机部分。

假定它呈正态分布,均值为 0,标准差为 σ_u'' 、 σ_v'' 、 σ_w'' ,有如下关系^[3]:

$$\begin{cases} \sigma_u'' = \overline{(u'^2)^2}^{\frac{1}{2}} [1 - R_{L,u}^2(\Delta t)]^{\frac{1}{2}} \\ \sigma_v'' = \overline{(v'^2)^2}^{\frac{1}{2}} [1 - R_{L,v}^2(\Delta t)]^{\frac{1}{2}} \\ \sigma_w'' = \overline{(w'^2)^2}^{\frac{1}{2}} [1 - R_{L,w}^2(\Delta t)]^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (2)$$

$R_{L,u}(\Delta t)$ 、 $R_{L,v}(\Delta t)$ 和 $R_{L,w}(\Delta t)$ 为分量 $u'(t)$ 、 $v'(t)$ 和 $w'(t)$ 经 Δt 时间的拉格朗日自相关系数,其中 $\overline{(u'^2)^2}^{\frac{1}{2}}$ 、 $\overline{(v'^2)^2}^{\frac{1}{2}}$ 和 $\overline{(w'^2)^2}^{\frac{1}{2}}$ 表示涨落量 u' 、 v' 和 w'

的标准差, 即 σ_u , σ_v 和 σ_w

考虑到垂直方向与水平方向湍流扩散方面的差异, 对于垂直湍流速度我们借用别人经验, 使用如下处理方法^[3]:

$$w'(t + \Delta t) = w'(t)R_w(\Delta t) + [1 - R_w^2(\Delta t)]^{1/2} \sigma_w \xi + \Delta t \frac{d\sigma_w}{dz} \quad (3)$$

式中 ξ 是均值为 0, 标准差为 1 的正态分布随机数。

由(1)及(2)式计算得到任一施放粒子在任意时刻的空间位置坐标, 可以跟踪粒子的轨迹, 得到烟幕的三维扩散云图。

2 数学形态学烟幕边缘识别

近几年利用新兴技术对图像进行边缘检测研究引起了人们很大的兴趣, 每年都有许多相关的研究成果报道。这些算法中, 出现了基于模糊数学、统计分析、小波变换、遗传算法、曲面拟合、数学形态学等许多新的边缘检测方法, 基于新兴技术的边缘检测研究是现在边缘检测算法的主要研究方向^[4]。数学形态学方法的基本变换包括膨胀、腐蚀、开启、闭合。通过基本变换运算, 可以得出边缘检测算子。数学形态学算法检测到的烟幕视频边缘数据在连续性、光滑性、图像辨识度、实践复杂度、运算时间等相关参数方面具有明显优势^[5]。

结构元素是图像数学形态学的基本算子, 所有图像的形态学处理都由它来完成, 合理选取结构元素直接影响图像处理的效果和质量。在边缘提取的形态变换中, 一般采用 3×3 , 5×5 , 7×7 的结构元素, 其中 3×3 结构元素是最快速的, 提取的边缘也是最细腻的, 大了会对边缘提取的精度带来损失^[6]。

本文利用多个结构元素和变换形态学运算方法得到一种新的烟幕边缘检测算法, 即:

$$E_{R5}(x, z) = (f(x, z) \ominus B_1 - f(x, z) \ominus B_2) \oplus B_3 - f(x, z) \quad (4)$$

其中: $E_{R5}(x, z)$ 为实时烟幕图像的边缘函数; $f(x, z)$ 为图像函数; B_1 为结构元素 1 `strel('ball', 3, 3)`; B_2 为结构元素 2 `strel('ball', 5, 5)`; B_3 为结构元素 3; x 为

水平轴(烟幕长度方向); z 为垂直轴(烟幕高度方向); \oplus 为膨胀运算; \ominus 为腐蚀运算;

由于考虑到算法的实时性, 没有将算子设计的很复杂。

3 修正后的烟幕仿真模型

建立烟幕仿真模型的关键确定合适的输入参数, 这些参数都要根据实际模拟地形和气象条件, 由试验和模式模拟获取。比如: 风速, 风向, 温度, 湿度, 大气稳定度, 地面粗糙度, 摩擦速度与对流速度, PBL 厚度, 拉格朗日时间尺度和涨落速度标准差, 热抬升与初始速度, 以及粒子重力沉降和地面反射等。

然而, 这些试验参数是不容易求得的, 或者是不容易测得的。

我们对影响烟幕的参数进行归纳与简化, 认为最终影响烟幕参数的是风, 既是风速、风向。

选用视频图像大小为 640×480 像素, Intel, Core(TM)i7, CPU2.20 GHz, 12 G 内存, 64 位操作系统的笔记本电脑, VC++.net 和 OSG、Matlab 混合编程。

空中摄像机和地面摄像机拍摄到的烟幕图像 S_{ck} , S_{cg} , 图像边缘为 E_{Rck} ; E_{Rcg} , S_{cg} 及其烟幕边缘 E_{Rcg} 如图 1 所示。

与 Canny 算子比, 数学形态学方法计算程序运行时间如表 1 所示。

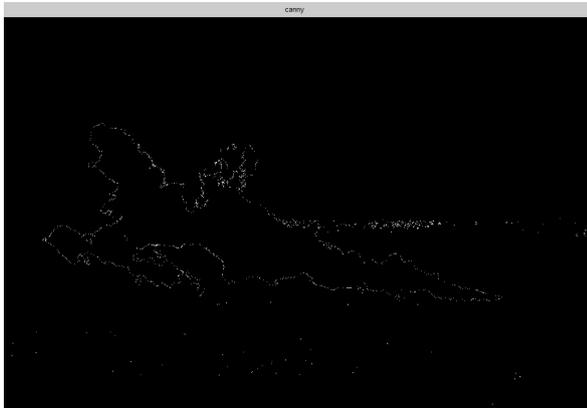
和 Canny 算子相比, 数学形态学的边缘检测只作普通的加减运算, 时间虽然开销多一点, 但是结果图像的边缘分界鲜明, 定位准确, 特征更明显, 连续性、精度等性能好、实时性也不错。

我们利用烟幕仿真模型所生成的烟幕图像 S_{sk} , S_{sg} , 图像边缘为 E_{Ssk} , E_{Ssg} , 地面观察角度的仿真烟幕图像 S_{sg} , 地面观察角度的仿真烟幕边缘 E_{Ssg} 如图 2 所示。

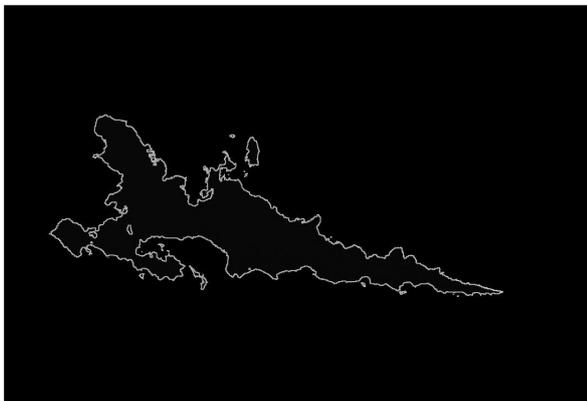
如果把拍摄到的烟幕图像边缘和烟幕仿真模型所生成的烟幕图像边缘放在同一幅图像中, 如图 3 所示。



(a) 烟幕原图



(b) Canny 算子进行边缘检测后图



(c) 数学形态学进行边缘检测后图

图 1 地面摄像机拍摄到的烟幕图像及其边缘

表 1 边缘检测运算时间

算法	连续性	光滑性	图像 辨识度	实践复杂度	运算 时间/s
Canny	一般	差	一般	(高斯窗长 ² +7)× O(1×W)	0.113 26
数学 形态学	好	好	好	(9×2+1)× O(1×W)	0.188 3

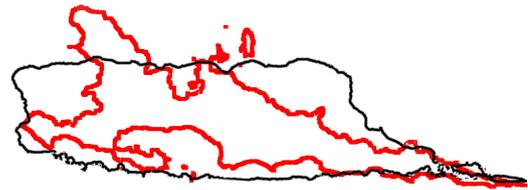


(a) 仿真烟幕图



(b) 仿真烟幕边缘

图 2 烟幕仿真模型所生成的地面视角烟幕图像



(图中粗线为实际烟幕边缘, 细线为仿真烟幕边缘)

图 3 仿真烟幕边缘与实际烟幕边缘比较

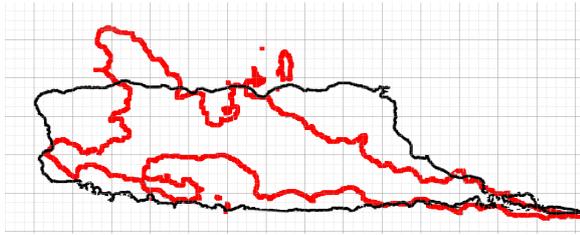
把图像所在区域划分成若干网格 $\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$, 网格中的两个烟幕图像的边缘差除以时间既得该

$$\text{方向上需要修正的风速 } W_{Rg} = \frac{E_{Rcg} - E_{Ssg}}{\Delta t} ,$$

$$W_{Rk} = \frac{E_{Rck} - E_{Ssk}}{\Delta t} , \quad W_R = W_{Rg} + W_{Rk} , \quad \text{其中: } W_R \text{ 为}$$

修正风速; W_{Rg} 为地面观察角度的修正风速; W_{Rk} 为空中观察角度的修正风速; E_{Rcg} 为地面观察角度实时烟幕边缘; E_{Ssg} 为地面观察角度仿真烟幕边缘; E_{Rck} 为空中观察角度实时烟幕边缘; E_{Ssk} 为空中观察角度仿真烟幕边缘; Δt 为间隔时间。

地面上的修正风速如图 4 所示。



(图中粗线为实际烟幕边缘, 细线为仿真烟幕边缘)

图 4 实际烟幕与仿真烟幕所在区域
划分成若干网格 $\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 分别表示 X 方向, Y 方向, Z 方向上所设定的网格的大小, 其中 $\Delta x=L$ 米, $\Delta y=W$ 米, $\Delta z=H$ 米, 网格数设为 N 个。

将此风速加载到烟幕随机游走仿真模型中, 即为一个方向上的修正的 RPPM 烟幕仿真模型, 将修正后的 RPPM 烟幕仿真模型合并计算, 即可得到修正后的烟幕的 RPPM 仿真模型, 将(1)式修正后可得:

$$\begin{cases} x(t + \Delta t) = x(t) + \\ [\bar{u}(t) + u'(t) \exp(-\Delta t / T_{L,u}) + u''(t) + W_{Rx}] \Delta t \\ y(t + \Delta t) = y(t) + \\ [\bar{v}(t) + v'(t) \exp(-\Delta t / T_{L,v}) + v''(t) + W_{Ry}] \Delta t \\ z(t + \Delta t) = z(t) + \\ [\bar{w}(t) + w'(t) \exp(-\Delta t / T_{L,w}) + w''(t) + W_{Rz}] \Delta t \end{cases} \quad (5)$$

式中 $u(t)$, $v(t)$ 和 $w(t)$ 分别为粒子在 3 个坐标轴方向的速度, Δt 为计算轨迹所取时间步长。其中 $\bar{u}(t)$ 、 $\bar{v}(t)$ 和 $\bar{w}(t)$ 表示在这个时间步长内风速在各方向上的平均量, $u'(t)$, $v'(t)$ 和 $w'(t)$ 为脉动速度。脉动速度由两部分构成, 即相关部分和随机部分。 W_{Rx} , W_{Ry} 和 W_{Rz} 分别为粒子在 3 个坐标轴方向的修正速度。

模式离散化后的粒子位置方程为:

$$\begin{cases} x^{n+1} = x^n + \Delta t [U^n(x^n, y^n, z^n) + u^n(x^n, y^n, z^n) \\ \exp(-\Delta t / T_{L,u}) + u''(x^n, y^n, z^n) + W_{Rx}^n(x^n, y^n, z^n)] \\ y^{n+1} = y^n + \Delta t [V^n(x^n, y^n, z^n) + v^n(x^n, y^n, z^n) \\ \exp(-\Delta t / T_{L,v}) + v''(x^n, y^n, z^n) + W_{Ry}^n(x^n, y^n, z^n)] \\ z^{n+1} = z^n + \Delta t [W^n(x^n, y^n, z^n) + w^n(x^n, y^n, z^n) \\ \exp(-\Delta t / T_{L,w}) + w''(x^n, y^n, z^n) + W_{Rz}^n(x^n, y^n, z^n)] \end{cases} \quad (6)$$

式中 Δt 为时间步长, 变量上标表示时步数。

表中给出了试验风速为 3 m/s, 风向北, 温度 26 °C, 湿度 70% 条件下的, 从第 50 s 到 100 s 的不同时间、位置的烟幕观测解算数据数据, 如表 2 所示。

表 2 不同时间、位置的烟幕观测解算数据

时间/s	长度/m	宽度/m	高度/m
50	170.25	210.36	28.23
55	170.16	230.53	32.34
60	200.86	220.42	36.16
65	220.12	250.78	36.19
70	250.34	270.36	40.75
75	260.59	280.34	44.81
80	260.82	300.96	44.64
85	280.46	320.25	44.53
90	300.18	340.29	40.76
95	320.67	370.36	44.53
100	330.24	390.46	44.34

仿真时, 设置发烟装备为发烟车, 地面为平坦草地, 源强设置为 400 g/s, 初始云团半径设置为 2 m, 2 m 处风速为 3 m/s, 2 m 处温度为 26 °C。

利用 Matlab 计算的烟幕立体图如图 5 所示, 烟幕跨风图如图 6 所示。

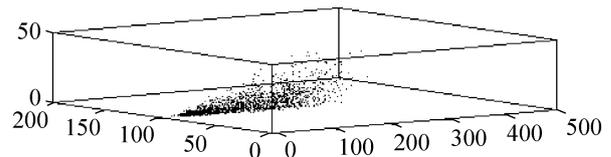


图 5 烟幕立体图

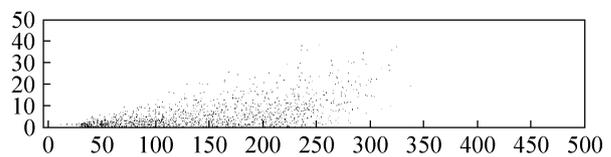
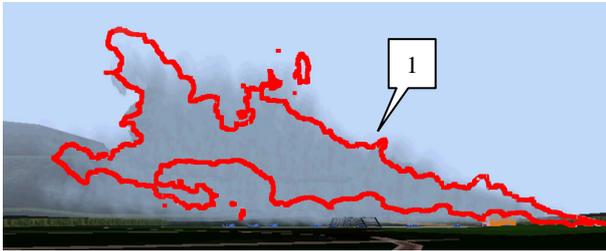


图 6 烟幕跨风图

烟团粒子在扩散过程中, 随着时间的推移, 面片的大小在不断的进行扩张, 在刚刚从烟幕源释放时粒子面片较小, 随着不断的扩散, 粒子面片慢慢会变大, 这样绘制出的烟团效果更加符合现实效

果, 利用 VC++ 与 OSG 绘制的烟幕效果图如图 7 所示。



(图中 1 为实际烟幕边缘, 灰色为仿真烟幕)

图 7 修正后的仿真烟幕

4 结论

基于烟幕扩散的随机游走理论, 利用数学形态学方法对烟幕实时视频进行边缘识别, 根据此数据修正的烟幕扩散随机游走数学模型, 此模型可以应用于烟幕仿真, 具有实际应用价值, 不仅在军事领域, 而且在民用大气扩散规律研究及治理等方面,

具有广阔的应用前景和经济效益。

参考文献:

- [1] 张红雨, 张志生, 王乃岩, 等. 发烟剂大气扩散高斯模式与随机游走模式比较 [J]. 光电技术应用, 2004, 19(6): 38-41.
- [2] 王献. 一个三维实时烟幕估算模式的建立及应用 [D]. 北京: 防化研究院, 2004: 3-5.
- [3] 李宗恺, 杜曙明. 一个对流边界层中的随机扩散模式 [J]. 大气科学, 1993, 17(1): 1-8.
- [4] Yitzhak Yitzhaky, Eli Peli. A Method for Objective Edge Detection Evaluation and Detector Parameter Selection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (S0162-8828), 2003, 25(8): 1027-1033.
- [5] Sun Xun, Wang Xuanyu, Luo Zhirong, et al. Research on the edge detection algorithm of smokescreen based on mathematical morphology [J]. Applied Mechanics and Materials (S1660-9336), 2014 (4): 429-436.
- [6] 李杰, 苗长云, 武志刚, 等. 基于数学形态学的图像边缘检测算法的研究 [J]. 计算机科学, 2012, 39(6): 547.