

文章编号: 1001-3806(2013)01-0118-03

## 改进的光流场算法在核爆炸图像监控中的应用

李亚南 余学才\* 唐 飞 黄 凯 丁建平  
(电子科技大学 光电信息学院 成都 610054)

**摘要:** 为了监测出核爆炸,采用一种改进的 Horn-Schunck 算法进行了理论分析和实验验证。计算出连续帧核爆图片的光流场,绘制出光流场图。例如,取第 1159 帧和第 1160 帧图像,得到了水平光流均值为 0.018181pixel/s,均方差为 0.375775pixel/s;垂直光流均值为 -0.503308pixel/s,均方差为 0.896142pixel/s。结果表明,根据图形及速度分布能够判断出核爆炸。

**关键词:** 图像处理;核爆炸;光流场;Horn-Schunck 算法

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

**doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.01.029

### Application of improved optic flow field in the supervisory control of nuclear explosion

LI Ya-nan, YU Xue-cai, TANG Fei, HUANG Kai, DING Jian-ping

(Department of Optical Engineering, School of Physical Electronics, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** An improved Horn-Schunck algorithm method was proposed to judge nuclear explosion. The optic flow field of a consecutive sequence of frames of nuclear explosion was calculated and the picture of optic flow field was drawn. For example, the average horizontal optical flow field was 0.018181pixel/s with a mean square deviation (MSD) of 0.375775pixel/s and the average vertical optical flow field was -0.503308pixel/s with a MSD of 0.896142pixel/s at the 1159th frame and the 1160th frame. A preliminary judgment can be made that it is a nuclear explosion according the picture and velocities distribution.

**Key words:** image processing; nuclear explosion; optic flow field; Horn-Schunck algorithm

### 引 言

目标的识别与跟踪是当前计算机视觉研究的重点与热点,在军事侦察等领域发挥着重大作用。核爆在军事中占着举足轻重的地位,是当今人们关注的焦点。核爆炸通过冲击波、光辐射、早期核辐射、核电磁脉冲和放射性污染等效应对人体产生极大的危害。因此,核爆炸监测技术在军事防卫中起着很大的作用。目前,国际上先进的核爆炸监测技术主要有卫星监测、地震波监测、空气采样监测<sup>[1]</sup>,其中卫星监测主要是侦测洲际弹道导弹(intercontinental ballistic missile, ICBM)的发射。美国早期的监测系统,其空气采样由一架 B-29 轰炸机往返于阿拉斯加和日本之间获得,当时主要用于获取俄罗斯核试验的空气样本,现在则由一架 WC-135 侦察机来进行各

地核爆炸的大气取样。空气采样监测具有一定的滞后性,而且操作不方便。地震波监测主要是监测地下核爆炸。地震波监测通过监测地震的传感器监测到核爆炸产生的震波信号。其最主要的困难在于,每天都有种类繁多、数量庞大的地震和化学物质爆炸等非核爆炸现象产生的地震波信号,产生了大量无用数据。本文中提出用光流法来辅助监测核爆炸,能够实现远程监测核爆炸。截取核爆炸的连续帧图像,计算连续帧图像的光流场,提取出光流场图及速度分布的特征,由这些特征初步判断出核爆炸。这种监测手段简单方便、实时迅速,且能够实现远距离监测,具有广阔的应用前景。

光流是指图像中灰度模式运动速度,它是景物中可见点的 3 维速度矢量在成像表面的投影,是一种 2 维瞬时速度场。目前光流场的计算方法主要有 5 种:基于梯度方法(微分法)、基于区域方法(匹配法)、基于能量方法(能量法)、基于相位方法(相位法)、神经动力学方法。作者在梯度方法<sup>[2-10]</sup>的基础上提出了一种改进算法,较好地提高了计算效率。

**作者简介:** 李亚南(1988-),女,硕士研究生,主要研究工作是图像处理与计算机视觉。

\* 通讯联系人。E-mail: x.yu3333@gmail.com

收稿日期:2012-04-26;收到修改稿日期:2012-05-22

### 1 Horn-Schunck 光流算法原理

HORN 等人根据相邻图像之间的间隔时间很小 (几十毫秒之内)、其图像中灰度变化也很小的前提下 推导出运动分析的基本等式:

$$\frac{\partial I}{\partial x} u + \frac{\partial I}{\partial y} v + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

式中  $u, v$  为  $(x, y)$  点处分别沿  $x, y$  方向的流速,  $t$  表示时间,  $I$  是  $(x, y, t)$  像素点的灰度值。由全局平滑假设为基础的光流场的解法得到:

$$u = \bar{u} - I_x \frac{I_x \bar{u} + I_y \bar{v} + I_t}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (2)$$

$$v = \bar{v} - I_y \frac{I_x \bar{u} + I_y \bar{v} + I_t}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (3)$$

式中  $I_x, I_y, I_t$  分别表示灰度对  $x, y, t$  的偏导;  $\bar{u}, \bar{v}$  分别表示  $u, v$  的平均值;  $\alpha$  为权值, 表示图像数据和约束条件之间的权重。利用高斯-赛格尔迭代法:

$$u^{(n+1)} = \bar{u}^{(n)} - \frac{I_x (I_x \bar{u}^{(n)} + I_y \bar{v}^{(n)} + I_t)}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (4)$$

$$v^{(n+1)} = \bar{v}^{(n)} - \frac{I_y (I_x \bar{u}^{(n)} + I_y \bar{v}^{(n)} + I_t)}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (5)$$

式中  $n, n+1$  分别表示第  $n$  次和第  $n+1$  次迭代。

### 2 基于 Horn-Schunck 光流算法原理的改进

在传统的 Horn-Schunck 光流算法中, 通常在计算 (4) 式和 (5) 式中的  $\bar{u}, \bar{v}$  时, 常采用四邻域的模板, 即

$$\begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 4 & & \\ 1 & & 1 & \\ 4 & & 4 & \\ & & & 1 \\ & & & & 4 \end{bmatrix} \circ$$

$$\bar{u}^{(n)}(i, j) = [u^{(n-1)}(i-1, j) + u^{(n-1)}(i, j-1) + u^{(n-1)}(i+1, j) + u^{(n-1)}(i, j+1)]/4 \quad (6)$$

$$\bar{v}^{(n)}(i, j) = [v^{(n-1)}(i-1, j) + v^{(n-1)}(i, j-1) + v^{(n-1)}(i+1, j) + v^{(n-1)}(i, j+1)]/4 \quad (7)$$

式中  $i, j$  表示横纵坐标。本文中在计算  $\bar{u}$  和  $\bar{v}$  时也采用如上四邻域模板, 但每次计算时都有两个  $u, v$  的值采用迭代出的新的  $u, v$  值, 即:

$$\bar{u}^{(n)}(i, j) = [u^{(n)}(i-1, j) + u^{(n)}(i, j-1) + u^{(n-1)}(i+1, j) + u^{(n-1)}(i, j+1)]/4 \quad (8)$$

$$\bar{v}^{(n)}(i, j) = [v^{(n)}(i-1, j) + v^{(n)}(i, j-1) + v^{(n-1)}(i+1, j) + v^{(n-1)}(i, j+1)]/4 \quad (9)$$

### 3 实验及分析

核爆炸的光流场的特点是: 核爆炸的光流场有向

上的垂直速度和基本对称的水平速度。在核爆炸初期和中期, 爆炸向左右、斜上、上方展开, 垂直向上速度较大, 在核爆炸晚期, 速度趋于稳定, 呈现出翻滚蘑菇形状, 并且有一对称分布分量。下面从 4 个方面来分析核爆炸的光流场的特征。

#### 3.1 光流场图

本实验从核爆炸记录视频中截取出许多连续帧图像, 图像大小为  $1024 \times 576$ , 任取第 1159 帧和第 1160 帧两幅连续帧图像为例, 如图 1 和图 2 所示, 利用 Horn-Schunck 光流算法, 得到的结果如图 3 所示。当权值  $\alpha = 20$ 、误差容限  $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0.01$  时, 改进算法迭代 153 次, 所用的时间为 38s, 传统算法迭代 183 次, 所用的时间为 52s; 当权值  $\alpha = 20$ 、误差容限  $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0.001$  时, 改进算法迭代 785 次, 所用的时间为 198s, 传统算法迭代 1006 次, 所用的时间为 280s。由此可见, 改进算法能够提高计算速度, 且当误差容限越小时, 改进算法提高速度越显著。

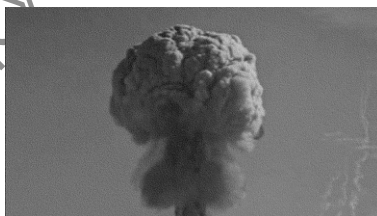


Fig. 1 1159th frame

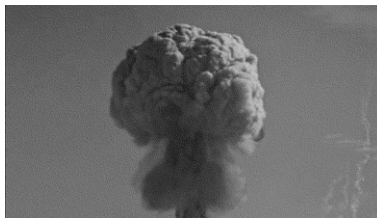


Fig. 2 1160th frame

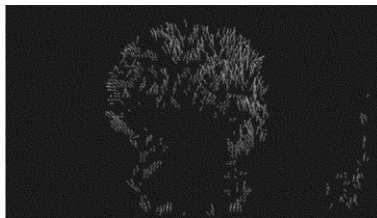


Fig. 3 Optical flow field of nuclear explosion

由图 3 光流场图可初步看出核爆炸的轮廓, 初步判断为核爆炸。图中箭头指示的方向表示光流的方向, 箭头的大小表示光流的相对大小。在蘑菇云下部, 光流场箭头向上, 核爆炸具有向上的速度。在蘑菇云上部, 光流场箭头向左右、斜上、上方, 核爆炸向左右、斜上、上方展开。

#### 3.2 水平速度在不同行的速度分布

核爆炸的水平速度应该是越往上, 水平速度越大, 在蘑菇云的下部, 水平速度很小, 在蘑菇云的上部, 水

平速度较大,并且左右基本对称。

还是以第1159帧和第1160帧计算得到的光流场为例,图4中画出了不同行的 $u$ 沿 $x$ 方向的速度分布。图4的横坐标是 $x$ ,纵坐标表示每一行 $u$ 的大小,负值的 $u$ 分量表示向左,正值的 $u$ 分量表示向右。其中 $\mu$ 的单位是 $\text{pixel/s}$ , $x$ 无单位,表示第多少个像素。

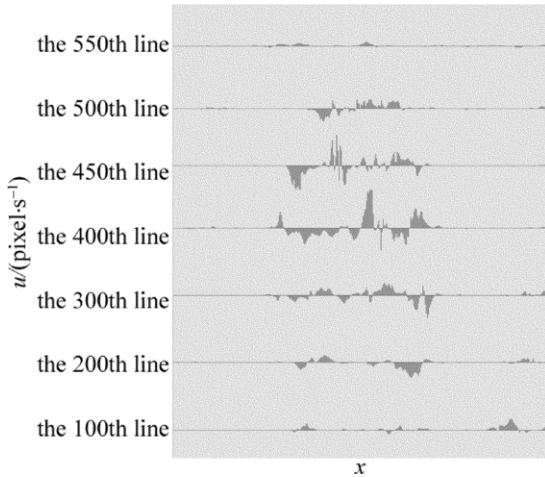


Fig. 4 Changes of  $u$  in horizontal direction

由图4可知,在蘑菇云的下端(第100行) $\mu$ 速度很小,即蘑菇云基本上没扩散,由第400行及第450行可以看出,位于蘑菇云的上部扩散较大, $\mu$ 也较大,并且基本上是左边向左扩散( $u$ 为负值),右边向右扩散( $u$ 为正值)。

### 3.3 水平速度均值

由核爆炸的特点可知,水平速度是左右基本对称的,所以 $u$ 的均值基本应该为0,垂直速度较大,所以 $v$ 具有较大的均值。

当权值 $\alpha=20$ 、误差容限 $\varepsilon_1=\varepsilon_2=0.01$ 时,任取6组连续帧图像,经过计算, $\mu$ 和 $v$ 在整幅图像中的均值及均方差见表1。

Table 1 The averages and mean square deviation of  $u$  and  $v$

order number of frames	$u /$ ( $\text{pixel} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$v /$ ( $\text{pixel} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$\sigma(u)$ ( $\text{pixel} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$\sigma(v)$ ( $\text{pixel} \cdot \text{s}^{-1}$ )
1159 ~ 1160	0.018181	-0.503308	0.375775	0.896142
1173 ~ 1174	0.004027	-0.251976	0.163958	0.493174
1235 ~ 1236	0.018219	-0.075823	0.149347	0.194800
1273 ~ 1274	0.009490	-0.102072	0.144218	0.249535
1327 ~ 1328	0.021839	-0.094538	0.148939	0.234645
1364 ~ 1366	0.009389	-0.180746	0.162622	0.352276

由于截取的视频是摄像机向上移动,所以整幅图像的所有像素点向下移动,故 $v$ 的均值较大,且为负值。由于核爆炸左右速度基本对称,所以 $u$ 的均值很小,均方差较大。

### 3.4 水平速度的均方差变化

在整个核爆炸过程中,在核爆炸初期及中期,水平

方向速度较大,均方差也较大,在核爆晚期,核爆炸趋于稳定,水平速度较小,均方差较小。图5是实验中计算的平均均方差,横坐标表示采集的第 $i$ 帧图像,无单位,纵坐标表示 $u$ 的平均均方差( $\sigma(u)$ 的平均值),由图可以看出核爆炸的水平扩散趋势。

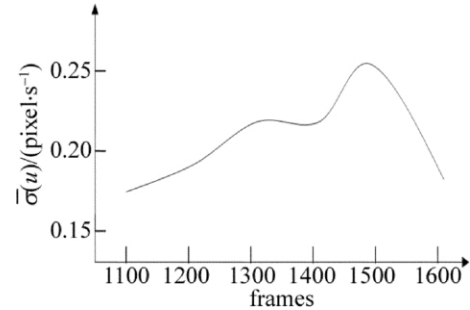


Fig. 5 Change of  $\sigma(u)$  with frame

## 4 结论

由实验结果可以看出,改进算法能显著地提高计算速度。通过计算连续多帧图像的光流场,分析光流场的变化规律,提取出核爆炸光流场的特征,由光流的特征判断出核爆炸。

### 参考文献

- [1] MAO Y Z. The development of nuclear monitoring technology of nuclear explosion [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 1990, 10(5): 301-307 (in Chinese).
- [2] HORN B K P, SCHUNK B G. Determining optical flow [J]. Artificial Intelligence, 1981, 17(1/3): 185-203.
- [3] NIU Zh B, ZHOU Y, SHI K. Super resolution reconstruction for infrared dim point target [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2011, 30(2): 137-148 (in Chinese).
- [4] ZHOU W, BAO Y L, YU J, et al. Improved optical flow method and its application in the study on FAE [J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(2): 9-11 (in Chinese).
- [5] WEI Sh G, CHEN Zh, LI M. An improvement of optical flow estimation based on gradient [J]. Computer Engineering, 2006, 33(1): 198-200 (in Chinese).
- [6] CHEN Zh, GAO M T, SHEN Y W. Current situation and trends of optical flow estimation using color images [J]. Robot, 2001, 23(6): 559-562 (in Chinese).
- [7] XIA Y P, WANG X, HU F. Methods of improving image gradients reliability on optical flow algorithm [J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 46(4): 163-169 (in Chinese).
- [8] ZHANG Z X, LI J Z, LI D D. Research of automated image registration technique for infrared images based on optical flow field analysis [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2003, 22(4): 307-312 (in Chinese).
- [9] LI H, YANG T W, REN P Zh, et al. Moving target tracking based on optical flow field analysis in complex background [J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(10): 13-17 (in Chinese).
- [10] LI M K, GUAN J. Estimation of color optical flow based on geometric algebra [J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(10): 2837-28 (in Chinese).