



# 不同天气条件下自然景物图象的模拟

王亚东 丁明跃 彭嘉雄 胡修林

(华中理工大学图象识别与人工智能研究所 武汉 430074)

**关键词** 计算机图形学, 图象处理, 成像模型, 区域灰度不变性, 图象模拟.

## 1 引言

模拟不同光照条件下的图象可广泛应用于 CAD、飞行模拟、仿真等技术之中, 已成为计算机图形学的一个重要分支. 在计算机图形学中, 为了获得较为逼真的视觉效果, 通常需要对物体进行明暗处理, 这通常用照射模型来实现, 如 Phong 照射模型<sup>[1]</sup>、Torrance Sparrow 照射模型以及全局照射模型等等. 这些模型, 必须已知光源特性、物体表面特性以及观察角等条件. 对于自然景物来说, 这些条件往往难以获得. 因此, 常用的照射模型不适于自然景物图象的模拟.

本文研究了自然景物图象的成像原理和成像模型, 详细地分析了影响景物成像的光照因素、大气环境因素、物体表面因素以及光学系统成像因素, 同时提出区域灰度不变性的概念, 并证明了该不变性仅仅取决于物体表面的反射系统, 而与其它因素无关. 因此通过一幅已知时间、天气、景物位置及光学成像系统等条件下的图象, 可以模拟产生另一种已知条件下的图象. 本文对用 CCD 像机实际拍摄的在不同时间、不同天气等条件下的自然景物图象进行了模拟实验, 其模拟效果是令人满意的.

## 2 成像模型

文献[2]给出了一种成像模型: 图象上任一点  $(i, j)$  的灰度值  $f_{ij}$  和实际场景中对应点之间的成像关系如

$$f_{ij} = B + \int_{\Delta\lambda} K_1(\lambda) K_2 g \{ R_s(\lambda) + T_0(\lambda) G [ R_A(\lambda) + T_A(\lambda) [ E_{ij}(\lambda) r_{ij}(\lambda) + L_{ij}(\lambda) ] ] \} d\lambda. \quad (1)$$

从(1)式看出, 影响景物成像的因素可分为四类: (1)光照因素  $E_{ij}(\lambda)$ ; (2)大气环境因素  $R_A(\lambda)$  和  $T_A(\lambda)$ ; (3)物体表面因素  $L_{ij}(\lambda)$  和  $r_{ij}(\lambda)$ ; (4)光学系统成像因素  $\Delta\lambda$ ,  $K_1(\lambda)$ ,  $K_2$ ,  $g$ ,  $R_s(\lambda)$ ,  $G$  和  $T_0(\lambda)$ . 这四类因素是相互独立的.

### 3 区域灰度不变性及反射图

假定场景中无幅射源,同时假定较小的场景区域上每一点的照度和大气环境因素是相同的,并将天气变化表示为时间  $t$  的变化,则

$$f_{ij}(t) = C + \int_{\Delta\lambda} O(\lambda)R_A(\lambda,t)d\lambda + \int_{\Delta\lambda} O(\lambda)T_A(\lambda,t)E(\lambda,t)r_{ij}(\lambda)d\lambda. \quad (2)$$

其中  $C = B + \int_{\Delta\lambda} K_1(\lambda)K_2gR_s(\lambda)d\lambda$ ,  $O(\lambda) = K_1(\lambda)K_2gT_0(\lambda)G$ ,  $E(\lambda,t)$  为区域上的平均照度.

一般将太阳光看作白光,其光谱分布均匀,仅仅强度发生变化.在此假设下,  $E(\lambda,t) = E(t) \cdot S(\lambda)$ . 同样可以认为  $R_A(\lambda,t)$  和  $T_A(\lambda,t)$  也满足该假设.

在真实世界中,可以认为  $r_{ij}(\lambda)$  比  $O(\lambda)$ ,  $S(\lambda)$ ,  $T(\lambda)$  变化剧烈得多,因此

$$\int_{\Delta\lambda} O(\lambda)S(\lambda)T(\lambda)r_{ij}(\lambda)d\lambda \approx \int_{\Delta\lambda} O(\lambda)S(\lambda)T(\lambda)d\lambda \cdot \int_{\Delta\lambda} r_{ij}(\lambda)d\lambda. \quad (3)$$

令  $r_{ij} = \int_{\Delta\lambda} r_{ij}(\lambda)d\lambda$ , 则

$$\frac{f_{ij}(t) - \bar{f}(t)}{\sigma(t)} = \frac{r_{ij} - \bar{r}}{\sigma}. \quad (4)$$

其中  $\bar{f}(t)$ ,  $\sigma(t)$  和  $\bar{r}$ ,  $\sigma$  分别为区域灰度和有效反射率的均值和均方差. (4) 式表明,区域内每一点的灰度和该区域内平均灰度之差与其灰度均方差之比值独立于影响景物成像的光照因素、大气环境因素和光学系统成像因素,我们称此性质为区域灰度不变性.

根据文献[3],有效反射系数  $r(\mathbf{i}, \mathbf{v}, \mathbf{n})$  与物体表面方向  $\mathbf{n}$ 、反射率  $\rho$ 、入射光方向  $\mathbf{i}$  和观察方向  $\mathbf{v}$  有关,并可分解为  $\rho \cdot R(\mathbf{i}, \mathbf{v}, \mathbf{n})$ . 设较小区域上每一点的入射光方向和表面方向是相同的,当观察者距离该区域很远时,可以认为区域上每一点的  $R(\mathbf{i}, \mathbf{v}, \mathbf{n})$  均相同,则

$$\frac{f_{ij}(t) - \bar{f}(t)}{\sigma(t)} = \frac{r_{ij} - \bar{r}}{\sigma} = \frac{\rho_{ij} - \bar{\rho}}{\sigma_\rho}. \quad (5)$$

其中  $\bar{\rho}$ ,  $\sigma_\rho$  分别为区域上反射率的均值和均方差.

定义图象的反射图  $P = (\rho_{ij} - \bar{\rho}) / \sigma_\rho$ , 则反射图  $P$  仅仅取决于物体表面的反射率. 设  $t_1, t_2$  分别为两种不同的条件,根据(5)式有

$$f_{ij}(t_2) = \bar{f}(t_2) + P \cdot \sigma(t_2). \quad (6)$$

(6) 式表明,另一种天气条件下的图象可以通过反射图和这种天气条件下的区域灰度均值及均方差来模拟.

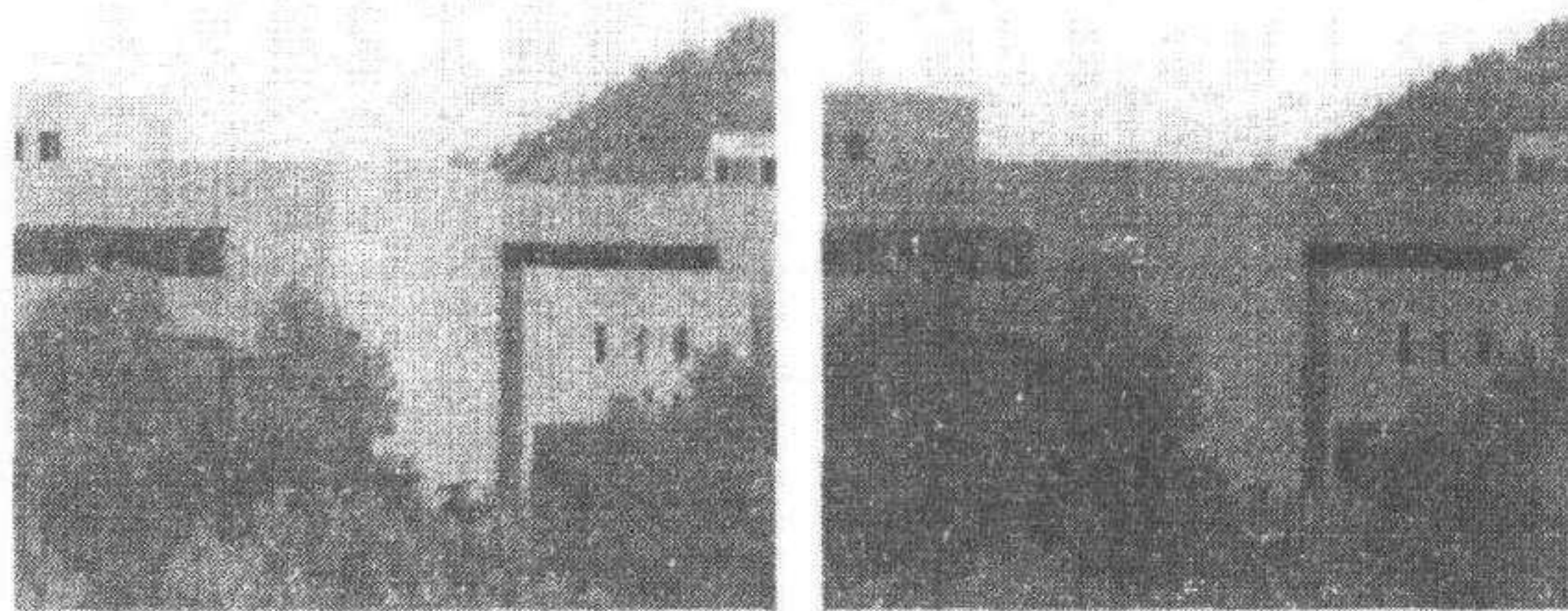
### 4 模拟实验

实验中将一带有焦距为50mm镜头的 CCD 像机固定. 图1是不同时间、不同天气条件下拍摄同一场景的实际图象,将整幅场景看作由多个具有灰度不变性的较小区域组成,如图2所示.

实验中,将图1(a)作为基准图象,而将图1(b)模拟成和图1(a)相同条件下的图象,模拟结果如图3. 为了检验模拟结果,将模拟图象与真实拍摄的图象进行相减比较,图4是图3



和图1(a)相减的结果及其直方图.从图4中看出,模拟图象与真实拍摄的图象之间大部分点相差在10个灰度级以内,从视觉效果来看,模拟结果是令人满意的.



(a)9:00,晴天 (b)11:00,阴天  
图1 不同时间和不同天气条件下拍摄的真实图象

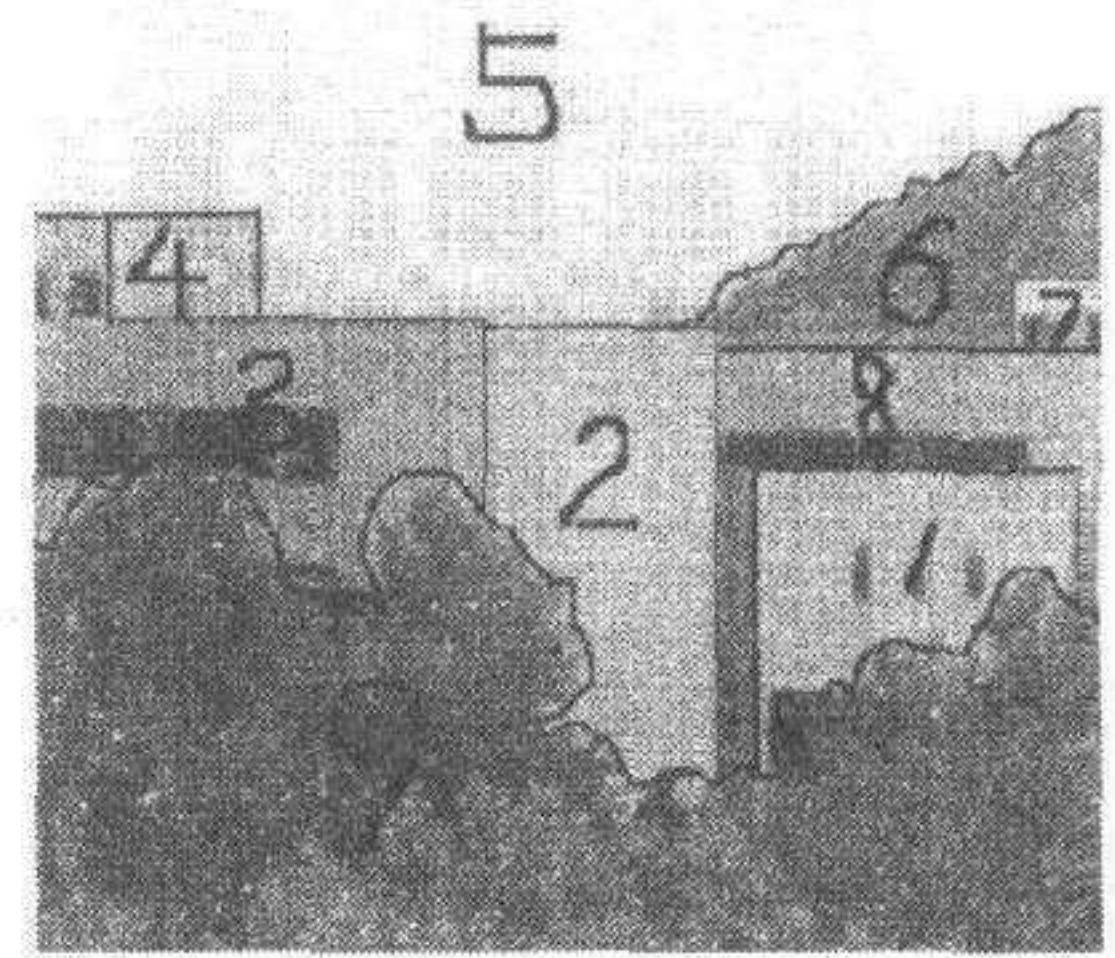


图2 区域划分图

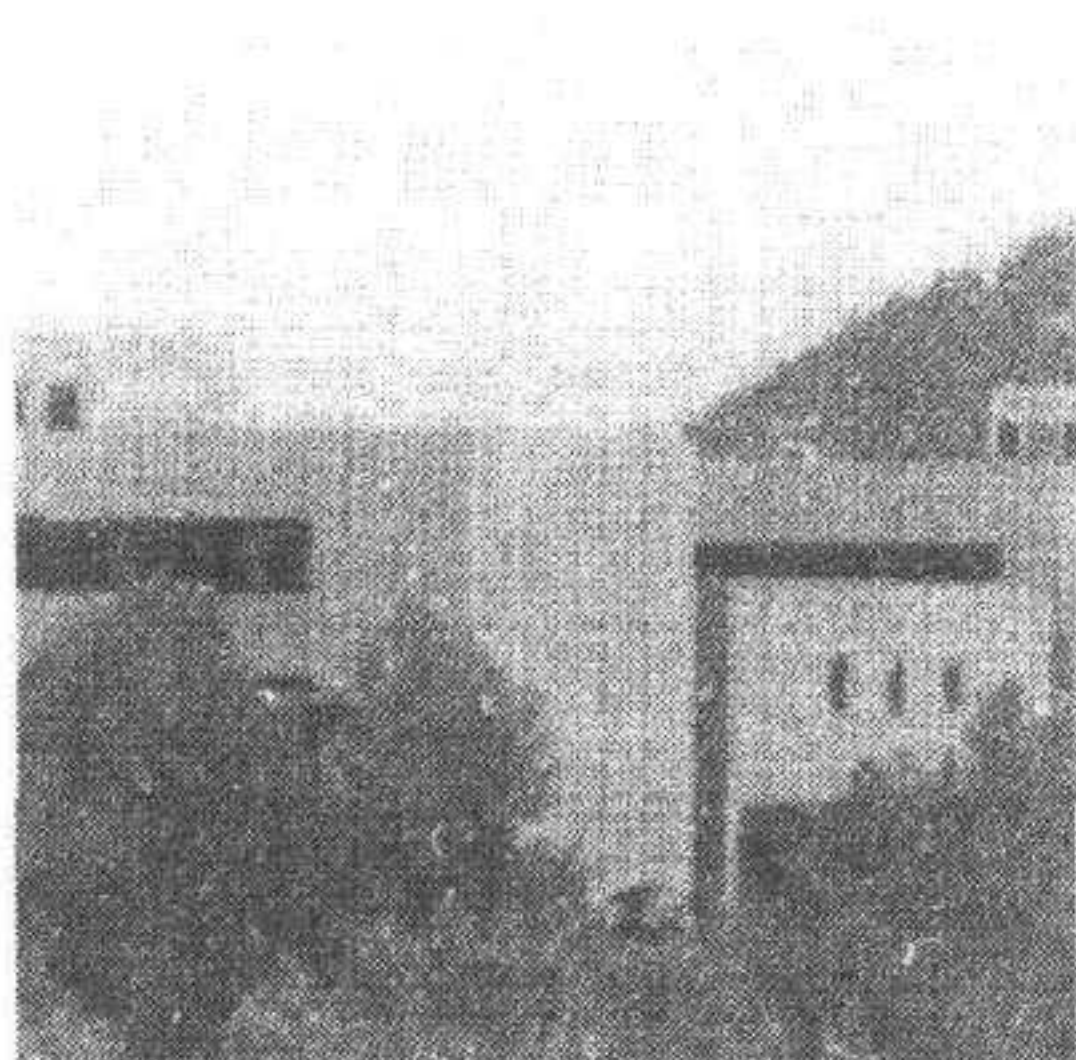
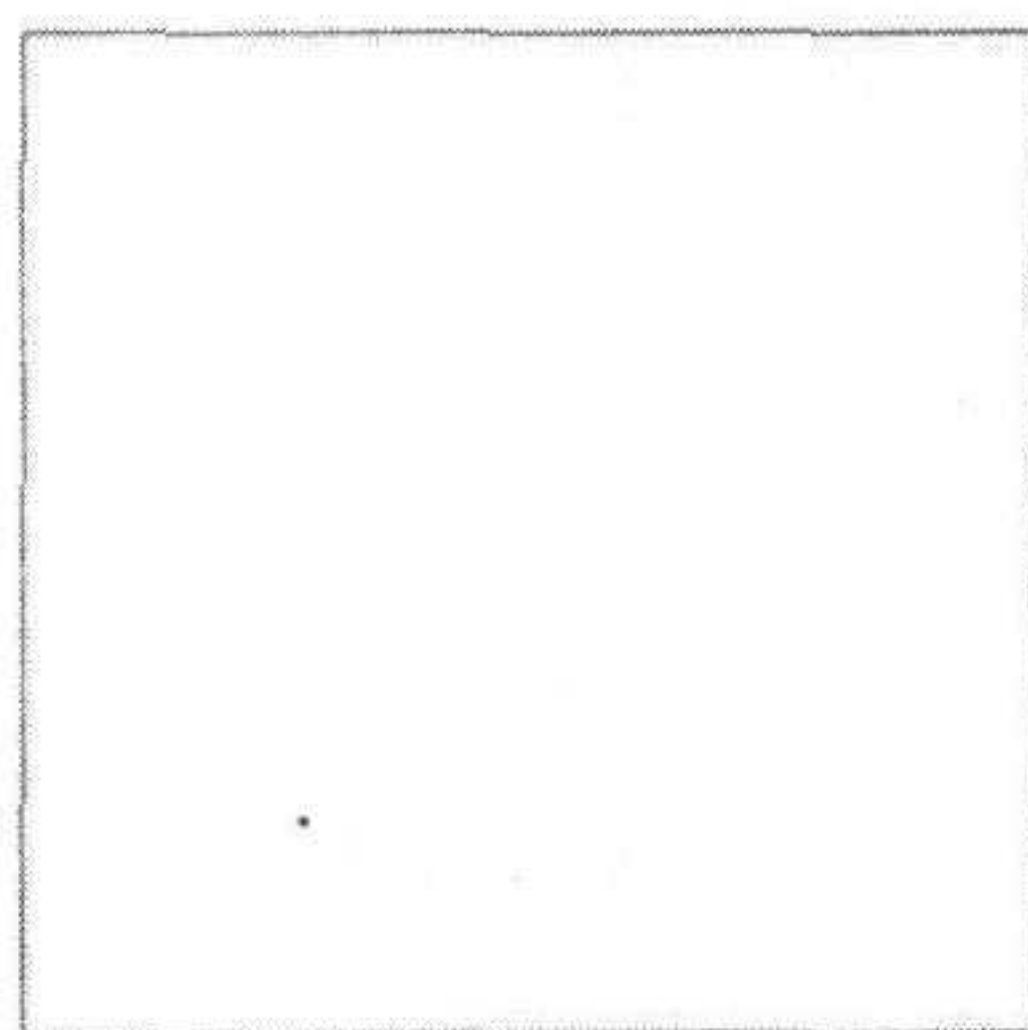
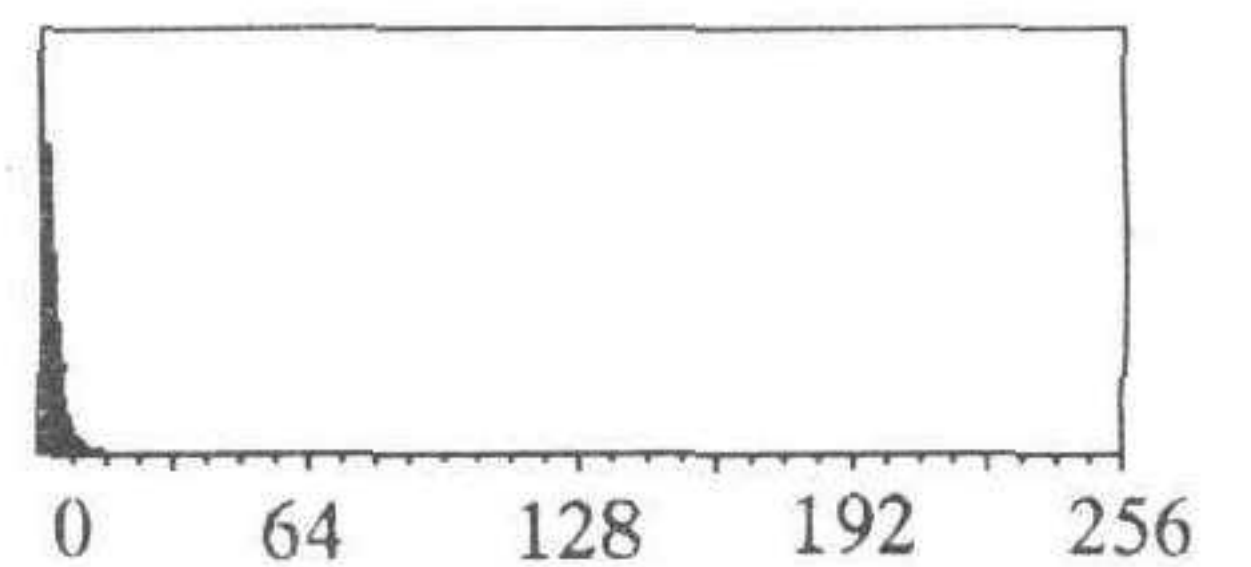


图3 图1(b)的图象模拟成图1(a)条件下的图象



(a)差图象



(b)差图象的直方图

图4 图3和图1(a)相减的结果及其直方图

### 5 讨论

本文能够将一种成像条件下的图象变换成另一种成像条件下的图象,这是通过反射图和该成像条件下的区域灰度均值及均方差来实现的,这种方法在区域内部是可行的,模拟效果也很不错,但在区域边缘处却不适用,图4(a)的差图象也反映了这一点.

区域灰度不变性是图象的又一个不变性,它反映了景物的表面特性,而与其它成像因素无关,可以作为图象灰度和景物对应关系的一种描述.

### 参 考 文 献

- [1] B T. Illumination for computer generated pictures. *Commun. of the ACM*, 1975, **18**:311-317.
- [2] Johnson R P. Contrast based edge deteciton. *Pattern Recogniton*, 1990, **23**:311-318.
- [3] Nayar S K, Bolle R M. Computing reflectance ratios from an image. *Pattern Recognition*, 1993, **26**:1529-1542.



## NATURAL SCENE IMAGE SIMULATION IN DIFFERENT WEATHER CONDITIONS

WANG YADONG DING MINGYUE PENG JIAXIONG HU XIULIN

(Institute of Pattern Recognition & Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Key words** Computer graphics, image processing, image formation model, region brightness invariant, image simulation.

### 《关肇直奖》条例

- 一、关肇直教授是中国科学院院士,国内外知名的数学家和控制理论专家。他一生致力于数学、控制科学和系统科学的研究和发展,作出了重要的贡献。为了缅怀和纪念关肇直教授,推动我国控制科学的发展,特设立关肇直奖。
- 二、关肇直奖是中国自动化学会控制理论专业委员会设立的最高青年奖。基金由国内外单位和个人捐赠,并由关肇直奖基金委员会管理。
- 三、关肇直奖的授奖对象为年龄不超过40周岁的青年作者(包括合作者)在中国自动化学会控制理论专业委员会举办的《中国控制会议》上宣读的论文。关肇直奖每年评定一次,每次获奖名额不多于两名。
- 四、凡申请关肇直奖的论文,需在投稿时注明,交论文一式九份,并附工作证(或学生证)和身份证复印件,及至少一份同行教授级专家推荐意见。请奖论文需经会议审稿通过,然后交评奖委员会委员作书面评审,定出候选论文。最后,在年会期间由评奖委员会根据论文质量及宣读水平,定出获奖者,在会议闭幕式上宣布结果并授奖。
- 五、评奖委员会每年由关肇直奖基金委员会聘请国内知名控制理论及应用专家组成。
- 六、关肇直奖基金委员会设正主任一人,副主任若干人。基金委员会负责基金的筹集和管理,组织论文的评奖与颁发,以及决定其他有关事项。具体工作委托中国自动化学会控制理论专业委员会办理。
- 七、本条例的解释权和修改权属于关肇直奖基金委员会。

### 《关肇直奖》基金委员会

主任: 陈翰馥

副主任: 毕大川 秦化淑

委员: 王恩平 郑大钟 郑应平