

⑧

299-307

丛林随机生成模型及其红外特征模拟*

韩玉阁 宣益民 汤瑞峰

(南京理工大学动力工程学院, 江苏, 南京, 210094)

5771.8

摘要 利用随机生成方法,建立了不同类型树木的单棵树木几何构形生成模型和由相同或不相同树木类型构成的丛林随机生成模型.根据丛林与环境间的能量交换关系,提出了丛林温度和红外特征模型,讨论了丛林温度分布及其红外特征的变化规律,计算给出了丛林模拟红外热像.

关键词 红外特征、丛林、随机生成模型.

树木 红外热像 遥感

引言

遥感

丛林的生成及其红外特征分析,对目标与环境红外辐射特性研究、复杂背景中目标识别、及利用红外遥感图像分析提取丛林中树木类型、分布及生长状况等都有重要应用价值.近年来,国外的一些专家学者对此进行了一些研究,建立了相应模型.国内还未见到相关的研究报告.迄今关于树木和丛林的生成技术都是基于实测的数据,只适用于特定的树木或地域^[1,2],而丛林温度和红外特征计算模型过于复杂^[3,4,5],使得模型的应用受到很大的限制.

自然环境中,丛林中不同类型树木的几何构形各自服从一定的分布规律,根据丛林统计分布规律,本文利用随机方法,随机生成由相同或不相同树木类型构成的丛林,用于景象的生成和丛林红外热像的计算.

丛林中的树木同周围的环境时刻都在进行能量的交换,树木的温度与太阳温度、空气温度、风速等很多因素有关,本文假设树木与环境处于能量平衡状态,建立能量热平衡方程,分析树木的温度分布,并根据树木的辐射特性等分析树木的红外辐射特征.

1 树木及丛林的随机生成模型

1.1 树木中心位置随机生成和树木类型随机选择

根据实际丛林的树木中心位置的分析可知,树木中心位置坐标 (x, y) 各自服从一定的随机分布^[2](如均匀分布、正态分布等),利用随机数生成方法^[6]生成满足特定分布的 n 个坐标 (x, y) , n 为所生成丛林的树木总数.由于树木具有一定的几何尺寸,为避免两棵以上树木的交叉部分太多而不符合实际情况,树木间必须存在一定的距离 d ,为此须对随机生成的坐标进行调整.调整方法为:首先计算新近产生的坐标与所有已产生的坐标间的距离 $D_{i,k}$,即

$$D_{i,k} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k-1. \quad (1)$$

式(1)中 k 为新近产生的坐标序号,然后比较 $D_{i,k}$ 与 d ,如有任意 $D_{i,k} < d$,则调整 (x_k, y_k) ,使

* 国防预研基金(编号 98. J3. 3. 2. BQ0202)资助项目
稿件收到日期 1998-11-25, 修改稿收到日期 1999-01-18

之满足 $D_{c,s} > d$. d 与树木的直径有关, 而树木直径是由树木的类型和树高确定的. 因此, 树木中心位置的确定须与树木类型选择模型和树木生成模型同时进行.

丛林由不同的树木组成, 每一具体位置上的树木类型是任意的, 利用随机方法确定具体的树木类型, 方法是将 $0-1$ 之间的实数分为 m 个区间, m 为生成丛林所包含的树木类型数目, 区间的大小由每种类型树木在丛林中所占的份额确定, 产生一个 $0-1$ 区间内服从均匀分布的随机数, 该随机数落在那一区间, 就选择那一树木类型. 例如, 某丛林由三种类型的树木组成, 则 $m=3$, 假设每种类型树木所占的份额分别为: 20% , 50% , 30% 三种, 则将 $[0, 1]$ 区间分为 $[0, 0.2]$, $[0.2, 0.7]$, $[0.7, 1.0]$ 三个区间, 如产生的随机数为 0.3 , 则选取第二种类型, 如为 0.8 则选取第三种类型的树木.

1.2 树木几何形状生成和丛林生成过程

丛林中不同类型树木的高低粗细形状各不相同, 假定丛林中某种类型的树木高度服从一定的分布, 利用随机生成模型首先产生树木的高度. 根据每种树木的特点, 统计出树高与平均直径间的关系式, 即 $D=F(H)$, 并统计出直径 D 在高度一定时的分布规律, 根据平均直径 D 及其分布规律, 随机生成具体的直径, 并根据树木的特点, 生成树干的几何形状.

在某一高度上, 树木开始分枝, 树木分枝的方式可归纳为以下三种方式, 如图 1 所示, 图 1 中的数数字为生成顺序. 图 1(a) 为树木有一主干, 树枝在主干上分出, 并且树枝的直径远小于主干的直径, 另外树枝上再次分出的树枝同主干上的分枝状况相同; 图 1(b) 为树木分枝后没有主干, 分枝后的树枝较粗, 同样树枝再次分枝后也没有主干; 图 1(c) 为 (a) 和 (b) 两种情况的混合, 即树枝可按第一种方式分枝, 也可按第二种方式分枝, 且再次分枝时仍可按其任意一种方式进行分枝.

假设主干上的分枝为第一分枝, 第一次分枝上的再次分枝为第二次, 依次类推, 直到第 N 次分枝. 每一分枝的直径 dz 比上一次分枝的直径小, 当 $dz < d_{min}$ (d_{min} 为分枝的最小直径) 时, 停止分枝. 枝干上最下面的分枝为第一层分枝, 依次向上为第二、第三层, 直到第 M 层, 每层间的距离 hz 依次减小, 当 $hz < h_{min}$ (h_{min} 为分枝间的最小间距) 时, 主干上停止分枝, 此方法同样适用于树枝的再次分枝, 并且当树枝直径 $dz < d_{min}$ 时停止树枝的再次

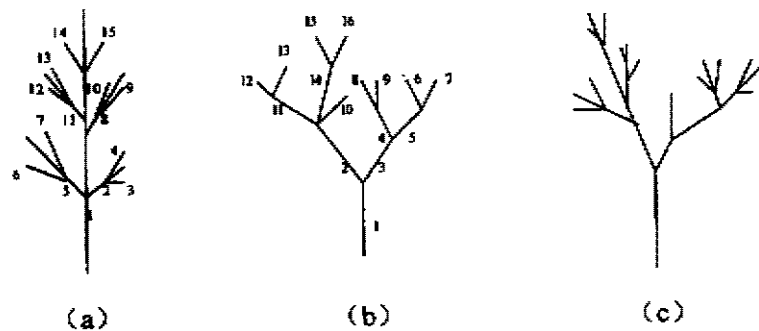


图 1 树木分枝类型示意图

(a)类型 1 (b)类型 2 (c)类型 3

Fig. 1 Branch types of trees

(a)type 1 (b)type 2 (c)type 3

分枝. 当停止分枝后, 在末梢树枝上生成树叶.

树枝的生成方法是: 根据树木类型特点, 利用统计方法确定树枝的平均位置、树枝的分枝方式、树枝的平均长度、平均直径、倾角以及各自的均方根误差, 利用随机生成方法, 确定每一具体树枝的位置、分枝方式、长度、直径、倾角等, 即可生成具体的树枝. 图 2(a)、(b) 和 (c) 为图 1 三种类型树木各自的随机生成结果, 统计规律的选取、随机数的选取等可根据树木具体类型的实际统计规律确定, 伪随机数的产生参见文献[6].

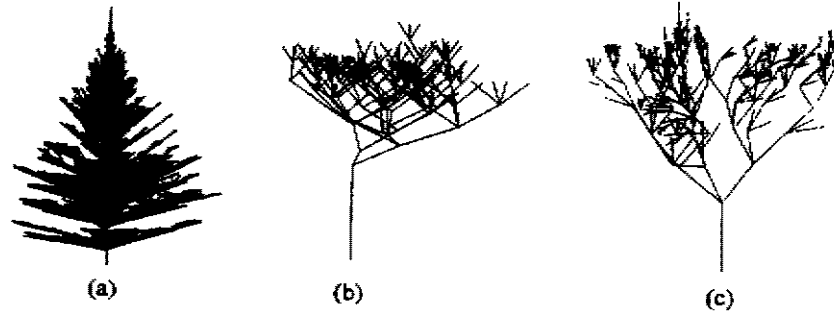


图 2 随机生成结果

(a) 类型 1 (b) 类型 2 (c) 类型 3

Fig. 2 Random generation results of trees

(a) type 1 (b) type 2 (c) type 3

丛林的生成首先利用树木中心位置随机生成模型, 生成中心位置, 然后利用树木类型随机选择模型, 选择树木类型, 再利用树木几何形状生成模型, 确定几何尺寸, 并计算该棵树木与其它已生成树木间应具有的最小距离 d , 并计算实际距离 D_{ik} . 根据具体情况, 进行中心位置的适当调整, 完成后, 进行下一棵树木的生成过程.

2 丛林红外辐射特征模型

2.1 红外辐射特征理论模型

对丛林做如下假设: (1) 将丛林植被在高度方向由上而下分为三层, (2) 丛林随时与环境间进行能量交换, 由于太阳辐射、气象条件的变化, 丛林的温度也不断地变化, 是一个瞬态过程, 但由于随时间的变化速度很小, 为简化计算可认为在每一时刻, 树木与环境都处于能量平衡状态, (3) 忽略光合作用、呼吸以及树干和土壤热容的影响, (4) 忽略丛林内部各层间的辐射换热, (5) 对每一层采用平均的短波吸收系数. 因此, 树木第 i 层的能量方程为

$$\frac{1}{2}(\alpha_{sun,i} E_{sun,i} + \alpha_i E_{sky,i} + \alpha_i E_{ground,i}) - M_i - H_i - LE_i = 0, \quad (2)$$

式(2)中, $E_{sun,i}$ 为到达第 i 层的太阳辐照率, $\alpha_{sky,i}$ 为到达第 i 层的短波吸收率, $\alpha_{sky,i}$ 和 $\alpha_{ground,i}$ 分布为第 i 层对天空和地面长波辐射的吸收率, $E_{sky,i}$ 为到达第 i 层的天空长波辐射, $E_{ground,i}$ 为到达第 i 层的地面长波辐射, M_i 为第 i 层的辐射能, H_i 为显热交换能量, LE_i 为潜热交换能量, 式(2)中 $1/2$ 的意义为植被的叶面只有一个表面接受太阳辐射、天空背景辐射和地面辐

射,而显热和潜热交换以及植被的自身辐射均是在两个表面进行. M_i 可用下式计算:

$$M_i = \sigma \epsilon_i T_i^4, \quad (3)$$

式(3)中, σ 为斯蒂芬-玻尔兹曼常数, ϵ_i 为第 i 层的发射率, T_i 为第 i 层的平均温度. 第 I 层地面长波辐射为:

$$E_{ground,i} = E_{ground,i+1} \cdot P_{gap,i-1}, \quad (4)$$

$$E_{ground,i} = \epsilon_g \sigma T_g^4, \quad (5)$$

式中, ϵ_g, T_g 分别为地面的发射率和温度. LE_i 可用下式进行计算^[7]:

$$LE_i = L(T_i) \left[\frac{spl(T_i) - RH \cdot spa(T_a)}{R_i + R_a} \right] (697.8). \quad (6)$$

式(6)中, $L(T_i)$ 温度为 T_i 时的汽化潜热, RH 为空气的相对湿度, $spl(T_i)$ 为叶片表面饱和水蒸汽密度, $spa(T_a)$ 为空气饱和水蒸汽密度, 以上四个参数可按文献[8]的方法确定, R_i 为叶面蒸汽扩散阻力, T_a 为空气温度. R_a 为边界层蒸汽扩散阻力^[7]; H_i 可用下列方法计算^[7].

$$H_i = h(T_i - T_a). \quad (7)$$

式(7)中, $h = (0.95\mu^{0.97}) \cdot (0.698)$, $\mu < 30.0$; $h = (20.4 + 0.2\mu^{0.97}) \cdot (0.698)$, $\mu > 30.0$. 式中 μ 为风速 (cm/s). $E_{sky,i}$ 可用下式计算:

$$E_{sky,i} = E_{sky,i-1} \cdot P_{gap,i-1}, \quad (8)$$

其中, 天空背景辐射为^[9]:

$$E_{sky,0} = \sigma T_a^4 [a + b(e)^{1/2}], \quad (a = 0.61, b = 0.05 \text{ 为经验常数}). \quad (9)$$

式(9)中, e 为林冠表面处空气中的水蒸气分压. 到达第 i 层的太阳辐射为:

$$E_{sun,i} = E_{sun,i-1} \cdot P_{gap,i-1} \quad (10)$$

太阳辐射^[9]为:

$$E_{sun,0} = [1 - A(u^*, z)] (0.349S_0) \cos z + [(1 - \alpha_0) / (1 - \alpha_0 \bar{a})] (0.651S_0) \cos z \quad (11)$$

式(11)中, $0.349S_0$ 为波长大于 $0.9\mu m$ 太阳辐射份额, $0.651S_0$ 为波长小于 $0.9\mu m$ 太阳辐射份额, \bar{a} 为树冠表面的反射率, α_0 为空气 Rayleigh 散射的反射率, z 为太阳天顶角, $A(u^*, z)$ 为 Mugge-Moller 吸收函数. P_{gap} 为植被层的透过率^[10]:

$$P_{gap} = \exp[-K(LAI/h)D(\theta)]. \quad (12)$$

式(12)中, K 为植被投影面积, LAI 为叶面指数, h 为植被层厚度, $D(\theta)$ 为光线在植被层的行程, 各项参数可根据文献[10]确定.

在求得丛林温度以后, 丛林自身红外辐射通量可以利用普朗特公式, 通过对红外波段范围积分得到, 有:

$$E_{\lambda_1-\lambda_2} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \epsilon(\lambda, T) \cdot \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} d\lambda. \quad (13)$$

式(13)中: λ_1, λ_2 为红外波段范围的下限和上限; T 为单元表面温度; $\epsilon(\lambda, T)$ 为表面单色发射率, 与波长 λ 和温度 T 有关; C_1 为第一辐射常数, C_2 为第二辐射常数.

反射辐射包括丛林表面面对太阳、天地背景以及其它单元表面辐射的反射, 计算式为:

$$E_{if}^{nl,ra} = \rho_{sun}^{nl,ra} \cdot E_{sun}^{nl,ra} + \rho^{nl,ra} \cdot (E_{sky}^{nl,ra} + E_{grad}^{nl,ra}), \quad (14)$$

式(14)中 $\rho^{nl,ra}$ 为丛林表面红外波段范围反射率; $\rho_{sun}^{nl,ra}$ 为丛林表面红外波段范围太阳反射率; $E_{sun}^{nl,ra}$ 为丛林表面接收红外波段表面内的太阳辐射能量; $E_{sky}^{nl,ra}$ 为丛林表面接收的红外波段范围内的天空背景辐射能量; $E_{grad}^{nl,ra}$ 为丛林表面接收的红外波段范围内的地面背景辐射能量. 丛林表面总的红外辐射通量为以上两部分之和.

2.2 计算结果分析

丛林三层温度以及地面和空气的温度随时间的变化如图 3 所示, 从图 3 中可知, 在中午左右, 丛林上层的温度较高, 二三层的温度较低并接近于空气的温度, 这是因为上层接受的太阳辐射较多; 由于上层的遮挡, 二三两层接受的太阳辐射较少. 在深夜, 丛林三层的温度都接近空气的温度. 不同时刻的丛林、地面和天空的温度图像如图 4 所示, 从图 4 中可见, 随着丛林接受太阳辐射能量的增加, 树木表面温度逐渐增加. 尽管在中午 12 点, 树木表面吸收的太阳辐射最多, 但并不意味着此时树木与天地背景之间的对比特征也最显著, 因为天地环境背景的温度也在不断变化, 比较图 4 中对应 10 点和 12 点的图像即可看出这一点.

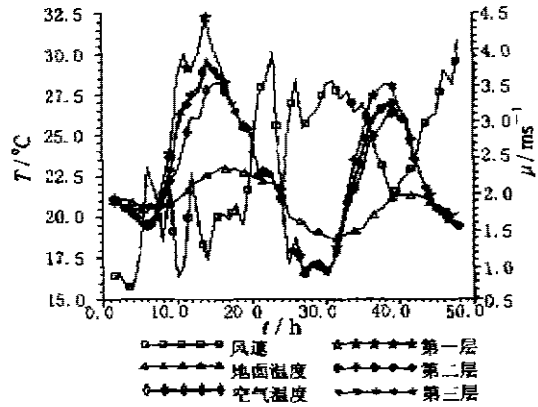


图 3 温度随时间的变化
Fig. 3 Temperature variation with time

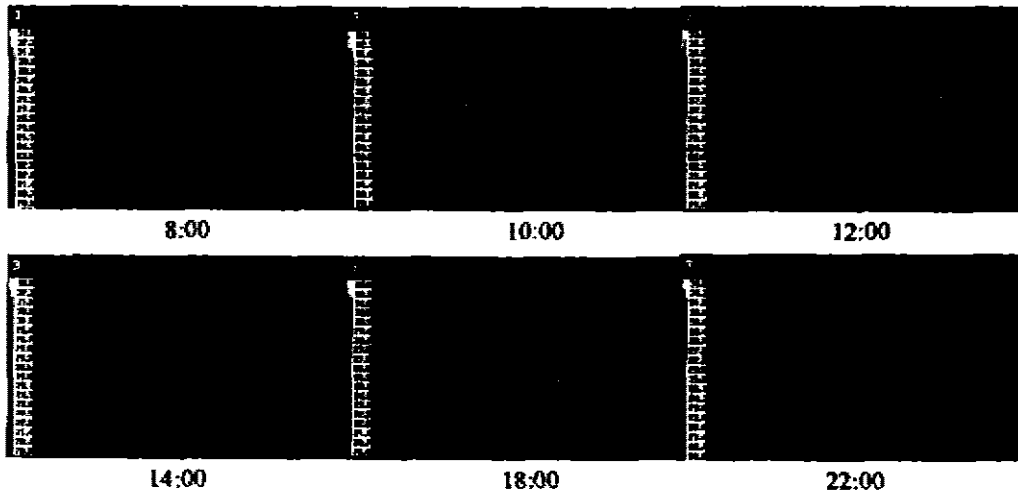


图 4 不同时刻的温度图像
Fig. 4 Temperature images at different time

本文建立的树木及丛林生成模型可以生成较为真实的丛林景象,对于丛林背景红外图像特征研究具有重要的应用价值. 丛林红外辐射特征模型的计算结果,反映了丛林温度和红外辐射特征的变化规律. 以本文工作为基础而编制的丛林红外图像生成软件可以方便地观察不同时刻、不同方位和不同色标下的热图像,对于丛林与背景红外对比度的研究和森林生长与分布及火灾预警系统研究具有重要的实际意义.

REFERENCES

- 1 Jerrel R, Ballard J R. Information base for generation of synthetic thermal scenes, *AD-A289675*, 1994
- 2 Balick L K. A forest canopy height surface model for scenes simulation, *Simulation*, 1987, **49**(1): 5~12
- 3 Kimes D S, Smith J A. Simulation of solar radiation absorption in vegetation canopies, *Applied Optics*, 1980, **19**(16): 2801~2811
- 4 Cooper K, Smith J A, Pitts D. Reflectance of a vegetation canopy using the adding method, *Applied Optics*, 1982, **21**(22): 4112~4118
- 5 Kimes D S, Kirchner J A. Radiative transfer model for heterogeneous 3-D scenes, *Applied Optics*, 1982, **21**(22): 4119~4129
- 6 Howard C C, Thomas Meizler, Grant Gerhart. Background and target randomization and root mean square (RMS) background matching using a new ΔT metric definition, *SPIE*, 1992, **1967**: 560573
- 7 Kimes D S, Smith J A, Link L E. Thermal IR exitance model of a plant canopy, *Applied Optics*, 1981, **20**(4): 623~632
- 8 LIU Zhi-Gang, LIU Xian-Ding, ZHAO Guan-Chun. *Programs for Thermal Properties of Fluids and Applications*, Beijing: Science Press (刘志刚, 刘咸定, 赵冠春, 工质热物理性质计算程序的编制及应用, 北京: 科学出版社), 1992: 25~131
- 9 Kahle A B. A simple thermal model of the earth's surface for geologic mapping by remote sensing, *J. of Geophysical Research*, 1977, **82**(11): 1673~1680
- 10 McGuire M J, Balick L K, Smith J A, Hutchison B A. Modeling directional thermal radiance from a forest canopy, *Remote Sens. Environ.*, 1989, **27**: 169~186

RANDOM MODEL AND SIMULATION OF IR FEATURES OF FOREST*

HAN Yu-Ge XUAN Yi-Min TANG Rui-Feng

(Institute of Power Engineering, Nanjing University of Science and Technology,
Nanjing, Jiangsu 210094, China)

Abstract By using probability theory, a construction model of different types of trees as well as a forest was proposed. According to the energy exchange between environment and the trees or forest, an algorithm was developed for temperature distributions and infrared feature of the trees or forest. Some examples and discussions were given.

Key words infrared feature, forest, random generation model.

* The project supported by the Preliminary Research Foundation of National Defense
Received 1998-11-25, revised 1999-01-18