

二维纹理图象的产生

余 军 吴国威 吴中权

(清华大学)

摘 要

本文在 R. Chellappa 提出的马尔可夫模型^[1]纹理综合方法的基础上,提出了一种级联的马尔可夫模型。利用此模型进行纹理图象综合时,可以克服文献[1]中所提出的方法的不稳定性,而且使模型应用范围更广泛,实验结果更理想。

关键词——级联;纹理;综合。

一、引 言

图象分析就是抽取图象的主要特征进行分析,从而正确地理解图象内容。可以说图象分析中如何全面、准确地抽取图象信息是一个很重要的课题。本文讨论的纹理图象的描述和生成模型就是试图用数学模型精确地表示纹理图象,使对图象的理解更加深入。

对纹理图象的描述和生成的研究虽然已有不短的历史了,但人们对纹理似乎还很陌生,以致于很难用严格的语言来表达什么是纹理。从目前的研究来看,没有哪一种纹理描述的方法能够包罗万象地表示任何纹理图象。但人们还是提出了不少有用的方法和数学模型,例如纹理的结构分析法、空间预测方法和随机划分方法等。在一定范围内,这些模型也能很好地描述纹理图象。对于自然纹理图象,空间预测综合方法非常有效,而自然纹理在图象处理、计算机图形、计算机视觉以至日常生活方面有着广泛的应用,因此本文只限于讨论空间预测模型的纹理综合算法。

作为空间预测模型的一种,本文将介绍马尔可夫随机场模型,讨论它在纹理综合中的应用。本文还将针对文[1]中一级马尔可夫模型存在的局限性,提出一种级联马尔可夫随机场模型。

二、模型表示

关于二维马尔可夫随机场模型, R. Chellappa 在文[1]中已作了详细阐述。为了后面叙述方便,这里简单回顾一下马尔可夫模型。

文献[1]中给出的典型的马尔可夫随机场模型表示式为:

$$y(s) = \sum_{r \in N_r} a_r [y(s \oplus r) + y(s \ominus r)] + \sqrt{p} v(s), \quad s \in Q, \quad (1)$$

$$AY = \sqrt{p} V, \quad (2)$$

其中 Y 是 $\{y(s); s \in Q\}$ 的图象向量, 即为一幅图按行堆叠成的向量. V 是 $\{v(s); s \in Q\}$ 的图象向量, 它的协方差阵为 A , A 是由(1)式中的 $a_r, r \in N_r$ 和常数组成的 $M^2 \times M^2$ 的对称分块循环矩阵, \oplus, \ominus 是以 M 为模的加、减法. 用马尔可夫随机场模型进行纹理综合的步骤可表示如下:

$$D = W^{-1}AW, \quad (3)$$

$$Y = F^{-1}[X], \quad (4)$$

$$X = [D^{\frac{1}{2}}]^{-1}Z, \quad (5)$$

$$Z = F[\sqrt{p} U]. \quad (6)$$

其中 D 是对角阵, F 和 F^{-1} 是正、反付立叶变换, U 是单位方差的白噪声随机场.

值得指出的是, A 中的 $a_r, r \in N_r$, 是通过原始纹理图象进行统计计算估计出来的. 参数的估计方法有很多种, 由于篇幅有限, 这里不详细介绍, 有兴趣的读者请参阅 [1].

三、纹理综合的级联模型

尽管在许多情况下, 上述马尔可夫模型能够方便地进行纹理综合, 但对于很多纹理图象, 即使采用最佳的邻域和参数, 也很难得到非常理想的结果. 通过实验, 发现其原因有二: (1) 许多纹理图象很难用一个模型完全表示; (2) 上述马尔可夫模型用于纹理综合时, 有一个稳定条件, 即要求(5)式中的矩阵 D 的对角元素全为正实数. 这个条件是否成立, 受马尔可夫模型的邻域点预测系数的影响. 当纹理图象相邻点之间的相关性较大时, 稳定条件将会遭到破坏, 因此使纹理综合结果出现较大的误差.

根据上面两点, 笔者提出了一种新的模型: 级联马尔可夫模型. 这一模型通过多级较简单马尔可夫模型, 一则消除纹理图象相关性较大的可能, 二则也使纹理综合模型更加精确. 实际处理时, 级联马尔可夫模型确能消除纹理综合的不稳定现象, 同时得到比较满意的结果.

下面介绍一下级联马尔可夫模型.

设 $\{y(s); s \in Q\}$ 为某一个原始纹理图象, 其图象向量 $Y, a_r, r \in N_r$ 为 Y 的一组马尔可夫模型系数. 定义:

$$x(s) = \sum_{r \in N_r} a_r [y(s \oplus r) + y(s \ominus r)], \quad s \in Q,$$

是 $\{y(s); s \in Q\}$ 的预测图象, 其向量表示为:

$$X = \text{column}[x(s); s \in Q].$$

定义, $E = Y - X$

为剩余图象向量. 如果 A 是建立在 Y 上的一个马尔可夫模型的系数矩阵, 则 Y 和 E 有如

下关系:

$$AY = E. \tag{7}$$

通常情况下, E 中或多或少都包含 Y 的信息, 因此自然会想到在 E 上再建立一个马尔可夫模型, 进一步提取原始图象的信息. 这就是级联马尔可夫模型的主要思想, 也可以用图 1 表示.

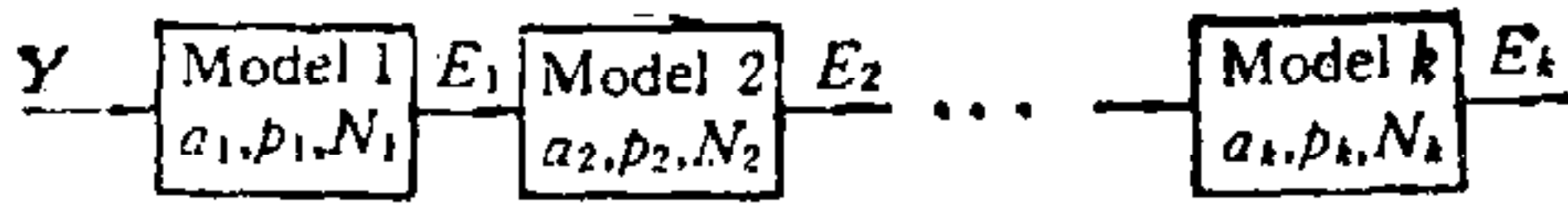


图 1 级联马尔可夫模型

设图 1 中第 k 级模型的系数矩阵为 $A_k, k = 1, 2, \dots$, 则图 1 可以表示如下:

$$\left. \begin{aligned} A_1 Y &= E_1, \\ A_k E_{k-1} &= E_k, \quad k = 2, \dots, \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

其中 $E_i, i = 1, \dots, k$, 是第 i 级模型的剩余向量, 其等效式为

$$A_k \cdots A_2 A_1 Y = E_k. \tag{9}$$

设 $A = A_k \cdots A_2 A_1$, 则图 1 等效于以 A 为系数矩阵的一级马尔可夫模型. 由 (3) 式可知:

$$D = D_k D_{k-1} \cdots D_1, \tag{10}$$

式中 $D_i, i = 1, \dots, k$ 是 A_i 对应的相似对角矩阵.

根据各级模型的参数, 就可以通过 (10) 式和 (4)、(5)、(6) 式完成纹理图的综合.

四、实验比较

图 2、图 3、图 4 和图 5 是笔者对级联马尔可夫模型和典型马尔可夫模型纹理综合方法的实验比较.

图 2 是自然草纹理, 图中左上角是原图, 右上角为利用二级马尔可夫模型综合的图象. 左下角是一级马尔可夫模型综合的图象, 右下角是用 1bit 的剩余图象去激励二级模型得到的综合图象. 一级模型的邻域集和二级模型相同, 都为 $N_i = ((0, 1), (1, 0), (1, -1), (1, 1), (2, 0), (0, 2), (2, 1), (1, 2), (2, -1), (1, -2), (2, 2), (2,$

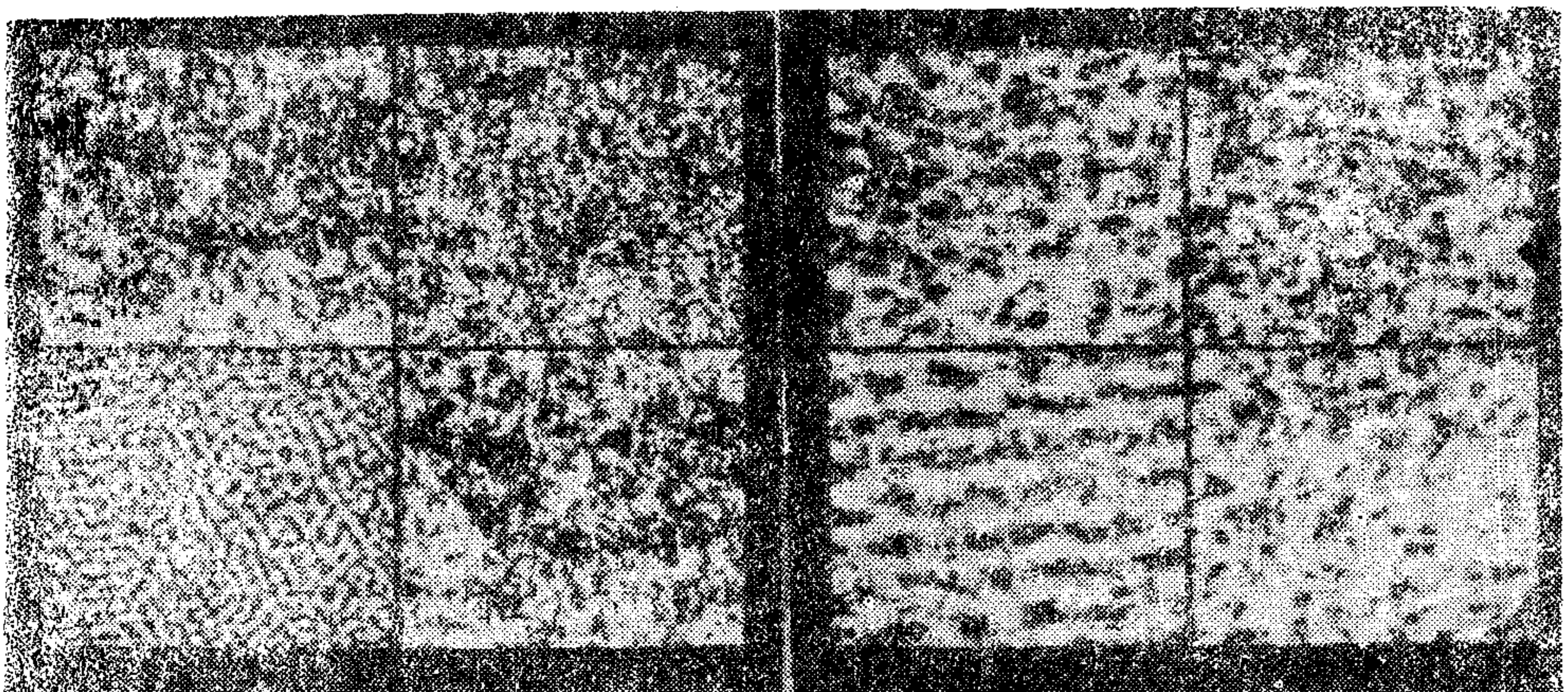


图 2 草纹理

图 3 猪皮纹理

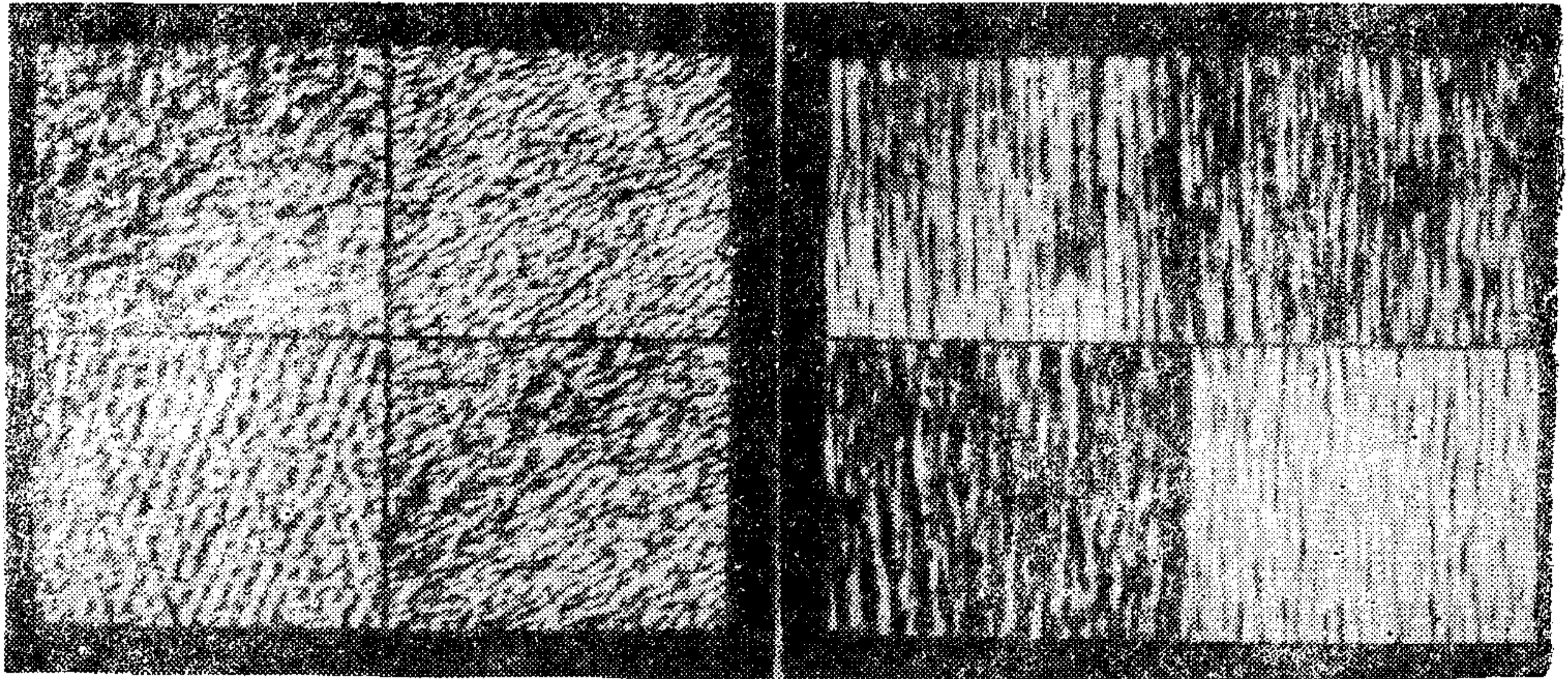


图4 软木纹理

图5 木纹理

—2)), a_r 和 p 由于篇幅有限,不一一列举了。

图3是猪皮纹理。四幅图的布置与图2相同,但右边的两幅是用三级模型综合出来的。其一级模型和三级模型的等效邻域集为 $N_r = ((0,1), (1,0), (1,-1), (1,1), (2,0), (0,2), (2,1), (2,-1), (2,2), (2,-2), (1,2), (1,-2), (3,0), (0,3), (3,1), (3,-1), (3,2), (3,-2), (3,3), (3,-3), (1,-3), (1,3), (2,3), (2,-3), (4,0), (0,4))$ 。

图4是软木纹理,图4的布置和邻域集都与图2相同。

图5是木纹理,除所取邻域不同外其它与图2相同。其邻域集为 $N_r = ((1,0), (0,1), (1,-1), (1,1), (2,0), (0,2), (2,1), (1,2), (2,-1), (1,-2), (3,0), (4,0))$ 。

结 束 语

本文提出的级联马尔可夫模型在稳定性方面和综合结果方面都取得了比较满意的效果,从而使马尔可夫模型在纹理综合中的应用更为广泛。

参 考 文 献

- [1] Chellappa. R., Two-dimensional Discrete Gaussian Markov Random Field Model for Image Processing, Progress in Pattern Recognition 2', 79—112.

THE SYNTHESIS OF TWO-DIMENSIONAL TEXTURE IMAGE

YU JUN WU GUOWEI WU ZHONGQUAN

(Tsinghua University)

ABSTRACT

Based on the texture synthesis method with Markov Random Field Model^[1] proposed by R. Chellappa, this paper presents a new model—the Series Markov Random Field Model. Using such a model in texture synthesis can overcome the instability which often occurred in the previous model and make the experimental results much more satisfactory.

Key words ——Series; texture; synthesis.