

一种新的非因果递归模型在纹理合成及压缩中的应用

于晓晗 袁保宗

(北方交通大学信息所)

摘 要

非因果模型在纹理合成与压缩中得到了广泛应用。但由于非因果模型不能递归实现且建模方法非常复杂,所以限制了它的实用化。本文针对这一课题提出一种可递归实现的非因果模型,并将它应用于纹理合成及数据压缩。实验结果表明这种模型可代替一般的非因果 SAR 模型进行纹理图象合成。

关键词: 可递归性,非因果 SAR 模型,纹理合成。

一、引 言

非因果模型包括 SAR 模型及马尔可夫模型,是广泛采用的线性预测模型。它们在图象合成,尤其是纹理合成及压缩编码中得到了广泛的应用^[1,2]。非因果模型的主要缺点是其合成过程不能递归实现,计算量非常大。另一不足之处是模型参数估值方法过于复杂。对于这类模型只能采用最大似然方法,而这种方法几乎不存在显式解。几种近似方法^[3]也只能在一定的范围内适用。为此本文提出一种可递归的非因果模型及其简单的建模算法,并应用于纹理合成。

二、可递归非因果模型的可行性

设给定两幅二维图象 $y_1(s)$, $y_2(s)$, 分别由两个 NSHP 模型产生:

$$\begin{aligned} y_1(s) &= \sum_{r \in N_1} \theta_r y_1(s+r) + e_1(s), \\ y_2(s) &= \sum_{r \in N_2} \varphi_r y_2(s+r) + e_2(s). \end{aligned} \quad (1)$$

其中 N_1 与 N_2 分别代表 NSHP 的上、下半面支持域。 $s = (i, j)$, $r = (k, l)$ 为支持域上的位移量。

设 $e_1(s) = y_2(s)$, 则(1)式合并成如下模型:

$$y_1(s) = \sum_{r \in N} \theta_r y_1(s+r) + e(s). \quad (2)$$

其中

$$e(s) = - \sum_{r \in N_1} \sum_{t \in N_2} \theta_r \cdot \varphi_t y_1(s+r+t) + e_2(s), \quad (3)$$

$$N = N_1 \cup N_2.$$

显然(2)式为一非因果模型。只要 $\{\theta_r\}, \{\varphi_t\}$ 恰当的取值,(2)式即可代表一类特殊的非因果模型,即它可由(1)式进行递归实现。事实上(2)式是一般的非因果模型,只要经过(3)式的特殊噪声变换均可成为两个可递归 NSHP 模型的级联,也即可递归实现。但就非因果 SAR 模型而言,其激励噪声(如(2)式中的 $e(s)$) 是白噪声场,而经过(3)式的噪声变换后, $e_2(s)$ 不是白噪声场。所以真正能够可递归实现的非因果 SAR 模型为

$$y(s) = \sum_{r \in N_1} \theta_r y(s+r) + \sum_{t \in N_2} \varphi_t y(s+t) - \sum_{r \in N_1} \sum_{t \in N_2} \theta_r \varphi_t y(s+r+t) + e(s). \quad (4)$$

N_1, N_2 意义同上; $e(s)$ 为白噪声场。我们将(4)式称之为可递归非因果模型。

三、可递归非因果模型的稳定性定理和参数估值法

(4)式也属于非因果模型,所以关于非因果模型的稳定性定理也就是(4)式的稳定性定理¹⁾。但由于(4)式将以递归形式实现,所以它还需满足(1)式的 NSHP 模型的稳定性定理¹⁾。如果不能保证(1)式稳定,那么合成结果必将发散,故可递归非因果模型的稳定性定理将由(4)式与(1)式的稳定性条件同时满足。这也从另一方面表明(4)式的可递归非因果模型仅占非因果模型中的一个小子集。

非因果 SAR 模型是不能采用 LS 算法进行参数估值的,只能采用非常复杂的最大似然方法。而它几乎又不存在显式解。另外由于可递归非因果模型((4)式)中参数形式存在非线性,所以采用这两种方法均无法得到参数估值。为此我们采用一种新的方法。这里不做详细讨论了¹⁾,只列出其基本步骤:

- 1) 将 $\{\theta_r\}, \{\varphi_t\}$ 的初始条件设为零;
- 2) 在(4)式中假设 $\{\theta_r\}$ 是已知的参数,依据 LS 算法在(4)式中对 $\{\varphi_t\}$ 参数进行估值;
- 3) 在假设估值到的 $\{\varphi_t\}$ 参数不变,依据 LS 算法在(4)式中得到 $\{\theta_r\}$ 参数的估值;
- 4) 重复 2), 3) 两步直至第 k 次的 $\{\theta_r\}$ 估值 $\{\theta_r\}^k$ 满足: $\{\theta_r\}^k = \{\theta_r\}^{k+1}$, 与第 k 次的 $\{\varphi_t\}$ 估值 $\{\varphi_t\}^k$ 满足: $\{\varphi_t\}^k = \{\varphi_t\}^{k+1}$ 为止。

大量实验结果表明(见作者博士论文),这种算法不仅收敛快(迭代次数正比于参数个数)而且估值精度高,基本接近一致性估值。

1) 于晓晗,纹理分析、合成、理解及在机器视觉中的应用,博士论文,北方交通大学信息所,1989.

四、可递归非因果模型在纹理合成中的应用

非因果 SAR 模型在纹理合成方面取得了较好的效果^[1]。可递归非因果模型合成速度要远远优于一般的非因果模型。为此我们将它代替非因果模型用于纹理合成。

图 1 列出了八幅人工合成纹理图象，它们是由可递归非因果模型产生的。在这里两个支持域 N_1, N_2 是对称相等的，即对称点的参数相等且覆盖相同的面积。只有满足这个条件非因果模型才能是唯一的、可求的^[1]。从这些纹理图象可见，可递归非因果模型产生的纹理非常近似于自然纹理图象，甚至类似于粗纹理。所以可断定这种模型可以用于纹理建模分析及纹理合成。

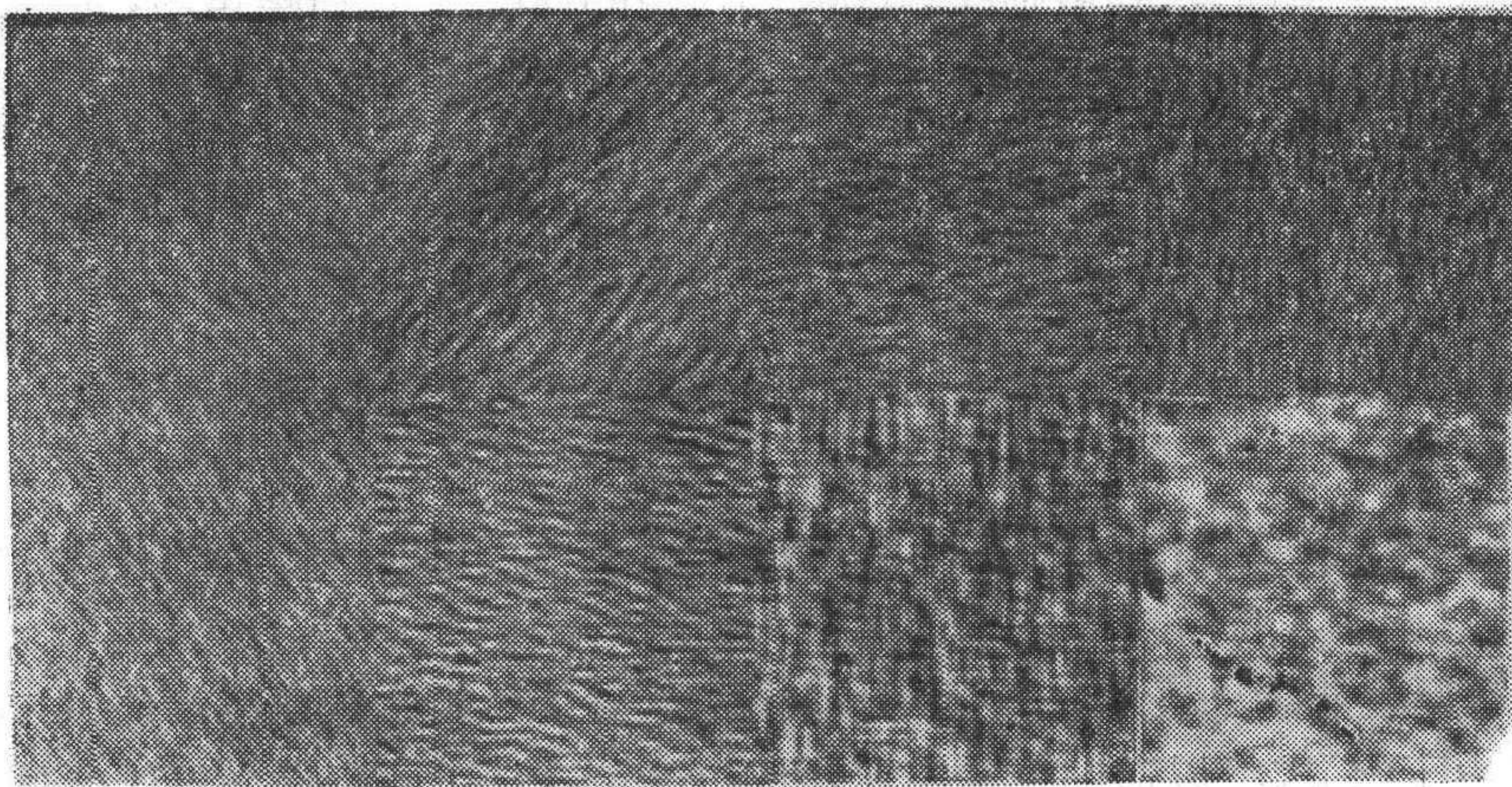


图 1 可递归非因果模型产生的纹理图象

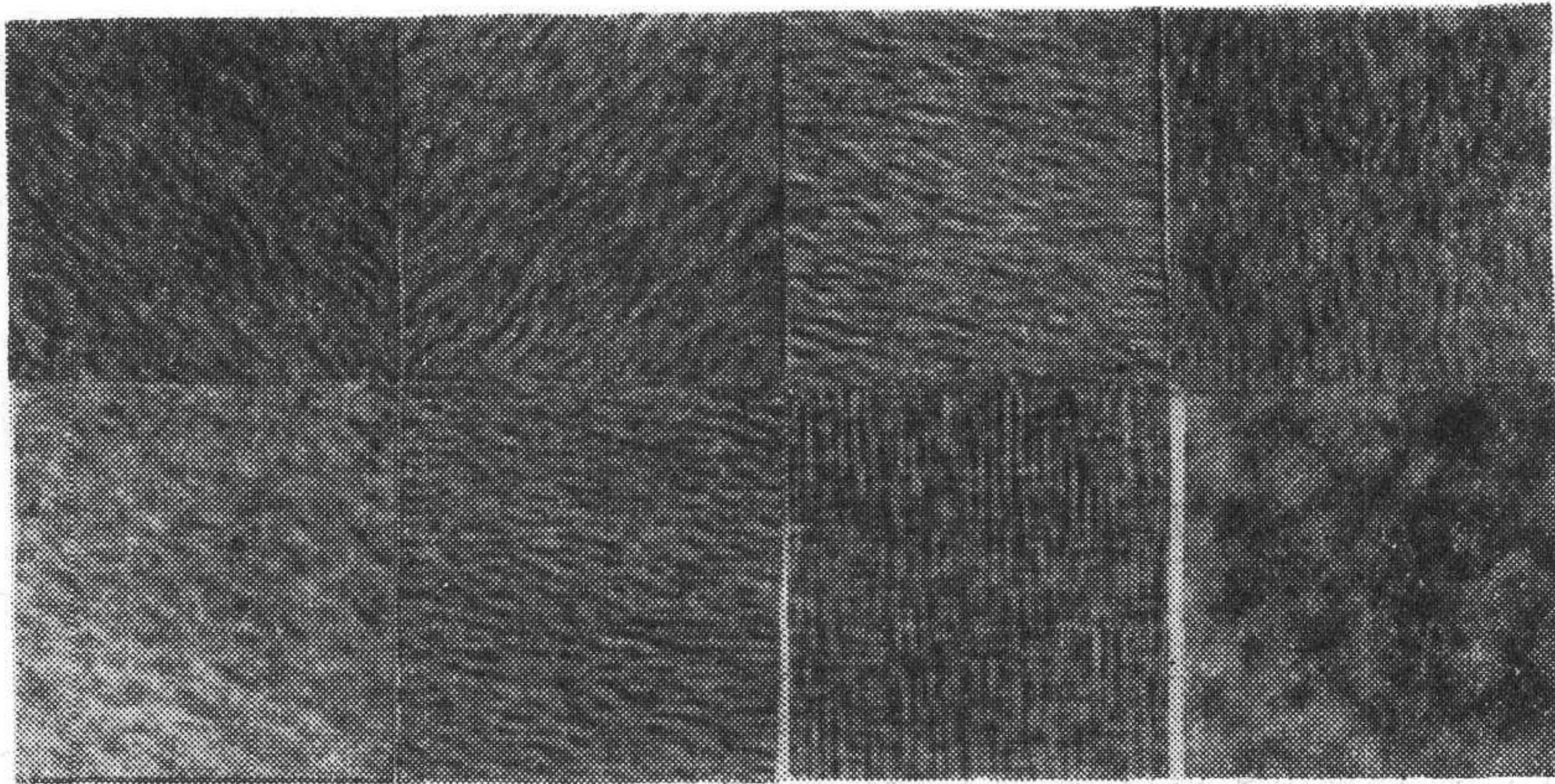


图 2 非因果 SAR 模型产生的纹理图象

图 2 是一组由非因果 SAR 模型产生的纹理图象^[1]。对比图 1，可见非因果模型产生的纹理与可递归非因果模型非常相似。就合成速度而言，后者较前者快十几倍，因前者的合成需要一个大矩阵的求逆运算^[1]。

图 3 示出一组自然纹理图象。我们采用 3×3 支持域的可递归非因果模型进行建模

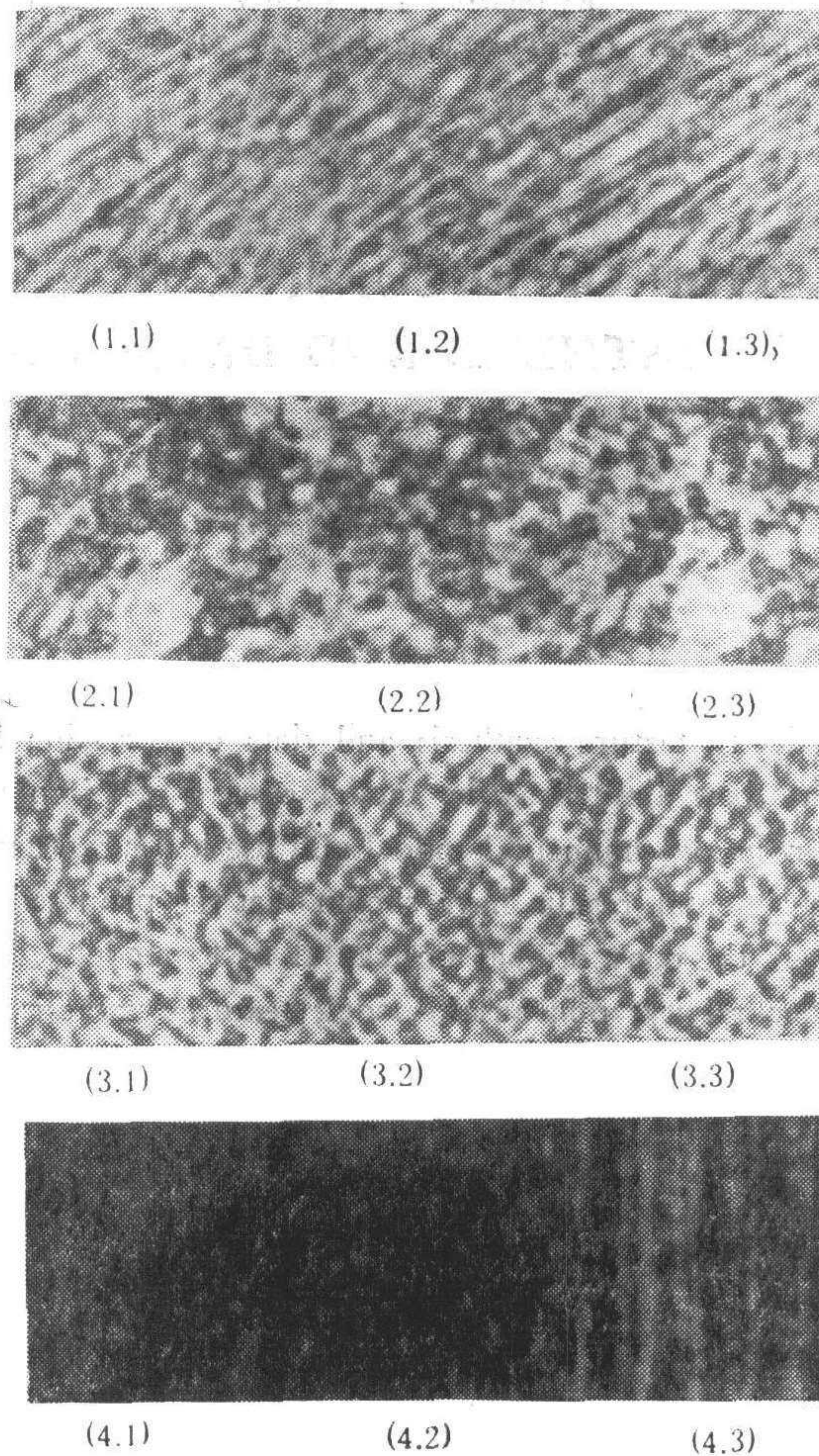


图 3 可递归非因果模型合成与压缩自然纹理实验结果

重新合成。直接由白噪声合成的图象示于图 3(1,2), (2,2), (3,2), (4,2)。虽然合成的图象主观上并不象原始图象,但其主要统计特征如方向性、粗细度等均与原始图象近似。图 3 中的(1,3),(2,3),(3,3),(4,3)列出了利用剩余噪声的 1bit 信息合成的图象。显然其视觉效果远远优于白噪声激励下合成的图象,与原始纹理图象很近似。这说明可递归非因果模型也可做为纹理数据压缩的有效工具。图 3 中假设模型参数由 16bit 表示,图象数据为 8bit,那么数据压缩率为 7.76 倍,与文[1]中非因果模型所得到的数据相同。

以上几个实验结果说明可递归非因果模型在纹理合成与数据压缩方面较一般非因果模型更有实用价值。

参 考 文 献

- [1] Chellapa, R. and Kashyap, R. L., Texture Synthesis Using 2-D Noncausal Auto-Regressive Models, *IEEE Trans. ASSP* (1985), 194—203.
- [2] Chellapa, R., Texture Synthesis and Compression Using Gaussian-Markov Field Models, *IEEE*

Trans. SMC (1985) 298—303.

- [3] Kashyap, R. L. and Chellapa, R. Estimation and Choice of Neighbors in Spatial Interaction Models of Images, *IEEE Trans. Inf. Theory*, (1983) 60—72.
- [4] 黄熙涛, 二维数字信号处理, 科学出版社, 1985.

A NEW APPLICATION OF RECURSIVE NONCAUSAL MODEL TO TEXTURE SYNTHESIS AND DATA COMPRESSION

YU XIAOHAN YUAN BAOZONG

(*Inst. of Inf. Sci. Northern Jiaotong University*)

ABSTRACT

Using noncausal model to texture synthesis and data compression has been discussed. In practice, its application has been limited as the model can not be implemented recursively. In this paper, we propose a recursive noncausal model and use it for synthesis and data compression of natural textures. Experimental results have shown that the proposed model can be used in such applications in lieu of the conventional noncausal SAR models.

Key words : Recursivity; noncausal model; texture synthesis.