

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01N 21/89

G01N 21/898 D06H 3/08

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01119658.0

[43] 公开日 2002 年 2 月 13 日

[11] 公开号 CN 1335496A

[22] 申请日 2001.4.18 [21] 申请号 01119658.0

[30] 优先权

[32]2000.4.18 [33]US [31]60/197,708

[71] 申请人 香港大学

地址 中国香港

[72] 发明人 K·-H·G·彭

A·库马

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

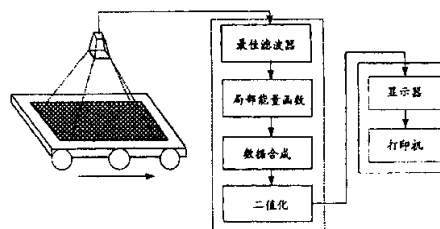
代理人 黄力行

权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图页数 9 页

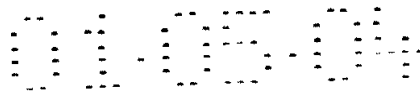
[54] 发明名称 一种检查图象以检测缺陷的方法及装置

[57] 摘要

本发明涉及结构化材料中自动缺陷检测的方法。本发明利用线性有限脉冲响应 (FIR) 滤波器,该滤波器具有最佳能量分离能力。特别是,本发明提供了检验工业产品缺陷的方法。该方法具有以下步骤:从产品样本自动设计最佳滤波器,利用这些最佳滤波器对检验中所采集的产品图象进行滤波,计算局部区域中每个像素的能量,最后通过对每个像素进行阈值处理切分缺陷。本发明还涉及检验织物中未知(无人监督的)缺陷的方法。在无人监督的检验中,利用数据合成模式将来自有限数量最佳滤滤器的信息结合。该模式试图取消相关于从不同波道到达的信息的误报警。

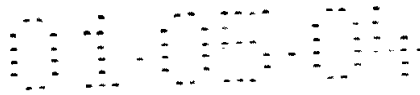


ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 一种检验含缺陷织物的方法，该方法包括：
采集织物图象，所采集的图象包括多个像素；
5 削弱所采集图象中对应于无缺陷区域的像素；
获得每个像素能量；以及切分缺陷。
2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中对所采集图象进行滤波。
3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中使用最佳滤波器削弱所采集图象中
与无缺陷区域相对应的像素。
- 10 4. 根据权利要求 1 所述的方法，其中利用非线性函数获得每个像素的能
量。
5. 根据权利要求 4 所述的方法，其中非线性函数是对每个经滤波的像素
进行平方并取绝对值。
6. 根据权利要求 1 所述的方法，进一步包括获得局部区域中每个像素的
15 局部能量估算。
7. 根据权利要求 6 所述的方法，其中利用平滑滤波器计算像素附近的局
部区域中每个像素的局部能量估算。
8. 根据权利要求 1 所述的方法，其中对所采集的图象进行阈值处理，以
便切分缺陷。
- 20 9. 根据权利要求 1 所述的方法，其中处于检验中的织物选自由纸张、织
物、塑料、木材和钢材组成的组。
10. 一种检验无人监督的含缺陷织物的方法，该方法包括：
为不同种类缺陷设计多个最佳滤波器，
将每个最佳滤波器的输出结合成数据合成模式，以得到经合成的输出
25 图象；以及
切分合成输出图象中的缺陷。
11. 根据权利要求 10 所述的方法，其中通过阈值处理对合成输出图象中
的缺陷进行切分。
12. 根据权利要求 10 所述的方法，织物包括机织织物。
- 30 13. 根据权利要求 10 所述的方法，其中利用两个滤波器进行水平和竖直



方向检测。

14. 根据权利要求 10 所述的方法，其中处于检验中的织物选自由纸张、织物、塑料、木材和钢材组成的组中。

15. 一种为工业自动化而检验结构化材料中缺陷的方法，该方法包括：
5 使检验中的材料成象；
利用预先设计的最佳滤波器削弱所采集图象中对应于无缺陷区域的像素；
利用非线性函数计算每个像素能量；
利用平滑滤波器计算局部区域中每个像素的能量；
对所采集的图象进行阈值处理，以便切分缺陷。

16. 一种检测织物缺陷的滤波器装置，该滤波器被设计成能将下面的目标函数最佳化：

$$J_1(\mathbf{h}_{op}) = \frac{\mu_{fd} \mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{i_d} \mathbf{h}_{op}}{\mu_{fr} \mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{i_r} \mathbf{h}_{op}}$$

15 其中 u_{fd} 和 u_{fr} 分别表示具有缺陷织物和无缺陷织物的平均局部能量估算；
以及

其中 $\mathbf{R}_i = E\{i(x, y) i^T(x, y)\}$ 为 $L \times L$ ($L = M \times N$) 的相关系数矩阵，并可由图象 $i(x, y)$ 的自相关函数构成。

17. 一种检测织物缺陷的滤波器装置，该滤波器被设计成可将以下目标函数最佳化：

$$J_2(\mathbf{h}_{op}) = \frac{(\mu_{fd} - \mu_{fr})^2}{\mu_{fd} \mu_{fr}}$$

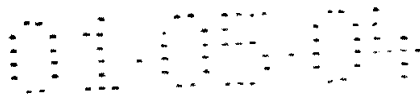
其中 u_{fd} 和 u_{fr} 分别表示有缺陷织物和无缺陷织物的平均局部能量估算。

18. 一种检测织物缺陷的滤波器装置，指定滤波器将以下目标函数最佳化：

$$J_3(\mathbf{h}_{op}) = \frac{(\mu_{fd} - \mu_{fr})^2}{\sigma_{fd}^2 + \sigma_{fr}^2}$$

其中 u_{fd} 和 u_{fr} 分别表示有缺陷织物和无缺陷织物的平均局部能量估算；

30 σ_{fd} 和 σ_{fr} 表示局部能量估算方差。



说 明 书

一种检查图象以检测缺陷的方法及装置

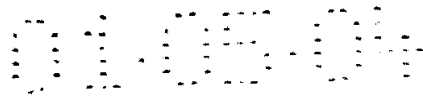
5 本发明涉及一种检验图象以便检测缺陷的方法和装置。具体地说，本发明涉及检验织构化材料以便检测其中缺陷的方法和装置。

自动化生产需要工业材料的自动检验，这些工业材料例如为纺织品、纸张和塑料。工业材料的自动化检验需要能实时实施的相应方案。现在，生产线中质量保证的关键要素是人工检验。人工检验是劳动密集型工作，它不能胜任
10 在高速生产中获得质量标准的工作。例如，在纺织工业即使具有受到很好培训的检验人员也仅能通过人工检验检测到约 70% 的缺陷。因此，渴望使目视检验任务自动化，以便提高生产线效率并同时提高产品质量。

工业检验具有非常高的要求，且与其它检验问题相比，最具有挑战性。典型纤维网为 6~10 英寸宽，并以 20~60m/min 的速度被处理。从而 100% 检验
15 的处理量非常巨大，即当使用行扫描摄影机时每分钟要处理 10~15MB 的图象数据。因此最可行方案需要附加硬件部件可降低运算中的复杂性。

利用多种方法的工业材料缺陷检测是值得考虑的课题。研究者通常利用织物样本示范多种织构化材料中缺陷检测的一般问题。各种利用子部件的平均和标准偏差的方法、灰度级共值 (co-occurrence) 矩阵和图像自相关性都可作为
20 织物缺陷的特征。在微观水平上，各种材料检验问题的广谱性缩小到织物组织的分析问题。若干研究者已试图用各种方法来解决该问题，这些方法包括 Gauss Markov Random Field(GMRF)模拟、Karhunen-loeve decomposition、Gabor 滤波器、子波变换神经网络 (wavelet transform to neural networks)。

纤维网中纱线的周期性导致傅氏域特征并用于探查织物缺陷，美国专利
25 4124300 issued to Mead et al. on November 7, 1978 讨论了这样一种方法。以傅里叶变换为基础的技术适用于引起基本结构全部扭曲的缺陷，但对于通常发生在图像较小区域中的局部缺陷并不成功。由此，检测局部织物缺陷需要在空间域和空间频域中同时测量。因此，基于 Multiscale Wavlet Representation(MSWAR) 的织物组织特征可用于检测局部织物缺陷，1998 年 9 月 29 日授权给 Vachtsevanos
30 等人的美国专利 5815198 公开了这种方法。



用于检验工业材料的超声传感器也是已知的。例如 1997 年 9 月 9 日授权给 Sheen 等人的美国专利 5665907 公开了一种检测织物缺陷的超声系统。2000 年 2 月 8 日授权给 Itagaki 等人的美国专利 6023334 公开了用亮度信息检验例如为平面铝板或平面玻璃的均质表面的方法。

5 传统方法的缺点在于其对检测产生微小密度变化的缺陷不够敏感，从而不能保证 100% 的检测。进一步说，传统方法需要对在线检验进行统计计算（即平均和标准偏差）。这些计算比较复杂，并需要附加硬件。

因此，渴望提供一种不需要在线统计计算的检验系统。还渴望提供一种系统，该系统能检测所采集图像中产生非常微小密度变化的缺陷。本发明提供了一种检验系统，该系统能克服现有缺陷检测方法的缺点。

10 本发明涉及一种检验织物以便检测缺陷的方法。根据本发明，无缺陷区域中的像素值相对于缺陷区域中的像素值以多种方式被削弱。例如，获得无缺陷区域和缺陷区域中的像素能量，以便切分缺陷。在一个实施例中，可将有限脉冲响应滤波器用于选择一些频率，这些频率的选择能将局部无缺陷区域的能量从局部缺陷区域中识别出来，以便由此检测缺陷。

15 本发明也涉及一种检验织物以便检测缺陷的滤波器装置。可这样设计滤波器装置：首先从织物样本获得相关系数矩阵和本征矢量，然后选择产生最大目标函数的本征矢量，例如通过颠倒字典式重排序（inversing lexicographical recording）方式获得最佳滤波器 $h_{op}(x,y)$ 。

20 通过下面的描述并结合附图将使本发明变得更加清楚。

图 1 是具有根据本发明形成的最佳滤波器的检测系统方框图。

图 2 表示形成本发明最佳滤波器的特征提取模型。

图 3 (a) 到 3 (i) 表示具有错纬缺陷的织物样本的实验结果，其中图 3 (a) 表示具有错纬的织物样本，图 3 (b) 表示经 7×7 最佳滤波器滤波后的图像，图 3 (c) 表示图 3 (b) 中图像的局部能量估算，图 3 (d) 表示图 3 (b) 图像经阈值处理后的切分后缺陷，图 3 (e) 表示图 3 (b) 中图像经阈值处理后的切分后缺陷，图 3 (f) 表示局部能量估算的二维网眼曲线，图 3 (g) 表示图 3 (e) 图像经阈值处理后的二维网眼曲线，图 3 (h) 表示 7×7 最佳滤波器的幅度频率响应，以及图 3 (i) 表示 49 个本征矢量中每个本征矢量的目标函数。

30 图 4 (a) 到 4 (p) 表示有缺陷织物样本的实验结果，该缺陷是由根据本



发明设计的最佳滤波器检测出来的，其中图 4 (a)、4 (e)、4 (i) 和 4 (m) 分别表示错提 (wrong-draw)、有色纱线、断头以及脏污纱线的样本，图 4 (b)、4 (f)、4 (j) 和 4 (n) 表示由设计有判别函数 $J_1(h_{op})$ 的最佳滤波器获得的相应局部能量估算，图 4 (c)、4 (g)、4 (k) 和 4 (o) 表示由设计有判别函数 $J_2(h_{op})$ 的最佳滤波器获得的相应局部能量估算，图 4 (d)、4 (h)、4 (i) 和 4 (p) 表示由设计有判别函数 $J_3(h_{op})$ 的最佳滤波器获得的相应局部能量估算。

图 5 (a) 到图 5 (p) 表示有缺陷织物样本的检测结果，其中图 5 (a)、5 (e)、5 (i) 和 5 (m) 分别表示双纬、大结头、断掉纱线以及三重经纱 (triple-wrap) 样本；图 5 (b)、5 (f)、5 (j) 和 5 (n) 表示利用本发明的最佳滤波器滤波的相应滤波图像；图 5 (c)、5 (g)、5 (k) 和 5 (o) 表示相应局部能量估算；图 5 (d)、5 (h)、5 (i) 和 5 (p) 表示经切分的缺陷。

图 6 (a) 到 6 (d) 表示利用 3×3 滤波器屏蔽 (mask) 检测错纬缺陷的检测结果，其中图 6 (a) 和 6 (d) 表示织物样本；图 6 (b) 和 6 (e) 表示局部能量估算；以及图 6 (c) 和 6 (d) 表示经阈值处理后的缺陷。

图 7 是根据本发明基于最佳滤波器的纤维网检验方框图。

图 8 是用于根据本发明检验纤维网材料的经一纬纱模式方框图。

图 9 (a) 到 9 (d) 表示竖直方向上的织物缺陷检测结果，其中图 9 (a) 表示有错纬缺陷的织物样本；图 9 (b) 表示经最佳滤波器滤波后的图像；图 9 (c) 表示图 9 (b) 图像的局部能量估算；而图 9 (d) 表示图 9 (b) 图像经阈值处理后的切分后缺陷。

图 10 (a) 到 10 (e) 表示使用经纬纱模式检测织物缺陷的检测结果，其中图 10 (a) 表示具有缺陷的织物样本；图 10 (b) 表示最佳滤波器 h_1 的输出；图 10 (c) 表示最佳滤波器 h_2 的输出；图 10 (d) 表示最佳滤波器 h_1 和 h_2 的组合输出；而图 10 (e) 表示图 10 (d) 图像经阈值处理的切分后缺陷。

图 11 (a) 到 11 (e) 表示使用经纬纱模式检测织物缺陷的检测结果，其中图 11 (a) 表示具有缺陷的织物样本；图 11 (b) 表示最佳滤波器 h_1 的输出；图 11 (c) 表示最佳滤波器 h_2 的输出；图 11 (d) 表示最佳滤波器 h_1 和 h_2 的组合输出；而图 11 (e) 表示图 11 (d) 图像经阈值处理的切分后缺陷。

图 12 (a) 到 12 (e) 表示使用经纬纱模式检测织物缺陷的检测结果，其中图 12 (a) 表示具有缺陷的织物样本；图 12 (b) 表示最佳滤波器 h_1 的输出；

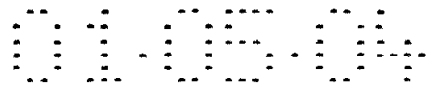


图 12 (c) 表示最佳滤波器 h_2 的输出; 图 12 (d) 表示最佳滤波器 h_1 和 h_2 的组合输出; 而图 12 (e) 表示图 12 (d) 图像经阈值处理的切分后缺陷。

图 13 (a) 到 13 (e) 表示使用经纬纱模式检测织物缺陷的检测结果, 其中图 13 (a) 表示具有缺陷的织物样本; 图 13 (b) 表示最佳滤波器 h_1 的输出; 图 13 (c) 表示最佳滤波器 h_2 的输出; 图 13 (d) 表示最佳滤波器 h_1 和 h_2 的组合输出; 而图 13 (e) 表示图 13 (d) 图像经阈值处理的切分后缺陷。

图 14 (a) 到 14 (e) 表示使用经纬纱模式检测织物缺陷的检测结果, 其中图 14 (a) 表示具有缺陷的织物样本; 图 14 (b) 表示最佳滤波器 h_1 的输出; 图 14 (c) 表示最佳滤波器 h_2 的输出; 图 14 (d) 表示最佳滤波器 h_1 和 h_2 的组合输出; 而图 14 (e) 表示图 14 (d) 图像经阈值处理的切分后缺陷。

全部附图示出了体现本发明原理的典型检验方法和装置, 现在将详细描述该检验方法和装置。

图 1 表示本发明被用于检验织物缺陷图像并由此检测其中缺陷的方框图。根据本发明, 无缺陷区域中的象素值相对于缺陷区域中的素质值以多种方式大大地被削弱。例如, 获得无缺陷区域中和缺陷区域中的象素能量以便检测缺陷。在一个优选实施例中, 可使用限定脉冲响应 (FIR) 滤波器从检验图像中提取一些频率, 其能将局部无缺陷区域的能量从局部缺陷区域的能量中识别出来。下面将描述最佳滤波器的详细内容。

1. 数学基础

图 2 表示用于形成本发明最佳滤波器特征提取模式的示范性实施例。在一个实施例中, 例如将织物组织的自相关函数作为图像中织物组织的模型。例如通过非线性平方来提取能量。通过建立织物组织图像的模型来获得平均特征值及其偏差的表达式。通过选择最佳化的适当代价函数, 通过迭代搜索或通过产生封闭型方案设计最佳滤波器。

假定每个所采集的图像为随机过程, 并且它在感兴趣的区域中是稳定的。将 x 和 y 作为所采集图像 $I(x,y)$ 的空间坐标。如图 2 所示, 用滤波器 $h_{op}(x,y)$ 对所采集的图像 $I(x,y)$ 进行滤波, 产生新图像 $W(x,y)$:

$$w(x, y) = h_{op}(x, y) * I(x, y)$$

$$= \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} h_{op}(m, n) I(x-m, y-n), \quad (1)$$

其中*表示二维褶积, $h_{op}(x,y)$ 为 $M \times N$ 最佳滤波器。对于对于 $W(x,y)$ 中的每个象素, 可将输出写作:

$$w(x,y) = \mathbf{h}_{op}^T \mathbf{i}(x,y), \quad (2)$$

5 其中 \mathbf{h}_{op} 和 $\mathbf{i}(x,y)$ 为长度 $L=M \times N$ 的向量, 例如该长度分别由象素 (x,y) 附近 $\mathbf{i}(x,y)$ 的 $M \times N$ 窗口和 $\mathbf{h}_{op}(x,y)$ 列的词典式排序得到。

$$10 \quad \mathbf{i}(x,y) = \begin{bmatrix} I(x,y) \\ \vdots \\ I(x,y-N+1) \\ I(x-1,y) \\ \vdots \\ I(x-M+1,y-N+1) \end{bmatrix} \quad \mathbf{h}_{op} = \begin{bmatrix} h_{op}(0,0) \\ \vdots \\ h_{op}(0,N-1) \\ h_{op}(1,0) \\ \vdots \\ h_{op}(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (3)$$

通过对 $W(x,y)$ 作非线性平方获得每个象素 (x,y) 处的能量。

$$15 \quad z(x,y) = w^2(x,y) \quad (4)$$

现在就参照 (x,y) 处象素附近的局部区域计算每个象素的能量 $Z(x,y)$, 以获得局部能量估算。由平滑滤波器的带宽确定局部区域。在一个实施例当中, 可通过滤波器 $g(x,y)$ 对 $Z(x,y)$ 进行滤波来获得局部能量估算, 现进一步对其作详细描述。

$$20 \quad \begin{aligned} F(x,y) &= z(x,y) * g(x,y) \\ &= w^2(x,y) * g(x,y) \end{aligned} \quad (5)$$

如图 2 的最后一个方框所示, 图像特征 $F(x,y)$ 为局部能量估算。假设广义平稳性 (WSS), 对平均特征值 μ_f 及其推导建立如下模型:

$$25 \quad \begin{aligned} \mu_f &= E\{F(x,y)\} * \\ &= E\{z(x,y) * g(x,y)\} = E\{w^2(x,y) * g(x,y)\}. \end{aligned}$$

假设平滑滤波器的系数为 $\sum_{x,y} g(x,y) = 1$, 我们将上述等式进一步简化为:

$$30 \quad \begin{aligned} \mu_f &= E\{w^2(x,y)\} = E\{(\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{i}(x,y)) (\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{i}(x,y))\} \\ &= \mathbf{h}_{op}^T E\{\mathbf{i}(x,y) \mathbf{i}^T(x,y)\} \mathbf{h}_{op} = \mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{ii} \mathbf{h}_{op} \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $R_u = E\{i(x,y)i^T(x,y)\}$ 为相关系数矩阵，其依据图像 $i(x,y)$ 的自相关函数构造。

$$\frac{\partial \mu_f}{\partial \mathbf{h}_{op}} = \frac{\partial \mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{ii} \mathbf{h}_{op}}{\partial \mathbf{h}_{op}} = 2\mathbf{R}_{ii} \mathbf{h}_{op} \quad (7)$$

5

最佳化目标函数

设计最佳滤波器的目的在于找出所采集的图像中所包含缺陷的位置。在最佳被滤波的图像中，如果对缺陷的响应很强（即很亮），则就用线性两级判别分类器对缺陷进行切分，即典型的阈值处理。平均局部能量估算 u_{fd} 决定了 $F(x,y)$ 的亮度。我们获得具有缺陷 $I_d(x,y)$ 的织物样本图像和作为特征提取基准的无缺陷 $I_r(x,y)$ 的织物样本图像。让 u_{fd} 和 u_{fr} 分别表示有缺陷织物和无缺陷织物的平均局部能量估算。目标函数 $J_1(\mathbf{h}_{op})$ 估算滤波器输出中的平均局部能量比。

10

$$J_1(\mathbf{h}_{op}) = \frac{\mu_{fd}}{\mu_{fr}} = \frac{\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{ii_d} \mathbf{h}_{op}}{\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{ii_r} \mathbf{h}_{op}} \quad (8)$$

15

该目标函数 $J_1(\mathbf{h}_{op})$ 的最佳化能最大化地分离平均特征值的比。例如，将梯度设定为零可获得对应于最大目标函数 $J_1(\mathbf{h}_{op})$ 的最佳滤波器 \mathbf{h}_{op} 的参数。

$$\frac{\partial J_1(\mathbf{h}_{op})}{\partial \mathbf{h}_{op}} = \frac{2\mathbf{R}_{ii_d} \mathbf{h}_{op}}{\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{ii_r} \mathbf{h}_{op}} - \frac{2\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{ii_d} \mathbf{h}_{op} \mathbf{R}_{ii_r} \mathbf{h}_{op}}{[\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{ii_r} \mathbf{h}_{op}]^2} = 0$$

20

在上述等式中设定 $\Psi = \frac{\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{ii_d} \mathbf{h}_{op}}{\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{ii_r} \mathbf{h}_{op}}$ 得到：

25

$$\mathbf{R}_{ii_r}^{-1} \mathbf{R}_{ii_d} \mathbf{h}_{op} = \Psi \cdot \mathbf{h}_{op} \quad (9)$$

这就是本征值方程，其中滤波器 \mathbf{h}_{op} 为本征矢量， Ψ 为本征值。本征值 Ψ 的表达式由要进行最佳化的目标函数 $J_1(\mathbf{h}_{op})$ 得出。因此最佳滤波器是产生最大目标函数 $J_1(\mathbf{h}_{op})$ 的本征矢量 \mathbf{h}_{op} 。

30 下：

也可将用于最佳织物组织转换的另一个目标函数用于缺陷检测，给出如

$$J_2(\mathbf{h}_{op}) = \frac{(\mu_{f_d} - \mu_{f_r})^2}{\mu_{f_d} \mu_{f_r}}$$

关于该目标函数 $J_2(\mathbf{h}_{op})$ 的封闭式最佳化能使局部能量估算平均值之间的相对差异最大化。

$$\frac{\partial J_2(\mathbf{h}_{op})}{\partial \mathbf{h}_{op}} = \frac{\partial J_2(\mathbf{h}_{op})}{\partial \mu_{f_d}} \frac{\partial \mu_{f_d}}{\partial \mathbf{h}_{op}} + \frac{\partial J_2(\mathbf{h}_{op})}{\partial \mu_{f_r}} \frac{\partial \mu_{f_r}}{\partial \mathbf{h}_{op}} = 0 \quad (10)$$

将等式 (6) 和 (7) 代入方程 (10) 得到:

$$\mathbf{R}_{i_r}^{-1} \mathbf{R}_{i_d} \mathbf{h}_{op} = \Psi \cdot \mathbf{h}_{op} \quad (11)$$

其中
$$\Psi = \frac{\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{i_d} \mathbf{h}_{op}}{\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{i_r} \mathbf{h}_{op}} \quad (12)$$

方程 (11) 为本征值方程。由产生最大目标函数 $J_2(\mathbf{h}_{op})$ 的本征向量给出最佳滤波器 \mathbf{h}_{op} 。所有本征向量 \mathbf{h}_{op} 都满足方程 (12)，其中 Ψ 为相应本征值。

根据所述实施例得到的最佳滤波器能使平均局部能量估算 u_{fd} 和 u_{fr} 大量分离。另外或可以选择的是，得到最佳滤波器以便考虑到局部能量估算 $F(x, y)$ 的方差。这样得到的滤波器即使在局部能量估算的方差 σ_{fd} 和 σ_{fr} 很大时也能至少将特征分布中的重叠最小化。在示范性实施例中，构成最佳滤波器，以便使其不仅能产生平均局部能量估算的大量分离，并且也能产生较低方差 σ_{fd} 和 σ_{fr} 。

例如，通常在模式识别文献(literature)中使用的目标函数是 Fisher 判别式。Fisher 判别式考虑到了特征分布的方差。

$$J_3(\mathbf{h}_{op}) = \frac{(\mu_{f_d} - \mu_{f_r})^2}{\sigma_{f_d}^2 + \sigma_{f_r}^2} \quad (13)$$

根据 Fisher 判别式函数计算最佳滤波器的近似封闭解决方案可用于缺陷切分。将织物结构近似为第一级自回归域，可获得方差的简化表达式及其偏差。最佳化可简化成下面的本征值方程:

$$(\mathbf{R}_{ii}^{-1} \mathbf{R}_{iid}) \mathbf{h}_{op} = \frac{(\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{iid} \mathbf{h}_{op})}{(\mathbf{h}_{op}^T \mathbf{R}_{ii} \mathbf{h}_{op})} \mathbf{h}_{op} \quad (14)$$

最佳滤波器的系数由给出目标函数 $J_3(\mathbf{h}_{op})$ 最大值的本征向量 \mathbf{h}_{op} 计算得到。

5 根据本发明，可这样得到最佳滤波器：例如可通过首先从织物样本获得相关矩阵 \mathbf{R}_{ii} 、 \mathbf{R}_{iid} 和 $(\mathbf{R}_{ii}^{-1} \mathbf{R}_{iid})$ 的本征向量，然后，选择到由本征向量产生的目标函数最大值，例如 $J_1(\mathbf{h}_{op})$ 、 $J_2(\mathbf{h}_{op})$ 或 $J_3(\mathbf{h}_{op})$ 。例如通过倒置字典式再排序可从元素 (element) \mathbf{h}_{op} 可获得最佳滤波器 $\mathbf{h}_{op}(x, y)$ 。显而易见的是，用于形成最佳滤波器的其它特征提取模式也包含在本发明的范围内。

10 2. 被监督的缺陷检测

可在大多数工业检验系统中获得要被检测的缺陷的现有技术。这些已知缺陷的检验被认为是被监督的缺陷检测。以下实施例描述了这样一种被监督的缺陷检测，它利用了用于检测织物中已知种类缺陷的最佳滤波器。

2.1 最佳滤波器的尺寸

15 根据多种因素确定 FIR 滤波器的尺寸。例如，可根据 FIR 滤波器的带宽确定尺寸。通常，大带宽滤波器具有比小带宽滤波器更小的尺寸。

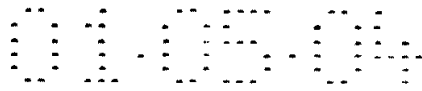
另外或可以选择的是，最佳滤波器的尺寸可根据织物图象的光谱特性来确定，这些光谱特性例如为纱线密度和编织方式。例如，织物原料是具有较高纱线密度的平织织物，则织物的图象象素将变得迅速不相关。因此，这些织物的
20 光谱就可能具有较高频谱，这需要大带宽或小尺寸空间滤波器。可以选择的是，大空间尺寸的滤波器也可用于具有较低纱线密度的织物。由于支持体的对称区域用于精确的边缘定位，因此下面仅描述不对称分级的滤波器屏蔽。

2.2 平滑滤波器的选择

本发明的最佳滤波器包括平滑滤波器。平滑滤波器能将具有高局部带通能量的区域转换成强灰度级分布图。在一个示范性实施例中使用了 Gaussian 低通
25 平滑滤波器。这种 Gaussian 低通平滑滤波器是可拆式的，并能提供空间频率和空间域中的最佳联合分辨率。

$$g(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\lambda}} e^{-((1/2)(x^2+y^2)/\lambda^2)} \quad (15)$$

30



带宽 λ 的选择决定了要被算入输出局部能量估算的频率。上面作为可拆式褶积屏蔽等式 (15) 的滤波器有限近似法可用作平滑滤波器。在一个实施例中, 带宽 λ 是:

$$\lambda = \frac{1}{2\sqrt{2}f_0} \quad (16)$$

例如, 可通过图象中一根纱线所占有的像素数量确定中心频率 f_0 。例如, 在该申请所描述的所有斜纹织物样本中, 每根纱线占有约 8 个像素。因此, 中心频率 $f_0=1/8$ 。当对图象边界附近的图象进行滤波时, 我们假定图象通过其镜像 (即甚至映象) 延伸。

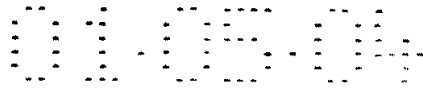
2.3 实验结果

本发明可用于各种织物, 例如纺织品、纸张、塑料、木材和金属。在一个实施例中, 所用样本可以是织布机收集到的斜纹或平纹织物。这种样本材料包含了最平常的织物缺陷, 例如混纬、错纬、纬缩 (扭结纬纱)、错读 (misread)、错提、有色纱线、断头、脏头、双纬、大节点、断线、三重经线等等。

可以多种方式获得样本织物材料的图像。在一个实施例中, 可在逆光条件下采集所有图像。另外或可以选择的是, 图像能覆盖样本织物材料约 1.28×1.28 平方英寸的面积。然后使用用八位分辨率 (即 256 灰度级) 将所采集的图像以例如为 256×256 的像素数字化。这些所采集的图像可以是补偿的直方图, 然后用于设计下面所述的最佳滤波器。在一个示范实施例中, 将具有最佳能量分离性能的线性有限脉冲响应滤波器用于切分缺陷。在一个优选实施例中使用上面所述的 Gaussian 低通滤波器滤波。

图 3 (a) 表示有缺陷斜纹样本织物的图像, 例如缺陷为错纬。在一个实施例中, 设计具有目标函数 $J_1(h_{op})$ 的最佳滤波器来切分缺陷。图 3 (i) 表明了等式 (9) 的可能本征值。选定与最大本征值 (4.4187) 相对应的本征向量以形成最佳滤波器。图 3 (h) 表示这种最佳滤波器的幅度频率响应。可以看到该频率响应显示出通频带, 其中局部能量估算很高 (对应于缺陷), 而阻带位于另一处。

图 3 (b) 表示经最佳滤波器滤波后的图像。从该图像可以看出, 对应于缺陷的单个像素标准偏差比无缺陷区域中的高出许多。由此通过任何两级线性判别函数、即通过阈值处理切分缺陷。图 3 (e) 和 3 (g) 分布示出了经切分



处理的缺陷及其三维网格图。

该样本图像的局部能量估算及其三维网格图表分别示于图 3 (c) 和 3 (f)。由于缺陷区域的平均局部能量比无缺陷区域的平均局部能量高 4.4187 倍，所以例如通过简单的阈值处理 (图 3 (d)) 能容易地切分缺陷。最佳滤波器是稳固的 (将在节 3.3 中描述)，它能良好地检测检验状态中位于图像任何部分的类似性质缺陷。显而易见的是，最佳滤波器的其它实施例也在本发明的范围之内。

图 4 (a) 表示具有缺陷的平织织物样本图像，其缺陷例如为错提。在一个实施例中，设计具有判别函数 $J_1(h_{op})$ 、 $J_2(h_{op})$ 和 $J_3(h_{op})$ 的三个 5×5 最佳滤波器检测缺陷。三个最佳滤波器的检测结果分别示于图 4 (b)、4 (c) 和 4 (d) 中，其中这三个最佳滤波器都能成功地检测样本织物上的缺陷。

图 4 (e) 和 4 (m) 分别表示具有例如为有色纱线和脏纱线缺陷的斜纹织物样本。在一个实施例中，可利用本发明的 7×7 最佳滤波器检测这些缺陷。图 4 (f) 到 4 (h) 分别表示由设计有 $J_1(h_{op})$ 、 $J_2(h_{op})$ 和 $J_3(h_{op})$ 的最佳滤波器检验的包含有色纱线织物样本的结果。图 4 (n) 到 4 (p) 分别表示由设计有 $J_1(h_{op})$ 、 $J_2(h_{op})$ 和 $J_3(h_{op})$ 的最佳滤波器检验的包含脏纱线织物样本的结果。

在图 4 (i) 的可选择实施例中，检测了包含例如为断头缺陷的另一个斜纹织物样本。图 4 (j) 和 4 (k) 表示由设计有 $J_1(h_{op})$ 和 $J_2(h_{op})$ 的 7×7 最佳滤波器获得的检测结果。图 4 (l) 表示具有对应于 Fisher 判别式的目标函数 $J_3(h_{op})$ 的最佳滤波器结果。如上面实施例所述，可使用一个或三个判别函数 $J_1(h_{op})$ 、 $J_2(h_{op})$ 和 $J_3(h_{op})$ 设计最佳滤波器，以便检测平纹和/或斜纹织物中的各种缺陷。显而易见的是，最佳滤波器的其它实施例也在本发明的范围之内。

在本发明的一个实施例中，具有目标函数 $J_2(h_{op})$ 的最佳滤波器能产生优选结果，该结果可通过简单的阈值处理而被检测。通过具有目标函数 $J_2(h_{op})$ 的最佳滤波器获得的附加实验结果示于图 5 (a) 到 5 (p) 中。图 5 (a)、5 (e)、5 (i) 和 5 (m) 分别表示包含双纬线、大节点、断纱线和三重经线的织物样本图像。图 5 (b)、5 (f)、5 (j) 和 5 (n) 表示利用具有目标函数 $J_2(h_{op})$ 的最佳滤波器滤波后的相应图像。图 5 (c)、5 (g)、5 (k) 和 5 (o) 表示相应的局部能量估算。图 5 (d)、5 (h)、5 (l) 和 5 (p) 表示经切分的缺陷。上述实施例中使用的并在节 2.1 中讨论的每个最佳滤波器的最小屏蔽尺寸示于下面的表 1 中。本发明可用于检测其它织物的缺陷，例如粗节、飞花织入、油渍。

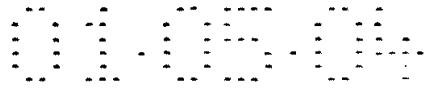


表 1: 实验中所用织物样本所需要的最小屏蔽尺寸

屏蔽尺寸	5×5	7×7	9×9
织物样本类型	平纹	斜纹	平纹
纱线密度	高	中等	低
每英寸的经线×纬线	132×72	118×60	110×52
附图号	4 (a)、5 (a)	4 (e)、4 (i)、4 (m)、5 (e)、5 (i)	5 (m)

2.4. 讨论

通常，精确保存边缘需要很高的空间分辨率。在另一方面，精确估算局部能量需要很高的空间频率分辨率。由于空间分辨率与空间频率分辨率成反比关系，因此在决定平滑滤波器的尺寸时既要考虑精确的边缘定位又要考虑精确的局部能量估算。

可对本发明中得到的检测结果进行定性分析。表 1 列出了上述每个检测“合格性能”的给定缺陷种类的实验中使用的最小屏蔽尺寸。定量的“合格性能”表示对缺陷象素进行错误分类的百分比低于最终经阈值处理图象的 10%。在本发明的一个实施例中，当增大屏蔽尺寸时，图 5 检测结果中所显示的噪音可减小到零，例如对于表 1 所示的那些。在另一个实施例中，具有较小尺寸的最佳滤波器可用于检测具有较高纱线密度的织物样本，反之亦然。检测缺陷所需的最佳滤波器屏蔽尺寸还取决于其它因素，例如缺陷的光谱特性和检测所需的精度。

表 2 表示作为屏蔽尺寸函数的三个目标函数幅度值。该表的第二列表示经滤波的图象中缺陷区域的平均象素能量相对于无缺陷区域的平均象素能量值。当屏蔽尺寸从 3×3 增加到 5×5 (7×7) 时，用 $J_2(h_{op})$ 进行滤波的计算时间增加了 77 (340) %，但目标函数仅增加 1 (114) %。也可由具有边缘折衷性能的 3×3 屏蔽 (图 3 (a)) 检测该缺陷。

20

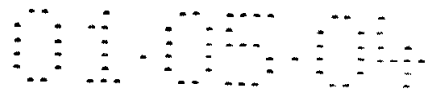


表 2: 最大目标函数
(图 3 (a) 所示错纬作为屏蔽尺寸的函数)

Mask Size	$J_1(\mathbf{h}_{op})$	$J_2(\mathbf{h}_{op})$	$J_3(\mathbf{h}_{op})$
3 × 3	1.4082	0.1183	0.4063
5 × 5	2.8315	1.1846	1.0283
7 × 7	4.4187	2.6450	0.9406
9 × 9	5.5855	3.7645	1.0117
11 × 11	6.6410	4.7916	1.0602
13 × 13	7.8826	6.0094	0.9269
15 × 15	8.8267	6.9399	1.1859
17 × 17	9.8922	7.9932	1.6401
19 × 19	10.8588	8.9509	1.3436

图 6 表示该 3×3 屏蔽可检测同一方向上的其它错纬。在另一个实施例中，用于检测缺陷的最小屏蔽尺寸取决于缺陷性质（光谱）。例如，与最小本征值（即目标函数）对应的最小本征向量的选定能产生反解，即经滤波图象中的灰度级从最大值交换为最小值。

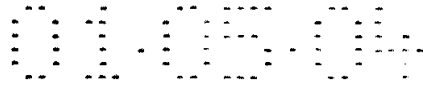
在另一个实施例中，用 7×7 最佳滤波器对需要仔细手工（目视）检验以检测缺陷的织物样本进行测试。优选的是，由于 Fisher 判别函数也考虑到了所提取特征量的方差，并料到其在任何情况下都能较好地执行，因此使用基于目标函数 $J_3(\mathbf{h}_{op})$ 的最佳滤波器检测这些缺陷。

3. 在线缺陷检测

生产线上工业纤维网检验要求利用逆光由摄像机采集图象的连续过程。任何在线检验系统必需能够累计不同方向和分辨率等级出现的缺陷。所希望的方法对于要检验的产品范围必需稳固、自动并且灵活。本发明也涉及用于检验包含大量不同缺陷织物的无人监督缺陷检测。

图 7 表示根据本发明的纤维网检验系统，其包括根据本发明设计的最佳滤波器。此处提出的算法与其它模式识别范例类似，在运行过程中，将步骤分成调制阶段和测试阶段。调制阶段是脱机过程，其包括从具有缺陷的样本图象计算最佳滤波器的步骤。测试阶段是在线过程，其中利用预先计算出的最佳滤波器检验所采集的图象，以便检验缺陷。

如图 7 所示， $h_1 \cdots h_n$ 表示为确定合格性能而捕获不同类型缺陷所需的一套



最小最佳滤波器。根据各种因素确定滤波器的总体数量，这些因素例如被检测的缺陷范围（质量保证）和硬件所能达到的计算复杂程度。对于每个经最佳滤波的输出，例如利用节 1.1 所述的方法获得局部能量估算 ($E_1 \cdots E_n$)。

3.1 数据合成

5 在本发明中使用了数据合成模式，以便从不同波道（即 $E_1 \cdots E_n$ ）累计有用信息。图象合成模式能够削弱背景象素并增强缺陷象素。在一个实施例中，数据合成模式包括图象分量（component image）的向量求和。可以选择的是，利用 Bernoulli 结合定律结合来自不同波道的图象。在另一个实施例中，为减少误报警，通过在向量求和前获得距离图象 $d_j(x, y)$ 来实现图象合成。

$$10 \quad d_j(x, y) = \begin{cases} E_j(x, y) & |E_j(x, y) - v_j| \geq |\zeta \rho_j| \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

在上面的公式中， v_j 和 ρ_j 是从无缺陷样本获得。在实施例中，于在线检验前从最佳滤波器获得无缺陷样本的局部能量估算。利用来自每个这些图象的平均 v_j 和标准偏差 ρ_j 产生距离图象 $d_j(x, y)$ （公式 17），其向量求和产生合成图象输出。变量 ζ 控制灵敏度。在一个实施例中，将变量 ζ 固定在一到三的范围

15 内。

3.2 二值化

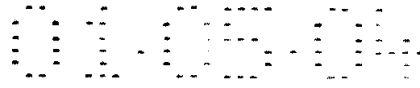
下一步为合成图象输出的阈值处理，以便产生缺陷 $B(x, y)$ 的二进制图

20 象。选定阈值以便使位于该界限以下的任何值被认为是经检验的正常织物组织，而该界限以上的任何值被认为是缺陷的影响。能以各种方式确定阈值。在一个实施例中，可通过操作开始时进行校正获得阈值。例如，利用无缺陷样本产生合成的图象输出 $C_r(x, y)$ 。可得到下面的阈值 φ_{th} ：

$$25 \quad \varphi_{th} = \max_{x, y \in W} \{C_r(x, y)\}, \quad (18)$$

其中“W”为集中在图象 $C_r(x, y)$ 中心的窗口。确定窗口尺寸，以避免边界失真的影响。在一个示范实施例中，窗口尺寸为除掉图象 $C_r(x, y)$ 每个侧边的 20 个象素。显而易见的是，获得阈值的其它实施例也包含在本发明的

30 范围内。



3.3 经一纬滤波模式

在一个示范实施例中，利用从织布机收集到的织物样本估算在线缺陷检测的算法。由于织布机编织方法的本身性质，纤维网上的缺陷通常位于水平或垂直方向。因此，开发了利用双最佳滤波器的经纬模式以检测水平（纬）方向和垂直（经）方向的缺陷，如图 8 所示。在一个实施例中，最佳滤波器设计有目标函数 $J_2(h_{op})$ 。可设计 7×7 最佳滤波器屏蔽 h_1 来检测图 9 (a) 所示的织物缺陷。图 9 (c) 中示出了经滤波图象的局部能量估算。

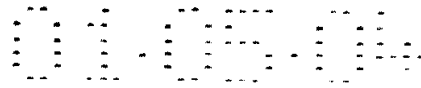
在一个可选择的实施例中，选定在垂直方向上有缺陷的另一个织物样本（即图 3 (a)）。设计一个类似于节 2.3 中那样的 7×7 最佳滤波器 h_2 来切分缺陷。利用局部能量估算 ($E_1 \cdots E_n$) 简单向量求和的数据合成模式能够满足所用图象的分辨率。可获得如公式 (17) 所述的阈限 Ψ_{th} 。

3.4 实验设置和结果

本发明可用于检验包含最普通织物缺陷的织物，这些织物缺陷例如为混纬、错纬、纬缩（扭结纬纱）、错读、错提、有色纱线、断头、脏头、双纬、大节点、断线、三重经线等等。因此，经证明本发明的经一纬模式是最稳固的。以下实施例表示斜纹织物样本的检测结果。

图 10 (a) 表示在垂直方向上包含例如为错纬缺陷的织物样本。在一个实施例中，利用滤波器 h_2 提供图 10 (c) 和 10 (d) 中所示的输出。在另一个实施例中，织物样本包括了图 11 (a) 所示的缺陷。在该实施例中，使用了双滤波器 h_1 和 h_2 ，其结果分别示于图 11 (b) 和 11 (c) 中。在图 12 (b) 和 12 (c) 所示的实施例中，滤波器 h_1 和 h_2 成功地捕捉到了两个方向上的缺陷分量。类似地，图 13 (b) 和 13 (c) 描绘了图 13 (a) 中的织物缺陷分量。图 14 表示使用双滤波器在两个方向上捕捉缺陷的稳定性的另一个例子。该松端缺陷的分量均匀分布在水平和垂直方向上。捕捉相应分量，并将其分别示于图 14 (b) 和 14 (c) 中。图 14 (e) 表示经切分的缺陷。

本发明提供了一种依据最佳滤波器的新的纤维网检验系统。在高性能的基础上结合了较低的计算要求，最佳滤波器具有解决工业检验问题的低成本性质。本发明的商业应用能确保质量，并能提高生产线效率。本发明的最佳滤波器还能在其它不能检测特殊缺陷等级的技术基础上改进已有系统。许多依据现有技术的已有检验系统具有很低的缺陷检测比，该缺陷产生非常轻微



化。在这种情况下，基于最佳滤波器的本发明能补充检测这些缺陷。

显而易见的是，此处描述的各种特征可任意组合或单独使用。因此，本发明并仅不限于此处专门描述的实施例。虽然所述说明和附图表示本发明的优选实施例，但可以理解的是，可由此作出各种添加、修改和替换而不会脱离由所

5 附的权利要求书所限定的本发明的精神和范围。特别是，对于本领域普通技术人员非常清楚的是，本发明可包含其它特殊形式、结构、布置以及其它部件和组件，而不会脱离本发明必要技术特征的精神。本领域普通技术人员应当清楚的是，本发明可与许多本发明实际操作中所用结构、布置、部件以及不同方式的修改一起使用，本发明特别适合于特殊环境和操作要求，而不会脱离本发明的

10 原理。由此应认为现在所公开的实施例在各个方面都是说明性而不是限制性的，本方面的范围由所附的权利要求书表示，而不限于上述描述。

说明书附图

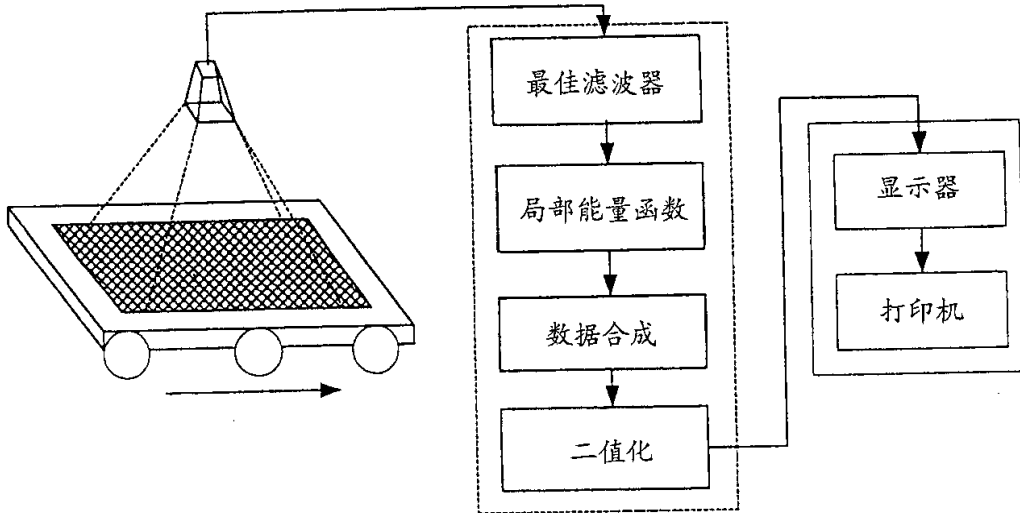


图 1

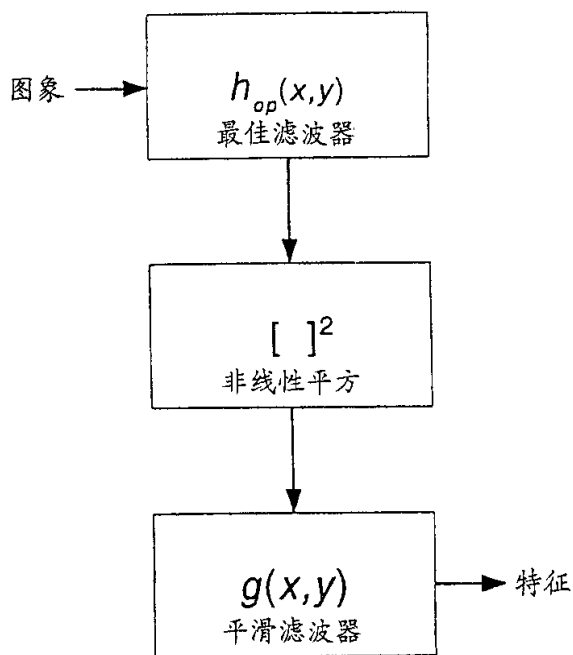
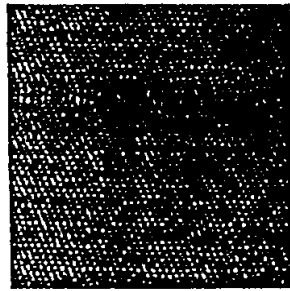
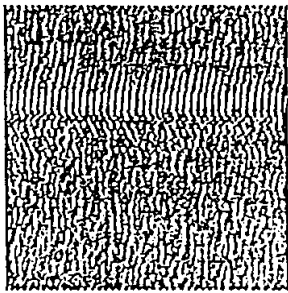


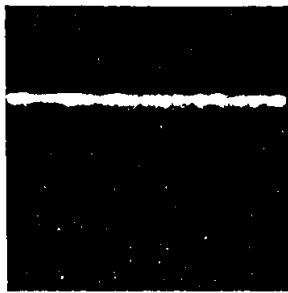
图 2



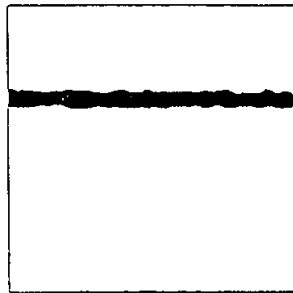
(a)



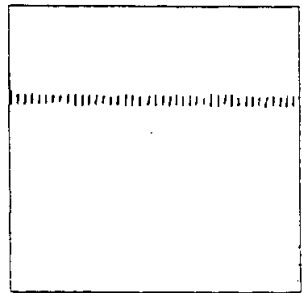
(b)



(c)

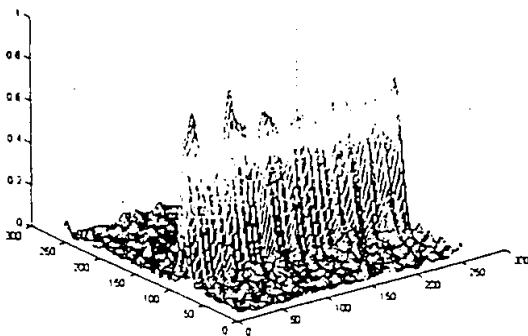


(d)

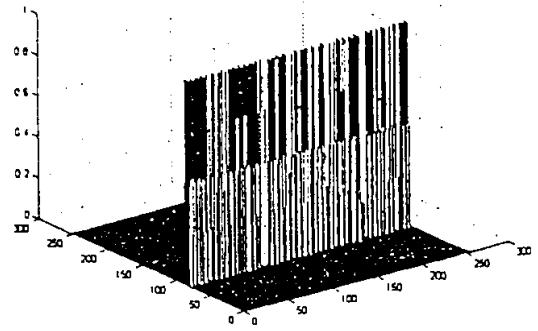


(e)

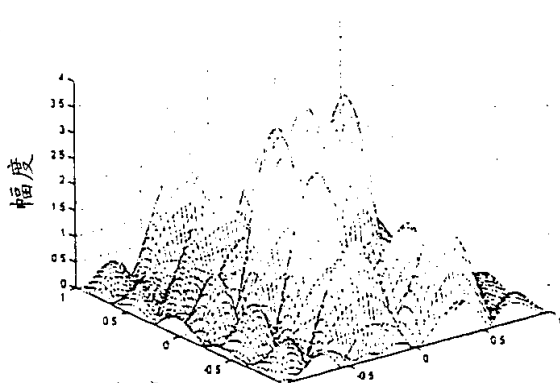
滤波后能量



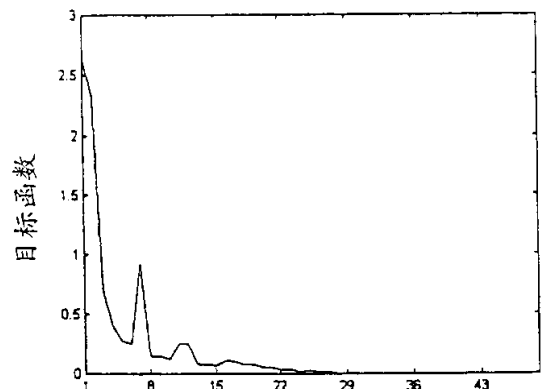
(f)



(g)



(h)



(i)

图 3

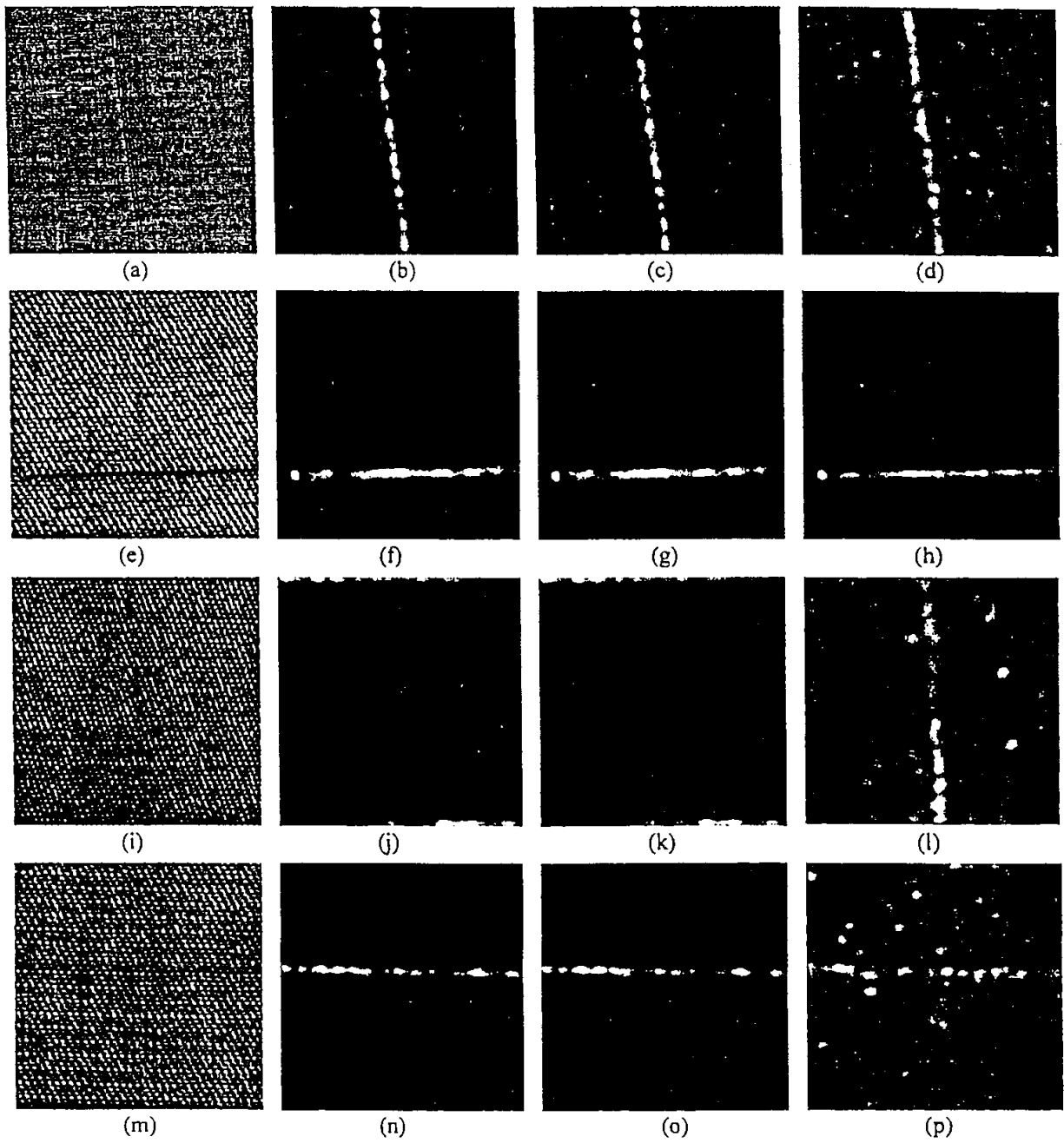


图 4

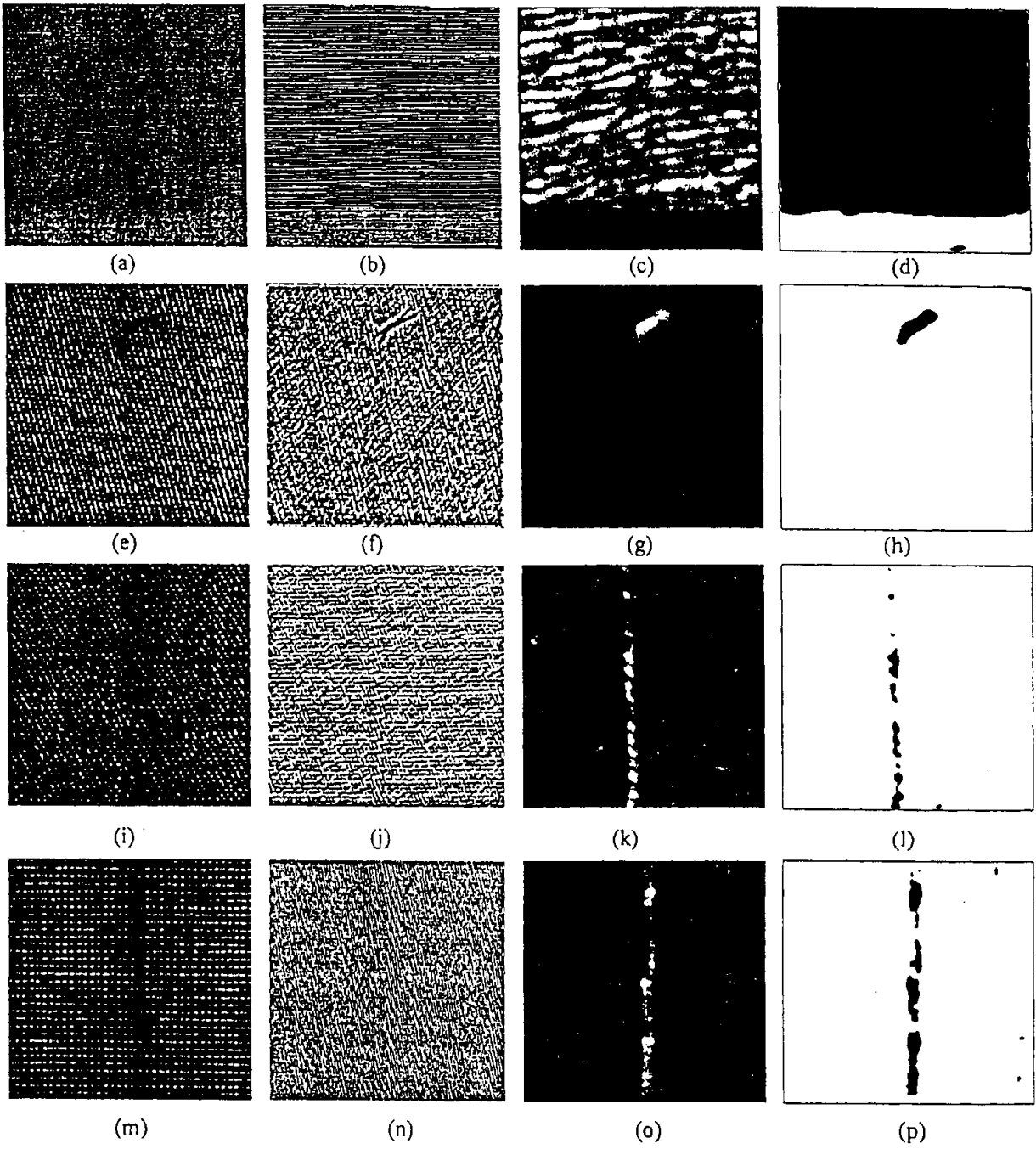


图 5

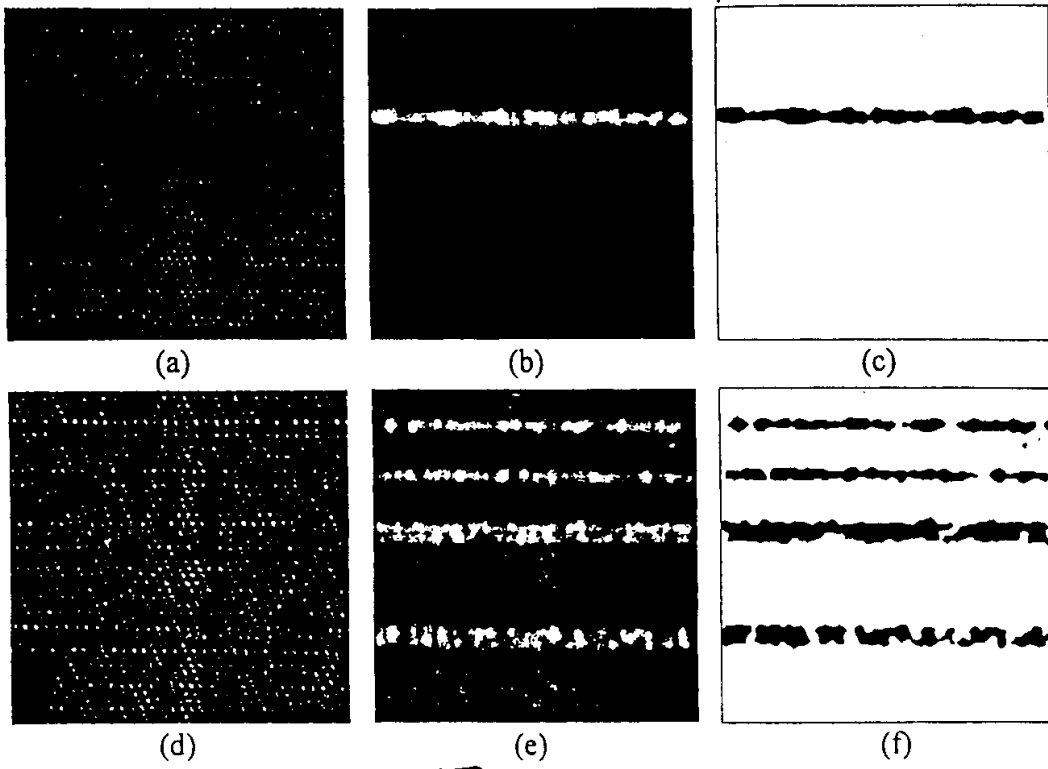


图 6

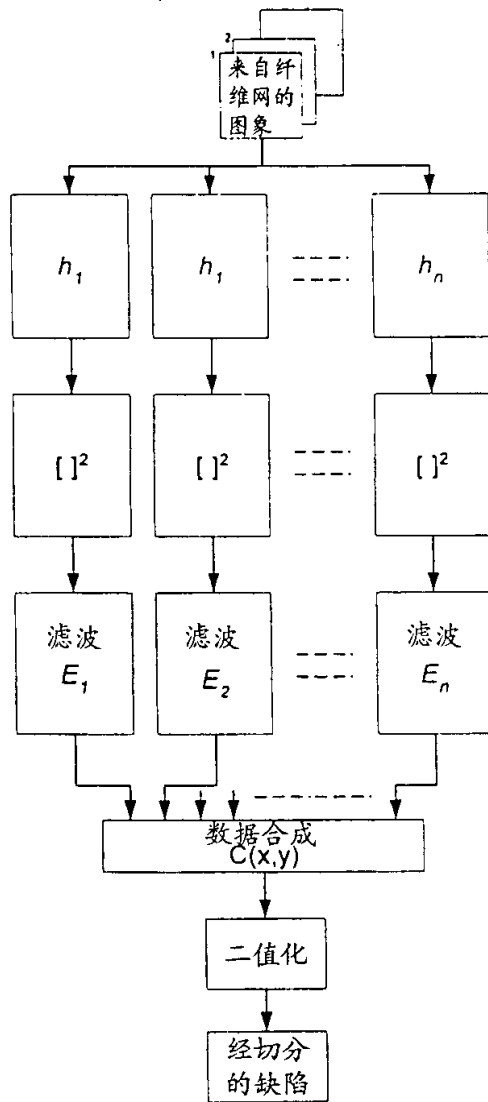


图 7

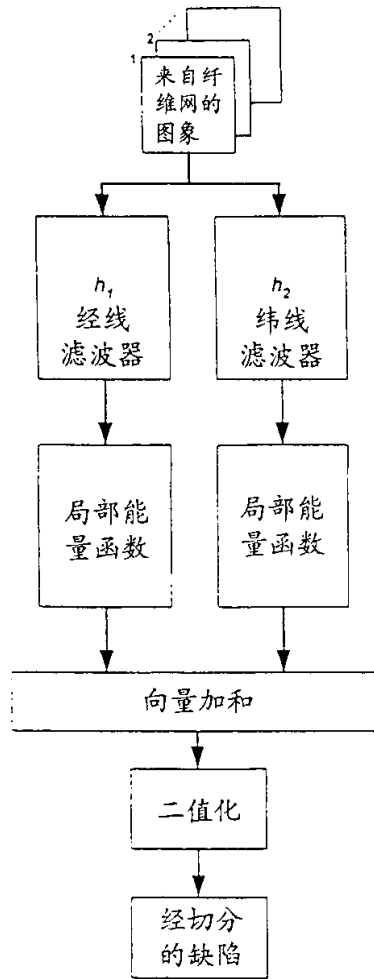


图 8

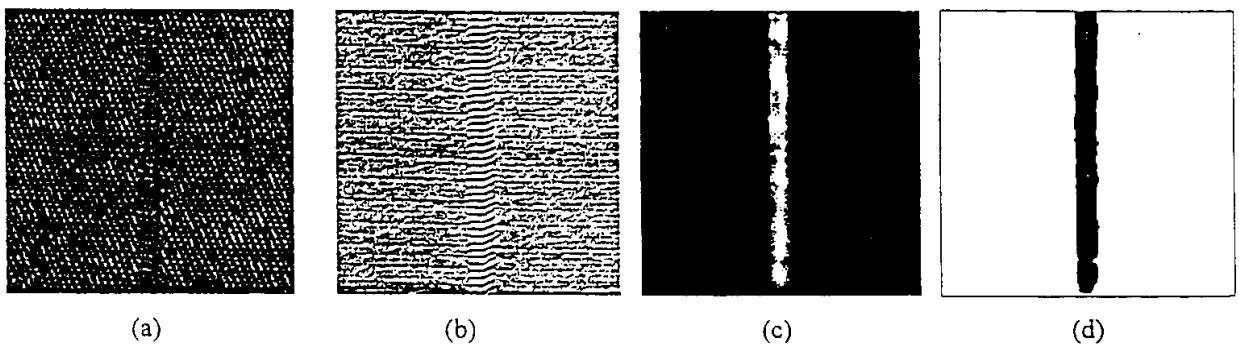
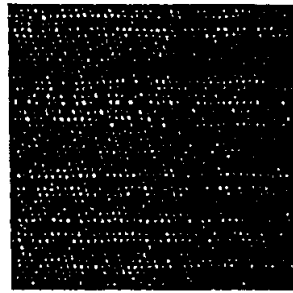
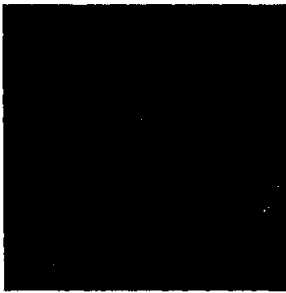


图 9

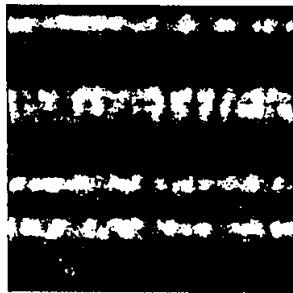
0104



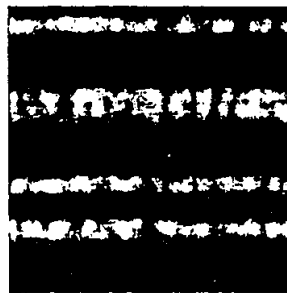
(a)



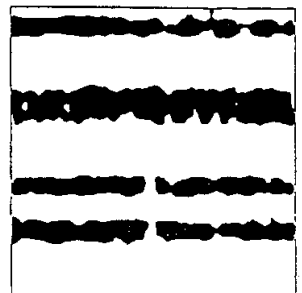
(b)



(c)

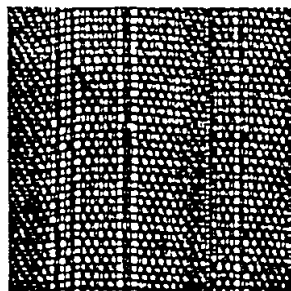


(d)

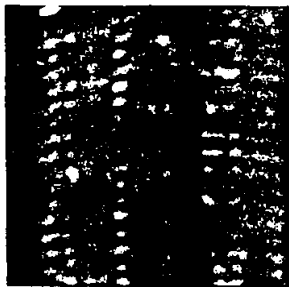


(e)

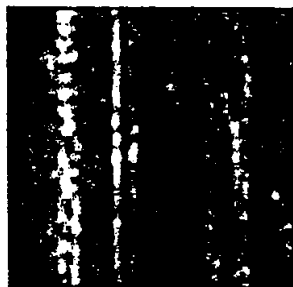
图 10



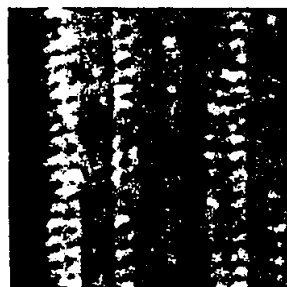
(a)



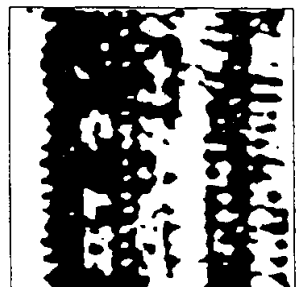
(b)



(c)



(d)



(e)

图 11

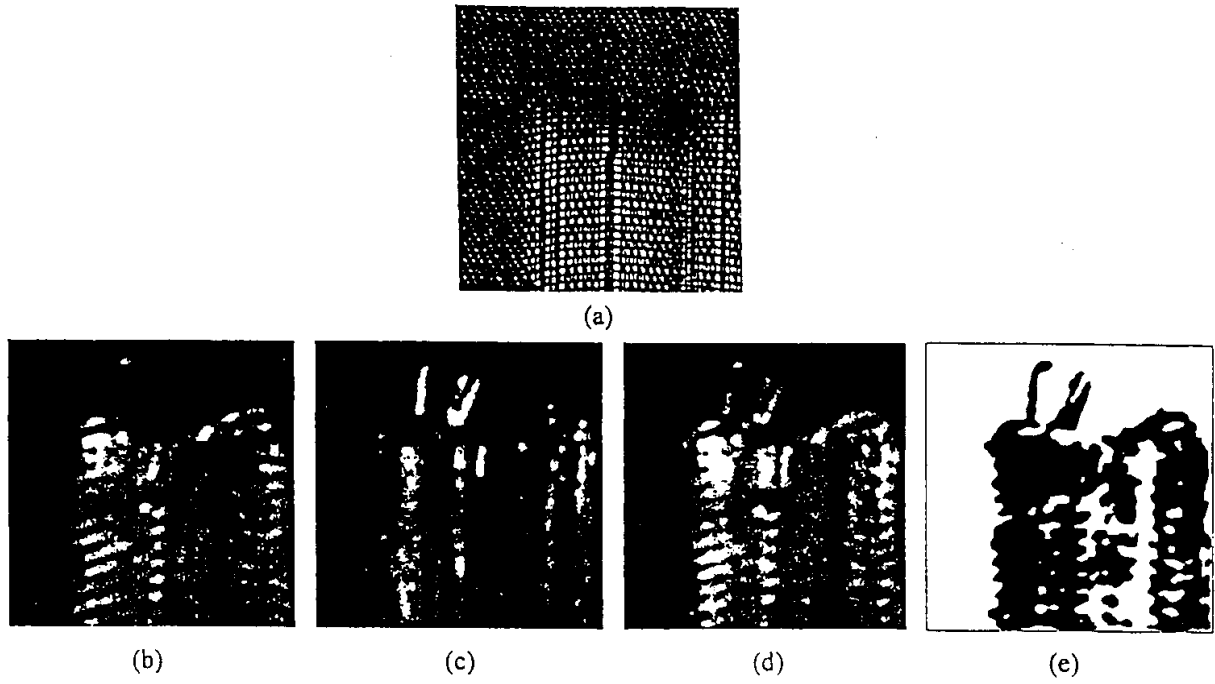


图 12

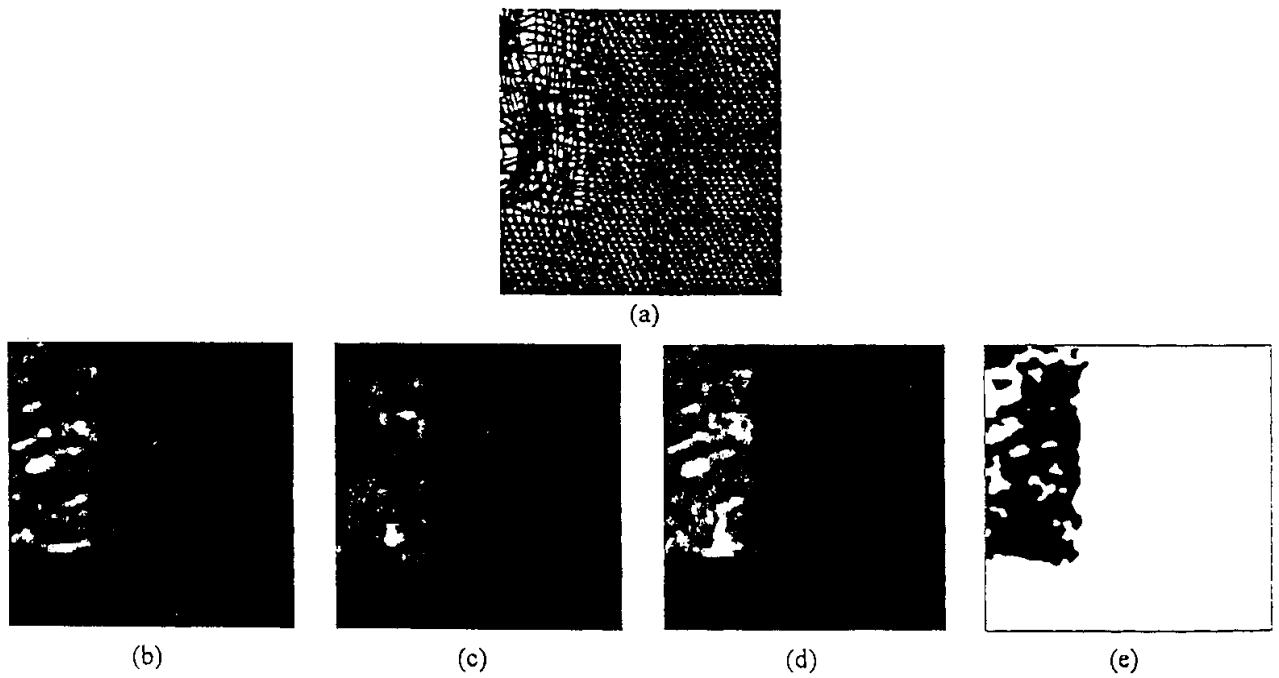


图 13

010504

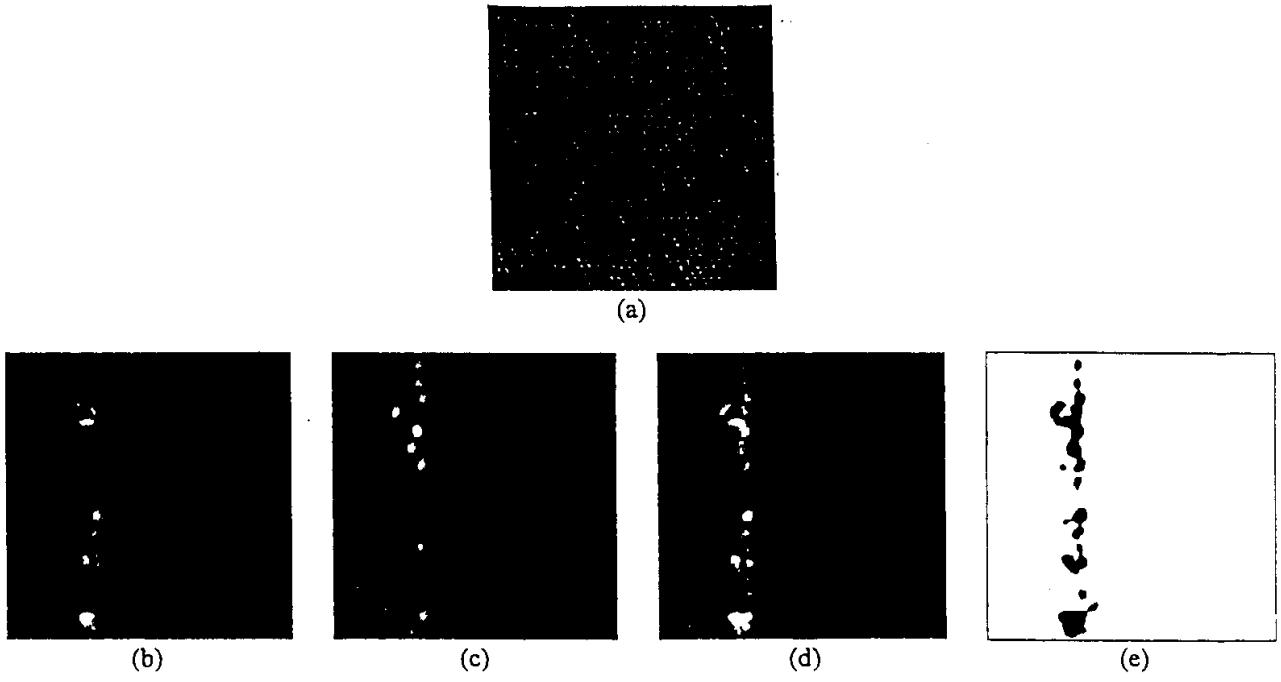


图 14