第16卷 第1期　　自 动 化 学 报　　Vol. 16, No. 1
1990年1月　　ACTA AUTOMATICA SINICA　　Jan., 1990

可变参数的逐级离散相关法

李 蓓　万嘉若　吴敏金
（华东师范大学）

摘　　要

本文提出了一种在图象处理和模式识别中非常有效的新方法——可变参数的逐级离散相关法．这种方法在快速的逐级运算基础上，对每级扩展增长率具有任意的可变性．它是对逐级离散相关法的拓广．在具体应用中，该方法体现出灵活多变、计算快速、有效等特点．此外，在相关窗的选取上采用近似高斯分布状的加权窗，对实际图象信号的处理起到了滤去噪声的作用．

关键词——图象处理，模式识别，目标匹配．

一、引　　言

在图象处理和模式识别中，计算与分析图象的局部性质，识别图象中的局部目标等，都是最基本的和最重要的问题．以往人们采用固定尺寸的窗来计算分析局部图象的性质[1]，应用于目标匹配存在着灵活性差，配准精度低，运算速度慢等缺点．因此，这种方法很难在实践中得到应用．本文提出了一种用于图象处理和模式识别中非常灵活、有效的方法．这种方法可以对不同尺寸的图象或目标进行逐级离散相关，并用近似于高斯分布状的各种不同大小的窗来对图象进行分析，对目标进行匹配．利用逐级离散求相关的方式，可以解决用高斯分布状的窗来直接求相关时运算量大的问题．

二、可变参数的逐级离散相关法

可变参数的逐级离散相关法（即 *Variable Parameter Hierarchical Discrete Correlation*，简称 VPHDC）是在 P. J. Burt 提出的 HDC（*Hierarchical Discrete Correlation*）法[2]的基础上提出的．它保持了 HDC 法的一切特点[3]，并且从理论和实际应用上将 HDC 法进行了拓广．从以下的定义与分析中可以清楚地看到：HDC 法仅是 VPHDC 法的一种特例．由于 HDC 法的逐级变化范围受到采样间距逐级几何增长的限制，因此 VPHDC 法有突出的灵活性．它的逐级变化范围具有任意性，能满足不同尺寸范围处理的需要．

1. VPHDC 的定义及其等价形式

本文于1987年5月12日收到．

定义：如果一维信号用 $f(x)$ 来表示，那么一组 VPHDC 的 $g_{l,k}$ 序列可以通过以下递归形式来表示：

$$g_{0,0}(x) = f(x), \qquad l = 0,\ k = 0,$$

$$g_{l,k}(x) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} w(i) g_{l,k-1}(x + i r^{s_l(k)}), \qquad 0 \leqslant s_l(k) < l,$$

$$g_{l,0}(x) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} w(i) g_{l-1,t(l-1)}(x + i r^{l-1}), \tag{1}$$

式中，$w(i)$ 称为产生核，它须满足：

(1) 归一性 $\sum_{i=-\infty}^{\infty} w(i) = 1$,

(2) 对称性 $w(i) = w(-i)$,

(3) 单调性 $w(i_1) \geqslant w(i_2) \geqslant 0,\ 0 \leqslant i_1 < i_2$,

(4) 等分布 $\sum_{i=-m}^{m} w(j + ir) = \text{常数}\ (1/r),\ 0 \leqslant j < r$.

另外，l 是表示采样范围按几何增长的递归级别，简称第一维递归级别；而 k 表示在第 l 级仍具有任意的 k 个递归级，简称为第二维递归级别。这里 $t(l)$ 表示第一维为 l 级时第二维的最高递归级数，即 k 的最大值，它可根据采样范围需要而确定。r 表示采样间距，式中 l、k、$t(l)$ 和 r 均为正整数。

从式(1)可见，在 l 级递归中还可以进行 $t(l)$ 次递归。由于 $s_l(k) < l$，所以 k 的增加所引起的采样范围增加较之 l 的增加所引起的变化要来得小。通过改变 $s_l(k)$ 可以在一定程度上任意改变采样范围的增加。

对于(1)式，也可以用下列等价形式来表示：

$$g_{l,k}(x) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} h_{l,k}(i) f(x + i), \tag{2}$$

其中，等价核 $h_{l,k}(x)$ 可定义为：

$$h_{0,0}(x) = \begin{cases} 1, & x = 0, \\ 0, & \text{其它}, \end{cases}$$

$$h_{l,k}(x) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} w(i) h_{l,k-1}(x - i r^{s_l(k)}), \quad 0 \leqslant s_l(k) < l,$$

$$h_{l,0}(x) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} w(i) h_{l-1,t(l-1)}(x - i r^{l-1}). \tag{3}$$

由于篇幅所限，证明略.

图 1 为 VPHDC 法的 $g_{l,k}(x)$ 示意图. 这里的点表示相关函数 $g_{l,k}(x)$ 的采样点，横坐标是点的空间坐标 x，纵坐标表示递归级别 l、k. 这里，采样间距取 2，加权窗的宽度 $M_l = 2 \times m + 1$，m 取 2. 每一递归级的加权分别为 a、b、c，它们的取值必须满足产生核的四个条件.

同一般 HDC 法的不同之处是在 $l = 2$ 时增加了一级 $l = 2$，$s_2(1) = 1$，它的作用同它上一级相同，却不同于 $l = 3$. 因此，可以任意设计不同形式的变化参数来达到一定

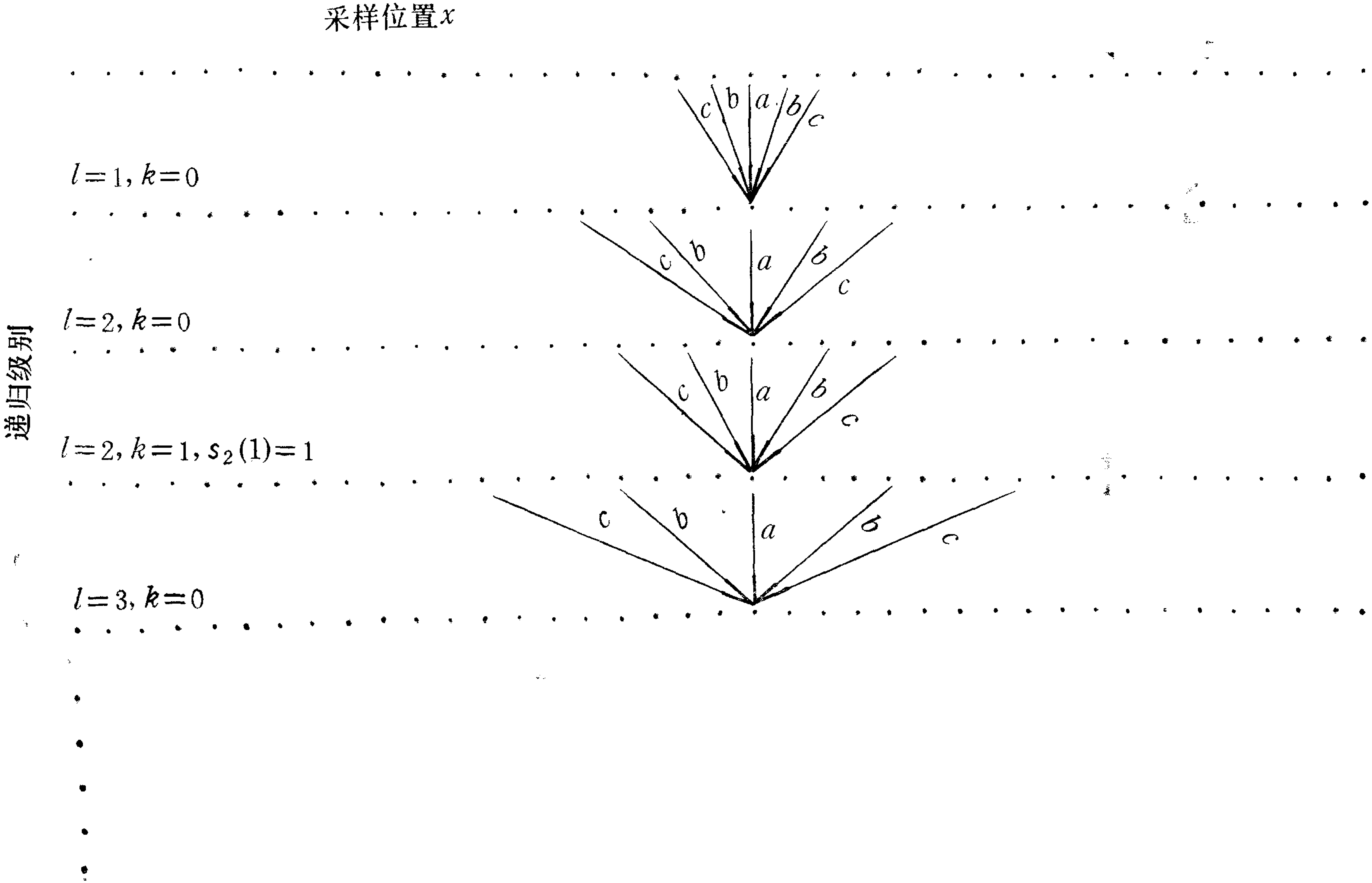

图 1

的宽度要求.

2. VPHDC 等价核的宽度

以上为了证明的方便而把两个定义式都写成从$-\infty$到∞. 实际上，$w(i)$ 有一定的宽度,因而 $h_{l,k}$ 也有一定的宽度.

(1) $w(i)$ 等宽的情况

如果 $w(i)$ 不随着 l、k 而变化,具有宽度为 $2\times m+1$，则 $h_{l,k}$ 的宽度为 $2\times M_{l,k}+1$. 其中 $M_{l,k}$ 为:

$$
\begin{aligned}
M_{l,k} = & mr^{l-1} + mr^{s_l(1)} + mr^{s_l(2)} + \cdots + mr^{s_l(k)} \\
& + mr^{l-2} + mr^{s_{l-1}(1)} + mr^{s_{l-1}(2)} + \cdots + mr^{s_{l-1}(t(l-1))} \\
& + \cdots \\
& \vdots \\
& + m + m + \cdots \\
= & m\left(\sum_{i=0}^{l-2}\left(r^i + \sum_{j=1}^{t(i+1)} r^{s_{i+1}(j)}\right)\right) + mr^{l-1} + m\sum_{j=1}^{k} r^{s_l(j)}.
\end{aligned} \tag{4}
$$

从(4)式可以看出，随着 k 的增加，$m_{l,k}$ 的增加量为 $mr^{s_l(k)}$，可以通过改变 $s_l(k)$ 来满足采样范围增加的需要.

(2) $w(i)$ 变宽的情况

如果 $w(i)$ 随着 l、k 而变化,其宽度也是 l、k 的函数，即 $2\times m(l,k)+1$. 这时，(4)式中的 m 都需要相应地改为 $m(l,k)$:

$$
\begin{aligned}
M_{l,k} = & \sum_{i=0}^{l-2}\left(m(i+1,\ 0)r^i + \sum_{j=1}^{t(i+1)} m(i+1,\ j)r^{s_{i+1}(j)}\right) \\
& + m(1,0)r^{l-1} + \sum_{j=1}^{k} m(1,j)r^{s_l(j)}.
\end{aligned} \tag{5}
$$

三、VPHDC 法在目标匹配中的应用及实验结果

相关系数法是目标匹配的一个重要方法，但此法却存在着计算量大的致命弱点. 运用 VPHDC 法可以显著地减少计算量,而且 VPHDC 的窗口设计较 HDC 灵活,因而应用面更广，配准精度更高.

对于一运动图象，首先估计其运动区域(用差值法). 然后根据运动区域的大小确定递归的 l 级数、k 级数和 $S_l(k)$. 运用 VPHDC 算法((1)式的二维形式)计算相关系数，可得相关系数最大的匹配目标间的距离和方向,即为运动距离和方向.

利用 VPHDC 配准算法对实际情景中拍摄的运动汽车进行图象配准模拟实验. 实验结果表明：对低噪声模拟位移目标配准，其配准精度可达 98% 以上；而对信噪比为 4.4:1 的模拟位移目标进行配准,其配准精度也可以达到 90%. 可见 VPHDC 法在对信号进行低通处理中确有成效,它能同时解决不同尺寸区域中运动目标的配准,并以较高精度的配准参数来估计运动目标的运动参数,弥补了一般相关计算运算量大的缺陷.

参　考　文　献

[1] T. S. Huang(ed.), Image Sequence Analysis, Berlin Springer, 1981.
[2] Peter J. Burt, Fast Filter Transforms for Image Processing, *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. **16**, (1981), 20—51.
[3] Peter J. Burt, Fast Algorithms for Estimating Local Image Properties, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. **21**(1983), 368—382.

THE VARIABLE PARAMETER HIERARCHICAL CORRELATION ALGORITHM

LI BEI　WAN JIARUO　WU MINJIN
(East China Normal University)

ABSTRACT

In this paper, a new and highly efficient algorithm (which can be) used in image processing and pattern recognition is presented. The algorithm, named Variable Parameter Hierarchical Discrete Correlation (VPHDC), is an extension of HDC, and has some distinguishing features in its applications, such as flexibility, efficiency, fastness and so on. Besides, it also has an effect of filtering on noise because it uses Gaussian-like weighted window.

Key words ——Image processing; pattern recognition; object matching.