2.7 模板匹配法

在模式识别中一个最基本的方法，就是模板匹配法(template matching)，它基本上是一种统计识别方法。

为了在图像中检测出已知形状的目标物，我们使用这个目标物的形状模板（或窗口）与图像匹配，在约定的某种准则下检测出目标物图像，通常称其为模板匹配法。它能检测出图像中上线条、曲线、图案等等。它的应用包括：目标模板与侦察图像相匹配；文字识别和语音识别等。

1 互相关匹配

两幅图像 f_1 和 f_2 在区域Φ内的匹配程度可以有许多方法来测度，如失配度就可以用

$\max\limits_{\phi}|f_1-f_2|$； $\iint\limits_{\phi}|f_1-f_2|$； $\iint\limits_{\phi}(f_1-f_2)^2$ 等形式表示。

若选用失配度 $\iint\limits_{\phi}(f_1-f_2)^2$，则

$$\iint\limits_{\phi}(f_1-f_2)^2=\iint\limits_{\phi}f_1^{\ 2}+\iint\limits_{\phi}f_2^{\ 2}-2\iint\limits_{\phi}f_1f_2 \qquad (2.30)$$

显然，给定 $\iint\limits_{\phi}f_1^{\ 2}$ 和 $\iint\limits_{\phi}f_2^{\ 2}$ 后，$\iint\limits_{\phi}f_1f_2$ 就是匹配的测度，此项越大，$\iint\limits_{\phi}(f_1-f_2)^2$ 越小，那么失配程度越轻，即匹配度越佳。

应用柯西－施瓦茨（Canchy-Schwarz）不等式，对非负的 f_1 和 f_2,可得到下述结论：

$$\iint_{\phi} f_1 f_2 \le \sqrt{\iint_{\phi} f_1^{\ 2} \bullet \iint_{\phi} f_2^{\ 2}} \qquad (2.31)$$

上式当且仅当在 $f_2 = cf_1$ 时等号成立（C 为常数）。在数字图像中积分换成求和，结果变为

$$\sum_i \sum_j f_1(i,j) f_2(i,j) \le \sqrt{\sum_i \sum_j f_1(i,j) \bullet \sum_i \sum_j f_2(i,j)} \qquad (2.32)$$

同样当且仅当在 $f_2(i,j) = cf_1(i,j)$ 时等号成立（C 为常数）。

设 f_1 为目标模板， f_2 为待匹配图像，显然应假定 f_1 比 f_2 小。那么我们就将 f_1 在 f_2 中一切可能的位置上移动，并对每一次移位（u, v）来计算 $\iint_{\phi} f_1 f_2$ 。根据柯西－施瓦茨不等式，则下式成立，

$$\iint_{\phi} f_1(x,y) f_2(x+u, y+v) dxdy$$
$$\le \sqrt{\iint_{\phi} f_1^{\ 2}(x,y) dxdy \bullet \iint_{\phi} (x+u, y+v) dxdy} \qquad (2.33)$$

因为 f_1 在 ϕ 区之外都等于 0，因此可将积分区域由 ϕ 扩展为 $(-\infty, \infty)$，这样上式左部变为

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x,y) f_2(x+u, y+v) dxdy \qquad (2.34)$$

可见上式正是 f_1 和 f_2 的互相关函数 $Cf_1 f_2$ 。

分析（2.30）式的右边，虽然 $\iint_{\phi} f_1^{\ 2}$ 项是常数，但 $\iint_{\phi} f_2^{\ 2}$ 项不是常数，它与 u, v 有关。这是由于实际操作时，一般是固定模板 f_1，而移动待匹配图像 f_2。因此 f_2 中与 f_1 对应区域的图像内容总是随 u, v 而

变化，简单应用$C_{f_1 f_2}$作为匹配的测度并不合适，通常应用归化互相关函数作为匹配测度，即

$$\frac{C_{f_1 f_2}}{\sqrt{\iint f_2(x+u,y+v)dxdy}} \tag{2.35}$$

假如在某个位移上(u, v)使$f_2 = cf_1$ (C 为常数)，则(2.35 式)有最大值$\iint f_1^2$。此时(2.31)或(2.32)等式成立，那么(2.30)出现最小值，即失配度最小.

实际上因为有噪声存在，上述(2.31)式等式情况不会出现，也就是讲不可能完全匹配.一般是选取(2.35)式最大值时的位置，作为最佳匹配点.

对两幅数字图象求互相关匹配时，设模版 f_1尺寸为 M*M，待匹配图像f_2尺寸为N*N，N>>M.只要将上面公式中的积分变为求和即可沿用，其一般操作有两种方法：

1)若按正常办法，将f_1在f_2上移动，其要移动N^2次，每次移位要做M^2次乘法和加法，比较费工。

2)按卷积理论，$C_{f_1 f_2} = (F_1 * F_2)^{-1}$，我们可以先求模版$f_1$的傅氏变换$F_1$，并将其取共轭$F_1^*$，将$F_1^*$与待匹配图像的傅氏变换$F_2$相乘后再取反变换，即可得到它的互相关函数，使用 FFT 算法，这样的操作还是较好的(特别当 M 值较大时)。

由此可见，这种简单的模版匹配方法，计算量是很大的。在操作过程中，除了应用一些计算技巧外，还可以对图像进行逐步匹配，如先粗

后细采样匹配、改变模版尺寸、去除明显没有目标的区域等措施来加快匹配速度。