4.哈尔变换可以用矩阵的形式表示为：

其中，是一个的图像矩阵，是变换矩阵，是变换结果。对于哈尔变换，变换矩阵包含基函数，它们定义在连续闭区间，其中。为了生成矩阵，定义整数，即（这里，当p=0时q=0，或1；当时，）。可得哈尔基函数为：



且

N×N哈尔变换矩阵的第行包含了元素，其中。计算当时的矩阵。



解:当N=16时，k=0,1,2,3…15。而此时p和q相应的取值如下表所示：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| k | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| p | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| q | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

由课上所讲的求解变换矩阵H的规律，可得：

