

基于有向面积的角点分类算法

曾接贤^{1),2)} 黄华川¹⁾ 张桂梅¹⁾

¹⁾(南昌航空大学无损检测技术教育部重点实验室,南昌 330063)

²⁾(南昌航空航天大学计算机学院,南昌 330063)

摘要 在3维场景重构、运动估计、机器视觉等领域,不仅希望能检测出图像中的角点,而且还希望获得角点附近更多的信息,即能对角点进行进一步分类。为了能对图像中检测出的角点进行进一步分类,提出了一种基于有向面积的角点分类方法,该方法首先采用基于协方差矩阵特征向量的小波变换角点检测原理检测出图像边缘上的角点;然后根据角点两侧的边缘信息定义了6种类型的角点;最后通过计算角点附近边缘上顺序排列的3个有向面积,实现对象点的分类。实验表明,基于有向面积的角点分类,具有较高的准确性。

关键词 小波变换 角点检测 有向面积 角点分类

中图分类号:TP391.41 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)06-1159-07

A Corner Classification Algorithm Based on Directed Areas

ZENG Jie-xian^{1),2)}, HUANG Hua-chuan¹⁾, ZHANG Gui-mei¹⁾

¹⁾(Key Laboratory of Nondestructive Test (Ministry of Education), Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063)

²⁾(Faculty of Computing of Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063)

Abstract In the domain of 3D scene reconstruction, motion estimate and machine vision, we need to detect the corners in a image, as well as obtain more information around corners, namely we could classify the corner further. We proposed a corner classification method based on directed area. First, we applied corner detection principle of wavelet transformation, based on the eigenvectors of covariance matrices, to detect the corner on the edge of images. Secondly, we defined six types of corners based on the edge information of both sides. Finally, corners can be classified by computing three directed areas arranged in order on the edge of the corners. The experiment indicated that the method of classifying corners has higher accuracy.

Keywords wavelet transforms, corner detection, directed areas, corner classification

1 引言

由于物体的角点包含丰富的信息,且角点的数目远远小于图像中像素点的数目,因此通过对角点这一局部特征进行处理来替代对整幅图像进行处理,可大大地提高计算速度,使得对图像的实时处理成为可能。此外,由于角点具有旋转不变性和几乎不受光照条件的影响等特征^[1],因此,角点具有可

以在图像之间进行可靠匹配等优点,这就使得角点检测在光流计算、目标跟踪、3维场景重构、运动估计、摄像机标定、视觉的定位和测量等机器视觉方面起着十分重要的作用^[2]。

Rosenfeld 和 Kitchen 利用曲线上一点前后臂夹角的余弦值来估计该点的曲率,将曲线上的局部曲率最大点作为角点^[3]。Shen 和 Wang 利用 Hough 变换来检测角点,即先将图像投影到 Hough 空间,然后通过阈值技术检测角点^[4]。Moravec 把角点定义

基金项目:国家自然科学基金项目(60675022);江西省自然科学基金项目(0311019)

收稿日期:2006-07-03;改回日期:2007-01-25

第一作者简介:曾接贤(1958~),男,教授。1997年获西北工业大学工程图学专业硕士学位。主要从事工程图学、计算机图形学和计算机视觉等方面的研究。近几年发表学术论文30余篇。E-mail:zengjx58@163.com

为各个方向上灰度变化足够大的点^[5]。文献[6]、[7]是把曲线边缘上的点的方向角函数在多尺度小波变换下同时出现最大值的点作为角点。

角点分类在以前的文献中很少提及。本文根据角点两侧是曲线段还是直线段,以及它们之间的连接关系,将角点分为 6 类,并且给出了判断各种类型角点的算法。角点分类的实质是更多地给出了角点附近的信息,这为完成 3 维场景重构、运动估计、机器视觉等需要角点附近边缘信息的任务提供了有力的帮助。

本文通过研究封闭曲线上的角点两侧曲线段的曲率变化情况,并且根据角点两侧曲线段的曲率变化情况对角点进行了分类。该分类算法概括了角点附近一个邻域上的曲线段的种类,而且利用该分类可以实现对图像的快速匹配。

2 基于小波变换的角点检测原理及算法

利用小波变换求取曲线角点的实质是同时用多个高通滤波器对曲线的方向角进行滤波,并先计算曲线的曲率,再通过求局部极值来得到候选角点;然后对候选角点进行分类;最后采取不同的原则加以判断后即可得到正确的角点。求取角点经典的方法是利用曲线上某一点前后两点连线与横轴的夹角来构造方向角函数^[7],但由于该方法只考虑了曲线上某一点邻域前后两个不同点的信息,而舍弃了这两个点之间其他点的信息,考虑的因素不够完善,因而存在检测出伪角点的可能。

基于协方差矩阵特征向量的小波变换角点检测算法^[6]是,首先计算每个像素一个邻域上的协方差矩阵;然后由该矩阵及其特征值构造方向角函数;最后对该方向角函数进行小波变换,即可得到角点的位置。该方法的具体检测过程如下:

(1) 对于封闭曲线上的每一个点 $\mathbf{p}_i = (x_i, y_i)$, ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), 定义点 \mathbf{p}_i 附近的一个邻域为

$$N_i(\mathbf{p}_i) = \{\mathbf{p}_j, j = i - s, \dots, i, \dots, i + s\} \quad (1)$$

参数 s 决定了点集 \mathbf{P}_i 参与计算的像素个数, n 为封闭曲线上像素数目。

(2) 计算点集 \mathbf{P}_i 的协方差矩阵

$$\mathbf{M}(\mathbf{P}_i) = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix}$$

其中

$$m_{11} = \left[\frac{1}{2s+1} \sum_{j=i-s}^{i+s} x_j^2 \right] - \bar{x}_i^2 \quad (2)$$

$$m_{22} = \left[\frac{1}{2s+1} \sum_{j=i-s}^{i+s} y_j^2 \right] - \bar{y}_i^2 \quad (3)$$

$$m_{12} = m_{21} = \left[\frac{1}{2s+1} \sum_{j=i-s}^{i+s} x_j y_j \right] - \bar{x}_i \bar{y}_i \quad (4)$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{2s+1} \sum_{j=i-s}^{i+s} x_j \quad (5)$$

$$\bar{y}_i = \frac{1}{2s+1} \sum_{j=i-s}^{i+s} y_j \quad (6)$$

(3) 求协方差矩阵的特征值 λ_1, λ_2 和特征向量 $\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2$, 其中 λ_1 是较大的特征值, \mathbf{E}_1 是与 λ_1 对应的特征向量。

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} (m_{11} + m_{22} + \sqrt{(m_{11} - m_{22})^2 + 4m_{12}^2}) \quad (7)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} (m_{11} + m_{22} - \sqrt{(m_{11} - m_{22})^2 + 4m_{12}^2}) \quad (8)$$

$$\mathbf{E}_1 = \begin{bmatrix} e_{1,x} \\ e_{1,y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{12} / \sqrt{(\lambda_1 - m_{11})^2 - 4m_{12}^2} \\ (\lambda_1 - m_{11}) / \sqrt{(\lambda_1 - m_{11})^2 - 4m_{12}^2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{E}_2 = \begin{bmatrix} e_{2,x} \\ e_{2,y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{12} / \sqrt{(\lambda_2 - m_{11})^2 - 4m_{12}^2} \\ (\lambda_2 - m_{11}) / \sqrt{(\lambda_2 - m_{11})^2 - 4m_{12}^2} \end{bmatrix} \quad (10)$$

(4) 求对应点 \mathbf{p}_i 的方向角函数 θ_i 。通过定义 $\text{tg}(\theta_i) = e_{1,y} / e_{1,x} = (\lambda_1 - m_{11}) / m_{12}$, 即可得到方向角函数

$$\theta_i = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\lambda_1 - m_{11}}{m_{12}} \right) \quad (11)$$

(5) 函数 θ_i 在尺度 k 下的小波变换定义为

$$W^{(k)}(\theta_i) = \int_{-1}^1 \theta_i \cdot \varphi(x/k) dx \quad (12)$$

其中, $\varphi(x)$ 是小波变换的基函数, k 叫作尺度。

(6) 在 4 个不同尺度 k 下, 计算方向角 θ_i 的小波变换 $W^{(k)}(\theta_i)$;

(7) 根据实际要求, 给定在 $k = 1$ 时 $W^{(1)}(\theta_i)$ 的阈值 σ ;

(8) 根据小波变换的取值, 如果在曲线的第 i 个点处, θ_i 在 4 个尺度下的小波变换值 $W^{(k)}(\theta_i)$ 都为局部最大值, 并且 $W^{(1)}(\theta_i) > \sigma$, 那么就认为曲线的

第 i 个点对应着一个角点^[6]。若使用角点标记符号 PF_i 进行标记,那么第 i 个点对应着一个角点,即 $PF_i = 1$, 否则 $PF_i = 0$ 。

检测出的角点集合表示为 $\hat{P}_i = P_i \cap \{PF_i\} (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

图 1(a)和图 1(b)是某飞机模型的线图,当 $\sigma = 0.5 \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W^{(k)}(\theta_i)$ 时,利用该方法获取的角点如图 1(c)和图 1(d)所示。该方法由于综合考虑了一点附近一个区间上所有点的分布情况,因此检测的准确率更高;同时,该方法对于图像的旋转、缩放不敏感。由图 1(c)和图 1(d)所示的检测结果可知,二者所检测到的角点是一致的。

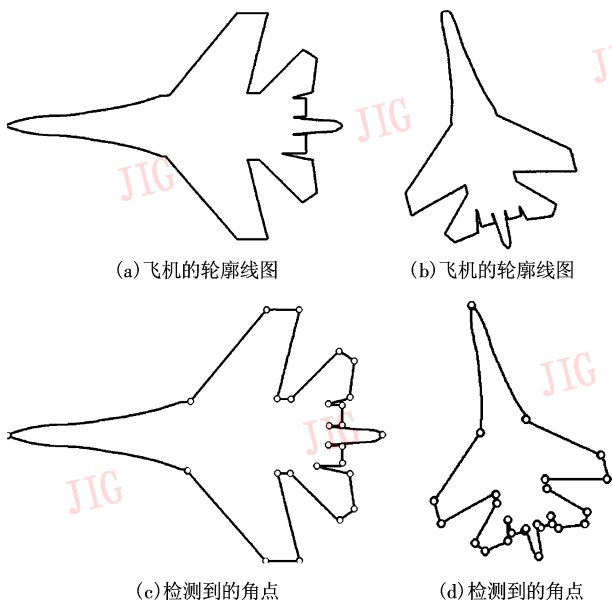


图 1 基于小波变换的角点检测结果

Fig. 1 The result of corner detection based on wavelet transformation

3 角点的分类及其分类原理

3.1 角点的分类

在 3 维场景重构、运动估计、机器视觉等领域,不仅希望能检测出图像中的角点,而且还希望知道角点周围更多的信息,即能对角点进行进一步分类。由上节所述可知,基于小波变换方法检测到的角点实际上是图像边缘局部曲率最大的点。那么,根据角点周围图像边缘的曲率变化情况,就可对角点进行如下分类:

- (1) 第 1 类角点,即直线与直线的交点(如图 2(a)所示);
- (2) 第 2 类角点,即直线和曲线段的交点,相对于封闭曲线内部,曲线在角点附近是凸曲线(如图 2(b)所示);
- (3) 第 3 类角点,即直线和曲线段的交点,相对于封闭曲线内部,曲线在角点附近是凹曲线(如图 2(c)所示);
- (4) 第 4 类角点,即曲线段和曲线段的交点,相对于封闭曲线内部,两条曲线在角点附近同为凹曲线或同为凸曲线,且角点的凹凸性与两侧曲线的凹凸性相反(如图 2(d)所示);
- (5) 第 5 类角点,即曲线段和曲线段的交点,相对于封闭曲线内部,两条曲线在角点附近同为凹曲线或同为凸曲线,且角点的凹凸性与两侧曲线的凹凸性相同(如图 2(e)所示);
- (6) 第 6 类角点,即曲线段和曲线段的交点,相对于封闭曲线内部,两条曲线在角点附近一条是凹曲线,另外一条是凸曲线(如图 2(f)所示)。

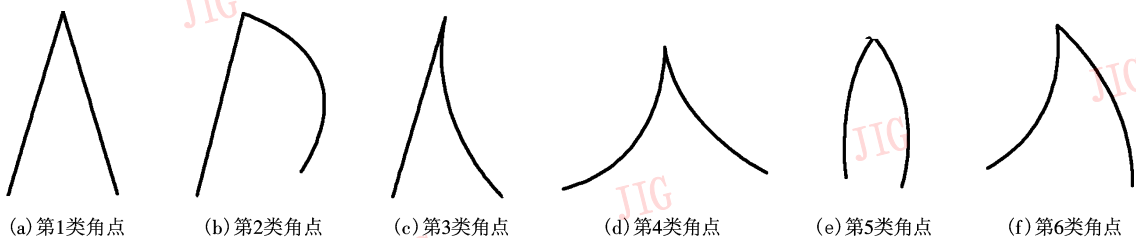


图 2 角点类型

Fig. 2 The corner types

3.2 角点分类原理

为了检测出上述分类的各类角点,构造如下 3 个有向面积:设 \hat{p}_i 为某一待分类的角点, $\hat{p}_{i-2h}, \hat{p}_{i-h},$

$\hat{p}_{i+h}, \hat{p}_{i+2h}$ 为该待分类角点两侧的邻近像素, h 为像素间的间隔,则按顺时针顺序排列的 3 个点所围成区域的有向面积为

$$S_{i,1}(\hat{p}_{i-2h}, \hat{p}_{i-h}, \hat{p}_i) = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_{i-2h} & y_{i-2h} & 1 \\ x_{i-h} & y_{i-h} & 1 \\ x_i & y_i & 1 \end{vmatrix} \quad (13)$$

当该面积位于点 $\hat{p}_{i-2h}, \hat{p}_{i-h}$ 两点连线的左侧时,则计算得到的 $S_{i,1}(\hat{p}_{i-2h}, \hat{p}_{i-h}, \hat{p}_i)$ 的值为正,否则为负。同理,可求得 $S_{i,2}(\hat{p}_i, \hat{p}_{i+h}, \hat{p}_{i+2h}), S_{i,3}(\hat{p}_{i-h}, \hat{p}_i, \hat{p}_{i+h})$ 。为简单起见,把 $S_{i,1}(\hat{p}_{i-2h},$

$\hat{p}_{i-h}, \hat{p}_i), S_{i,2}(\hat{p}_i, \hat{p}_{i+h}, \hat{p}_{i+2h}), S_{i,3}(\hat{p}_{i-h}, \hat{p}_i, \hat{p}_{i+h})$, 分别记作 $S_{i,1}, S_{i,2}, S_{i,3}$ 。如图 3 所示,将 $S_{i,1}$ 和 $S_{i,2}$ 的面积用 ▨ 表示, $S_{i,3}$ 的面积用 ▩ 表示, $S_{i,3}$ 和 $S_{i,1}, S_{i,2}$ 相交部分的面积用 ▧ 表示。图 3 中箭头一侧为封闭曲线外侧。

各种不同类型的角点,其有向面积的符号有如下规律:

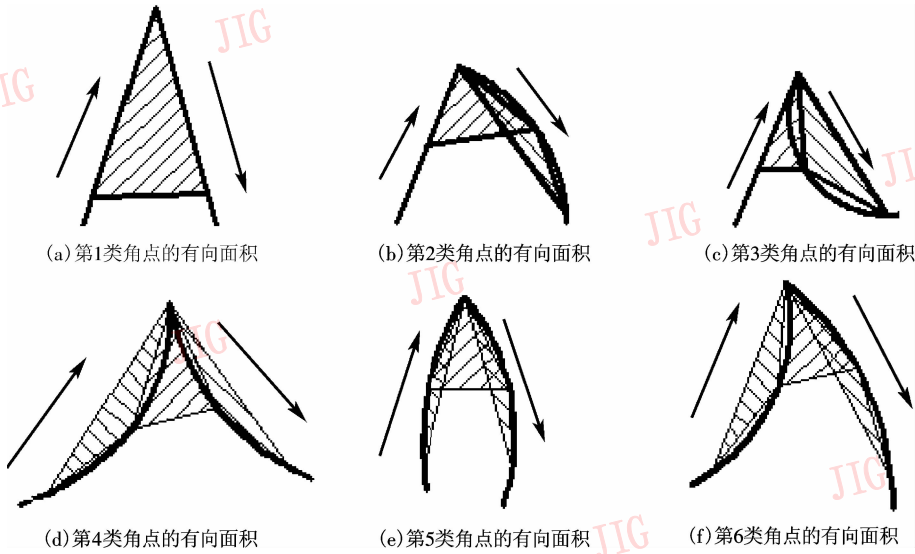


图 3 各类型角点的有向面积

Fig. 3 The directed areas of six type corners

(1) 第 1 类角点(如图 3(a)所示),由于角点两侧均为直线,故有 $S_{i,1} = 0, S_{i,2} = 0, S_{i,3} \neq 0$;

(2) 第 2 类角点(如图 3(b)所示),由于角点其中一侧为直线,另外一侧为凸曲线,且角点的凹凸性与曲线凹凸性相同,故有 $S_{i,1} = 0, S_{i,2} < 0, S_{i,3} < 0$, 即 $S_{i,1} = 0, \text{sgn}(S_{i,2}) = \text{sgn}(S_{i,3})$;

(3) 第 3 类角点(如图 3(c)所示),由于角点其中一侧为直线,另外一侧为凹曲线,且角点的凹凸性与曲线凹凸性相反,故有 $S_{i,1} = 0, S_{i,2} > 0, S_{i,3} < 0$, 即 $S_{i,1} = 0, \text{sgn}(S_{i,2}) \neq \text{sgn}(S_{i,3})$;

(4) 第 4 类角点(如图 3(d)所示),由于角点两侧同为凹曲线,且角点的凹凸性与曲线凹凸性相反,故有 $S_{i,1} > 0, S_{i,2} > 0, S_{i,3} < 0$, 即 $\text{sgn}(S_{i,1}) = \text{sgn}(S_{i,2}) \neq \text{sgn}(S_{i,3})$;

(5) 第 5 类角点(如图 3(e)所示),由于角点两侧同为凸曲线或凹曲线,且角点的凹凸性与曲线凹凸性相同,故有 $S_{i,1} < 0, S_{i,2} < 0, S_{i,3} < 0$, 即 $\text{sgn}(S_{i,1}) = \text{sgn}(S_{i,2}) = \text{sgn}(S_{i,3})$;

(6) 第 6 类角点(如图 3(f)所示),由于角点两

侧曲线一条是凹曲线,另外一条是凸曲线,故有 $S_{i,1} > 0, S_{i,2} < 0, S_{i,3} < 0$, 即 $\text{sgn}(S_{i,1}) \neq \text{sgn}(S_{i,2})$;

当封闭曲线上点的排列顺序为逆时针方向时,则 $S_{i,1}, S_{i,2}, S_{i,3}$ 会取到相反的值,但是由于三者之间的符号关系没有发生改变,因此,同样可以用于判断角点类型。

考虑到图像离散化的影响,图像中位于同一条直线上的 3 个点构成的有向面积可能不严格等于零。如图 4 所示,一条直线离散化后表现为图中的离散点,这些点并不是严格排列在一条理想直线上。有向面积 $S_{i,1}$ 的绝对值的大小可以表示为

$$|S_{i,1}| = 0.5 \times l_{i-2h,i} \times d_{i-h} \quad (14)$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式(14)中 $l_{i-2h,i}$ 为点 \hat{p}_{i-2h} 到点 \hat{p}_i 的距离, d_{i-h} 是点 \hat{p}_{i-h} 到直线 $\hat{p}_{i-2h}\hat{p}_i$ 的距离。

注意到任意一个构成直线的离散点到理想直线的垂直距离 $d_{i-h} \leq \frac{\sqrt{2}}{2}$, 为了方便计算,可取 $d_{i-h} = 1$ 。

值,只是和角点的 3 个有向面积的符号有关,因此,运算速度比较快,分类结果也比较稳定。

参考文献 (References)

1 Chen Le, Lü Wen-ge, Ding Shao-hua. A survey of corner detection algorithms [J]. Technigues of Automation and Aoolications, 2005, 24(5):1~4. [陈乐, 吕文阁, 丁少华. 角点检测技术研究进展 [J]. 自动化技术与应用, 2005, 24(5):1~4.]

2 Liu Wen-yu, Li Hua, Zhu Guang-xi. A fast algorithm for corner detection using the morphologic skeleton [J]. Pattern Recognition Letters, 2001, 22(8):891~900.

3 Les Kitchen, Azriel Rosenfeld. Gray level corner detection [J]. Pattern Recognition Letters, 1982, 3(2):95~102.

4 Shen Fei, Wang Han. Corner detection based on modified Hough transform [J]. Pattern Recognition Letters, 2002, 23(8):1039~1049.

5 Moravec H P. Towards automatic visual obstacle Avoidance[A]. In: Proceedings of the 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence [C], Cambridge, Massachusetts, USA, 1977:584~596.

6 Yeh Chi-Hao. Wavelet-based corner detection using eigenvectors of covariance matrices[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(15):2797~2806.

7 Azhar Quddus, Moncef Gabbouj. Wavelet-based corner detection technique using optimal scale [J], Pattern Recognition Letters, 2002, 23(3):215~220.

附录

附表 1 图 1(a) 试验数据及结果

Tab. 1 Fig. 1(a) experiment data and result

角点序号 (i)	第 1 组			第 2 组			第 3 组		角点类型
	$S_{i,1}$	$S_{i,1}^{max}$	符号	$S_{i,2}$	$S_{i,2}^{max}$	符号	$S_{i,3}$	符号	
1	12	11.936	+	8	7.451	+	63	+	5
2	0	12.674	0	-6	5.899 4	-	-62	-	2
3	0	6.234 6	0	6	12.111	0	72	-	1
4	12	12.004	0	0	6.234 6	0	72	+	1
5	-6	6.607 7	0	-6	12.045	0	-73.5	-	1
6	0	12.578	0	0	6.676 5	0	-72	-	1
7	6	13.585	0	5.5	15.244	0	108	+	1
8	-6	12.042	0	0	13.368	0	80	+	1
9	9.5	10.714 5	0	-12	12.002	0	66	+	1
10	-8	8.092 6	0	0	8.524 9	0	-33	-	1
11	0	12	0	6	8.971 9	0	72	+	1
12*	1.5	3.027 7	0	0	3	0	4.5	+	1
13*	-3	3.218 6	0	0	2.977 6	0	-3	-	1
14	36	11.319	+	31.5	11.932	+	87	+	5
15*	0	2.045 5	0	0	2.045 5	0	-3	-	1
16*	-1.5	2.026 2	0	3	3.011 6	0	5.5	+	1
17	12	13.724 9	0	-6	12	0	45.5	+	1
18	-10	12.086 4	0	0	12.477 5	0	-24	-	1
19	-12	12.017	0	-6	6.030 4	0	72	+	1
20	12	12.591	0	0	12.157	0	69	+	1
21	6	12.76	0	-6	12.371	0	90	+	1
22	0	5.785 1	0	-6	13.721	0	-66	-	1
23	0	12.149	0	0	5.785 1	0	-72	-	1
24	6	9.974 5	0	0	12.162	0	75	+	1
25	6	13.984	0	0	10.042	0	72	+	1
26	-6	5.253 1	-	0	13.161	0	-57	-	2

说明: * 角点之间距离小于 24, 采用较小的跨度 6。

附表 2 图 1(b) 试验数据及结果
 Tab.2 Fig.1(b) experiment data and result

角点序号(<i>i</i>)	第 1 组			第 2 组			第 3 组		分类
	$S_{i,1}$	$S_{i,1}^{\max}$	符号	$S_{i,2}$	$S_{i,1}^{\max}$	符号	$S_{i,3}$	符号	
1	19	11	+	8	6.3	+	59	+	5
2	-3.5	6.870 5	0	-24	12.13	-	-52	-	2
3	3	12.647	0	6	10.229	0	51	-	1
4	0	11.983	0	11	11.666	0	66	+	1
5	-4.5	11.767	0	0	11.983	0	-72	-	1
6	0	12.806	0	-4	8.365 3	0	-61.5	+	1
7	10	11.046	0	6	10.074	0	80	+	1
8	12.5	12.653	0	6	11.5	0	60	+	1
9	-6	9.051 5	0	0	12.215	0	79	-	1
10	7	8.072 1	0	6	10.092	0	-30	+	1
11	4	12.703	0	-3.5	11.126 1	0	78	+	1
12*	-2.5	2.996 4	0	0	1.046 7	0	3	+	1
13*	-3	3	0	2.5	2.518 9	0	-4.5	-	1
14	36	11.074	+	36	12.011	+	72	+	5
15*	-1.5	3.126 1	0	0	2.997 5	0	3	+	1
16*	-2.5	2.999 3	0	-1.5	2.999 9	0	-3.5	-	1
17	-1.5	10.981	0	6	12.616 7	0	58.5	+	1
18	-11	11.991	0	0	11.986	0	-21	+	1
19	6	7.189 4	0	6	12	0	72	+	1
20	5	10.907	0	6	8.114 6	0	90	-	1
21	10	11.98	0	4	7.711 5	0	97	-	1
22	-5.5	7.812 9	0	0	12.552	0	-48	+	1
23	-8	11.263	0	-4	12.051	0	-78	+	1
24	12	12.075	0	-6	7.782 8	0	92	-	1
25	0	13.873	0	-1.5	11.639	0	62	+	1
26	0	11.998	0	-16	12.45	-	-42	-	2

说明:* 角点之间距离小于 24,采用较小的跨度 6。