

野外环境下车辆运动模式的识别方法¹⁾

李宛州, 胡东成

(清华大学自动化系 北京 100084)

摘要 以野外环境各种天气条件下自动跟踪并识别车辆运动轨迹模式为目的, 提出了一种基于图像序列分析的野外环境下车辆运动模式识别方法. 重点解决大风、阳光、云层、雨雪等背景干扰下动目标差分图象处理及重心提取, 通过空间平滑滤波去除噪声后, 根据8自由度模板匹配目标运动轨迹, 实现车辆运动模式自动识别. 该方法应用于北京郊区训练场的车辆桩考自动测量系统, 通过冬季3个月近2000次北京1041、121和捷达三种车型实验.

关键词 图象差分, 动目标识别, 重心提取, 模式识别.

1 引言

野外环境下用图像分析和模式识别方法判断车辆运动特征的难点是自然天气条件的变化, 诸如雨、雪、风、云、日照强度、阳光照射角度等都会影响摄取到的图像质量. 当光线强度降低时图像整体亮度降低, 对比度变差; 当摄像机镜头粘上灰尘或在雨雪天气中, 图像清晰度下降, 景物边缘变得模糊; 在冬季大风天气中摄像机支架会发生颤动, 造成图像序列中背景颤动; 阳光下场地上物体的阴影随时间或云彩移动而变化, 造成差分图象的散粒噪声. 这些因素都对图像分析造成困难. 另外, 图像序列处理速度必须大于4帧/秒才不会丢失车辆运动状态信息(车速低于10km/h). 因此, 动目标处理方法在速度和精度两方面必须都达到要求才能使系统具有实用价值.

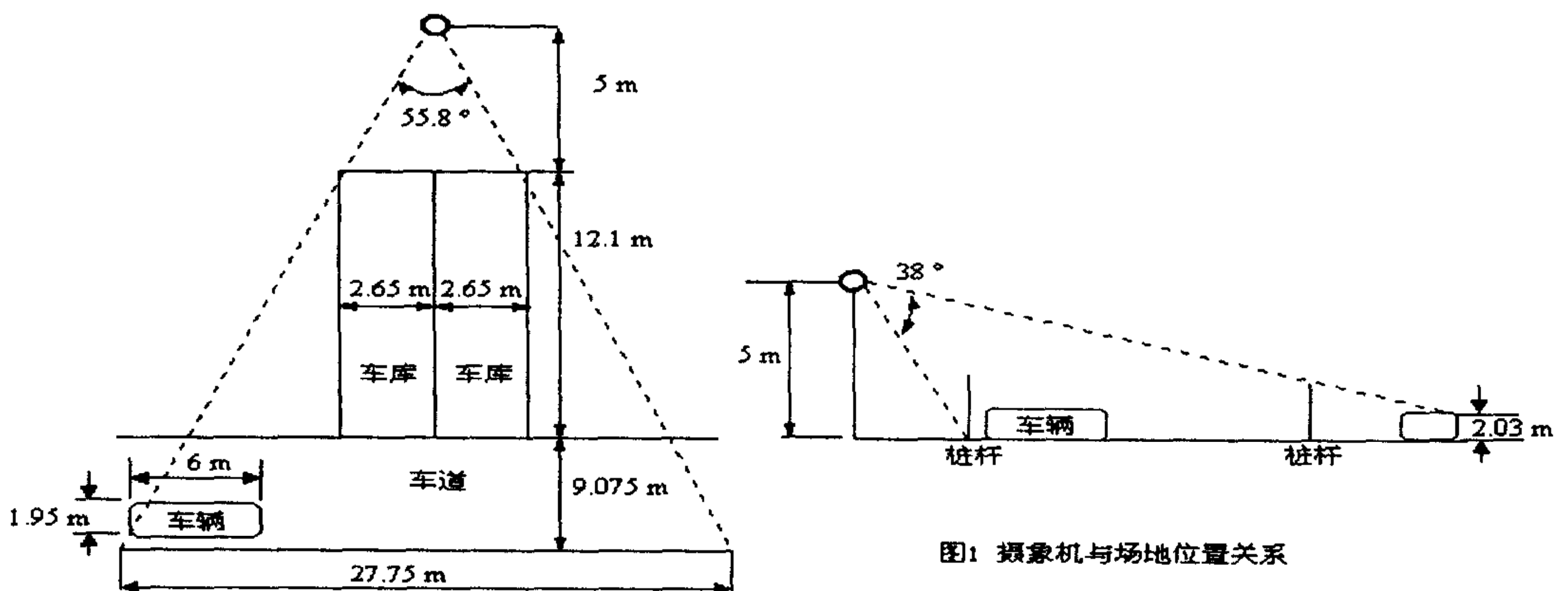


图1 摄像机与场地位置关系

¹⁾ 北京市公安交通管理局合作项目.

场地与摄像机位置如图 1. 平台固定时摄像头视角要覆盖全场. 实验车型最大是北京 1041, 估算水平视角是 $2 \times \arctan \frac{5.3/2}{5} = 55.8^\circ$, 画面最远范围是 27.75 米. 垂直视角是 $\arctan \frac{5 + 12.1 + 9.075 - 1.95}{5 - 2.03} - \arctan \frac{5}{5} = 38^\circ$. 镜头与 CCD 芯片成像尺寸相同, 与摄像机同为 1/2", 成像尺寸 $6.5 \times 4.8 \text{ mm}^2$. 镜头焦距决定视角大小, 用 6 毫米焦距, 由透镜成像公式及相似三角形计算得镜头水平视角为 $2 \times \arctan \frac{6.5/2}{6} = 56.88^\circ$, 垂直视角为 $2 \times \arctan \frac{4.8/2}{6} = 43.6^\circ$, 均符合要求. 选用 AVENIR 的 SG0614CSE 型 6.0 mm F1.4 自动光圈镜头以适应野外环境下光照条件的变化. 车辆在摄像机视野最远端纵向移动 1 米距离时, 摄像机垂直视角变化量是 $83^\circ - \arctan \frac{5 + 12.1 + 9.075 - 1.95 - 1}{5 - 2.03} = 0.3^\circ$, 而摄像机垂直视角为 43.6° , 即是垂直视角的 $\frac{0.3^\circ}{43.6^\circ} = \frac{1}{145.33}$, 用 MINTRON 的 MTV-1881EX 型 600 线黑白 CCD 摄像机, 则车辆在最远端纵向移动 1 米时图象有 4 个像素的变化量.

2 图像序列分析

2.1 动目标识别

图像序列分析的目的在于识别与跟踪运动目标、估计运动参数. 当图像帧间隔较短时, 假设景物中各部分在图像上的灰度基本不变. 设 t_1 时刻图像为 $g_1(x, y)$, t_2 时刻图像为 $g_2(x, y)$, 若此期间目标平移 $(\Delta x, \Delta y)$, 则 $g_2(x, y) = g_1(x - \Delta x, y - \Delta y)$, 图像差分是从两帧相邻图像的灰度差中提取动目标信息, 其背景不动则灰度差值为零, 而动目标呈现出一定灰度差被识别出来. 图象差分有两类: 一类使用图像序列中每一帧 $g_i(x, y)$ 与一个静止的参考帧 $g_R(x, y)$ (不存在任何运动的物体) 作图像差分 $g_i(x, y) - g_R(x - \Delta x_i, y - \Delta y_i)$. 但是野外环境随时都在变化 (如夏天云层运动造成瞬间背景灰度变化, 冬春季场地上的瞬时切变强风使摄像机颤动、场地上其它运动物体的阴影变化等), 因此, 这种方法计算出的 $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ 与实际值有一定偏差, 本系统中经过试验对比, 在提取运动轨迹时采用这种方法.

另一类是用图像序列中相邻两帧进行差分、二值化后提取动目标. 问题是目标运动缓慢时两帧间目标重叠部份无法识别; 其次是检测出的动目标比实际大. 但它对目标微小运动反应灵敏, 本文将它用于检测车辆运动是否停止. 为解决相邻帧差分存在的问题, 可以利用三帧图像计算两个差分图像, 再对这两个差分图像做二次差分, 最后得到图像为原来三帧图像的 Laplacian 图. 当运动物体形状和运动向量在几帧图像中变化不太大时, 二次差分 (Laplacian) 图像能更好的抽出运动物体. 它对目标微小运动的反应比两帧相减更加灵敏, 但其计算量是两帧相减的三倍, 占用空间是两帧相

减的两倍^{[2] [3]}.

2.2 图像二值化

差分后背景区域灰度值应全为零，但自然天气条件下受各种因素的影响，序列中每帧图像背景有微小变化，反映为相同位置的像素灰度有小幅变化，它比背景被车

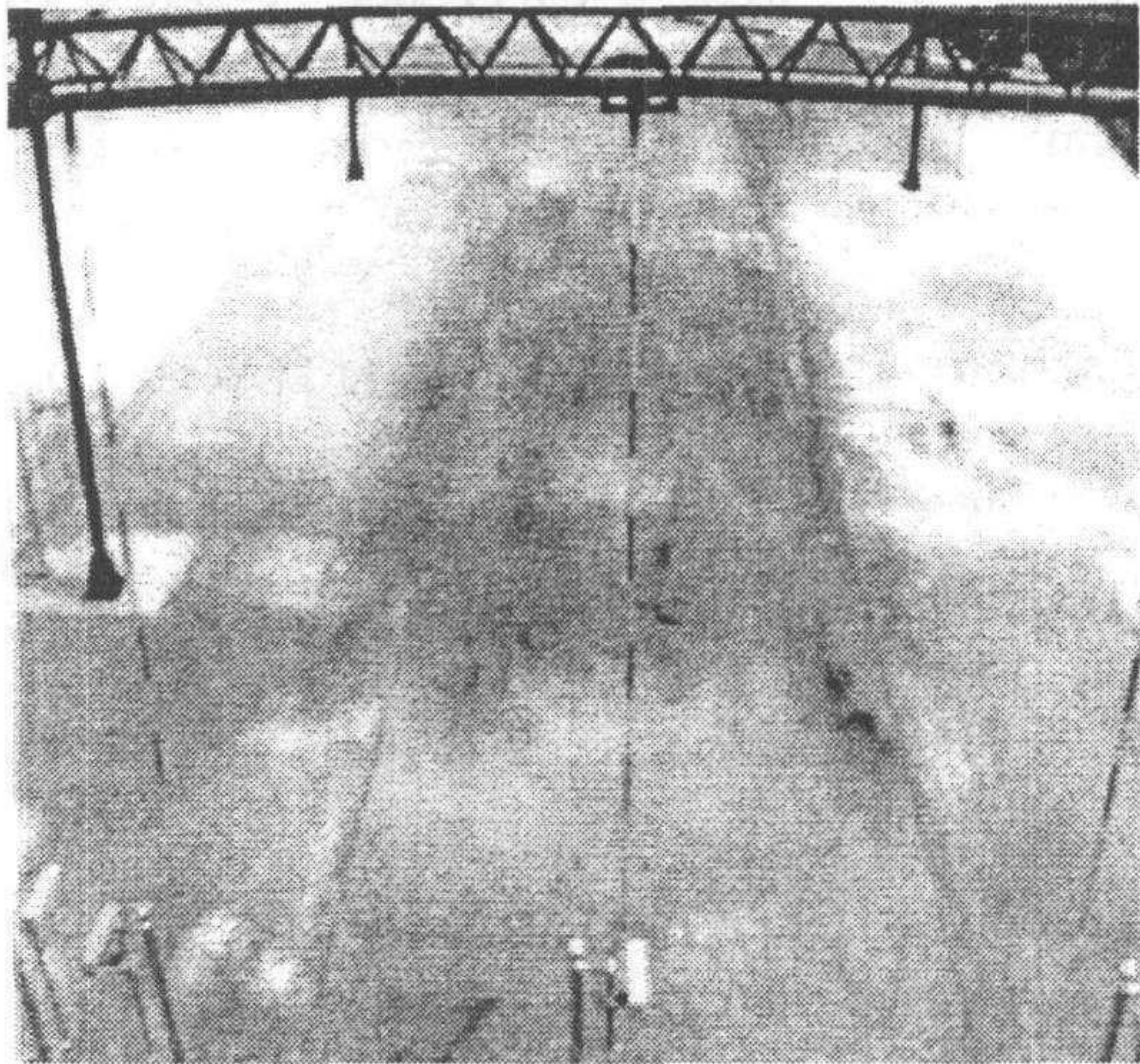


图 2a 场地背景，右上角为起步车辆

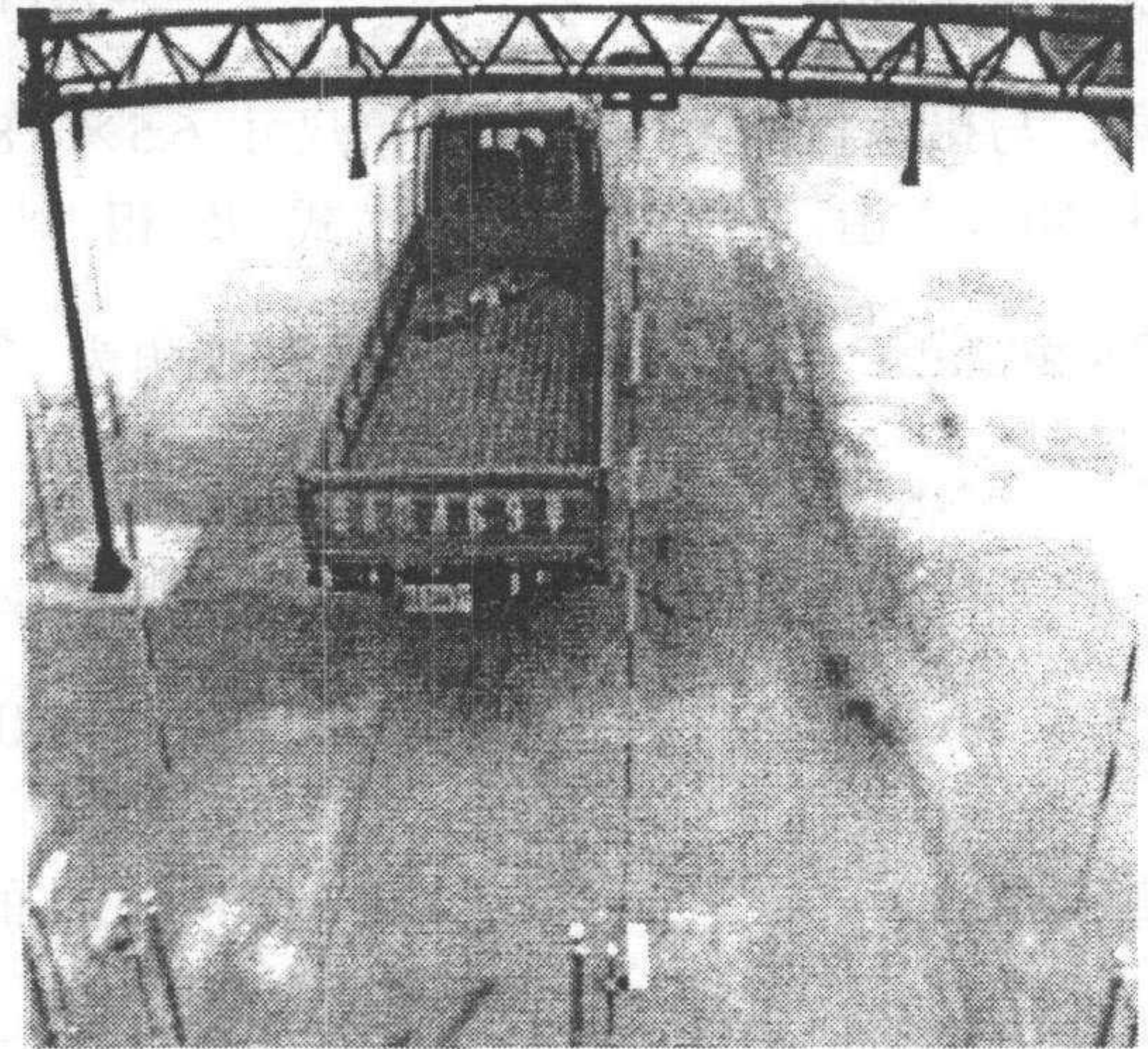


图 2b 图象序列中运动的车辆

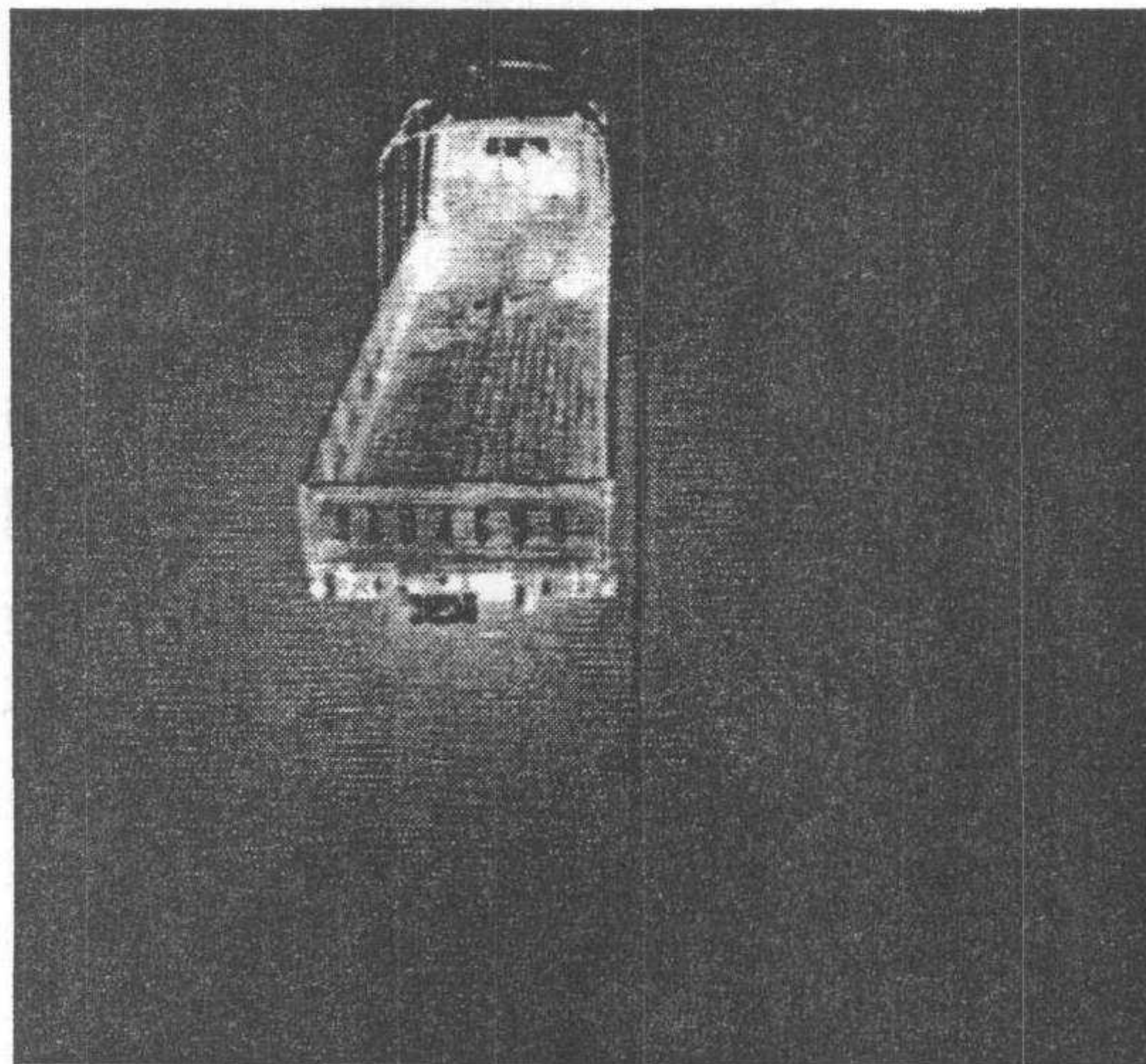


图 2c 与固定帧的差分图象

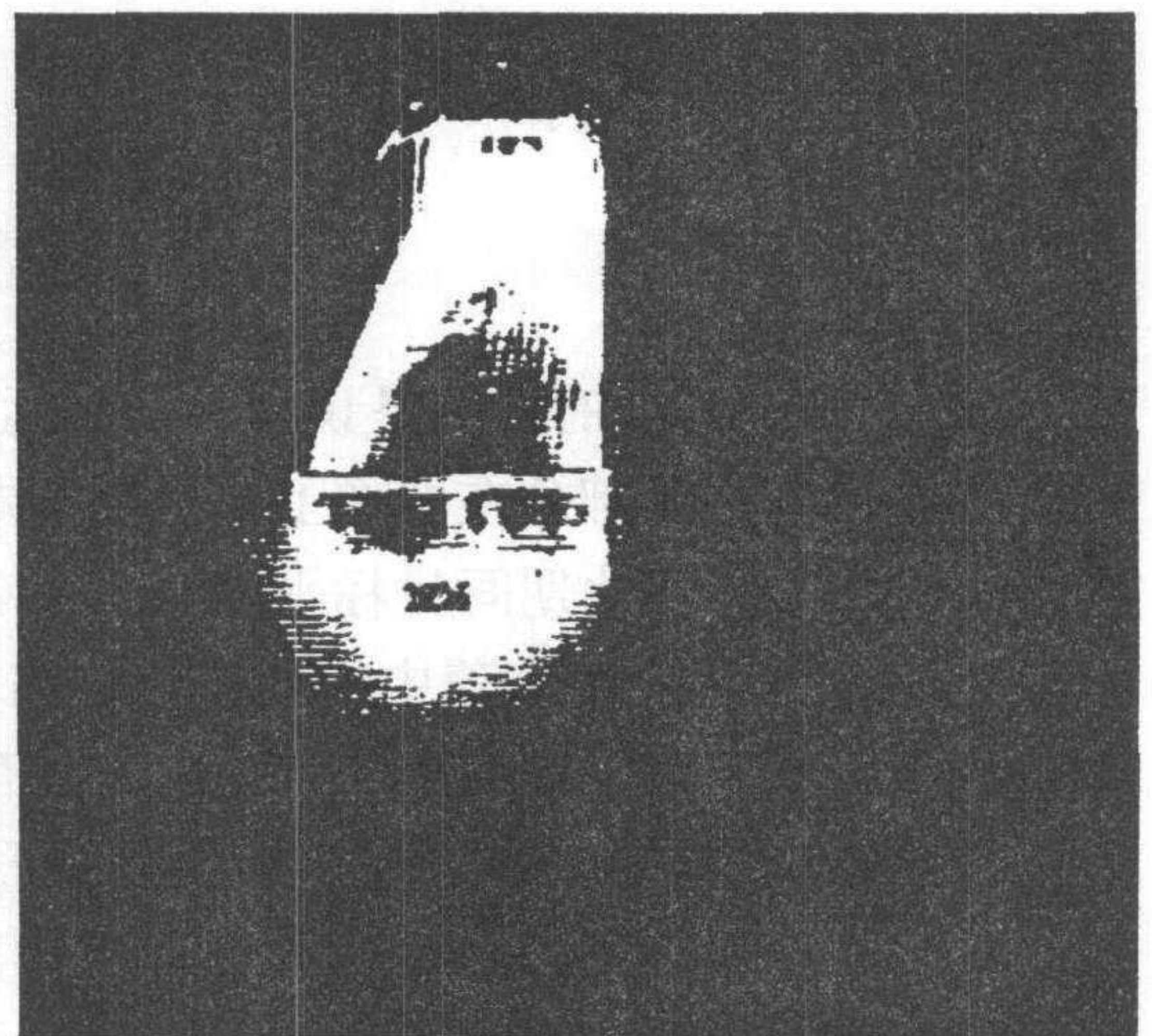


图 2d 选定域值的二值化图象

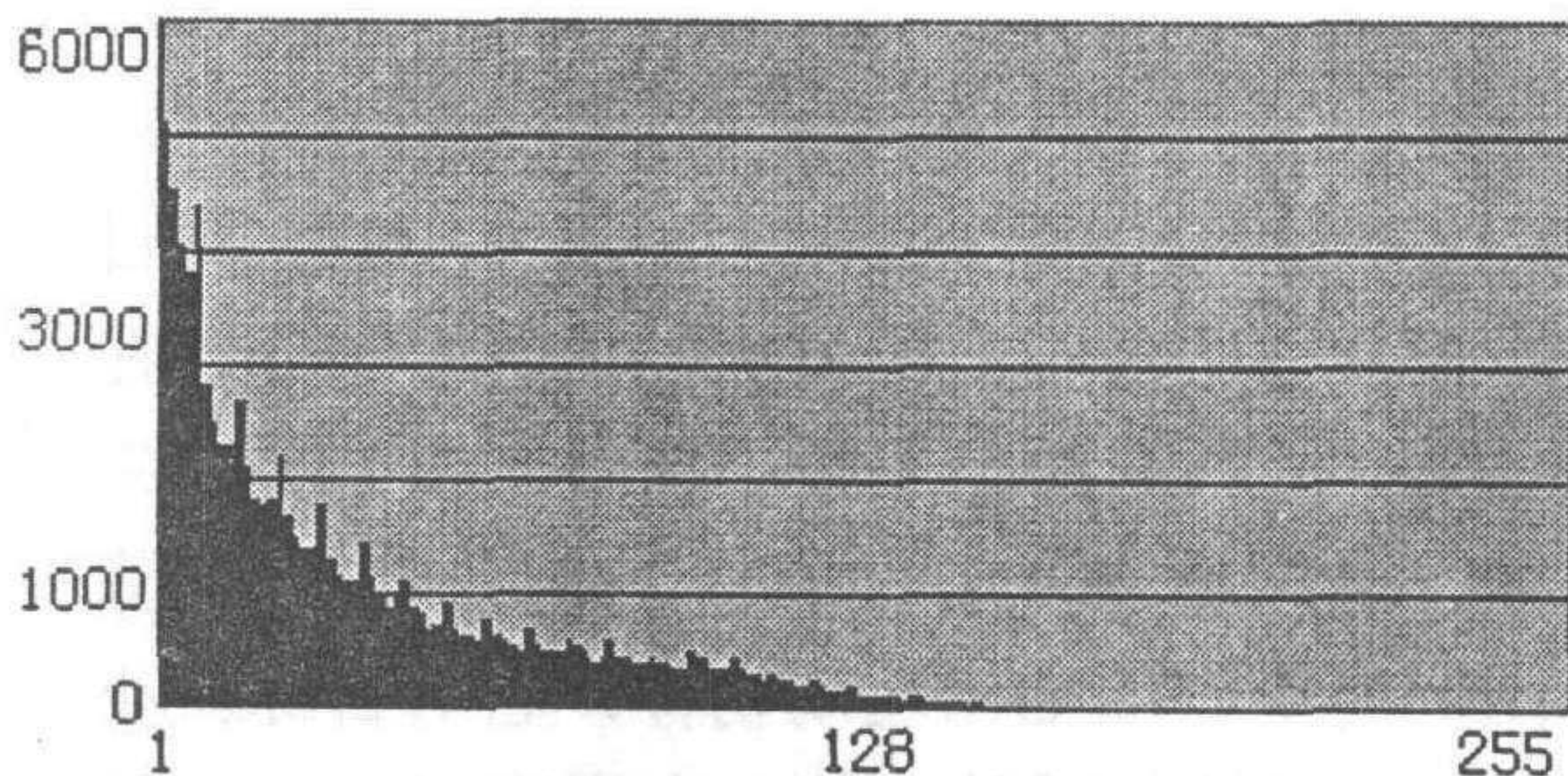


图3 对图2c差分图象像素的直方图均衡化

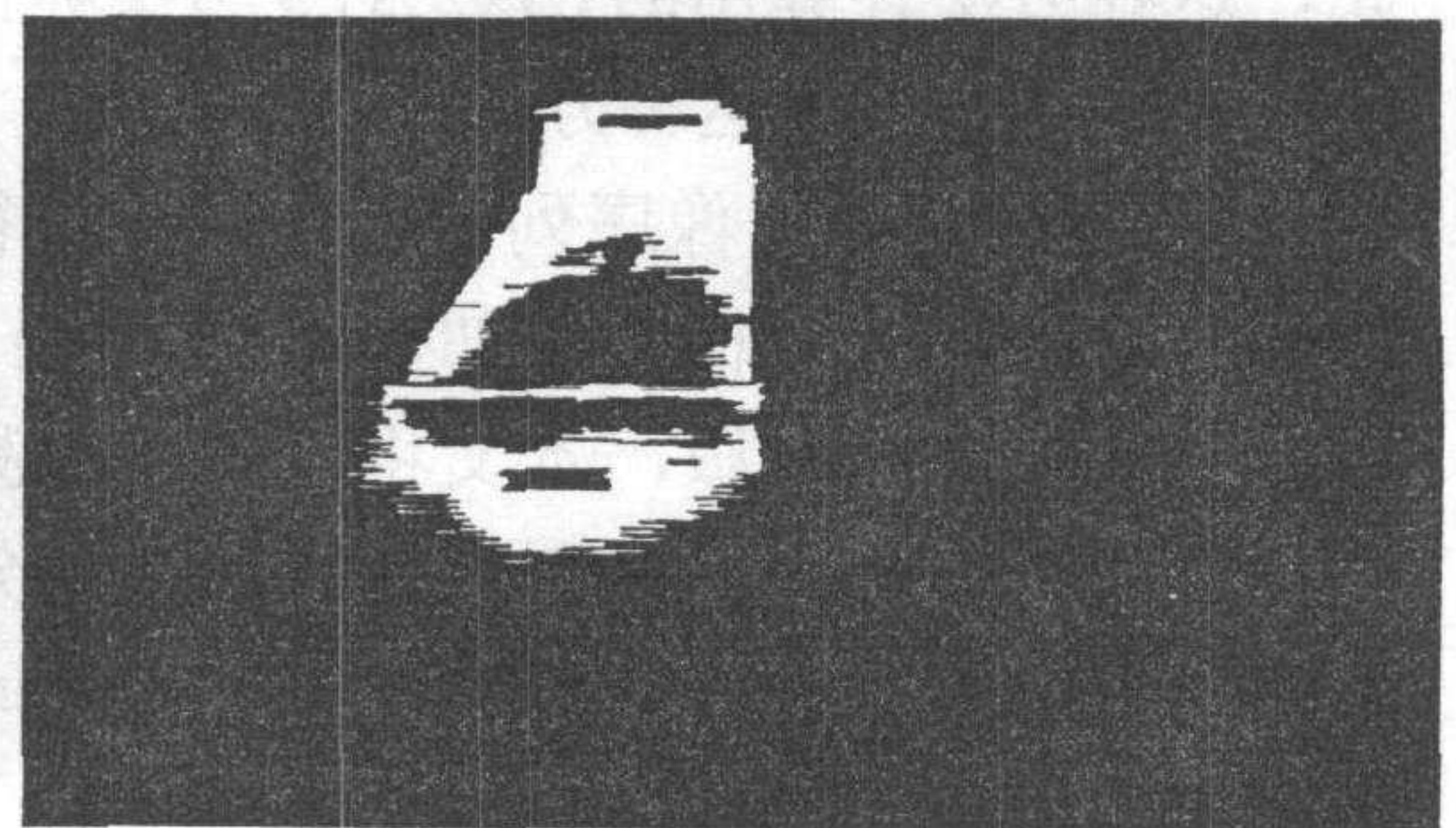


图 4 是图 2d 做边缘腐蚀的效果

辆遮盖引起的灰度变化要小, 图 2c 车辆周围亮区和条纹就是背景干扰. 为消除这种小幅度的灰度变化, 需要对图像进行二值化, 将车辆和背景分割开. 分析图 3 的直方图可以看出目标与背景没有明显的界限, 经过不断的测试调整可以选择一固定的阈值进行二值化分割.

2.3 边缘腐蚀

场地边缘的移动物体会影响重心计算, 而场地中标杆影子随时间而变化, 角度不大但会产生误差. 它们的特点是在图像中的面积远小于车辆, 可用边缘腐蚀方法消除. 一般边缘腐蚀一次是将宽度减少 2 个像素, 此类噪声需经多次的腐蚀. 当物体某一方向如在纵轴上尺度比较大, 而在横轴上尺度很小时, 只要在水平方向上做一维腐蚀就可以消除小物体, 而且一次可以将物体腐蚀掉任意个像素的宽度, 因此可以大幅度的减少处理时间.

2.4 重心计算与运动轨迹平滑滤波

重心坐标 $(\bar{i}, \bar{j}) = \left(\frac{M_{10}}{M_{00}}, \frac{M_{01}}{M_{00}} \right)$, 零阶矩 $M_{00} = \sum_{i,j \in R} g(i, j)$, 一阶矩

$M_{10} = \sum_{i,j \in R} ig(i, j)$, $M_{01} = \sum_{i,j \in R} jg(i, j)$. 二值化图像其背景灰度值都为零而目标子图

灰度值都为 1, 则零阶矩由像素灰度值的和变为像素和, 即区域面积. 一阶矩由横、纵坐标分别相加得到. 每帧图像重心坐标所构成的序列是车辆运动轨迹. 由于现场各种干扰造成计算出的运动轨迹有细节突变, 不经处理直接做模式匹配会得出错误的结果, 故对运动轨迹进行如下的平滑滤波:

$$\begin{cases} \Delta \bar{x}_n = \frac{(x_n - x_{n-1}) + (x_n - x_{n-2}) + (x_n - x_{n-3})}{6} \\ \Delta \bar{y}_n = \frac{(y_n - y_{n-1}) + (y_n - y_{n-2}) + (y_n - y_{n-3})}{6} \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{x}_n = \bar{x}_{n-1} + \Delta \bar{x}_n = \sum_{i=1}^n \Delta \bar{x}_i \\ \bar{y}_n = \bar{y}_{n-1} + \Delta \bar{y}_n = \sum_{i=1}^n \Delta \bar{y}_i \end{cases}$$

3 车辆运动模式识别

以公安部桩考训练标准行车路线为例, 车辆运动特征参数识别与模式匹配方法如下.

3.1 方向模板

图像像素与 Kirsch 边缘算子 8 个卷积核做卷积^[2], 可以得到每个核对特定边缘方向的最大响应, 所有 8 个方向中的最大值做为边缘幅度图像输出, 最大响应核的序号构成了边缘方向编码. 同样, 重心运动轨迹用 8 自由度编码得数字化轨迹序列. 车辆贴库时是向左倒车时逐渐向下转向, 进入甲库后变为向下倒车至停在库底,

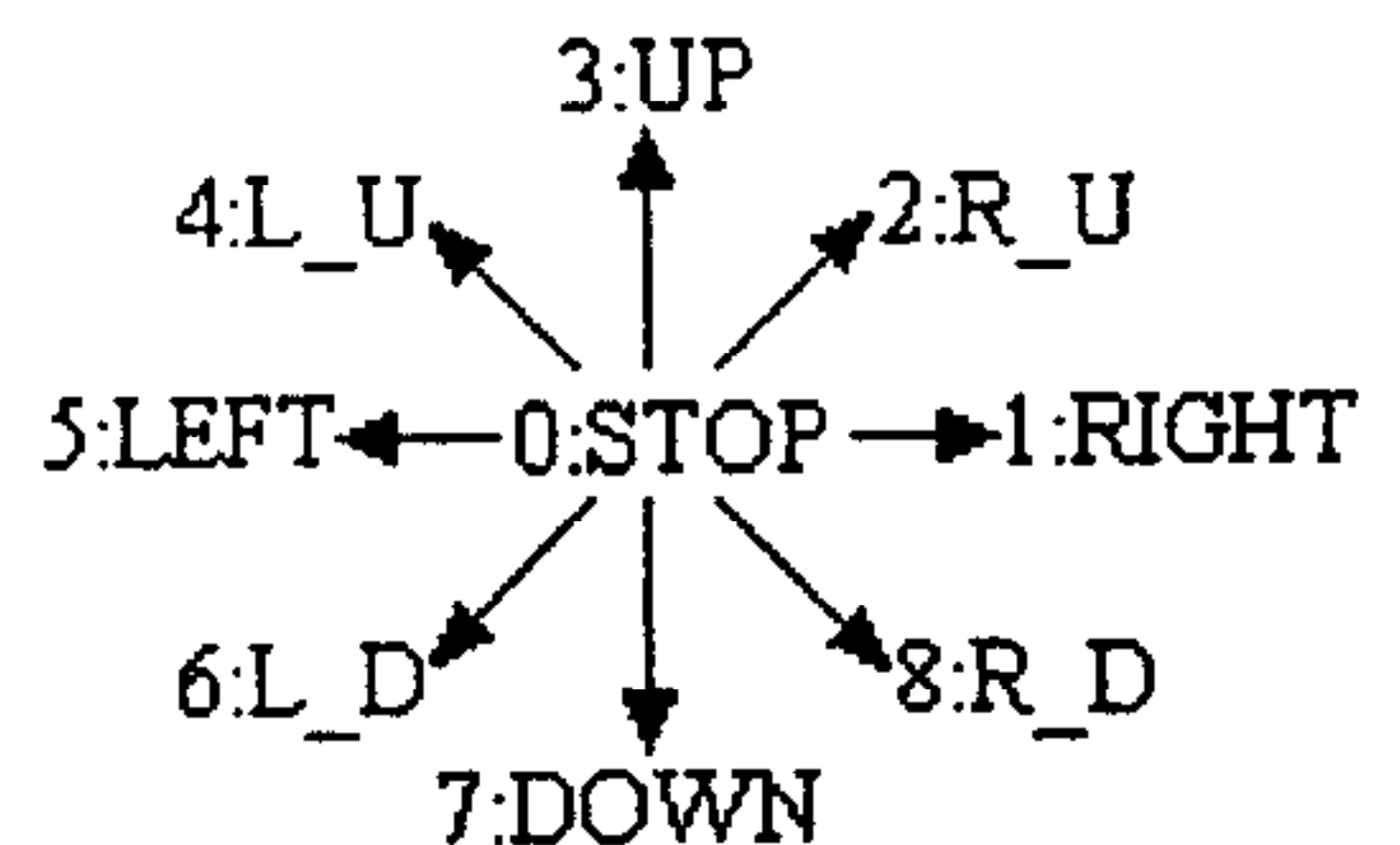
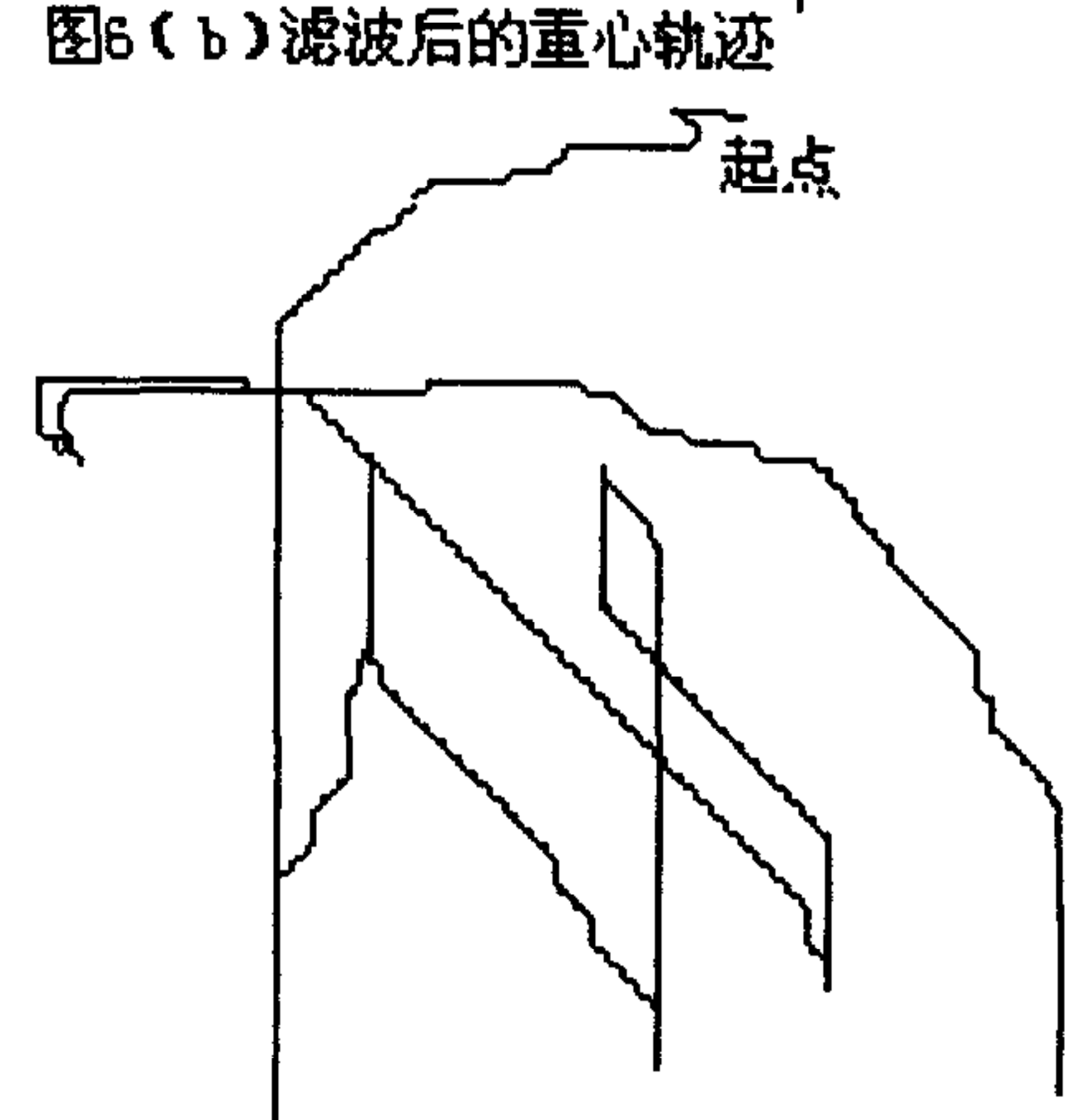
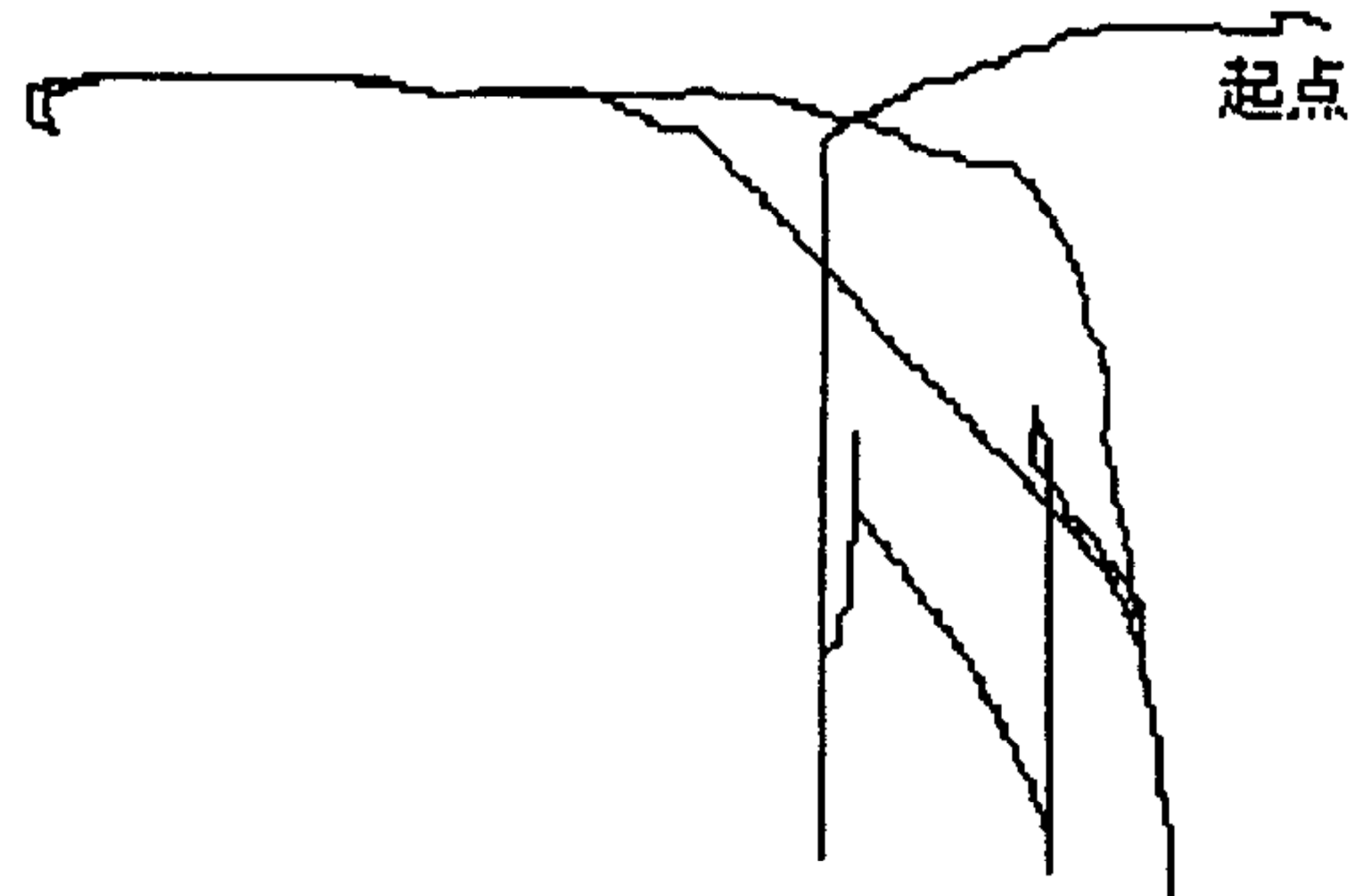
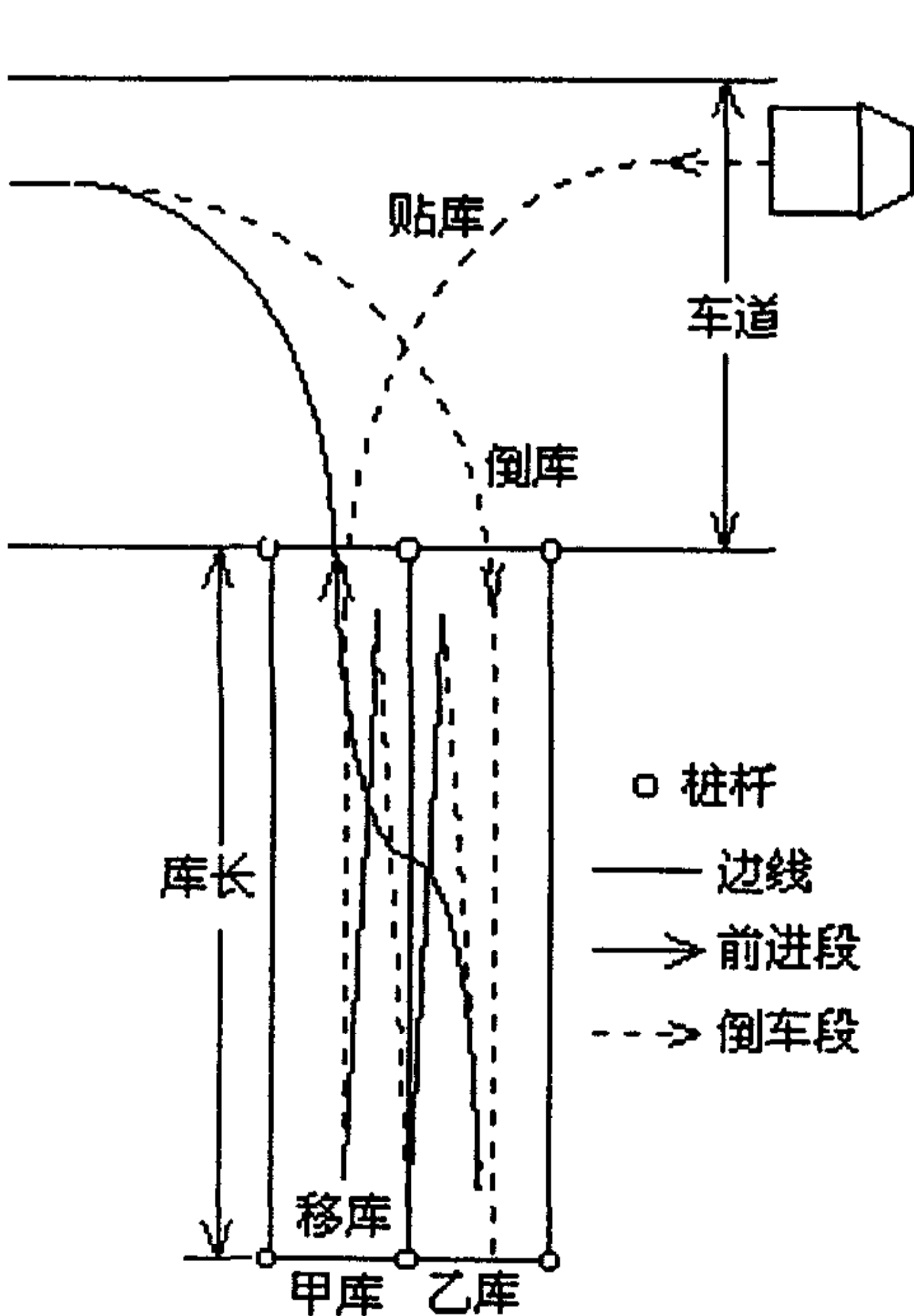


图5 重心运动方向的8自由度编码

描述是 5→6→7→0；移库时是二上二下到库底停车，描述是 3→0→7→0→3→0→7→0；出库和倒库的轨迹是先向上行驶，因为要穿过乙库出库，所以要向左上拐，出库后车向左拐停车，然后倒车向右后逐渐向下转向，进入乙库后变为向下，直到库底为止，描述是 3→4→5→0（出库）→1→8→7。由于摄影机不在目标正上方，且车辆阴影造成重心偏差，所以计算的轨迹方向有小偏差，但趋势不变。图 6 (c) 是方向编码后数字化的车辆重心运动轨迹。

3.2 停车模式判别

移动中由倒退变为前进或由前进变为后退时的停车与行驶中的中途停车区别是前者停车前后运动方向相反，后者停车前后运动方向相同。车辆停止时重心位置不变，但速度极慢或转向时重心位置也可能不变，故它只是停车的必要条件。为此，将相邻两帧图像差分后二值化，如没有灰度改变的像素，则间隔 4 帧后再做差分，如果还是没有变化的像素则可以判定车辆停止。此外，为避免刹车造成的车身颤动影响（颤动引起像素变化可能很大，超过车辆在图象边缘行驶时的像素变化），应限定一域值以区分是颤动还是拐点。



参 考 文 献

- 1 陈江, 李宛洲, 胡东成. 基于图像序列分析的计算机桩考系统. 北京: 清华大学硕士论文, 1998.6
- 2 Kenneth. R.Castleman 著, 朱志刚等译, 数字图像处理, 北京: 电子工业出版社, 1998
- 3 杨威, 复杂景物环境下运动目标检测的新方法, 计算机研究与发展, 1998, 35(8): 724-728
- 4 John C. Russ, The image processing handbook, Boca Raton, Fla.:CRC Press, 1992