

作业数据：理解机器人传感器

教师：赵卉菁 zhaohj@cis.pku.edu.cn

助教：潘彦成 panyancheng@pku.edu.cn

小作业

作业1：机器人定位（基于车轮编码器、IMU位姿计算）

（数据1）

作业2：地图创建（车轮编码器、IMU的机器人定位 + 激光）

（数据1）

作业3：跑跑卡丁车（沿理科楼道走、比比谁跑得远、后半段有障碍物）

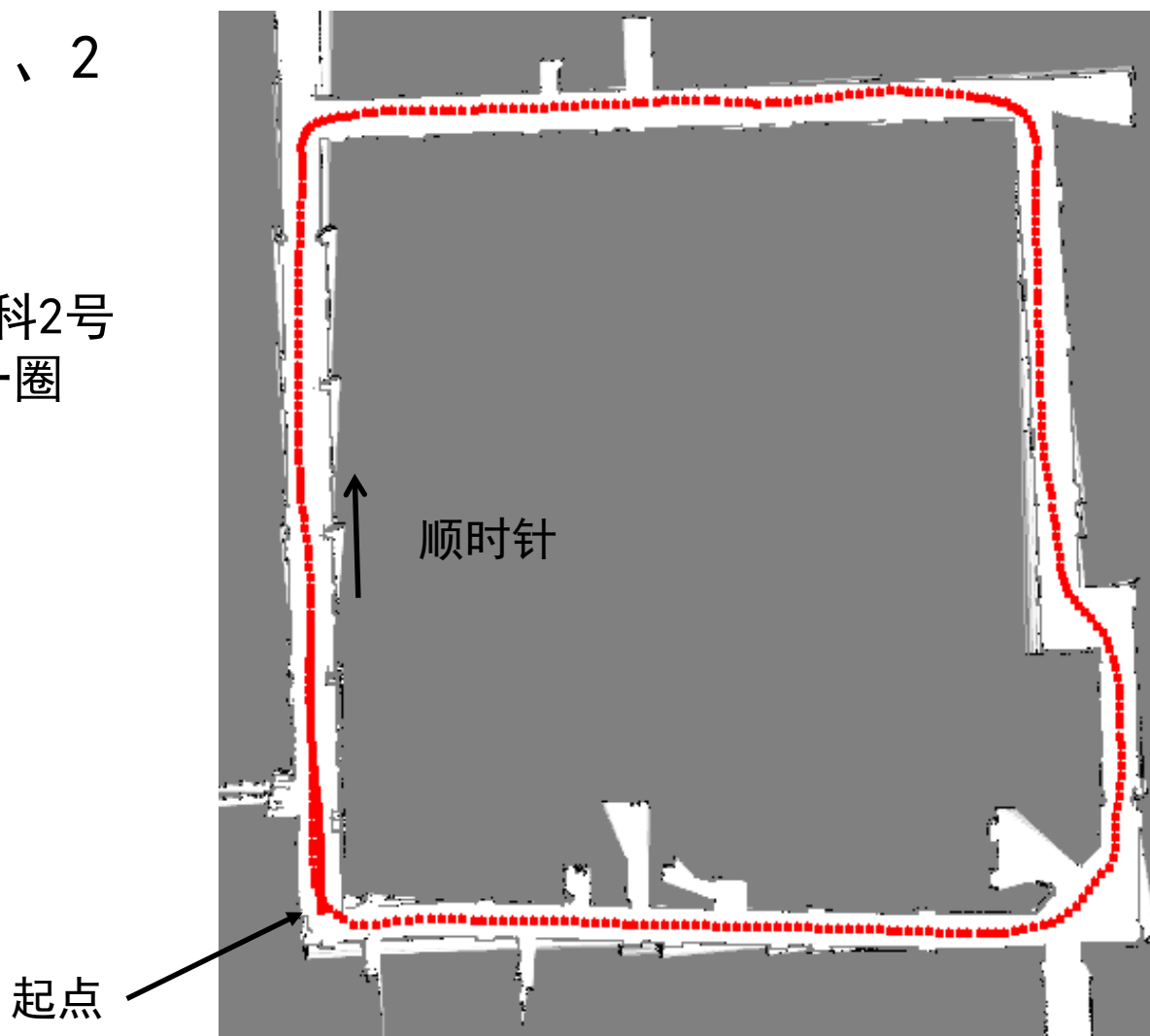
（上车实验）

作业4：占有栅格地图（理科楼、GPS惯导 + 激光）

（数据2）

数据1（20130903data）

- 本数据用于作业1、2
- 行驶路线
 - 小车机器人沿理科2号楼2层楼道行驶一圈
- 传感器
 - 轮速编码器
 - 惯导
 - 水平激光



作业1

□ 数据

- 编码器COMPort_X_20130903_195003.txt
- 惯性传感器InterSense_X_20130903_195003.txt

□ 目的

- 理解基于内部传感器机器人的机器人位姿计算和问题

□ 基本要求

- 利用内部传感器数据，计算小车行驶轨迹。
- 数据在教学网下载。

□ 拓展（加分）

- 参考SLAM地图与运动估计结果，分析内部传感器运动估计的误差。
- 利用采样点的方法可视化小车运动估计的误差分布与传播。

□ 作业提交

- 代码与报告（A4 1页）、时间：11月1日（周日）

作业2

□ 数据

- 激光扫描数据 URG_X_20130903_195003.lms
- 定位数据 ld.nav 或 小作业1生成的小车行驶轨迹

□ 目的

- 理解激光数据和简单的地图计算方法

□ 基本要求

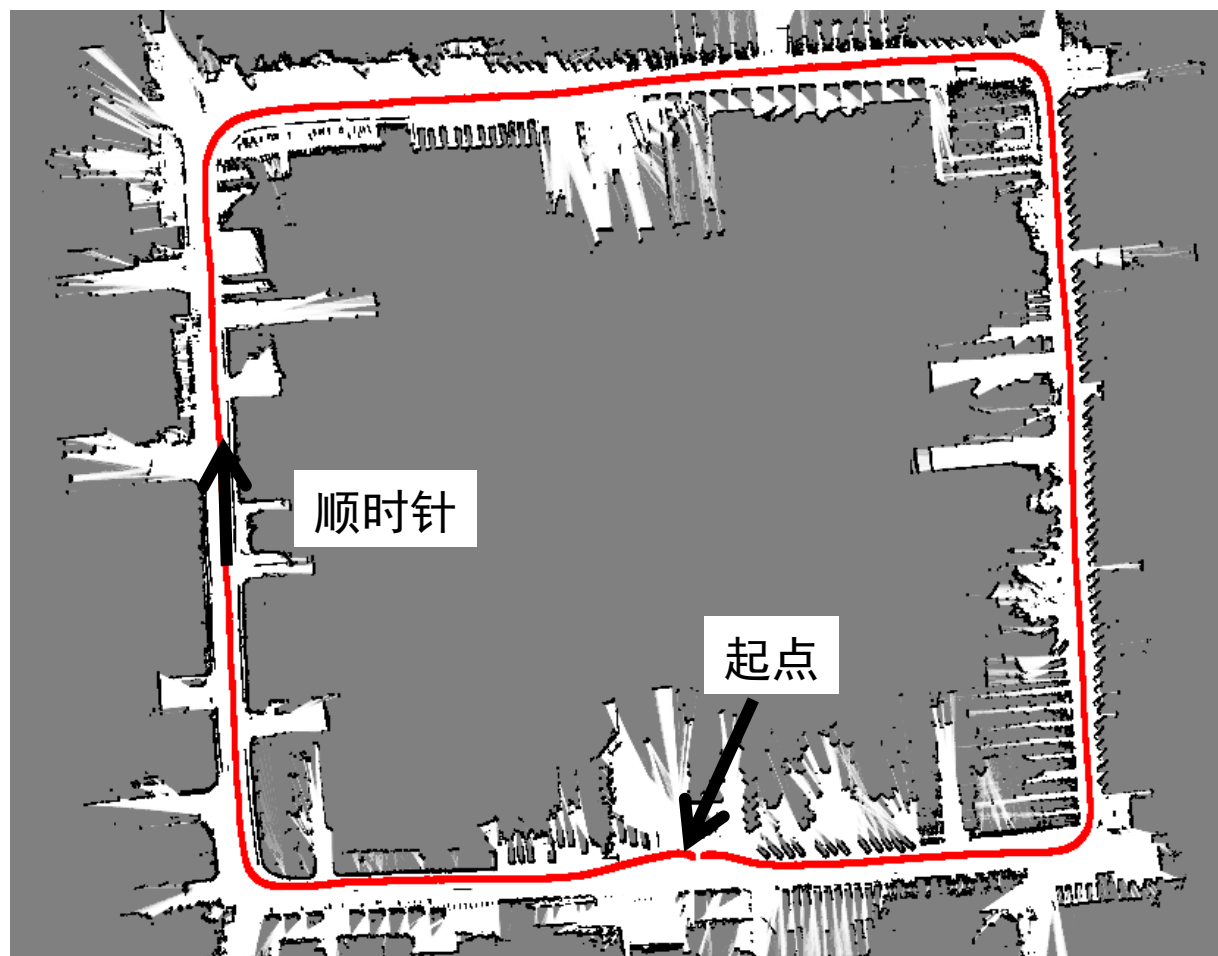
- 利用激光及定位数据，计算栅格地图（投票统计）。
- 数据在教学网下载。

□ 作业提交

- 代码与报告（A4 1页）、时间：11月1日（周日）

数据2（20160801data）

- 本数据用于作业4
- 行驶路线
 - 沿理科楼行驶一圈
- 传感器
 - GPS惯导
 - 水平激光



作业4

□ 数据

- 激光扫描数据 a20160801135224.lms1
- 定位数据 a-XW-20160801135224.nav
- 标定参数 1.calib

激光器倒置

□ 目的

- 理解概率的地图计算方法、理解标定参数

□ 基本要求

- 利用激光及定位数据，计算占有栅格地图。
- 数据在教学网下载。

□ 选做

- 比较不同栅格计算方法：投票统计、占有栅格地图。

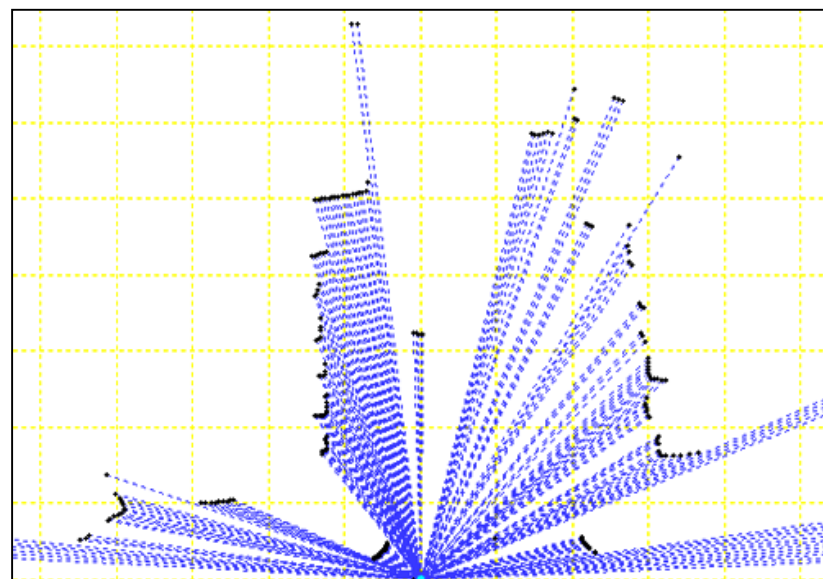
□ 作业提交

- 代码与报告（A4 1页）、时间：12月19日

激光数据介绍

□ 设备介绍

- Hokuyo UTM/UXM
- 扫描范围
 - 最大 $-45^{\circ} \sim 225^{\circ}$
 - 目前使用 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$
- 扫描解析度 0.5°
- 频率约25Hz



LMS 数据格式 (Binary)

$$\text{DATLEN} = \text{AngRng} / \text{AngRes} + 1$$

e.g. $180/0.5+1 = 361$
 $100/0.25+1 = 401$

```
typedef struct {
    long          milli;
    unsigned short dat [DATLEN];
} LMSDATBUF;
```

距离值 `dat[i]` 转换 激光点 $p(x, y)$:

```
r = dat[i] / Unit;  
a = i * AngRes;  
p.x = r * cosa;  
p.y = r * sina;
```

計測角度範囲(AngRng, 例、180), float
角度解像度(AngRes, 例、0.5), float
距離値単位(Unit, 例、100), float
背景データ(現在無用),LMSDATBUF
Scan #1,LMSDATBUF
Scan #2,LMSDATBUF
Scan #n,LMSDATBUF

3.NAV格式 (ASCII)

...

71542990	0	0	-4.729993	4.154131	-0.436866	0
71543040	0	0	-4.723207	4.069446	-0.448548	0
71543090	0	0	-4.716467	3.981529	-0.450593	0
71543165	0	0	-4.712366	3.839360	-0.465019	0
71543215	0	0	-4.703820	3.754674	-0.473897	0

...

二维定位的有效位

1	时间戳 (毫秒)
2	roll (rad)
3	pitch (rad)
4	yaw (rad)
5	X (m)
6	Y (m)
7	Z (m)

激光点坐标转换（数据1）

机器人位姿 $O_k = (x_k, y_k, a_k)$
)

获得激光点 p_k^i

Time k

激光坐标系

O_k

全局坐标系

激光点 p_k^i 转换到全局坐标系 p_w^i

$$p_w^i = R_{(ak)} p_k^i + (x_k, y_k)^t$$

激光点坐标转换（数据2）

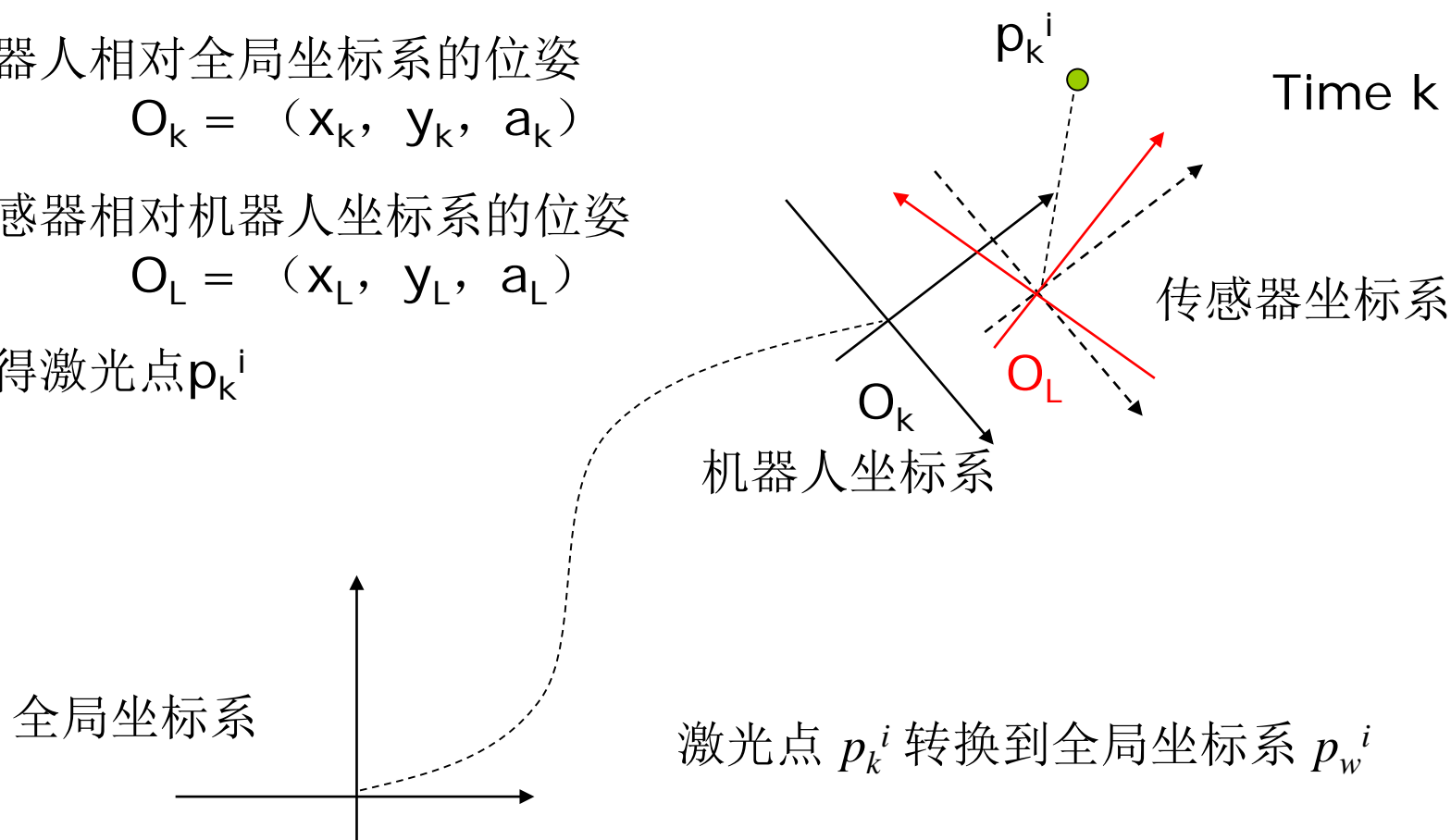
机器人相对全局坐标系的位姿

$$O_k = (x_k, y_k, a_k)$$

传感器相对机器人坐标系的位姿

$$O_L = (x_L, y_L, a_L)$$

获得激光点 p_k^i



激光点 p_k^i 转换到全局坐标系 p_w^i

$$p_w^i = R_{(ak)}(R_{(aL)}p_k^i + (x_L, y_L)^t) + (x_k, y_k)^t$$

激光数据坐标转换

伪码

```
p.x = cos(a) * r; p.y = sin(a) * r; //参考LMS数据格式  
if (isreverse) p.x = -p.x;          //如果激光器倒置
```

```
rotatePoint(p, aL);                  //传感器到机器人坐标系转换  
shiftPoint(p, xL, yL);
```

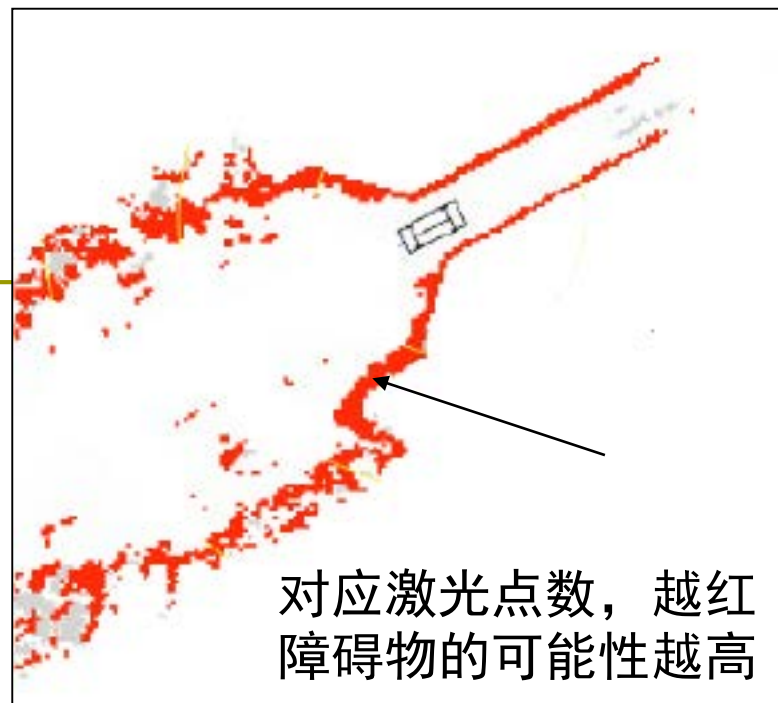
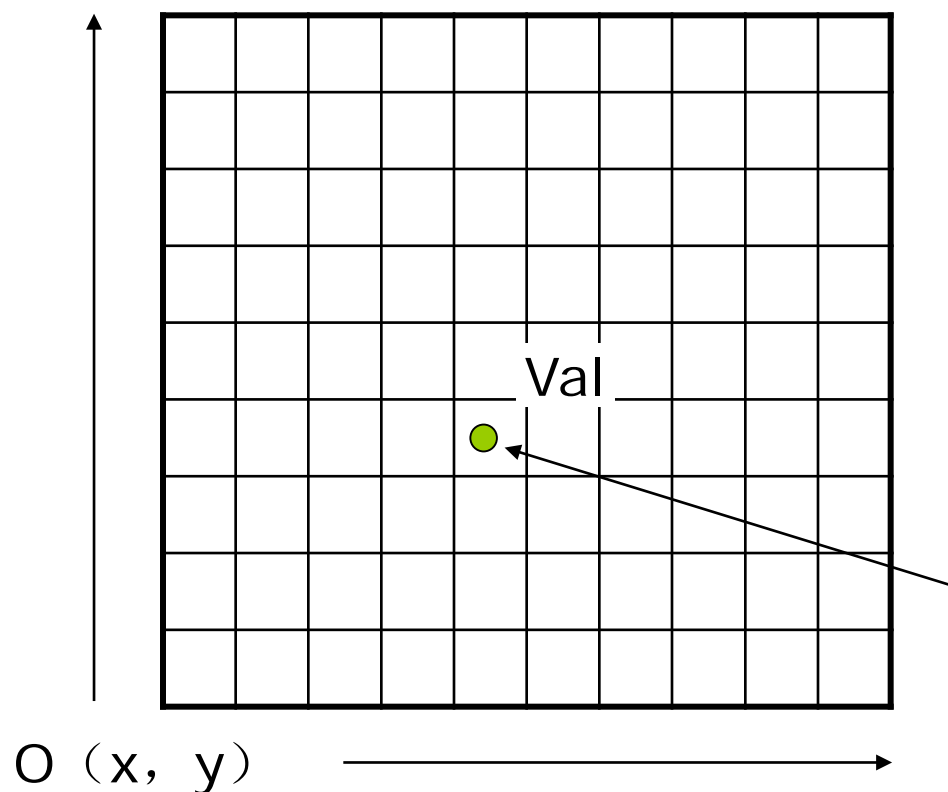
```
rotatePoint(p, ak);                  //机器人到世界坐标系转换  
shiftPoint(p, xk, yk);
```

数据1： 激光器正向安装， $a_L = x_L = y_L = 0$

数据2： 激光器倒置， $a_L = 4.2\text{deg}$ ， $x_L = 0.28\text{m}$ ， $y_L = 2.6\text{m}$

栅格地图创建

□ 简易投票法

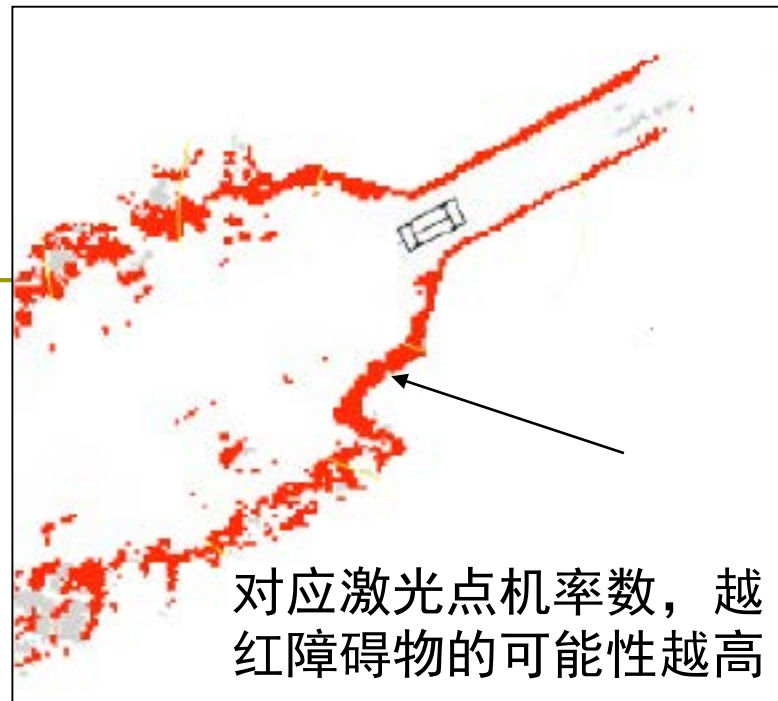
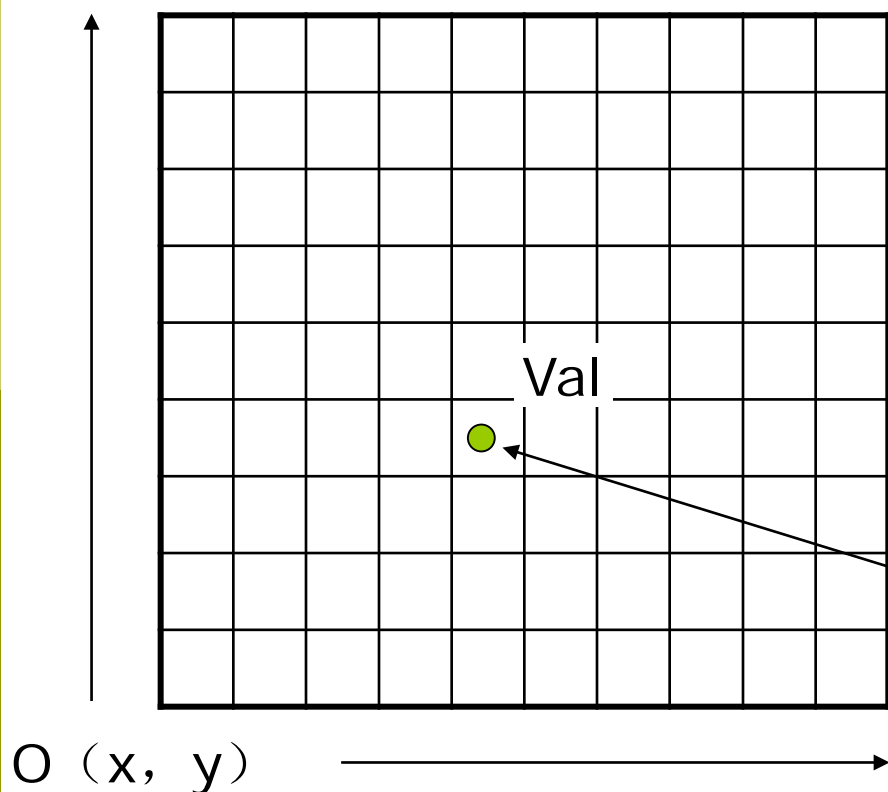


结果示意

统计落入该像素区域的激光点数，
并将其可视化。

栅格地图创建

□ 栅格投票法



对应激光点机率数，越红障碍物的可能性越高

结果示意

$$Bel(m^{[xy]}) = \frac{hits(x, y)}{hits(x, y) + misses(x, y)}$$

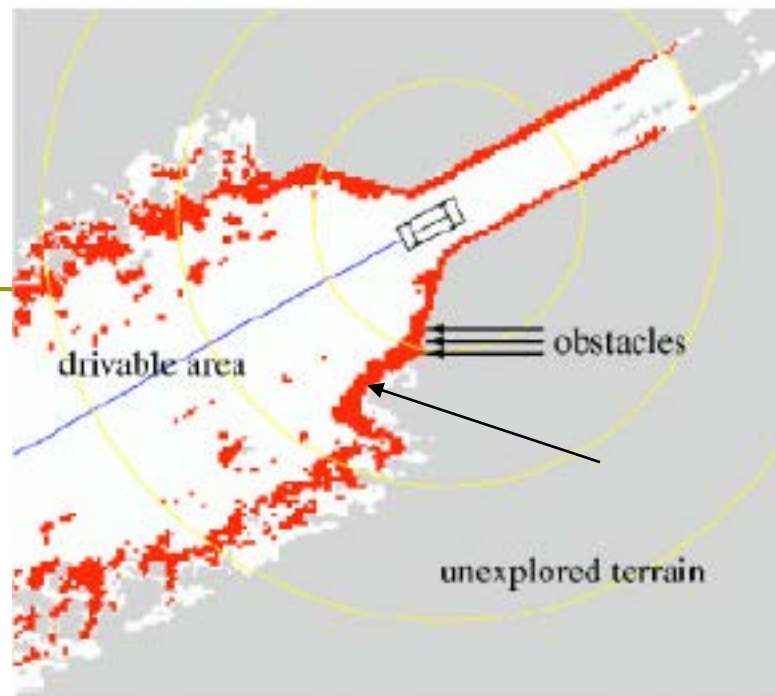
统计落入该像素区域激光点的比率，并将其可视化。

Misses(): 激光束穿过该像素区域

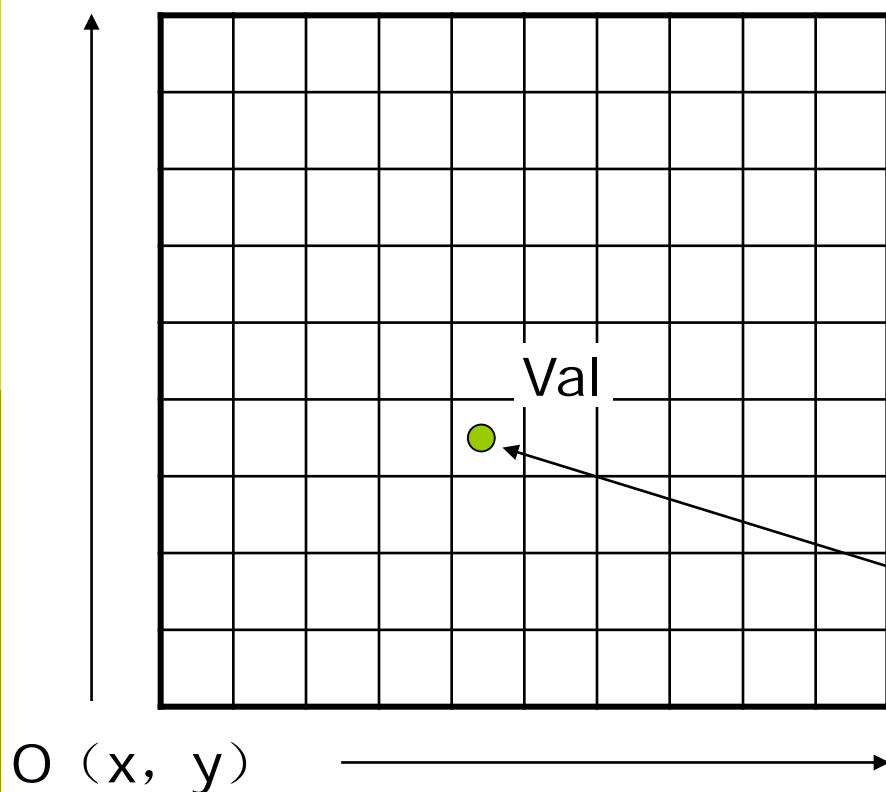
Hits(): 激光束在该像素得到测量点

栅格地图创建

□ 占有栅格地图



结果示意



统计该像素区域被障碍物占有的几率并将其可视化。

占有栅格地图的计算

已知当前帧的观测及机器人姿态，
该栅格被障碍物占有的后验概率

$$l_t = \log \frac{P(m_{x,y} \mid z_t, s_t)}{1 - P(m_{x,y} \mid z_t, s_t)} + l_0 + l_{t-1}$$

该栅格被障碍物
占有的先验