



西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY

《计算机系统设计》结课论文

课题：感知资源能力认知
组员：王翰墨 王玉佳

计算机学院
2021 年 12 月

目录

目录

一、 引言	3
二、 测距原理	3
2.1 CMOS 传感器工作原理	3
2.2 单目测距算法	4
2.3 识别物体算法	5
三、 连接云台测距	7
3.1 云台与妙算的连接	7
3.2 确定云台焦距	7
3.3 进行测距	8
四、 感知能力评估	9
4.1 环境光照对识别物体能力的影响	10
4.2 物体宽度和距离对识别物体能力的影响	11
4.3 环境光照对估测距离误差的影响	12
4.4 物体宽度和距离对估测距离误差的影响	14
五、 实验结果讨论	16
六、 结论	17
致谢	17
参考文献	17
附录	18

基于单目测距和霍夫变换圆检测算法对云台相机感知能力的评估

王翰墨，王玉佳

摘要

本文使用 T14X 云台相机作为传感器获取图像，采用霍夫变换圆检测（HoughCircles）算法对图像中的物体进行识别，结合单目测距算法测量物体的距离。我们对该套测距方案进行感知能力评估，围绕环境光照、物体宽度和距离这两个因素，探究其对 T14X 云台相机识别能力和测距误差的影响。结合实验数据建立模型，最终得到所能识别到物体所需的光照、物体的宽度和距离条件，以及测距精度受光照、物体宽度和距离变化的影响。

关键字 云台 单目测距 霍夫变换圆检测 感知能力

一、 引言

本研究旨在探索在特定识别算法下，T14X 云台摄像机所能识别到物体所需的光照、物体的宽度和距离条件，以及测距精度受光照、物体宽度和距离变化的影响。

二、 测距原理

2.1 CMOS 传感器工作原理

T14X 云台摄像机使用的传感器是 1/2.3CMOS，CMOS 传感器工作原理及流程可以分为以下三步：

- (1) 外界光照射像素阵列，发生光电效应，在像素单元内产生相应的电荷。
景物通过成像透镜聚焦到图像传感器阵列上，而图像传感器阵列是一个二维的像素阵列，每一个像素上都包括一个光敏二极管，每个像素中的光敏二极管将其阵列表面的光强转换为电信号
- (2) 通过行选择电路和列选择电路选取希望操作的像素，并将像素上的电

信号读取出来。

在选通过程中，行选择逻辑单元可以对像素阵列逐行扫描也可隔行扫描，列同理。行选择逻辑单元与列选择逻辑单元配合使用可以实现图像的窗口提取功能。

(3) 把相应的像素单元进行信号处理。

行像素单元内的图像信号通过各自所在列的信号总线，传输到对应的模拟信号处理单元以及 A/D 转换器，转换成数字图像信号输出。

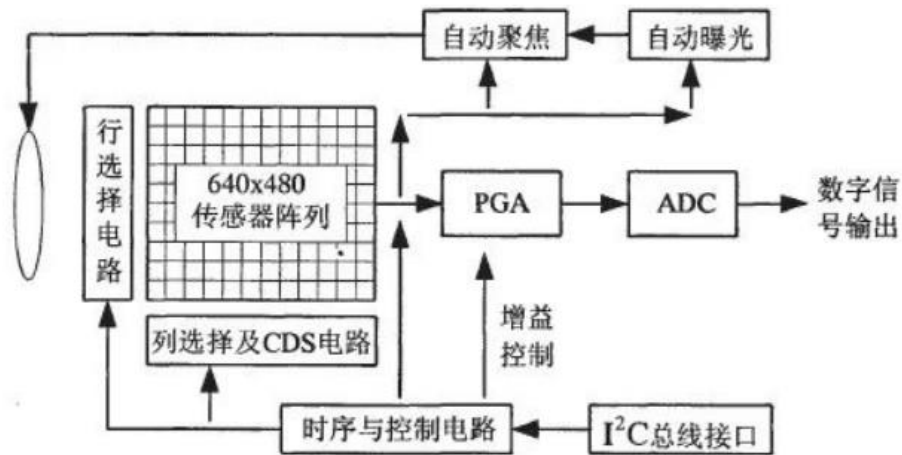


图 2-1 CMOS 图像传感器功能框图

2.2 单目测距算法

假设我们有一个宽度为 W 的目标或者物体，将这个目标放在距离我们的相机为 D 的位置，用相机对物体进行拍照并且测量物体的像素宽度 P 。设相机焦距为 F ，则有比例式：

$$\frac{P}{F} = \frac{W}{D} \quad (\text{式 } 2-1)$$

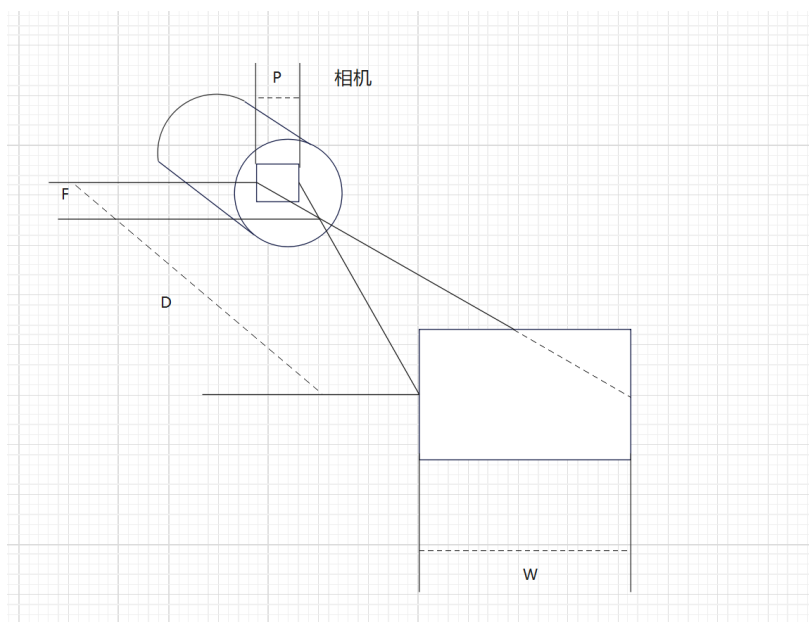


图 2-2 单目相机测距示意图

这样我们就得出了相机焦距的公式：

$$F = P \times D / W \quad (\text{式 } 2-2)$$

因此若要测量物体到相机的距离，只要知道摄像头的焦距和目标物体的尺寸大小，再通过公式 2-3 就可以得到物体到相机的距离。

$$D = F \times W / P \quad (\text{式 } 2-3)$$

2.3 识别物体算法

(1) 霍夫梯度法原理：

- 估计圆心：

1. 把原图做一次 Canny 边缘检测，得到边缘检测的二值图。
2. 对原始图像执行一次 Sobel 算子，计算出所有像素的邻域梯度值。
3. 初始化圆心空间 $N(a, b)$ ，令所有的 $N(a, b)=0$ 。
4. 遍历 Canny 边缘二值图中的所有非零像素点，沿着梯度方向（切线的垂直方向）画线，将线段经过的所有累加器中的点 (a, b) 的 $N(a, b)+1$ 。
5. 统计排序 $N(a, b)$ ，得到可能的圆心（ $N(a, b)$ 越大，越有可能是圆

心)

- 估计半径 (针对某一个圆心 (a, b))

1. 计算 Canny 图中所有非 0 点距离圆心的距离。
2. 距离从小到大排序, 根据阈值, 选取合适的可能半径 (比如 3 和 3.5 都被划为半径值 3 中)。
3. 初始化半径空间 r , $N(r)=0$ 。
4. 遍历 Canny 图中的非 0 点, $N(\text{距离})+=1$ 。
5. 统计得到可能的半径值 ($N(r)$ 越大, 说明这个距离值出现次数越多, 越有可能是半径值)。

(2) 我们使用到的识别物体算法是 opencv 中的 HoughCircles 函数。HoughCircles 函数可以基于上面提到的霍夫梯度法原理检测出灰度图中的圆。

调用 HoughCircles 需要以下几个参数:

- image, 输入图像, 即源图像, 需要为 8 位的灰度单通道图像。
- circles, 调用 HoughCircles 函数后此参数存储了检测到的圆的输出矢量, 每个矢量由包含了 3 个元素的浮点矢量 (x, y, radius) 表示。
- method, 使用的检测方法, 目前 OpenCV 中就霍夫梯度法一种可以使用, 标识符为 HOUGH_GRADIENT。
- dp, 累加面分辨率 (大小) = 原始图像分辨率 (大小) $\times 1/dp$ 。默认 $dp = 1$ 时, 两者分辨率相同。
- minDist, 两个圆心之间的最小距离。若两圆心距离 $< \text{minDist}$, 则认为是同一个圆。
- param1, Canny 边缘检测的高阈值, 低阈值被自动置为高阈值的一半, 默认为 100。
- param2, 累加平面某点是否是圆心的判定阈值。它越大, 能通过检测的圆就更接近完美的圆形, 默认为 100。
- minRadius, 圆半径的最小值。默认为 0。
- maxRadius, 圆半径的最大值, 默认为 0。

通过赋予参数不同的值可以找到一个相对来说比较理想的识别效果

三、 连接云台测距

3.1 云台与妙算的连接

3.1.1 设备平台

妙算 Mainfold 2-G

- 系统: Ubuntu 16.04
- 架构: Arm64

首先需要将 T14X 供电，并通过网线连接到妙算上。



图 3-1 T14X 与妙算实物连接示意图

3.1.2 获取云台图像数据

调用 opencv 中的 VideoCapture 函数可以将云台摄像机拍摄到的图像内容显示到屏幕上。

3.2 确定云台焦距

根据式 2-2，我们要确定云台焦距就需要一个已知宽度 W 的参照物，并将其放在指定距离 D 处，通过程序获取云台的图像数据后，可以绘制出参照物的最小外接矩形并得到该矩形的宽度，即物体的像素宽度 P ，通过公式计算即可得到云

台的焦距 F 。

$$F = 643.069627 \quad (\text{式 } 3-1)$$

3.3 进行测距

(1) 首先将单目测距算法和物体识别 HoughCircles 算法结合起来，并加上实时显示拍摄图像的灰度图和识别到的轮廓和距离的功能，完成测距所需的基本程序。

(2) 准备被测距的物体：浅色背景加深色圆，直径分别为 5cm、10cm、12cm、15cm、18cm、20cm、23cm、25cm、28cm、30cm。

(3) 通过改变物体的光照、距离和宽度，记录特定距离和宽度下云台识别到物体需要的光照的最大值和最小值和充足光照下不同距离、宽度云台识别物体的情况得出 T14X 云台摄像机所能识别到物体所需的条件。

(4) 通过改变物体的光照、距离和宽度，记录不同光照、距离、宽度下的云台测距精度。

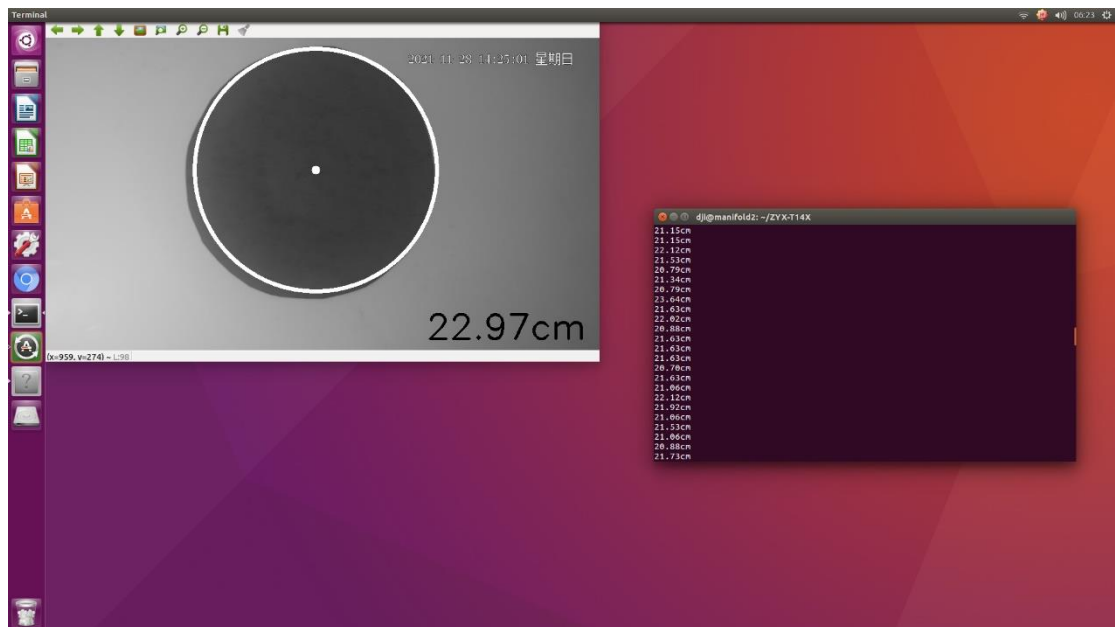


图 3-2(a) 测距效果展示（近距离）

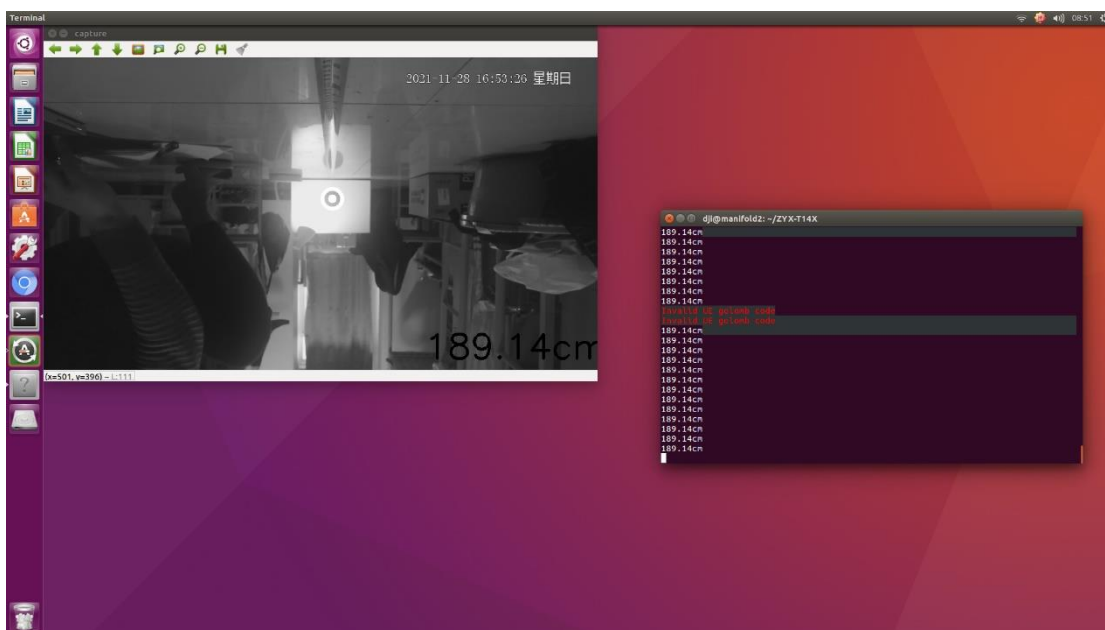


图 3-2(b) 测距效果展示（中距离）

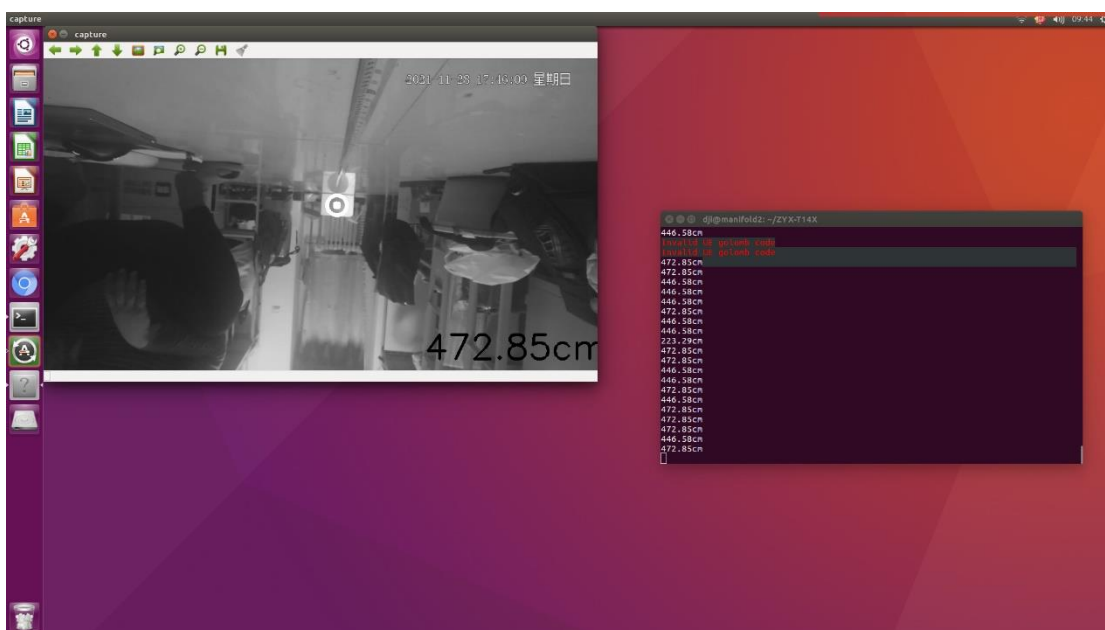


图 3-2(c) 测距效果展示（远距离）

四、感知能力评估

对于单目相机，所获得的信息只有一张二维的图像，因此感知物体深度需要分两步：首先是识别物体，然后是计算距离。故对感知物体深度能力的评估包括识别物体能力的评估和估测距离误差的评估这两部分。

在我们的测距方式下，可能影响测距的变量主要有环境光照、物体宽度和物体距离。实验围绕这三个变量进行，使用照度计测量值衡量环境光照，单位为流明(lux)；使用卷尺测量值衡量物体宽度和物体距离，单位为厘米(cm)。

实验选取有色圆形纸片作为待测物体，白色盒子作为背景，摄像头沿水平方向正对物体进行拍摄测距。下面将分四部分评估这些变量对感知能力的影响：

4.1 环境光照对识别物体能力的影响

环境光照对镜头捕捉到的图像有显著影响，如果光照过弱，那么图像整体较暗，捕捉到的信息较少，不利于将物体从周围环境中识别出来；而光照过强，则图像易于花白，同样捕捉到的信息较少，不利于物体的识别。因此，只有控制环境光照在合适的范围内，才能有效地发挥 HoughCircle 算法找出圆形物体。

我们对不同环境光照下的识别情况进行检查，并视图找出能够使识别算法正常工作的最小照度和最大照度，但是更换不同物体后发现最小照度和最大照度并不是围绕某一恒定的值，如图 4-1 所示。在相同的物体宽度、物体距离、环境光照下，黑色背景下的深红色物体无法被识别，而同是黑色背景下的白色物体则被识别出来。因此，必须寻找一个新的数量来描述光照条件。

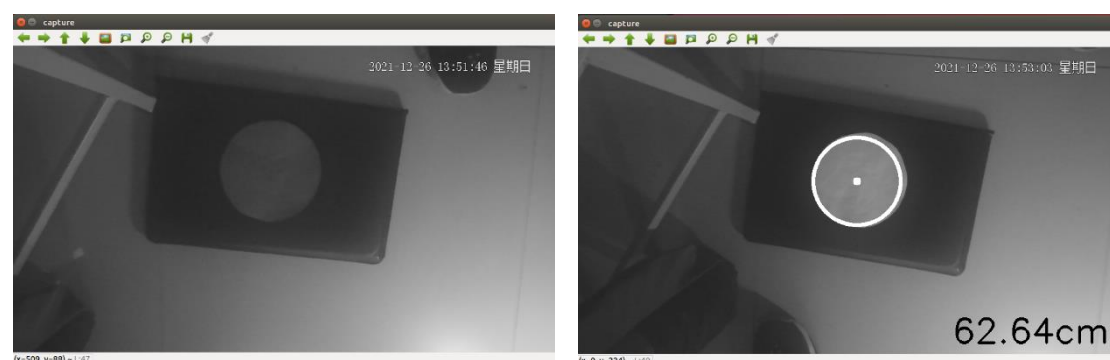


图 4-1 相同光照下不同的识别情况

在我们的测距程序中，首先将相机拍摄的图像转化为灰度图，然后调用 HoughCircle 函数识别灰度图中的圆形。而灰度图中各个像素的灰度值正是上述会因环境光照变化而变化的数量。我们选取图像中物体的灰度值和背景的灰度值作为测量量（基于对称性，只考察深色物体/浅色背景的情况），改变环境

光照条件并记录数据，得到以下结果：

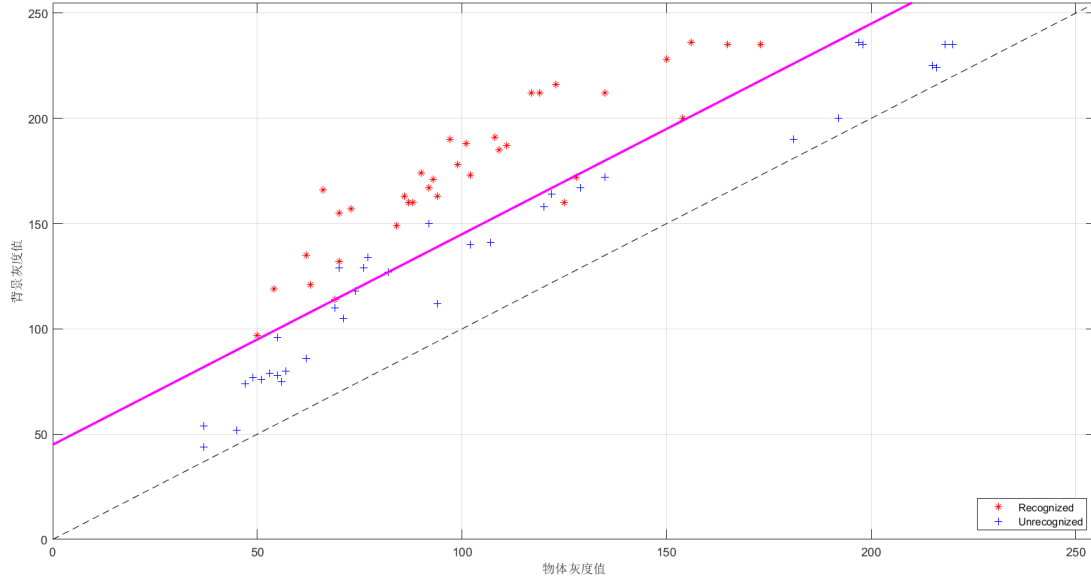


图 4-2 物体与背景灰度分布

图 4-2 总结了 70 个测量点的灰度分布和识别情况。在统一选择白色作为背景的情况下，同一纵坐标的点可认为是照度相同的等照度线，从图中给出的几条等照度线上既存在可识别的点，又存在不可识别的点，这说明照度计的读数不能作为可否识别物体的量度。

图中可以看出可识别点和不可识别点存在分布规律，以紫色粗斜线为分界可大致将其区分，其意义是：当物体和背景在灰度上的差异大于一定数值时，识别算法能够将物体识别。引入数量 G_B 表示背景灰度值， G_O 表示物体灰度值，满足 $G_B, G_O \in [0, 255] \wedge G_B, G_O \in \mathbb{Z}$ ，按上述紫色粗斜线可得判别式：

$$\Delta = |G_O - G_B| - 45 \quad (\text{式 4-1})$$

若 $\Delta > 0$ 则能够识别物体，若 $\Delta \leq 0$ 则无法识别物体。根据该判别式可以检验当前物体和环境是否达到可识别的条件。

4.2 物体宽度和距离对识别物体能力的影响

HoughCircle 函数的 minRadius 和 maxRadius 对灰度图中识别圆形的大小作出了一个约束，从而对物体的实际宽度和实际距离产生了一定约束，即物体宽度和距离组合满足令物体在灰度图中所占像素 P 在区间

$[2\minRadius, 2\maxRadius]$ 中。根据公式 2-1，可得到如下不等式：

$$2minRadius \leq F \times \frac{W}{D} \leq 2maxRadius \quad (式 4-2)$$

在设置 minRadius 和 maxRadius 时，需要考虑到识别的准确性和可靠性，故选取 minRadius=10，maxRadius=270。结合式 3-1 确定的焦距 F，可以得到以下约束条件：

$$\begin{cases} 0.0311D \leq W \leq 0.8397D \\ 1.1909W \leq D \leq 32.1535W \end{cases} \quad (式 4-3)$$

这组约束条件表明，对于一给定物体距离，物体宽度必须满足在一定范围内才能达到识别要求；反之，对于一给定物体宽度，物体距离也必须满足在一定范围内才能达到识别要求。我们通过实验验证该约束条件，选取几组不同宽度的物体，保证合适的光照条件，分别改变物体距离并检查是否能够识别，测量出能够识别的距离下限和上限，结果如图 4-3 所示。

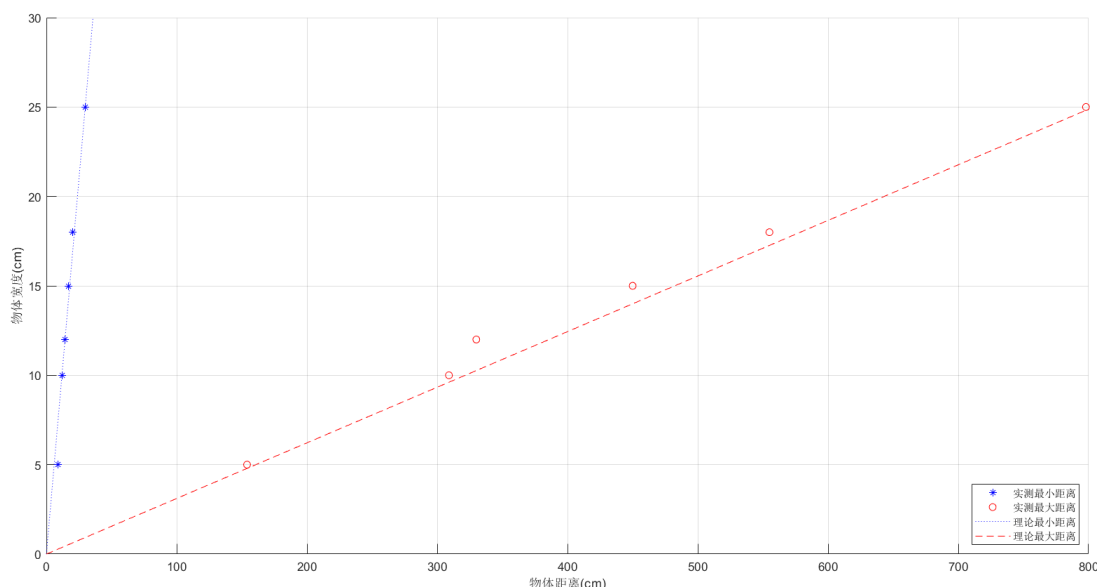


图 4-3 物体宽度与距离取值边界分布

实测结果和理论值基本吻合，这表明物体宽度和距离组成的点落在上图蓝色点线和红色虚线当中的扇形区域时，物体才能够被识别，即：

$$\frac{D}{W} \in [1.1909, 32.1535] \quad (式 4-4)$$

4.3 环境光照对估测距离误差的影响

选定物体宽度 W=15cm，物体距离 D 从识别范围内选取 20cm-450cm 的六个等间隔点，改变光照强度并进行测距，得到测距误差与照度的关系如图 4-4 所

示。

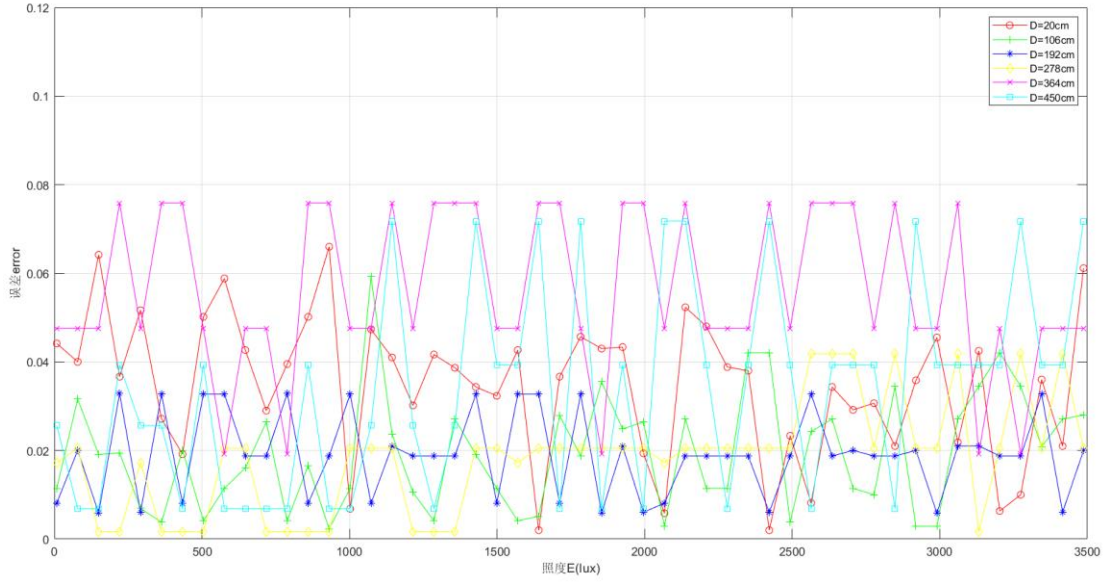


图 4-4 误差随照度变化

从图中可以看出，环境光照对测距的误差并无显著性的影响，可以认为估测距离误差和环境光照无关。

改变光照强度本质上就是改变物体的灰度值，对于同一种颜色的物体，无论怎么改变光照强度，该物体内部的灰度差是恒定不变的。而 HoughCircle 识别算法的原理之一就是基于物体与背景的灰度差来识别物体，根据 4.1 节可知，当物体与背景的灰度差小于一定值时就会被认为是同一个单位。

假设改变光照强度使得测距误差发生了变化，即识别到物体的轮廓大小发生了改变，就说明物体内部至少存在两个不同的灰度值 G_0 和 G_1 ，其中 G_0 为靠近物体轮廓边缘的灰度值， G_1 为物体其余部分灰度值，设背景灰度值为 G_B ，根据式 4-1， G_0 、 G_1 、 G_B 满足：

$$|G_0 - G_B| \leq 45 \quad (\text{式 4-5})$$

$$|G_0 - G_1| > 45 \quad (\text{式 4-6})$$

在可识别物体的条件下，环境光照强度是适中的，无论光照强度如何变化，单一颜色物体的 G_0 、 G_1 应始终满足：

$$|G_0 - G_1| \ll 45 \quad (\text{式 4-7})$$

式 4-7 和式 4-6 矛盾，假设不成立，因此可以认为在本实验中改变光照强

度不会改变测距误差，实验数据符合预期。

4.4 物体宽度和距离对估测距离误差的影响

本文所阐述的测距算法，是在确定焦距 F 和已知物体宽度 W 的前提下，由识别出的物体所占图像像素宽度 P 来计算物体距离 D 。测距公式 2-3 相对误差传递式可写为：

$$\frac{|\Delta D|}{D} = \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta W}{W}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2} \quad (\text{式 4-8})$$

其中 $\frac{\Delta F}{F}$ 是确定相机焦距 F 时存在的误差， $\frac{\Delta W}{W}$ 是使用卷尺手动测量物体实际宽度存在的误差， $\frac{\Delta D}{D}$ 也包括使用卷尺测量存在的误差，为了简化模型，我们认为 3.2 节确定的焦距 F 、卷尺测量出来的物体宽度 W 和物体距离 D 都接近真值，忽略其相对误差。那么影响测距误差的因素为 $\frac{\Delta P}{P}$ ，即物体像素宽度 P 的相对误差。

$$\frac{|\Delta D|}{D} = \frac{|\Delta P|}{P} \quad (\text{式 4-9})$$

根据单目测距公式，物体在图像中所占的像素宽度 P 会受到物体宽度 W 和物体距离 D 的影响。而像素宽度 P 是由识别物体的 HoughCircle 算法给出的圆形半径的 2 倍，在识别过程中可能存在误差。考察一特定物体，其宽度为 W_0 ，距离为 D_0 ，为使得测距结果为真值 D_0 ，则需识别出物体的像素宽度 P_0 满足下式：

$$P_0 = F \times W_0 / D_0 \quad (\text{式 4-10})$$

实际根据灰度图识别出来的物体像素宽度 P_m 可能与 P_0 存在出入，记该误差为 $|n|$ 个像素，即：

$$P_m = P_0 + n \quad (\text{式 4-11})$$

计算得到测距的相对误差公式：

$$\frac{|\Delta D|}{D} = \frac{|\Delta P|}{P} = \frac{|P_m - P_0|}{P_0} = \frac{|n|}{P_0} \quad (\text{式 4-12})$$

式 4-10 说明，物体的宽度和距离比值 W_0 / D_0 相等时，得到的像素宽度 P_0 是相等的。而如上文所述，测距的误差由识别出来的像素宽度 P_m 的误差决定。

因此，任意物体宽度 W_1 在任意距离 D_1 处的测距误差，均可以转换成特定宽度 W_0 在距离 D_0 处的测距误差，即：

$$\frac{P_m}{F} = \frac{W_1}{D_1} = \frac{W_0}{D_0} \quad (\text{式 4-13})$$

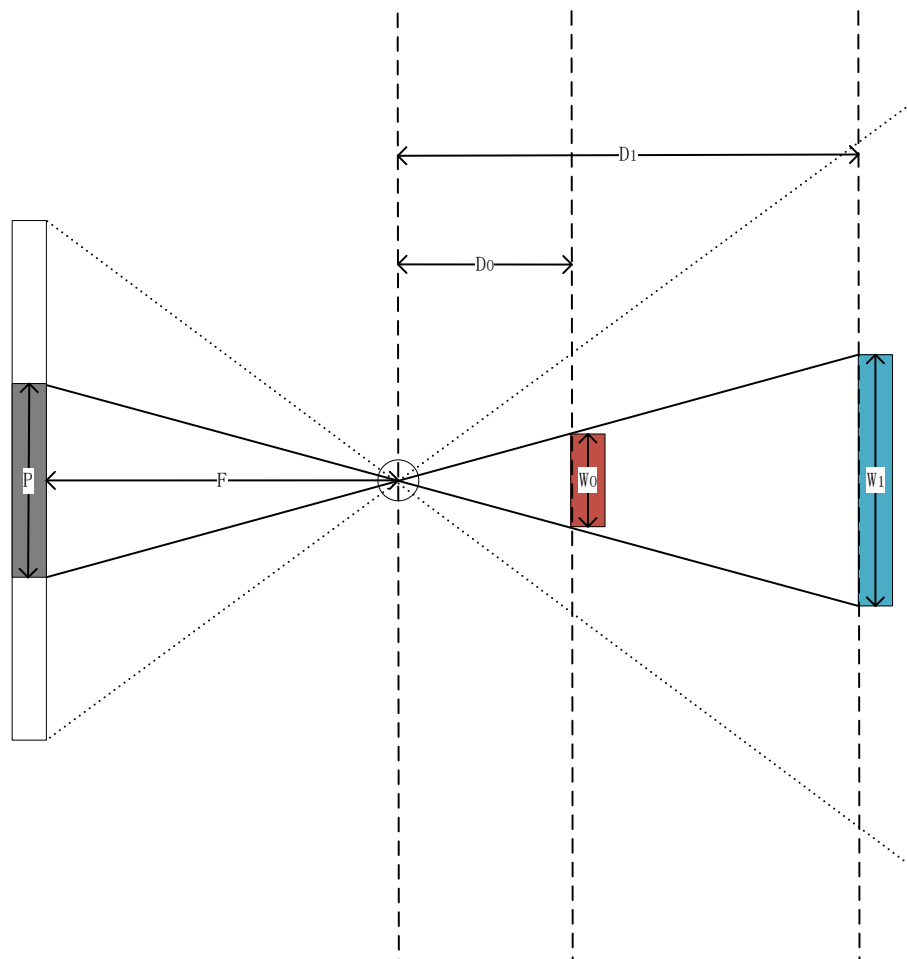


图 4-5 物体宽度和距离的关系

在实验中，我们简化物体宽度这一变量，将宽度定在 $W_0=15\text{cm}$ ，只探究误差随物体距离的变化关系，而宽度这一变量可以通过比例式转换为 W_0 条件下的某一距离，如图 4-5 所示。

在实验中，我们从暗到明选取了照度 8lux – 3500lux 的六个等间隔的光照环境，分别改变物体与云台相机间的距离，读出妙算上的估测距离并计算相对误差 $\frac{|\Delta D|}{D}$ ，得到误差与距离的关系如图 4-4 所示。

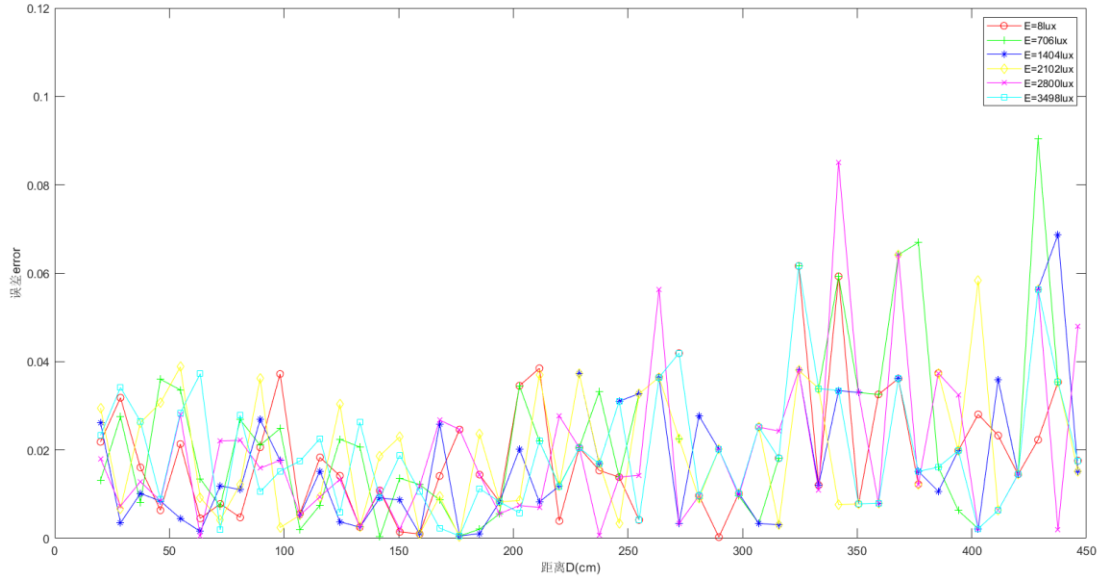


图 4-6 误差随物体距离变化

从图 4-6 来看，测距的相对误差 $\frac{|\Delta D|}{D}$ 与物体距离 D 并没有显著的规律和关系，这说明本文所用的单目测距算法的测距误差表达式中不包含变量 D ，可以建立模型：在识别物体并获得物体像素宽度 P_m 时存在的误差 $|n|$ 与准确的物体像素宽度 P_0 成正比，即：

$$|n| = kP_0 \quad (k \text{ 为常数}) \quad (\text{式 4-14})$$

该式表明，在灰度图像中物体的像素宽度越大，则识别时存在的像素误差个数 n 越大，反之亦然。则测距的相对误差表达式为：

$$\frac{|\Delta D|}{D} = \frac{|n|}{P_0} = k \quad (\text{式 4-15})$$

由实验所有测量数据计算得到平均误差为 0.025085，即 $k=0.025085$ 。这表明使用该相机利用本文所述方法测距时，识别物体轮廓时会存在 2.5085% 的误差，从而导致测量出的距离存在平均约 2.5085% 的相对误差。

五、实验结果讨论

(1) 在进行环境光照对识别物体能力的影响这一部分实验与建模时，我们将环境光照这一因素转化成了物体与背景的灰度值关系，但是在实际应用时物体和背景灰度值的关系没有光照强度直观和方便。

(2) 在进行物体宽度和距离对识别物体能力的影响这一部分实验与建模时，由

于当距离近到一定程度时物体在画面中显得不是足够圆,使得在测能识别到物体所需最近距离时实际值比理论值偏大一些。

(3) 实验都是基于红色圆形物体和白色背景这一条件,故实验中的某些结论对于其它物体不具有普适性。

六、结论

围绕第四部分的实验和建模,将使用云台相机进行单目测距的感知能力评估总结如下:

(1) 识别物体的能力与环境光照强弱无直接联系,而是为物体与背景在图像中的灰度差所影响,当灰度差超过 50 时,能够识别出物体。

(2) 识别物体的能力与物体距离和宽度有关,当且仅当物体距离与宽度的比值 $\frac{D}{W} \in [1.1909, 32.1535]$, 能够识别物体。

(3) 估测距离的误差与环境光照、物体宽度和距离无关,测距相对误差不随环境光照度、物体宽度和物体距离的变化而变化。

(4) 估测距离的误差受识别算法精确度的影响,识别物体像素的相对误差即为测量距离的相对误差,实验测得相对误差为2.5085%。

致谢

我们很感谢康继昌智能系统班和计算机系统设计课程的全体老师,让我们能够有机会围绕一个课题进行较长时间的深入性研究,收获许多宝贵的经验和知识。非常感谢姚远老师对我们课题制定、实验方法的指导。非常感谢助教王晨懿学长、张文启学长在我们实验中有困难的时候、设备出问题的时候给予非常大的帮助。非常感谢同为功能组其他同学的讨论和帮助,感谢内核组董玉博同学给我们的识别算法提出了宝贵的意见。

参考文献

- <https://www.sensorexpert.com.cn/article/6021.html>

- https://blog.csdn.net/m0_37811342/article/details/80394935
- <https://www.cnblogs.com/bjxqmy/p/12333022.html>
- <https://wenku.baidu.com/view/50e5592be2bd960590c6770a.html>

附录

测距源代码 dist.py

```
#!/usr/bin/python
# -*- coding: utf-8 -*-

import numpy as np
import cv2

# 找到目标函数
def find_marker(image):
    circle1 = cv2.HoughCircles(gray, cv2.HOUGH_GRADIENT, 1, 100, param1=180, param2=50, minRadius=10, maxRadius=270)
    if circle1 is None:
        return None
    circles = circle1[0, :, :]
    if circles is None:
        return None
    circles = np.uint16(np.around(circles))
    return circles

# 距离计算函数
def distance_to_camera(knownWidth, focalLength, perWidth):
    return (knownWidth * focalLength) / perWidth

KNOWN_WIDTH = 15 #已知物体宽度

focalLength = 643.069627 #像素焦距
inches_reg = 0.0
inches = 0.0

#打开摄像头
camera = cv2.VideoCapture('rtsp://admin:admin@192.168.42.108:554/cam/realmonitor?channel=1&subtype=0')#获取云台主视频流
while camera.isOpened():
    # get a frame
    (grabbed, frame) = camera.read()
```

```

frame = cv2.resize(frame,(960,540))
gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
circles = find_marker(gray)
if circles is None:
cv2.imshow("capture", gray)
if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
    break
continue
circle = circles[0]
maxradius = 0
flag = 0
for i in circles[:]:
if i[0] > 400 and i[0] < 560 and i[1] > 220 and i[1] < 320:
    if i[2] > maxradius:
        circle = i
        maxradius = i[2]
    flag = 1
if flag == 1:
inches_reg = inches
cv2.circle(gray,(circle[0],circle[1]),circle[2],(255,0,0),5)
    cv2.circle(gray,(circle[0],circle[1]),2,(255,0,0),10)
inches = distance_to_camera(KNOWN_WIDTH, focalLength, 2*circle[2])
else:
inches = inches_reg
# draw a bounding box around the image and display it
cv2.putText(gray, "%.2fcm" % (inches),
            (gray.shape[1] - 300, gray.shape[0] - 20), cv2.FONT_HERSHEY_
Y_SIMPLEX,2.0, (0, 255, 0), 3)
print("%.2fcm" % inches)
# show a frame
cv2.imshow("capture", gray)
if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
    break
camera.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

表 1 识别能力与图像灰度值关系实验数据

识别情况	背景灰度	物体灰度	识别情况	背景灰度	物体灰度
1	132	70	0	105	71
1	185	109	0	96	55

1	191	108	0	77	49
1	160	87	0	110	69
1	173	102	0	129	70
1	149	84	0	150	92
1	167	92	0	118	74
1	171	93	0	134	77
1	163	94	0	52	45
1	114	69	0	129	76
1	163	86	0	75	56
1	174	90	0	44	37
1	212	119	0	86	62
1	216	123	0	79	53
1	178	99	0	76	51
1	188	101	0	127	82
1	121	63	0	78	55
1	97	50	0	80	57
1	190	97	0	74	47
1	160	88	0	54	37
1	235	173	0	225	215
1	235	165	0	235	220
1	187	111	0	235	198
1	236	156	0	236	197
1	212	135	0	235	218
1	200	154	0	140	102
1	172	128	0	141	107
1	160	125	0	112	94
1	166	66	0	158	120
1	155	70	0	164	122
1	119	54	0	172	135

1	135	62	0	167	129
1	228	150	0	224	216
1	157	73	0	190	181
1	212	117	0	200	192

表 2 识别能力与物体宽度和距离关系实验数据

宽度 cm	最小距离 cm	最大距离 cm
5	9	154
10	12	309
12	14	330
15	17	450
18	20	555
25	30	798

表 3 测距误差与环境照度关系实验数据

实际距离 cm	环境照度 lux	测量距离 cm			平均测量距离 cm	测距误差
		1	2	3		
20	8	21.25	20.79	20.61	20.883333	0.0441667
20	79	20.18	21.34	20.88	20.8	0.04
20	150	21.25	19.85	22.75	21.283333	0.0641667
20	221	20.44	20.61	21.15	20.733333	0.0366667
20	292	21.15	21.25	20.7	21.033333	0.0516667
20	363	21.15	20.79	19.69	20.543333	0.0271667
20	434	20.1	20.44	20.61	20.383333	0.0191667
20	505	21.25	20.88	20.88	21.003333	0.0501667
20	576	21.06	20.35	22.12	21.176667	0.0588333
20	647	20.61	20.61	21.34	20.853333	0.0426667
20	718	20.52	20.61	20.61	20.58	0.029
20	789	20.61	20.79	20.97	20.79	0.0395
20	860	20.44	22.64	19.93	21.003333	0.0501667
20	931	21.06	20.88	22.02	21.32	0.066

20	1002	20.35	19.45	20.61	20.136667	0.0068333
20	1073	21.34	21.15	20.35	20.946667	0.0473333
20	1144	20.61	20.7	21.15	20.82	0.041
20	1215	21.15	19.69	20.97	20.603333	0.0301667
20	1286	20.52	21.63	20.35	20.833333	0.0416667
20	1357	21.25	20.97	20.1	20.773333	0.0386667
20	1428	20.35	20.7	21.01	20.686667	0.0343333
20	1499	20.97	20.79	20.18	20.646667	0.0323333
20	1570	20.61	21.34	20.61	20.853333	0.0426667
20	1641	20.1	19.85	19.93	19.96	0.002
20	1712	20.97	20.88	20.35	20.733333	0.0366667
20	1783	20.7	20.79	21.25	20.913333	0.0456667
20	1854	20.01	22.64	19.93	20.86	0.043
20	1925	20.93	20.88	20.79	20.866667	0.0433333
20	1996	19.93	20.97	20.26	20.386667	0.0193333
20	2067	20.01	19.29	20.35	19.883333	0.0058333
20	2138	21.06	21.15	20.93	21.046667	0.0523333
20	2209	21.25	21.53	20.1	20.96	0.048
20	2280	20.1	20.79	21.44	20.776667	0.0388333
20	2351	20.61	21.06	20.61	20.76	0.038
20	2422	20.01	19.77	20.1	19.96	0.002
20	2493	20.35	20.26	20.79	20.466667	0.0233333
20	2564	20.44	20.44	19.61	20.163333	0.0081667
20	2635	20.61	21.44	20.01	20.686667	0.0343333
20	2706	20.52	20.44	20.79	20.583333	0.0291667
20	2777	20.26	20.79	20.79	20.613333	0.0306667
20	2848	21.15	19.85	20.26	20.42	0.021
20	2919	21.53	20.44	20.18	20.716667	0.0358333
20	2990	20.88	20.88	20.97	20.91	0.0455

20	3061	20.44	20.35	20.52	20.436667	0.0218333
20	3132	20.52	21.15	20.88	20.85	0.0425
20	3203	20.44	20.01	19.93	20.126667	0.0063333
20	3274	20.61	19.29	20.7	20.2	0.01
20	3345	21.63	20.18	20.35	20.72	0.036
20	3416	20.1	21.06	20.1	20.42	0.021
20	3487	21.63	21.25	20.79	21.223333	0.0611667
106	8	107.18	104.85	109.61	107.21333	0.0114465
106	79	102.62	100.48	104.85	102.65	0.0316038
106	150	109.61	104.85	109.61	108.02333	0.0190881
106	221	104.85	112.16	107.18	108.06333	0.0194654
106	292	109.61	98.43	112.16	106.73333	0.0069182
106	363	107.18	107.18	104.85	106.40333	0.003805
106	434	109.61	112.16	102.62	108.13	0.0200943
106	505	104.85	104.85	109.61	106.43667	0.0041195
106	576	104.85	109.61	107.18	107.21333	0.0114465
106	647	104.85	109.61	98.43	104.29667	0.0160692
106	718	107.18	109.61	109.61	108.8	0.0264151
106	789	104.85	109.61	104.85	106.43667	0.0041195
106	860	102.62	100.48	109.61	104.23667	0.0166352
106	931	100.48	107.18	109.61	105.75667	0.0022956
106	1002	107.18	104.85	109.61	107.21333	0.0114465
106	1073	114.83	114.83	107.18	112.28	0.0592453
106	1144	107.18	98.43	104.85	103.48667	0.0237107
106	1215	104.85	107.18	102.62	104.88333	0.0105346
106	1286	104.85	104.85	109.61	106.43667	0.0041195
106	1357	104.85	112.16	109.61	108.87333	0.0271069
106	1428	104.85	109.61	109.61	108.02333	0.0190881
106	1499	107.18	104.85	109.61	107.21333	0.0114465

106	1570	104.85	109.61	104.85	106.43667	0.0041195
106	1641	107.61	104.85	107.18	106.54667	0.0051572
106	1712	114.83	107.18	104.85	108.95333	0.0278616
106	1783	107.18	109.61	107.18	107.99	0.0187736
106	1854	109.61	114.83	104.85	109.76333	0.0355031
106	1925	102.62	102.62	104.85	103.36333	0.0248742
106	1996	109.61	107.18	109.61	108.8	0.0264151
106	2067	104.85	109.61	102.62	105.69333	0.0028931
106	2138	104.85	112.16	109.61	108.87333	0.0271069
106	2209	107.18	109.61	104.85	107.21333	0.0114465
106	2280	107.18	104.85	109.61	107.21333	0.0114465
106	2351	109.61	109.61	112.16	110.46	0.0420755
106	2422	109.61	109.61	112.16	110.46	0.0420755
106	2493	104.85	107.18	107.18	106.40333	0.003805
106	2564	100.48	107.18	102.62	103.42667	0.0242767
106	2635	104.85	109.61	112.16	108.87333	0.0271069
106	2706	107.18	104.85	109.61	107.21333	0.0114465
106	2777	109.16	107.18	104.85	107.06333	0.0100314
106	2848	107.18	109.61	112.16	109.65	0.034434
106	2919	104.85	102.62	109.61	105.69333	0.0028931
106	2990	104.85	109.61	102.62	105.69333	0.0028931
106	3061	112.16	104.85	109.61	108.87333	0.0271069
106	3132	109.61	107.18	112.16	109.65	0.034434
106	3203	109.61	112.16	109.61	110.46	0.0420755
106	3274	112.16	109.61	107.18	109.65	0.034434
106	3345	107.18	107.85	109.61	108.21333	0.0208805
106	3416	109.61	104.85	112.16	108.87333	0.0271069
106	3487	109.61	107.68	109.61	108.96667	0.0279874
192	8	192.92	192.92	185.5	190.44667	0.0080903

192	79	192.92	192.92	178.63	188.15667	0.0200174
192	150	185.5	200.96	192.92	193.12667	0.0058681
192	221	185.5	178.63	192.92	185.68333	0.0328993
192	292	178.63	200.96	192.92	190.83667	0.006059
192	363	200.96	200.96	192.92	198.28	0.0327083
192	434	185.5	192.92	192.92	190.44667	0.0080903
192	505	200.96	200.96	192.92	198.28	0.0327083
192	576	200.96	192.92	200.96	198.28	0.0327083
192	647	192.92	200.96	192.92	195.6	0.01875
192	718	200.96	192.92	192.92	195.6	0.01875
192	789	178.63	185.5	192.92	185.68333	0.0328993
192	860	192.92	192.92	185.5	190.44667	0.0080903
192	931	200.96	192.92	192.92	195.6	0.01875
192	1002	200.96	200.96	192.92	198.28	0.0327083
192	1073	192.92	192.92	185.5	190.44667	0.0080903
192	1144	185.5	192.92	185.5	187.97333	0.0209722
192	1215	200.96	192.92	192.92	195.6	0.01875
192	1286	192.92	200.96	192.92	195.6	0.01875
192	1357	192.92	200.96	192.92	195.6	0.01875
192	1428	200.96	192.92	200.96	198.28	0.0327083
192	1499	192.92	192.92	185.5	190.44667	0.0080903
192	1570	200.96	192.92	200.96	198.28	0.0327083
192	1641	200.96	200.96	192.92	198.28	0.0327083
192	1712	185.5	192.92	192.92	190.44667	0.0080903
192	1783	192.92	200.96	200.96	198.28	0.0327083
192	1854	185.5	200.96	192.92	193.12667	0.0058681
192	1925	185.5	185.5	192.92	187.97333	0.0209722
192	1996	178.63	200.96	192.92	190.83667	0.006059
192	2067	185.5	192.92	192.92	190.44667	0.0080903

192	2138	192.92	200.96	192.92	195.6	0.01875
192	2209	200.96	192.92	192.92	195.6	0.01875
192	2280	192.92	192.92	200.96	195.6	0.01875
192	2351	192.92	192.92	200.96	195.6	0.01875
192	2422	178.63	200.96	192.92	190.83667	0.006059
192	2493	192.92	192.92	200.96	195.6	0.01875
192	2564	192.92	200.96	200.96	198.28	0.0327083
192	2635	192.92	200.96	192.92	195.6	0.01875
192	2706	192.92	192.92	178.63	188.15667	0.0200174
192	2777	192.92	200.96	192.92	195.6	0.01875
192	2848	192.92	192.92	200.96	195.6	0.01875
192	2919	178.63	192.92	192.92	188.15667	0.0200174
192	2990	200.96	185.5	192.92	193.12667	0.0058681
192	3061	185.5	185.5	192.92	187.97333	0.0209722
192	3132	192.92	209.7	185.5	196.04	0.0210417
192	3203	192.92	200.96	192.92	195.6	0.01875
192	3274	192.92	200.96	192.92	195.6	0.01875
192	3345	192.92	200.96	200.96	198.28	0.0327083
192	3416	178.63	200.96	192.92	190.83667	0.006059
192	3487	192.92	192.92	178.63	188.15667	0.0200174
278	8	267.95	283.71	267.95	273.20333	0.0172542
278	79	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	150	283.71	283.71	267.95	278.45667	0.0016427
278	221	283.71	283.71	267.95	278.45667	0.0016427
278	292	283.71	267.95	267.95	273.20333	0.0172542
278	363	283.71	267.95	283.71	278.45667	0.0016427
278	434	267.95	283.71	283.71	278.45667	0.0016427
278	505	283.71	283.71	267.95	278.45667	0.0016427
278	576	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396

278	647	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	718	283.71	283.71	267.95	278.45667	0.0016427
278	789	283.71	283.71	267.95	278.45667	0.0016427
278	860	267.95	283.71	283.71	278.45667	0.0016427
278	931	267.95	283.71	283.71	278.45667	0.0016427
278	1002	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	1073	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	1144	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	1215	283.71	267.95	283.71	278.45667	0.0016427
278	1286	283.71	267.95	283.71	278.45667	0.0016427
278	1357	283.71	283.71	267.95	278.45667	0.0016427
278	1428	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	1499	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	1570	267.95	283.71	267.95	273.20333	0.0172542
278	1641	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	1712	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	1783	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	1854	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	1925	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	1996	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	2067	267.95	267.95	283.71	273.20333	0.0172542
278	2138	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	2209	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	2280	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	2351	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	2422	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	2493	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	2564	301.44	283.71	283.71	289.62	0.0417986
278	2635	283.71	301.44	283.71	289.62	0.0417986

278	2706	283.71	283.71	301.44	289.62	0.0417986
278	2777	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	2848	283.71	301.44	283.71	289.62	0.0417986
278	2919	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	2990	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	3061	283.71	283.71	301.44	289.62	0.0417986
278	3132	283.71	267.95	283.71	278.45667	0.0016427
278	3203	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	3274	283.71	301.44	283.71	289.62	0.0417986
278	3345	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
278	3416	283.71	283.71	301.44	289.62	0.0417986
278	3487	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0205396
364	8	371	401.92	371	381.30667	0.0475458
364	79	371	371	401.92	381.30667	0.0475458
364	150	371	401.92	371	381.30667	0.0475458
364	221	371	401.92	401.92	391.61333	0.0758608
364	292	371	371	401.92	381.30667	0.0475458
364	363	401.92	371	401.92	391.61333	0.0758608
364	434	371	401.92	401.92	391.61333	0.0758608
364	505	371	401.92	371	381.30667	0.0475458
364	576	371	371	371	371	0.0192308
364	647	401.92	371	371	381.30667	0.0475458
364	718	371	371	401.92	381.30667	0.0475458
364	789	371	371	371	371	0.0192308
364	860	371	401.92	401.92	391.61333	0.0758608
364	931	371	401.92	401.92	391.61333	0.0758608
364	1002	371	401.92	371	381.30667	0.0475458
364	1073	371	401.92	371	381.30667	0.0475458
364	1144	401.92	371	401.92	391.61333	0.0758608

364	1215	371	371	401.92	381.30667	0.0475458
364	1286	371	401.92	401.92	391.61333	0.0758608
364	1357	401.92	401.92	371	391.61333	0.0758608
364	1428	401.92	401.92	371	391.61333	0.0758608
364	1499	371	401.92	371	381.30667	0.0475458
364	1570	371	371	401.92	381.30667	0.0475458
364	1641	371	401.92	401.92	391.61333	0.0758608
364	1712	401.92	371	401.92	391.61333	0.0758608
364	1783	401.92	371	371	381.30667	0.0475458
364	1854	371	371	371	371	0.0192308
364	1925	401.92	401.92	371	391.61333	0.0758608
364	1996	371	401.92	401.92	391.61333	0.0758608
364	2067	371	371	401.92	381.30667	0.0475458
364	2138	371	401.92	401.92	391.61333	0.0758608
364	2209	401.92	371	371	381.30667	0.0475458
364	2280	371	401.92	371	381.30667	0.0475458
364	2351	371	401.92	371	381.30667	0.0475458
364	2422	401.92	371	401.92	391.61333	0.0758608
364	2493	371	401.92	371	381.30667	0.0475458
364	2564	401.92	371	401.92	391.61333	0.0758608
364	2635	371	401.92	401.92	391.61333	0.0758608
364	2706	401.92	401.92	371	391.61333	0.0758608
364	2777	371	401.92	371	381.30667	0.0475458
364	2848	371	401.92	401.92	391.61333	0.0758608
364	2919	371	371	401.92	381.30667	0.0475458
364	2990	401.92	371	371	381.30667	0.0475458
364	3061	401.92	401.92	371	391.61333	0.0758608
364	3132	371	371	371	371	0.0192308
364	3203	371	371	401.92	381.30667	0.0475458

364	3274	371	371	371	371	0.0192308
364	3345	401.92	371	371	381.30667	0.0475458
364	3416	401.92	371	371	381.30667	0.0475458
364	3487	401.92	371	371	381.30667	0.0475458
450	8	438.46	438.46	438.46	438.46	0.0256444
450	79	438.46	438.46	482.3	453.07333	0.0068296
450	150	482.3	438.46	438.46	453.07333	0.0068296
450	221	482.3	482.3	438.46	467.68667	0.0393037
450	292	438.46	438.46	438.46	438.46	0.0256444
450	363	438.46	438.46	438.46	438.46	0.0256444
450	434	482.3	438.46	438.46	453.07333	0.0068296
450	505	482.3	482.3	438.46	467.68667	0.0393037
450	576	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0068296
450	647	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0068296
450	718	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0068296
450	789	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0068296
450	860	482.3	482.3	438.46	467.68667	0.0393037
450	931	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0068296
450	1002	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0068296
450	1073	438.46	438.46	438.46	438.46	0.0256444
450	1144	482.3	482.3	482.3	482.3	0.0717778
450	1215	438.46	438.46	438.46	438.46	0.0256444
450	1286	438.46	438.46	482.3	453.07333	0.0068296
450	1357	438.46	438.46	438.46	438.46	0.0256444
450	1428	482.3	482.3	482.3	482.3	0.0717778
450	1499	438.46	482.3	482.3	467.68667	0.0393037
450	1570	482.3	438.46	482.3	467.68667	0.0393037
450	1641	482.3	482.3	482.3	482.3	0.0717778
450	1712	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0068296

450	1783	482.3	482.3	482.3	482.3	0.0717778
450	1854	438.46	438.46	482.3	453.07333	0.0068296
450	1925	438.46	482.3	482.3	467.68667	0.0393037
450	1996	438.46	438.46	482.3	453.07333	0.0068296
450	2067	482.3	482.3	482.3	482.3	0.0717778
450	2138	482.3	482.3	482.3	482.3	0.0717778
450	2209	438.46	482.3	482.3	467.68667	0.0393037
450	2280	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0068296
450	2351	438.46	482.3	482.3	467.68667	0.0393037
450	2422	482.3	482.3	482.3	482.3	0.0717778
450	2493	482.3	438.46	482.3	467.68667	0.0393037
450	2564	482.3	438.46	438.46	453.07333	0.0068296
450	2635	482.3	438.46	482.3	467.68667	0.0393037
450	2706	482.3	482.3	438.46	467.68667	0.0393037
450	2777	482.3	438.46	482.3	467.68667	0.0393037
450	2848	438.46	438.46	482.3	453.07333	0.0068296
450	2919	482.3	482.3	482.3	482.3	0.0717778
450	2990	482.3	482.3	438.46	467.68667	0.0393037
450	3061	438.46	482.3	482.3	467.68667	0.0393037
450	3132	438.46	482.3	482.3	467.68667	0.0393037
450	3203	482.3	438.46	482.3	467.68667	0.0393037
450	3274	482.3	482.3	482.3	482.3	0.0717778
450	3345	482.3	482.3	438.46	467.68667	0.0393037
450	3416	482.3	482.3	438.46	467.68667	0.0393037
450	3487	482.3	482.3	482.3	482.3	0.0717778

表 4 测距误差与物体距离关系实验数据

实际距离 cm	环境照 度 lux	测量距离 cm			平均测量距 离 cm	测距误差
		1	2	3		
20	8	20.52	20.35	20.44	20.436667	0.0218333

28.7	8	28.71	27.25	27.4	27.786667	0.0318235
37.4	8	38.9	38.28	36.82	38	0.0160428
46.1	8	45.5	47.75	45.93	46.393333	0.006363
54.8	8	51.86	53.59	55.44	53.63	0.0213504
63.5	8	61.83	66.07	63.46	63.786667	0.0045144
72.2	8	71.99	70.93	71.99	71.636667	0.0078024
80.9	8	84.61	76.56	80.38	80.516667	0.0047384
89.6	8	86.13	91	86.13	87.753333	0.0206101
98.3	8	98.43	92.75	92.75	94.643333	0.0371991
107	8	104.85	107.18	107.18	106.40333	0.0055763
115.7	8	117.63	112.16	123.67	117.82	0.0183232
124.4	8	123.67	120.58	123.67	122.64	0.0141479
133.1	8	133.97	130.35	133.97	132.76333	0.0025294
141.8	8	137.8	141.85	141.15	140.26667	0.0108134
150.5	8	150.72	150.72	150.72	150.72	0.0014618
159.2	8	160.77	160.77	155.58	159.04	0.001005
167.9	8	172.25	172.25	166.31	170.27	0.0141155
176.6	8	172.25	172.25	172.25	172.25	0.0246319
185.3	8	192.92	185.5	185.5	187.97333	0.0144271
194	8	192.92	192.92	200.96	195.6	0.0082474
202.7	8	209.7	209.7	209.7	209.7	0.0345338
211.4	8	219.23	229.67	209.7	219.53333	0.0384737
220.1	8	219.23	219.23	219.23	219.23	0.0039527
228.8	8	229.67	229.67	241.15	233.49667	0.0205274
237.5	8	241.15	241.15	241.15	241.15	0.0153684
246.2	8	241.15	253.84	253.84	249.61	0.0138505
254.9	8	253.84	253.84	253.84	253.84	0.0041585
263.6	8	267.95	283.71	267.95	273.20333	0.0364315
272.3	8	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0419023

281	8	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0096441
289.7	8	283.71	283.71	301.44	289.62	0.0002761
298.4	8	301.44	301.44	301.44	301.44	0.0101877
307.1	8	321.53	321.53	301.44	314.83333	0.0251818
315.8	8	321.53	321.53	321.53	321.53	0.0181444
324.5	8	344.5	344.5	344.5	344.5	0.0616333
333.2	8	321.53	321.53	344.5	329.18667	0.0120448
341.9	8	344.5	371	371	362.16667	0.0592766
350.6	8	344.5	344.5	371	353.33333	0.0077962
359.3	8	371	371	371	371	0.0325633
368	8	371	371	401.92	381.30667	0.0361594
376.7	8	371	371	401.92	381.30667	0.012229
385.4	8	371	371	371	371	0.0373638
394.1	8	401.92	401.92	401.92	401.92	0.0198427
402.8	8	438.46	401.92	401.92	414.1	0.0280536
411.5	8	401.92	401.92	401.92	401.92	0.0232807
420.2	8	438.46	401.92	438.46	426.28	0.0144693
428.9	8	438.46	438.46	438.46	438.46	0.0222896
437.6	8	438.46	438.46	482.3	453.07333	0.0353595
446.3	8	438.46	438.46	438.46	438.46	0.0175667
20	706	19.93	21.25	19.61	20.263333	0.0131667
28.7	706	26.65	28.2	28.88	27.91	0.0275261
37.4	706	38.58	36.54	37.98	37.7	0.0080214
46.1	706	47.28	48.72	47.28	47.76	0.0360087
54.8	706	54.19	55.44	60.29	56.64	0.0335766
63.5	706	61.83	63.46	62.64	62.643333	0.0134908
72.2	706	69.9	70.93	74.2	71.676667	0.0072484
80.9	706	79.07	75.36	81.75	78.726667	0.0268644
89.6	706	86.13	87.69	89.32	87.713333	0.0210565

98.3	706	94.57	98.43	94.57	95.856667	0.0248559
107	706	107.18	104.85	109.61	107.21333	0.0019938
115.7	706	114.83	114.83	114.83	114.83	0.0075194
124.4	706	120.58	123.67	120.58	121.61	0.0224277
133.1	706	130.35	130.35	130.35	130.35	0.0206612
141.8	706	141.85	141.85	141.85	141.85	0.0003526
150.5	706	146.15	150.72	160.77	152.54667	0.0135991
159.2	706	155.58	172.25	155.58	161.13667	0.012165
167.9	706	160.77	166.31	172.25	166.44333	0.0086758
176.6	706	172.25	178.63	178.63	176.50333	0.0005474
185.3	706	178.63	185.5	192.92	185.68333	0.0020687
194	706	192.92	192.92	192.92	192.92	0.005567
202.7	706	209.7	209.7	209.7	209.7	0.0345338
211.4	706	219.23	209.7	219.23	216.05333	0.022012
220.1	706	229.67	219.23	219.23	222.71	0.0118582
228.8	706	229.67	241.15	229.67	233.49667	0.0205274
237.5	706	241.15	241.15	253.84	245.38	0.0331789
246.2	706	241.15	253.84	253.84	249.61	0.0138505
254.9	706	267.95	253.84	267.95	263.24667	0.0327449
263.6	706	267.95	283.71	267.95	273.20333	0.0364315
272.3	706	283.71	283.71	267.95	278.45667	0.0226099
281	706	283.71	267.95	283.71	278.45667	0.009051
289.7	706	301.44	301.44	283.71	295.53	0.0201243
298.4	706	301.44	283.71	301.44	295.53	0.009618
307.1	706	301.44	321.53	301.44	308.13667	0.0033757
315.8	706	321.53	321.53	321.53	321.53	0.0181444
324.5	706	344.5	344.5	344.5	344.5	0.0616333
333.2	706	344.5	344.5	344.5	344.5	0.0339136
341.9	706	371	371	344.5	362.16667	0.0592766

350.6	706	371	344.5	371	362.16667	0.0329911
359.3	706	371	371	371	371	0.0325633
368	706	401.92	371	401.92	391.61333	0.0641667
376.7	706	401.92	401.92	401.92	401.92	0.0669498
385.4	706	371	401.92	401.92	391.61333	0.0161218
394.1	706	401.92	371	401.92	391.61333	0.0063097
402.8	706	401.92	401.92	401.92	401.92	0.0021847
411.5	706	438.46	438.46	401.92	426.28	0.0359174
420.2	706	438.46	401.92	438.46	426.28	0.0144693
428.9	706	482.3	482.3	438.46	467.68667	0.0904329
437.6	706	482.3	438.46	438.46	453.07333	0.0353595
446.3	706	438.46	438.46	482.3	453.07333	0.0151766
20	1404	20.52	20.61	20.44	20.523333	0.0261667
28.7	1404	28.88	28.88	28.04	28.6	0.0034843
37.4	1404	37.68	37.68	37.98	37.78	0.0101604
46.1	1404	47.75	45.93	43.45	45.71	0.0084599
54.8	1404	54.81	53.59	56.74	55.046667	0.0045012
63.5	1404	66.99	61.83	61.38	63.4	0.0015748
72.2	1404	68.9	74.2	70.93	71.343333	0.0118652
80.9	1404	77.79	83.16	79.07	80.006667	0.0110424
89.6	1404	86.13	86.13	89.32	87.193333	0.0268601
98.3	1404	96.46	100.48	92.75	96.563333	0.017667
107	1404	104.85	109.61	104.85	106.43667	0.0052648
115.7	1404	114.83	114.83	112.16	113.94	0.0152118
124.4	1404	123.67	130.35	120.58	124.86667	0.0037513
133.1	1404	133.97	133.97	130.35	132.76333	0.0025294
141.8	1404	141.85	137.8	141.85	140.5	0.0091678
150.5	1404	150.72	146.15	150.72	149.19667	0.00866
159.2	1404	160.77	160.77	155.58	159.04	0.001005

167.9	1404	172.25	172.25	172.25	172.25	0.0259083
176.6	1404	172.25	178.63	178.63	176.50333	0.0005474
185.3	1404	185.5	185.5	185.5	185.5	0.0010793
194	1404	200.96	192.92	192.92	195.6	0.0082474
202.7	1404	209.7	200.96	209.7	206.78667	0.0201612
211.4	1404	219.23	200.96	219.23	213.14	0.0082308
220.1	1404	229.67	219.23	219.23	222.71	0.0118582
228.8	1404	229.67	241.15	241.15	237.32333	0.0372523
237.5	1404	229.67	229.67	241.15	233.49667	0.0168561
246.2	1404	253.84	253.84	253.84	253.84	0.0310317
254.9	1404	267.95	267.95	253.84	263.24667	0.0327449
263.6	1404	267.95	267.95	283.71	273.20333	0.0364315
272.3	1404	267.95	283.71	267.95	273.20333	0.0033174
281	1404	283.71	267.95	267.95	273.20333	0.0277461
289.7	1404	283.71	301.44	301.44	295.53	0.0201243
298.4	1404	301.44	301.44	301.44	301.44	0.0101877
307.1	1404	321.53	301.44	301.44	308.13667	0.0033757
315.8	1404	321.53	321.53	301.44	314.83333	0.003061
324.5	1404	321.53	344.5	344.5	336.84333	0.038038
333.2	1404	321.53	344.5	321.53	329.18667	0.0120448
341.9	1404	344.5	344.5	371	353.33333	0.0334406
350.6	1404	344.5	371	371	362.16667	0.0329911
359.3	1404	371	344.5	371	362.16667	0.0079785
368	1404	401.92	371	371	381.30667	0.0361594
376.7	1404	371	371	371	371	0.0151314
385.4	1404	401.92	371	371	381.30667	0.010621
394.1	1404	401.92	401.92	401.92	401.92	0.0198427
402.8	1404	401.92	401.92	401.92	401.92	0.0021847
411.5	1404	438.46	438.46	401.92	426.28	0.0359174

420.2	1404	438.46	401.92	401.92	414.1	0.0145169
428.9	1404	438.46	438.46	482.3	453.07333	0.0563612
437.6	1404	482.3	438.46	482.3	467.68667	0.0687538
446.3	1404	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0151766
20	2102	19.77	21.82	20.18	20.59	0.0295
28.7	2102	29.23	29.41	28.04	28.893333	0.0067364
37.4	2102	38.58	38.58	37.98	38.38	0.0262032
46.1	2102	45.07	43.06	45.93	44.686667	0.030658
54.8	2102	53.59	54.19	50.24	52.673333	0.0388078
63.5	2102	61.83	63.46	63.46	62.916667	0.0091864
72.2	2102	66.99	70.93	77.79	71.903333	0.004109
80.9	2102	77.79	81.75	86.13	81.89	0.0122373
89.6	2102	92.75	89.32	96.46	92.843333	0.0361979
98.3	2102	102.62	98.43	94.57	98.54	0.0024415
107	2102	109.61	104.85	104.85	106.43667	0.0052648
115.7	2102	117.63	112.16	120.58	116.79	0.0094209
124.4	2102	123.67	120.58	117.63	120.62667	0.0303323
133.1	2102	133.97	130.35	133.97	132.76333	0.0025294
141.8	2102	141.85	137.8	137.8	139.15	0.0186883
150.5	2102	150.72	155.58	155.58	153.96	0.02299
159.2	2102	160.77	155.58	160.77	159.04	0.001005
167.9	2102	166.31	166.31	166.31	166.31	0.0094699
176.6	2102	185.5	172.25	172.25	176.66667	0.0003775
185.3	2102	178.63	178.63	185.5	180.92	0.0236373
194	2102	192.92	200.96	192.92	195.6	0.0082474
202.7	2102	200.96	200.96	200.96	200.96	0.0085841
211.4	2102	219.23	219.23	219.23	219.23	0.0370388
220.1	2102	219.23	229.67	219.23	222.71	0.0118582
228.8	2102	241.15	229.67	241.15	237.32333	0.0372523

237.5	2102	229.67	241.15	253.84	241.55333	0.0170667
246.2	2102	253.84	241.15	241.15	245.38	0.0033306
254.9	2102	267.95	267.95	253.84	263.24667	0.0327449
263.6	2102	283.71	267.95	267.95	273.20333	0.0364315
272.3	2102	283.71	267.95	283.71	278.45667	0.0226099
281	2102	283.71	283.71	267.95	278.45667	0.009051
289.7	2102	283.71	301.44	301.44	295.53	0.0201243
298.4	2102	301.44	301.44	301.44	301.44	0.0101877
307.1	2102	321.53	321.53	301.44	314.83333	0.0251818
315.8	2102	321.53	321.53	301.44	314.83333	0.003061
324.5	2102	344.5	344.5	321.53	336.84333	0.038038
333.2	2102	344.5	344.5	344.5	344.5	0.0339136
341.9	2102	344.5	344.5	344.5	344.5	0.0076046
350.6	2102	344.5	371	344.5	353.33333	0.0077962
359.3	2102	344.5	371	371	362.16667	0.0079785
368	2102	371	401.92	401.92	391.61333	0.0641667
376.7	2102	371	371	401.92	381.30667	0.012229
385.4	2102	371	371	371	371	0.0373638
394.1	2102	401.92	401.92	401.92	401.92	0.0198427
402.8	2102	401.92	438.46	438.46	426.28	0.058292
411.5	2102	401.92	401.92	438.46	414.1	0.0063183
420.2	2102	401.92	438.46	401.92	414.1	0.0145169
428.9	2102	438.46	438.46	482.3	453.07333	0.0563612
437.6	2102	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0353595
446.3	2102	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0151766
20	2800	19.85	20.35	20.88	20.36	0.018
28.7	2800	27.88	30.14	28.71	28.91	0.0073171
37.4	2800	37.98	37.68	37.98	37.88	0.0128342
46.1	2800	47.75	45.93	43.45	45.71	0.0084599

54.8	2800	58.11	54.81	56.08	56.333333	0.0279805
63.5	2800	64.31	62.64	63.46	63.47	0.0004724
72.2	2800	68.9	70.93	71.99	70.606667	0.0220683
80.9	2800	76.56	80.38	80.38	79.106667	0.0221673
89.6	2800	91	89.32	92.75	91.023333	0.0158854
98.3	2800	96.46	92.75	100.48	96.563333	0.017667
107	2800	109.61	104.85	104.85	106.43667	0.0052648
115.7	2800	120.58	112.16	117.63	116.79	0.0094209
124.4	2800	123.67	126.92	117.63	122.74	0.0133441
133.1	2800	133.97	133.97	130.35	132.76333	0.0025294
141.8	2800	146.15	146.15	137.8	143.36667	0.0110484
150.5	2800	150.72	146.15	155.58	150.81667	0.0021041
159.2	2800	160.77	155.58	155.58	157.31	0.0118719
167.9	2800	172.25	166.31	178.63	172.39667	0.0267818
176.6	2800	172.25	172.25	172.25	172.25	0.0246319
185.3	2800	192.92	185.5	185.5	187.97333	0.0144271
194	2800	192.92	192.92	192.92	192.92	0.005567
202.7	2800	209.7	192.92	200.96	201.19333	0.007433
211.4	2800	209.7	209.7	219.23	212.87667	0.0069852
220.1	2800	219.23	229.67	229.67	226.19	0.0276692
228.8	2800	229.67	229.67	241.15	233.49667	0.0205274
237.5	2800	241.15	241.15	229.67	237.32333	0.0007439
246.2	2800	253.84	241.15	253.84	249.61	0.0138505
254.9	2800	267.95	253.84	253.84	258.54333	0.0142932
263.6	2800	283.71	267.95	283.71	278.45667	0.0563606
272.3	2800	267.95	267.95	283.71	273.20333	0.0033174
281	2800	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0096441
289.7	2800	283.71	301.44	301.44	295.53	0.0201243
298.4	2800	301.44	301.44	283.71	295.53	0.009618

307.1	2800	321.53	321.53	301.44	314.83333	0.0251818
315.8	2800	321.53	301.44	301.44	308.13667	0.0242664
324.5	2800	321.53	344.5	344.5	336.84333	0.038038
333.2	2800	344.5	321.53	344.5	336.84333	0.0109344
341.9	2800	371	371	371	371	0.0851126
350.6	2800	371	344.5	371	362.16667	0.0329911
359.3	2800	371	344.5	371	362.16667	0.0079785
368	2800	401.92	371	401.92	391.61333	0.0641667
376.7	2800	371	401.92	371	381.30667	0.012229
385.4	2800	371	371	371	371	0.0373638
394.1	2800	371	401.92	371	381.30667	0.0324622
402.8	2800	401.92	401.92	401.92	401.92	0.0021847
411.5	2800	438.46	401.92	401.92	414.1	0.0063183
420.2	2800	401.92	438.46	438.46	426.28	0.0144693
428.9	2800	438.46	482.3	438.46	453.07333	0.0563612
437.6	2800	438.46	438.46	438.46	438.46	0.0019653
446.3	2800	482.3	438.46	482.3	467.68667	0.0479199
20	3498	20.26	20.7	20.44	20.466667	0.0233333
28.7	3498	27.1	29.41	26.65	27.72	0.0341463
37.4	3498	39.21	37.98	37.98	38.39	0.0264706
46.1	3498	47.75	45.07	44.25	45.69	0.0088937
54.8	3498	58.82	55.44	54.81	56.356667	0.0284063
63.5	3498	63.46	61.83	58.11	61.133333	0.0372703
72.2	3498	75.36	70.93	69.9	72.063333	0.0018929
80.9	3498	77.79	79.07	79.07	78.643333	0.0278945
89.6	3498	92.75	92.75	86.13	90.543333	0.0105283
98.3	3498	98.43	100.48	100.48	99.796667	0.0152255
107	3498	109.61	104.85	112.16	108.87333	0.0175078
115.7	3498	114.83	114.83	109.61	113.09	0.0225583

124.4	3498	123.67	123.67	123.67	123.67	0.0058682
133.1	3498	133.97	141.85	133.97	136.59667	0.026271
141.8	3498	137.8	141.85	141.85	140.5	0.0091678
150.5	3498	146.15	146.15	150.72	147.67333	0.0187818
159.2	3498	160.77	166.31	155.58	160.88667	0.0105946
167.9	3498	172.25	166.31	166.31	168.29	0.0023228
176.6	3498	178.63	178.63	172.25	176.50333	0.0005474
185.3	3498	185.5	178.63	185.5	183.21	0.011279
194	3498	192.92	192.92	200.96	195.6	0.0082474
202.7	3498	200.96	209.7	200.96	203.87333	0.0057885
211.4	3498	219.23	219.23	209.7	216.05333	0.022012
220.1	3498	219.23	229.57	219.23	222.67667	0.0117068
228.8	3498	241.15	229.67	229.67	233.49667	0.0205274
237.5	3498	241.15	229.67	229.67	233.49667	0.0168561
246.2	3498	253.84	253.84	253.84	253.84	0.0310317
254.9	3498	253.84	253.84	253.84	253.84	0.0041585
263.6	3498	267.95	267.95	283.71	273.20333	0.0364315
272.3	3498	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0419023
281	3498	283.71	283.71	283.71	283.71	0.0096441
289.7	3498	283.71	301.44	301.44	295.53	0.0201243
298.4	3498	301.44	301.44	301.44	301.44	0.0101877
307.1	3498	321.53	301.44	321.53	314.83333	0.0251818
315.8	3498	321.53	321.53	321.53	321.53	0.0181444
324.5	3498	344.5	344.5	344.5	344.5	0.0616333
333.2	3498	344.5	344.5	344.5	344.5	0.0339136
341.9	3498	371	344.5	344.5	353.33333	0.0334406
350.6	3498	344.5	344.5	371	353.33333	0.0077962
359.3	3498	344.5	371	371	362.16667	0.0079785
368	3498	401.92	371	371	381.30667	0.0361594

376.7	3498	371	371	371	371	0.0151314
385.4	3498	401.92	401.92	371	391.61333	0.0161218
394.1	3498	401.92	401.92	401.92	401.92	0.0198427
402.8	3498	401.92	401.92	401.92	401.92	0.0021847
411.5	3498	438.46	401.92	401.92	414.1	0.0063183
420.2	3498	401.92	401.92	438.46	414.1	0.0145169
428.9	3498	438.46	438.46	482.3	453.07333	0.0563612
437.6	3498	482.3	438.46	438.46	453.07333	0.0353595
446.3	3498	438.46	438.46	438.46	438.46	0.0175667