

Auto-Driven Based on CNN

Shen Hengheng

Li Zhongze

产品描述：基于机器学习、计算机视觉、数字图像处理等技术的人工智能产品“自动驾驶小车（改装遥控车）”，该项目由申恒恒 (CS) 和李中泽 (ME) 合作开发，指导老师为闫怀平老师。

关键技术：Python + OpenCV 神经网络 + Haar 级联分类器

目标

在车道上自动驾驶，停止 (STOP) 标志和交通红绿灯的检测与识别，自动检测前方障碍物（比如前方小车），并控制（车速或保持车距）避免与其碰撞或追尾。

系统的设计

该系统由三个子系统所组成，其中包括输入单元（相机，超声波传感器）、处理单元（计算机）和小车的控制单元。

输入单元

树莓派板（型号 B+），附有一个 pi 相机模块，和一个用来收集输入数据的 HC SR04 超声波传感器。树莓派运行两个客户端程序，一个是用来传输视频流，另外一个是通过本地 Wi-Fi 连接（这里使用树莓派做无线路由）将超声波传感器的数据传输到计算机。为了实现低延迟的视频流。在这里视频缩小为 QVGA(320×240) 分辨率。

处理单元

处理单元（计算机）处理多个任务：接收来自树莓派的数据、训练神经网络和预测（转向的方向），目标检测（停止标志和交通红绿灯），距离测量（单目视觉技术），并将指令发送到 Arduino，Arduino 通过 USB 与计算机连接。

TCP Server

运行在计算机端的多线程 TCP 服务器，负责接受来自树莓派的视频流图像帧和超声波传感器数据，其中每一图像帧被转化为灰度图像并存储在 numpy 数组里。

Neural Network

使用神经网络的优点是，一旦神经网络训练完毕，它只需要加载之后训练完成后的参数，所以它的预测是非常快的。只有小部分的输入图像被用于训练和预测。在输入层有 38,400(320 × 120) 个节点，隐含层有 32 个节点。在隐含层节点的数目是选择是随意

选择的。在输出层有四个节点，每个节点对应于小车转向的控制指令，左，右，正向和反向分别（虽然在此项目中，反向不在任何地方使用，但它还包括在输出层）。

下面显示训练数据收集过程。首先每个帧被裁剪并转换为一个 numpy 数组。然后训练图像被标记相应的 label（人工标记）。最后，所有标记完成的图像数据和相应标签都保存到 npz 文件中。在 OpenCV 中使用反向传播算法训练神经网络。训练完成后，生成的神经网络节点的权重被保存为 xml 文件。若要对新的图像数据生成预测，直接加载 xml 文件构建与训练数据生成的神经网络相同的网络结构，也可以这么说，训练后的模型被保存在 xml 文件（级联文件）中，若要预测，直接加载该文件即可。

Object Detection

这个项目采用了基于形状检测的方法，并且使用基于特征的 Haar 级联分类器，主要用于目标检测。由于每个目标对象需要其自己的分类器，并在训练过程中和检测过程中是相同，所以这个项目只集中于停止（STOP）标志和交通红绿灯的检测。

OpenCV 提供了训练器以及特征探测器。（包含目标对象）的正样本图像主要使用了安卓手机拍摄了一些图像，并将图像裁剪，使得正样本中只有目标图像可见。负样本图像（没有目标对象）随机图像。比如，交通红绿灯正样本包含相同数量的红色交通灯和绿色交通灯。同样的，负样本数据集使用了用于停止的标志和黄色交通灯来进行训练。下面显示了在该项目中使用一些正样本和负样本图像。

为了识别不同的状态的交通红绿灯（红，绿），所以在检测后需要进行必要的图像处理。下面的流程图总结了交通灯识别的过程。

首先，利用训练完成的级联分类器用来检测交通红绿灯的状态。边框被认为是感兴趣区（ROI）。其次，将高斯模糊（高斯低通滤波器）应用在 ROI 中，用来减少图像噪音。第三，在 ROI 中找到最亮的点。最后，通过基于 ROI 中最亮的位置就可以确定交通红绿灯的状态（红，绿）。

Distance Measurement

由于树莓派只能支持一个 pi 摄像头模块。另外在计算机视觉领域往往会通过双目视觉技术来测量距离，但是使用两个 USB 网络摄像头会为小车带来额外的重量，所以不符合实际应用。因此，在这里选择树莓派摄像头模块并且使用单目视觉技术。

在本项目中采用了 [Chu Jiangwei, Ji Lisheng, Guo Lie, Libibing, Wang Rongben](#) 提出的单目视觉几何模型来探测与目标之间的距离。

P 是在目标对象上的一个点； d 为从光学中心到 P 点的距离。基于上述几何关系，给出以下计算距离 d 的公式（1）。在公式（1）中， f 是相机的焦距； θ 是相机的倾斜角度； h 是光学中心高度； (X_0, Y_0) 是指像平面和光轴的交点； (X, Y) 是指在图像平面上的点 P 的投影。

假设 $O_1(U_0, V_0)$ 是光轴和图像平面的交点的照相机坐标，还假设对应于 x 轴和 y 轴在像平面上一个像素的物理尺寸是 dx 和 dy 。然后：

v 是在相机在 y 轴坐标, 可以从目标检测过程中得到。所有其他的参数均是相机的内在参数, 可以从相机矩阵检索。

另外 OpenCV 提供了[相机标定](#)功能。校正后将会返回一个 500 万像素的树莓派相机矩阵。理想的情况是, a_x 和 a_y 有相同的值。这两个值的方差将导致在图像中的非平方像素。

相机矩阵将返回像素值和 h 值。通过应用公式 (3), 将会得到实际的物理距离。

小车控制单元

此项目中使用的的小车有一个开/关类型控制器。当按下按钮时, 相关芯片引脚和地之间的电阻为零。因此, 使用 Arduino 电路板用来模拟按钮按下操作。选择四个 Arduino 针脚分别连接控制器四个芯片引脚上, 分别对应于正向、反向、左和右的动作。一方面 Arduino 引脚发送 LOW 信号显示控制器芯片的接地引脚; 另一方面发送 HIGH 信号表明芯片引脚之间的电阻和地面保持不变。Arduino 通过 USB 连接到计算机。计算机使用串口向 Arduino 发送命令, 然后 Arduino 读取命令, 写出 LOW 或 HIGH 信号, 模拟通过按下按钮来驾驶小车。