



# “光华杯”千兆光网应用创新大赛

## 专题赛作品方案

参赛作品名称：	基于 C-V2X 的停车场自动引导系统
联 系 人：	姜之源
联 系 方 式：	13810428897
填 报 日 期：	2023 年 5 月 19 日

“光华杯”千兆光网应用创新大赛组委会制

二〇二二年十二月

参赛单位基本信息

牵头 单位 信息	单位名称	上海大学		单位性质	事业单位
	通讯地址	上大路 99 号		邮政编码	200444
	所在地区	上海市 上海市 宝山区			
	联系电话	13810428897	单位成立 时间	1922 年 10 月 23 日	
	组织机构代 码或统一社 会信用代码	1231000042502637XE			
联合 单位 信息	序号	单位名称			
	1	清华大学			
	2	北京深轶科技有限公司			
	3				
	4				
	5				

## 一、 背景及需求

现如今，汽车保有量仍然在不断上升，因而就有了停车这一个需要解决的问题。而在公共场所，停车效率问题是一个考虑的重点。本项目便主要针对的是地下公共停车场的停车问题。在智慧城市的建设过程中，市场对于停车解决方案也是有着相当广泛的需求。

不同于小区的地下车库，在公共停车场这样的陌生环境，车主一般对于路况信息和车位信息的了解较少，可能为了找到合适的车位绕较远的路程。当车库占用率较高时，车主甚至可能面临有停车场有车位但是找不到的窘境。此时，我们如果能给予车主合适的停车指示，便可以有效提高停车效率。

本项目便是针对如上这一痛点提供了解决方案，通过对车牌的识别和停车场车位信息的分析，为车主提供即时的、动态的引导信息，提高停车效率。

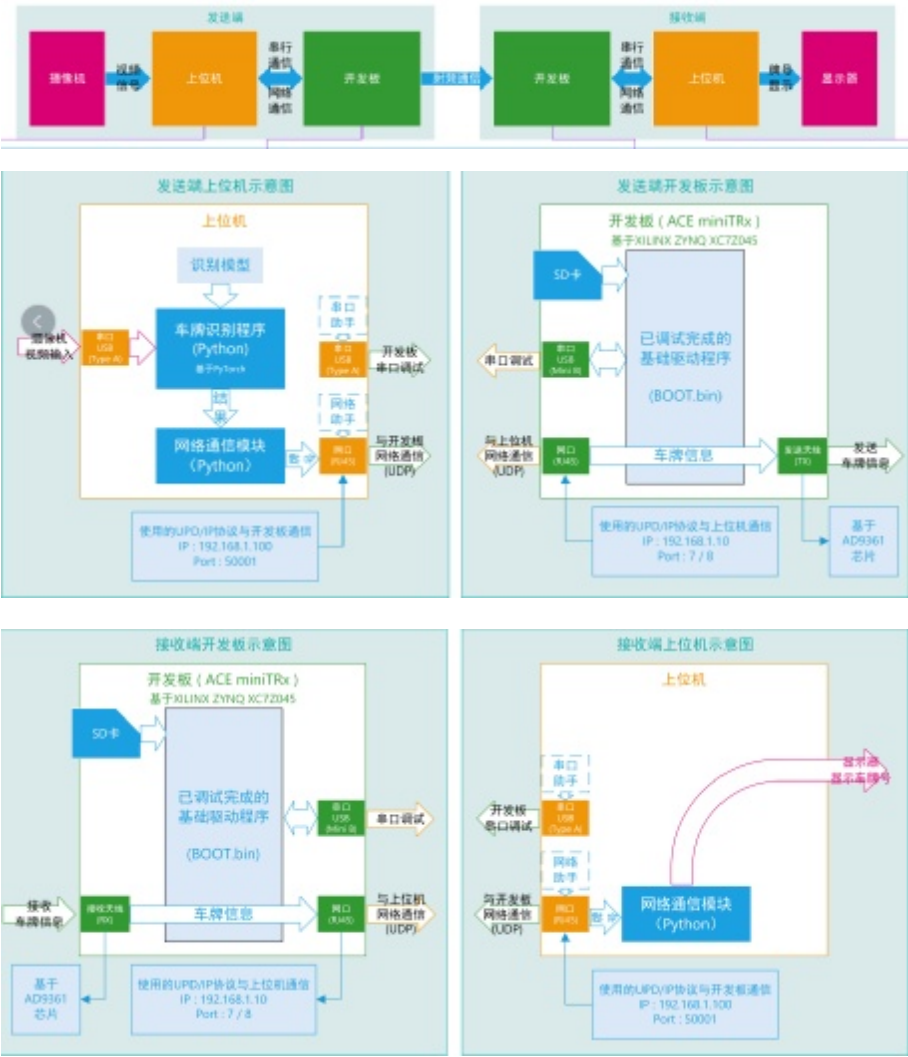
除此之外，本项目提供的方案受车辆种类、环境的影响较小，能够解决新建停车场的引导需求，也可解决旧停车场智能化改造难的问题，有较大的应用前景。

## 二、 项目内容

### 1. 功能和架构

本项目初步方案的整体架构是一张由若干个节点所组成的网，节点与节点之间通过下位机发送数据进行通信。

每一个节点，则由摄像头、显示屏、上位机和下位机组成，一个节点到另一个节点的通信方式如下图（仅表示了单方向）



其中，上位机的主要功能包括了读取摄像头采集到的图形信息并对其进行车牌号的识别，通过已知的车库信息给出合理的指向方向并显示到显示屏。

而下位机则是主要完成了消息转发与网络时间同步的这两部分功能，使用 UDP 协议通过网线与上位机进行本地通信。

在后续的开发中，项目也会完成上位机与下位机的功能进行集成，完成进一步的架构优化，控制成本。

## 2. 项目方案

本项目的总体设计思路从对车牌识别信息的转发出发，先设计了一套下位机的收发系统，而后完成的对于车牌的识别和基于上位机的信息转发方案，完成了项目的初步方案。

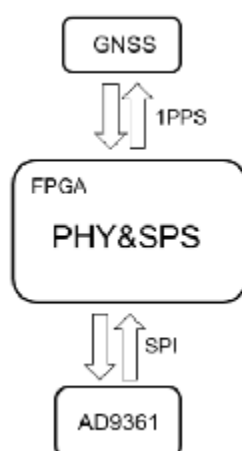
对于上位机的车牌识别功能，项目使用了 YOLO 模型、LPRNET 神经网络，这一组合能够有效地在低亮度环境下完成识别，YOLO 模型是当前主流模型，更新快，识别度高；LPRNET 神经网络较为轻便，适合进一步的嵌入式设计。

在下位机硬件选择方面，本系统依托 Xilinx XC7Z045FFG900-2 和 AD9361 的 FPGA 开发板实现了基于 3GPP 版本 14 的 LTE-V2X 车联网通信系统。FPGA 开发板实物图如图 2 所示。



图 2 开发板实物图

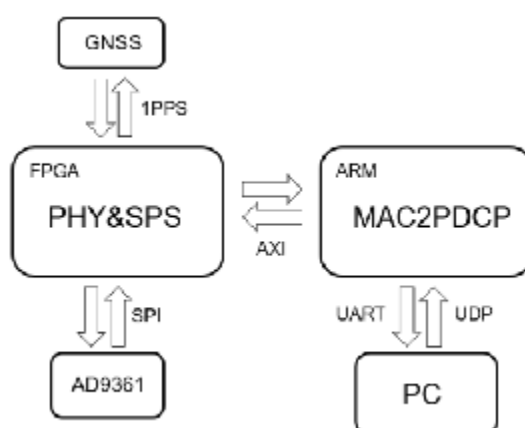
在 FPGA 侧，FPGA 主要实现了物理层全链路以及半持续性调度（Semi Persistent Scheduling，SPS）的功能，系统框图如图 3 所示。



**图 3 FPGA 侧系统框图**

其中 GNSS 模块提供稳定的 1PPS 脉冲以达到定时的目的。射频部分采用 AD9361 芯片，控制通路通过 SPI 和 FPGA 相连。

而 ARM 侧实现 MAC 层除 SPS 以外的功能和高层协议栈，和 FPGA 通过 AXI 总线连接。系统总框图如图 4 所示，上位机通过 UDP 包的方式传输 payload 至下位机，并且可以通过 UART 实时监测下位机的状态。



**图 4 系统总框图**

开发板概图如图 5 所示。

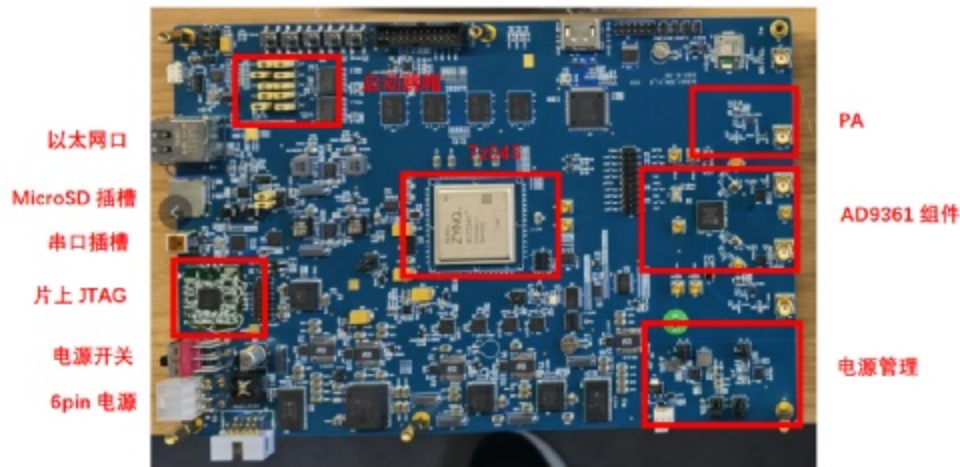


图 5 开发板概图

FPGA 架构图如图 6 所示。

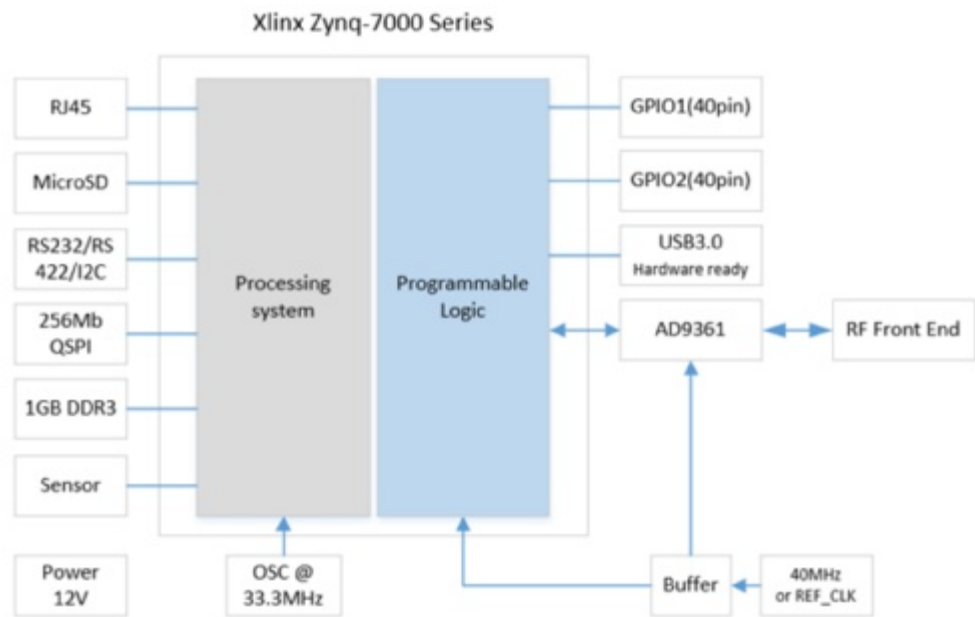


图 6 FPGA 架构图

网络架构方面，本项目各个节点之间的消息发送通过洪泛法进行实现，可以较好地完成信息的发送与转发，通过多个节点的转发，实现了网络信息的多跳。即使两节点距离较远，也可通过中间节点的转发收到彼此的消息。对于发送与转发的信息，本项目也在上位机制定了相关协议用于规范发送内容。而在资源需求方面，本项目需要一定

的频带用于多节点之间的发送。

本项目的整体业务流程如下：

- 1) 车辆在进入停车场后，位于停车场入口的节点通过摄像头捕捉到这一信息，上位机将识别到的车牌信息与本节点的位置信息通过下位机发送到可达的周围节点，周围节点收到信息后进行处理并完成转发，最终所有节点都会收到该车辆在停车场入口处这一信息。
- 2) 收到车辆的位置信息之后，每个节点根据已知的车位与周围环境信息做出判断，并给出前往最近停车位的一个方向指示。
- 3) 车辆到达第一个路口时，位于这一位置的节点同样通过摄像头捕获到这一车辆信息。此时这一节点同样会将这一车辆信息广播。与入口节点不同的是，该节点会将指示信息在显示屏上显示，此时车主即可按照显示屏上的指示行车。
- 4) 在之后的若干个节点，每个节点的显示屏会显示当前路口车主的行车方向（前进/左转/右转），车主只需跟从指令行车即可找到并进入车位，这一行为也会被系统检测到，并被广播到所有节点，完成节点对于停车场车位信息的更新。
- 5) 若有特殊情况发生，即车辆未按照指示行驶，那么该车辆必定会被未在规划路线上的节点检测到，此时这一节点同样会广播这样信息，其他节点在收到这一信息时，会重新计算最为恰当的终点车位和路径，并相应改变显示屏上的指示标志，实现动态的车辆引导。



本项目可应用于公共停车场的建设与智能化改造中，实现地下停车场的车辆引导功能，用以解决车主由于对环境陌生而找不到车位的问题，提高用户体验。

### 3. 项目特色

相比于传统的智慧停车系统，本项目有如下四点突出的核心技术创新点。

#### 1) 停车场的自动引导

本项目在部署后，在每个停车场中的交叉路口处都会设有一个节点，该节点由与路口道路数量相对应的摄像头和一块可自旋转的显示屏构成，摄像头负责感知是否有车辆到达该路口并对其车牌进行识别，根据该节点在整个停车场中的位置和系统已为该车辆分配的目标停车位，进行智能最短路径规划，给出对应的指示：前进/左转/右转/掉头，然后该信息会和车主的车牌信息一同显示在显示屏上，并旋转至车主所在方向。因此，对于车主来说，无需思考最终车位的位置或是驶至最终车位的路线，只要在每个路口按照指示方向行驶即可，可大大降低车主因对停车场的陌生而导致的绕路概率，提高停车效率。

#### 2) 使用自组织网络(Ad-Hoc)进行信息传输

自组织网络（Ad-Hoc Network）是一种无线通信网络，由一组临时性的节点组成，这些节点通过无线连接相互通信，而无需任何预先建立的基础设施或中央控制。每个节点在网络中具有相同的地位和功

能，可以充当数据传输的源头、中继节点或目标接收节点，实现数据的转发和路由。在本项目中，由于场景的复杂、不确定性，如地下停车库，若使用固定的通信网络，极有可能因某几个节点失效或移动导致整个通信网络的中断，因此我们使用自组织网络，发挥其独特优势。

#### a) 广分布性

随着时间的推移，停车场的面积越来越大，本项目所需的节点数量也大幅增加，因此需要一个极为庞大的通信网络。自组织网络可以扩展到大规模的节点数量，节点之间通过多跳路由进行通信。这种网络结构具有较强的抗干扰性和鲁棒性，即使部分节点失效或移动，网络仍能保持通信功能。

#### b) 自主性

当遇到部分节点失效或移动时，自组织网络有着迅速响应的能力，且这种响应是不需要管理人员的人工介入的。节点可以根据需要自动随时加入或退出网络，网络结构可以根据节点的位置和连接状态自动调整，以达到整个停车场通信顺畅的目的。

### 3) 目标车位的智能分配和路径的动态优化

在我们的日常生活停车经历中，决定最终车位位置的往往是我们要到达的目的地，比如：我们要前往 A 栋办公楼，便会偏向选择离 A 栋办公楼的直达电梯更近的空车位；我们要前往会使用手推车的大型超市，便会偏向选择离能承载手推车的斜坡式扶梯更近的空车位；如果是停车后前往地面，便会选择接近出口的空车位。因此若只是给车

主随机分配一个空车位而不考虑他的目的地，车主肯定更偏向于自己寻找理想车位而非听从自动指引，那么本项目存在的意义就被大大减弱。所以我们的系统会将车主的目的地也作为变量输入，力求规划出最便捷的目标车位，让车主感受其便利进而遵守我们的指引。具体的做法是，在入口第一个节点处让车主在触摸屏上选择他要前往的目的地，然后在目的地处进行辐射式搜索，找到直线距离最近的空车位进行引导。

另外，动态优化路径也是一个不可忽视的特色。当车主驶过节点但并未按照节点上的方向指引驾驶时，后一个节点的指引信息会随之改变，重新搜索是否有更为适合的空车位，并提供前往新车位的指引，同时更新数据库中的车位占有情况。总而言之，本系统旨在为车主提供最大便利，尽最大可能缩短车主到达最终目的地的时间。

#### 4) 支持弱 GPS 无 GPS 信号环境下的部署

传统的 C-V2X 标准中，融合了蜂窝通信与直通通信两种通信技术。该标准提供两种互补的通信模式：一种是直通模式，终端间通过直通链路（PC5 接口）进行数据传输，不经过基站，实现 V2V、V2I、V2P 等直通通信，支持蜂窝覆盖内和蜂窝覆盖外两种场景；另一种是蜂窝模式，沿用传统蜂窝通信模式，使用终端和基站之间的 Uu 接口实现 V2N 通信，并可实现基于基站的数据转发实现 V2V、V2I、V2P 通信。随着蜂窝移动通信系统从 4G 到 5G 的演进，C-V2X 又包括 LTE-V2X 和 NR-V2X。

在同步机制方面,为了减少系统干扰,实现全网统一定时,C-V2X支持基站、全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)、终端作为同步源的多源异构同步机制。由基站配置同步源和同步方式,覆盖外采用预配置方式确定同步源,以便实现全网统一的同步定时。

然而,实际情况是,本项目的实际部署场景是诸如地下停车场的弱GPS,甚至无GPS信号环境。这会对传统标准中同步机制产生影响。因此,针对这一点,本项目通过在自组网中自发广播同步信号(辅以相关的同步传输协议)的方法,来实现全网统一。这种方法有效摆脱了系统对于GPS信号的同步依赖性,这打破了本系统对于地点、天气等环境因素的局限性,使得大规模推广的合理性增大了。

## 5) 与网联自动驾驶的弱耦合性

在整个车路协同方向,网联自动驾驶也是一个极大的发展方向。在实际应用中,诸如本项目一类的智慧停车系统往往需要与网联自动驾驶相配合,共同构成整个车路协同模式。因此,两者之间的耦合性是一个潜在的问题。

实际情况是,许多传统智慧停车系统的耦合模式是:将整个路由信息,甚至于停车场车辆信息等与车内信息进行交互传输。这对于汽车本身存在要求。例如,针对不同品牌的汽车,即使使用的都是车联网技术,倾向于使用的通信方式与通信协议却不尽相同:目前全球存在两大通信技术标准流派:\*\*DSRC(专用短程通信技术)\*\*和C-V2X

（基于蜂窝技术的车联网通信）。DSRC 和 C-V2X 在工作原理上存在较大的差异。福特、奥迪、宝马本田等品牌选择 C-V2X 而丰田与通用联手，更倾向于 DSRC 技术。这就对系统的相互耦合提出了较高的要求，互相间属于强耦合模式。

相比于传统智慧停车系统的耦合模式，本系统可以尽可能做到与自动驾驶系统解耦。在实际过程中，本系统可以通过将指引驾驶员的路由信息显示在部署在节点处的荧屏上，而不需要将相关信息全部传输到车内，避免了与自动驾驶系统之间的直接强耦合。这让本项目在后续与其他系统合作时，有更轻便、更容易实现的特点。

### 三、 实用性分析

#### 1. 方案功能合理性、实用性

本项目目前处于实验室验证阶段，尚未进行大规模的实地部署，在此展示实验室基础布置，如下图所示。

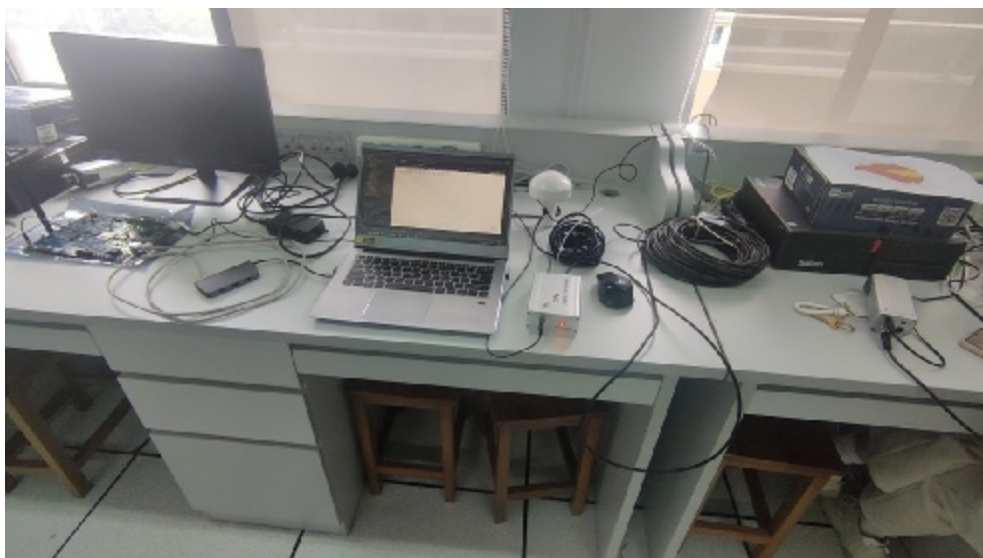


图 7 项目基础硬件

本项目对于社会而言，有诸多实际意义。

首先可以优化停车资源：本项目通过大数据分析结果，并可以合理并实时地调配并最大化利用现有的停车资源，能够有效缓解停车供需矛盾。

其次，本项目大大提高道路通行效率：本项目规范了路内停车秩序，满足市民短时停车需求；同时，引导长时停车进入，减少道路车流量，提高通行效率。

再次，本项目可以有效缓解行车隐患、打击交通违法行为：减少道路内无序停车、占道停车等违规现象，消除停车隐患，降低道路交通事故发生的几率。在监管方面，配合本项目的相关车牌识别工作，可以采取“静态交通+动态交通”监管相结合，精准打击肇事逃逸、抢劫、汽车盗窃、套牌车辆等违法犯罪行为。

## 2. 国家战略的支持

2014 年我国智慧停车发展步入 2.0 阶段，打通多停车场系统，实现 APP 引导用户停车，电子支付得到发展。自 2015 年后，我国停车产业政策密集出台。2016 年 5 月，停车场设施建设运营被写入“十三五”规划之中。2016 年 11 月，国家发展和改革委员会发布《关于开展城市停车场试点示范工作的通知》，重点提到了推动“互联网+停车”发展，通过国家政策、资金扶持大力引进社会资本，创新金融服务模式。

2019 年 7 月，中共中央政治局会议召开，释放出多个重磅信号。

在投资领域，会议提出要深入挖掘存量消费与投资，“城市停车场”作为补短板工程首次被提及，同时被提及的还有“信息网络”等新型基础设施建设，使人们对智慧停车产业再次关注，可以看出停车场行业的宏观政策力度在不断加强，有利于行业的持续健康发展。ETC 停车场作为 ETC 智慧城市的拓展模式之一，2020 年 12 月交通运输部发布的《关于开展 ETC 智慧停车城市建设试点工作的通知》中，确定了北京、确定北京、南京、深圳、杭州、合肥等 27 个城市作为 ETC 智慧停车试点城市，这是我国建设布局智慧停车的一大步。并且随着高位视频技术与 ETC 支付技术的不断融合，ETC 智慧停车也将得到快速发展。2021 年 5 月国家发展改革委员会等部门颁布的《关于推动城市停车设施发展意见的通知》，从更高政策层面规划停车行业发展，从保障基本停车需求、优化停车信息管理、推广智能化停车服务、鼓励停车资源共享、强化资金用地等政策保障等多方面进行明确的规划和部署，并为各项目标的落实明确具体的责任主体和落地要求。该通知的发布将进一步有力地促进停车场行业的持续发展。2022 年 1 月，国务院出台《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》提出加快智能技术深度推广应用，推动互联网、大数据、人工智能、区块链等新技术与交通行业深度融合，创新运营管理模式，推动智慧停车发展等。

由此可见，国家战略整个智慧停车行业的发展大为支持。而本项目在扩大内需方面做出了贡献。对于规模化生产与原材料角度，本项目对收发天线、图像识别设备有一定的需求，对于芯片市场有着较大的需求。

## 四、 商业分析

### 1. 市场分析

本项目目前尚未进入产品阶段，但本项目对于未来的产业化发展已有了清晰的分析与定位。

项目提供的是一种停车场的停车引导方案，从现如今高速发展的汽车产业与不断增加的汽车保有量来看，本项目未来产品的市场需求无疑是旺盛的且不断增加的。在一线城市中，智能停车引导并不罕见，因而可以成为未来本项目试点的目标，进行市场化的初步尝试。而在二线、三线、四五线城市的建设过程中，对于新建停车位的需求，则是本项目所主攻的一个方向。

对于规模化生产与原材料角度来看，本项目对收发天线、图像识别设备有一定的需求，对于芯片市场有着较大的需求。本项目的核心设备尚处于开发阶段，保留了更多有利于前期功能调试的模块，实际投产前仍需进行一定的调整，进行产品成本上的优化，届时仍需进行一定的市场化探索。

### 2. 商业模式分析

本项目的重心主要放在对于公共停车场，尤其针对大型商场与大型地下停车库的停车引导方面。不同于小区停车库的停车环境，车主在公共停车场对于车位与停车库环境是陌生的，因而就需要一套停车引导系统来提高停车效率，保障停车秩序，这也正是本项目所探索的



目标。

而本项目也有着潜在的竞争对手，包括部分已经投入使用的停车引导方案，其他尚处探索阶段的停车引导方案，以及人工的汽车引导方案。人工的汽车引导能够解决部分新手车主无法顺利进入停车位，因而，从停车库的整体体验角度出发，本项目无法完全取代人工，但可部分取代人工，并同时提高车库整体的运行效率。而相比于其他方案，本项目低耦合、自组网的特点也为大面积商业化的铺开奠定了基础。

盈利方式方面，本项目未来可以在授权、安装与维护这几方面进行商业探索。

## 五、 产业联动效应分析

本自动泊车系统与诸多产业存在着联动。

向上游考虑到供应方，本项目可以与诸多设备供应商完成联动，主要可分为硬件设备和软件设备。硬件设备包括了高清摄像头、嵌入式芯片、相关电子元器件、天线等设备；软件则包括信息处理和数据通信平台开发等。伴随着本项目在停车场的广泛部署，对于软件硬件设备的需求量都会极具增大，这无疑对这些相关设备提出了更大需求，与设备供应形成了产业链。

向下游考虑到方案需求方，主要为智慧停车方案的一些需求方，包括：政府、停车场商、车主等三类用户群体。根据数据显示，中国车主的停车需求远远大于中国实际的停车位数量，这导致了中国车主

停车难的问题。从 2016 年到 2021 年中国停车位数量与需求逐年增长。这正好为本项目提供了向下的市场环境，证明本项目能与需求方也形成产业联动效应，带动停车场商的发展。

## 六、 社会效益分析

首先，以自动停车综合管理和服务平台为中心，与相关停车场商共同形成停车产业化，带动停车产业发展，逐步建立起了以停车服务为主要业务的企业，深入停车服务产业，为智慧城市的发展提供了创新性的增长点。

其次，以本项目为实例的智慧停车是社会责任的体现。当停车问题从案例变得普遍，上升到社会问题时，考验的不仅仅是停车场管理方面的能力，更是政府的决策力。简而言之，停车管理不善，车主为难，政府难以取信于民，将成为城市交通建设中的一大障碍。而本项目若能大规模落实，可以有效解决城市中，尤其是诸如商场等地方的公共出行秩序。通过停车场的规划、审批、建设、运营、服务可以有效地快速发展停车行业。