



中国海洋大学
OCEAN UNIVERSITY OF CHINA

硕士学位论文

MASTER DISSERTATION

论文题目: 远程农业物联网监测原型系统的设计与实现

英文题目: Design and Implementation of Remote Agriculture IoT Monitoring Prototype System

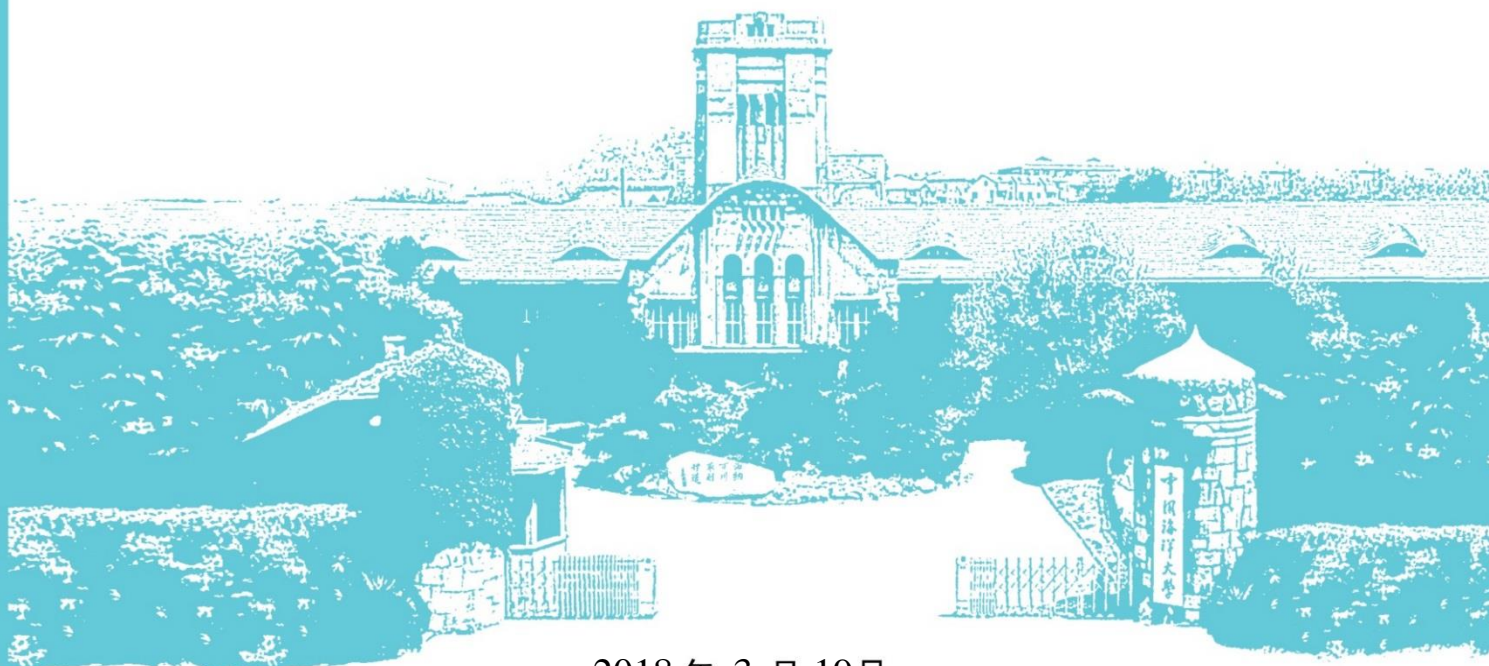
作者: XXXX

指导教师: XXXX

学位类别: 全日制专业学位

专业名称: 农业信息化

研究方向: 农业智能控制



2018 年 3 月 19 日

谨以此论文献给我的研究生时代

远程农业物联网监测原型系统的设计与实现

（该论文研究由国家自然科学基金 No.61379127 资助）

学位论文答辩日期：_____

指导教师签字：_____

答辩委员会成员签字：_____

独 创 声 明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含未获得（注：如没有其他需要特别声明的，本栏可空）或其他教育机构的学位或证书使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名： 签字日期： 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，并同意以下事项：

1. 学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。

2. 学校可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。同时授权清华大学“中国学术期刊(光盘版)电子杂志社”用于出版和编入 CNKI《中国知识资源总库》，授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：

导师签字：

签字日期： 年 月 日

签字日期： 年 月 日

远程农业物联网监测原型系统的设计与实现

摘 要

农业物联网技术是农业信息化的重要技术。但是，由于农业生产区域具有范围广、距离生活区距离远等特点，使得监测信息的传输成为目前农业物联网系统的关键问题。此外，随着图像和视频的智能处理技术的进步，农业视频监控系统具有广泛的应用前景。但是，视频监控产生的大量视频流数据，为农业物联网的传输问题提出了进一步挑战。

本文开展面向视频监控的远程农业物联网系统的研究工作，设计和实现包括前端结点、传输系统和后端应用服务器三个部分组成的远程物联网监测原型系统。其中，物联网前端结点采用 JetsonTK1 嵌入式开发平台作为核心平台，搭载摄像头获取视频信息，利用 OpenCV 实现逐帧差运动目标检测算法从视频流中筛选出关键图像，进而将相关图像压缩封装为 LoRa 帧。传输系统以远程低功耗通信技术 LoRa 为核心，在物联网前端结点通过将关键图像通过 LoRa 模块向后台服务器传输；后台服务器通过连接 LoRa 网关来获取关键图像数据。传输系统在前端结点和后台服务器运行本文设计实现的可靠滑动窗口协议，来确保关键图像传输的可靠性。后台服务器的主要功能是在收到关键图像数据后，还原并通过 Web 服务器页面的形式可视化关键图像，以便向农业从业者发出警报；同时，对相关图像进行存储。

这样，前端结点能够完成从视频流中筛选关键图像，降低传输的数据量，充分利用有限的 LoRa 带宽。在传输过程中，LoRa 技术能够降低前端结点的传输功耗；在 LoRa 的基础上增加可靠传输协议，能够保证关键图像到达应用服务器。因此，所实现的原型系统能够在满足一定的农业生产监测需求的要求下，保证前端结点的能耗开销低，从而延长整个系统的生命周期。

本文分别在农业种植区域和养殖场测试了所实现的远程农业物联网监测原型系统，通过进行后台服务器图像与原始视频流的比对，发现入侵检测的准确率为 93.2%。不同距离的多个部署点的功耗实验，验证了前端结点的功耗为 4.83W。实验结果显示所完成的农业物联网监测原型系统基本实现监测应用需求，并满足前端结点的低功耗开销约束。

关键词：农业物联网；LoRa；农业视频监控；JetsonTK1

Design and Implementation of Remote Agriculture IoT Monitoring Prototype System

Abstract

Agricultural IoT technology is one of important technologies for agricultural information. However, with the wide range of agricultural production areas and long distances between living areas and agricultural production areas, the transmission of monitoring information has become a key issue in the current agricultural IoT system. In addition, with the advancement of intelligent processing technologies for images and video, agricultural video surveillance systems have a wide range of application prospects. But, the large amount of video streaming data generated by video surveillance poses further challenges for the transmission of agricultural IoT.

This article carries out the research work of the remote agricultural IoT system for video surveillance, and designs and implements a remote IoT monitoring prototype system. This system is composed of three parts: front-end nodes, transmission systems, and back-end application servers. The front-end node uses the JetsonTK1 embedded development tools as the core platform, which is equipped with a camera to obtain video information. This node uses OpenCV Library to implement a frame-by-frame difference algorithm. This algorithm is used to screen out key images from the video stream. The node encapsulates the related images into LoRa frame when the image has been screened out. The transmission system uses LoRa, a remote low-power communication technology, as the core transmission technology. Through the LoRa module, key images are transmitted to the back-end server from the front-end node. The back-end server obtains key image data by connecting to the LoRa gateway. The transmission system runs the reliable sliding window protocol which designed and implemented in the front-end node and back-end server to ensure the reliability of key image's transmission. The background server restores and visualizes key images in the form of Web server pages after receiving key image data, and then the server alerts the agricultural practitioners.

In this way, the front-end node can complete screening of key images from the video stream, reduce the amount of data transmitted, and make full use of limited LoRa bandwidth. During the transmission process, LoRa technology can reduce transmission power consumption of front-end nodes and add a reliable transmission protocol based on LoRa, to ensure that key images can reach the application server. Therefore, the prototype system can meet the requirements of certain agricultural production monitoring, ensure that energy consumption of front-end nodes is low, and extend the life cycle of entire system.

This article tested the remote agricultural IoT monitoring prototype system which implemented in agricultural planting areas and farms respectively. By comparing the background server image with the original video stream, the intrusion detection accuracy rate was found to be 93.2%. Power consumption experiments for multiple points at different distances verified that power consumption of front-end node is

4.83W. The results of experiments show that agricultural IoT monitoring prototype system basically meets monitoring application requirements and the low-power overhead constraints of the front-end nodes.

Key Words: Agricultural Internet of Things; LoRa; Agriculture Video Surveillance; Jetson TK1

目 录

1 引言.....	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 研究现状概述	1
1.3 研究内容和主要工作	4
1.4 论文的组织结构	5
2 相关技术	6
2.1 LoRa 技术简介	6
2.2 Jetson TK1 平台简介.....	12
2.3 运动目标检测算法.....	15
2.4 本章小结.....	17
3 总体设计	18
2.1 应用场景	18
2.2 功能分析	19
2.3 设计原则	20
2.4 硬件选型	20
2.5 系统硬件连接	22
2.6 总体结构.....	24
2.7 本章小结.....	25
4 系统软件实现	26
4.1 关键图像采集	26
4.2 传输控制协议.....	31
4.3 服务器端软件实现:	37
4.4 本章小结.....	38
5 试验设计与分析	39
5.1 实验部署.....	39
5.2 实验结果评估.....	41

5.3	本章小结.....	48
6	总结与展望	50
6.1	总结.....	50
6.2	展望	51
	参考文献	52

1 引言

伴随着农业信息化的进程，农业技术取得了巨大进步，特别是在农业物联网领域，越来越多的新兴技术和新型工具进入到农业生产领域。与此同时，农业物联网技术也越来越智能化和集约化。低功耗广域网技术的诞生，为智慧农业打开一扇节能高效的大门。

1.1 研究背景及意义

农业信息化是指在农业生产、流通、消费以及农村社会、经济技术等各个具体环节全面地发展和应用现代信息技术，促进农业持续稳定发展的过程^[1]。世界农业信息化发展经历了科学计算、数据和知识处理、农业决策支持与自动控制的研究和开发等阶段^[2]；开始进入以物联网技术、“5S”技术、大数据与云计算技术为核心的“智慧农业”时代^[3]。“智慧农业”是指通过物联网技术获取农业生产的现场数据，经过对数据的分析处理得到有效的生产数据，从而对农业生产进行精确地指导。由于物联网技术是智慧农业系统的核心，因此也将智慧农业应用系统也称为农业物联网系统。

对于以物联网技术为主要信息获取手段的智慧农业系统来说，由于农业生产区域具有范围广、距离生活区距离远等特点，使得监测信息的传输成为构建农业物联网系统的关键问题。首先，由于覆盖范围大、距离长，因此农业物联网系统铺设有线网络成本太高。其次，使用现有蜂窝网络（Cellular）通信的话，物联网结点的能耗较高。在此，现有的无线通信技术，如 WLAN 和 Zigbee 虽然能靠结点组网进行数据低功耗传输，但是仍然面临农业生产区域距离数据使用区（通常部署在生活区）的服务器距离远的问题。

最近，远程低功耗通信技术的提出，为构建农业物联网系统提出了新的通信方式。本文致力于研究基于远程低功耗通信技术构建农业物联网监测系统，满足对于农业生产区域的监测需求。

1.2 研究现状概述

本章介绍农业信息化和农业物联网的技术现状，概述远距离低功耗通信技术的发展情况以及农业视频监控技术的研究现状。

1.2.1 农业信息化

在农业信息化的发展进程中，国内外的的发展并不同步。由于计算机技术的影响，欧美发达国家率先提出并逐步完善了农业信息体系。例如美国，作为智慧农业大国，早在 20 世纪八十年代就提出“精确农业”的构想，并不断研究发展，从而形成了如今世界领先的“智慧农业”水平^[4]。美国的农业生产借助物联网技术和大数据技术，实现了农产品生命周期和生产流程的数据共享和智能决策。比如，Farm Logs 公司通过云端分析，在其 Web 产品和移动端 App 上为用户提供农作物生产的智能预测和优化，同时为农场主提供及时准确的决策支持^[5]。CorpX 公司通过物联网技术，监控农田的环境信息，为用户提供可靠节能节水的灌溉、施肥、收割等农业生产方案^[6]。

我国在上世纪八十年代开始提出农业信息化，虽然起步较晚，但是在农业的各个方面都有较快发展，对农业产业化发展起到了巨大推动作用。蔡镔等通过测量棉花茎秆直径变化，使用 Zigbee 无线传感器网络技术设计实现了用于棉花的精准灌溉监控系统^[7-10]。该系统由无线监控系统和远程数据中心组成。监控系统监测棉花的茎秆变化，数据中心计算茎秆直径并针对茎秆直径提供精确的灌溉方案，从而达到节水增效的目的。

1.2.2 农业物联网

物联网的概念是由麻省理工学院的 Aston 教授于 1999 年提出的，用于智能化管理由 RFID 技术等传感技术通过互联网联系在一起的多种物品^[11]。而农业物联网则是指通过农业信息传感设备采集农业生产中的作物生长信息、环境因素、生产工具等相关信息，按照一定协议进行数据通信，实现农业生产过程的智能化管理的农业应用系统^[12]。农业物联网技术主要由三个部分组成，感知技术、通讯传输技术以及关键应用技术组成^[13]。

国外在物联网技术上由于其起步较早，整个农业系统信息化程度普遍偏高，因此国外物联网技术的发展主要集中在感知技术和通信技术上^[14]。相比较而言，国内的农业物联网技术则主要集中在探索关键性应用的阶段。随着国外技术的引入和国内技术的研发，国内外的差距也在逐步缩小。现在国内外在农业监控领域的发展主要有以下趋势：在感知技术方面，从传统的电化学传感器检测的温湿度、土壤酸碱度、空气CO₂含量等常规性物化环境指标逐渐向异物入侵、灾害检测等泛环境因素转变，例如图像、声音、光照等因素。

通讯技术的发展很大程度上推动农业信息化进程。从最早的有线网络到无线

网络的进步,使得农业监控的距离和领域不断扩展。而无线技术的进步也使得在对应不同环境和不同场景有了更多的选择,特别是在远程低功耗通信技术产生后,在农业物联网领域又有了新的技术手段。越来越多的农业物联网应用也在不断尝试使用该技术作为主要的通讯传输技术。

在关键性应用方面,国内外在不断开发新的应用场景的同时,也将向云计算和大数据方面进行部署。通过整合农业物联网中的应用数据,依托云平台的云计算资源,可以使农业监控系统更加高效稳定的运行。

1.2.3 远程低功耗通信技术

远程低功耗通信技术由于其传输距离远、功耗低等特点,已经应用于智能家居领域和智慧城市领域。LoRa 是由远程低功耗通信的代表^[15]。LoRa 融合了无线扩频、数字信号处理和前向纠错技术等数字通信技术,但传输中仅能较错,没有可靠传输的保障。其设计目的是完成远距离低功耗的无线信号传输,从而实现远距离、长电池寿命、大容量的物联网系统。

法国的 Actility 公司借助 LoRa 技术搭建的 ThingPark 平台,用于处理远距离低功耗小规模数据的传输,构建了智能停车系统^[16]。通过在停车场大量部署部署监控传感器,对汽车的行进状态进行感知和计算,从而准确为用户提供空停车位,停车线路规划等信息,有效的节省了用户找车位的时间和减少汽车尾气的排放。罗贵英等设计了基于 LoRa 技术的无线抄表系统,无需进入住户家中,仅仅进入入户小区即可获取该小区所有用户水电表数据^[17]。

1.2.4 农业视频监控技术

随着图像和视频的智能处理技术的进步,农业视频监控系统具有广泛的应用前景。比如,土壤和农作物的颜色可以表征土壤中的水或某些微量元素含量;通过图像目标识别技术来鉴别农业种植区域是否有人或动物甚至昆虫入侵等^[18-21]。

目前,受到通信技术的限制,农业视频监控大多部署于蔬菜大棚、养殖场等范围小,用电方便的场所。严春晨等通过 3G 网络监控蔬菜大棚的作物生长状况,并即时更新用户 App 中的作物信息,从而达到远程监控的目的^[22]。王磊等设计的农业病虫害智能视频检测系统,通过在蔬菜大棚部署多组视频检测设备,将图像传输到以太网进行数据分析处理,从中发现病虫害并及时处理,从而达到减少病虫害,保证作物产量的目的^[23]。

总结上述,虽然农业信息化特别是智慧农业系统已经得到了长足的发展,但是用于大范围农业种植区域的远距离传输的视频监测系统仍由于设计和实施。虽

然，远程低功耗技术能够满足远距离传输的要求，但是由于其本身的带宽低，如何低功耗的传输富含信息的视频或图像数据，就成了构建面向视频监控的远程农业物联网系统的关键问题。

针对上述问题，本文开展面向视频监控的远程农业物联网系统的研究工作，一方面，通过在物联网结点端筛选关键图像，在满足应用需求的条件下，充分利用有限的 LoRa 带宽；另一方面，在 LoRa 的基础上增加可靠传输协议，保证关键图像到达应用服务器。

1.3 研究内容和主要工作

本文研究和实现了基于 LoRa 技术面向农业视频监控需求的远程农业物联网监测系统，该系统的主要功能为通过物联网前端结点的摄像头采集农业生产区域的视频流，并在视频流中发现具有入侵特征的关键图像，以 LoRa 远程低功耗的通信方式并在保证可行性的要求下将关键图像传回后台服务器进行可视化。

本文实现的远程农业物联网监测系统包括物联网前端结点、传输系统和后端应用服务器三个组成部分。物联网前端结点采用 JetsonTK1 嵌入式开发平台作为核心平台，搭载摄像头获取视频信息，并利用 OpenCV 实现逐帧差运动目标检测算法从视频流中筛选出关键图像，进而将相关图像压缩封装为 LoRa 帧。传输系统在物联网前端结点通过将关键图像数据通过 LoRa 模块向后台服务器传输；后台服务器通过连接 LoRa 网关来获取关键图像数据。在前端结点和后台服务器通过运行所设计实现的可靠滑动窗口协议，来确保关键图像传输的可靠性。后台服务器的主要功能是在收到关键图像数据后，还原并通过 Web 服务器页面的形式可视化关键图像，以便向农业从业者发出警报；同时，对相关图像进行存储。

本文实现的远程农业物联网监测原型系统在作者家中的自有农田和集体的养殖场分别进行了部署实验，分别从入侵关键帧的获取率、物联网结点的前端能耗等方面进行了评估。

本文的主要工作为：

(1) 研究和分析了远程低功耗通信协议 LoRa，实现了 LoRa 数据的封装和解包以及基于 LoRa 函数包的远程数据传输。

(2) 研究和分析了基于视频的目标检测算法以及 JetsonTK1 嵌入式开发平台的使用，在 JetsonTK1 平台上实现了基于 OpenCV 的逐帧差关键图像筛选算法。

(3) 在 LoRa 协议的基础上，设计和实现了满足可靠传输的滑动窗口协议，运行在后端服务器和 JetsonTK1 平台上。

(4) 在农业种植区域和养殖场分别完成了本文实现的远程农业物联网原型系统的部署实验工作，对系统的有效性、能耗等指标进行了验证。

1.4 论文的组织结构

第一章阐述面向视频检测的远程农业物联网检测系统的选题背景，概述了农业信息化、智慧农业、农业物联网和农业视频监控系统的研究发展，提出了本文的主要研究内容，并总结了本文的主要研究工作。

第二章介绍所使用的相关技术，包括远程低功耗通信技术(LoRa)、Jetson TK1 嵌入式开发平台以及运动目标检测算法。

第三章在分析系统需求以及设计原则的基础上，进而完成设备选型和通信方式选择，实现系统硬件部分的连接，并总结了系统的整理结构。

第四章介绍系统的软件部分，详细介绍所设计实现的逐帧差运动目标检测算法、图像数据的封装相关实现和保证可靠传输的滑动窗口协议以及后端的图像恢复和报警显示。

第五章介绍所进行的部署实验，主要评估了入侵关键帧的获取率和物联网结点的前端能耗。

第六章对本文工作进行总结并提出展望。

2 相关技术

本章依次概述所使用的远距离低功耗通信技术 LoRa、用于构建感知处理前端的 JetsonTK1 平台和用于实现前端监控应用的运动目标检测算法。

2.1 LoRa 技术简介

LoRa 是由美国 Semtech 公司提出和推广的一种基于扩频技术的超远距离无线传输方案^[24]。LoRa 的设计目的是实现远距离低功耗的无线信号传输，从而在此基础上构建实现远距离、长电池寿命、大容量的物联网系统。LoRa 技术融合了无线扩频、数字信号处理和前向纠错技术等数字通信技术。表 2-1 总结了 LoRa 与其他无线技术的比较。

表 2-1 常见无线技术主要特性比较

技术名称	802.11a	WLAN	ZigBee	LTE-m	SigFox	LoRa
工作频段	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	970MHz	868MHz/ 902MHz	433MHz/ 915MHz
灵敏度 /dBm	-106	-92	-100	-117	-126	-142
连接预算 /dB	126	112	108	147	146	163
室外传输 距离/m	700	200	150	1700	2000	3000
传输速率	100k	6M	250k	1M	600	37.5k
发送开销	300mA 20dBm	350mA 20dBm	35mA 8dBm	800mA 30dBm	120mA 20dBm	120mA 20dBm
接收开销	50mA	70mA	26mA	50mA	10mA	10mA
电池寿命 2000mAh				18 个月	90 个月	105 个月
定位距离	NULL	1-5m	NULL	200m	NULL	10-20m
抗干扰能力	中等	中等	差	中等	差	良好
网络拓扑	星型	星型	网状	星型	星型	星型

如表 2-1 所示, LoRa 工作在非授权的 ISM 频段, 具有一定自主性。虽然 LoRa 传输速率上略低, 仅有最高 37.5kbps, 但其在传输距离和功耗上的优势不可比拟, 加之有较高的接收灵敏度和链接预算, 使得 LoRa 在无线应用领域具有较强的竞争力。

2.1.1 LoRa 调制

LoRa 使用无线扩频技术提高了网络通信的抗干扰能力, 使得通信质量得以保证。LoRa 调制技术是 Semtech 公司研发的专利技术。LoRa 在调制过程中通过改进线性调频扩频 (CSS) 技术完成对信号的调制工作。LoRa 芯片发送的信号在时域上是恒包络的, 可称为 Chirp 信号。Chirp 信号为正弦波信号, 它的瞬时频率在时域上呈现线性的变化。Chirp 通过对载波频率进行调制以增加信号的发射带宽, 并在接收时实现脉冲压缩。Chirp 信号在时域的表达如公式 (1) 所示。

$$x(t) = A \cos \left[2\pi \left(f_0 t + \frac{k}{2} t^2 \right) \right], \quad -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \quad (1)$$

其中 A 为调制信号的振幅, f_0 为调制信号的载波中心频率, k 为信号调制的频率偏斜, k 的取值决定了 Chirp 的调制模式。 k 为正时, 表示升频调制, k 为负时表示降频调制。

Chirp 的带宽 W 与信号周期 T 的关系可表示为 $W=kT$, 因此, Chirp 的时间带宽积可表示为:

$$WT = kT^2 = \frac{W^2}{k} \quad (2)$$

Chirp 信号在匹配滤波器中的时域冲击响应如下:

$$h(t) = x(-t) = \cos \left[2\pi \left(f_0(t - t_0) + \frac{k}{2}(t - t_0)^2 \right) \right] \quad (3)$$

Chirp 信号经过滤波器之后的输出信号 $G_x(t)$ 在时域上表示为^[25]:

$$G_x(t) = \sqrt{WT} \cos \left[2\pi f_0 t - \frac{\sin(\pi k t (T - |t|))}{\pi W t} \right] \quad (4)$$

因此, 滤波后的输出信号 $G_x(t)$ 的主瓣宽度为:

$$\frac{2}{W} = \frac{2}{\sqrt{kWT}} \quad (5)$$

主瓣峰值为 \sqrt{WT} 。由于 Chirp 的时间带宽积 \sqrt{WT} 远大于 1，在传输过程中易得到较大的主瓣峰值和较小的主瓣宽度，从而提高了传输的抗干扰能力。

LoRa 调制过程需要确定四个主要参数：载波频率（CF），信号带宽（BW），扩频因子（SF）和编码速率（CR），这四个参数影响了 LoRa 网络传输过程中的能量消耗、传输距离、输出速率、抗干扰能力和解码的难易程度。

Semtech 公司研发的 LoRa 产品的载波频率 CF 主要有 433MHz、470MHz、868MHz 和 915MHz 四个频段。这四个频段都是非注册的 ISM 频段。LoRa 产品的信号带宽 BW 有 7.8kHz、15.6kHz、31.2kHz、62.5kHz、125kHz、250kHz、500kHz 以及 10.4kHz、20.8kHz、41.7kHz 等 10 种选择。LoRa 的扩频因子 SF 取值范围为 6~12，扩频因子为 6 时，LoRa 的传输速率最快。由于 LoRa 使用循环纠错编码进行前向校验和纠错，其编码速率 CR 为 $4/(4+n)$ 。 n 的取值范围为 1~4，额外开销随着 n 的取值而增大或减小。

在这些参数中，信号带宽 BW 是最为重要的。 BW 在数值上与 LoRa 的 Chirp 速率一致，即每秒每赫兹的带宽发送一个 Chirp 信号。一个 LoRa 符号由 2^{SF} 个 Chirp 组成，有效编码了 SF 个比特信息。 SF 每增加“1”，chirp 的频率跨度就会减半，而其持续的时间则会加倍。 SF 的改变并不会导致比特速率的降低，因为每个符号会根据 SF 的变化增加或减少一个比特的信息。对于给定 SF ，符号速率和比特速率正比于 BW ， BW 扩大一倍，这两者都会增加一倍。记 LoRa 编码的符号速率为 R_s ，有效数据比特率为 R_b ，经过调制和扩频后的码片速率为 R_c ，则三者的关系公式如下：

$$R_s = \frac{1}{T_s} = \frac{BW}{2^{SF}} \quad (6)$$

$$R_c = R_s \times 2^{SF} = \frac{BW}{2^{SF}} \times 2^{SF} = BW \quad (7)$$

$$R_b = SF \times \frac{BW}{2^{SF}} \times CR \quad (8)$$

由以上公式可知，编码的有效比特率 R_b 与信号带宽 BW 和编码速率 CR 成正比，与扩频因子 SF 成反比。一般来说， BW 的增加会降低接收机灵敏度，而 SF 增加则会提高接收机的灵敏度。降低 CR 有助于减少短脉冲干扰导致的误包率，即 CR 为 4/8 时的传输比 CR 为 4/5 时的传输更具抗干扰性^[26]。

2.1.2 LoRaWAN 协议简介

LoRaWAN 协议定义了 LoRa 物理层支持的远距离传输网络的系统构架和交互协议^[27]，使得支持 LoRa 调制的终端可以和基站之间的进行通信。LoRaWAN 数据帧结构如图 2-1 所示。

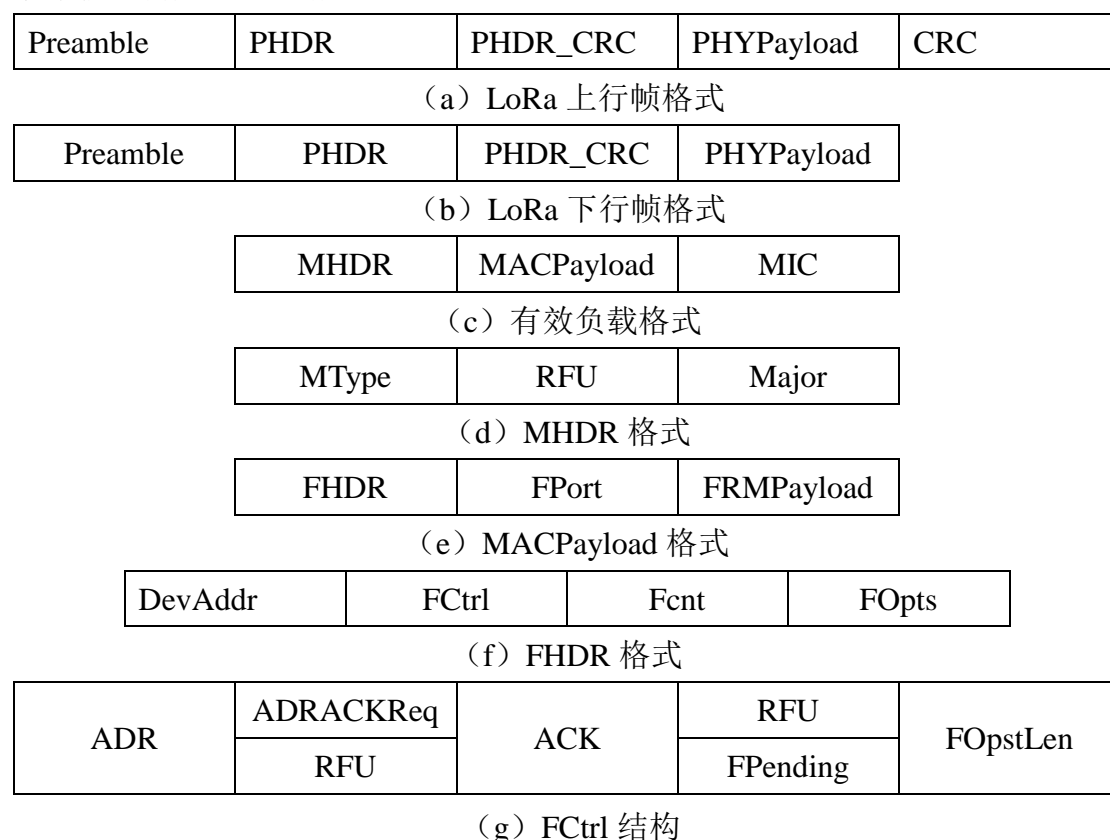


图 2-1 LoRa 帧结构

上行帧是 LoRa 数据帧基本结构，其格式如图 2-1 (a) 所示，包含了前导码 (Preamble)、物理帧头 (PHDR)、循环冗余校验 (CRC) 以及有效负载 (PHYPayload)。由于上行帧是终端发送给网络服务器，中间可能使用其他终端或者网关进行数据转发，因此上行数据必须带有循环冗余校验码 CRC，以保证有效负载 PHYPayload 的完整性。

LoRaWAN 的下行帧结构如图 2-1 (b) 所示下行帧是由网络服务器发送给唯一终端的，因此不需要使用 CRC 进行校验。

帧结构中的有效负载 PHYPayload 内容格式如图 2-1 (c) 所示，其中包含媒体接入控制首部 MHDR，MAC 的有效负载 MACPayload (MAC 帧) 以及消息完整性代码 MIC；

MHDR 的格式如如图 2-1 (d) 所示，MHDR 标注了 MAC 帧的类型 MType 和版本号 Major，以及保留域 RFU。LoRaWAN 的 MAC 帧有 6 中类型，其中用

于空中激活 (OTAA, Over-The-Air Activation) 的接入请求消息 (join-request) 和接入准许消息 (join-accept) 以及 4 种数据消息。

MAC 有效负载 MACPayload 的格式如图 2-1 (e) 所示, MACPayload 包含帧头 FHDR, 传输端口 FPort 和帧负载 FRMPayload。其中, FHDR 作为帧首部, FPort 指明帧传输的端口域。帧负载 FRMPayload, 使用 AES-128 加密, 用于承载具体的应用数据或者媒体接入命令。

数据帧首部 FHDR 的格式如图 2-1 (f) 所示, FHDR 包含了设备地址 DevAddr、帧控制命令 FCtrl、帧计数器 Fcnt、帧选项 FOpts 四个部分。帧计数器 Fcnt 只计算新传数据, 分为 Fcnt_Up 和 Fcnt_Down 两项, 分别计数上行帧和下行帧。每有数据上行, 则 Fcnt_Up 加 1, 每有数据下行, 则 Fcnt_Down 加 1。帧选项 FOpts 用于捎带媒体接入命令等附加信息。

在 FHDR 中帧控制命令 FCtrl 的上下行数据中有所不同, 其格式如图 2-1 (g) 所示, ADR 表示自适应数据速率, 用来调节终端速率。终端应尽量使用 ADR, 以延长电池寿命并最大化网络容量。帧悬挂 FPending, 只用于下行, 表示 Gateway 还有信息要发给终端, 因此要求终端尽快发送一个上行帧来打开接收窗口。

针对不同的应用终端, LoRaWAN 有三种工作模式, 分别是应用于双向传输终端的 Class A, 这是最基础的应用; 应用于划定接收时隙的双向传输终端的 Class B, 以及最大化接收时隙的双向传输终端的 Class C。后面两类都是对 Class A 的改善。LoRaWAN 要求所有的 LoRa 终端必须至少实现支持 Class A。

Class A 的终端在每次上行后都会紧跟两个短暂的下行接收窗口, 以此实现双向传输。传输时隙是由终端在有传输需要时安排, 附加一定的随机延时 (即 ALOHA 协议)。这种 Class A 操作是最省电的, 要求应用在终端上行传输后的很短时间内进行服务器的下行传输。服务器在其他任何时间进行的下行传输都得等终端的下一次上行。Class B 的终端会有更多的接收时隙。除了 Class A 的随机接收窗口, Class B 设备还会在指定时间打开别的接收窗口。为了让终端可以在指定时间打开接收窗口, 终端需要从网关接收时间同步的信标 Beacon。这使得服务器可以知道终端正在监听。Class C 的终端基本是一直打开着接收窗口, 只在发送时短暂关闭。Class C 的终端会比 Class A 和 Class B 更加耗电, 但同时从服务器下发给终端的时延也是最短的。

2.1.3 LoRa 网络构架

LoRaWAN 的网络是典型的星形网络, 其网络拓扑结构如图 2-1 所示。其中, 网关担负着终端设备和中心服务器的信息传递工作。网关通过标准 IP 协议与服

务器相连，终端设备通过 LoRa 调制或者 FSK 与网关相连，它们之间可以双向通信，但更多的是上行通信。LoRaWAN 一般不支持终端到终端的通信，如有需要，则必须通过网关和基站进行。

2.1.4 LoRa 模块和 LoRa 基站

LoRa 模块和 LoRa 基站是以 SX1278 射频收发器为核心的数据传输控制模块。SX1278 采用 LoRa 调制技术，接收灵敏度高，抗干扰能力强。支持标准的 GFSK、FSK、OOK、GMSK 调制模式。SX1278 信号带宽 BW 范围 7.8-500KHz，扩频因子 SF 取值范围为 6-12，支持低功率大范围的收发，接收灵敏度 -148dBm，最大链路预算为 168dB，接收电流 9.9mA，寄存器保存电流 200nA。

LoRa 模块作为应用于终端设备的 LoRa 网络接入部件，充分挖掘 SX1278 芯片的中频扩频功，完成 LoRa 网络的接入以及数据传输。其额定工作电压 3.3V，工作频率为 433MHz。将符合 LoRa 传输协议的数据帧通过 RXD 端输入，LoRa 模块可通过天线将 LoRa 数据发送出去。

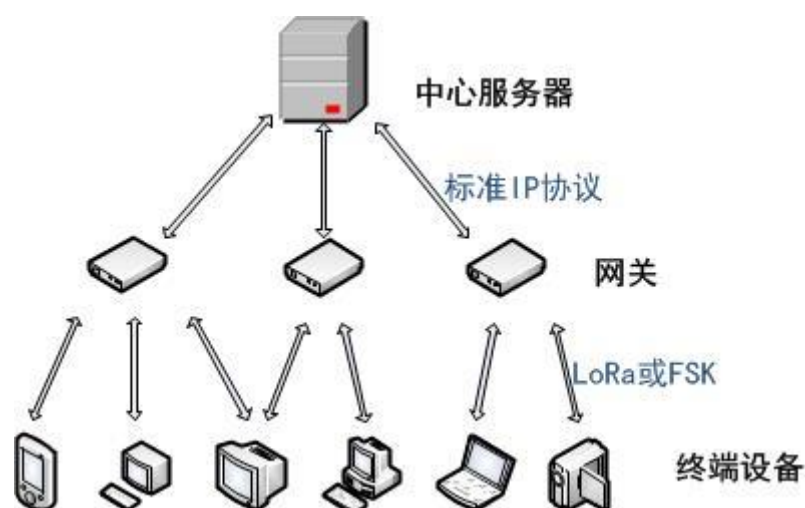


图 2- 2 LoRaWAN 网络构架图

LoRa 模块使用载板将 SX1278 芯片固定，并通过 MSP430G2755 芯片作为 MCU 进行协议控制。载板设计图如图 2-所示。各引脚定义如下：VCC：3.3V 接入电源；GND：电源接地引脚；TCK：系统时钟；RST：复位引脚；IO1-IO3：中断引脚；TXD：信号发送端；RXD：信号接收端；GND：信号源地线；LoRa_ANT：天线接口；

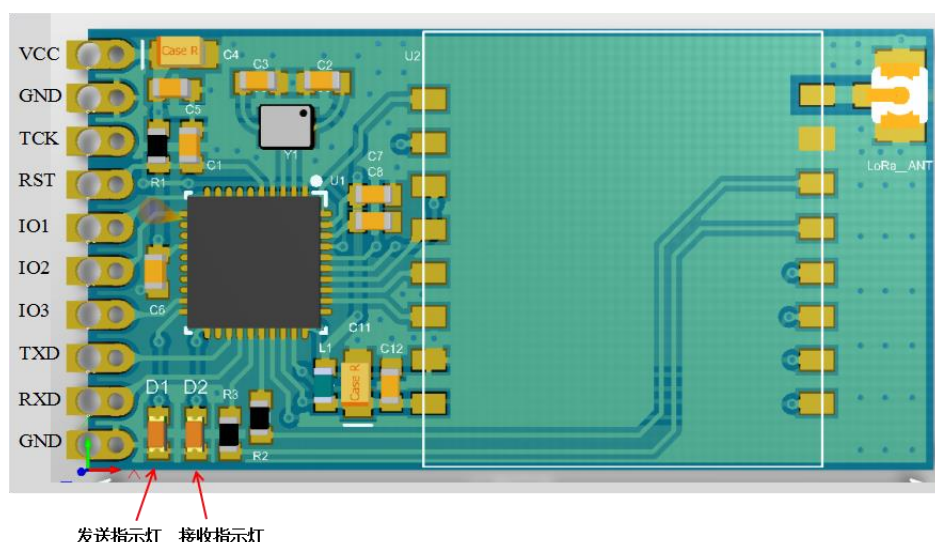


图 2-3 LoRa 模块载板示意图

LoRa 网关核心仍为 SX1278 芯片，如图 2-4 所示，网关在板载上与 LoRa 模块略有不同。除了提供必要的外接口，如 RS232，RS485 以及 12V 电源接口外还预留了 GPRS 模组的位置，用于将网关数据通过 GPRS 传输到在线云平台。此外，进行传输控制的 MSP430G2755 芯片中的控制协议也是 LoRa 协议的网关版本。LoRa 的低功耗远距离传输能力以及灵活的帧结构，保障了本文完成的农业物联网监测系统的前端设备和后端服务器的低功耗远距离通信。但是，由于 LoRa 协议本身仅有数据包检验功能，没有保障数据传输可靠性的协议设计，因此本文在传输系统的实现上，设计并实现了类似 TCP 协议的可靠传输控制的滑动窗口协议。

2.2 Jetson TK1 平台简介

Jetson TK1 是 NVIDIA 公司推出的第一代 Linux 嵌入式平台。Jetson TK1 使



图 2-4 LoRa 网关内部示意图

用 Tegra K1 SOC, 将 CPU、GPU 和 ISP 集成到单芯片上, 以实现低功耗与 GPU 加速的功能。

Tegra K1 是 NVIDIA 第一款拥有与现代台式计算机的 GPU 相同的高级功能和架构的低功耗嵌入式移动处理器。Tegra K1 允许嵌入式设备使用与台式设备完全相同的 CUDA 代码, 降低了代码的移植难度。

Tegra K1 配备的 GPU 型号为 GK20a, 该 GPU 包含 192 个 SM3.2 CUDA 内核, 能够支持 OpenCV 等图像处理工具; CPU 型号为 2.32GHz 的四核 ARM Cortex-A15, 能够快速完成数据处理任务。Jetson TK1 使用 64 位数据宽度的 2 GB 内存。板载存储器为 16G 的 eMMC 存储器, 能够完成大量数据的存储工作。

图 2-5 为 Jetson TK1 平台的照片图 2-5 Jetson Tegra K1 接口示意图配备了丰富的接口, 用于进行系统的外设扩展。相关接口包括: 一个通用 USB2.0/USB3.0 接口, 支持 USB Hub 扩展, 可以用于与多个设备连接, 用于数据通信和电能供给; 一个 HDMI 高清图像输出接口, 可用于图像的输出显示; 一个 JTAG 接口, 可用于升级维护现有的软件; 一个 PCIe 接口, 可用于连接 Ethernet; 一个通用 CD card 插口, 可用于扩充存储。Jetson TK1 的供电可通过配备一个 12V 直流圆桶电源插孔或一组 4 针的 PC IDE 电源连接器完成, 为系统提供 12V 的直流电源。

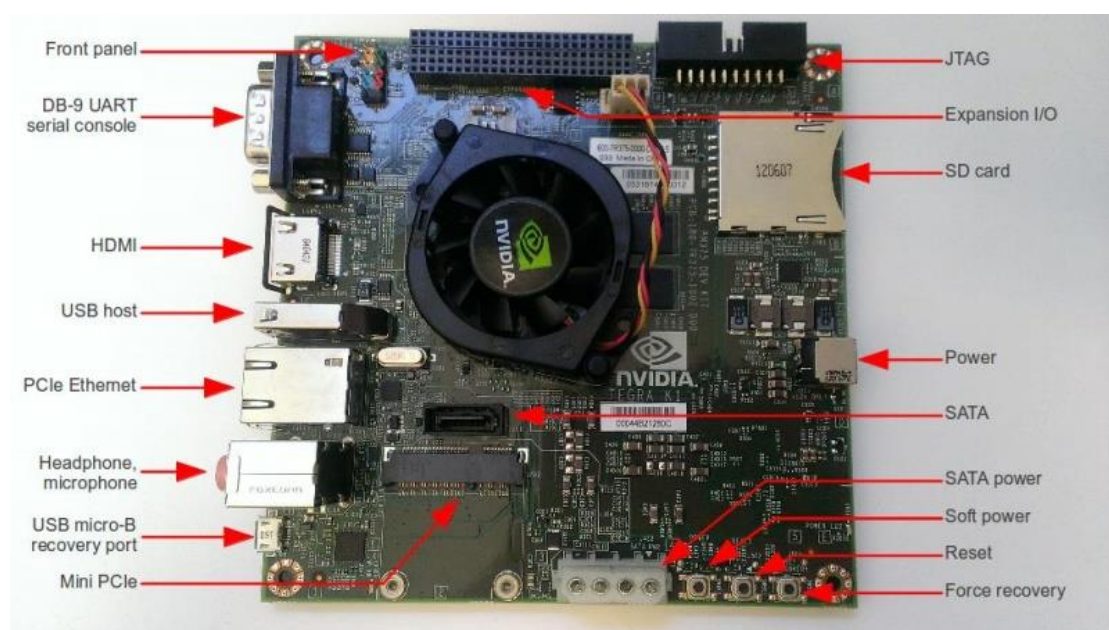


图 2-5 Jetson TK1 接口示意图

Jetson TK1 针对图像和视频应用了提供用于 GPU 硬件加速的 API，主要包含以下函数库：

(1) CUDA 6.0 SM3.2 版本。该 CUDA 版本与桌面版本的 SM3.5 相似，是一种由 NVIDIA 推出的通用并行计算架构。该架构使 GPU 能够代替 CPU 解决复杂的计算问题。CUDA 包含了 CUDA 指令集架构以及 GPU 内部的并行计算引擎。

(2) OpenGL 4.4 版本以及 OpenGL ES 3.1 版本。OpenGL 定义了一个跨编程语言、跨平台的符合编程接口规格的专业图形程序接口。OpenGL 主要用于三维图像，是一个具有强大功能且方便调用底层图形库。

(3) OpenMAX IL 多媒体编解码器，是优化 CUDA 优化的 NVIDIA 性能基元。

(4) OpenCV4Tegra 是开源的计算机视觉函数库，包含 NEON、GLSL 和四核 CPU 优化的图像处理函数，包含了许多计算机视觉，图像处理和机器学习的算法。

(5) VisionWorks，是 NVIDIA 提供的用于计算机视觉和图形图像处理开发工具包。

Jetson TK1 提供的 GPU 加速运算能力和丰富的函数库保障了本文完成的农业物联网监测系统的前端设备的视频数据处理能力。此外，丰富的扩展接口可在未来进一步部署多种传感器，完成多要素的监测应用。

2.3 运动目标检测算法

为了降低本文提出的农业物联网监测系统的前端设备的能耗，必须减少由前端向后端服务器进行传输的数据量，从而降低作为前端设备的主要能耗的传输能耗。因此，前端设备必须具备一定的视频处理能力，能够从摄像头采集的视频中捕获关键图像帧，然后将该帧压缩传输给后台服务器。

本节针对该应用需求，总结了可在前端平台采用的基于视频的运动目标检测算法，包括逐帧差法、背景差分法、光流法、Vibe 算法以及混合高斯模型算法（GMM）等。

逐帧差法，也叫帧间差分法，是通过对比当前帧与前一帧在灰度图上作差分运算，求取两帧图像灰度差的绝对值，从而判断物体移动的位置轮廓和路径等信息^[28]。通过差分运算，静止的物体在差值图像上表现出来为黑色，即数值为 0，而移动物体由于存在灰度变化为亮色，数值为 1。逐帧差法优点是算法简单，容易实现，能够满足实时性需求。逐帧差法受到两帧间隔的影响，会产生一定误差。

背景差分法，是基于背景模型的运动目标检测算法^[29]。背景差分算法通过对静止背景进行分割，将当前图像帧与背景图像做差分运算得到目标运动区域的灰度图。通过对灰度图进行阈值化处理，从而获得当前运动区域。背景图像通过不断根据当前图像帧进行更新，从而达到排除光照变化等背景大幅度变化的目的。背景差分法的优点是计算简单，但是在背景建模的过程中，如果背景图像更新过快，会出现重叠现象而使得该方法无法正确获得运动目标。

光流法，最早由 Gibson 和 Wallach 等学者提出^[30]，用于解决空间三维物体在二维图像上投影的运动模型。光流法的基本原理是：在图像中建立一个包含各个运动像素的图像运动光流场，其中的每个元素为该像素点的速度矢量。在光流场中由投影关系得到某一特点时刻下图像中三维物体一一对应的点。动态分析光流场中各个像素点的速度矢量特征，我们可以完成对图像的处理。当光流场中的存在部分像素的速度矢量和邻域背景速度矢量不一致时，我们可以判断出这部分像素对应的物体正在运动过程中。根据运这种光流场的变化，我们可以计算出运动的物体及其位置等信息。光流法在运行中需要进行大量的迭代运算，迭代次数越高，算法精度就会越大。该算法复杂度会随着迭代次数的增加而不断加大，因此在实际应用中不能完成实时性的计算并且对设备的硬件要求较高。

Vibe 算法，是一种基于像素的背景建模或前景检测的算法^[31]。Vibe 算法主要利用单帧图像序列对背景模型进行初始化初始。在视频中的每一个像素点，与相邻像素进行比较会发现拥有相近像素值的空间分布特性。因此 Vibe 算法随机的选择一点的邻域点的像素值作为它的模型样本值。与其他算法相比，Vibe 算法主

要是背景更新策略与其他算法不同。**Vibe** 算法采用随机选择的方式获取需要替换的像素的样本,通过空间和时间上的随机选择邻域像素进行更新。因此在无法确定像素变化的模型时,采用随机的更新策略,在一定程度上可以模拟像素在时间或空间上变化的不确定性。**Vibe** 算法的优点是实时性高,内存占用率低。但是如果将运动物体的像素纳入初始化,会在后面的计算中产生拖影区域,从而影响算法运行。

混合高斯模型 (**GMM**),将当前图像帧与背景模型进行对比,选取和背景模型相似度比较高的点作为新的背景模型中的点^[32]。将与背景模型对比相似度比较低的点作为前景,在使用形态学的方式对前景图像进行滤波降噪,从而提取出目标图像。混合高斯模型由一般 3 到 5 个单高斯模型加权组成,在获取新的图像帧后,如果当前帧中的某一像素点与该像素的某一单高斯模型匹配度较高,则将该点视为背景点,同时更新所有的单高斯模型。如果匹配度较低,则将其视为前景点^[33]。混合高斯模型的优点是采用统计的方式建模,准确率较高。但是算法需要对每一个像素点进行多次匹配,从而使得算法的计算量加大,增加了运行时间。

表 2-2 5 种运动目标算法比较

算法	运算结果	算法复杂度	鲁棒性	实时性	适用场景
逐帧差法	运动目标的外轮廓	低	好	好	摄像头固定
背景差分法	运动目标的整个区域	低	较好	好	摄像头固定
光流法	运动目标的整个区域	高	差	差	摄像头动静皆可,无关背景
Vibe 算法	运动目标的整个区域	较高	较好	较好	摄像头固定
混合高斯模型	运动目标的整个区域	较高	较好	较好	摄像头固定

表 2-2 总结和比较了上述 5 种运动目标检测算法的主要特点。在运算结果方面,除了逐帧差法,其他算法的运算结果都是面向整个运动区域。在复杂度来方面,光流法算法复杂度最高,背景差分法和逐帧差法相对低。对于应用场景,光流法可以胜任摄像头固定和运动的场景,而其他算法则都是面向摄像头固定的场景。在算法的鲁棒性上,逐帧差法具有最好的鲁棒性,而其他算法稍差,光流法最差。针对远程农业物联网监测系统的应用需求,本文最终选择了逐帧差检测方

法作为前端设备的视频处理方法，具体的选择理由参见下章的总体设计部分。

2.4 本章小结

本章介绍 LoRa 技术的信号调制、LoRaWAN 协议、LoRa 模块和基站的物理架构，然后介绍了 Jetson TK1 平台的物理组成和相关接口以及其支持的硬件加速 API，最后对用于运动目标检测图像处理算法概述和比较。

3 总体设计

本章介绍系统的总体设计和硬件选型与连接方案。本节首先介绍远程农业物联网系统的应用场景；然后针对应用场景进行功能分析，总结设计原则；进而说明硬件设备和通信系统的选型与连接，最后总结系统的总体结构。

3.1 应用场景

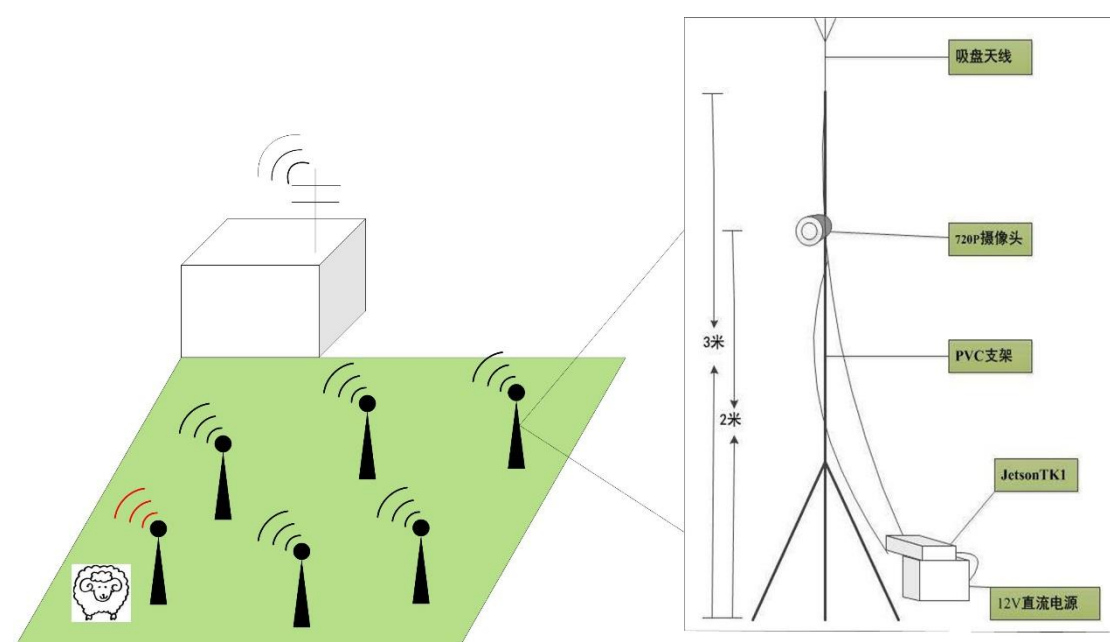


图 3-1 远程农业物联网监测系统典型应用场景

随着我国农业生产机械和信息化程度以及环境保护意识的提高，农业种植和养殖均出现了规模化的趋势，使得农业种植和养殖区域出现面积增大并且远离农业人员生活区的特征^[34]。本文提出的远程农业物联网监测应用系统以远离农业生活区的农业种植和生产的监测需要为出发点，拟采用远程通信技术解决农业生产区域大和前端物联网结点远离后台应用服务器的通信需求。

图 3-1 显示了本文提出的远程农业物联网监测系统的典型应用场景。在农业种植区域部署了物联网系统的前端设备；在靠近农业工作人员的生活区域位置部署了后台应用服务器；前端设备 and 应用服务器之间通过具有远距离通信能力的传输系统完成数据通信。

物联网的前端结点搭载多种传感器如土壤湿度、温度、营养度传感器部署到大规模农田中，用于采集农田的基本信息。随着图像和视频的智能处理技术的进步，搭载摄像头所采集的视频流，将包括丰富的应用信息，可以用于后台应用服务的智能分析。比如，通过分析土壤和农作物的颜色变化来判断农田是否缺水，

或是否缺乏某种微量元素；通过图像目标识别，可以发现是否有人或者动物进入农业种植区域，或者分析相关区域的农作物病虫害的种类数量等。因此，图 3-1 中显示的前端设备搭载了摄像头。

物联网的后台应用服务器接收来自前端设备采集的传感器信号，并进行智能处理，以实现特定的农业应用系统。

传输系统不仅要解决前端结点和后台服务器的数据通信问题，还需要解决传输过程中的低功耗问题。由于前端结点部署在大规模的农业种植区域中，无法采用电缆供电，因此前端结点在通信过程中必须满足节能的要求，才能延长整个物联网系统的生命周期。要节省前端结点的数据传输能耗，一方面要降低数据传输过程中的能耗，即采用低功耗的远程数据传输系统；另一方面，要降低传输数据的量，即前端结点要有一定的智能处理能力，能够根据应用需求挑选出监测获取的关键数据，将该部分数据传输到后端服务器做进一步处理。由于视频图像信息的数据量大，因此能够找到摄像头监控获取的关键图像，是前端结点智能处理的主要要求。

因此，本文设计的远程农业物联网监测原型系统重点研究在前端结点通过调用 OpenCV 函数库实现逐帧差法对含有运动目标的关键帧进行提取，并按照 LoRa 协议的帧格式进行封装。在传输过程中，使用 LoRa 技术完成远程低功耗通信；并设计可靠滑动窗口协议，实现关键图像的可靠传输。在后端到服务器上，按顺序排列收到的数据帧，将其恢复成原先大小的图像文件，并在监控系统的显示区域显示出来，同时存储并发出警报。

3.2 功能分析

针对远程农业物联网监测系统的典型应用场景，本节从前端结点、传输系统和后台服务器等 3 项进行功能分析和总结。

(1) 前端结点功能：首先，前端结点要具备丰富的接口能够搭载多种传感器完成农业生产区域的要素监测，特别是能够搭载摄像头进行视频监控；其次，前端结点要具备一定的数据存储和处理能力，特别是能够完成一定的视频和图像，能够从视频流中提取应用关键图像；最后，前端结点要能够完成低功耗远程数据发送。

(2) 传输系统：实现前端结点和后台服务器之间的低功耗远程传输。并且，由于前端结点已经完成了关键信息的筛选，因此传输系统要保证的前端结点到后台服务器的可靠传输，即前端筛选后的信息都能够准确到达后台服务器。

(3) 后台服务器：在接收前端结点的数据的基础上，进行数据存储和处理，

实现一定的应用功能。

3.3 设计原则

针对远程农业物联网监测系统的典型应用场景，由于后台服务器位于有人值守的区域，本节总结在系统设计要遵循的原则时主要考虑前端结点和传输系统。

(1) 低功耗原则：由于前端结点部署在面积大远离生活区的农业区域，因此无法采用电缆供电，仅能采用电池供电的方式。于是，前端结点的生命周期就决定了整个物联网系统的生命周期。此外，由于农业区域面积广大的特征，为前端结点更新电池也是开销极大的操作。因此，前端结点的设计必须遵循计算和传输开销均能够节能的原则。

(2) 安全性原则：由于前端结点部署到无人值守的面积较大的农业区域，因此面临风、雨等自然现象的腐蚀以及动物的破坏等情况。因此，在机械结构设计上要具备一定的密闭性和机械强度。

(3) 性价比原则：由于远程农业物联网监测系统面对的是面积较大的农业种植区域，通常需要部署大量的前端结点完成监测，因此在满足功能需求上的基础上追求前端结点的性价比尤为重要。

(4) 可拓展性原则：由于远程农业物联网监测系统要面对不同规模农业生产场所，因此整个系统必须遵循可扩展原则，尤其是通信系统的设计上，要能够支持大量前端结点向后台服务器的数据通信。

(5) 可靠性原则：由于面向农业生产区域，前端结点和后台服务器的部署距离通常较大，因此在远距离通信过程中可能出现数据包出错和丢失的情况。为了满足前端结点筛选的关键数据能够可靠的传输到后台结点，必须在传输系统的设计上有数据包的纠错和重传功能。

3.4 硬件选型

针对远程农业物联网监测系统的功能需求和设计原则，本节针对前端结点、传输系统和后台服务器分别介绍相关的硬件选型方案。

3.4.1 前端设备选型

由功能分析确定，远程农业物联网监测系统的前端结点的核心平台需要支持多种 I/O 接口，能够搭载多种传感器以及传输模块；还要具备一定的图像和视频

处理功能，能够从视频监控中筛选出关键图像。同时，前端结点的核心平台选型上还要考虑低功耗和性价比原则。

鉴于前端结点视频和图像处理能力要求和性价比原则，需要选择具备较强的处理能力的嵌入式平台作为核心。JetsonTK1 平台由于使用 Tegra K1 SOC，将 CPU、GPU 和 ISP 集成到单芯片上，以实现低功耗与 GPU 加速的功能。而且，JetsonTK1 平台为图像和视频应用了提供用于 GPU 硬件加速的 API，并且完全支持 OpenCV 和 CUDA，降低开发的难度。此外，JetsonTK1 支持了丰富的 I/O 接口，也满足计算的低功耗以及性价比要求。因此，本文选用了 Jetson TK1 作为前端结点的核心平台。

鉴于视频摄像头的价格下降，本文选择了能够实现 720p 画质的 XX 摄像头作为视频监控设备。

JetsonTK1 平台采用 12V 直流电源供电，虽然可以通过太阳能电池进行供电，但是本文构建的原型系统没有进行电池的定制，而使用了现有的 12V/4.8Ah 的电池组。由于 JetsonTK1 平台的功耗较低，如果选用远程低功耗通信系统的话，该电池组能够满足 3-4 个月的结点监测周期。

3.4.2 传输系统选型

农业生产区域通常覆盖范围广且远离生活区，因此为保证整个系统的生命周期，在传输系统的构建上必须满足远距离低功耗的原则。目前最具代表性的远距离低功耗通信技术是 LoRa 和 NB-IoT 两类。两者的主要不同在于：

(1) 工作频段。由于需要远距离传输，综合考虑天线的长度和效率，处于 500MHz 和 1GHz 之间的频段对于远距离通信是最优的选择。LoRa 工作频段包括 433MHz、868MHz、915MHz 等非授权频段，不需要额外费用；NB-IoT 和蜂窝通信使用 970MHz，需要额外收费。

(2) 节点功耗。影响通信系统功耗的因素主要有两个：节点的电流消耗和网络传输协议内容。LoRa 是一种异步的基于 ALOHA 的协议，节点可以根据具体应用场景进行睡眠和唤醒；NB-IoT 和蜂窝等同步协议的节点必须定时联结上位网络，可能造成了额外的电池电量消耗。

(3) 组网成本。技术上，LoRa 协议相对更简单，更容易开发，同时配套设备适用性和兼容性更好。价格上，LoRa 模块价格在 20-60 元人民币，而 NB-IoT 节点价格在 70-120 元人民币。LoRa 基站可以使用传统的信号塔、工业基站甚至是家庭网关来进行搭建，其价格相对较低，而对于 NB-IoT，通过升级现有的 4G LTE 基站价格约为 10 万元人民币，即使租用运营商的基站，价格在每节点年 20

元人民币左右。

由于目前我国营运商没有大规模部署 NB-IoT 基站,综合考虑技术成熟度、组网成本、节点功耗等因素的需求,结合系统设计性价比原则,本文选择了 LoRa 技术作为传输系统的无线通信方式。LoRa 技术的通信距离在野外可达 3~20 千米,可以满足系统通信距离长的需求。另外,LoRa 技术通信的功耗即使在功耗最大 Class C 也不过仅仅接收 10mW,待机功耗更是低于 0.2mW,完全能够满足传输系统低功耗的设计原则。此外,由于 LoRa 采用了 ALOHA 媒体接入协议,可以直接支持结点数目的扩展。

但是,LoRa 仅实现了数据包的纠错,协议本身没有提供数据传输的可靠性保障。为了实现数据传输的可靠性原则,本文在 LoRa 协议之上设计了传输控制层,实现了提高数据传输可靠性管理的滑动窗口协议。相关协议的介绍将在下一章说明。

3.4.3 应用服务器选型

后台的应用服务器需要承担数据存储和完成一定应用计算的功能,目前大多数服务器都能够完成。为了方便数据的远程访问,本文使用了 Web 服务器方式展示前端传回的关键图像和时间。但是应用服务器需要通过 LoRa 网关来获取数据,因此需要能够连接仅支持 232 和 485 接口的 LoRa 网关。下节将介绍 LoRa 网关到服务器的连接方式。

3.5 系统硬件连接

由于通信系统分为分别是前端结点和后端服务器通信的渠道,因此本节将通信系统相关的硬件连接分别在前端结点和后端服务器两部分介绍。

3.5.1 前端结点设备连接

前端结点的主要包括 JetsonTK1 平台、LoRa 模块、监控摄像头以及 12V 直流电源组成,相关部件的连接示意图参见图 3-2。其中,Jetson TK1 由 12V 直流电源供电,使用 5.5mm*2.1mm DC 电源母头与 JetsonTK1 的 12V 直流电源接口相连接。LoRa 模块与监控摄像头均由 JetsonTK1 供电,监控摄像头使用 USB 接口,直接与 JetsonTK1 连接。

由于 LoRa 模块的接口为 UART,无法直接连接到 JetsonTK1。本文使用了 PL2303HX 芯片连接 LoRa 的 UART 接口,将输出转换成 USB 接口,从而与

JetsonTK1 相连接。LoRa 模块与 PL2303HX 的连接电路图如图 3-3 所示，将 PL2303 的 VCC, GND, TXD, RXD 分别于 LoRa 透传模块的 VCC, GND, RXD, TXD 相连接，从而使 LoRa 模块的 TTL 信号转换成嵌入式可用的 USB 信号，从而达到与 Jetson TK1 通信的目的。由于 JetsonTK1 只有一个 USB 接口，因此本文使用 USB-HUB 进行扩展，从而可以连接两个 USB 设备。

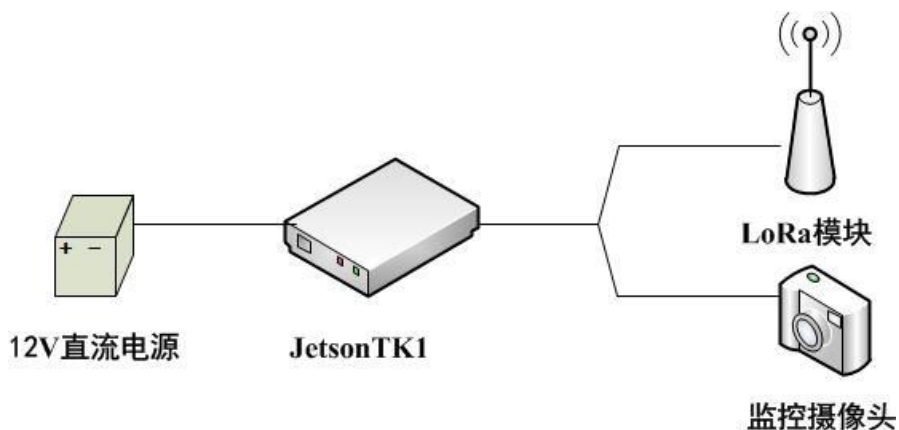


图 3-2 监控终端设备连接示意图

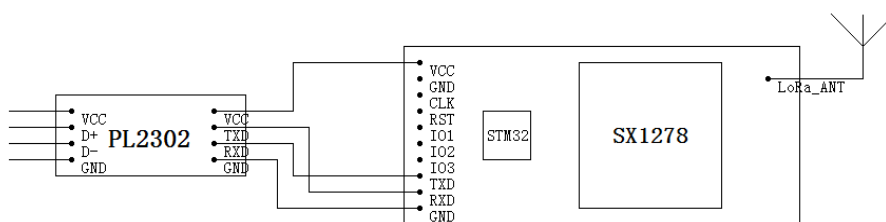


图 3-3 LoRa 模块与 PL2303HX 的电路连接示意图

3.5.2 应用服务器设备连接

应用服务器端由 LoRa 基站、12V 电源及服务器组成，其连接示意图如图 3-4 所示。

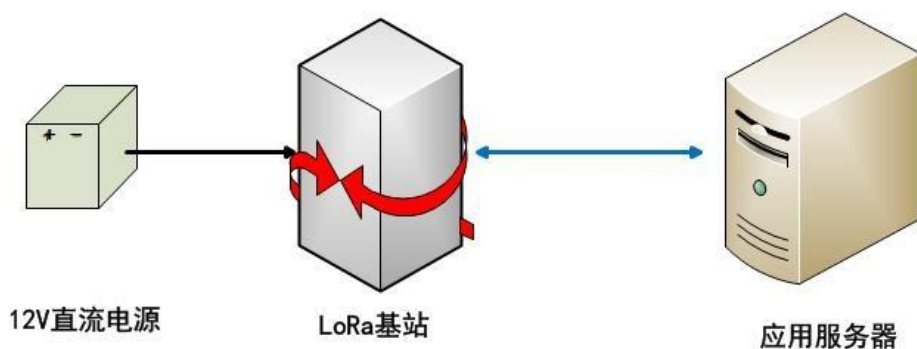


图 3-4 应用服务器端连接示意图

LoRa 基站提供 RS232 与 RS485 两种接口用于与服务器的通信。由于单线路

通讯，本文选用 RS232 接口与服务器端相连接。使用 HL340 芯片将三路 RS232 接口的电信号转换成 USB 信号，与服务器 PC 相连接，其连接示意图如图 3-5 所示。LoRa 模块发送的数据经过空间传播，由网关的天线接收，网关接收到正确的数据之后，通过 RS232 串口转换成 USB 数据交付给服务器端，从而完成数据的接收工作。

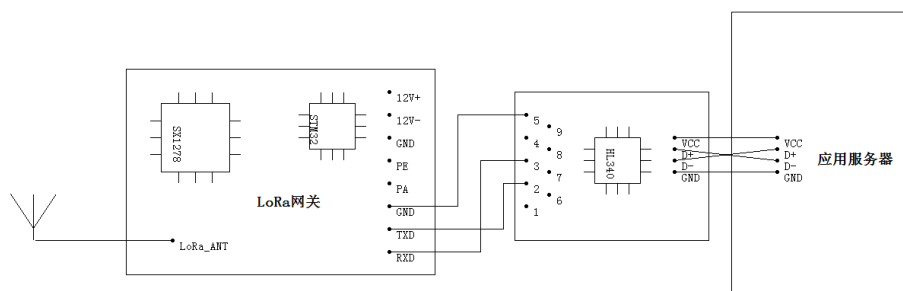


图 3-5 网关与服务器连接示意图

3.6 总体结构

在硬件选型和连接的基础上，本节总结远程物联网监测系统的总体设计，如图 3-6 所示。远程物联网监测系统由三部分组成，包括前端结点、传输系统和后端服务器。

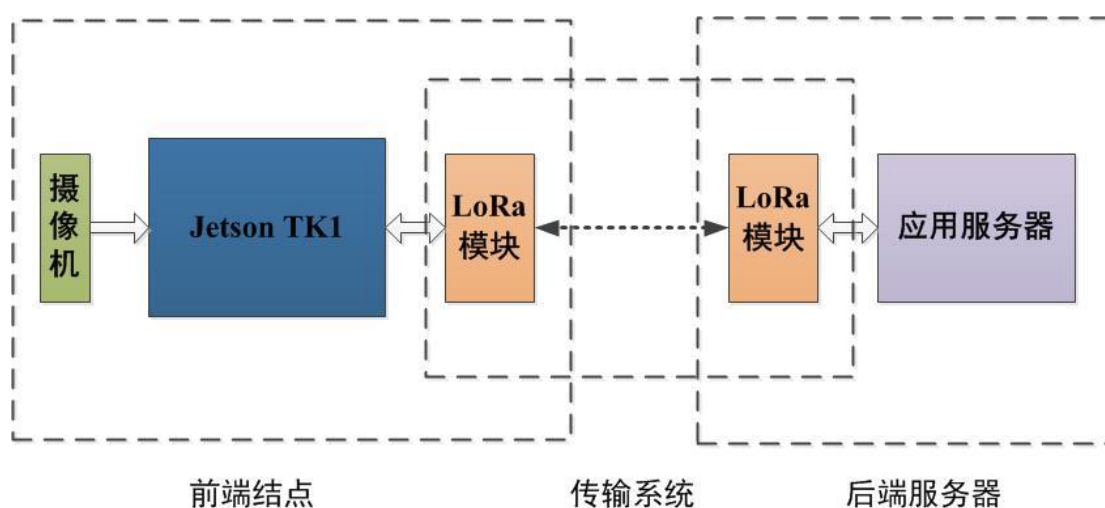


图 3-6 总体结构图

前端系统在硬件上主要采用了 JetsonTK1、LoRa 模块和摄像头；在软件上，将通过分析摄像头采集的视频流选取关键图像，并分割为多个数据包，然后通过传输系统保证关键图像的可靠传输。

传输系统通过 LoRa 模块和网关完成远程低功耗的数据传输；通过传输层协议保障数据的可靠传输。

应用服务器组接收 LoRa 网关传输的数据包，合成关键图像，并记录关键图像存储的时间和所来自的结点，完成关键图像的展示。

本文以农业生产区域的入侵监测应用为例，因此传输的关键图像是入侵监测的发现图像，相关的关键图像筛选和可靠传输协议将在下一章介绍。最终，远程物联网监测系统的数据流如图 3-7 所示：



图 3-7 系统数据流图

3.7 本章小结

本章首先介绍了远距离农业物联网监测系统的应用场景；然后分析了功能需求和设计原则；在此基础上完成了硬件选型，并介绍了硬件连接方式；最后总结了系统的总体结构。

4 系统软件实现

本章在现有设备基础上结合系统的功能需求和设计原则，完成软件系统的设计与实现。软件系统主要有三部分构成：前端的关键图像采集、传输控制协议以及服务器端。

4.1 关键图像采集

根据系统的功能需求可知我们需要一种运动检测算法来发现并捕捉入侵到监控区域的人或物。在这里，我们通过运动目标检测的方法获取图像中在的具有明显运动目标的视频帧作为关键图像进行采集。对比章节 2.2.1 各算法的优缺点以及表 2-2 各算法的特点，我们选取了鲁棒性好、实时性强、实现简单且能够准确获得入侵目标图像的逐帧差法来实现图像的采集工作。

逐帧差法将输入的视频流进行逐帧比较，从而选取出符合需求的关键图像，进而将之压缩、封装、通过 LoRa 模块进行发送。在算法中，将前一帧帧图像作为背景，将其图像矩阵作为背景矩阵，对当前帧开始进行差分运算。如图 4-1 所示，每一帧图像经过矩阵化处理之后，先通过高斯滤波器进行降噪处理，平滑了图像数据；然后将平滑后的矩阵与背景矩阵相减，得到前景图像的矩阵。将前景图像进行形态学滤波，排除噪声干扰。之后再进行临界值检测，若降噪后的前景图像满足临界值，则该图像即可为系统需求的目标图像。我们将对该图像进行 JPG 压缩，然后按照 LoRa 协议对图像文件进行封装，最后将其发送到 LoRa 模块进行扩频发送。完成这些操作后我们会检测图像缓存区是否有摄像头图像输入，并继续对下一帧进行检测。

在 JetsonTK1 中，我们调用 OpenCV 函数库来实现逐帧差法。

在算法实现过程首先初始化定义常用的变量：

```
pBkImg= cvCreateImage(cvSize(pFrame->width,pFrame->height), IPL_DEPTH_8U,1);
pFrImg = cvCreateImage(cvSize(pFrame->width, pFrame->height), IPL_DEPTH_8U,1);
pBkMat = cvCreateMat(pFrame->height, pFrame->width, CV_32FC1);
pFrMat = cvCreateMat(pFrame->height, pFrame->width, CV_32FC1);
pFrameMat = cvCreateMat(pFrame->height, pFrame->width, CV_32FC1);
int nFrmNum = 0;
int n = 0;
int pos = 30;
```

代码 4-1 初始化定义常用常量



图 4-1 逐帧差法的实现流程

pBkImg 表示背景图像，即前一帧图像；pBkMat 表示背景图像的矩阵；pFrImg 表

示前景图像，即逐帧差法算法得到的运行结果。**pFrMat** 表示前景图像矩阵，用 **pFrameMat** 表示当前图像矩阵；**nFrmNum** 表示帧计数，即当前帧的数目；

n 表示逐帧差法值，即逐帧差法得到前景图像灰度图中像素值为 1 的像素的数目，使用 **int** 型的，可随帧的变化而变化。使用 **pos** 表示阈值化参数，默认值为 30，具体含义见 5.2 实验结果评估中（2）对实验参数的评估。

图 4-1 中的摄像头开启判断的主要实现如代码 4-2 所示。其中，**pCapture** 作为捕获，调用 **OpenCV** 函数库中 **cvCaptureFromCAM()**函数。该函数可以从系统调用摄像头数据，从而捕获摄像头获取的视频流。

```
if( !(pCapture = cvCaptureFromCAM(0)))
{
    pCapture = cvCaptureFromCAM(-1);
    fprintf(stderr, "Can not open CAM .\n");
    return -2;
}
```

代码 4- 2 摄像头开启判断实现

逐帧读取图像代码如代码 4-3 所示，**pFrame** 作为当前图像帧，通过 **cvQueryFrame()**函数不断从系统摄像头读取每一帧图像，用于接下来的操作。

```
pFrame = cvQueryFrame( pCapture );
```

代码 4- 3 逐帧读取图像

图像的单通道转化又称灰度图转化，即将原图像转化为单通道的灰度图，其实现代码如代码 4- 4 所示：**pFrame** 作为当前图像帧，**pBkImg** 作为输出的背景图像，**CV_BGR2GRAY** 作为颜色转换类型参数。调用 **OpenCV** 函数 **cvCvtColor()** 函数，将当前三通道的 **GBR** 图像换单通道的灰度图。

```
cvCvtColor(pFrame, pBkImg, CV_BGR2GRAY);
```

代码 4- 4 灰度图转化

矩阵化是将单通道的图像转换成矩阵，其实现代码如代码 4- 5 图像矩阵化所示，由于 **IplImage** 里的数据只能用 **uchar** 的形式存放，当需要对图像数据进行矩阵运算时，0~255 的精度显然满足不了要求，但是 **CvMat** 里却可以存放任意通道数、任意格式的数据，这使得转化为矩阵可以进行更自由的计算。这里的 **pBkImg** 作为背景图像，**pFrMat** 、**pBkMat** 分别表示前景和背景矩阵。算法调用 **cvConvert()**函数将背景图像转换为前景矩阵和背景矩阵。

```
cvConvert(pBkImg, pFrMat);
cvConvert(pBkImg, pBkMat);
```

代码 4- 5 图像矩阵化

算法使用高斯滤波进行平滑处理，其平滑滤波函数如代码 4-6 高斯滤波平滑处理，pFrameMat 作为当前图像的矩阵，调用 OpenCV4Tegra 函数库中的 cvSmooth(const CvArr* src, CvArr* dst, int smoothtype, int param1, int param2, double param3, double param4)函数，将输入的 pFrameMat 矩阵进行高斯滤波。使用高斯滤波 int smoothtype=CV_GAUSSIAN，即对图像进行核大小为 param1 \times param2 的高斯卷积。上面代码中 param2 被隐藏，默认 param2=param1。由于真实图像在空间内的像素变化缓慢，使得邻近点的像素变化不明显。而随机的两个点就可能形成很大的像素差，即空间上噪声点是各自独立的。基于这一点，高斯滤波在保留信号的有效信息的条件下减少噪声^[35]。但是边缘处的相邻像素联系不太紧密使得这种方法越接近边缘处效果就会越差，因此，我们使用高斯滤波来磨平边缘，使得在差分运算时能够更明确的获得运动物体的轮廓的信息。

```
cvSmooth(pFrameMat, pFrameMat, CV_GAUSSIAN, 3, 0, 0);
```

代码 4-6 高斯滤波平滑处理

算法通过当前图像与背景图像作差分运算的方法，获取有效的图像。其实现代码如代码 4-7 差分运算 所示，pFrameMat 作为当前帧矩阵，pBkMat 作为背景帧矩阵，pFrMat 作为前景帧矩阵，调用 OpenCV4Tegra 函数库中的 cvAbsDiff()函数将当前矩阵和背景矩阵两个矩阵作差并求差的绝对值，将计算结果其保存到前景矩阵中。

```
cvAbsDiff(pFrameMat, pBkMat, pFrMat);
```

代码 4-7 差分运算

算法通过阈值化化的方法进行滤波，从而得到二值化图像。实现代码如代码 4-8 阈值化处理 所示，pFrMat 作为前景矩阵，pFrImg 作为前景图像，pos 作为阈值化阈值，可以随需求调节，255.0 作为阈值化最大值，CV_THRESH_BINARY 作为阈值化类型中的二值化。算法调用 cvThreshold(const CvArr* src, CvArr* dst, double threshold, double max_value, int threshold_type)函数，对单通道前景矩阵 pFrMat 应用固定阈值操作，该函数的典型应用是对灰度图像进行阈值操作得到二值图像，或者是去掉噪声，例如过滤很小或很大像素值的图像点，从而得到阈值化之后的前景图像 pFrImg。

```
cvThreshold(pFrMat, pFrImg, pos, 255.0, CV_THRESH_BINARY);
```

代码 4-8 阈值化处理

经过二值化之后的图像将前景图像进行形态学滤波其实现代码如代码 4-9 形态学滤波 所示，pFrImg 作为已经二值化的前景图像，算法调用 OpenCV 函数库中的腐蚀函数 cvErode(const CvArr* src, CvArr* dst, IplConvKernel*

element=NULL, int iterations=1)与扩张函数 cvDilate(const CvArr* src, CvArr* dst, IplConvKernel* element=NULL, int iterations=1)，先进行腐蚀再进行膨胀操作，以过滤掉图像中离散的点和毛刺以及游丝线条。在函数中，IplConvKernel* element=NULL，表示腐蚀或膨胀的范围为以该像素为中心的 3×3 的矩形，int iteration=1 表示腐蚀和膨胀的范围为 1。

```
cvErode(pFrImg, pFrImg, 0, 1);
cvDilate(pFrImg, pFrImg, 0, 1);
```

代码 4- 9 形态学滤波

经过形态学滤波后，得到降噪后的前景图像，通过对前景图像和我们设置的临界值进行比较，判断是否可以当做目的图像进行保存。图像筛选实现过程如代码 4- 10 图像筛选 所示，算法首先统计经过形态学处理后的二值化图像中白点的个数，即像素值为 0xff 的点的个数，在与我们界定的临界值 N 进行比较。若 $n < N$ ，即当前帧与前一帧的差值小于临界值，我们将当前帧保存为背景图像，反之，则将该帧进行压缩处理，同时将当前帧保存为背景图像。

```
for(j = 0; j < 640; j++)
    for(i = 0; i < 480; i++){
        s = cvGet2D(pFrImg,i,j);
        if (s.val[0] == 0xff){
            n++;
        }
    }
if(n < N){
    cvCopy(pFrameMat,pBkMat,NULL);
}else{
    //cvSaveImage("invasion"+"nFrmNum".jpg",pFrame);
    cvEncodeImage(pFrame, pFrame, CV_IMWRITE_JPEG_QUALITY ,50);
    cvCopy(pFrameMat,pBkMat,NULL);
}
```

代码 4- 10 图像筛选

获取目标图像后，我们需要对其进行压缩，以方便接下来的封装和传输工作。压缩代码如所示，pFrame 作为目标帧，调用 OpenCV 函数库中的 cvEncodeImage() 将目标图像进行压缩，为控制传输的图像大小，本文将压缩率规定为 50%。

```
cvEncodeImage(pFrame, pFrame, CV_IMWRITE_JPEG_QUALITY ,50);
```

代码 4- 11 图像压缩

4.2 传输控制协议

在逐帧差法获取了关键图像之后，由于所获取的每一帧关键图像由 JetsonTK1 平台进行封装，然后交付 LoRa 模块进行传输。由于关键图像的大小超过一个 LoRa 包的大小，因此一帧关键图像将封装为多个 LoRa 帧进行传输。此外，LoRa 协议在传输数据帧时，仅能自动校错，不支持重传。为了确保关键图像传输的可靠性，本文设计和实现了支持可靠传输的滑动窗口协议来管理 LoRa 传输中的出错和丢包问题。本章将首先介绍对与关键图像进行帧封装的结构，然后介绍所设计的可靠传输协议。

4.2.1 传输帧结构

在完成 4.1 章中的图像压缩工作之后，本节进行图像的帧封装，即按照 LoRa 协议格式，将图像以字节流的形式进行分割封装。图像封装在 LoRa 上行数据帧的框架下进行，每个帧长度为 256bit，其帧结构如图 4-2 所示。



图 4-2 LoRa 帧封装格式

图 4-2 中，**长度 L** 是指命令域和数据域的长度，由 1 个字节组成，BIN 格式。帧数据的总长度等于 L 加上 4 个字节的固定长度（起始字符、长度、校验和、结束字符）。**数据单元**为按命令字所组织的数据，包括参数、命令、数据等。**校验和 CS** 是指帧命令域和帧数据域所有字节累加和，溢出部分丢弃，由 1 个字节组成，BIN 格式。**起始字符**和**结束字符**为固定字符，用于验证数据帧开始和结尾。**命令域 C** 由传输方向 DIR 和命令字 CMD 组成，1 个字节，BIN

格式。其格式如图 4-3 所示，其中 DIR=0 表示数据下行，即此帧报文是通信模块回复的下行报文；DIR=1 表示数据上行，表示此帧报文是向通信模块发出的上行报文。命令字由 7 个位表示，具体定义如表 4-1 所示。

	D7	D6~D0
0 下行	传输方向位	命令字
1 上行	DIR	CMD

图 4-3 命令域格式

表 4-1 透传模块命令字定义

命令字	命令定义	功能简介
03H	MAC 地址配置	设置 MAC 地址（2 字节）
04H	MAC 地址查询	读取 MAC 地址（2 字节）
10H	数据传输指令	数据从 LoRa 节点传输到网关
11H	射频参数配置	设置 LoRa 通讯参数
12H	射频参数查询	读取 LoRa 通讯参数

本文主要对帧格式中的数据单元进行填充，其他单元按照原有要求填充。数据单元的格式如图 4-4 所示，Num 为帧序号，由 8 个位组成，BIN 型；SrcAddr 为图像采集前端的序号，默认为 8 位，BIN 型；Data 为图像的数据段，为从图像文件中获取的字节流，每个 Data 的数据 249 个字节。

SrcAddr	Num	Data
---------	-----	------

图 4-4 图像封装数据域格式

图像数据的封装过程如图 4-5 所示，若从图像读取的数据为 251bit，则帧长度 L 值为 254；若图像文件剩余的数据不足 251bit，则将全部数据写入 LoRaFrame 中，并按照剩余的数据长度重新计算帧长度。固定部分的起始字符 head 和终止字符 tail 分别为 A5 和 5A，帧长度 L 的值为数据段长度加上 1。由于该帧为上行帧，命令域的值 10H。对于每一帧，CS 的值为 command、以及数据的三组数据的累加和，若超过 0xff，则 CS 值为 0xff。

在后端服务器端，服务器从 LoRa 网关提取了图像数据帧后，按照帧序号 Num 来还原关键图像。

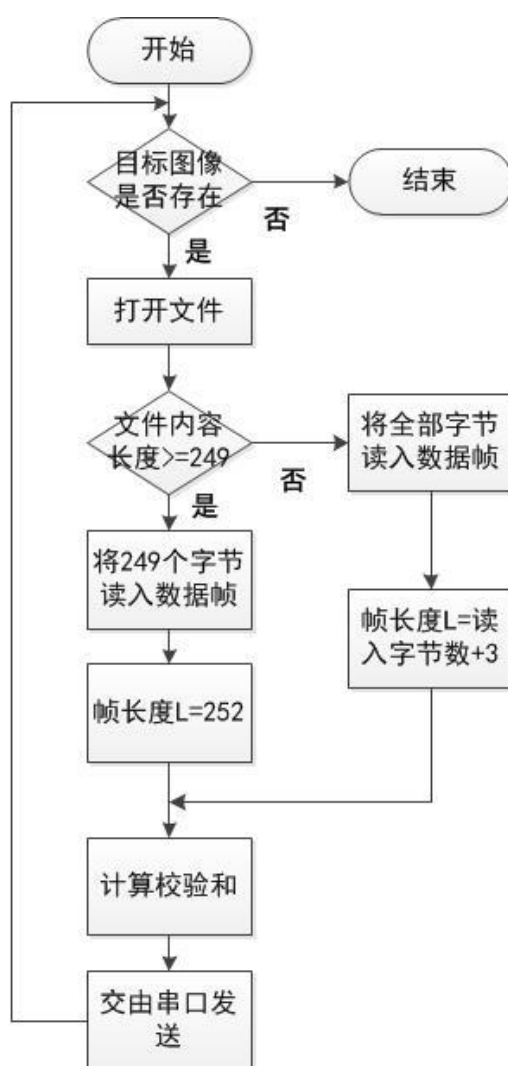


图 4-5 图像数据的封装流程图

4.2.2 传输控制协议

在 LoRa 协议本身不提供可靠性保证，但是在实际应用过程中许多场景要求传输数据的完整性。因此，本文简化了传统的滑动窗口协议，将重传机制应用于我们的数据传输系统，从而保证了数据完整性。

在传输过程中，为减少嵌入式系统对重传的物理需求，同时为了减少对 LoRa 帧结构的破坏，我们采用应用层来控制重传。对于远程农业物联网检测原型系统来说，传输系统使用的多对一的 LoRa 模块和 LoRa 网关构成的星形网络，传输线路简单且不需要传输过程中不需要进行跳转和转发，因此我们采用固定的时间来作为系统的超时重传时间。

为减少 LoRa 模块重传次数，系统选择基于滑动串口的选择重传方式，即假定发送方连续发送了 m 帧，若发现第 n ($n < m$) 帧数据超时，则发送方重传第 n

帧。对应的实现可以对每一个 LoRa 帧维护一个定时器，一旦定时器超时，就重传该报文段。

为实现数据的重传，我们需要在发送端建立新的分组缓冲队列用于保存未收到网关回复的已发送数据帧。其实现流程如图 4-（a）所示，接收端和发送端开长度为 8 的窗口，当发送端发送 4 个数据帧时，接收方接收到数据帧即回复一个 Ack。如图 4-（b）所示，若是未接收到某一帧，则不回复，并将其他收到的数据帧存储到内存中。发送端收到 Ack，则表示该帧已经发送成功，如图 4-（c）所示，若存在某一帧或者某些帧未收到 Ack，则如图 4-（d）所示重传未收到 Ack 的帧，同时继续传输该窗口内其他为发送的帧。接收端如图 4-（e）所示窗口保持不变，直到该窗口所有的数据帧都加收完毕，统一交付给应用服务器处理，并将整个窗口移动到下一窗口位置。

60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
				发送窗口								
已接收 ACK				待回复					待发送			

（a）发送端

60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
				接收窗口								
已接收				Ack	UnAck	Ack	Ack					

（b）接收端

60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
				发送窗口								
已接收 ACK				Acked	UnAcked	Acked	Acked	待发送				

（c）发送端

60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
					发送窗口							
已接收 ACK				Resend	Acked	Acked	Wait	待发送				

（d）发送端

60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
					接收窗口							
已接收 ACK				Ack	Ack	Ack	Ack	待发送				

（e）接收端

图 4-6 选择重传示意图

在这里，我们使用链表来建立串口缓冲区，其结构如图 4-7 所示。每一个 Frm_sq 都可以维持一个系统前端结点的发送队列。队列中个字段的含义如表 4-2 所示。针对每一个 Frm_sq，会有一个专门存放未收到 Ack 的数据帧的位置，便于在有需要重传的数据帧能及时插入重传队列。

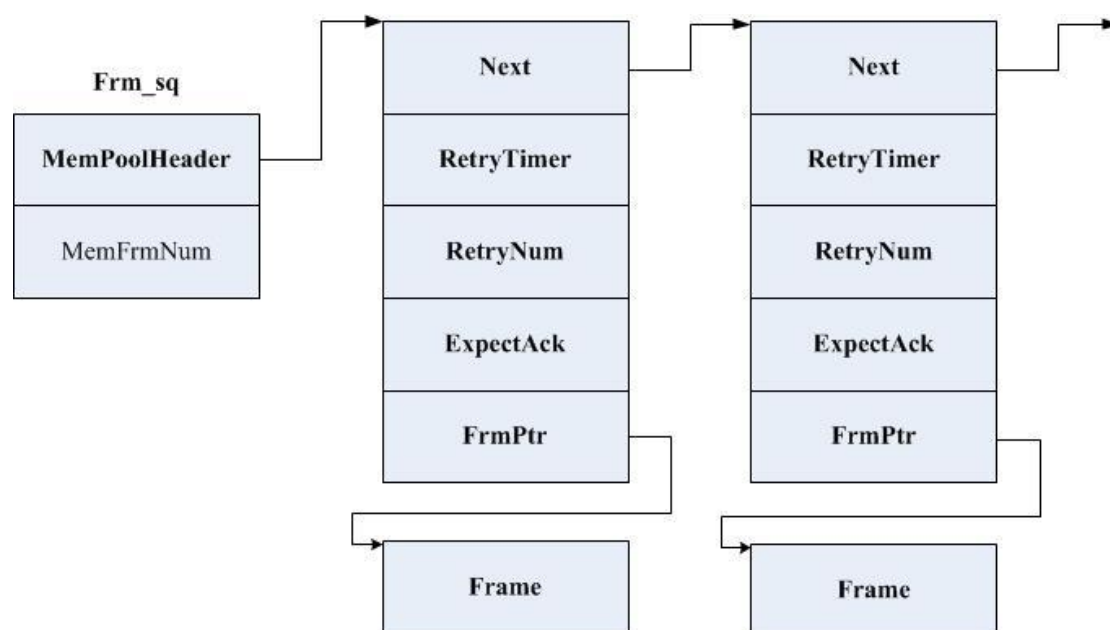


图 4-7 缓冲区结构示意图

通过对该链表的维护,实现缓冲区的更新。对链表的操作主要有构造、插入、查找和删除四种,如图 4-5 所示。

链表构造为:当系统需要发送图像数据帧时,调用 `Get_Mem()` 函数,会分配一段动态内存给 `Men_Cell` 型节点,用于存储链表的操作参数,如图 4-5 (a) 所示。链表插入为:系统调用 `Insert_Mem()` 函数,将 `Get_Mem()` 获得的数据帧插入对应的序列中,如图 4-5 (b) 所示。其输入为分别为终端号,节点首部地址指针以及期望的 `Ack`。链表查询:调用 `Search_Mem()` 函数,如图 4-5 (c) 所示,通过指定的 `Ack` 来查询对应的数据帧。链表的删除:调用 `Delete_Mem()` 函数,每当接收模块在收到合法的 `ACK` 型的数据帧时,就会调用函数 `Delete_AckedSqMem()`,考虑到网关有可能对终端发出的数据帧进行批量确认,因此该函数实现时是删掉顺序链表中所有 `Ack` 字段值小于或等于接收 `Ack` 号的

表 4-2 缓冲区各字段含义

字段名称	字段含义
<code>MemPoolHeader</code>	表示队列首部的地址
<code>MenFrmNum</code>	对列中包含的数据帧数量
<code>RetryTimer</code>	重传计时器
<code>RetryNum</code>	重传次数
<code>ExpectAck</code>	期望获得的 <code>Ack</code>
<code>FrmPtr</code>	传输的数据帧的首地址
<code>Frame</code>	传输的数据帧

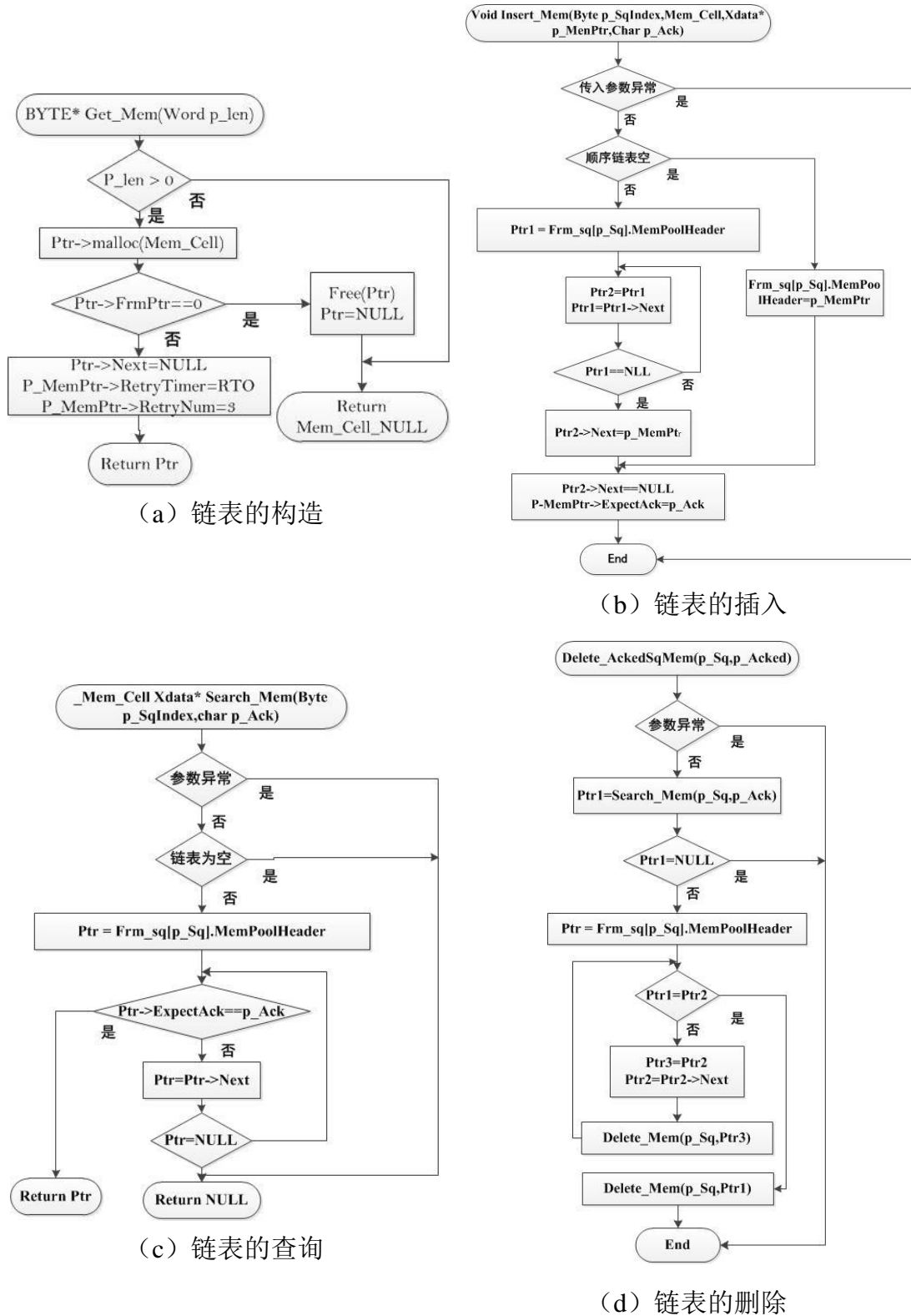


图 4-5 对链表的操作

节点，其实现过程如图 4-5 (d) 所示。调用函数 Delete_Mem() 来删除给定的节点，同时释放该节点内存空间，先释放其 FrmPtr 所指的内存空间，再释放 Mem_Cell 型节点的内存空间，以避免内存泄露。

4.3 服务器端软件实现

系统的后端包括 LoRa 网关和应用服务器两个部分。LoRa 网关负责按照 4.2 的传输控制协议将各个前端结点发送的数据包交给服务器的传输控制层；应用服务器从传输控制层的滑动窗口缓冲区中进行图像恢复、存储和显示等工作。

4.3.1 图像的恢复

LoRa 网关将图像数据帧的数据段传输到服务器，由服务器进行解包和恢复操作，图像数据帧的数据段格式如图 4- 所示。

SrcAddr	Num	Data
---------	-----	------

图 4- 9 图像数据帧的数据段格式

系统首先通过数据段中第一个位 SrcAddr 来判断该数据帧是由哪一个前端节点发送的。由于该位是无符号位，因此系统最多支持 255 个节点同时连接到网关。针对同一前端结点的数据，系统将数据段中的 Data 数据按序号 Num 从小到大排列，并保存到.jpg 文件中，如图 4-10 所示。

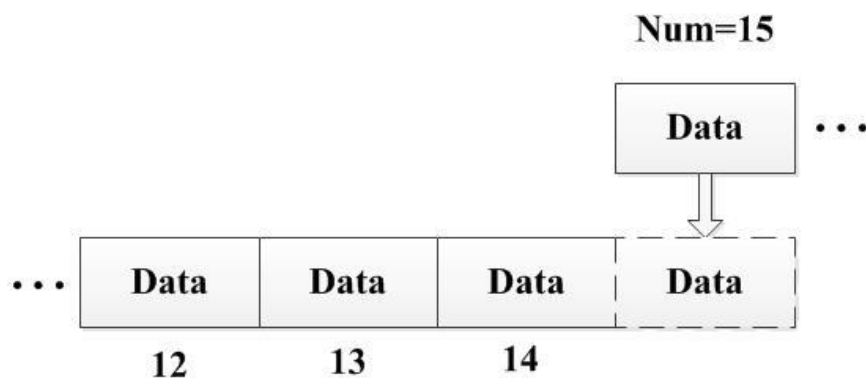


图 4- 10 图像的恢复

4.3.2 图像的显示

系统按照对应的前端将其采集的图像在系统显示界面显示并保存。按照前端的功能，系统可以获取正进入系统监控区域的运动物体，并加以显示，同时由 Web 应用调用警报音效，以实现报警的功能。若该前端监控区域入侵运动物体离开监控区域，则显示入侵物体离开前的图像，并取消警报音效。如图 4- 6 所示，系统将及时更新图像，以确保监控效果。



图 4-6 远程农业物联网原型系统的显示界面

系统界面分为四个部分，从上到下分别为监控前端位置分布，上次接收到的数据包的时间，四合一的监控图像窗口，以及对应个窗口的最后时间。如图 4-6 可知，露天检测点 1 正有目标进入监控区域，猪圈检测点 2 和露天检测点 3、4 当前并没有运动目标进入监控区域。显示完成的图像会在文件名中加入时间信息，进行存储，以备后续查验。

4.4 本章小结

本章首先介绍了关键图像采集算法的实现，然后从传输帧结构和传输控制协议两个方面实现了系统的传输控制，最后通过图像恢复算法和系统的显示完成服务器端的软件实现。

5 试验设计与分析

本章介绍远程低功耗物联网的实验。首先，介绍远程物联网的前端设备的构成以及两个典型实验部署；然后，分别针对两个部署场景进行关键图像的捕获结果的说明和分析；最后，在农田部署场景下，说明部署距离对于前端设备功耗的影响。

5.1 实验部署

本节首先介绍远程农业物联网监测原型系统的前端设备的具体组装的设计与实现，然后分别介绍两个典型应用场景——农田和养殖场的实验部署。

5.1.1 前端设备和后端设备组装

本文所设计的远程农业物联网监测前端结点由于要部署到野外条件，需要从视频帧中实现发现监测区域的关键变动信息，并且通过 LoRa 完成关键图像的远程传输，因此需要在前端设备部署时考虑视频摄像头和通信天线的部署高度以及 JetsonTK1 开发板的防水封装。

在前端设计时，本文使用高 3 米的 PVC 塑料支架作为前端的骨架，将 LoRa 模块的外接射频天线固定在 3 米高度，将摄像头安装在 2 米高度。JetsonTK1 和 LoRa 通信模块以及蓄电池放置在了骨架的基部，以便实现防水、防止意外破坏。安装的示意图请参见图 5-1(a)。在实验中，前端结点组装后的照片如图 5-1(b)所示。由于实验中使用的电池组没有进行定制，体积较大，因此图 5-1(b)中电池组放在了密封盒外。

本文所设计的远程农业物联网监测后端服务器部署于远离农业区域的生活区域，主要负责捕获远距离射频信号，来接收系统前端发送的图像数据，并且将收的数据恢复成图像，加以现实并发出警报。

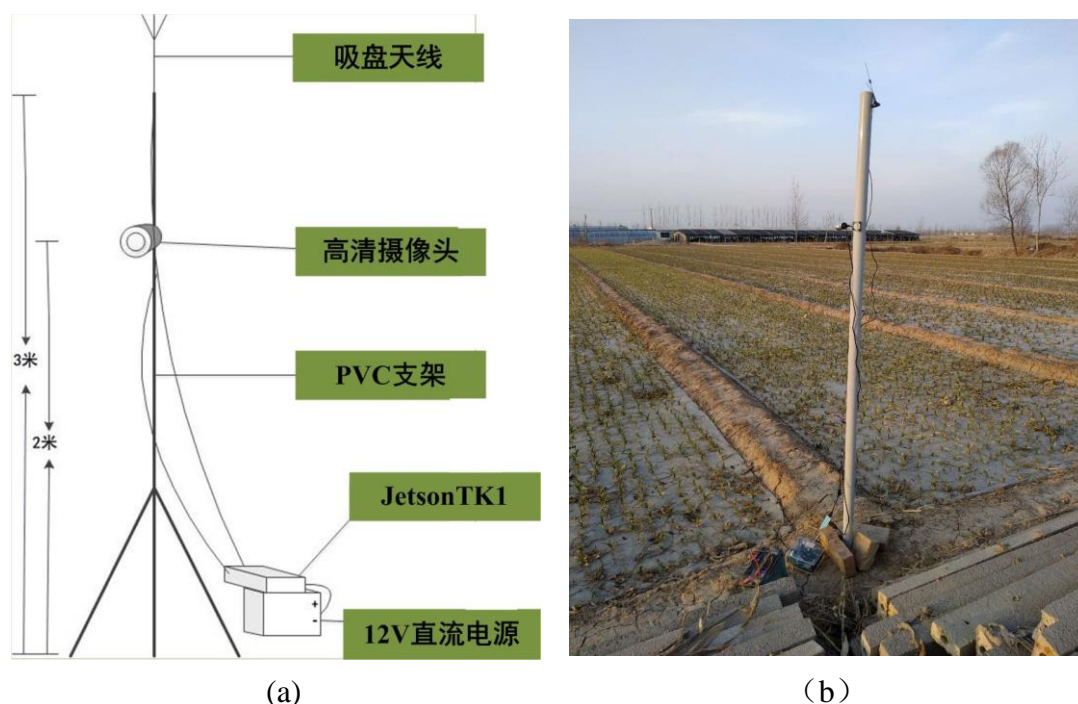


图 5-1 前端设备组装设计和实现 (a) 设计示意图 (b) 实现照片

后端设计时，网关由于部署于室内，可直接通过电源适配器将生活用电转换为 12V 直流电对网关设备进行供电。网关通过 HL340 芯片将 RS232 端口转换为 USB 端口后进行通信，后端的安装示意图如图 5-2 (a)，在实验中，后端实际组运行的照片如图 5-2 (b) 所示。



图 5-2 后端设备组装设计和实现 (a) 设计示意图 (b) 实现

5.1.2 实验部署和过程

为了验证所实现的远程农业物联网监测系统的性能，本文采取了在两种农业生产场景中完成了部署，分别是面积 4000 平米的野外大蒜种植田以及远离生活区的室内生猪饲养场。

(1) 在农田中的部署，选择远离生活区的大蒜种植田，农田的地理位置如图

5-1 所示,其中露天检测点 1 主要监测南北长 80 米、东西宽 50 米的大蒜种植区,前端结点部署于大蒜田正南边沿的位置,后端服务器部署于生活区域,距离直线前端距离约 100 米。露天检测点 3 主要监控南北长为 100 米、东西宽为 60 米的大蒜田,前端节点部署于大蒜田的正西侧,露天检测点 3 距离服务器端直线距离约为 230 米。露天检测点 4 主要监控东西长 120 米,南北宽 60 米的大蒜田摄像头部署于大蒜田的东侧,距离服务器端直线距离约为 240 米。对于农田的监测,本文将每个前端结点按位置部署后,每天自早上 6:00 到晚上 6:00 共计监控 12 小时,连续监控 7 天进行农田场景监测。同时系统将前端将摄像头采集的视频存储到 FlashTF 卡中,用于对关键图像发现结果进行比对。

(2)对室内养殖区域的监测,本文选择距离生活区域较远的猪圈作为监测的区域。由于猪圈采用传统民居样式,每间房屋分为若干猪栏,因此本文主要监测单间猪圈的情况。猪圈为长 8 米宽 5 米的室内区域,监控前端部署于猪圈靠近门口的一侧以此监测过道和猪圈的投食区域。猪圈与服务器端直线距离约为 400 米。猪圈监测点部署之后,全天进行监控,连续监控 7 天,并将摄像头视频存储到 FlashTF 卡上,用于对关键图像发现结果进行比对。

(3)对于系统的功耗测试。本文对主要检测区域为为准确获得系统前端的能耗信息,我们将图像采集前端按照距离服务器 150 米、250 米、400 米、500 米、600 米和 800 米等距离进行多次部署实现,其部署位置如图 5-3 中数字点所示。每个监测点监控时间为 3 小时,同时调用系统工具 PowerStat 记录前端的功耗。

5.2 实验结果评估

本节首先围绕检测应用的目标——人员入侵监测,介绍在两个场景下的入侵发现率以及评估逐帧差算法的参数对于发现入侵行为的影响。然后,本节介绍在农田实验中,针对如图 5-3 所示不同的部署位置,就基于 LoRa 的传输系统的相关指标进行评测。

5.2.1 LoRa 传输效率分析

本文选取的 LoRa 模块采用波特率为 115200 进行数据传输,因而每一图像数据帧的传输时间约为 0.017 秒,在不发生传输错误的情况下,其极限传输速率为 14.4kb。而在传输过程必然会产生一定的传输故障,因而很难到达该速率。而目标图像如图 5-4 (a) 所示经过压缩率为 50% JPG 压缩之后得到如图 5-4 (b) 的图像,117.6kb 原图像可压缩至 30kb 左右,因此对于每一幅图像,可以在 3 秒内

传输完成。经过多次试验并对传输时间进行平均后可得到平均每幅图像的传输时间为 2.7 秒。

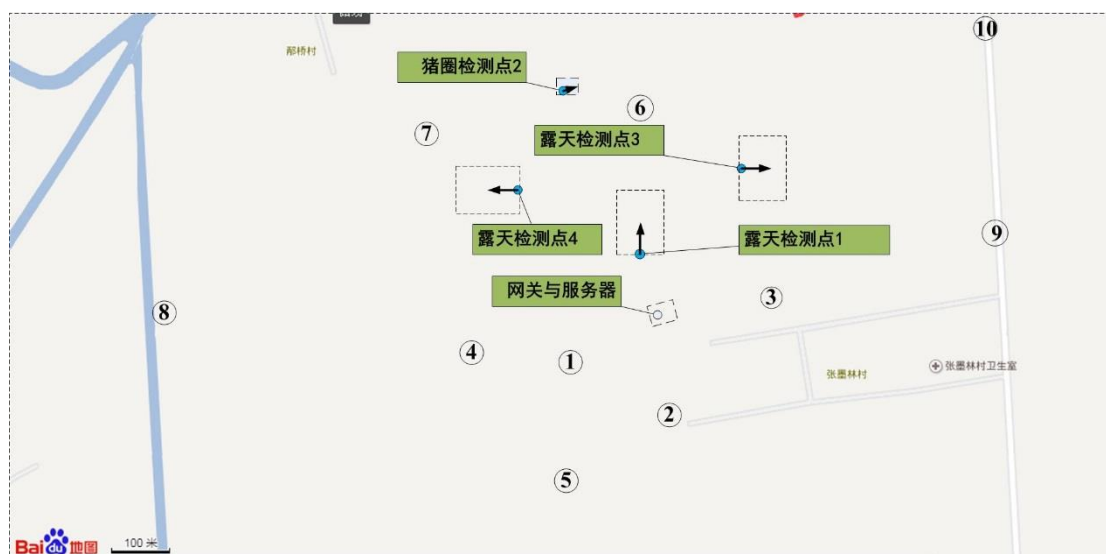


图 5-3 监测实验地图



(a)

(b)

图 5-4 压缩前 (a) 和压缩 50% 后 (b) 的图像比较

5.2.2 入侵监测实验结果评估

本节首先通过人员入侵实验来确定逐帧差运动目标检测算法的参数；然后评估摄像头的有效检测距离；最后说明在图 5-3 的四个部署点的入侵检测准确率。

(1) 逐帧差运动目标检测算法的参数确定实验

针对农业物联网检测系统的主要目标——人员入侵检测，本文使用逐帧差法对运动目标进行追踪检测，如图 5-5 所示。图 5-5 (a) 为摄像头当前捕获的图像帧；图 5-5 (b) 为当前图像帧与前一图像帧的逐帧差计算结果，图中的白点表

示差值不为 0 的位置。统计图 5-5 (b) 的白色像素数, 如果超过预先设置的门限, 前端结点就判定当前图像为关键图像。由于门限等参数对于关键帧的遴选具有影响, 并且摄像头的监测范围也直接决定着逐帧差计算后的像素数, 因此下文对于相关参数进行评估, 计算基于关键图像筛选的入侵检测准确率。



图 5-5 逐帧差法农田监测结果示例 (a) 行人进入监测区域 (b) 监测结果

(2) 关键帧获取参数评估:

在关键帧获取的过程中, 存在两个影响逐帧差法法的参数。一个是图像阈值化参数 pos : 当灰度图像中某一点的灰度值大于 pos 时, 该点取值为 $0x00$ (黑), 否则取值 $0xff$ (白)。另一个是图像筛选的临界值 n , 当逐帧差法法逐帧差分后前景图像中白点的个数大于 n 时, 系统判定该帧即为目标图像。在相同的临界值下, pos 越大, 其前景图像上的白色像素点就越少; 从而使得前端采集的图像在时间上就会偏后。图 5-6 显示了在 $n=4000$ 的条件下, $pos=30$ 和 $pos=15$ 时所对应的入侵检测首帧结果。对比图 5-6 (a3) 和 (b3) 的结果: (a3) 中的脚尖是平直的而 (b3) 的脚尖是上翘的, 即 (a3) 的动作在 (b3) 动作之后, 确认了由于 pos 增大, 使得(a3)中的结果为(b3)中结果的后续帧。

下面进一步分析图 5-6 中的入侵过程。该次入侵视频一共 1081 帧, 历时 18 秒。针对不同的阈值化参数 pos , 本文分别记录逐帧差法法的逐帧差值, 即前景图像中像素值为 $0xff$ 的像素数。图 5-7 显示了从出现波动的图像开始计数直到逐帧差值归于 0 时为止的不同 pos 值所对应的逐帧差值结果。其中, 188 帧之前的波动数据是由入侵人员在夕阳下的影子引起。由于这些帧对于后续的应用判断情况没有帮助, 因此受限将逐帧差值的门限设为 1000。此外, pos 值越小, 获得的逐帧差值越大, 入侵检测的结果越明显。188 帧之后为人经过摄像头前的计算结果。

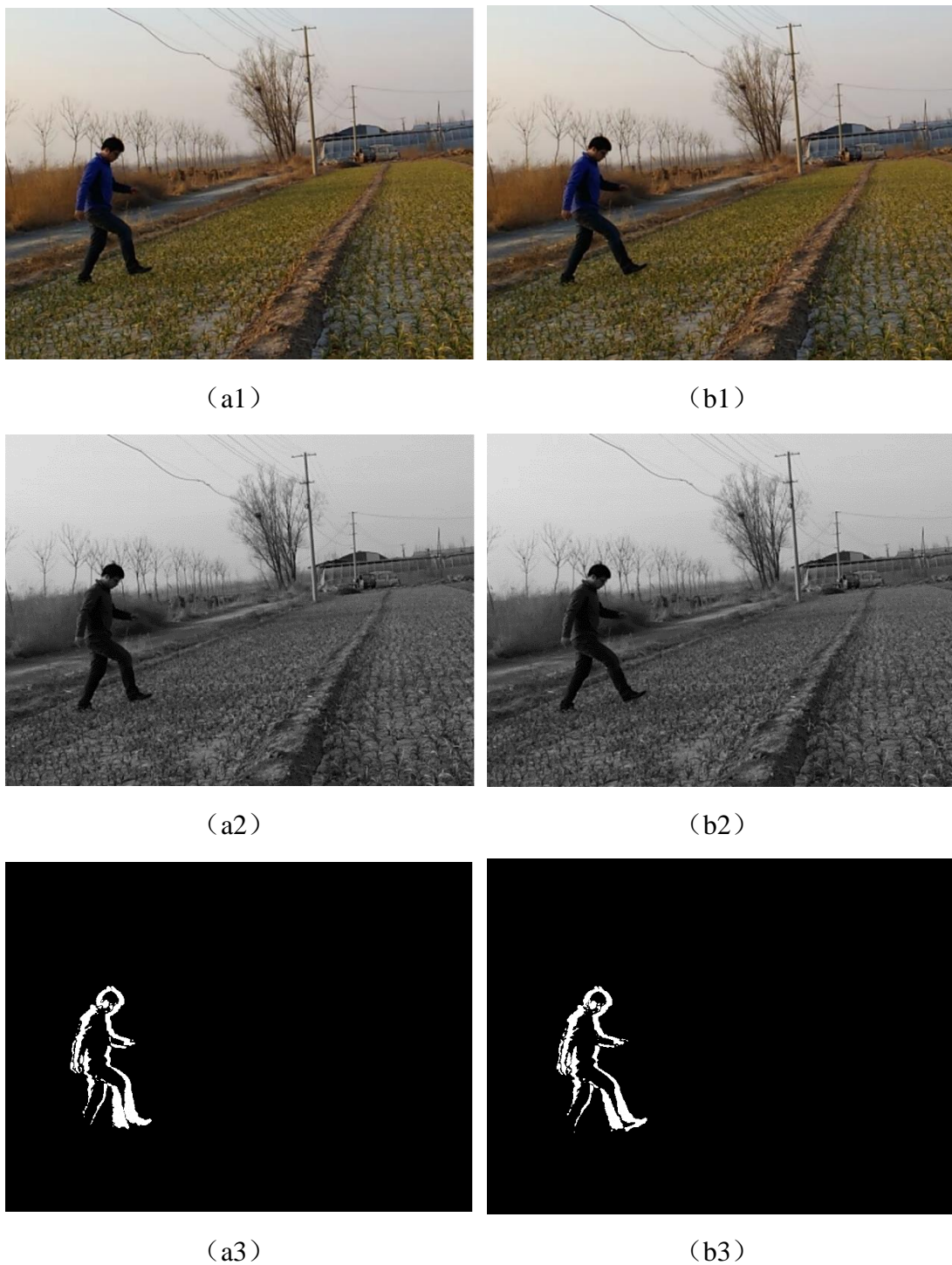


图 5-6 农田入侵监测示例图(n=4000)。(a) pos=30 时得到的入侵检测首帧结果的目标图(a1)、灰度图(a2)和逐帧差结果(a3)；(b) pos=15 时得到的入侵检测首帧结果的目标图(b1)、灰度图(b2)和逐帧差结果(b3)

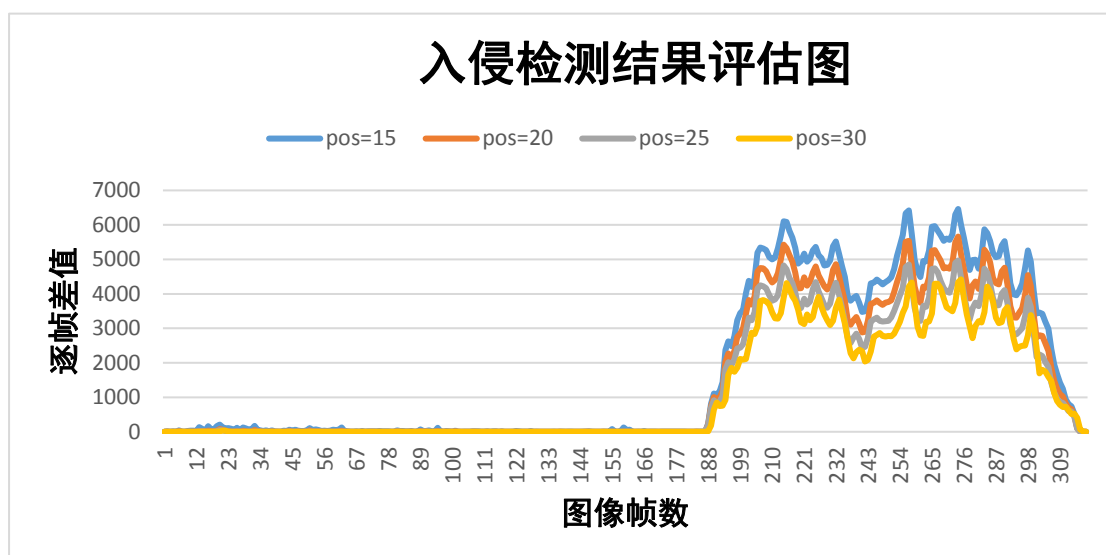


图 5-7 入侵检测结果评估

为进一步选择出可用于实际监测的参数，我们对入侵检测结果进行比较。如表 5-1 所示，对于同一阈值化阈值，随着图像筛选的临界值的增大，满足要去的图像数目在不断减少。而对于同一临界值来说，阈值化的阈值越大，获取的目标图像越少。

表 5-1 阈值化和差值对获取目标图像数目的影响

$\begin{matrix} n \\ \text{pos} \end{matrix}$	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
15	113	110	107	99	90	72	53
20	112	107	99	87	69	41	13
25	109	99	87	69	36	11	0
30	103	87	70	34	11	0	0

为满足传输系统带宽偏低的特点，本文选用兼顾检测效率和传输效率的参数，最终的选择为 $\text{pos}=30$ 且图像筛选临界值为 4000。

(3) 摄像头检测范围评估

摄像头部署于 2 米高的支架上，为了获取摄像头的监测范围，需要评估两个数据：一个是摄像头的检测角度 α ，另一个是摄像头的极限监测距离 L 。摄像头的理想监测范围是一块扇形区域，；但是摄像头成像的原理决定实际监测范围近似为等边三角形，如图 5-8 所示。

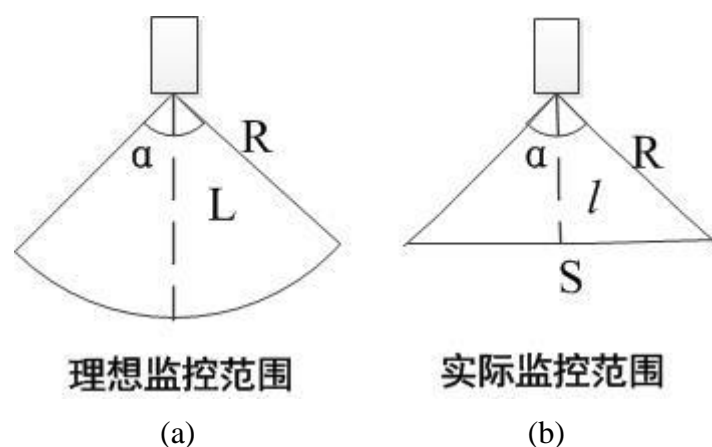


图 5-8 摄像头检测范围

利用入侵目标从左到右进入到离开监控区域的距离 S ，以及目标在图像正中时距离摄像头的距离 l 可以计算出图像的监控角度 α ，其计算公式如公式 (9) 所示。通过对所购置的摄像头进行多次实验测量，计算得到 α 的平均值为 150° 。

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{S}{2l} \quad (9)$$

为了测定所完成的农业物联网前端结点最远监控距离 L ，本文设计了多次人工入侵实验。每次实验中，入侵人员的行走轨迹不断远离摄像头。图 5-8 的 1-4 箭头线段标示的轨迹为距离测试实验中行走轨迹的示意图，其中两个轨迹间的介个为 10 米。本文完成了 10-100 米等 10 个垂直距离的轨迹实验，每个轨迹行走了 4 次。针对每一次认为入侵，记录获取的关键图像中的逐帧差值，然后计算出等距离下逐帧差值的平均值，显示在表 5-2 中。表 5-2 指出，当入侵目标在 90 米之内时可以捕获该目标。当目标距离超过 90 米时，捕获目标的概率降低。

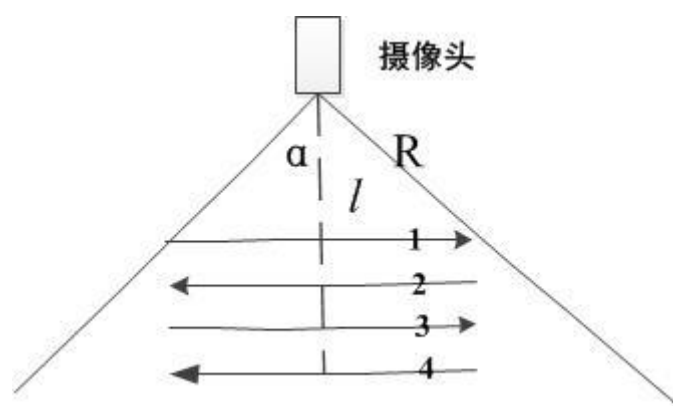


图 5-9 距离测试

表 5-2 摄像头距离测试实验的逐帧差结果

距离 (m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
逐帧差值	6085	5828	5627	5337	4882	4614	4459	4246	4049	3803

(3) 入侵检测准确率评估

在完成了逐帧差运动目标检测算法的参数确定,并明确了摄像头的有效检测距离后,本节针对在图 5-3 的四个部署点的入侵检测准确率。入前检测准确率的计算方法为:将四个监测点的实验监测发现的关键帧结果与在前端结点的 FlashTF 卡上存储的视频在后台用人工观察进行对比,评估系统入侵检测的准确率。本文定义入前检测准确率如公式(10):

$$A = \frac{t}{T} \quad (10)$$

其中 A 代表系统入侵检测的准确率, t 为系统实际监测到入侵的数目, T 为 FlashTF 卡中图像包含的入侵检测的次数。本文定义入侵目标从进入监控区域到离开监控区域的行为作为一次入侵。此外,入侵的目标不光包括人员,也包括出现在视频中的动物。

在整理了服务器端获取的入侵检测图像,并观察了监控前端 FlashTF 卡上的录像后,本文计算了各个检测点的入侵检测结果,如表 5-3 所示。其中,对于位于居民区和养殖区的监测点 1 来说,过往的大多是养殖区工作人员。在 7 天时间,原型系统总计监测到入侵人或物 112 次,而实际入侵的次数为 121 次。检测的差距主要表现在两个方面:一个是入侵位置距离摄像头太远,设置的监控算法无法捕捉到超过 100 米的运动目标,这种情况发生了 7 次;另外一种就是运动目标过小,系统通过逐帧差法计算分差值不足以突破图像筛选的临界值。第二种情况发生 2 次,一次是一条土狗从 50 米距离经过;另一次是一只灰喜鹊从距离摄像头 20 米的前方飞过。

对于监测点 2 来说,由于位于养殖区的猪圈内部,监控范围小,且进入监控范围的人员单一,行动固定。因此,监测点 2 检测到所有的入侵行为。养殖人员除了早晚两次喂食外,一周还会进行一次打扫。对于检测点 3 和 4,由于两点皆部署与远离生活区和养殖区的野外区域,人员入侵的场景次数较少;但存在野生动物入侵未发现的情况。

表 5-3 入侵检测准确率评估

监测点	前端监测入侵数 t	实际入侵数 T	准确率 A
1	112	121	92.6%
2	15	15	100%
3	12	13	92.3%
4	25	27	92.6%
合计	164	176	93.2%

综上所述, 本文设计的系统在室内区域能达到 100% 的入侵检测准确率, 而在农田监控中也可以达到 92% 的入侵检测准确率。经过计算, 得到系统入侵检测准确率为 93.2%。

5.2.3 传输系统耗能实验结果

由于网关设备一般距离服务器较近, 可以直接连通生活或生产电力供电, 因此功耗分析主要针对使用电池电源的嵌入式开发板以及 LoRa 模块构成的前端结点。Jetson TK1 内置了 ubunru14.04 系统, 因此在功耗测试中可使用 powerstat 工具记录系统的功耗。设置 powerstat 开机启动后定时记录前端结点功率, 实验后统计的最大、最小和平均功率。在图 5-3 中的 10 个不同距离的检测点的前端结点功率结果显示在表 5-4 中。

表 5-4 功耗实验各检测点的功耗统计

检测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
到网关距离/m	150	150	150	250	260	400	500	600	600	800
平均功耗/W	4.82	4.83	4.82	4.83	4.82	4.83	4.83	4.83	4.83	4.85
最大功率/W	4.88	4.84	4.86	4.88	4.87	4.84	4.91	4.86	4.86	4.89
最小功率/W	4.75	4.76	4.76	4.78	4.78	4.75	4.77	4.72	4.77	4.75

由表 5-4 可知, 随着检测点距离网关的距离增加, 结点的功耗也在增加。受到传输网络条件以及检测计算复杂度的影响, 在不同场景下系统的功耗也不一样。例如当监测区域没有入侵发生, 系统的计算复杂度较低, 此时功耗会降低; 反之当入侵发生时, 计算复杂度加大, 从而增加功耗。以表 5-4 中 5 号检测点为例, 该点位于村落边缘荒地, 人迹罕至, 偶尔有人经过会增加功耗; 但大多数时间比其他检测点入侵发生的少, 因而其平均功耗较同距离的检测点要低。另外, 环境因素例如建筑物的遮挡等, 也会增加系统的功耗, 表 5-4 中 2 号检测点与网关之间隔着居民区, 与同距离的 1 号和 3 号相比, 功耗明显增加。

经过距离功耗实验, 可知随着传输距离的增加系统的平均功耗也在增加。同时系统的功耗还会受到入侵检测频度以及建筑物等外界环境的影响。但在 800 米的部署范围, 整体功耗的差别不大, 平均功耗基本持平。

5.3 本章小结

本章主要介绍了系统硬件的部署情况, 首先通过固定点的区域监测实验评估

了系统的传输效率以及入侵检测实验入侵准确率,然后通过多个距离功耗实验点评估了系统的功耗。

6 总结与展望

本章总结了全文的工作，并对远程农业物联网监测系统今后的研究指明了方向。

6.1 总结

本文开展面向视频监控的远程农业物联网系统的研究工作，设计和实现包括前端结点、传输系统和后端应用服务器三个部分组成的远程物联网监测原型系统。其中，物联网前端结点采用 JetsonTK1 嵌入式开发平台作为核心平台，搭载摄像头获取视频信息，利用 OpenCV 实现逐帧差运动目标检测算法从视频流中筛选出关键图像，进而将相关图像压缩封装为 LoRa 帧。传输系统以远程低功耗通信技术 LoRa 为核心，在物联网前端结点通过将关键图像通过 LoRa 模块向后台服务器传输；后台服务器通过连接 LoRa 网关来获取关键图像数据。传输系统在前端结点和后台服务器运行本文设计实现的可靠滑动窗口协议，来确保关键图像传输的可靠性。后台服务器的主要功能是在收到关键图像数据后，还原并通过 Web 服务器页面的形式可视化关键图像，以便向农业从业者发出警报；同时，对相关图像进行存储。具体工作如下：

(1) 针对系统设计需求，分析比较主流的无线传输技术，提出了基于 LoRa 技术的视频监控方案，并完成了硬件设备的选择与组装。

(2) 结合远程智能农业监控的需求与当前软硬件设备，比较了逐帧差法、背景间差法、光流法、vibe 算法以及混合高斯模型算法的优缺点，选取了逐帧差法对目标区域的运动目标进行检测，并使用 JPG 压缩技术对获取的信息进行进一步处理。

(3) 针对 LoRa 硬件协议，设计了相应的软件传输控制协议，并使用 GCC/G++ 进行了软件的编译工作。

(4) 应用软件模块设计主要包括：前端的图像采集模块，传输控制模块以及后端的图像恢复和图像显示模块

(5) 本文对所实现的系统进行入侵检测准确率实验和距离功耗实验，并得出入侵检测准确率为 93.2%，系统的平均功耗为 4.83W。足以满足远程农业视频监控的设计要求。

6.2 展望

综合本文和目前完成的工作，系统仍存在几个方面亟待改进：

（1）LoRa 技术支持 LoRa 模块转发数据报，从而通过节点之间的游走扩展监控距离。本文是单一网关的星型结构，将来可以进一步进行多跳网络的设计。

（2）鉴于农业监控需要获取的数据不仅仅是图像数据，将来还可在嵌入式系统上增设诸如光照传感器，温湿度传感器等传感设备，进一步强化对环境的监控。

（3）逐帧差法对运动过快和过慢的目标在检测上存在一定误差，接下来的工作中将与背景差分法相结合进一步优化监控算法，提高监控的准确率。

（4）对目标图像使用的 JPG 压缩算法，图像失真比较严重，接下来我们将使用感知压缩的方法来降低图像失真。

（5）本文报警系统只是简单的图像声音警报，接下来将增加其他警报方式，如使用云端进行短信息，邮件等警报方式。

参考文献

- [1] 杨彦涛,王洪斌,王靖飞,吉增涛,李静,吴春艳.浅析我国农业信息化现状及对策[J].黑龙江农业科学,2006(02):61-63.
- [2] 吕晓燕,卢向峰,郝建胜.国内外农业信息化现状[J].农业图书情报学刊,2004(11):121-125.
- [3] 王海宏,周卫红,李建龙,孙政国,郑亚君.我国智慧农业研究的现状、问题与发展趋势[J].安徽农业科学,2016,44(17):279-282.
- [4] 刘丽伟,高中理.美国发展“智慧农业”促进农业产业链变革的做法及启示[J].经济纵横, 2016(12):120-124.
- [5] 吴燊.国外新型农业生产经营管理信息系统研究——以 Farmlogs 为例[J].软件导刊, 2016,15(01):130-132.
- [6] 李国英.大互联网背景下农业信息化发展空间及趋势——借鉴美国的经验[J].世界农业, 2015(10):15-20.
- [7] 顿文涛,毕庆生,惠向晖,夏斌,蔡斌,杨照岩,武海燕.无线传感器网络在数字农业中的应用[J].科技视界. 2012(29).
- [8] 李建龙,李鹤,刚成诚,干晓宇,杨峰,高建刚,钱伟东,王科峰.5S 一体化集成技术及其在农业科学中的应用进展[J]. 江苏农业科学. 2010(05)
- [9] 周千,李秉柏,程高峰. “5S” 技术在数字农业中的应用浅谈[J].河北农业科学. 2009(06)
- [10] 蔡斌,李勉,邱秀荣,毕庆生,顿文涛,贾树恒,袁超. 基于茎直径微变化的 Zigbee 棉花精准灌溉监控系统的设计[J].河南农业大学学报. 2013(04)
- [11] ITU. the Internet of Things. ITU Internet Reports 2005 . 2005.
- [12] 李瑾,郭美荣,高亮亮.农业物联网技术应用及创新发展策略[J]. 农业工程学报, 2015, 31(S2):200-209.
- [13] 葛文杰,赵春江.农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(07):222-230+277.
- [14] 郑守国. 农业物联网综述[A]. Intelligent Information Technology Application Association. Agricultural and Natural Resources Engineering (ANRE 2011 ABE V3) [C].Intelligent Information Technology Application Association:,2011:5.
- [15] 王阳,温向明,路兆铭,程刚,潘奇.新兴物联网技术——LoRa[J]. 信息通信技术, 2017, 11(01):55-59+72.
- [16] 陈皓.低功耗、远距离物联网的商业化应用[J].集成电路应用,2015(12):20-22.
- [17] 罗贵英.基于 LoRa 的水表抄表系统设计与实现[D].浙江工业大学,2016.
- [18] 刘超,袁满,庄文化,邓东周,张涛.基于相片 RGB 值提取的北川山地土壤颜色与有机质量化关系[J].中国科技论文,2015,10(09):1071-1075.

- [19] Sena Jr. et al. Fall armyworm damaged maize plant identification using digital images. Biosystems Engineering . 2003.
- [20] MARIO MS. Graphic approach for morphometric analysis of Archaeopteris leaves. Annales de Paléontologie . 2004.
- [21] 王克如. 基于图像识别的作物病虫害诊断研究[D]. 中国农业科学院, 2005.
- [22] 严春晨. 基于 3G 的农业试验场智能远程监控系统的设计与开发[D]. 南京理工大学, 2014.
- [23] 王磊. 基于视频监控的智慧农业系统设计[J]. 信息技术, 2015(12):198-200+204.
- [24] 刘云. 短距离无线通信技术及其实验: 科学出版社, 2014 年.
- [25] 张传志. CSS 和 DSSS-Chirp 信号特征分析及参数估计方法[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2015.
- [26] 赵文妍. LoRa 物理层和 MAC 层技术综述[J]. 移动通信, 2017, 41(17):66-72.
- [27] SX1276/77/78/79 DATASHEET.
- [28] 屈晶晶, 辛云宏. 连续帧间差分与背景差分相融合的运动目标检测方法[J]. 光子学报, 2014, 43(07):219-226.
- [29] 汪国强, 盖琪琳, 于怀勇, 文雪, 任天威. 基于背景差分法的视频目标检测算法研究[J]. 黑龙江大学学报, 2014, 5(04):64-68.
- [30] Y.-J. Cha, J.G. Chen, O. Büyükoztürk. Output-only computer vision based damage detection using phase-based optical flow and unscented Kalman filters[J]. Engineering Structures, 2017, 132.
- [31] 严红亮, 王福龙, 刘志煌, 沈士忠. 基于 ViBe 算法的改进背景减去法[J]. 计算机系统应用, 2014, 23(06):130-134.
- [32] 范文超, 李晓宇, 魏凯, 陈兴林. 基于改进的高斯混合模型的运动目标检测[J]. 计算机科学, 2015, 42(05):286-288+319.
- [33] Peng Suo, Yanjiang Wang College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061, P.R.China. An Improved Adaptive Background Modeling Algorithm Based on Gaussian Mixture Model[A]. IEEE Beijing Section. Proceedings of 2008 9th International Conference on Signal Processing(ICSP'2008)[C]. IEEE Beijing Section., 2008:4.
- [34] 万宝瑞. 当前我国农业发展的趋势与建议[J]. 农业经济问题, 2014, 35(04):4-7+110.
- [35] 王海菊, 谭常玉, 王坤林, 杜凤娟, 吴智军, 高仕龙. 自适应高斯滤波图像去噪算法[J]. 福建电脑, 2017, 33(11):5-6.

致谢

时光匆匆如白驹过隙，三年的研究生生涯马上进入了倒计时。在此论文即将完成之际，谨向我的母校，我的老师，我的同伴们表示由衷的感谢。

首先感谢我的母校，在这七年里，母校承载了无数的悲欢离合，喜怒哀乐，也让我在人生最美好的年华遇到了指导迷津的导师，志趣相投的伙伴以及肝胆相照的兄弟。在即将离开之际，在远方实习的日子里，越发的怀念母校的一草一木，熟悉的面孔萦绕眼前，感谢母校一路陪伴。

由衷的感谢我的导师，我是那个顽固不化的石头，油盐不进的刺头，在三年时光中，老师投入无数心血，关照我的学业，指导我我的科研，关心我的健康，亦师亦友，亦父亦兄，感谢老师三年的关照。

感谢我的伙伴们，我们一起同窗苦学，一起唇枪舌战，一起欢笑一起苦恼，感谢大家的关心和帮助。

最后感谢我的父母，支持我读书二十载，昔日风华不在，只将梦想和希望寄托在我的身上，感谢父母的付出。

个人简历

1990 年 10 月出生于山东省济南市。

2010 年 9 月考入中国海洋大学信息科学与工程学院计算机科学与技术专业，2014 年 6 月本科毕业并获得工学学士学位。

2015 年 9 月考入中国海洋大学信息科学与工程学院农业信息化专业，攻读硕士学位至今。



中国海洋大学
OCEAN UNIVERSITY OF CHINA

硕士学位论文

