

封面

基于 USRP+Labview 开发的物联网通信系统辅助教学案例

主题方向：中国科创

专业领域/方向：移动互联网

适用课程：移动通信原理及应用、移动互联网技术

作者姓名：钱丽萍、姜微、王倩、吴梦如、

龚树凤、李翔

工作单位：浙江工业大学 信息工程学院

中国专业学位案例中心

2024 年 2 月 20 日

案例正文

基于 USRP+Labview 开发的物联网通信系统辅助教学案例 *

钱丽萍 姜微 王倩 吴梦如 龚树凤 李翔

摘要：本案例描述了将智能物联网相关科研成果融入到《移动互联网技术》、《移动通信原理及应用》等研究生课程中。移动通信中一项重要的关键技术是移动通信系统设计。本案例围绕信息互通信、信息多模融合、以及信息互操作等关键算法机理，以及基于硬件设备的系统设计研发展开，详细阐述了移动通信系统每个功能模块的实现方案，并介绍了相应程序编写以及性能仿真。该案例主要用于辅助学生学习移动通信系统的原理和实现。通过基于 USRP+Labview 开发的物联网通信系统实验操作，帮助学生深入理解移动通信系统的各个模块和关键技术。

Abstract: This case describes the integration of research achievements related to the intelligent Internet of Things into postgraduate courses such as Mobile Internet Technology and Mobile Communication Principles and Applications. One important key technology in mobile communication is the design of mobile communication systems. This case focuses on key algorithm mechanisms such as information communication, information multimodal fusion, and information interoperability, as well as system design and development based on hardware devices. It elaborates in detail on the implementation schemes of each functional module in the mobile communication system, and introduces corresponding program writing and performance simulation. This case is mainly used to assist students in learning the principles and implementation of mobile communication systems. By conducting experiments on IoT communication systems developed based on USRP+Labview, students can gain a deeper understanding of the various modules and key technologies of mobile communication systems.

关键词：USRP+LabVIEW、移动通信系统、课堂教学

Keywords : USRP+LabVIEW; Mobile Communication System; Case Study

作者信息：钱丽萍，浙江工业大学信息工程学院教授；姜微，浙江工业大学

* (1)本案例系教育部学位与研究生教育发展中心 2022 年主题案例项目成果(项目名称：智能物联科创助力移动互联网应用型人才培养；项目编号：ZT-221033704；首席专家：钱丽萍)。

(2)本案例复制权、发表权、信息网络传播权等相关权益由教育部学位与研究生教育发展中心依法享有，如有相关需要，请取得教育部学位与研究生教育发展中心授权。

(3)本案例只供课堂讨论之用，并无意暗示或说明某种行为是否有效。

信息工程学院副教授；王倩，浙江工业大学信息工程学院副教授；吴梦如，浙江工业大学信息工程学院副教授；龚树凤，浙江工业大学信息工程学院讲师；李翔，华为浙江代表处方案经理。

引言

移动通信系统是当今社会的重要组成部分，也是电子信息工程领域的核心内容之一。随着移动通信技术的不断发展和应用，对于大学电子信息工程专业的学生来说，深入了解和掌握移动通信系统的原理和实现越来越重要。

然而，传统的课堂教学往往难以满足学生对于移动通信系统的深入理解和实践操作需求。因此，设计一种移动通信系统辅助教学案例，提供一个实际的移动通信系统实验平台，并且使用易于学习和使用的工具来设计和实现实验内容，可以帮助学生更好地理解移动通信系统的原理和实现，提高学生的实际操作能力和解决问题的能力。

基于 USRP (Universal Software Radio Peripheral) 和 LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 来开发移动通信系统辅助教学案例，可以利用 USRP 的软件定义无线电技术和 LabVIEW 的图形化编程环境，构建一个实际的移动通信系统实验平台，并且设计一系列实验内容，涵盖了移动通信系统的各个方面。学生可以通过实验操作，深入理解移动通信系统的各个模块和关键技术，提高其实际操作能力和解决问题的能力。

1. 背景

无线通信是指通过无线传播介质进行信息传输的通信方式，相对于有线通信，它具有不受地理和环境限制、低成本、数字化和智能化、设备高度集成等众多优点。随着大量无线通信设备的广泛应用，人们对于如何高效处理大量数据和信号的需求也不断增加。根据相关统计数据，从 2007 年到 2022 年，全球移动通信数据总量的年增长率约为 46%，到 2022 年，每个月需要处理的数据总量可能达到 77.5 艾字节^[1]。在如此迅猛的用户需求下，我们需要采用新技术来提高系统的传输能力。

随着科技的不断进步，近年来出现了新的通信技术和通信系统，但这些系统之间的互操作性差，彼此不兼容，这给不同系统之间的通信带来了许多问题。传统的通信系统通常使用专用集成电路 (ASIC)，对其进行修改需要耗费大量时间和金钱。为了应对无线通信领域面临的实际问题，MILTRE 公司的 J. Mitola 于 1992 年首次提出了软件定义无线电 (Software Defined Radio, SDR) 的概念^[2]。SDR 的核心思想是构建一个模块化、标准化和开放的硬件平台，通过该平台可以使用软件来实现调制、解调、工作频率、通信协议以及加密解密等基本功能。

如果需要通过实现特定功能，只需选择相应的软件模块，从而使通信系统适应不同的无线环境。通过通用的硬件平台和软件配置，用户可以根据需要自定义各种参数，使系统更加灵活。

长期以来，人们对于信息传输进行了理论研究和仿真模拟，但由于无线信道受到信道干扰等多种因素的影响，使用传统方法建模和仿真并不总是准确的，也不能真实地反映实际的传输情况。此外，对于使用专用集成电路的传统方法，后续的改进和修改非常困难，而且周期较长。因此，本案例选择基于软件定义无线电平台来研究文本文件数据传输系统，利用 SDR 的灵活性，结合软件，可以轻松调整调制解调方式、载波频率和数据包格式等参数。通过理论分析和实验结果，学生可以更深入地了解移动通信系统的设计。

软件定义无线电平台具有巨大的军事和商业价值，在未来的无线通信发展中，基于 SDR 平台设计和制造下一代通信产品将变得越来越重要，成为无线通信的未来趋势。虽然普及需要时间，但通过使用软件来定义通信方式，系统将更加智能化和人性化，这将是通信技术未来的发展方向。通用软件定义无线电外设（USRP）是一种开放式的硬件平台，可以与 GNU Radio 等软件一起使用，用于构建软件定义无线电系统^[3]。它具有高度可编程性和灵活性，可以根据不同的需求配置以实现各种通信任务。USRP 与 LabVIEW 等软件结合使用，可以充分利用其灵活的用户界面和交互性，用于开发和测试各种通信系统，包括物联网通信系统、射频测试系统等。USRP 和 LabVIEW 的结合在通信系统研究中具有广泛的应用^[4]。

通过本案例，学生可以了解软件定义无线电平台（如 USRP）、LabVIEW 和 GNU Radio 等工具的使用，以及它们在通信系统设计和实验中的应用。这有助于培养学生在无线通信领域的技术能力，使他们能够更好地理解和应用现代通信技术。

2. 移动端到端传输系统

移动端到端传输系统框图如图 1 所示。发送端读取文本文件，转换为比特流后，进行数据包封装、组帧，然后将封装好的数据进行脉冲成型滤波，MPSK 调制，最后通过 USRP 进行射频发送。在信号接收端，将接收到的波形数据进行分包处理（去除直流分量，并通过相关运算检测出每个数据包的对应位置，分离出数据包），并对提取的数据包进行重采样、MPSK 解调恢复出比特流，经过数据包有效性检验后，重构数据并转换格式，然后输出并显示数据。

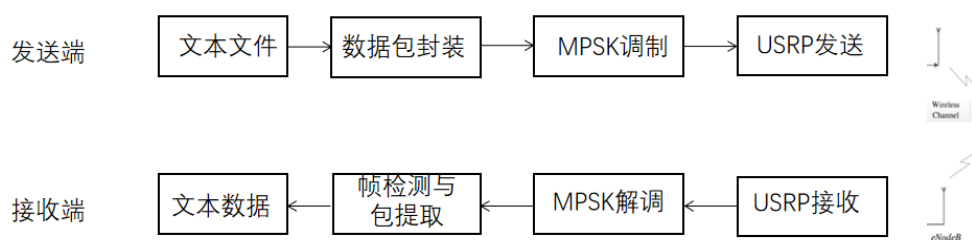


图 1 移动端到端传输系统

其中采用的传输策略与帧结构如下：

1) 传输策略： 数据分包处理策略采用以设定的字节大小进行分包，通常建议选择数据位数为 16 的倍数。如果文本大小不足设定的字节大小，将使用填充 (PADDING) 来补齐数据包。

2) 帧结构： 每个数据包的帧结构包括保护位、同步位、数据包编号、数据位和空白帧填充位等几个部分。其中各个部分的作用如下，保护位用于初始化接收端的 PLL 和滤波器，以实现载波同步；同步位用于进行码元同步，通过特定比特位与发送端保持同步；数据包编号：记录数据包的编号，有助于接收端的数据重组和丢包检测；数据位：存放二进制文本信息数据，长度通常由用户自定义，建议设置为 2 的整数次幂；空白帧填充位：用于消除滤波器边缘效应的影响。

3) MPSK 调制模块： 该模块用于对封装好的数据进行调制，以提高频带利用率并保持误码率。支持的调制方式包括 BPSK、QPSK 和 8-PSK，用户可以根据需要选择不同的调制方式。此外，用户还可以自行选择符号样本数，不同参数将决定所采用的脉冲整形滤波器类型。

3. 基于 USRP+LabVIEW 开发的移动通信系统实现

3.1 安装 LabVIEW2018

① 安装 2018 年 32 位的 LabVIEW2018，它相对是最新的中文版本。资源与安装步骤教程很多，在此不再详述。

② 激活：一般安装包里会提供 NI License Activator 激活工具，按照教程激活即可。

3.2 环境搭建（安装运行 USRP 需要的库和相关工具）

① USRP 驱动程序。这里需要注意安装支持 LabVIEW2018 的 NI-USRP 库（即版本要对应），搜索 NI 官网下载。

② LabVIEW2018 调制工具包。

③ LabVIEW2018 数学脚本 RT 模块，可以在官网上下载。

④ LabVIEW2018 数字滤波器设计工具包，同理需要激活。

3.3 使用 LabVIEW2018& USRP 具体操作流程

第一步：这里以 NI-USRP2901 为例，连接方式为 USB，直接插上电脑即可，连接成功后，打开下图 2 程序 NI-USRP Configuration Utility。

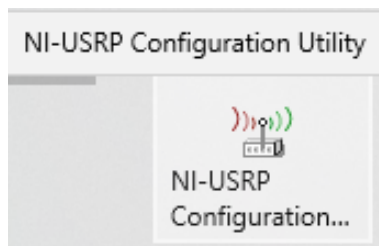


图 2 NI-USRP Configuration Utility 程序

第二步：确认连接后显示如下图 3 所示。

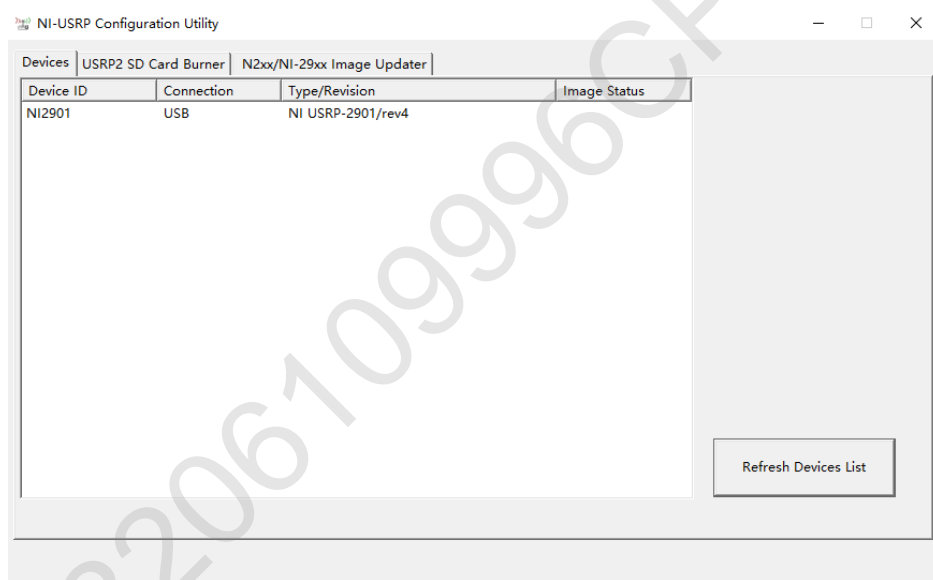


图 3 确认连接显示图

第三步：打开发送接收程序，如下图 4 所示。

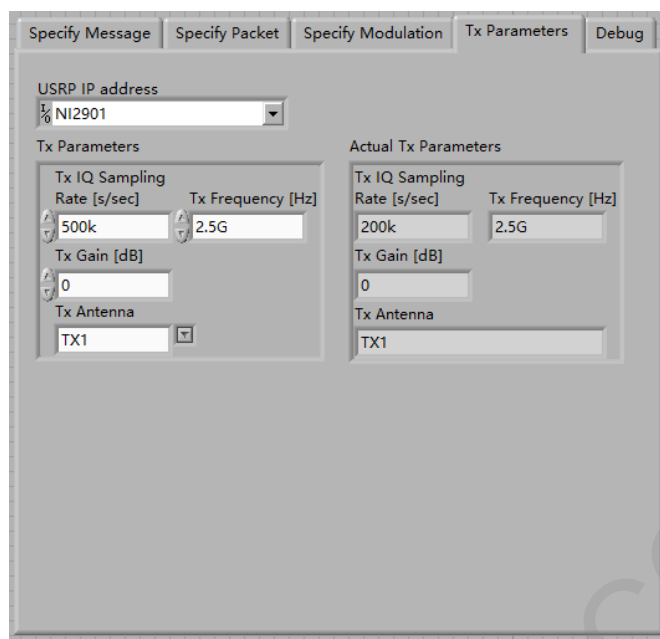


图 4 发送接收程序图

这里进行 USRP 的参数设置：USRP IP address 根据第二步检测到的设备输入即可；IQ 采样率，载频，增益和天线的选择根据需要输入，如果使用的是 VERT2450 天线，那么频率范围可选的为 2.4-2.48GHz 或者 4.9-5.9GHz。注意 IQ 采样率，载频的参数设置要与接收端相同。

第四步：选择调制方式，同样的发送端和接收端要选择相同的方式，如下图 5 所示。

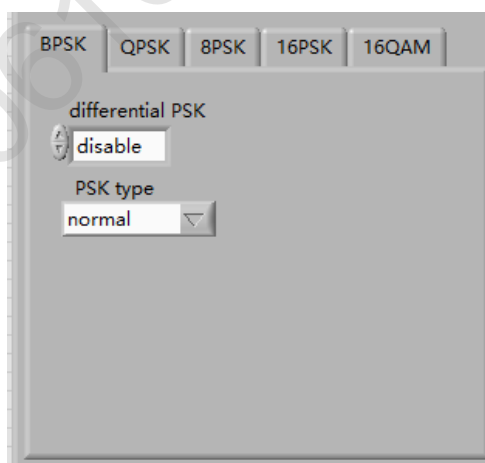


图 5 调制方式选择图

第五步：数据包的构成设置，发送端与接收端保持一致，如下图 6 所示。

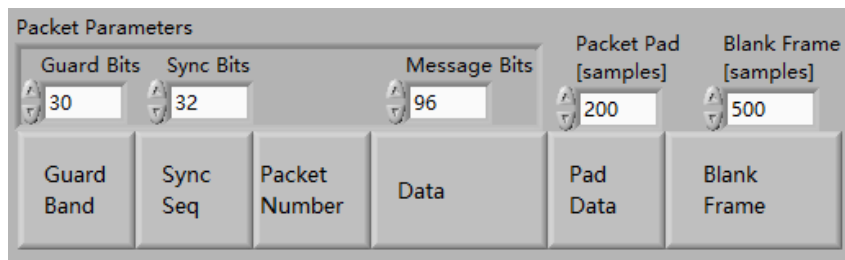


图 6 数据包构成设置图

第六步：指定要发送的文本后，按下最左边的箭头运行程序。LabVIEW 支持看数据流具体执行步骤，打开程序面板，最右边的灯泡点亮后，就可以看数据流。

3.4 程序讲解（打包与解包）

（1）对数据进行打包

首先在对数据打包之前，需要确认数据包的结构，如数据包可以由保护位、同步位、包裹编号、数据、CRC 校验码、填充位等组成。然后把这些数据转化为二进制数组，由“程序框图→函数选板→编程→数组→创建数组”这一函数把这些二进制数组整合起来为一个数据包，这时还需要右键创建数组函数选择连接输入，如图 7，具体实现如图 8。

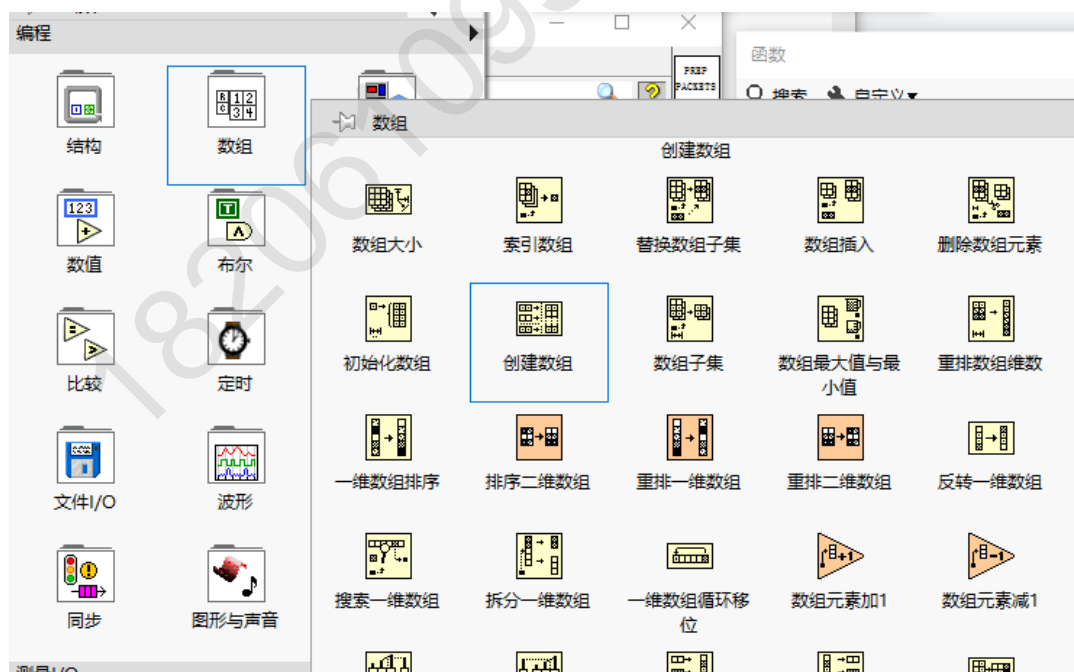


图 7 创建数组图

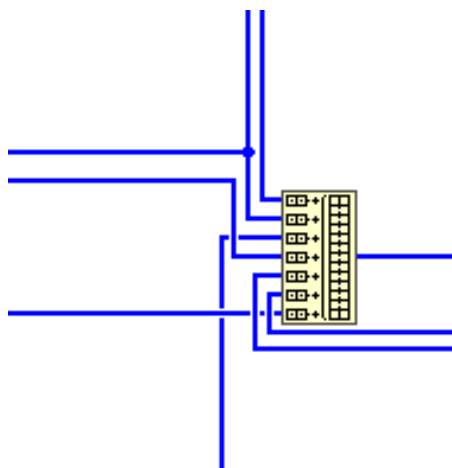


图 8 创建数组具体实现图

(2) 对数据包解包

解包相对复杂，需要确认数据包里各个结构的位数组成，如同步位 30 位、保护位 32 位、包裹编号 32 位、数据 128 位、CRC 校验 16 位。接收到的数据流为二维数组，经过解调后的数据流每行对应着每个包裹。对这数据流进行处理：先去掉同步位，提取同步位，目的是进行确认该组数据是有效的，也标示着数据位的开始。这里要用到的函数为“程序框图→函数选板→编程→数组→数组子集”，这一函数对包裹同步位的提取，如图 9。具体实现如图 10，对每个包裹的同步位都提取出来进行比对，长度为设置的同步位数。

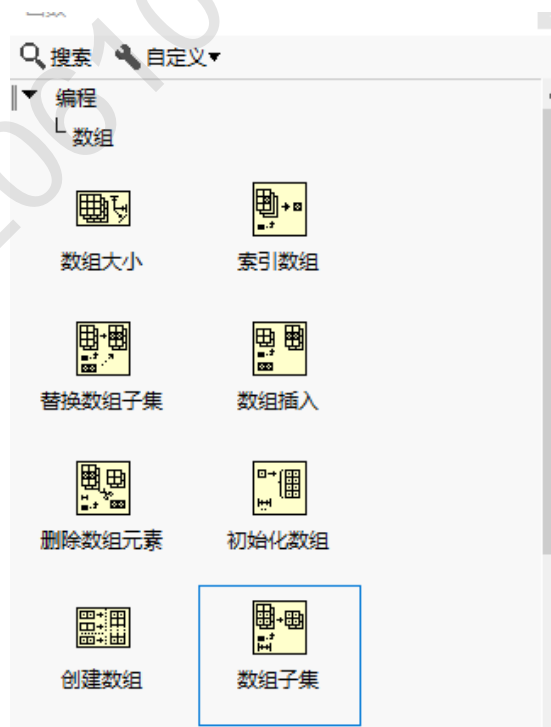


图 9 包裹同步位提取图

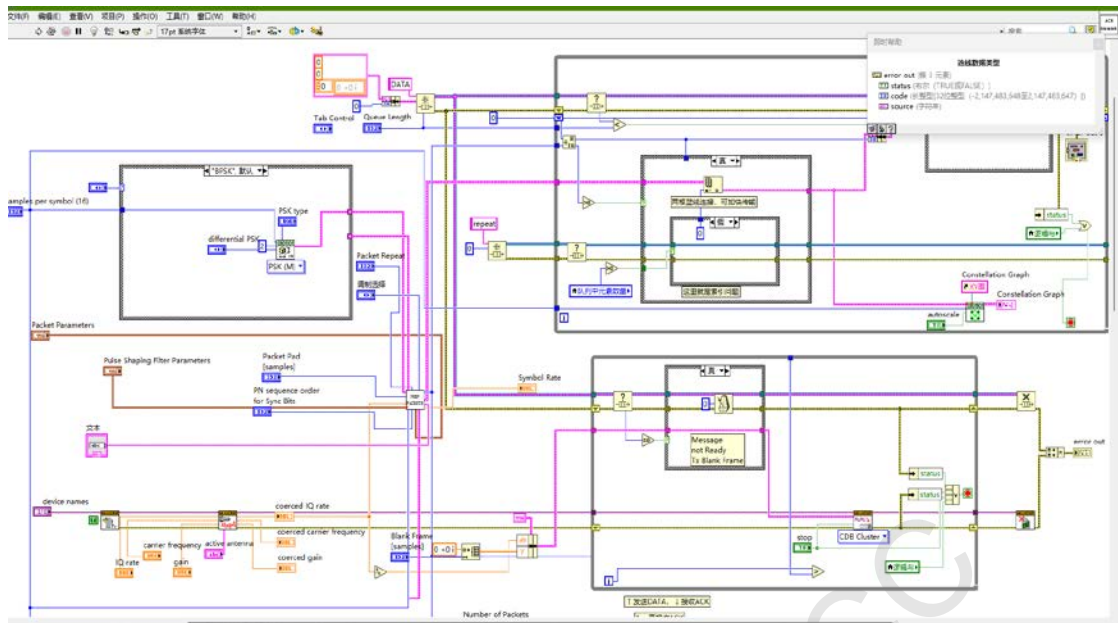


图 15 发送数据程序

LabVIEW 发送 ACK 程序流程如图 16 所示,如果经过 CRC 校验并正确解包,则发送 ACK 到发送数据端,发送数据端则停止发送该数据包。发送数据端类似,发送未标记的数据,接收到 ACK 后,对指定数据标记,停止重传。

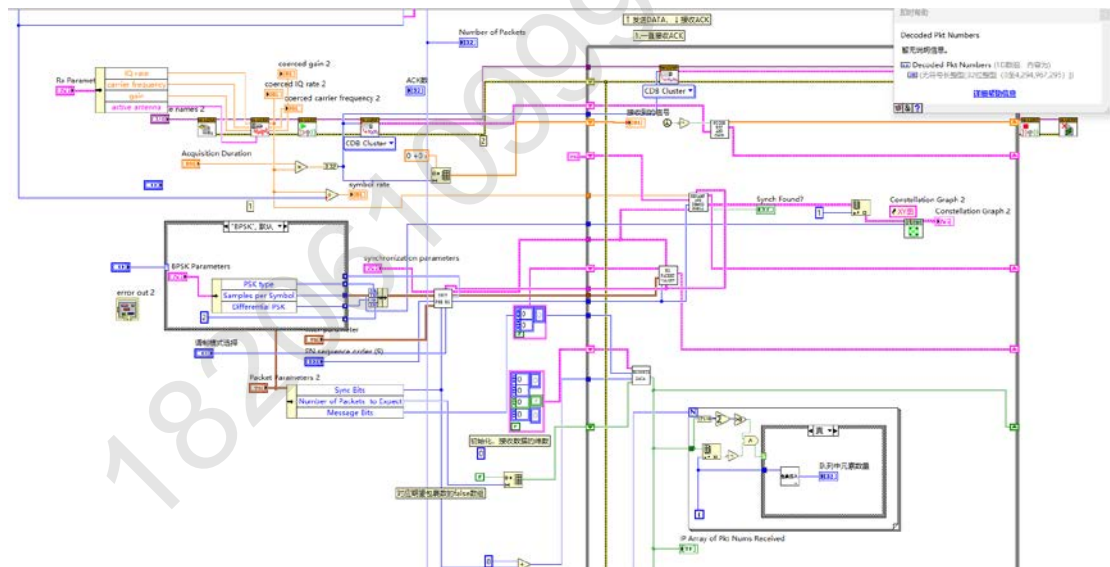


图 16 发送 ACK 程序

3.6 对实验结果的分析

通过实验结果的分析,帮助学生理解移动通信系统的原理和实现,分别有以下几点:

①数据可靠性: 学生可以了解在移动通信系统中,数据的可靠性对于传输的重要性。通过 CRC 校验,可以检测传输过程中是否出现了错误,从而保证数据

的准确性和完整性。

②自动重传请求（ARQ）机制：通过实验，学生可以了解 ARQ 机制是如何在移动通信系统中实现数据的自动重传请求。当接收端检测到数据包有误时，会发送重传请求，要求发送端重新发送数据，从而确保数据的正确传输。

③可靠性与效率权衡：实验中可以观察到，在出现错误时进行重传可以保证数据的可靠传输，但同时也会增加通信系统的开销和延迟。学生可以探讨可靠性与效率之间的权衡，并思考如何在实际应用中做出合理的选择。

④移动通信协议的设计与实现：通过 LabVIEW 和 USRP，学生可以实际搭建一个简单的移动通信系统，并了解其中涉及的协议设计和实现过程。这有助于学生对移动通信协议的原理和流程有更深入的理解。

⑤实际应用场景：通过实验结果的分析，学生可以认识到数据可靠性在实际移动通信场景中的重要性，如何优化通信协议以满足不同应用场景的需求。

综上所述，通过 LabVIEW 和 USRP 的 CRC 校验和重传实验，学生可以深入了解移动通信系统的关键原理和实现，同时对数据传输的可靠性、效率、协议设计等方面有更全面的认识。这样的实验可以为学生提供实际操作和实践经验，增强他们对移动通信系统的理解和应用能力。

更进一步的当学生通过 LabVIEW 和 USRP 的 CRC 校验和重传实验掌握了基本的移动通信原理和实现之后，可以进一步深入讨论一些相关的话题，如：

①差错控制编码：在实验中，CRC 校验是一种简单的差错控制编码方式，学生可以了解更多的差错控制编码方法，如卷积码、分组码、纠错码等，以及它们在移动通信中的应用和优势。

②ARQ 机制的优化：学生可以探讨如何优化 ARQ 机制，以提高重传的效率和性能。例如，使用自适应重传机制，根据信道状况和数据重要性动态调整重传次数和时间间隔。

③频谱效率和传输速率：学生可以讨论如何在保证数据可靠性的前提下，提高频谱效率和传输速率。这涉及到调制方式、信号设计和多路复用等技术。

④移动通信标准：学生可以了解不同移动通信标准中的差错控制和重传机制，如 LTE、5G 等，以及它们的特点和适用场景。

⑤实验应用和拓展：学生可以探讨实验结果在实际应用中的意义和应用场景，以及如何将所学的通信原理和技术应用到其他领域，如物联网、无线传感网络等。

通过深入讨论这些话题，学生可以进一步拓展对移动通信系统的认识和理解。

解，了解移动通信技术的发展趋势和应用前景，培养解决实际通信问题的能力和创新意识。同时，实验和讨论也可以激发学生对通信领域的兴趣，促进他们在未来的学习和研究中深入探索移动通信技术的更多领域和挑战。

4. 总结

上述主要介绍了一种基于 USRP 和 LabVIEW 的移动通信系统辅助教学案例。该案例主要用于辅助学生学习移动通信系统的原理和实现，通过实验操作，帮助学生深入理解移动通信系统的各个模块和关键技术。

该案例的具体内容包括：

(1) 移动通信系统框架介绍：介绍了移动端到端传输系统框架，使学生对系统模型以及各个模块的功能有所掌握。

(2) 实验平台的搭建：使用 USRP 和 LabVIEW 构建了一个移动通信系统实验平台。

(3) 实验操作的流程：提供详细的实验操作流程，帮助学生理解实验的步骤和注意事项。

(4) 实验结果的分析：通过实验结果的分析，帮助学生理解移动通信系统的原理和实现。

该案例的优点在于，它提供了一个实际的移动通信系统实验平台，并且使用了 LabVIEW 这个易于学习和使用的工具来设计和实现实验内容。此外，该案例的实验内容涵盖了移动通信系统的各个方面，帮助学生全面地理解移动通信系统的原理和实现。

总的来说，该案例是一个很好的移动通信系统辅助教学案例，可以帮助学生更好地理解移动通信系统的原理和实现，提高学生的实际操作能力和解决问题的能力。

参考文献

- [1] 中国互联网络信息中心, 第 50 次中国互联网络发展状况统计报告[R], 2022.
- [2] 侯赛因·阿尔斯兰, 任品毅, 吴广恩. 认知无线电、软件定义无线电和自适应无线系统[M]. 西安交通大学出版社, 2010.
- [3] 李楠. 基于 GNUradio 的认知无线电在移动通信中的应用研究[J]. 信息通信, 2020, (05): 224-225.

[4] 邢鑫, 赵慧. 基于 LabVIEW 和 USRP 的软件无线电通信实验平台设计[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(5): 5.

18206109996CPCC