



物联网 TCP/IP 技术详解

主 编 崔建峰 陈海峰
副主编 卞 鹏 李桂森



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

物联网 TCP/IP 技术详解

主 编 崔建峰 陈海峰
副主编 卞 鹏 李桂森

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

W5500 是 WIZnet 公司最新推出的以太网接入芯片,内嵌全硬件 TCP/IP 协议栈。本书以当前流行的 STM32F103 单片机为主控芯片,着眼于物联网的实际应用,深入浅出地讲解物联网开发中所需要的 TCP/IP 知识,同时又通过实际的案例介绍如何使用 W5500 在 STM32F103 单片机上实现这些协议。本书除讲解常用的 TCP/IP 应用层协议(如 DHCP、DNS 和 HTTP 等协议)外,还详细介绍如何与物联网云平台通信,如何实现设备固件的远程更新,以及如何实现 ZigBee 网关的相关内容。这些内容都是物联网开发时常用的 TCP/IP 技术,对读者从事物联网技术开发和研究具有重要的参考价值。

本书从实例出发,深入浅出,层次分明,内容通俗易懂,实用性强。特别适合作为普通高校物联网类、计算机类、电子类以及电气自动化类专业的实验教学用书,也可作为从事物联网技术开发和单片机技术开发的工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

物联网 TCP/IP 技术详解 / 崔建峰,陈海峰主编. --

北京:北京航空航天大学出版社,2015.10

ISBN 978-7-5124-1856-1

I. ①物… II. ①崔… ②陈… III. ①计算机网络—通信协议 IV. ①TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 176741 号

版权所有,侵权必究。

物联网 TCP/IP 技术详解

主 编 崔建峰 陈海峰

副主编 卞 鹏 李桂森

责任编辑 李 青 冯 颖

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:18.5 字数:394 千字

2015 年 10 月第 1 版 2015 年 10 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1856-1 定价:39.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

序 言

欣闻 WIZnet 的 W5500 芯片应用手册即将集结出版,非常高兴!作为 W5100 的忠实老用户,我从最早接触 Arduino 的时候就爱上了这款优秀的网卡芯片,虽然市面上有不少单片机以太网解决方案,但是 WIZnet 系列产品以其独特的内置硬件 TCP/IP 协议栈,简洁易用的硬件接口,稳定可靠的 Arduino 原生库支持,深得我的喜爱。

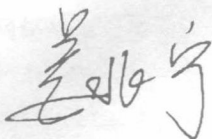
作为国内的开放物联网平台 Yeelink 的开发和维护者,我们一直向所有的开源硬件爱好者推荐使用这款芯片,并将其作为网卡入门和学习的首选。在平台上,活跃着大量使用 W5100 系列产品的创客和电子爱好者。2012 年,我们第一次大胆地尝试在我们的商业智能照明产品 Yeelight 中,选用 W5100 作为 ZigBee 转以太网网关的主网卡方案,同时支持智能手机 APP 和远程网络实时 Socket 控制,结果不负众望,W5100 在 8 位机的 Arduino 上表现出卓越的性能和稳定性,不但使我们的项目得到了大量的销售订单,同时也大大压缩了项目开发时间和调试时间。由于与 Arduino 有良好的兼容性,因此我们能够很容易地吸引创客朋友加入到产品的改进中,让产品变得更有趣。

但不得不说,W5100 在资源上存在一些限制,比如仅支持 4 个并发 Socket 等情况,逐渐不能满足现在大量移动终端同步接入的需求。让人兴奋的是,WIZnet 团队针对这个情况迅速开发、投入了新型的 W5500 系列产品,同步支持 8 个并发 Socket 连接,这大大扩充了原来在 W5100 上稍显局促的资源,也让我们对这个系列的产品更有信心!

在这里,我要热情地将这个 W5500 系列产品推荐给从事快速物联网产品开发的朋友,快速实现产品开发。它的稳定性和可靠性,以及硬件 TCP/IP 栈带来的简易软件接口,一定也会让你对这个系列的产品爱不释手。

最后,希望 WIZnet 的新型硬件产品和 Yeelink 开放物联网平台,能够帮助所有爱好动手和制作的创客与电子工程师朋友们,玩出更多更有趣的应用,同时学到更多的知识。

Yeelink CEO



2015 年 6 月

前言

近年来,随着互联网的高速发展和普及,我们的生活发生了翻天覆地的变化。联网不再是电脑的特权,智能手机的普及让我们随时随地都可以在互联网中遨游。然而,人们并不满足于此。最近几年,物联网(IoT, Internet of Things)慢慢地从单纯的观念衍生出来实际的产品,像 Philips Hue 智能 LED 灯具。随着物联网技术的发展,我们可以下班前通过互联网打开家里的空调、LED 等设备,也可以让电冰箱及时告诉你该采购什么食材了……光是畅想一下这种舒适、便利的生活,已让人喜不自禁。

设备连接互联网的方法大体可以分为两类:一类是无线,如 GPRS/3G 或 WiFi;一类是有线,如以太网。在诸多联网方式中,以太网以其高普及率、低成本和高速率被广泛采用。在本书中,我们主要介绍如何让嵌入式设备通过以太网轻松接入互联网。本书从简单实用的实例讲起,由浅入深地讲解单片机接入互联网常用的一些协议,例如 DHCP、DNS 和 HTTP 等。每章都配有实例代码的讲解,使读者对协议的理解更容易。有过单片机实训经历的读者都会有这样的体会,在单片机的教学过程中,网络部分往往安排在最高级阶段,用单片机实现网络功能的难度可见一斑。而且,往往这些网络部分都离不开嵌入式操作系统(如嵌入式 Linux 和 Windows CE 等)的支持。实现网络功能时需要对这些嵌入式操作系统进行学习,或者在无操作系统的情况下需要对 TCP/IP 协议栈(如 LwIP)有深入的了解。

因此,对操作系统的学习或对 TCP/IP 协议栈的了解势必增加了单片机学习的负担,令很多单片机学习者望而却步。针对这些学习上的难点,本书配套的开发板采用硬件化的 TCP/IP 协议栈芯片,大大简化了普通单片机联网的难度,为开发连接互联网设备的读者提供了必要的参考。另外,对于计算机网络专业的读者,由于现在计算机高级编程语言(如 Java 和 C#)的高度封装,使得我们在实现很多网络协议时只须调用现成的库即可,无须深入了解具体的协议,因此很多读者对网络协议只知道表面,但不能完全理解协议的原理。如果通过单片机来实现这些 TCP/IP 协议,则需要读者用代码来实现,因此本书对于想要深入了解协议的读者将会有很大的帮助。

进入网络时代,各行各业对网络的依赖也越来越强。对于工程师的要求也是如



此,很多电子产品不再只是简单的单点数据采集或控制,越来越多的设备都表现出了强烈的联网需求,这就要求工程师的知识面越来越宽,仅知道单片机或者计算机网络已经远远不够,更多的场合需要工程师既能完成单片机开发,又能实现网络协议。这也是我们编写本书的目的之一。

此外,在本书编写和程序调试过程中,WIZnet 北京代表处的国翠、刘琛、常席正和苗壮以及实习生徐洋、金翌飞和张文娟提供了大力协助。北京博控自动化有限公司的李桂琴总经理也对本书的编写工作提供了大力支持。在此,对为本书的编写工作提供帮助的所有单位和个人表示感谢!

本书由厦门理工学院教材建设基金项目资助。

由于时间仓促,加上作者水平有限,疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者

2015 年 8 月

WiFi 是 WLAN 的一种,属于无线局域网(WLAN)技术。WiFi 技术是一种无线局域网技术,它使用 IEEE 802.11 标准,通过无线方式实现设备之间的通信。WiFi 技术广泛应用于各种设备,如笔记本电脑、智能手机、平板电脑等。WiFi 技术的优点是方便、灵活、易于部署,缺点是传输速率相对较低,且容易受到干扰。

蓝牙技术是一种短距离无线通信技术,它使用 IEEE 802.15.1 标准,通过无线方式实现设备之间的通信。蓝牙技术广泛应用于各种设备,如蓝牙耳机、蓝牙键盘、蓝牙鼠标等。蓝牙技术的优点是传输速率较高,且不容易受到干扰,缺点是传输距离较短。

红外技术是一种非接触式通信技术,它使用红外线进行数据传输。红外技术广泛应用于各种设备,如红外遥控器、红外感应器等。红外技术的优点是传输速率高,且不容易受到干扰,缺点是传输距离较短,且需要直线传播。

射频识别(RFID)技术是一种非接触式自动识别技术,它使用射频信号进行数据传输。RFID 技术广泛应用于各种设备,如身份证、图书馆书籍、物流跟踪等。RFID 技术的优点是传输速率高,且不容易受到干扰,缺点是传输距离较短,且需要专门的读写设备。

物联网技术是一种将各种设备连接到互联网的技术,它通过互联网实现设备之间的通信和数据交换。物联网技术广泛应用于各种设备,如智能家居、工业自动化、交通运输等。物联网技术的优点是传输速率高,且不容易受到干扰,缺点是传输距离较短,且需要专门的读写设备。

目 录

第 1 章 基础篇	1
1.1 TCP/IP 开发平台介绍	1
1.1.1 开发板的构成	2
1.1.2 使用 J-Link 调试程序	3
1.1.3 用串口烧录程序	6
1.1.4 小 结	10
1.2 Ping 通 W5500EVB	10
1.2.1 Ping 简介	10
1.2.2 W5500 与 Ping 程序	11
1.2.3 Ping 程序的调试与运行	14
1.2.4 小 结	16
1.3 TCP 客户端程序的实现	16
1.3.1 TCP 概述	17
1.3.2 W5500 与 TCP 客户端程序	21
1.3.3 小 结	27
1.4 TCP 服务器端程序的实现	27
1.4.1 W5500 与 TCP 服务器端程序	28
1.4.2 小 结	33
1.5 使用 UDP 发送数据	33
1.5.1 UDP 简介	33
1.5.2 W5500 与 UDP	34
1.5.3 小 结	36
第 2 章 应用协议篇	37
2.1 通过 DHCP 自动获取 IP 地址	37
2.1.1 DHCP 协议简介	37
2.1.2 W5500 实现 DHCP 自动分配 IP 地址	40
2.1.3 小 结	47



2.2 通过 DNS 实现域名解析	47
2.2.1 DNS 简介	48
2.2.2 W5500 的 DNS 实现过程	50
2.2.3 小 结	54
2.3 一个简单的网页服务器的实现	54
2.3.1 HTTP 协议简介	55
2.3.2 用 W5500 搭建简单的网页服务器	60
2.3.3 小 结	63
2.4 使用 SMTP 发送邮件	64
2.4.1 SMTP 协议简介	64
2.4.2 SMTP 的代码实现	68
2.4.3 小 结	74
2.5 通过 NTP 获取网络时间	74
2.5.1 NTP 协议简介	75
2.5.2 使用 W5500 实现 NTP	77
2.5.3 小 结	81
2.6 使用 FTP 协议实现文件传输	81
2.6.1 FTP 协议简介	82
2.6.2 W5500EVB 的 FTP 客户端实现流程	84
2.6.3 小 结	92
第 3 章 进阶篇	94
3.1 通过上位机远程配置设备	94
3.1.1 上位机与下位机程序	94
3.1.2 上位机远程配置设备	95
3.1.3 小 结	101
3.2 通过浏览器配置设备	101
3.2.1 通过浏览器配置 W5500EVB	101
3.2.2 小 结	105
3.3 ARP 地址解析协议的实现	105
3.3.1 W5500 的 MACRAW 模式与 ARP 简介	105
3.3.2 ARP 示例程序	107
3.3.3 小 结	111
3.4 SNMP 网络管理协议的实现	111
3.4.1 SNMP 简介	112

3.4.2	SNMP 实现方法	116
3.4.3	小 结	120
第 4 章 实践篇		121
4.1	连接 Yeelink 云平台	121
4.1.1	智能家居系统和云平台	121
4.1.2	Yeelink 云平台简介	123
4.1.3	连接 Yeelink	125
4.1.4	小 结	131
4.2	物联网设备获取网页信息	131
4.2.1	物联网设备获取网页信息的应用	131
4.2.2	W5500 获取远程信息	132
4.2.3	小 结	136
4.3	微博在物联网中的应用与实现	136
4.3.1	微博的特点	136
4.3.2	使用 W5500 发微博	137
4.3.3	小 结	142
4.4	网页摄像头	143
4.4.1	W5500EVB 与摄像头模块	143
4.4.2	摄像头驱动程序	145
4.4.3	动态网页实现	148
4.4.4	小 结	152
第 5 章 高级篇		153
5.1	为物联网设备实现远程更新固件	153
5.1.1	方法 1:使用上位机程序更新设备固件	153
5.1.2	方法 2:使用浏览器更新设备固件	159
5.2	利用 HTML5 实现在线实时采集系统	164
5.2.1	HTML5 简介	164
5.2.2	实时数据网页的实现	165
5.2.3	小 结	171
5.3	NetBIOS 在物联网中的应用与实现	171
5.3.1	NetBIOS 简介	172
5.3.2	NetBIOS 报文和工作流程	172
5.3.3	NetBIOS 实例程序	176
5.3.4	小 结	180



5.4	UPnP 与自动端口映射	180
5.4.1	UPnP 概念及结构规范	181
5.4.2	端口映射在 W5500 上的实现	186
5.4.3	自动端口映射功能演示	196
5.4.4	小结	198
第 6 章	案例篇	199
6.1	网页远程控制——Web I/O	199
6.1.1	Web 数据交互原理	199
6.1.2	动态网页设计以及 W5500 对应接口程序实现	200
6.1.3	小结	205
6.2	物联网中的 ZigBee 转以太网网关的实现	206
6.2.1	ZigBee 简介	206
6.2.2	将 ZigBee 技术接入互联网	208
6.2.3	硬件连接与程序移植	208
6.2.4	Zstack 应用程序解析	211
6.2.5	代码描述	216
6.2.6	W5500 驱动	220
6.2.7	小结	223
附录 A	W5500 简介	224
A.1	以太网控制芯片 W5500 的特点及结构	224
A.2	W5500 的特点	224
A.3	W5500 的结构	225
A.4	W5500 的存储器和寄存器	229
附录 B	数据通信与库函数	251
B.1	数据通信	251
B.1.1	通信接口	251
B.1.2	数据帧格式	253
B.1.3	可变数据长度模式	256
B.1.4	固定数据长度模式(FDM)	260
B.2	库函数	262
附录 C	Wireshark 抓包使用示例	270
C.1	Wireshark 抓包	270

C.2 Wireshark 窗口	272
C.3 Wireshark 显示过滤	272
C.4 封包列表及包内详细信息	274
附录 D W5500EVB 电路原理图	275
D.1 W5500EVB 核心板部分	275
D.2 W5500EVB 底板部分	277
D.3 以太网接口布线规范	279
参考文献	281

第 1 章

基础篇

本章简单介绍了本书所采用的物联网 TCP/IP 协议开发平台 W5500EVb 的使用方法,以及使用该平台如何进行 TCP/UDP 数据通信,并通过实例代码讲述了 W5500 的 Socket 编程方法。本章内容是后续章节的基础,熟悉了 TCP/UDP 的操作,对后续章节的代码理解将会有很大帮助。

1.1 TCP/IP 开发平台介绍

物联网融合了无线传感器网络和互联网,如同本书的名字一样,我们主要关注物联网如何接入互联网。在众多的互联网接入方式中,本书将介绍最为普遍的以太网方式。为了避免纸上谈兵,本书将通过实例来讲解一些常用的 TCP/IP 协议的实现方法,因此我们为本书配备了一个 TCP/IP 开发平台。磨刀不误砍柴工,在切入正题之前,首先介绍一下本书所采用的开发板的构成和使用方法,便于读者调试后面章节的程序。

本章将介绍物联网如何接入 TCP/IP 网络,为了使读者更好地理解 TCP/IP 协议,还需要借助单片机开发板来实现这些协议。本书中采用了目前市面上最常见的 ARM Cortex-M3 内核的单片机加上以太网接口芯片作为学习开发平台。由于本书的核心是讲解如何在单片机上实现 TCP/IP,因此其中的开发板根据所采用的以太网接口芯片 W5500 的名字命名为 W5500EVb(W5500 Evaluation Board)。

W5500EVb 中的 W5500 以太网芯片延续了之前 WIZnet 系列产品的 ToE 技术的优势,使用硬件逻辑门电路实现 TCP/IP 协议栈的传输层及网络层,并集成了数据链路层、物理层以及 32 KB 片上 RAM 作为数据收发缓存,从而把网络数据处理工作大部分转移到 W5500 集成硬件中进行。这使得上位机主控芯片只须承担 TCP/IP 应用层控制信息的处理任务,从而大大节省了单片机的运算资源,提升了系统整体性能和网络的可靠性。

利用该开发板可以实现各种各样的网络应用。例如:可以通过发微博,让家居设备真正进入社交网络;还可以用它作为远程 HTTP 服务器,实现远程设备配置以及固件更新;也可以作为以太网和 ZigBee 或其他无线传感网(WSN)之间的网关,让传感器数据在互联网上畅通无阻。后续章节也将结合这些应用展开,带读者来使用开发板定制自己的应用。本书所采用的开发板实物图如图 1-1-1 所示。

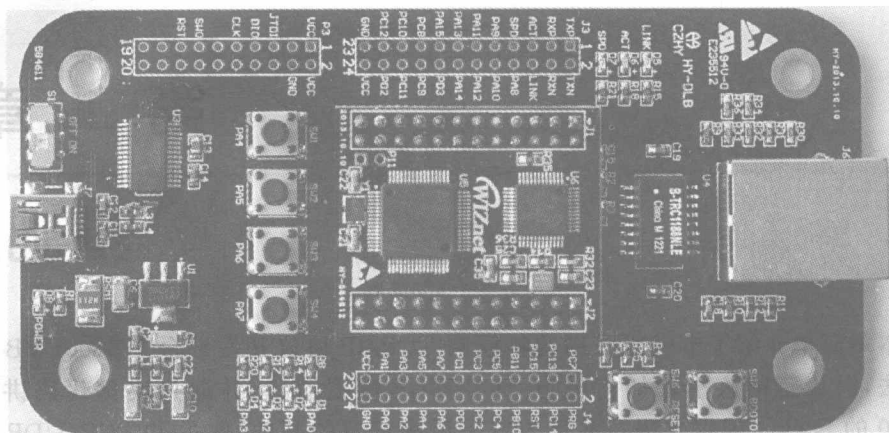


图 1-1-1 W5500EVb 实物图

1.1.1 开发板的构成

如图 1-1-2 所示, W5500EVb 采用当前业界流行的以 ARM Cortex - M3 为内核的 STM32F103RC 单片机作为主控芯片, 以太网接口部分采用 WIZnet 公司最新推出的以太网控制器 W5500, 该芯片不但集成了以太网 MAC 和 PHY, 而且还用硬件逻辑实现了网络层和传输层, 使用户可更为简便地实现以太网功能。另外, 为了使该评估板使用更加简便, W5500EVb 自带一个 USB 转 RS232 芯片 FR232RL, 在一根 USB 线上实现了供电和串口功能, 并可通过此串口实现 ISP 程序下载,。W5500EVb 的电路原理图详见附录 D, 该开发板的主要组成部分如图 1-1-3 所示。

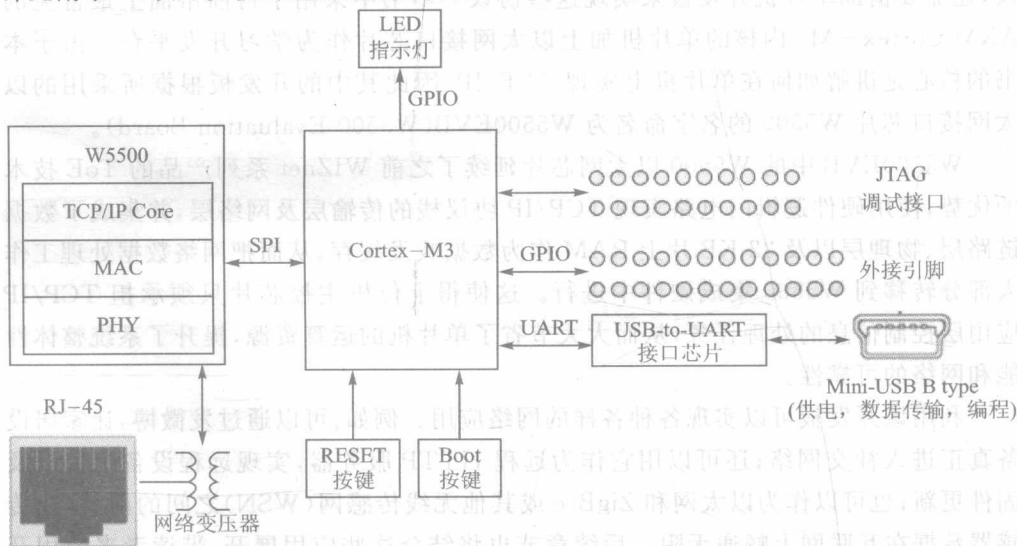


图 1-1-2 开发板构成图

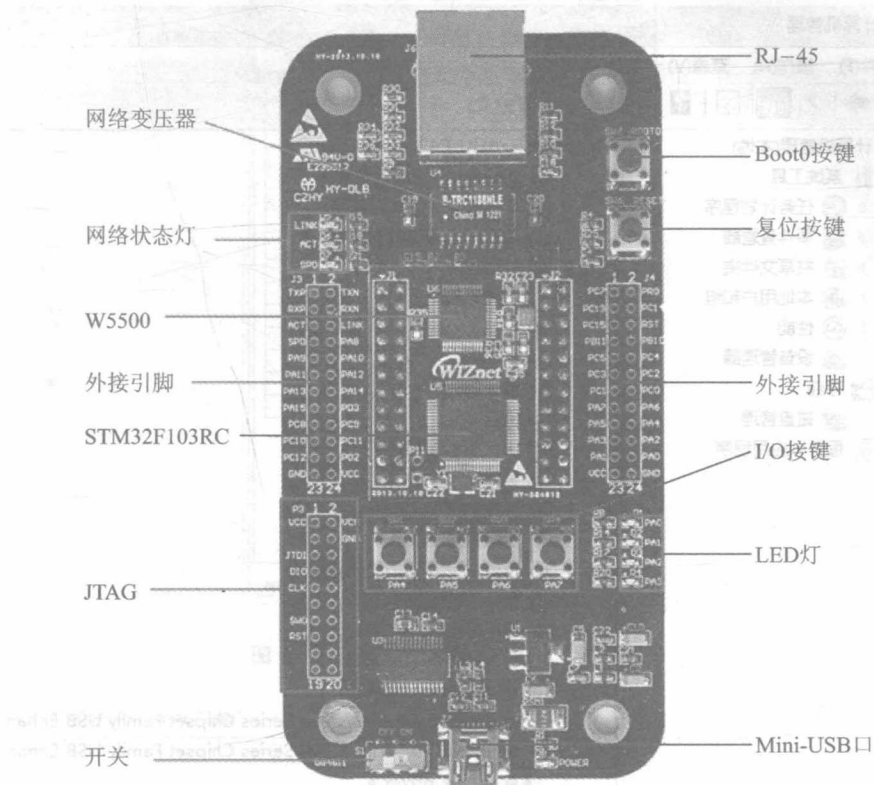


图 1-1-3 W5500EVb 布局图

1.1.2 使用 J-Link 调试程序

W5500EVb 使用的单片机支持 J-Link 接口。可以使用 J-Link 方便地在线调试程序,并将程序下载到 Flash。J-Link 是 SEGGER 公司为支持仿真 ARM 内核芯片推出的 JTAG 仿真器。

下面以 IAR 开发环境为例说明配置 J-Link 的主要步骤。

首先,确认已经安装好 JTAG 的驱动,这样电脑才能识别 J-Link。在连接 J-Link 与开发板的 JTAG 插针时,需要注意插入的方向。正确插入后,在 Windows 设备管理器中就有相应设备,如图 1-1-4 所示。

在 W5500 开发板例程中,工程文件已经配置好,就可以直接使用 J-Link 下载和调试程序了。在 IAR 环境中,可以在工具栏单击 Download and Debug 下载并在线调试程序。或者使用快捷键 Ctrl+D。调试的具体细节请参考 IDE 的手册。如果不能直接使用,请确认 IDE 中的设置。如图 1-1-5 所示,右击 IAR Workspace 里的工程文件,并在快捷菜单中单击 Options 即弹出如图 1-1-6 所示窗口,或直接单

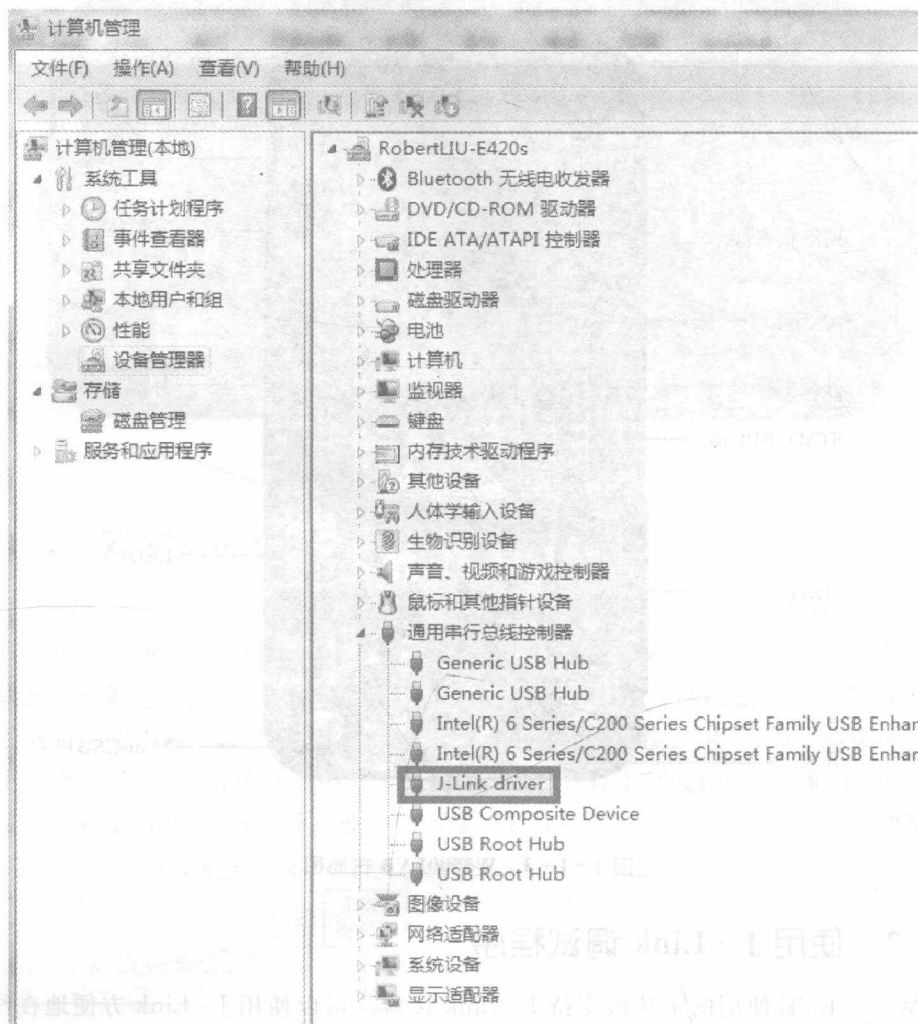


图 1-1-4 设备管理器

击 IAR 上方 Project 菜单下面的 Options 命令。

在图 1-1-6 所示窗口中,选择左侧列表中的 Debugger,然后在 Driver 栏里选择 J-Link/J-Trace 进行配置。

如图 1-1-7 所示,选中左侧目录中 Debugger 子目录中的 J-Link/J-Trace,这里可以配置设备重启方式和下载速度,在 Connection 标签里可以选择通信接口和下载接口(JTAG 或 SWD),按照如图 1-1-8 所示进行配置即可。

至此,就可以使用 IDE 环境通过 J-Link 下载和调试程序了。具体的程序调试方法,这里不再赘述。下面将集中讲解在物联网技术中所必需的 TCP/IP 知识和实现方法。

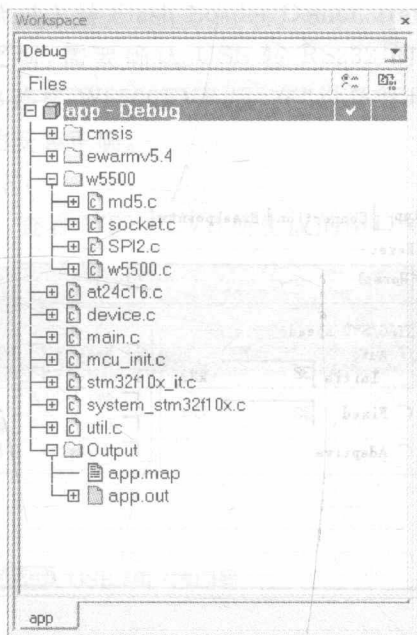


图 1-1-5 IAR Workspace 工作目录

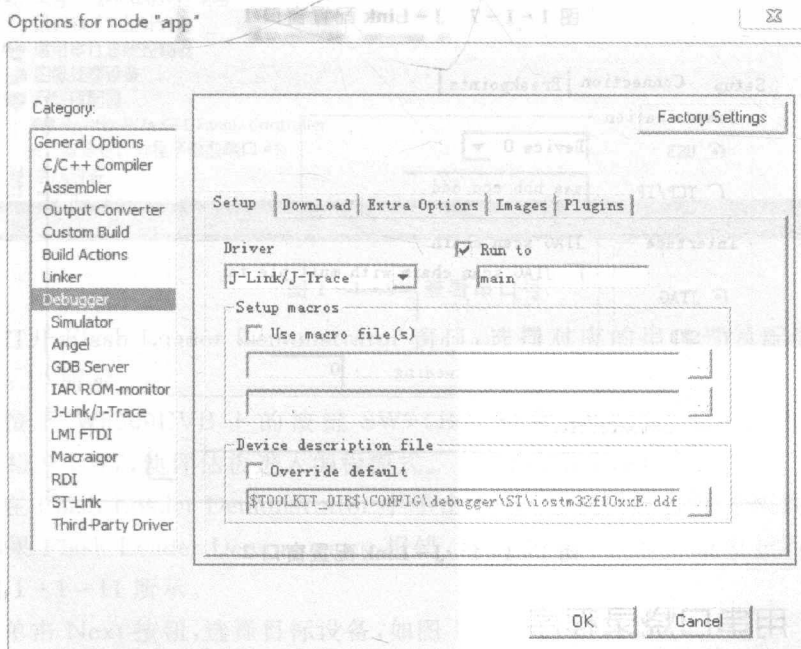


图 1-1-6 Options 配置窗口



Options for node "app"

23

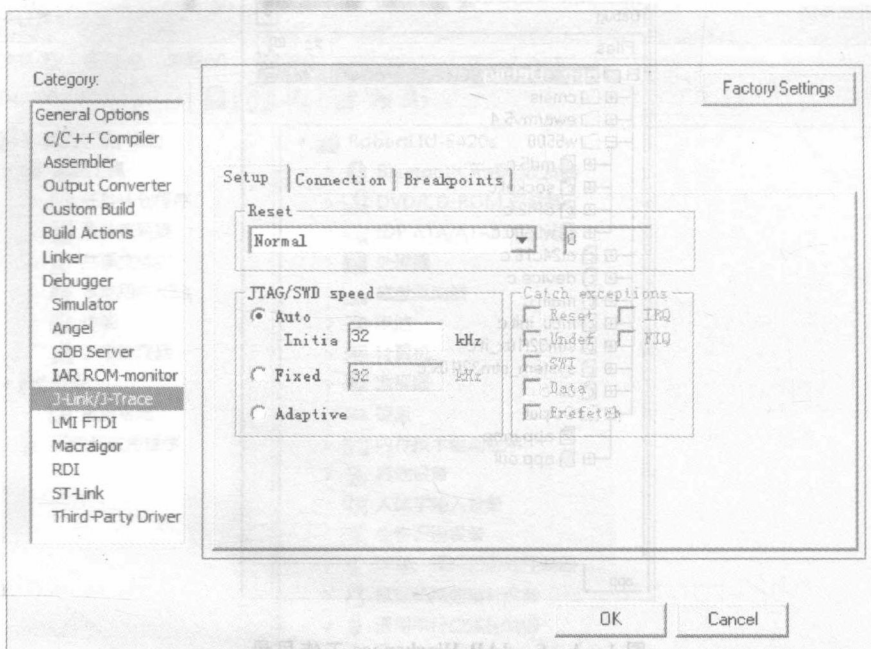


图 1-1-7 J-Link 配置窗口 1

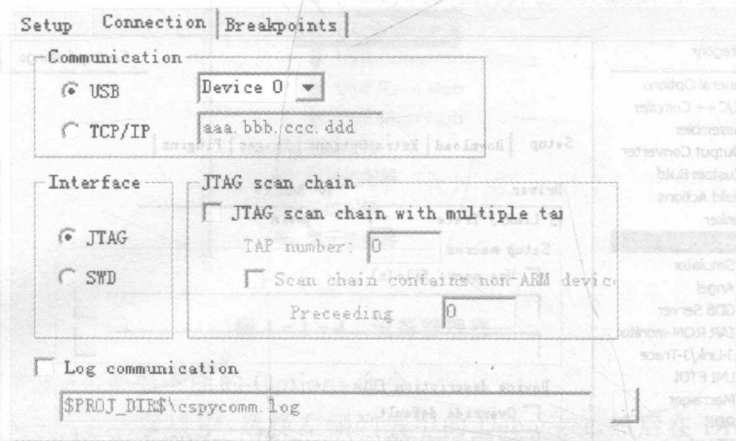


图 1-1-8 J-Link 配置窗口 2

1.1.3 用串口烧录程序

前文提到, W5500EVb 的 USB 接口也能作为串口进行程序文件下载。这种方式使用简单,但是只能下载,不能在线调试。下面介绍通过串口烧录程序的步骤。本