



ciscopress.com

802.11无线网络部署指南

Controller-Based Wireless LAN Fundamentals

An end-to-end reference guide to design, deploy,
manage, and secure 802.11 wireless networks



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

Jeff Smith 著
〔美〕 Jake Woodhams
Robert Marg
裴强 郭光伟 译

802.11无线网络部署指南

Controller-Based Wireless LAN Fundamentals

An end-to-end reference guide to design, deploy,
manage, and secure 802.11 wireless networks

Jeff Smith
「美」 Jake Woodhams 著
Robert Marg
裴强 郭光伟 译

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

802.11无线网络部署指南 / (美) 史密斯
(Smith, J.), (美) 伍德汉姆斯 (Woodhams, J.), (美)
马格 (Marg, R.) 著; 裴强, 郭光伟译. — 北京: 人民
邮电出版社, 2013. 12
ISBN 978-7-115-33314-8

I. ①8… II. ①史… ②伍… ③马… ④裴… ⑤郭…
III. ①无线网—基本知识 IV. ①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第236096号

版 权 声 明

Controller-Based Wireless LAN Fundamentals (ISBN: 1587058251)

Copyright © 2011 Pearson Education, Inc.

Authorized translation from the English language edition published by Cisco Press.

All rights reserved.

本书中文简体字版由美国 **Cisco Press** 授权人民邮电出版社出版。未经出版者书面许可, 对本书任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有, 侵权必究。

-
- ◆ 著 [美] Jeff Smith Jake Woodhams Robert Marg
译 裴 强 郭光伟
责任编辑 傅道坤
责任印制 程彦红 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 17
字数: 320 千字 2013 年 12 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2013 年 12 月河北第 1 次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2011-0725 号
-

定价: 55.00 元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010) 81055315

内容提要

本书是一本介绍基于控制器的 WLAN 的图书,同时也是部署无线网络的经验积累。本书以一种全新的方式,探讨了无线发展演变过程及其基本原理,帮助读者快速有效地部署 CUWN。

本书共包括 9 章。第 1 章描述了 WLAN 的演变和基本原理。第 2 章解释了无线电波原理。第 3 章介绍了 802.11n 主要特点。第 4 章介绍了统一无线网络中的无线安全问题。第 5 章介绍了设计因素,第 6 章介绍了统一无线 LAN 的架构。第 7 章主要介绍了故障排除的方法。第 8 章介绍了部署无线 LAN 的关键因素、基本原理和配置步骤。第 9 章主要介绍多播的设计和实施。

本书适合于设计、配置、实施和维护无线网络的网络工程师阅读,也适合希望了解 IEEE 802.11,并掌握无线网络架构设计和管理主要原理的无线网络“新手”阅读。

关于作者

Jeff Smith 是 Cisco 无边网络组织的一名无线咨询系统工程师。在他 25 年的工作经历中，他先后为世界范围内的企业、市政当局、医院、大学、机场、仓库、矿场和产品制造商计划、分析、设计、实施和安装了不计其数的无线网络解决方案，并对其提供技术支持。他已经开发和讲解了十几门与无线网络相关的培训课程。在加入 Cisco 之前，Jeff 先后供职于数家无线和安全创业公司，并且是这些公司的早期员工。Jeff 持有电气工程专业的学士学位，以及通信专业无线通信方向的硕士学位。Jeff 持有 CWNE (Certified Wireless Network Expert, 无线网络认证专家)、IEEE WCET (Wireless Communications Engineering Technology Certification, 无线通信工程技术认证) 和 CISSP (Certified Information Systems Security Professional, 国际注册信息系统安全专家) 证书。

Jake Woodhams 是 Cisco 无线网络事业部的一名高级技术营销经理，主要负责技术产品定义和系统架构，并专注于 Cisco 统一无线 LAN 架构。在为 Cisco 效力的 7 年里，他一直与无线技术打交道，因此对 Cisco 无线产品以及所涉及的协议有很深的认识。他还是一名作者，编写了大量的白皮书、设计部署指南以及多篇投稿文章。

Robert Marg 是 Cisco 无边网络组织的一名无线咨询系统工程师。作为无线领域的一名技术负责人，Robert 先后为企业、医院、大学、制造商、及 K-12 客户计划和设计了不计其数的无线网络解决方案，并为其提供技术支持。在成为无线咨询系统工程师之前，Robert 以系统工程师的身份供职于联邦的公共部门、企业和商业销售组织，为客户提供技术解决方案，帮助他们解决业务上的问题。Robert 持有威斯康星大学麦迪逊分校的细菌学学士学位。他还是一名作者，编写了大量的白皮书，而且还是 Cisco Press 出版的 *CCNA Exam Certification Guide* 一书的技术编辑。

关于特约作者

Jeff DiMaio 是 Cisco 统一通信组织的一名咨询系统工程师。Jeff 擅长统一通信、无线和安全技术。加入 Cisco 之前，Jeff 供职于一家以语音 WLAN 解决方案见长的提供商。Jeff 在 Wi-Fi 联盟组织和其他行业组织内相当活跃，并且帮助开发了 Wi-Fi 多媒体 (WMM) 规范。Jeff 最近完成了他在科罗拉多大学的学业，并获得了跨学科电信专业的硕士学位。

关于技术审稿人

Saurabh Bhasin 自从 802.11 成为一个标准以来,就一直从事无线技术的研究,如今,无线行业已经开始向 802.11n 演进。**Bhasin** 先生已经在 Cisco 无线网络事业部工作了 4 年多,主要负责与 Cisco 技术伙伴紧密合作(在无线网络上启用高级服务、处于前沿的架构特性等技术领域),并且亲自或通过自己编写大量的技术文章培训 Cisco 员工和合作伙伴。

在过去, **Bhasin** 先生为一些声誉卓著的行业刊物编写了大量的文章。他还曾经供职于数据包分析公司, 因此对网络的内部工作机制相当了解。

Sujit Ghosh, CCIE #7204, 是 Cisco 无线网络事业部市场营销团队的经理, 有 16 年的网络行业经验。**Sujit** 拥有深厚的客户人脉, 主要负责借助于 Cisco 统一无线网络来开发和营销企业网络解决方案。他在无线局域网安全和无线/有线局域网集成领域卓有建树。

在加入无线事业部之前, **Sujit** 以 TAC 工程师的身份在 Cisco 的安全/VPN 团队工作了 5 年, 主要提供安全、无线和 VPN 产品的技术支持。**Sujit** 积极投身于各种网络会议, 并就安全无线 LAN 的部署、无线 LAN 的排错、使用集中控制器的 802.11 无线 LAN 的设计和部署, 以及有线 LAN 和 802.11 无线 LAN 的来宾访问的设计和部署等主题, 进行演讲。

献辞

谨将本书献给我们的家人, 在我们花费了无数个夜晚和周末对本书进行重写和修改之时, 是他们在背后默默地忍受、付出。

致谢

我们非常感谢 Pearson 产品团队, 感谢他们为出版该书所付出的时间和努力。

- 感谢 Mary Beth Ray 与我们签订了本书的合同, 并管理从该项目多次重新启动到作者团队发生变化在内的所有流程。
- 感谢 Christopher Cleveland、Tonya Simpson 和 John Edwards 为本书所做的编辑工作, 以及在应对我们不靠谱的写作计划、多次错过交稿日期时表现出来的毅力和宽容。
- 感谢参与本书开发和生产的其他 Pearson 同仁。
- 感谢在我们编写本书期间提供支持的 Cisco 同事。

我们还要感谢 Tom Carpenter, 他对本书讲解的许多主题都提供了宝贵的技术反馈。

前言

自从 Cisco Press 出版了第一本 802.11 网络基础的图书以来,世界已经发生很大的变化。无线局域网网络(WLAN)在规模和范围方面飞速地发展,促进了传统无线的部署架构的更新。随着 Cisco 无线统一网络架构(CUWN)的发展,前一代无线网络的设计所面临的挑战已经大幅减少。Cisco 统一方式可以高效扩展无线网络,以满足新的需求和业务需要。WLAN 控制器迅速成为主流的无线架构,而且通过 IETF CAPWAP(Control and Provisioning of Wireless Access Points,无线接入点的控制与配置)协议被标准化。CAPWAP 对控制器如何管理无线接入点定义了业界标准的协议。无线的其他基础变化,例如 802.11n 被修订为 IEEE 802.11 无线 LAN 的标准,提升了无线性能。控制器解除了管理和扩展性的限制,802.11n 也正在解决很多无线网络的性能限制问题。这也使得在很多公司的眼中,无线网络由原来的可有可无变为至关重要。

本书主要介绍基于控制器的无线网络、高性能无线网络的概念和原理分析。本书介绍了基于无线 LAN 控制器的 WLAN 的要素,其目标是对 Cisco Press 出版的第一本 802.11 基础图书中介绍的基础知识进行更新。本书的读者对象为对无线控制器、802.11n、无线控制系统(WCS)、无线多播和至关重要的无线网络不了解的 IT 工程师。本书可以当作无线控制器的入门教程。在设计和支持基于控制器的网络架构时,也可以参考本书。对无线网络不了解的公司,以及从传统无线网络迁移到基于控制器和 802.11 无线网络的公司,都可以将本书作为宝贵的设计、部署指南。

本书搜集了作者在指导、部署和配置无线 LAN 架构方面的经验教训,对读者来说,这更弥足珍贵。

目标和方法

本书的目标是介绍基于控制器的无线 LAN 部署的概念和原理,该无线 LAN 就有很高的性能。本书涵盖了如下内容。

- **向控制器架构进行迁移的动力:** 本书涵盖了现代 WLAN 部署的演变、遇到的挑战,以及 WLAN 控制器越来越必不可少的原因。
- **基于控制器的无线架构的组成元素:** 本书介绍了在端到端基于控制器的无线架构中的每个组成元素。
- **无线控制器 WLAN 的设计和实现:** 本书详细介绍了如何设计和实施带有无

线控制器的 WLAN。

- **带有无线 LAN 控制器的无线安全**：本书讲解了带有无线 LAN 控制器的 WLAN 安全的关键原则。
- **无线多播的设计和实现**：本书包含了在无线 LAN 控制器中实施有线和无线多播的关键原则。

本书的读者对象

本书针对设计、配置、实施和维护无线网络的网络工程师而编写，重点讲解了 WLAN 控制器的基础、802.11n 原理、无线架构的设计，以及无线网络的管理。对无线网络知之甚少，希望搞明白 IEEE 802.11 到底是什么的新手，也是本书的读者对象。本书为这些新手介绍了设计和管理无线架构的关键原则。

本书组织结构

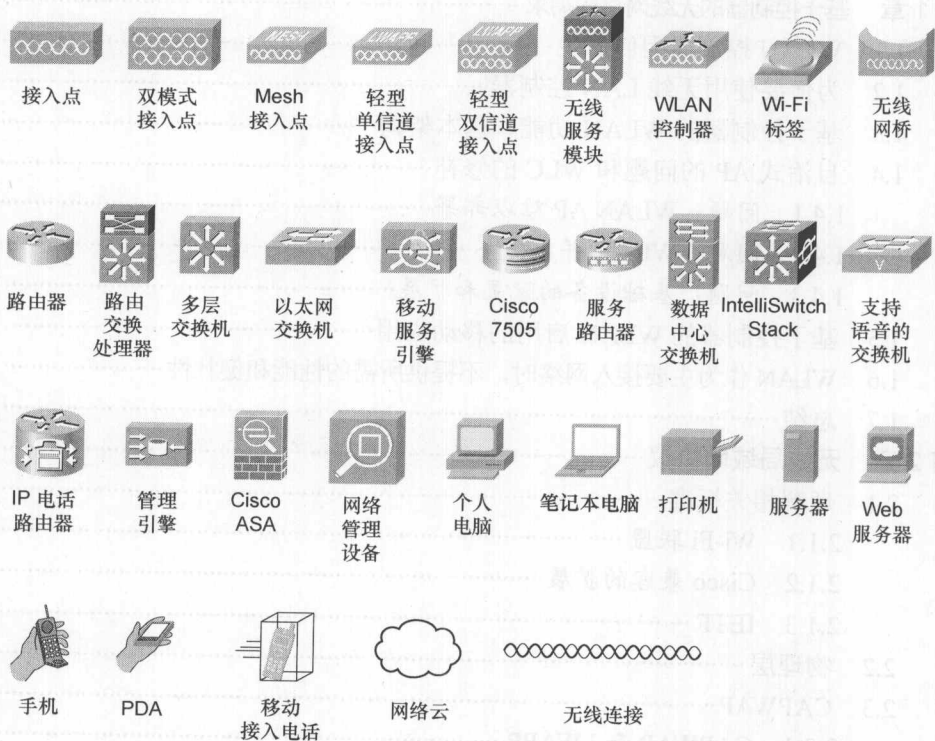
尽管读者可以从头到尾逐页阅读本书，但是也可以不拘泥于此。本书编排比较灵活，你可以根据自己的知识需求，阅读相应的章节。

本书涵盖了如下主题。

- **第 1 章，“基于控制器的无线网络的需求”**：本章描述了 WLAN 的演变，以及驱动着无线 LAN 控制器不断发展的原理。
- **第 2 章，“无线 LAN 协议”**：本章解释了无线电波原理，为读者理解部署无线 LAN 的复杂性打下基础。
- **第 3 章，“802.11n”**：本章介绍了 802.11n 的关键特性。802.11 通过协议的改进，以及对 MIMO 无线电系统的支持，提升了 WLAN 的性能与可靠性。本章还介绍了 MIMO（多输入、多输出）如何提升 WLAN 性能的概念。
- **第 4 章，“Cisco 统一无线 LAN 安全的基本原理”**：本章解释了在统一无线网络中无线安全的关键因素。
- **第 5 章，“设计须知”**：本章为设计统一无线网络提供了一个知识背景与考虑因素。
- **第 6 章，“Cisco 统一无线 LAN 架构”**：本章详细介绍了统一无线 LAN 的架构。
- **第 7 章，“故障排除”**：本章主要介绍了如何使用统一无线网络来排除客户端的问题。

- **第8章，“WCS 介绍”**：本章概览了在部署无线 LAN 管理解决方案时，所涉及的关键特性、原理，以及应该完成的配置步骤。本章还介绍了 WCS 管理平台的主要菜单，并重点强调了在规划、设计和配置 Cisco 统一无线网络架构时涉及的一些关键要素。
- **第9章，“下一代高级主题：多播”**：本章主要介绍在有线和无线环境中，多播的设计和实施。本章深入讲解了多播，并重点讨论了基于控制器的多播设计的最佳做法和原则。

本书采用的图标



命令语法约定

本书命令语法遵循的惯例与 IOS 命令手册使用的惯例相同。命令手册对这些惯例的描述如下。

- **粗体字**表示照原样输入的命令和关键字，在实际的设置和输出（非常规命令语法）中，粗体字表示命令由用户手动输入（如 **show** 命令）。
- *斜体字*表示用户应提供的具体值参数。
- 竖线（|）用于分隔可选的、互斥的选项。
- 方括号（[]）表示任选项。
- 花括号（{}）表示必选项。
- 方括号中的花括号（[{}]）表示必须在任选项中选择一个。

目录

第 1 章	基于控制器的无线网络的需求	1
1.1	WLAN 控制器因何而生	4
1.2	为何要使用无线 LAN 控制器	5
1.3	基于控制器的 WLAN 功能和基本架构	5
1.4	自治式 AP 的问题和 WLC 的修补	8
1.4.1	问题: WLAN AP 难以部署	9
1.4.2	问题: WLAN 并不安全	9
1.4.3	问题: 基础设备的配置和扩展	10
1.5	基于控制器的 WLAN 启用的移动应用	12
1.6	WLAN 作为主要接入网络时, 不提供所需的性能和健壮性	12
1.7	总结	12
第 2 章	无线局域网协议	14
2.1	理解相关标准	14
2.1.1	Wi-Fi 联盟	16
2.1.2	Cisco 兼容的扩展	17
2.1.3	IETF	17
2.2	物理层	18
2.3	CAPWAP	19
2.3.1	CAPWAP 和 LWAPP	21
2.3.2	CAPWAP 协议基础	21
2.3.3	CAPWAP MAC 模式	27
2.3.4	CAPWAP 小结	29
2.4	Cisco 统一无线网络中的数据流	29
2.4.1	CAPWAP 控制	30
2.4.2	CAPWAP 数据路径: 集中桥接流量	30
2.4.3	CAPWAP 数据路径: 本地桥接流量	30
2.4.4	数据流小结	31
2.5	总结	31
2.6	参考文献	31
第 3 章	802.11n	33
3.1	IEEE 802.11n 标准	34
3.1.1	802.11n MAC	35

3.1.2	802.11n 相关的其他 802.11 标准	37
3.1.3	802.11n 支持的频段	38
3.2	天线阵列 (Antenna Array)	38
3.2.1	传输波束形成 TxBF	39
3.2.2	波束控制	41
3.2.3	空间复用	41
3.2.4	发送分集	42
3.3	多入多出 (MIMO)	43
3.3.1	多径	44
3.3.2	MIMO 命名法	45
3.3.3	接收分集	46
3.3.4	发送波束形成的类型	51
3.3.5	MIMO 天线阵列的覆盖范围及布局	53
3.4	编码	53
3.4.1	二进制卷积编码 (Binary Convolutional Coding, BCC)	54
3.4.2	低密度奇偶校验 (Low-Density Parity Checking, LDPC)	54
3.5	高吞吐量物理层 (HT PHY) 及操作	55
3.5.1	混合 HT	56
3.5.2	HT 绿地模式	57
3.6	信道绑定/40MHz 带宽的信道	58
3.7	电源管理	61
3.8	数据包聚合	62
3.8.1	突发/块确认 (Block ACK, BACK)	63
3.8.2	短保护间隔 (Guard Interval, GI)	63
3.8.3	帧间间隔的减少 (Reduced Inter-Frame Spacing, RIFS)	64
3.9	反向协议 (Reverse Direction Protocol, RDP)	65
3.10	调制和编码机制 (Modulation and Coding Scheme, MCS)	65
3.11	获取 HT 速率的配置要求	67
3.12	预测 802.11 链接性能	70
3.13	总结	71
第 4 章	Cisco 统一无线 LAN 安全基础	72
4.1	理解 WLAN 安全的挑战	73
4.1.1	无线传输介质的固有缺陷	74
4.1.2	标准定义的固有缺陷	75
4.1.3	移动性的固有缺陷	77

4.1.4	被错误配置的无线设备和客户端	78
4.1.5	非法 AP 和设备	78
4.1.6	现成的分析与攻击工具	79
4.2	解决 WLAN 安全问题	80
4.2.1	强壮认证和保护的背景	80
4.2.2	解决强壮认证和隐私保护问题	85
4.2.3	非法接入点检测与无线入侵防御	106
4.2.4	安全管理与安全策略	109
4.3	总结	110
4.4	参考文献	111
第 5 章	设计须知	113
5.1	百分之百无线接入层	113
5.1.1	客户端设备功率	114
5.1.2	RF 的“软肋”	114
5.1.3	网络流量大小	115
5.2	WLAN 覆盖范围需求：增长并困难着	115
5.2.1	电梯	116
5.3	连接连续性与中断计划	118
5.3.1	功率损耗	119
5.3.2	RF 干扰	121
5.4	电源保护	123
5.5	灵活性	123
5.6	WLAN 容量	124
5.7	总结	124
第 6 章	Cisco 统一无线 LAN 架构	126
6.1	Cisco 统一无线 LAN 架构回顾	126
6.2	架构的灵活性、可扩展性和高弹性	128
6.2.1	架构的灵活性	128
6.2.2	架构的高弹性	129
6.2.3	架构的可扩展性	133
6.3	园区架构	138
6.3.1	企业配线室的部署	138
6.3.2	企业分布层的部署	139
6.3.3	数据中心或服务块的部署	140
6.3.4	园区 HREAP	141

6.4	分支架构	142
6.4.1	HREAP 集中式控制器的部署	143
6.4.2	远程办公 AP (OEAP)	144
6.5	总结	144
第 7 章	故障排除	145
7.1	802.11 无线网络故障排除工具	146
7.1.1	无线局域网控制器命令行界面	146
7.1.2	无线控制系统 (WCS)	147
7.1.3	无线协议分析器	148
7.1.4	频谱分析器	150
7.2	Cisco 统一无线网中的问题分离	151
7.2.1	协议/网络问题	151
7.2.2	客户端故障排除	158
7.3	无线介质: 性能有关问题的故障排除	167
7.3.1	覆盖与干扰问题	167
7.4	高级无线 LAN 服务中的故障排除	172
7.4.1	WLAN 语音	172
7.4.2	位置服务的故障排除	177
7.5	总结	180
第 8 章	WCS 简介	181
8.1	使用 WCS 设计无线网络	182
8.1.1	WCS 安装要求	182
8.1.2	WCS 界面	183
8.1.3	WCS 监测功能	185
8.1.4	WCS 报告	194
8.1.5	WCS 配置	195
8.1.6	WCS 服务	206
8.1.7	WCS 管理	207
8.2	WCS 的其他优势: 规划和校准工具	217
8.2.1	WCS 规划	217
8.2.2	WCS 的校准	219
8.3	总结	222
第 9 章	下一代高级主题: 多播	223
9.1	多播	224
9.1.1	多播定义	225

9.1.2	多播寻址	227
9.1.3	多播转发	229
9.2	CUWN 中的多播配置	235
9.2.1	AP 到客户端的数据交付	236
9.2.2	客户端到 AP 的数据交付	236
9.2.3	在 Cisco WLAN 控制器上启用多播	239
9.2.4	多播移动通信	243
9.2.5	在 Cisco 路由器或三层交换机上启用多播	244
9.3	VideoStream	246
9.3.1	视频流的原则	247
9.3.2	在 WLC 上配置 VideoStream	251
9.4	更多的设计建议	255
9.4.1	无线多播漫游	255
9.4.2	无线 CAPWAP 分片	255
9.4.3	所有 WLC 有着相同的 CAPWAP 多播组地址	256
9.4.4	WLC 部署	257
9.5	总结	258

第 1 章

基于控制器的无线网络的需求

随着大量的各式各样的移动设备的增加普及，无线局域网（WLAN）已经逐渐发展成形。支持 Wi-Fi 的设备数量正持续扩大。Wi-Fi 是行业缩略词，意思是运用在支持 IEEE 802.11 无线标准设备上的无线保真技术。这也意味着设备已经被认证，以满足 Wi-Fi 联盟设立的互操作性标准。支持 Wi-Fi 技术的设备种类正不断扩大，从笔记本电脑到其他设备，例如相机、手机、汽车等消费产品。Wi-Fi 技术的使用方式也逐渐多元化，不仅仅是数据的利用，还包括语音、视频和不断革新的情境应用（contextual application）。情境应用是应用程序数据、音频、视频服务与数据网络提供的信息（如设备位置、安全状态或访问介质类型等信息）的结合。通过利用无线网络提供的额外的元数据（metadata），情境应用可以提升数据服务的价值和关联性。一个情境数据应用的例子是用来生成工单的维修调度系统，该系统利用 WLAN 的位置信息安排最近的技师去维修故障设备。

许多组织都会在移动网络中使用那些专门为移动环境开发的应用，这些应用要求 WLAN 无论用户身在何处，都需要为其提供安全的通信。比如某家不再使用纸质记录的医院，需要让医生无论在医院的哪个位置，都能够访问病人的电子病历，从而提供医疗服务。随着 WLAN 的广泛覆盖，利用 WLAN 能够进一步优化医疗护理质量和成本。例如许多诊断和监控系统能够利用那些负载病人数据的设备，通过 WLAN 直接连接到病人的医疗记录。由于有线网络的电缆不再是设备使用的绊脚石，所以如今更多的设备能够实时在线也成为了现实。不论是工业还是日常应用，

在每一个可能涉足的地方，人和装置都能够通过 WLAN 接入网络从而保持始终在线。这也推动着 WLAN 的部署更加广泛，应用规模和范围也进一步扩大。人们对 WLAN 的依赖，也使得 WLAN 从最初的便利性演变为一种关键的边界访问方式。

对大多数组织而言，WLAN 已经成为一个重要组成部分和关键任务。随着人们对 WLAN 依赖性的增加，WLAN 的覆盖范围、安全性、性能和可靠性也随之增加。随着 WLAN 使用和规模的不断扩大，针对 WLAN 使用方面遇到的无数障碍已经逐渐体现。最初，WLAN 是使用相对简单的独立企业 AP 的架构来部署的。早期建立的 WLAN AP 仅是为了在射频（RF）介质和以太网介质之间进行数据传输，如图 1-1 所示。

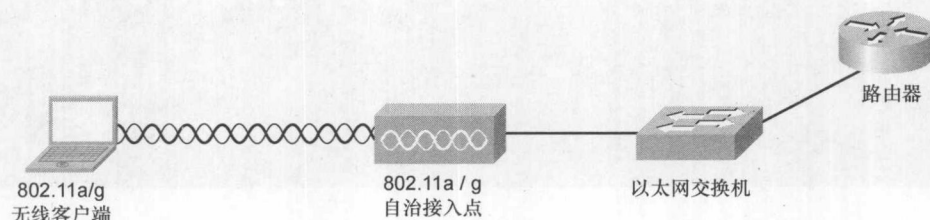


图 1-1 早期的 WLAN 仅仅使用独立的自治接入点将有线 LAN 延伸到无线 LAN

随着 WLAN AP 被广泛采用，除了在不同介质类型之间传输流量之外，人们还期待着它能提供更多的功能。这些额外的功能包括增强的无线安全、无线入侵防御、三层漫游、集中管理、应用服务、运维支持和报告能力。随着技术的演进，为了增加 WLAN 的功能。人们考虑并测试了数不尽的方法。

一路走来，人们经历了各种考验和磨难，验证了哪些方案可行，哪些不可行。基于自治 AP 或者 IOS AP 架构的无线网交换机概念浮出水面，以弥补 WLAN 的缺陷。无线交换机后来被称为无线局域网控制器（WLC），这种架构也被称为轻量级 AP、Cisco 统一无线网络（CUWN）、基于控制器的架构和基于 WLC 的架构。部署了轻量级 AP 后，一部分原本由 AP 实现的功能被转移到了无线控制器上。里面关键的概念是将一些 WLAN 功能进行集中管理，从而优化整个系统的运维。其中系统的运维包含需要进行安装和维护的网络设备，以及需要运维 WLAN 的人员。相对于一个由不同网络元件（包括众多 AP、交换机、无线客户端和 RF 介质）组成的以 ad hoc 方式运作的系统，将一些功能进行集中管理，可以实现完整统一的 WLAN 系统。这种集中管理的的方式在端到端 WLAN 系统的多种功能上实施了控制和管理平面。

WLAN 从自治方式到集中方式转型的主要驱动力来自于运维成本、无线专业技术和风险管理。广泛部署的 WLAN 和大量接入点的固有需求，给员工在能力方面和自身专业技能方面带来了不少压力。因此需要一种简单的管理 WLAN 的方式。与 RF 相关的功能在基础设施中需要以自动化的方式来运行，这样可以降低