无线局域网安全——方法与技术

- 在“863”项目——宽带无线IP网络系统安全技术研究的基础上编写
- 信息安全的基本理论和方法
- 无线局域网中的安全技术

马建峰　朱建明　等编著

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

前　言

移动通信和 Internet 的飞速发展，产生了在任何时间、任何地点都可以享用 Internet 业务的需求。移动设备可以通过无线链路接入 Internet，能够随时随地访问 Internet 资源。因此，研究新一代无线通信技术和 Internet 技术的有机结合是当前国际上重要的研究课题，而无线局域网(Wireless Local Area Network，WLAN)正是快速发展的无线通信技术在计算机网络中的重要应用。

Internet 本身的安全机制较为脆弱，再加上无线网络传输媒体的开放性和移动设备存储资源和计算资源的有限性，使得在无线局域网络环境下，不仅会受到有线网络中存在的所有安全威胁，而且许多有线网络中潜在的安全威胁在无线网络环境下更加明显，许多难以实现的攻击在无线环境中容易实现，比如中断(interruption)、窃听(interception)等。因此，在设计实现一个 WLAN 系统时除了在无线传输信道上提供完善的移动环境下的多业务平台，还必须考虑其安全方案的设计，这包括用户接入控制设计、用户身份认证方案设计、用户证书管理系统的设计、密钥协商及密钥管理方案的设计等等。但是由于无线网络传输媒体的开放性、无线终端的移动性和网络拓扑结构的动态性，以及无线终端计算能力和存储能力的局限性，使得有线网络环境下的许多安全方案和技术不能直接应用于无线网络环境。因此，需要研究适用于无线网络环境的安全理论与技术。

本书是在对“863”高科技项目——宽带无线 IP 网络系统安全技术(编号：2002AA143021)研究的基础上编写的。在该项目的研究中，我们对宽带无线 IP 网络的应用需求和安全需求进行了详细分析，在此基础上，重点研究了宽带无线 IP 网络系统的安全体系结构、密钥交换与密钥管理、AAA 技术、WLAN 网络整体安全解决方案、无线公开密钥基础设施——WPKI 技术研究、公钥密码技术、分组密码技术以及有关无线网络环境下的一些辅助算法(Hash 函数、伪随机数生成等)。本书内容正是“863”项目中部分研究成果的体现。

本书可作为计算机、信息安全、信息对抗等专业高年级本科生或研究生的教学用书，也可作为相关领域的研究和工程技术人员的参考用书。

参加本书编写的还有张帆、李兴华、曹春杰、吴振强、曾勇、孙军帅等。本书在编写过程中还参阅了国内、外同行的大量文献，在此向这些文献的作者表示衷心感谢！

由于通信和计算机技术发展日新月异，书中涉及的内容跨度很大，加之编者的水平有限，书中的错误和不足之处在所难免，敬请读者不吝指正。

作　者

目　录

第1篇

基本安全理论

第1章 概 述

计算机和无线通信的结合，使得移动正在变得无所不在。移动设备可以通过无线链路接入 Internet，能够随时随地访问 Internet 资源。无线局域网作为无线网络的一种接入方式，以其频带免费、组网灵活、易于移动等特点，得到广泛应用。但与此同时，无线网络的信息安全问题已经成为目前最重要的，也是最富有挑战性的问题之一。本章简要介绍无线局域网的基本构成和工作方式，并分析无线局域网所面临的安全问题，以及当前主要的安全标准和技术。

1.1 无线网络技术概述

简单地说，无线技术就是在没有物理连接的情况下多个设备之间能够互相通信的技术。无线通信采用无线电传送数据，而有线通信采用的是线缆。无线通信技术的应用范围很广，从复杂的系统(无线局域网和蜂窝电话)到简单的设备(如无线耳机、麦克风)都是无线通信技术的应用。红外线(IR)设备如远程控制用的无线键盘和鼠标、无线高保真耳机等也属于无线通信设备，但这些设备要求发送端与接收端在直线可见的范围内。无线通信技术的目标是给用户提供在移动中随处可以访问信息的功能。本节简要回顾一下主要的无线技术：无线网络、无线设备、无线标准和无线安全。

无线网络是无线设备之间以及无线设备与有线网络之间的一种网络结构。无线网络的发展可谓日新月异，新的标准和技术不断涌现。总的来说，由于覆盖范围、传输速率和用途的不同，无线网络可以分为四类：无线广域网、无线城域网、无线局域网和无线个人网络，如图 1-1 所示。

- 无线广域网(Wireless Wide Area Network，WWAN)。主要是通过移动通信卫星进行的数据通信网络，其覆盖范围最大。代表技术有 3G，以及未来的 4G 等，数据传输速率在 2Mbit/s 以上。由于 3GPP 和 3GPP2 的标准化工作日趋成熟，一些国际标准化组织(如 ITU)将目光瞄准了能提供更高无线传输速率和灵活统一的全 IP 网络平台的下一代移动通信系统，一般称为后 3G、增强型 IMT-2000 (Enhanced IMT-2000)、后 IMT-2000 (System Beyond IMT-2000)或 4G。
- 无线城域网(Wireless Metropolitan Area Network，WMAN)。主要是通过移动电话或车载装置进行的移动数据通信，可以覆盖城市中大部分的地区。代表技术是 2002 年提出的 IEEE 802.20，主要研究移动宽带无线接入(Mobile Broadband Wireless Access，MBWA)技术和相关标准的制定。该标准更加强调移动性，它是由 IEEE802.16 的宽带无线接入(Broad Band Wireless Access，BBWA)发展而来的。
- 无线局域网(Wireless Local Area Network，WLAN)。一般用于区域间的无线通信，其覆盖范围较小。代表技术是 IEEE 802.11 系列。数据传输速率为 11 ~ 56Mbit/s 之间，甚至更高。

- 无线个人网(Wireless Personal Area Network，WPAN)。无线传输距离一般在10m左右，典型的技术是IEEE802.15(WPAN)和Bluetooth技术，数据传输速率在10Mbit/s以上。

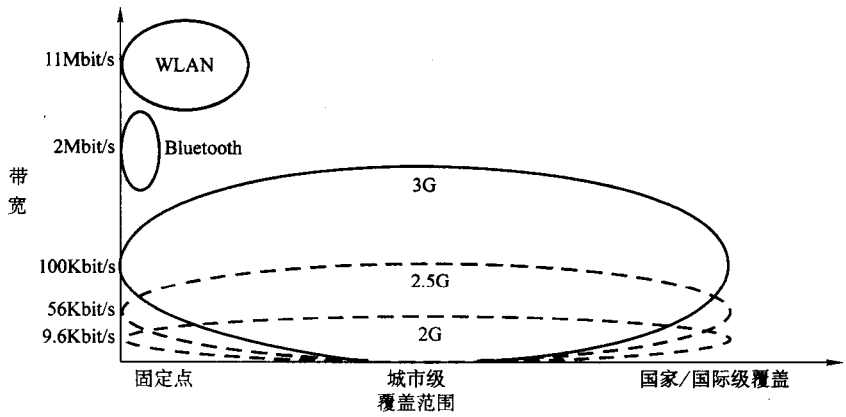

图 1-1　无线网络分类

1.1.1　无线设备与无线标准

无线设备是指应用于无线环境中的无线移动设备，主要指笔记本电脑、手持电话、PDA等。

目前，无线网络正处于快速发展的过程中，存在许多不同的技术标准。标准化的作用在于能够使各种不同厂家生产的设备兼容。对于WWAN来说，有AMPS、FDMA、TDMA、CDMA、GSM、GPRS和WAP等标准，所有这些标准都在不同层次上提供了一定的安全保护。在WLAN中，802.11是目前广泛应用的技术标准。

802.11是IEEE于1997年首先提出的技术标准，主要用于解决办公室局域网和校园网中，用户终端的无线接入，业务主要限于数据存取，速率最高只能达到2Mbit/s。由于802.11在速率和传输距离上都不能满足人们的需要，因此，IEEE小组又相继推出了802.11b、802.11a、802.11g等新的标准。

1.1.2　无线网络安全问题

虽然无线网络的应用扩展了网络用户的自由空间，具有安装时间短，增加用户或更改网络结构方便、灵活和经济的特点，还可以提供无线覆盖范围内的全功能漫游服务。但是，这种自由也同时带来了新的挑战，其中最重要的问题就是安全性。

由于无线网络通过无线电波在空中传输数据，在数据发射机覆盖区域内的任何一个无线网络用户，都能接触到这些数据。只要具有相同接收频率就可能获取所传递的信息。要将无线网络环境中传递的数据仅仅传送给一个目标接收者是不可能的。另一方面，由于无线设备在存储能力、计算能力和电源供电时间等方面的局限性，使得原来在有线环境下的许多安全方案和安全技术不能直接应用于无线环境，例如防火墙对无线网络通信起不了作用，任何人在区域范围之内都可以截获和插入数据。因此，需要研究新的安全方案和安全技术。

1.2 无线局域网

无线局域网是指在一个局部区域内计算机之间通过无线链路进行通信的网络。无线局域网解决方案为无线通信网络节点提供了与有线局域网资源对接的方法。随着笔记本电脑和掌上电脑等移动设备的广泛使用和无线通信技术的快速发展，无线局域网在社会生活中的作用越来越重要。

1.2.1 概述

20 世纪 80 年代，是有线局域网(Local Area Network，LAN)发展与普及的年代。简单地讲，LAN 是指用电缆线或光纤把局部区域内(几米至几千米)的大型计算机、工作站、微机等相互连接起来，并完成计算机间的数据传输与资源共享的计算机网络。满足 IEEE 802.3 10BASEx 标准的以太网是 LAN 的代表。以太网的数据速率为 10Mbit/s，采用双绞线、电缆线及光纤作为传输媒体。可以说，这种网络能够满足一般的工业自动化及办公自动化环境的要求。然而 LAN 也存在许多不足，例如：

- 传输速率不够高。在许多环境下，要求传输和处理多媒体信息，要求局域网具有高达几百兆比特秒，甚至几吉比特秒的传输速率。
- 布线繁琐，办公室电缆线泛滥。在高度信息化的社会，办公室成为信息网络系统的末梢，在办公室里，各种网络系统共存，出现电缆线“洪水”。
- 无法在移动过程中通过移动设备访问局域网。

为了解决这些问题，需要具有高传输速率并支持可移动性的局域网模式。在传输速率方面，局域网的发展过程是：从以太网到 FDDI，再到快速以太网(100Mbit/s 传输速率)、ATM(异步传输模式)局域网。ATM 局域网可支持几十兆比特秒、几百兆比特秒甚至几吉比特秒的传输速率。

局域网的另一个发展方向是支持具有移动能力的无线局域网(Wireless Local Area Network，WLAN)。WLAN 除了保持现有局域网高速率的特点之外，采用无线电或红外线作为传输媒体，无需布线就可以灵活地组成可移动的局域网。在 21 世纪，无线网络技术已经成为日益重要的技术领域，同时也是经济增长的重要催化剂之一。

无线通信至今已有 100 多年的历史，而无线计算机通信的历史并不长，尤其是充分发挥无线通信“可移动”特点的无线计算机通信则是近 20 年才出现的。无线计算机通信的发展与计算机的发展密切相关，正是移动计算设备的产生带动了无线计算机通信的发展。最初的无线计算机通信采用无线媒体主要是为了克服地理障碍，或是为了免去布线的繁琐，使网络安装简单、使用方便，而网中节点的移动能力并不重要。然而，20 世纪 90 年代以来，随着便携式计算机的普及应用，人们需要在其办公室以外的地方、在移动中能够随时通过移动设备保持接入其办公室的局域网，或能够访问其他公共网络。这样，支持移动能力的计算机网络或移动计算网络就显得越来越重要了。

WLAN 就是利用无线通信技术在一定的局部范围内建立的网络，是计算机网络与无线通信技术相结合的产物，如图 1-2 所示。它使用无线多址信道的有效方法来支持媒体之间的通信，从而为计算机数据通信终端的移动化、个人化等应用，提供了一种方便、快捷的手段。

WLAN 比较适用于不便铺设大量电缆线的办公地点或其他场合。例如，在一家公司或一幢建筑物内部、在一些公共场合，如机场、车站、码头以及校园内部等。应当指出的是，无线局域网所提供的是短距离无线移动互联业务，与蜂窝移动通信系统提供的移动数据业务有所区别。后者服务的对象包括高速移动中的汽车用户，所采用的技术也有很大区别，系统的成本较高。

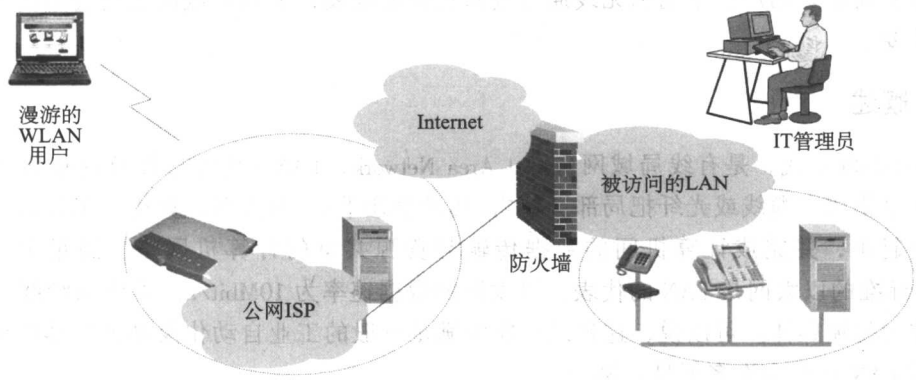

图 1-2　无线局域网

与有线局域网相比，WLAN 具有一定的移动性、灵活性、建网迅速、管理方便、网络造价低、扩展能力强等特点。这些特点使得 WLAN 迅速应用于需要在移动中联网和在网间漫游的场合，并在不易布线的地方和远距离的数据处理节点提供网络支持。目前，WLAN 已经成为用户建立网络的一种主要的选择方案。WLAN 在以下这些行业会有广阔的应用前景。

（1）石油工业

无线局域网能够提供从钻井台到压缩机房的数据链路，以便显示和输入由钻井获取的重要数据。海上钻井平台由于宽大的水域阻隔，数据和资料的传输比较困难，铺设光缆费用很高，施工难度很大。使用 WLAN 技术，费用不及铺设光缆的十分之一，效率高，质量好。

（2）医护管理

现在很多医院都有大量的计算机病人监护设备、计算机控制的医疗装置和药品等库存计算机管理系统。利用 WLAN，医生和护士在设置计算机专线的病房、诊室或急救中进行会诊、查房、手术时可以不必携带沉重的病历，只要使用笔记本电脑、PDA 等就可以方便地实时记录医嘱，并传递处理意见，查询病人病历和检索药品。

（3）工厂车间

工厂的特殊生产环境，往往不能铺设连到计算机的电缆，起重机使人很难在空中布线，也不便在货运通道地面布线。在这种情况下，应用 WLAN，技术人员可以进行检修、更改产品设计、讨论工程方案，并可在任何地方查阅技术档案，发出技术指令、请求技术支援，甚至和厂外专家讨论问题。

（4）库存控制

仓库零备件和货物的发送和储存注册可以使用 WLAN 通过无线链路直接将条形码阅览器、笔记本计算机和中央处理计算机连接，进行清查货物、更新存储记录和出具清单。

（5）展览和会议

在大型会议和展览等临时场合，WLAN 可使工作人员在极短的时间内，方便地得到计算

机网络的服务，和 Internet 连接并获得所需要的资料，也可以使用移动设备互通信息、传递稿件和制作报告。

（6）金融服务

银行和证券、期货交易业务可以通过无线网络的支持将各机构相连。即使有线计算机网络已经存在，为了避免由于线路等出现的故障，仍需要使用无线计算机网络做备份。在证券和期货交易业务中的价格以及“买”和“卖”的信息变化极为迅速频繁，利用手持通信设备输入信息，通过计算机无线网络迅速传递到计算机、报价服务系统和交易大厅的显示板，管理员、经纪人和交易者可以迅速利用信息进行管理或利用手持通信设备直接进行交易，避免了由于手势、送话器、人工录入等方式而产生的不准确信息和时间延误所造成的损失。

（7）旅游服务

旅馆采用 WLAN，可以做到随时随地为顾客进行及时周到的服务。登记和记账系统一经建立，顾客无论在区域范围内的任何地点进行任何活动，比如在酒吧、健身房、娱乐厅或餐厅等，都可以通过服务员的手持通信终端来更新记账系统，而不必等待复杂的核算系统的结果。

（8）移动办公系统

在办公环境中使用 WLAN，可以使计算机具有移动能力，在网络范围内可实现计算机漫游。各种业务人员、部门负责人和工程技术专家，只要有移动终端，无论是在办公室、资料室、洽谈室，甚至在宿舍都可通过 WLAN 随时查阅资料、获取信息。领导和管理人员可以在网络范围内的任何地点发布指示，通知事项，联系业务。也就是说可以进行移动办公。

可以预见，随着开放办公的流行和手持设备的普及，人们在移动中访问和存储信息的需求愈来愈多，因而 WLAN 将会在办公、生产和家庭等领域不断获得更广泛应用。

1.2.2 无线局域网的构成

1. 有线局域网的构成

在介绍 WLAN 的构成之前，先来简要介绍一下有线局域网络的构成。

有线局域网由许多组件构成，其中最常见的是工作站（Workstation）和服务器（Server），如图 1-3 所示。工作站也称为客户机（Client），是与计算机网络相连的供用户使用的计算机。服务器通常是指为网络中其他计算机提供一种或多种服务的计算机。根据服务器所提供服务的不同，服务器可以分为文件服务器（File Server）、打印服务器（Print Server）、邮件服务器（Mail Server）、应用服务器（Application Server）等。工作站和服务器中都包含有网卡（网络适配器），网卡通过有线媒体相连。

有线局域网中各种设备通过有线传输媒体连接，具体的物理布局称为网络拓扑结构。有线局域网通常采用星形（图 1-4）和总线型拓扑结构（图 1-3）。

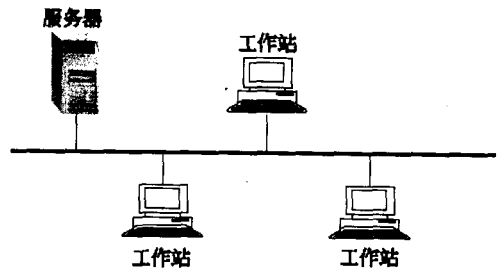

图 1-3 计算机网络示意图

集线器的基本作用是连接电缆，并向局域网中的所连接的计算机转发数据信号。集线器通常用作局域网的连接设备，作为局域网的中心连接点。如果要进行网络互联，还需要网桥（Bridge）、

路由器(Router)和交换机(Switch)等设备。网桥运行在链路层上，完成一个 LAN 到另一个 LAN 的数据包转发。比如网桥可以用来连接同一大楼中不同楼层的局域网。交换机是另外一种用于在大型网络中的互联网设备，经常称之为“智能网桥”，它使用每个数据包上的 MAC 地址(也称硬件地址)控制数据的流动。路由器运行在网络层，综合使用硬件和软件将数据“路由”到目的地址。

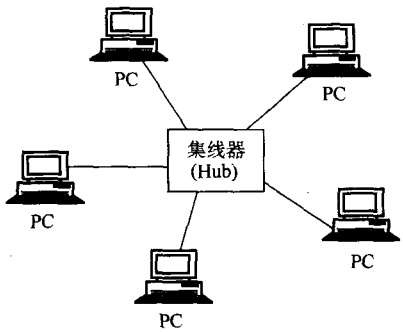

图 1-4　星形拓扑结构

2. 无线局域网的构成

WLAN 的构成与有线局域网不同。WLAN 由无线网卡、无线接入点(Access Point，AP)、计算机和有关设备组成，如图 1-5 所示。WLAN 中的工作站是指能够发送和接收无线网络数据的计算机设备，如内置无线网卡的 PC 或笔记本电脑。AP 类似于有线局域网中的集线器，是一种特殊的无线工作站，其作用是接收无线信号发送到有线网。通常一个 AP 能够在几十米至上百米的范围内连接多个用户。在同时具有有线和无线网络的情况下，AP 可以通过标准的 Ethernet 电缆与传统的有线网络相连，作为无线网络和有线网络的连接点。

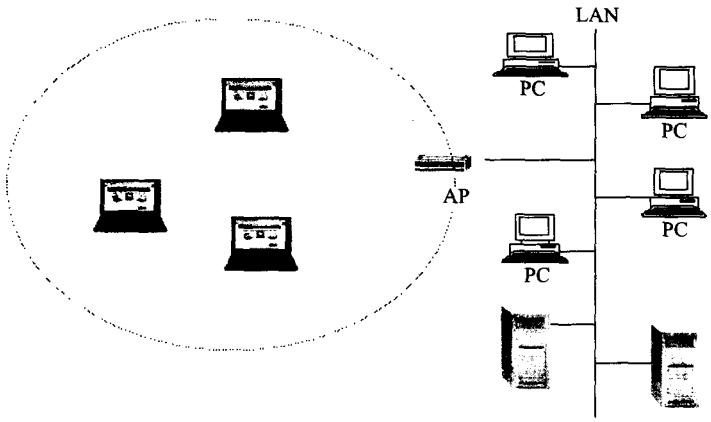

图 1-5　WLAN 示意图

无论是固定设备，还是经常改变使用场所但在使用时其位置固定的“半”移动设备，还是在移动中访问网络的移动设备，在 802.11 规范中，这些无线网络设备都统称为站点 STA(Station)，也可以分别称为固定站点、半移动站点和移动站点。由一组相互直接通信的站点构成一个基本服务集(Basic Service Set，BSS)。由一个基本服务集覆盖的无线传输区域称为基本服务区域(Basic Service Area，BSA)，多个基本服务区域可以是部分重叠、完全重叠或是物理上分割的，其覆盖范围取决于无线传输的环境和收发设备的特性。基本服务区域使基本服务集中的站点保持充分的连接，一个站点可以在基本服务区域内自由移动，但如果它离开了基本服务区域就不能直接与其他站点建立连接。将一组基本服务集联在一起的系统称为分发系统(Distribution System，DS)。DS 可以是传统以太网或 ATM 等网络，各个站点通过接入点(Access Point，AP)来访问分发系统。

无线局域网通过无线信道连接，而无线介质没有确定的边界，即无法保证符合 PHY 收发器规定的无线站 STA(Station)在边界不能收到网络中传播的信号(这一点对于网络安全性

具有很大的影响)。此外，无线介质中传播的信号很容易被窃听和干扰，信号的可靠性不高。通过无线介质，无法保证每个 STA 都能够接收到其他 STA 的信号。

鉴于无线局域网与有线局域网在网络结构上的不同，IEEE 802.11 定义了两种拓扑结构：独立基本服务集(IBSS)和扩展服务集(ESS)，这两种结构都是建立在基本服务集 BSS 的基础上的。基本服务集 BSS 提供一个覆盖区域，使 BSS 中的站点保持充分的连接。一个 BSS 至少包括两个站点，站点可以在 BSS 内自由移动，但当它离开了某个 BSS 区域，就不能和该 BSS 内的其他站点建立连接了。图 1-6 所示为两个 BSS，其中每个包含两个站点(可以是多个)。

独立基本服务集就是一个独立的 BSS，没有中枢链路基础机构，在图 1-6 中，每个 BSS 就是一个 IBSS。只要需要，这类网络可以在没有任何预先规划的情况下快速组建，该网络也称为 Ad hoc WLAN。Ad hoc WLAN 不能和外界交换数据(但一个 STA 可以分别和 Ad hoc WLAN 及外界有不同的连接，在两者之间进行第三层转发)，STAs 互相之间通信而不需要中继。

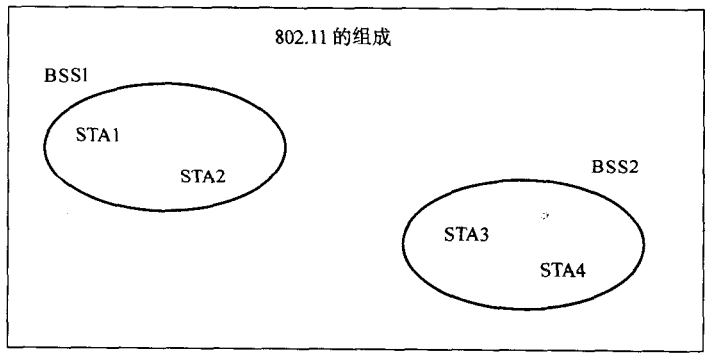

图 1-6　两个基本服务集

802.11 WLAN 有两种类型：基础网络(Infrastructure Networks)和自组织网络(Ad hoc Networks)。一个基础网络包含工作站 STA (Stations)和接入点 AP (Access Points)，而自组织网络仅包含 STA。基础网络的拓扑结构就是 ESS，如图 1-7 所示，而自组织网络的拓扑结构就是

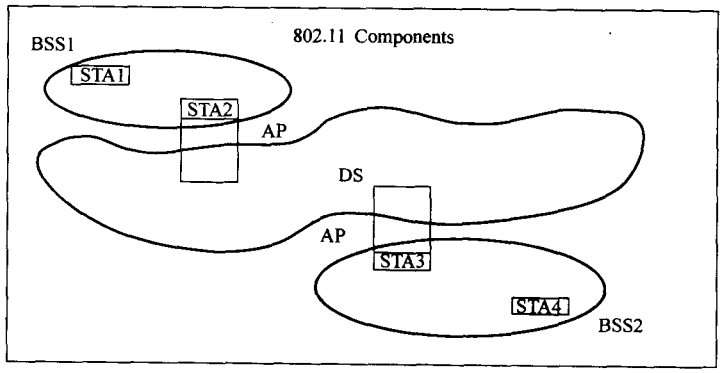

图 1-7　扩展服务集

IBSS。一个 ESS 包含一个或多个 APs 和 STAs，以 APs 为中心，这时 WLAN 的无线接入点，可以看作是有线网络的延伸，只要在 WLAN 的覆盖范围内，配有无线网卡的设备(通常称为无线工作站)，都可以通过无线接入点与外部有线或无线的骨干网络相连，WLAN 接入点充当

了无线 Hub（集线器）的角色。

每个 AP 作为 STAs 进行网络通信的服务点，每个 STA 每一时刻只能有一个连接，通过惟一的 AP 进行网络通信，该连接称为关联（Association）。一个 STA 通过和 AP 交换数据包实现与其他 STAs 通信，AP 可以将数据包路由到合适的目的地。因此，在 Infrastructure WLAN 中，AP 中继所有的通信，任何 STA 都不能和其他 STA 直接通信。一个 Infrastructure WLAN 也允许通过入口（Portal）和外界网络通信，Portal 是逻辑点，见图 1-8。

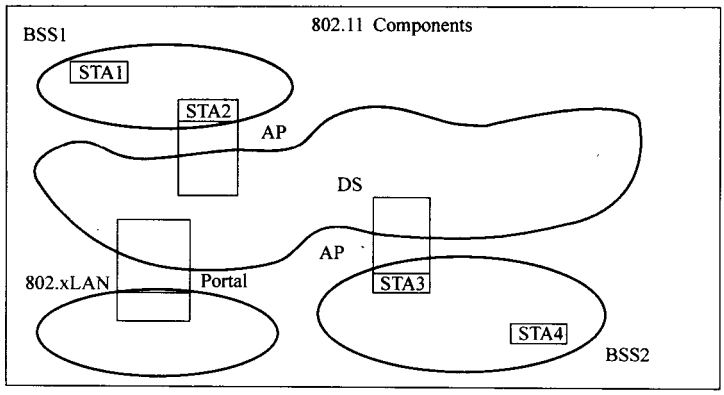

图 1-8　Portal

另一种工作模式称为对等网络模式，即自组织网络，主要是指少数配有无线网卡的笔记本电脑（即无线工作站）之间以对等的方式相互直接连接，组成一个所谓 Ad hoc 的临时特定网络。这时的 Ad hoc 网络相对独立，并不需要与外部骨干网相连。一般无线局域网的覆盖范围为数十米到数百米。

Ad hoc 网络是一种特殊的无线移动网络。网络中所有节点的地位平等，无需设置任何中心控制节点。网络中的节点不仅具有普通移动终端所需的功能，而且具有报文转发能力。与普通的移动网络和固定网络相比，主要的特点有：无中心、自组织、多跳路由和动态拓扑等。

3. 无线局域网的相关硬件

无线局域网的相关硬件主要有：无线路由器、无线接入点、无线网卡、无线局域网天线和无线网桥等。

（1）无线路由器

路由器是一种用于网络互连的专用计算机设备，工作在 OSI 协议的网络层。其功能是为收到的报文寻找正确的路径和把报文转发出去。无线路由器提供连接网际或网路内的 ISDN、专用电话线及帧中继，可以由单一中心支持数百个远端网络无线接入。在 Ad hoc 网络中，没有固定的基站，每个节点本身就具有路由器的功能。

（2）无线接入点

无线接入点 AP 是 WLAN 中的重要设备，负责移动主机的管理以及协调无线与有线网络之间通信的关键部件。AP 具有“操作透明性”和“性能透明性”的特点。“操作透明性”是指移动的前后，移动节点并不需要进行特殊的操作，便可对网络参数重新配置。“性能透明性”是指主机的性能并不因主机的移动而下降。一般 AP 的设计开发应满足 IEEE 802.11、IEEE 802.1d、IEEE 802.3 等协议和有关工程建议。

(3) 无线网卡

无线网卡是无线局域网的基本部件。无线接入终端采用无线网卡经由无线 AP 进入以太网或无线路由器，从而实现相互通信。

(4) 无线局域网天线

无线局域网中用的天线根据安装的位置可分为内置天线和外置天线。内置天线的体积小，一般用于无线终端设备的无线网卡上，内置于设备中，但其天线增益很低，一般有 -10dB，所以其作用范围较小，从几米到上百米。外置天线的体积较大，一般用于无线 AP 或无线路由器上，但其天线增益较大，一般有 10 ~ 20dB，所以其作用范围较大，从几百米到几十千米不等。为了保证作用距离，外置天线必须架设到室外。

WLAN 中用的天线根据其功率覆盖的功能分为全向天线和定向天线。全向天线是以天线为中心实现一定半径的一个球形覆盖区域。定向天线则是为了某种目的要求实现在某一个方向一定距离范围内的覆盖。

(5) 无线网桥

无线网桥是用来连接不同的建筑物中的局域网的设备。无线网桥产品支持很高的数据率，并且利用视距内定向天线使有效传输距离长达几千米。利用远程网桥来构建多个建筑物之间网络互连，比通过有线连接具有明显的优势：可以节省专线的安装费用，免除月租费；获得长距离、高带宽的无线链路；较短的建设周期；不受特殊地点场合的限制，只要求现场供电保证；高性价比的点对点或点对多点的广域网连接；消除管理路由器所带来的高费用和复杂性；重塑性和扩充性强，便于重新部署网络等等。

1.2.3 无线局域网的标准

对于计算机网络来说，标准是至关重要的。不遵循一定的标准，不同的站点之间就不可能进行通信。对于无线网络来说要涉及到所使用的无线频率范围、空中接口通信协议等技术规范与技术标准，只有遵循共同的标准，各种不同厂商生产的产品之间才能互连互通，否则不能实现无线设备之间的通信。

在无线局域网标准中，最著名的是 IEEE 802.11 系列，此外制定 WLAN 标准的组织还有 ETSI (欧洲电信标准化组织)和 HomeRF 工作组。ETSI 提出的标准有 HiperLan 和 HiperLan2，HomeRF 工作组的两个标准是 HomeRF 和 HomeRF2。其中，IEEE 的 802.11 标准系列由于它对以太网标准 802.3 影响很大，而得到最广泛的支持，尤其在数据业务上。在 WLAN 中，常用的标准主要有 IEEE 802.11b、IEEE 802.11a、IEEE 802.11g、Bluetooth、HomeRF、IrDA、HiperLAN2 等。

1. IEEE 802.11

802.11 是 IEEE 最初制定的一个无线局域网标准，主要用于解决办公室局域网和校园网中用户终端的无线接入，业务主要限于数据存取，速率最高只能达到 2Mbit/s，工作在 2.4GHz 开放频段。这一标准于 1997 年 6 月公布，是无线网络技术发展的一个里程碑。目前，许多公司都有基于这一标准的无线网卡。由于 802.11 在速率和传输距离上都不能满足人们的需要，因此，IEEE 小组又相继推出了 802.11b 和 802.11a 两个新标准。三者之间技术上的主要差别在 MAC 子层和物理层(PHY)。经过十几年的发展，IEEE 802.11 家族已经从最初的 IEEE 802.11 发展到 802.11a、802.11b、…802.11i 等。