



一种适用于车联网的无线接入多模网关系统^{*}

默罕莫德·默森,毛云川,张 瑞,沈连丰

(东南大学移动通信国家重点实验室 南京 210096)

摘 要:针对车联网环境下车辆内部的终端进行网络共享和接入外部网络的问题,研制了一种无线接入多模网关,该网关能够在车辆内部组建无线局域网,并实现将无线局域网内的设备接入到公众移动通信网络(例如3G/4G)和互联网。首先给出系统的总体结构,然后对无线多模网关的硬件平台和应用软件的设计开发进行详细论述,研究了无线接入网络的选择策略,针对不同的业务分类利用层次分析法获得相应权重分配以达到最优的网络性能。实验结果表明所研制的网关完全达到了设计要求。

关键词:无线接入;多模网关;车联网;无线局域网;公众移动通信网络;网络选择

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.04.011

A Wireless Access Multimode Gateway System Applied in Internet of Vehicle

Mohamed Mohsen, Mao Yunchuan, Zhang Rui, Shen Lianfeng

(National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: A wireless access multimode gateway system was developed in order to solve the problems of the network share and external network access for wireless devices equipped in the cars to form the internet of vehicle (IoV). By the gateway system, the wireless local area network(WLAN) can be established. The terminals within this WLAN can access the public mobile communication network such as 3G even 4G and external internet in the vehicles. First, the system architecture was given. Then, the design and development of the wireless access multimode gateway were described in detail including the hardware platform and application software. Meanwhile, the selection strategy of wireless access network was studied according to the different business classifications to obtain the corresponding weight distribution by using analytic hierarchy process, in order to achieve the optimum network performance. The test results show that the developed gateway accords with the design requests and has the reliable and stable performances.

Key words: wireless access, multimode gateway, internet of vehicle, wireless local area network, public mobile communication network, network selection

1 引言

车联网(internet of vehicles,IoV)是物联网(internet of

things,IoT)在智能交通系统(intelligent transportation system,ITS)中的典型应用,它基于车域网(vehicular area network,VAN)和车辆自组织网络(vehicular Ad Hoc

^{*} 国家科技重大专项基金资助项目(No.2011ZX03005-004-03),国家自然科学基金资助项目(No.61171081),江苏省科技成果转化专项基金资助项目(No.BA2010023)

network, VANET)技术,实现车辆内、车辆间以及车辆与外部通信设备的组网和通信^[1-3]。因此,车辆的移动无线接入就成为车联网的关键技术。国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)为此设立了 WG16 工作组,从事车联网所涉及的广域无线接入体制研究,并提出了 ISO 21217 标准,包含了大量不同类型的通信技术的应用,其中以 2G (GSM/CDMA)、3G (WCDMA/ TD-SCDMA/ cdma2000)、4G (TDD/ FDD-LTE)等通信技术为代表的公众蜂窝移动通信网络和基于 IEEE 802.11 系列标准的无线局域网(wireless local area network, WLAN)正逐步成为车辆接入网络的两种主要方式^[4]。

当前,2G 网络在中国还在运行,3G 网络的 3 种技术标准 TD-SCDMA、WCDMA 和 cdma2000 在中国都有牌照,以 TD-LTE 为主的 4G 网络正在中国若干城市开始商用,在蓬勃发展的同时也给车联网领域带来了新课题^[5]。由于多种网络同时运行,2G 网络不同标准重复建设的现象在 3G 网络中继续存在,4G 网络是否能够统一标准亦不容乐观,这种异构网络共存的现象造成了资源利用的不合理以及人们使用的不方便,这在流动性大、运动速度快的车辆中显得特别突出。为此,本文给出一种无线接入多模网关,通过它在车辆中实现 VAN 和 VANET 功能并构成 IoV,能够较好地解决车辆内任何终端在任何时间、任何地点可靠接入网络的问题。

2 系统架构

在车联网体系中,车辆内部的无线设备需要接入外部网络,实现信息的获取和传输功能;同时它们也要互相直接或间接地连接,实现车辆内部的信息共享。为此本文研制了一种无线多模网关,基于它构成的系统架构如图 1 所示。

整体系统架构由终端侧、网络侧和网关构成。在终端侧,网关一方面可以将车内所有的电子信息设备(包括采用 Wi-Fi、Bluetooth、ZigBee 等技术的各类手机、平板电脑、笔记本电脑、车内信息检测器和传感网等)构成一个车域网,实现车内设备的互联互通,另一方面根据具体终端的需求选择接入外部网络;在网络侧,网关实时地检测能够提供服务的外部网络,并根据终端的实际情况实施接入。因此,网关对于内部终端而言就是使其工作于最省电状态的“网络”,对外起到接入点(access point, AP)作用,对内构成内部网络;网关对于外部网络来讲就是能够使其工作于最佳状态的“终端”,对外起到选择最合适网络的作用,对内形成网桥。

考虑到大部分终端设备都具有 Wi-Fi 模块,目前研制的网关选用具有代表性的 IEEE 802.11g 网卡构成主 AP 接口,附有其他制式(包括 IEEE 802.11n、Bluetooth、ZigBee 等)的辅 AP 接口。同时,网关需要提供路由功能,以保证车内设备需要接入外部网络时,网关可根据业务的不同选择合适的网络,如对速率要求高的视频业务等首选速率高的网络接入,而其他业务首选价格低的网络接入,并且尽量避免不同的设备接入相同的网络。进而,还可根据用户意愿列出可接入的网络,供用户选择。

在网络侧,由于公众蜂窝通信网络在各地区的覆盖范围和制式不同,所能提供的速率和价格也因地而异,为了提高网关的适用性,网关需要做到能够接入各种蜂窝网络和 WLAN,本文设计的网关目前具备接入公众 Wi-Fi 以及 GSM、WCDMA、TD-SCDMA、cdma2000 1x Ev-Do 等 2G/3G 公众蜂窝网络的功能,并可通过扩展支持 FDD-LTE、TDD-LTE 和 WiMAX 等通信网络,实现任何地

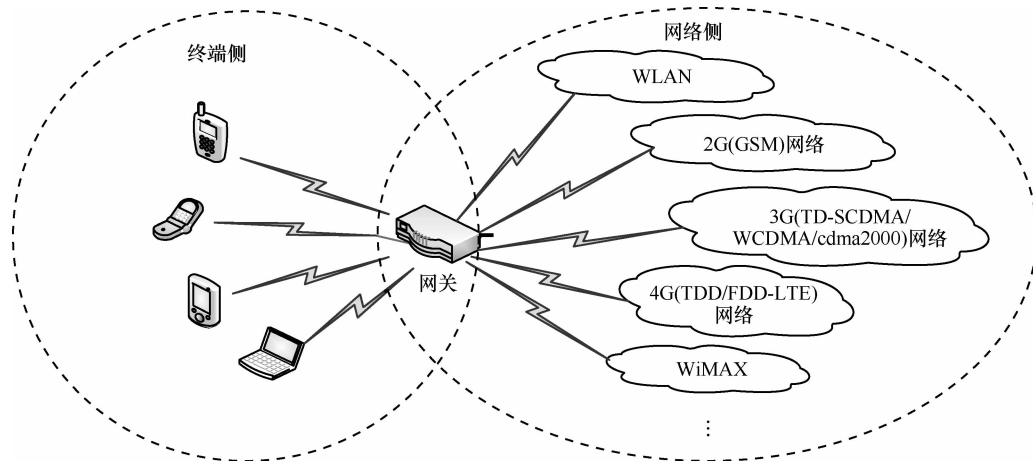


图1 基于无线多模网关的系统架构示意



区、任何时间灵活高效的网络接入。由于 WLAN 可以提供较高的数据速率且价格便宜,因此在有 WLAN 热点覆盖的地区,网关通常将它列为高优先级,或者与蜂窝网络互补以提供更好的服务。

3 无线多模网关的设计与实现

3.1 硬件平台

本文设计的无线多模网关的硬件平台架构如图 2 所示。网关主要分为终端接入单元、网关控制单元和网络接口单元。网关控制单元是网关的核心部分,该单元采用 ARM 11 系列的 S3C6410 芯片作为核心处理器,通过运行应用程序和驱动程序,管理各网络模块和外围模块,实现路由、数据分组转发以及用户配置等功能。终端接入单元提供车辆内无线终端的接入功能,考虑到越来越多的终端设备集成了 Wi-Fi 模块,该单元采用了 TP-LINK 公司的 TL-WN321G+无线网卡实现无线局域网的 AP 功能,该网卡工作于 IEEE 802.11g 标准下,适用性较强。网络接口单元将网关接入到不同外部网络,提供了覆盖范围广的移动蜂窝通信网络和速率快但只在热点区域覆盖的 WLAN 两种广域接口。移动蜂窝通信接口由 WCDMA、TD-SCDMA、cdma2000 1x Ev-Do 等几种 3G 通信模块构成接入单元,同时 3G 模块还可实现 GSM 网络接入,以保证网关在不同地点都可以选择最佳的 2G/3G 蜂窝通信网络。WLAN 接口则同样采用当前应用较广泛的 IEEE 802.11g 无线网卡 TL-WN321G+,其最大传输速率为 54 Mbit/s,最大传输距离可达到室外 300 m,能够有效地作为蜂窝通信网络的补充并实现宽带接入功能。

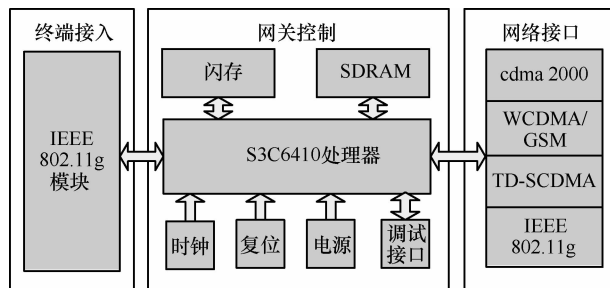


图 2 网关硬件平台总体架构示意

3.2 网关接口

无线多模网关的硬件平台采用模块化设计,为了实现各模块间的数据传输,平台在核心控制器基础上扩展出多种类型的接口(包括串口、USB 接口和 GPIO 接口等),并以 USB 接口为主要扩展接口,将外围模块通过 USB 接口

和控制器连接,以提高网关的易用性和扩展性。

(1)USB 接口设计

网关控制单元采用了 S3C6410 芯片作为核心处理器,具有 2 个 USB Host 接口、1 个 mini USB 接口、3 个串口、1 个 SD 卡接口以及 1 个以太网接口。由于平台外围的网络模块需要较多的 USB 接口,所以本系统采用 AU9245 芯片对 USB Host 控制器进行扩展设计,扩展出 3 路 USB Host 接口和 1 路采用 mini USB 的 USB Slave 接口,前者用于连接外围设备,后者可以和上位机连接,进行传输数据。网络接口单元的 3G 网络模块、无线网卡模块及终端接入单元的无线网卡模块均可通过 USB Host 接口与网关控制器交互数据,并实现即插即用。同时系统预留出 3 路 USB Host 接口供扩展 TDD/FDD-LTE 等 4G 网络模块。

(2)串口设计

目前市面上的网络通信模块都具有单片解决方案,但由于成本问题或者处理速度问题,模块的微处理器并不全都具备 USB 接口,所以网关控制器需要预留相应的串口,以兼容不具备 USB 接口的网络模块,同时网关控制器还可通过串口与上位机进行数据通信和调试。基于上述扩展性的考虑,网关平台扩展了 3 个异步串行接口作为备用。

(3)以太网接口设计

平台采用 DM9000 芯片作为以太网控制器,扩展出一个以太网接口,主要实现如下两个功能:

- 借助以太网接口的网络文件系统(network file system, NFS)和 FTP 功能,提高开发调试效率;
- 在有局域网的情况下增加一种接入互联网的方式,为无线设备提供更快、更廉价的网络连接。

3.3 软件体系

无线多模网关的软件体系架构如图 3 所示,它采用分层式设计,整个架构由底向上共分为物理层与 MAC 层、操作系统层、应用层 3 层,每层只需要为上层提供接口,上层无需了解下层的实现细节。

(1)物理层与 MAC 层

物理层与 MAC 层主要包括网关的 S3C6410 硬件平台及相应设备的驱动程序、各通信接口所采用的协议标准等。由于无线多模网关的软件系统采用嵌入式 Linux 操作平台,因此硬件驱动程序及相关协议需进行一些移植操作以兼容嵌入式 Linux 平台。硬件的驱动部分主要包括 USB 无线网卡 TL-WN321G+的驱动程序以及 2G/3G 多模通信网卡的驱动程序,相应的移植过程如下。

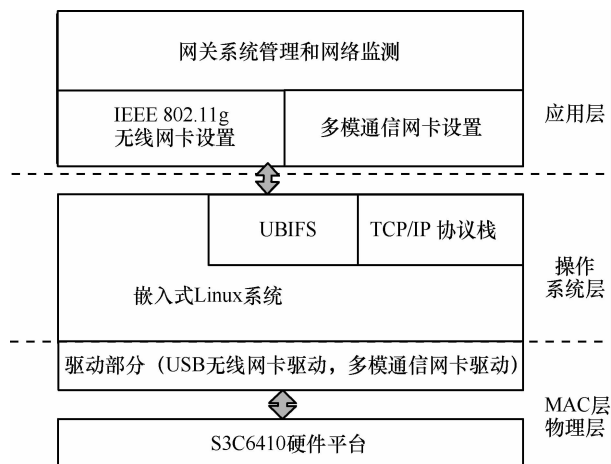


图3 网关软件体系架构

- USB 无线网卡: TL-WN321G+使用的芯片是 Ralink RT2571WF, 可以从官网下载相应的 Linux 源代码, 交叉编译以后移植至 ARM 平台上。
- 多模通信网卡: 在 Windows 环境下, 2G/3G 多模通信网卡第一次插到 PC 机上时, 以闪存模式提取并安装驱动程序, 驱动安装完毕后进行模式转换, 由 USB 存储设备转换为 4 个串口设备, 拨号上网使用其中一个串口, 语音和短信则使用另外的串口。这个过程会自动完成, 称为“ZeroCD”特性。但在 Linux 平台上, 系统无法自动完成转换过程, 这里需要用 USB 嗅探程序监听 Windows 下的相关驱动通信过程, 得到通信交互的动作和命令以便在 Linux 下重现。

(2) 操作系统层

无线多模网关的相关软件运行在嵌入式 Linux 平台之上, 嵌入式 Linux 是将 Linux 操作系统进行剪裁修改, 使之能在嵌入式系统上运行的一种操作系统。嵌入式 Linux 系统是连接硬件与应用程序的关键部分, 在嵌入式 Linux 的基础上, 开发应用程序可以不用关注硬件的具体实现细节, 开发的程序具有一定的可移植性。平台的交叉编译环境为 Ubuntu 11.04, 编译工具为 arm-linux-gcc, 采用 U-Boot 工具并且移植到开发板。存储器采用 MLC2 Nand flash, 支持基于 flash 的 UBIFS, 包含了 TCP/IP 协议栈, 为上层的应用程序提供支持。

(3) 应用层

应用层包括各种实现系统功能所需的基础应用程序, 如无线网卡的设置程序、多模通信网卡的设置和拨号程序以及网关的管理和网络监测程序等。

无线网卡的设置: 在无线局域网中, 主要的网络拓扑

分为两种: Ad Hoc 结构和星型结构。Ad Hoc 结构中每一个节点都是对等的, 信息通过点对点的网络传播, 但网络通信效率低, 本文的车联网系统采用星型结构组建车内无线局域网, 星型结构的中心节点称为 AP, 网关通过配置 IEEE 802.11g 无线网卡实现 AP 功能, 作为网络的中心节点。无线网卡的 AP 功能需要 OpenSSL、libnl、Hostapd 3 个组件来实现, 并通过 udhcpd 组件实现嵌入式的 DHCP 功能, 为无线局域网内的设备自动分配 IP 地址^[6]。

多模通信网卡的设置: 在驱动和模式转换完成后, 通信网卡使用点对点协议 (point to point protocol, PPP) 进行拨号上网, PPP 是在点对点连接上传输多协议数据分组的一个标准方法, 支持的多协议包括 IP、IPX 和 AppleTalk 等。PPP 主要由封装、链路控制协议 (link control protocol, LCP)、网络控制协议 (network control protocol, NCP) 和配置几部分组成。PPP 的移植需要系统内核的支持, 本平台采用的 Linux 2.6 版本的内核中有与 PPP 相关的模块, 需要编译内核并将 PPP 相关项选中, 可以选择直接编译进内核也可以选择作为模块编译, 作为模块编译的话运行时需要加载模块。

网关管理和网络监测程序主要完成两部分的功能: 一部分是无线 AP 和移动通信网络配置与监控功能, 包括 AP 参数配置、启动和停止 AP、移动网络拨号和断开功能; 另一部分是实现无线局域网和移动通信网络的连通功能。管理软件的主要流程架构如图 4 所示, AP 功能管理部分实现 AP 参数配置、DHCP 参数配置、启动和停止 AP 功能、检测接入 AP 的无线设备等功能; 移动通信网络管理部分实现拨号上网、网络信息采集、网络信息显示和网络自动重新拨号的功能; 路由和网络选择部分实现为无线设备选择合适的移动网络接入, 提供自动选择和手动选择两种方式, 同时针对无线设备可以提供速率控制, 即限制某个接入设备所获得的网络速率, 也可以完成负载均衡和链路备份方面的功能。

3.4 网络选择策略

车联网中的网关所处环境通常是一种异构的网络环境, 同时具有多种 2G/3G/4G 网络及 WLAN 覆盖, 网关在为无线局域网内的设备提供外部网络接入时, 如何选择最有效、最合适的接入网络, 寻求最佳的选择策略, 已成为车联网领域研究的一个热点问题^[7,8]。

异构网络环境下的网络选择是指在多种覆盖网络中选择一种最优的网络接入方式, 使得系统在此方式下, 目

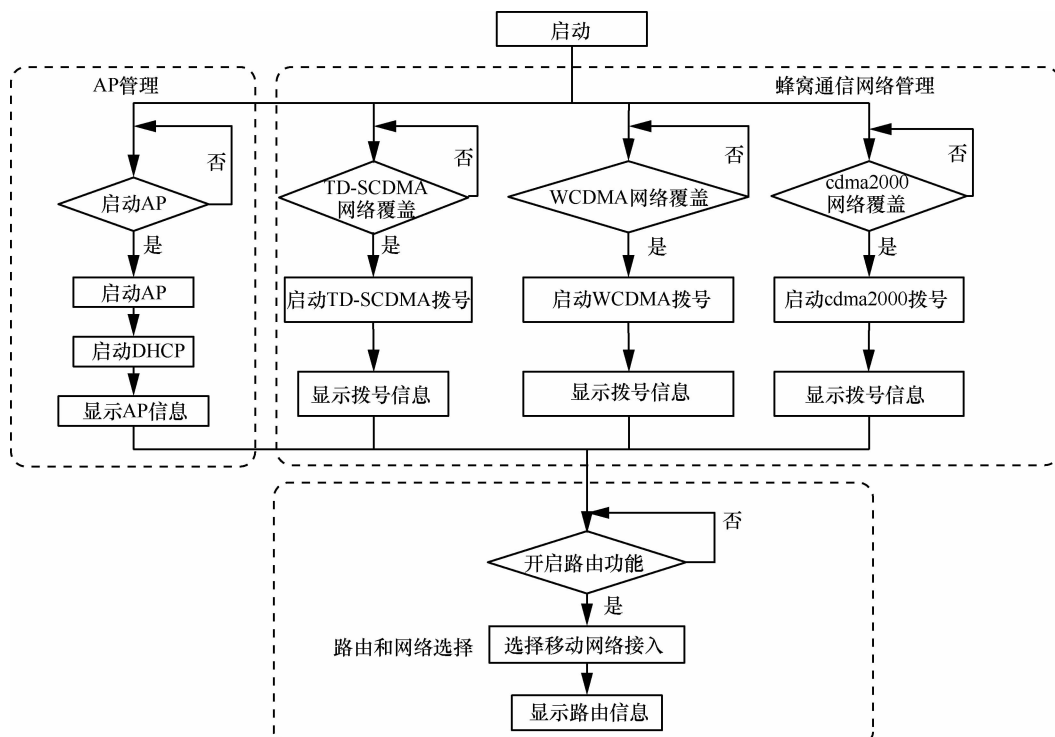


图4 网管管理软件流程

标值(带宽、时延、服务质量等)可以达到最佳。当前对网络选择的研究成果有很多,一部分的网络选择方法是基于硬判决策略,所谓硬判决策略是指根据某个特定的性能参数或示性参数的值直接确定选择结果,比如根据带宽选择。硬判决的特点是实现简单、复杂度低,在特定的网络和业务需求下可以获得不错的性能,但在网络动态变化,网络业务多样化的车联网环境下,硬判决策略不能很好实现网络的最优化选择^[8]。为了克服硬判决策略的片面性和不够灵活的特点,需要综合考虑多种判决指标,将网络选择问题转化为多属性决策问题。而综合判决指标的选取具有很大的灵活性,可以根据当前网络的特点设定相应指标。

车联网网关所处的环境下蜂窝通信网络和无线局域网是主要的网络覆盖,目前不同制式的蜂窝网络费用并不统一,考虑到网络资源和用户需求,所以网络服务质量(quality of service, QoS)和价格都是综合判决的指标。本文选取网络带宽、时延、可靠性、价格4个参数作为网络选择的判决指标,并进一步使用误码率和平均重传次数来表征可靠性。一般来说,每个指标对于接入选择的影响程度不同,为了达到最优化的选择,不同指标对于综合判决目标的权重不能平均选取,应根据实际场景赋予不同的权重。目前权重的设定并没有统一的标准,一般采用专家评级的

方式,但在多个判决指标和多个层次的判决场景下,专家评级较难确定具体权值,结合数学模型中的各种决策方法,层次分析法是一种有效的多准则权重确定方法^[9, 10]。考虑到不同业务模型下各判决因素的重要性不同,针对不同业务设计不同权重的方式显然可以提高系统的整体性能。目前3GPP已经对3G系统的业务类型做了具体的定义,根据技术要求将业务分为4类:会话类业务、流媒体业务、交互类业务和背景类业务^[11],具体见表1。

表1 3GPP对无线业务的分类

业务类型	典型业务	QoS 特性
会话类	语音通信	时延低,信道带宽小
	视频通信	时延低,信道带宽大
交互类	互联网浏览和搜索	一定的可靠性,相对低的时延,下行速率高
流媒体	视频流媒体点播 FTP	可靠性高,信道带宽大,允许一定的时延
背景类	电子邮件、SMS	可靠性高,允许时延

可靠性高,允许时延根据表1的分类,对每一类业务运用层次分析法确定其参数权重。

(1)建立层次结构模型

分析网络选择问题,根据有关因素的属性划分不同的层次,一般将问题分为目标层、准则层和方案层,同一层中

的因素从属于上层因素同时支配下层因素。本文建立的层次结构模型如图 5 所示。

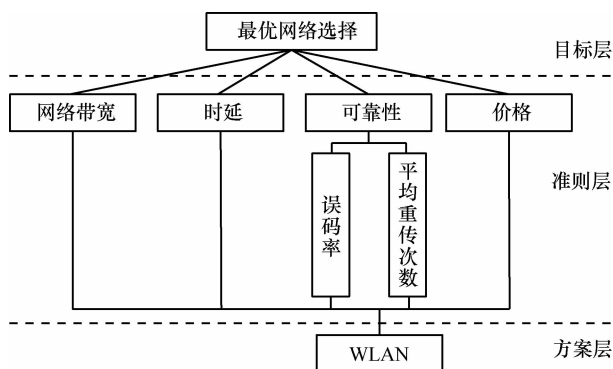


图 5 网络选择层次模型

(2) 构造判断矩阵

对图 5 的层次模型，设全部判决变量 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ ，每次选取两个变量，用 a_{ij} 表示 x_i 和 x_j 的重要程度比较，得到两两比较判断矩阵：

$$A=(a_{ij})_{m \times m} \quad (1)$$

A 中元素应满足 $a_{ij}>0, a_{ij}=\frac{1}{a_{ji}} (i, j=1, 2, \dots, m)$ 。

关于 a_{ij} 的确定，经大量实验得出通常以 1~9 作为标度得到的结果最优，判决矩阵标度见表 2。

表 2 判断矩阵中标度及含义

x_i/x_j	相等	较强	强	很强	绝对强
a_{ij}	1	3	5	7	9

注：2、4、6、8 表示上述相邻判断的中间值。

(3) 计算权重

对判断矩阵 A ，利用方根法计算判决参数的权重，首先计算矩阵每一行元素乘积：

$$W_i=\prod_{j=1}^m a_{ij} (i=1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

计算 W_i 的 m 次方根 $\bar{W}_i=\sqrt[m]{W_i}$ ，然后对向量 $W=(\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_m)^T$ 做归一化处理，即：

$$u_i=\bar{W}_i / \left(\sum_{i=1}^m \bar{W}_i \right) \quad (3)$$

则 $\{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 为判决参数的权重。

(4) 一致性检验

由于矩阵 A 的确定具有主观性，因此需检验其是否满足一致性，分别计算矩阵的一致性指标 C_1 和随机一致性比率 C_R ：

$$C_1=\frac{\lambda_{\max}-m}{m-1} \quad (4)$$

$$C_R=C_1/R_1 \quad (5)$$

其中 R_1 为平均随机一致性指标，其值在参考文献[6]中给出。当 $C_R<0.1$ 时，认为判断矩阵的一致性可以接受，否则需要对矩阵进行调整以满足一致性。

由上述步骤可以确定网络选择综合判决目标各参数的权值，本文所得权值见表 3。根据所处理业务的不同，网关通过综合判决目标进行网络选择决策，避免了硬判决策略的局限性，能够有效提高系统性能^[6]。

表 3 不同业务的判决参数权重

业务类型	带宽	时延	误码率	平均重传次数	价格
语音业务	0.044 0	0.333 7	0.093 6	0.176 2	0.352 4
视频业务	0.292 1	0.360 9	0.064 2	0.123 7	0.159 1
交互类业务	0.240 7	0.138 7	0.146 9	0.072 1	0.401 6
流媒体业务	0.304 2	0.047 4	0.284 6	0.098 6	0.265 1
背景类业务	0.096 3	0.061 2	0.434 1	0.089 2	0.319 2

在本文设计的无线多模网关中，网络选择功能基于策略路由来具体实现。策略路由是一种比传统路由更加灵活的路由方式^[12-14]。策略路由分为依据源地址匹配的源地址路由、依据目的地址匹配的目的地地址路由和智能均衡的路由方式。和 Netfilter 一样，策略路由也不被嵌入式 Linux 内核默认支持，所以需要选择策略路由器 (policy router) 选项后重新编译内核，之后创建路由表项，借助 iptables 命令实现网络选择。借助 iptables 还能实现无线多模网关的速率控制、目的地地址分流和负载均衡。

4 实验及其结果

4.1 系统测试

无线多模网关所实现的基本功能是在车辆内部组建 VAN 以及为车内设备提供外部蜂窝网络和 WLAN 的接入功能。在此基础上，网关还可以对网络进行监控和优化，包括速率控制、目的地地址分流等功能。为此搭建了测试平台对所研制网关样机的各项功能进行测试^[6]。

测试在 4 种不同场景下进行，分别对应网关的 4 项基本功能，平台使用网络测试工具 Iperf 对设备的通信性能进行测试，评估的主要性能指标是设备所获得的网络速率。如图 6 所示，4 种测试场景分别为：无线局域网内网、网关基本功能、速率控制、目的地地址分流。测试结果表明，网关完全具备这些功能，且工作可靠、性能稳

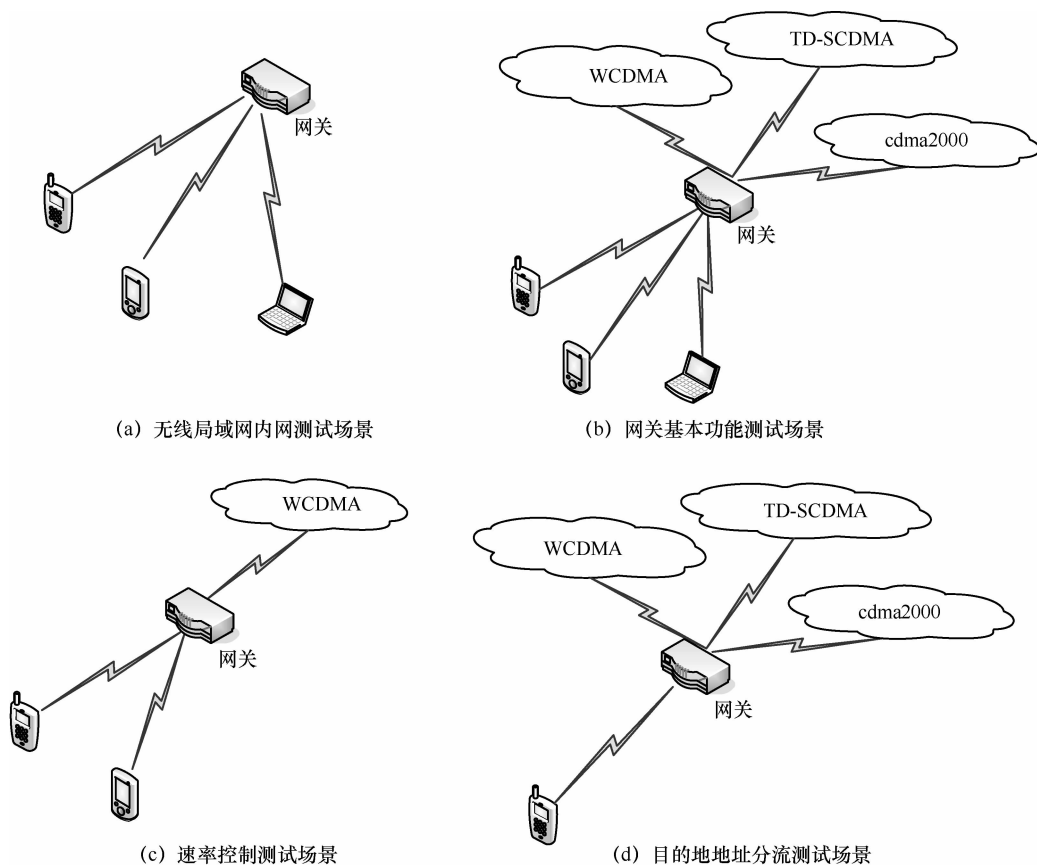


图6 系统测试场景

定,可支持内部组网以及将多种无线设备接入外部网络,其接入性能基本到达外部网络所提供的指标,具有良好的实用性。

4.2 车联网环境实验

为了验证所研制网关在车联网应用的性能,构建了车联网视频传输实验系统,实验场景如图7所示^[6,15]。由图可

见,实验系统由搭载USB摄像头的车内终端设备(笔记本电脑 A_1 、 A_2)、无线多模网关、接收侧与ADSL相连的接收设备(笔记本电脑 B_1 、 B_2)构成。

下面仅以WCDMA和cdma2000两种3G制式的网络接入和数据传输加以说明^[6]。车内终端和网关分别搭载于两辆在行驶的车辆1、车辆2中,终端通过车内WLAN与

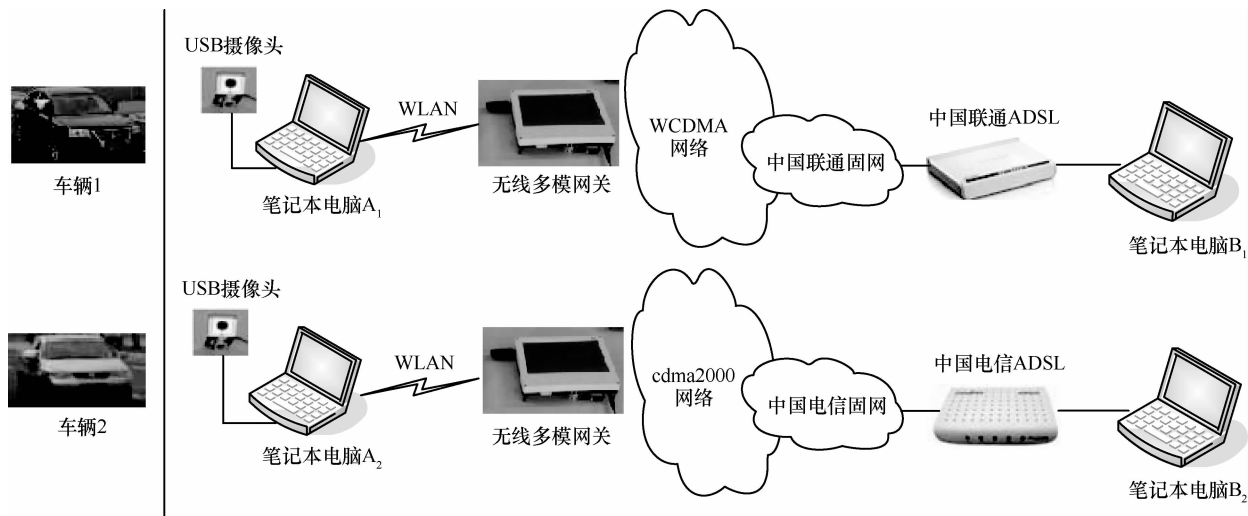


图7 车联网视频传输实验场景示意

无线多模网关建立连接,分别利用 WCDMA 和 cdma2000 的 3G 通信网卡构建接入通路,接收侧的设备 B₁、B₂ 通过 IP 网络与中国电信和中国联通的 ADSL 相连,与车辆间通过中国电信和中国联通的 3G 网络建立相应的无线传输通路,以进行数据传输。实验中,USB 摄像头拍摄的视频流经压缩后通过无线多模网关接入外部 3G 传输通路,将视频流传输到接收设备上显示。图 7 为车联网视频传输实验场景示意。

将摄像头分别接入设备 A₁、A₂ 中,配置好各设备的 IP 地址,并将网关的路由流向设置为流向 B₁、B₂,摄像头采集的数据经缓存后传输至网络,保证对端视频流的流畅播放。无线多模网关分别通过 WCDMA 网络模块(华为 E1750)和 cdma2000 网络模块(中兴通讯 AC8710)为高速视频业务提供网络接入,其中,WCDMA 模块的最大数据速率可达 7.2 Mbit/s,cdma2000 模块可达 3.1 Mbit/s。为了测试网关在不同运动状态下的性能,实验分别记录了车辆不同运动速度时测量系统的视频数据传输速率、传输时延以及丢帧率等性能。实验结果表明,在车速为 40 km/h 时两种制式的平均传输时延和丢帧率相差不多,但图像质量已有明显差异,随着车辆运动速率的提高,图像质量开始下降直至中断。考虑到中国的实际情况,所有实验的定量测试结果将另行报告。

5 结束语

本文设计和研制了车联网应用环境的车载无线多模网关,网关的硬件平台以 S3C6410 为核心处理器,通过 USB 接口扩展外围网络模块,实现了车内车域网(无线局域网)和接入点功能以及多种通信网卡接入外部网络功能,可以对车内终端提供外部网络接口并实现数据共享。基于嵌入式 Linux 系统设计了无线多模网关的系统软件,实现了网络功能管理和路由选择,在此基础上还研究了无线接入网络的选择策略,针对不同的业务分类利用层次分析法获得相应权重分配,以达到最优的网络性能。研制的网关样机经过不同场景的系统测试和实际车联网环境实验,表明其工作可靠、性能稳定,完全达到了设计要求。

本文的网关虽然是针对车联网应用而设计的,但其核心技术亦适于解决异构网络共存场景实现多网融合的问题,具有广阔的应用前景。

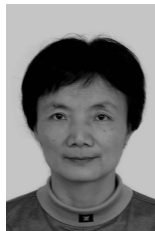
参考文献

- Li Y, Zhao M, Wang W. Intermittently connected vehicle-to-vehicle networks: detection and analysis. Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Houston, USA, 2011: 1~6
- Yang Q, Zheng J, Shen L. Modeling and performance analysis of periodic broadcast in vehicular Ad Hoc networks. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Houston, USA, 2011: 5790~5794
- 吴怡, 杨琼, 吴庆祥等. 一种基于自组织映射神经网络的 VANET 组网算法. 通信学报, 2011, 32(12): 136~145
- P802.11p D11.0. IEEE Unapproved Draft Std, IEEE Draft Standard for Amendment to Standard Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Networks-Specific Requirements-Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications-Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments, 2010
- Araniti G, Campolo C, Condoluci M, et al. LTE for vehicular networking: a survey. IEEE Communications Magazine, 2013, 51(5): 148~157
- 毛云川. 基于车联网的无线多模网关设计与实现. 东南大学硕士学位论文, 2013
- Shafiee K, Attar A, Leung V C M. Optimal distributed vertical handoff strategies in vehicular heterogeneous networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2011, 29(3): 534~544
- Ren Z, Fertl P, Liao Q, et al. Street-specific handover optimization for vehicular terminals in future cellular networks. Proceedings of Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Dresden, Germany, 2013: 1~5
- 刘胜美, 孟庆民, 潘甦等. 异构无线网络中基于 SINR 和层次分析法的 SAW 垂直切换算法研究. 电子与信息学报, 2011, 33(1): 235~239
- Xia W, Shen L. Modeling and analysis of hybrid cellular/WLAN systems with integrated service-based vertical handoff schemes. IEICE Transactions on Communications, 2009, E92-B (6): 2032~2043
- TS 23.107 V6.3.0. QoS Concept and Architecture (Release 6). 3GPP, 2005
- Li M, Xie D, Hu B, et al. A multi-hop routing mechanism based on fuzzy estimation for heterogeneous wireless networks. Proceedings of Vehicular Technology Conference Fall (VTC Fall), Anchorage, USA, 2009: 1~5
- 默罕莫德·默森, 许凯凯, 夏玮玮等. 荒漠场景应用的车联网及其分簇路由算法. 通信学报, 2012, 33(10): 166~174
- Claes R, Holvoet T, Weyns D. A decentralized approach for anticipatory vehicle routing using delegate multiagent systems. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(2): 364~373
- 许凯凯. 车联网无线视频多跳传输系统的设计与实现. 东南大学硕士学位论文, 2013

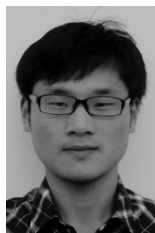
- 9 Wang L, Zheng B Y, Cui J W, *et al.* Cooperative spectrum sensing using free probability theory. Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference, Honolulu, USA, 2009: 1~5
- 10 许炜阳, 徐婷. 认知无线电系统中存在载波频偏的 OFDM 频谱感知技术. 电子科技大学学报, 2013, 42(3):355~359
- 11 Penna F, Garelo R, Spirito M A. Probability of missed detection in eigenvalue ratio spectrum sensing. Proceedings of IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, Marrakech, Morocco, Oct 2009: 117~122
- 12 王润亮, 李浩, 黄焱等. 一种基于最大最小特征值的频谱感知改进算法. 计算机应用研究, 2012, 29(7): 2638~2641
- 13 曹开田, 杨震. 基于随机矩阵理论的 DET 合作频谱感知算法. 电子与信息学报, 2010, 32(1): 129~134
- 14 王颖喜, 卢光跃. 基于最大最小特征值之差的频谱感知技术研究. 电子与信息学报, 2010, 32(11): 2571~2575
- 15 邹卫霞, 丁奇, 周正等. 基于特征值极限分布的双门限频谱感知算法. 系统工程与电子技术, 2012, 34(3):588~591
- 16 Tulina A M, Verdu S. Random Matrix Theory and Wireless Communication. Hanover: Now Publisher Inc, 2004
- 17 Johansson K. Shape fluctuations and random matrices. Communications in Mathematical Physics, 2000, 209 (2): 437~476
- 18 Johnstone I M. On the distribution of the largest eigenvalue in principlecomponents analysis. The Annals of Statistics, 2001, 29(2): 295~327
- 19 Penna F, Garelo R. Cooperative spectrum sensing based on the limiting eigenvalue ratio distribution in Wishart matrices. IEEE

Communications Letters, 2009, 13(7): 507~509

[作者简介]



赵知劲,女,博士,杭州电子科技大学教授、博士生导师, 杭州电子科技大学通信工程学院党委书记, 主要研究方向为认知无线电、通信信号处理、自适应信号处理等。



胡伟康,男,杭州电子科技大学硕士生,主要研究方向为认知无线电及频谱感知算法的研究。



王海泉,男,博士,杭州电子科技大学研究员,主要研究方向为认知无线电、多天线系统及空时码的设计与应用等。

(收稿日期:2013-11-14)

(上接第 81 页)

[作者简介]



默罕莫德·默森,男,东南大学博士生,主要研究方向为车辆自组织网络、短距离无线通信等。



张瑞,男,东南大学博士生,主要研究方向为移动自组织网络、无线定位、短距离无线通信等。



毛云川,男,东南大学硕士生,主要研究方向为通信与信息系统、车辆自组织网络等。



沈连丰,男,东南大学教授、博士生导师,主要研究方向为移动互联网、移动自组织网络、短距离无线通信与泛在网络等。

(收稿日期:2014-02-11)