

文章编号: 1002-0268 (2009) S1-0117-07

OBU 产品的可靠性和稳定性设计

彭志宽, 段起志, 肖春来, 裴世兵, 辛伟, 张景秀
(北京握奇数据系统有限公司, 北京 100015)

摘要: 分析了 OBU 设备质量指标, 提供了一种基于集成芯片的高可靠性 OBU 解决方案。详细阐述了 OBU 的窄带接收、双信道自适应、频率稳定性、天线和灵敏度等设计方法以及 OBU 功耗分析, 理论设计和实际测试表明, 基于该方案的 OBU 产品具有相当好的一致性、稳定性和可靠性, 代表了 OBU 的主流发展方向。

关键词: 智能运输系统; ETC; OBU; DSRC; 可靠性; 稳定性; 一致性

中图分类号: U491

文献标识码: A

The Design of OBU with High Reliability and Stability

PENG Zhikuan, DUAN Qizhi, XIAO Chunlai, PEI Shibing, XIN Wei, ZHANG Jingxiu
(Beijing Watch Data System Co., Ltd., Beijing 100015, China)

Abstract: The OBU quality indexes in specification were analyzed, a reliable solution to OBU based on integrated circuit was provided. The design method of OBU's narrowband signal receiving, two-channel adaptive receiving, stability technology of carrying wave, antenna designing and the sensitiveness designing as well as OBU's power consumption were presented. The design and test prove that the OBU product based on the presented scheme possesses the advantages in the respects of consistency, stability and reliability, etc. which represents the OBU's mainstream.

Key words: ITS; ETC; OBU; DSRC; Reliability; Stability; Consistency

0 概述

伴随着国标 GB/T20851 的颁布以及京津冀和长三角地区的高速公路区域联网不停车收费示范工程的验收, 国内电子不停车收费 (ETC) 系统已逐步进入规模建设阶段。在这一过程中, 众多国内企业按照国家标准和行业规范生产 ETC 设备, 为 ETC 系统的规模建设和应用打下了良好的基础。

通过对国内某些 ETC 系统地了解、调研和分析, 我们发现在当前 ETC 系统初步进入规模应用阶段, 相比欧洲和日本的 ETC 应用, 国内 ETC 设备的研发和生产还处于比较初级的阶段, 在实际应用中 ETC 设备特别是与最终用户直接相关联的 OBU 产品都不同程度的出现了一些这样和那样的问题。

本文从产品的角度出发, 分析、探讨了 ETC 设

备特别是 OBU 的稳定性和一致性问题, 提供了一种研发、生产高可靠性 OBU 的解决方案: 基于集成芯片的 OBU 方案。

在集成芯片 OBU 方案中, 我们着重从以下几个方面分析: (1) OBU 产品天线设计; (2) OBU 产品的频率稳定性即频率容限设计; (3) OBU 产品窄带接收和双信道自适应设计; (4) OBU 产品灵敏度设计; (5) OBU 产品功耗分析; (6) OBU 产品交易时间。

1 OBU 产品质量

在实际的 ETC 系统中, OBU 产品质量最重要的指标是其一致性、稳定性、可靠性和环境适应性。本文给出了我司 OBU 产品的部分实际测试数据, 这些数据表明: 基于集成芯片的 OBU 产品在一致性、稳定性、可靠性和环境适应性等方面具有明显的优势,

收稿日期: 2009-08-20

作者简介: 彭志宽 (1966-), 男, 湖北天门人, 高级工程师, 研究方向为智能交通。(zhikuan.peng@watchdata.com)

是今后一段时间内产品的主流发展方向。

1.1 OBU产品一致性

一般而言,产品的一致性是一个批量生产控制的概念,指批量生产的认证产品与已获型式试验合格的样品一致,包括原材料和外协件的一致、半成品的一致等。对于像OBU这样采用微波通讯实现预期功能的产品,对批量生产、检测的要求相当高,除了要求高性能的微波测试设备之外,对生产调试、测试人员

表1 某批次试制产品指标测试原始值

Tab 1 The original indexes of a certain batch of trial products

板号	e. i. r. p/ dBm	载频/ GHz	杂散发射/GHz				占用带宽/ MHz	调制系数	灵敏度/dBm	
			5.774	5.806	11.58	17.37			唤醒	接收
81	6.6	5.789.98	-54.9	-54.6	-32.8	-44.7	2.85	0.704	-40	-55
82	6.8	5.789.99	-55.6	-56.1	-34.8	-45.5	2.92	0.695	-40	-52
83	7.5	5.789.98	-56.0	-57.2	-35.7	-45.5	2.94	0.713	-41	-58
84	6.7	5.789.98	-55.6	-54.0	-36.6	-49.0	2.89	0.718	-40	-53
85	6.4	5.789.99	-54.8	-54.0	-36.0	-45.0	2.97	0.722	-40	-52
86	6.3	5.789.99	-54.3	-54.6	-36.7	-46.2	3.05	0.739	-41	-54
87	7.2	5.789.99	-54.0	-54.5	-34.1	-45.0	2.81	0.696	-40	-54
88	6.9	5.789.98	-55.3	-54.3	-34.6	-45.6	2.88	0.676	-40	-54
89	6.5	5.789.98	-54.9	-54.2	-34.4	-44.6	2.96	0.672	-41	-59
90	6.7	5.789.99	-55.5	-55.1	-33.7	-44.5	2.89	0.682	-40	-54

产品正式生产时,进一步辅以简单的微波参数调试,如软件操作集成芯片的方式等,可快速将产品的性能指标控制在要求范围之内,使产品的一致性得到保障,而且可降低生产调试、测试人员的技术水平要求。对于表1所示的试制产品,通过软件设置集成芯片的相关参数,很容易的将e. i. r. p设置在7 dBm左右,将接收灵敏度设置在-60 dBm左右。

1.2 OBU产品稳定性

如果定义产品的稳定性为在一段时间内产品参数的变化情况,则采用集成芯片的OBU产品具有良好的稳定性。我司某批试制OBU产品在一定时间间隔之后测试的主要参数值分别如表2、表3所示。

表2 某批试制OBU产品指标测试初始值

Tab 2 The original indexes of a certain batch of OBU trial products

NO	e. i. r. p/ dBm	载频/GHz	占用带宽/ MHz	调制系数	唤醒灵敏 度/dBm	接收灵敏 度/dBm
14	12.5	5.789.9	2.98	0.733	-44	-63
15	13.2	5.789.9	2.88	0.714	-44	-60
16	13.0	5.789.9	2.92	0.723	-43	-64
17	13.5	5.789.9	2.84	0.734	-44	-65
18	12.7	5.789.9	2.89	0.759	-44	-65

由表2和表3可知,产品在经过一定时间之后,虽然参数有变化,但其变化量控制在一定的范围之内,如:e. i. r. p的变化量小于1 dBm,接收灵敏度的

的技术水平也有相当高的要求,特别是当采用分离器件实现微波收发电路时。

然而,对于基于集成芯片设计微波电路的OBU方案,由于采用高集成度的芯片,其外围阻容器件的离散性对产品性能的影响大大降低。这一点,在我们的产品试产中得到了验证。表1是我司某批次试制产品在焊接之后、参数调试之前测试得到的一致性数据,产品之间各项指标的离散性在设计范围之内。

表3 某批试制OBU产品指标测试值

Tab 3 The tested indexes of a certain batch of OBU trial products

NO	e. i. r. p/ dBm	载频/GHz	占用带宽/ MHz	调制系数	唤醒灵敏 度/dBm	接收灵敏 度/dBm
14	12.3	5.789.9	2.88	0.752	-45	-63
15	12.7	5.789.9	2.92	0.726	-44	-61
16	12.8	5.789.9	2.90	0.726	-43	-64
17	12.8	5.789.9	2.88	0.729	-44	-65
18	12.1	5.789.9	2.85	0.750	-44	-66

变化量小于1 dBm,这对OBU的性能不会产生影响。

1.3 OBU产品的可靠性和环境适应性

在目前使用的产品中,OBU受环境影响最大、最容易导致交易失败的一个指标是其频率漂移。我司OBU采用的集成芯片内部具有VCO和锁相环电路,将输出频率稳定在一定范围内,频率稳定度主要由参考源决定,OBU方案中采用具有温度补偿的TCXO作为外部参考源,这样大大提高了OBU系统输出载波频率的稳定度,从而增强了产品的环境适应性和可靠性。对我公司某批次OBU在-40~85℃温度范围内进行测试,其5.8 GHz载波频率的测试数据如表4、表5所示。

从表4和表5测试结果中可以看出,采用OBU载波频率稳定度相当高,在实际使用中不会出现因频率漂移而导致无法交易的情况。

表 4 5.79 GHz 载波频率测试数据

Tab 4 The tested data of 5.79 GHz CW frequency

温度/℃	频率/Hz	频率容限/ppm
-40	5 790 007 100	≤±1.2
25	5 790 001 153	
85	5 790 003 250	

表 5 5.80 GHz 载波频率测试数据

Tab 5 The tested data of 5.80 GHz CW frequency

温度/℃	频率/Hz	频率容限/ppm
-40	5 799 998 607	≤±0.5
-30	5 799 997 060	
-20	5 799 997 700	
-10	5 799 999 020	
0	5 799 998 607	
5	5 799 999 770	
15	5 799 999 000	
25	5 799 998 280	
35	5 799 999 020	
45	5 799 999 440	
55	5 800 000 440	
65	5 800 000 295	
75	5 800 000 195	
85	5 800 000 255	

2 OBU 产品设计分析

在第 1 节中分析了 OBU 产品的一致性、稳定性、可靠性和环境适应性等指标, 实现这些指标的基础是 OBU 的设计理念和实际方案。我们将从研发的角度, 分析实现 OBU 产品上述性能的解决方案。

2.1 OBU 产品设计方案

在我司的 OBU 方案设计选型时, 从产品的一致性、稳定性、可靠性和环境适应性出发, 选择了基于集成芯片和微波窄带接收技术开发微波专用短程通讯电路的方案, 该方案与传统的分离元器件方案相比, 其最显著的优点是 5.8 GHz 采用锁相环技术, 其频率稳定性和一致性好, 环境/温度适应性强, 灵敏度高, 窄带接收能有效降低邻道干扰, 提供通讯的可靠性。

从产品生产的角度看, 该方案大大降低了对外部分离器件和生产调试的要求, 从而大大提高生产产能, 能充分满足用户大批量订货的要求。OBU 产品的设计方案框图如图 1 所示。

OBU 产品方案包括: 主控 MCU 模块; 基于集成芯片和 FPGA 的微波收发模块; 微波唤醒模块; 电源系统和电源管理模块; 非接触用户卡操作模块; ESAM 操作模块; 显示模块和人机接口模块(声、光、防拆、按键等)等。OBU 平时其中处于休眠状态, 静态工作电流很小(小于 10 μA), 只有当微波唤醒模块接收到有效的唤醒信号后系统才开始工作, 以

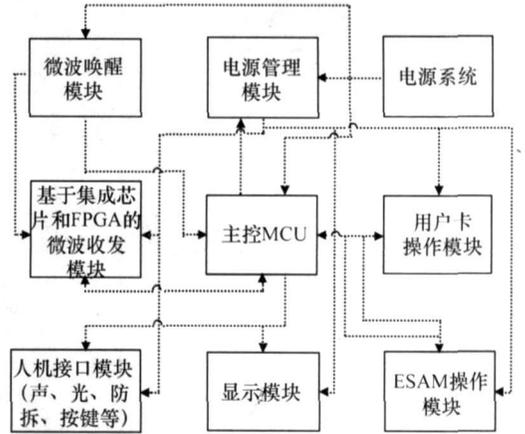


图 1 OBU 产品方案框图

Fig 1 Block diagram of OBU

节省电源消耗, 保证电池供电满足设计的使用寿命。

2.2 OBU 产品天线设计

在 ETC 系统中, RSU 和 OBU 之间用 5.8 GHz 的微波信号实现双向通信。天线作为接收、发射微波信号的关键元件, 对保证稳定通信具有重要的作用。

为了减小 OBU 的体积, 天线一般选择能够跟有源器件集成在一起的微带天线。这种天线具有体积小, 重量轻, 低剖面, 容易得到各种极化, 简化了 OBU 上射频电路的调试, 因此适合大规模生产, 能够大大降低成本。

常用的易于跟 IC 芯片集成在 PCB 板上的天线包括印刷偶极子天线, 矩形微带天线等等。矩形微带天线相比印刷偶极子天线, 更容易实现圆极化, 可以有效减小 OBU 和 RSU 通信中的极化失配损耗。此外, 印刷偶极子天线和矩形微带天线的增益分别为 2 dB 和 5 dB 左右。考虑到 OBU 是电池供电, 天线的高增益能够降低整个系统的功耗, 延长电池寿命, 我们选择矩形微带天线作为 OBU 天线。

2.2.1 微带天线的理论分析

矩形微带天线的结构如图 2 所示。微带辐射可以等效为 2 个缝隙辐射。当辐射天线元的长度 L 近似为半波长时, 2 个缝隙上的切向电场等幅同向, 它们在垂直微带天线方向形成辐射方向图的主瓣。

天线作为辐射单元, 它的远场方向图决定了通信的距离和覆盖的范围。一般情况下, 用天线的 E 面和 H 面的半功率波瓣宽度来衡量。

$$\theta_{0.5E} = 2\sin^{-1}\left[\frac{7.03}{3k^2L^2 + k_0^2h^2}\right]^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

$$\theta_{0.5H} = 2\sin^{-1}\left[\frac{1}{2 + k_0w}\right]^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

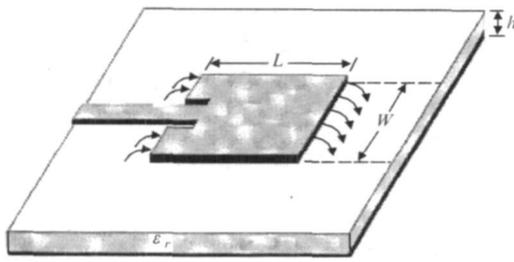


图 2 矩形微带天线结构示意图

Fig 2 Configuration of rectangular microstrip antenna

2.2.2 仿真优化

天线的谐振频率和远场辐射特性跟天线的结构形式、馈电方式和阻抗匹配有很大关系。为了得到满足要求的天线，采用电磁场软件对天线进行仿真必不可少。图 3 是矩形微带天线的仿真模型。天线采用微带馈电，通过调节优化馈电点的位置、馈电微带的长度和宽度，得到性能指标良好的天线。图 4 是天线的三维辐射方向图，天线的最大辐射方向在垂直天线面的方向，最大增益 5.2 dB。

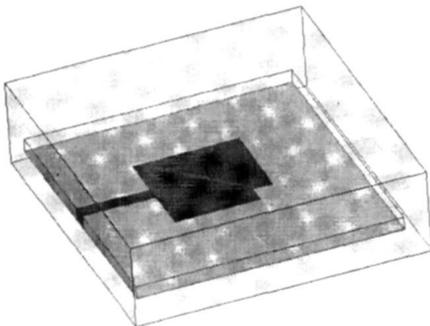


图 3 天线的仿真模型

Fig 3 Antenna simulation model

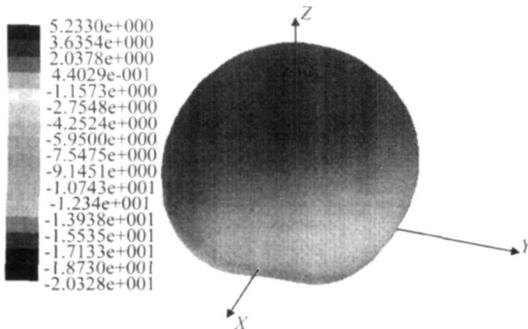


图 4 天线方向图

Fig 4 Antenna directivity

2.2.3 影响天线性能的因素

我们知道，对于 RFID 应用来讲，天线最重要的参数就是它的谐振频率和增益。谐振频率主要取决于天线的长度、板材的介电常数以及 PCB 的加工精度。

其中，天线长度取决于设计的大小，我们不予讨论。板材的介电常数会随环境温度的变化而改变，导致谐振频率漂移。PCB 的加工误差会影响天线的长度，从而对频率造成一定的影响。目前，对于微带天线的加工精度能控制在 ±0.1 mm 左右，这会导致天线的谐振频率出现 50 MHz 左右的偏差。

为了考察不同温度情况下天线的谐振频率，我们分别在 -40 °C、室温 (25 °C) 和 80 °C 下测试天线的谐振频率和频带宽度。将天线置于高低温箱中，冷却或者加热到指定温度，稳定一段时间后拿出用矢量网络分析仪迅速测试。如表 6 所示，天线谐振频率随温度的升高而降低。相对室温来说，外界温度从 -40 °C 变化到 80 °C，天线的谐振频率最多改变 ±70 MHz。

表 6 不同温度情况下天线的频带宽度

Tab 6 Frequency bandwidth of antenna at different temperatures

温度/ °C	中心频率/ GHz	频带宽度/ GHz
- 40	5. 82	5. 58~ 6. 05
25	5. 80	5. 55~ 6. 04
80	5. 73	5. 49~ 5. 97

同时考虑 PCB 加工精度以及温度的影响，天线的谐振频率最多偏离 120 MHz 左右。通过仿真我们发现，天线频率在 5.6~ 6.0 GHz 范围内时天线增益的波动只有 0.3 dB 左右。如图 5 所示。因此，实际应用中，环境对天线的辐射特性的影响可以忽略不计。考虑到我们的射频电路采用集成 IC 的方案，频率的稳定度和发射功率的一致性比较好。因此，我们的整个射频解决方案能够保证产品的一致性和稳定性。

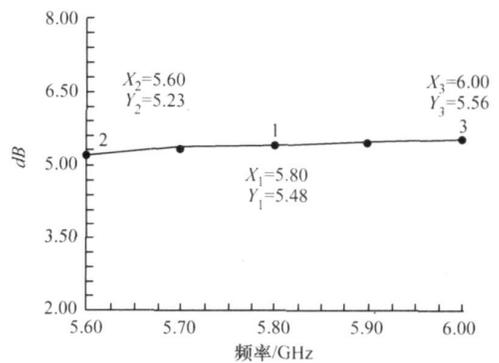


图 5 不同频率下天线的增益

Fig 5 Antenna gain at different frequencies

2.3 OBU 产品频率容限保障

OBU 的发射方案一直为各设计厂家所关注，其输出载波的稳定度是国标中一项十分重要的指标。载波频率通常会发生一定的漂移，若频漂过大，超出 RSU 接收带宽 (RSU 接收带宽小于 10 MHz)，则会直接造成无法通信，导致交易失败。同时对其他工作在

相邻频段的无线通信设备也会形成干扰。因此保障 OBU 的载波频率稳定在规定的范围内是我们设计 OBU 时必须考虑的一个重要方面。目前市场上绝大多数 OBU 采用的是介质谐振器方案, 这里对其作简要分析, 以与本文推荐的集成芯片方案进行比较。

介质谐振器在常温 (25 °C) 下具有较高的频率稳定度, 但当环境温度变化时, 介质谐振器的输出频率将随之而变化, 而且介质谐振器通常采用机械方式对频率偏差进行微调, 这对生产调试的要求相当高, 其一致性难以保证, 实际使用中环境温度的变化和车辆的震动使介质谐振器方案很难保证在 -40~85 °C 温度范围内满足规定的频率漂移/稳定性指标。相反, 我们设计的基于集成芯片方案的 OBU 则无此缺陷, 在方案中采用的集成芯片内部具有 VCO 和锁相环电路的芯片, 通过分频电路将 VCO 产生的信号与参考源信号进行比较, 将 VCO 输出频率稳定在一定范围内。这样系统的频率稳定度主要由参考源决定, 在我们的方案中采用了具有温度补偿特性的 TCXO 作为芯片外部参考源, 其频率误差、-30~85 °C 内温度漂移等指标均在 1.5 ppm 以内, 这样极大地提高了 OBU 系统输出载波频率的准确性和稳定度, 而且生产中也不需要调节, 保证了 OBU 产品的一致性。这一理论上的结论在实际 OBU 的测试中得到了验证, 测试数据详见 1.3 节中表 4、表 5 所示。

2.4 OBU 产品窄带接收和双信道自适应设计

采用集成锁相环技术后, 在 OBU 上实现窄带接收变得非常容易。对于 RSU 发射的 2 个信道的下行频率 5.83 GHz 和 5.84 GHz, 窄带接收可以将邻道的接收信号衰减 40 dBc, 这意味着窄带接收对解决邻道干扰非常有效。实际系统中理想的 RSU 天线通讯区域如图 6 所示。车行方向的长度在 5~6 m 之间, 宽度限定在 2~3 m 的车道宽度内, 这样不会对相邻的车道有任何干扰。但是实际设计的 RSU 天线有主瓣和旁瓣, 旁瓣的角度一般大于主瓣且会辐射到相邻的车道中, 设计不理想的天线主瓣也未必仅作用在本车道

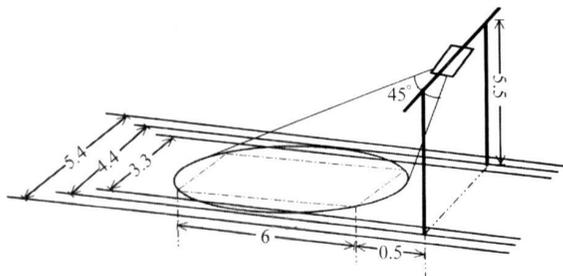


图 6 理想的RSU天线辐射区域 (单位: m)

Fig 6 Ideal area of antenna transmission (unit: m)

内, 所以本车道内的信号泄漏到相邻车道是必然的, 势必对邻道的车辆产生干扰, 如图 7 所示。

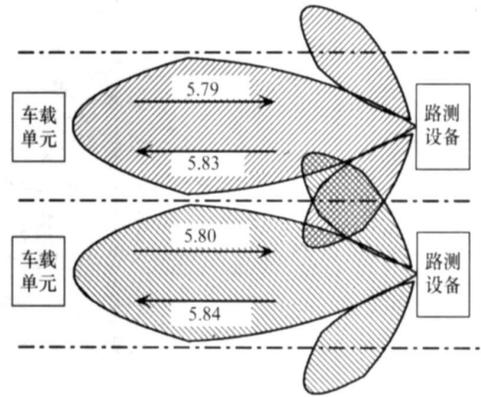


图 7 天线旁瓣对相邻车道的影响 (单位: GHz)

Fig 7 Influence of antenna sidelobe on the neighbour lane (unit: GHz)

如果采用宽带接收方案, 则实现方式为: 当 OBU 进入通信区, 开始接收 RSU 发送的唤醒信号和 BST 信息, 此时 OBU 不管 RSU 采用信道 1 还是信道 2, 总是能够接收到 BST, 并根据 BST 中携带的信道信息得知 OBU 使用哪个信道与 RSU 通信, OBU 不能从物理上区分 2 个信道的信号, 这样唤醒以及随后的交易过程中会同时接收 2 个信道的信息, 其结果是出现通信错误、交易失败。而我公司的 OBU 系统则设计为窄带接收, 使用中只能接收本车道的信号, 相邻车道的信号被大幅衰减, 所以通信的可靠性和交易成功率大大提高, 这是窄带接收应用到 OBU 上的最大优势。

窄带接收的实现: OBU 进入通信区域后, 有一个信道适应的过程, 当 OBU 初始设定的接收频率与 RSU 的发射频率不对应时, OBU 不能接收到 BST 信息, 此时 OBU 将自动切换到另一信道接收数据, 这就是 OBU 的信道适应过程。信道识别要求在 14 kHz 唤醒信号期间完成, 这是窄带接收设计的一个重要指标。国标上规定唤醒信号是 15~17 个 14 kHz 的方波, 因此信道识别的时间控制在 1 ms 以内。所以我们说窄带接收是通过射频识别信道的, 而宽带接收是通过射频携带的信息识别信道的。

试验证明, OBU 采用窄带接收大大提高了 OBU 和 RSU 之间交易通讯的可靠性, 提高了交易的成功率, 同时是解决邻道干扰的重要手段之一。

2.5 OBU 产品灵敏度设计

由于采用集成芯片方案, 微波信号的接收由集成芯片实现, 因此, 芯片本身的接收灵敏度和接收天线的增益就决定了 OBU 的接收灵敏度。

在实际系统设计中, OBU 系统采用的集成芯片自身接收 ASK 信号的灵敏度能够达到 -60 dBm 左右, 由 2.2 节可知, 我们设计的矩形微带接收天线的增益为 5 dB 左右, 这样微波信号从接收天线直接送入集成芯片即可完全满足 OBU 系统的接收要求。

通过对集成芯片进行适当设置, 我们很容易将 OBU 的接收灵敏度设计到 $-50 \sim -60$ dBm 之间, 而且方便调节。详见表 1~ 表 3 的数据。OBU 的高接收灵敏度和窄带接收方式能有效提高交易过程中通讯的成功率, 从而提高 OBU 产品的可靠性和稳定性。我司产品在 ITSC 的误码率物理参数测试中充分验证了这一点。

2.6 OBU 产品功耗分析

我司的 OBU 设计采用了微波集成芯片, 与传统的分离器件相比, 其明显的弱点是工作电流偏大(工作时最大电流约 180 mA), 这里结合 OBU 软件的设计对此进行详细分析, 确保 OBU 的电池供电能满足设计的使用寿命要求。

2.6.1 OBU 系统工作功耗

大家知道, 电池的容量是以 mA·h 即电流和时间的乘积方式给出的, 在 OBU 系统中, 最大电流只是功耗的一个方面, 对我司的 OBU 而言, 我们虽然尽量减少然而仍然达不到分离器件的指标, 但通过系统设计, 我们可以改变影响功耗的另一个方面, 即时间。对此我们在设计上在 2 个方面进行了优化: 降低交易时间, 实测我司的 OBU 复合消费交易时间约为 160 ms; 其次在交易过程中, 控制微波收发电路供电方式, 即关闭微波收发电路的电源, 当 OBU 处理完相应操作并发送数据时开启微波电路。通过这 2 种方式, 有效降低工作时 OBU 的功耗。OBU 工作功耗计算如下。

工作条件: 交易过程持续时间 0.3 s (我公司 OBU 实际交易时间约为 160 ms), 分为数据收发时间 0.2 s, 电流小于 120 mA, 交易声光提示时间 0.02 s, 电流约 30 mA; 交易后续数据处理 0.06 s, 电流约小于 20 mA; 余额显示时间 1.4 s, 电流小于 10 mA。

OBU 系统单次交易时最大功耗为: $P_{2\text{单次}} = 120 \times 0.2 + 30 \times 0.02 + 20 \times 0.06 + 10 \times 1.4 = 40 \text{ mAs} = 0.0112 \text{ mAh}$;

按 OBU 进行 2 万次交易, 计算交易总功耗为: $P_{2\text{总}} = 0.0112 \times 20\,000 = 224 \text{ mAh}$;

按电池容量 2 400 mAh 计算 OBU 系统工作功耗占其容量比重: $224 / 2\,400 < 10\%$ 。

可见, OBU 系统工作总功耗占电池总容量比重

比较小。

2.6.2 OBU 系统静态功耗

OBU 系统功耗的第 2 个方面是 OBU 休眠时的静态功耗。

OBU 休眠时, 将关闭除唤醒电路外的其他所有外设, 此时系统静态电流 $I_{\text{静态}} = 10 \mu\text{A}$ 。

OBU 连续工作 5 年, 其休眠/静态功耗为:

$$P_1 = 10 \times 10^{-3} \times 365 \times 24 \times 5 = 438 \text{ mAh};$$

OBU 系统休眠/静态功耗占电池容量比重: $438 / 2\,400 < 20\%$ 。

2.6.3 结论

由以上分析可见, 采用了微波集成芯片设计的 OBU, 与传统的分离器件方案相比, 虽然其工作电流大, 但其在 OBU 系统的总功耗中所占比例较小(不足 10%), 对 OBU 的使用寿命产生的影响极其有限。

2.7 OBU 产品交易时间分析

OBU 产品的交易时间仅仅是一个涉及到纯软件设计技巧方面的问题, 与采用集成芯片或者分离器件设计 OBU 并无直接关系。因此本文不再班门弄斧, 仅仅给出我公司 OBU 实测的交易时间: 约 160 ms 左右。

3 结论

本文从产品和研发的角度出发, 分析探讨了 OBU 设备实际使用一些问题的原因, 提供了一种基于集成芯片的高可靠性 OBU 的解决方案, 理论设计和实际测试表明, 基于该方案的 OBU 具有相当高的一致性、稳定性和可靠性, 是 OBU 的主流发展方向。

参考文献:

References:

- [1] LIN J, ITOH T. Active Integrated Antennas [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1994, 42 (12): 2186-2194
- [2] NAVARO J A, HUMMER K A. Active Integrated Antenna Elements [J]. Microwave Journal, 1991, 35 (121): 115-126
- [3] BALANIS C A. Antenna Theory: Analysis and Design [M]. 3rd ed. New York: John Wiley, 2005.
- [4] BHARTIA P, BAHL I, GARG R, et al. Microstrip Antenna Design Handbook [M]. Norwood: Artech House, 2001.
- [5] LIN Y D, TSAI S N. Coplanar Waveguide-fed Uniplanar Bow-tie Antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1997, 45 (22): 305-306.
- [6] LIN Y D, TSAI S N. Analysis and Design of Broadside-Cou-

- pled Striplines-fed Bow-tie Antennas [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1998, 46 (33): 459-460.
- [7] AGRAWAL A K, Powell W E Monopulse Printed Circuit Dipole Array [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1985, 33 (11): 1280-1283.
- [8] JAMES J, HALL P S Handbook of Microstrip Antennas [M]. London: Peter Peregrinus, 1989.
- [9] DERNERYD A G. Linearly Polarized Microstrip Antennas [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1976, 24 (6): 846-851.
- [10] 中华人民共和国交通部. 收费公路联网收费技术要求 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
P. R. China. Ministry of Communications Technical Specification for Unified Tolling of Highway [S]. Beijing: China Communications Press, 2007.
- [11] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. GB/T20851.1-2007 电子收费专用短程通讯 第一部分: 物理层 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
P. R. China General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. GB/T 20851.1-2007 Electronic Toll Collection-Dedicated Short Range Communication-Part 1: Physical Layer [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [12] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. GB/T20851.5-2007 电子收费专用短程通讯 第五部分: 物理层主要参数测试方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
P. R. China General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. GB/T 20851.5-2007 Electronic Toll Collection-Dedicated Short Range Communication-Part 5: Tests Methods of the Main Parameters in Physical Layer [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.

(上接第 106 页)

- [2] ABDEFATTAH A. M, KHAN A M. Models for Predicting Bus Delays [J]. Transportation Research Record 1623, 1998: 8-15.
- [3] HICKMAN M. An Analytical Stochastic Model for the Transit Vehicle Holding Problem [J]. Transportation Science, 2001, 35 (3): 215-237.
- [4] 孙喜梅, 杨兆升. 城市公交站点间实时动态行程时间预测模型 [J]. 吉林大学学报, 2000, 32 (1): 47-51.
SUN Ximei, YANG Zhaosheng. The Modal of Real-time Dynamic Travel Time Prediction between Urban Public Transportation Stops [J]. Journal of Jilin University, 2000, 32 (1): 47-51.
- [5] CHIEN S, DING Y Q Applications of Artificial Neural Networks in Predicting of Transit Arrival Times [C] // Proceedings of Annual Meeting of ITS America. Washington, D. C.: ITS America, 1999.
- [6] CHIEN S, DING Y Q, CHIEN H W. Dynamic Bus Arrival Time Prediction with Artificial Neural Networks [J]. Journal of Transportation Engineering, 2002, 128 (5): 429-438.
- [7] JEONG R, RILENT L R Bus Arrival Time Prediction Model for Real-Time Applications [C] // Proceedings of TRB 84th Annual Meeting. Washington, D. C.: TRB, 2005.
- [8] WALL Z, DAILEY D J An Algorithm for Predicting the Arrival Time of Mass Transit Vehicles Using Automatic Vehicle Location Data [C] // Proceedings of TRB 78th Annual Meeting Washington, D. C.: TRB, 1999.
- [9] CATHEY F W, DAILEY D J A Prescription for Transit Arrival/Departure Prediction Using Automatic Vehicle Location Data [J]. Transportation Research Part C, 2003: 241-264.
- [10] WU C H, HO J M, LEE D T. Travel-time Prediction with Support Vector Regression [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2004, 5 (4): 276-281.
- [11] 于滨, 杨忠振, 曾庆成. 基于 SVM 和 Kalman 滤波的公交车到站时间预测模型 [J]. 中国公路学报, 2008, 21 (2): 89-92.
YU Bin, YANG Zhongzhen, ZENG Qincheng. Bus Arrival Time Prediction Model Based on Support Vector Machine and Kalman Filtering [J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21 (2): 89-92.
- [12] LEWIS C D. Industrial and Business Forecasting Method [M]. 中国台湾: 华泰书局, 1982.
LEWIS C D. Industrial and Business Forecasting Method [M]. Chinese Taiwan: Huatai Press, 1982.