

# 一种基于 x86 架构的大容量车载数据存储设备

袁清华, 王 雨, 陈天喜, 陈 凯, 邓亚波  
(株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)

**摘 要:** 为了满足车载系统各类设备高密度记录数据(尤其是车载视频数据)的存储需求, 设计了一种大容量车载数据存储设备, 其以 x86 架构 CPU 为核心进行外围功能电路扩展, 配置了掉电保护功能电路, 并选用嵌入式 WES2009 作为设备的底层操作系统软件。对所研制车载数据存储设备进行试验验证, 结果表明其能满足大容量车载数据存储的需求。

**关键词:** 大容量; x86 架构; 嵌入式; WES2009; 掉电保护; 车载存储设备

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2018)02-0039-05

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2018.02.009

## A Large Capacity Vehicle-mounted Data Storage Device Based on x86 Architecture

YUAN Qinghua, WANG Yu, CHEN Tianxi, CHEN Kai, DENG Yabo  
(Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

**Abstract:** In order to meet the storage demand of high-density data recording of all kinds of equipments in a vehicle, especially the video streams, a large capacity vehicle-mounted data storage device was developed. The device adopts x86 architecture CPU as the core, and carries out the peripheral function circuit expansion. It configures a power-fail protection function circuit, and selects embedded WES2009 as the operating system software of the device. The data storage device was tested, and the results verified it could meet the requirements of large capacity vehicle-mounted data storage.

**Keywords:** large capacity; x86 architecture; embedded; WES2009; power-fail protection; vehicle-mounted storage device

## 0 引言

随着我国铁路现代化进程的加快, 针对列车大数据的研究与应用正在积极开展。近年来, 中国机车远程监视与诊断系统(CMD 系统)<sup>[1-2]</sup>、机车车载安全防护系统(6A 系统)机车自动视频监控及记录子系统<sup>[3-4]</sup>在我国“和谐”机车上已全面应用, 车载数据尤其是大容量视频数据的存储为机车状态检修、故障预警、事故分析等大数据智能业务提供了重要的数据支撑。但目前既有的车载数据存储设备存储容量小、数据处理能力低下, 因此, 设计一种处理能力强、存储容量大、运行稳定性与可靠性高、易用性强且方便用户自由扩展存储容量的车载数据存储设备具有非常重要的意义。

本文从主 CPU 选型、存储方案、硬盘在位检测、掉电保护、硬件看门狗和 LED 人机接口等系统硬件设计及系统、应用软件等方面综合考虑, 设计出一种大容量车载数据存储设备, 其满足车载系统各类设备高密度记录数据的存储需求, 尤其是车载视频数据的存储, 并且具有高性能、高稳定性、易用性等特性。

## 1 系统方案

### 1.1 系统硬件

该车载数据存储设备采用成熟稳定的 x86 架构标准接口模块作为主 CPU, 其数据处理能力强、对外接口丰富、数据存储容量大且存储容量扩展方便、运行稳定性及可靠性高、易用性强且维护方便。设备可对外提供 2 路相对独立的以太网接口(100 Mbit/1 000 Mbit 自适应)、板载 Flash、2 路 RS232 接口、2 路 USB2.0/3.0 接口以及

收稿日期: 2017-11-03

作者简介: 袁清华(1976-), 男, 工程师, 主要从事机车远程监视与故障诊断系统、机车车载安全防护等研发工作。

VGA、PS2 键盘等接口，并有 LED 人机接口指示设备的工作状态。系统硬件原理如图 1 所示，设备外形见图 2。

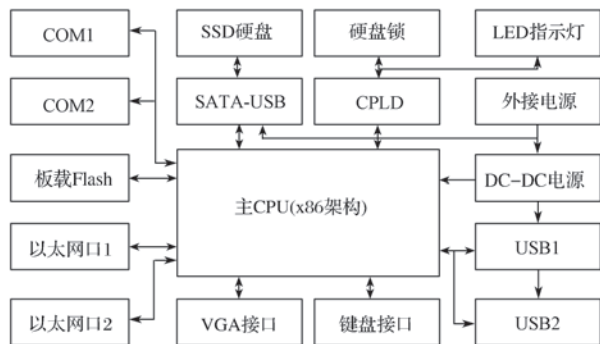


图 1 系统硬件原理框图

Fig.1 Schematic block diagram of the system hardware



图 2 存储设备外形

Fig.2 Outside view of the storage device

## 1.2 软件平台

Windows Embedded Standard 2009（简称 WES2009）是微软公司推出的基于 x86 架构的嵌入式操作系统，属于 Windows Embedded 产品系列，专门用以构建更加先进的嵌入式设备，是 Windows XP（SP3）桌面操作系统的组件化版本。利用 WES2009 可快速开发各种 x86 计算机设备嵌入式操作系统，缩短产品开发周期。

本设计选用 WES 2009 作为平台系统软件，通过组件化定制与裁剪快速制作一个操作系统映像，确保操作系统功能满足设备各类硬件接口驱动及应用软件库支持的同时，又可将资源占用降到最低，加快了系统启动速度和响应速度。

## 2 硬件设计

### 2.1 主 CPU 选型

本硬件系统选用 x86 架构 COME 核心模块，其核心 CPU（E3827）基本参数包括：双核多线程 CPU，主频 1.75 GHz，采用 DDR3 内存（4G）；工作温度为  $-40^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ ；PCI 扩展总线；SATA，USB2.0，USB3.0 等接口。

采用核心模块进行外围扩展电路的设计思路，可缩短存储设备的设计周期，同时设备的稳定性也能得到保障。

### 2.2 电源设计

为了适用于多种车载电压标准（主要有 DC 110 V、

DC 24 V、DC 5 V、AC 220 V），本方案设计多种相对独立的标准输入电压的转换电路，通过二极管输出后并联供电。在输入电压标准明确的前提下，也可以根据实际应用进行电源转换电路的增减，实现产品一次性设计能够适用于多种应用场景（图 3）。

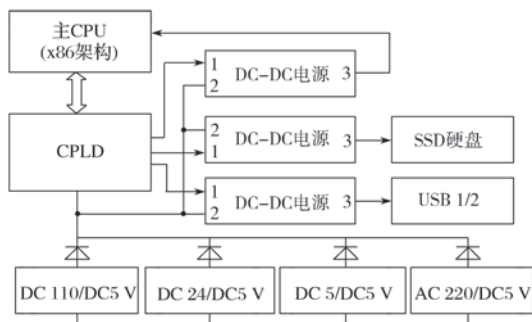


图 3 硬件看门狗及电源管理电路原理

Fig.3 Schematic block diagram of the hardware watchdog and power management

输入电压转换成设备内部工作电压以后，分别对主 CPU、硬盘、USB 供电电源采用独立的 DC/DC 转换芯片，以实现电源输出独立控制。

### 2.3 硬件看门狗电路

为了保证系统的稳定性，本设计方案以主 CPU 为核心进行硬件外围电路扩展，并通过 CPLD 芯片设计功能简单、性能可靠的硬件看门狗及电源管理电路（图 3）。CPLD 控制器结合上层应用软件控制策略实现对主 CPU 的有效监控及各供电电路的电源管理。图 3 中，DC-DC 电源转换的引脚 1 为电源复位控制，引脚 2 为电源输入，引脚 3 为电源输出。当 CPLD 监测到主 CPU 无正常心跳时，控制其对应的电源转换模块使其复位；应用软件可通过总线控制 CPLD，执行固态硬盘（solid state disk，简称 SSD）或 USB 接口的供电电源复位。

### 2.4 存储方案

为了保证系统的稳定性及存储硬盘的随时可更换性，本设计方案将数据存储和系统软件、应用软件等设备固件存储物理分离。

操作系统是设备的核心软件，其稳定性直接影响设备的正常使用。本设计采用板载 Flash 作为操作系统的载体，其运行速度快、可靠性高，有利于加快设备的启动速度及提高系统的稳定性。

数据存储量是大容量数据存储设备的关键指标之一。本设计采用标准 SATA 接口的 SSD 硬盘作为存储介质。用于 SSD 的存储介质 Nand Flash 的复写次数是有限的，需要对 SSD 存储控制器的控制策略进行优化：在使用过程中存储控制器会对每个区块的复写次数进行统计，在数据写入时优先将数据写入到复写次数少的区

块中，从而均衡各个区块的使用寿命；对于读写过程中遇到的坏区块进行标记并采用备用区块进行替换，以提高 SSD 硬盘的整体使用寿命，并可根据 Nand Flash 的复写次数评估 SSD 的预计剩余寿命。同时将 SSD 硬盘与 SATA 转 USB 接口电路设计成一个可快速更换的硬盘盒，硬盘盒与存储设备的印制板电路 PCB 之间采用具备安装导向定位、连接可靠性高的矩形连接器，与主 CPU 的 USB 接口相连接。

对于不同的存储要求，本方案选用相应存储容量的 SSD 硬盘来实现存储容量的扩展，这样既可方便维护人员及时、快捷地更换存储硬盘，也可为地面数据分析实现存储数据的快速转移。本硬件设计方案可结合应用软件控制策略，在设备不断电的情况下实现存储硬盘的安全更换并保证数据的完整性

2.5 硬盘锁及硬盘在位检测功能

为了保证数据的安全及硬盘故障诊断的准确定位，增加硬盘锁结构及硬盘在位检测电路，可以通过在位检测环路检测硬盘是否插入，同时通过机械结构联锁，实现硬盘锁打开后才能拔出硬盘的功能。应用软件可通过 CPLD 获取硬盘锁的状态及硬盘的在位检测状态，实现相应的控制及数据存储策略，在必要时通过 CPLD 控制硬盘供电复位。

2.6 掉电保护功能

车载设备工作环境最显著的特点是随时都有断电的可能，而由于车载设备的数据存储密度大，数据写入硬盘的操作非常频繁，如果在大量数据写入时突然断电，可能会导致数据不完整，严重时导致整个硬盘文件系统损坏，甚至整个硬盘损坏，进而导致记录数据缺失。本系统基于超级电容实现掉电保护，非常适合在车载电源环境中应用。其储能器件采用适合单板级使用的超级电容器，容量可达数法拉到数十法拉，内部直流电阻可小至几十甚至是十几毫欧。

超级电容的掉电保护电路原理如图 4 所示，主要由主电路防倒灌保护、主电路断电检测、超级电容充电管理、超级电容均压保护及备份升压等电路组成。

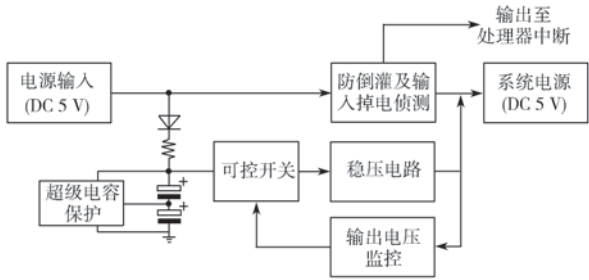


图 4 超级电容掉电保护电路

Fig. 4 Power-fail protection circuit for super capacitor

2.6.1 防倒灌及输入掉电侦测

防倒灌是指在主电源掉电时，防止回路的电流倒灌回电源输入端，从而保护电源输入端电路并防止不必要的能量消耗。主电路防倒灌可使用普通二极管，也可使用带欠压、过压、过流保护的集成器件来实现，本设计采用集成器件实现。

掉电检测部分可以获得主电源的掉电状态，并通过 IO 信号送至处理器的中断引脚，使处理器能够尽快获得主电源的状态，进行数据保存操作。

2.6.2 超级电容充电管理电路

超级电容的充电管理比较简单，增加限流电阻和防倒灌措施即可。需要注意的是，板级超级电容的额定电压值一般为 2.7 V，超过该值使用会导致电容器损坏。本系统为 5 V 电源，需要使用两颗超级电容串联，串联后电压值允许达到 5.4 V，但是电容容值则减半。电容串联使用后需要增加保护电路，以防因两颗超级电容器串联的参数偏差导致电压分配不均而损坏电容器。

2.6.3 稳压电路

系统中的电容为能量储存器件，其储存的能量为  $E = \frac{1}{2} C V^2$  (1)

式中： $C$ ——电容器容值； $V$ ——电容电压。

从掉电时刻到电容放电结束时刻电容所释放的能量为  $\Delta E = \frac{1}{2} C (V_1^2 - V_2^2)$  (2)

式中： $V_1$ ——电容初始电压； $V_2$ ——电容放电后电压。

对于本系统，可近似为恒定功率计算，其能量消耗、功率  $P$  与时间  $t$  的关系为  $\Delta E = P t$  (3)

近似恒功率系统的功率、放电时间、储能电容容值、电容初始电压和放电结束时电压的关系为  $P t = \frac{1}{2} C (V_1^2 - V_2^2)$  (4)

可以得出结论：在系统功耗确定的情况下，想要得到更长的支撑时间  $t$ ，同时又不希望储能电容值  $C$  过大（ $C$  过大将直接导致电容器体积增大，不适宜进行电路板级设计），增大初始电压与电容放电结束时电压的压差是合理的方案。

超级电容器在能量消耗过程中，电压会下降。而一般标准固态硬盘负载对电压的要求为 4.75 V~5.25 V，即超级电容器充电到 5 V，在主电源断电时，5 V 到 4.75 V 的压差也不足以提供负载所需的能量。例如，电容以 5 F 容量（2 颗 10 F 的电容器串联）、10 W 功率计算时，从



5 V 降到 4.75 V 的支持时间约为 0.61 s。

若对超级电容器设置稳压电路,则在超级电容电压从 5 V 下降到 2.5 V 的过程中,超级电容器均能输出稳定的 5 V 电压,由此则可得到 4.68 s 的支撑时间(此计算结果忽略了电容内阻),设备完全能够在该支撑时间内完成相应的数据处理任务。

因此,采用稳压电路设计,可使超级电容在电压下降的过程中将输出电压维持在负载可正常工作的范围。

## 2.7 LED 人机接口设计

设计 LED 人机接口,使 LED 指示完全由软件程序控制,以实时告知设备状态及诊断结果,方便进行设备的使用和维护。

## 3 软件设计

### 3.1 BIOS 软件定制化设计

根据以往设计及 Windows 系统的应用经验,完全固化 BIOS 功能,固化磁盘启动顺序,禁止修改 BIOS、禁止 USB 接口的长时间检测等,确保硬件上电即可从指定存储介质加载操作系统,减少因外围硬件的干扰而导致系统启动缓慢或者启动失败。

### 3.2 操作系统 Enhanced Write Filter 功能应用

WES2009 操作系统提供 Enhanced Write Filter (EWF)<sup>[5]</sup> 功能组件。本设计采用 EWF 的 RAM (REG) 模式,当操作系统开启 EWF 功能对操作系统磁盘进行写保护以后,所有对受保护磁盘的操作都被映射到内存进行,操作速度快,而且断电以后系统将恢复原来状态,无需进行系统垃圾文件的清理,非常适用于车载设备。对于随时都有断电情况发生的车载设备,采用 EWF 的 RAM (REG) 模式能够很好地解决操作系统文件损坏的问题,提高了操作系统的稳定性。

### 3.3 设备管理组件

由于 Windows 操作系统的特性,系统启动时会对全部已启用设备进行自检,如果某个硬件存在异常(尤其是 USB 设备),此时操作系统就会在启动环节停留,甚至长时间不能进入系统,导致系统功能失效。

本系统软件设计时,充分考虑 Windows 系统的上述特点,巧妙地应用 EWF 的功能特性,开发个性化的设备管理组件。该组件的功能是确保操作系统在写保护状态下启动时 USB 设备是处于禁用状态的,待系统成功启动以后再启用 USB 设备。

该组件的工作流程如图 5 所示:在开机时检测 USB 设备,如果禁用,则启动 USB 设备;否则,自动将其禁用,并提交系统写保护,然后进行系统重启。这样,在系统启动时就不会再进行 USB 设备检测,也就不会出现停

顿在启动环节的现象,提高了系统的稳定性。

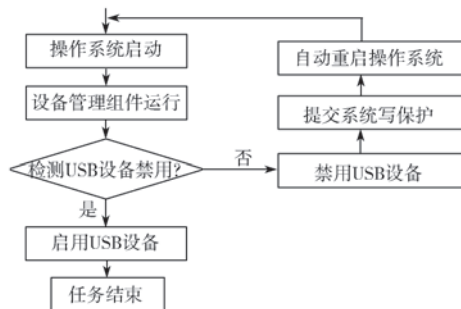


图 5 设备管理组件流程

Fig. 5 Flow chart of the device management component

### 3.4 CPLD 控制软件

CPLD 控制软件作为底层监控软件,功能简单、稳定可靠,用于实时监测主 CPU 的工作状态(可对主 CPU 执行电源复位),执行主 CPU 的指令(包括实时采集硬盘锁及硬盘在位检测的状态,或者执行主 CPU 各类输出电源的复位、启用控制指令)。其工作流程如图 6 所示。

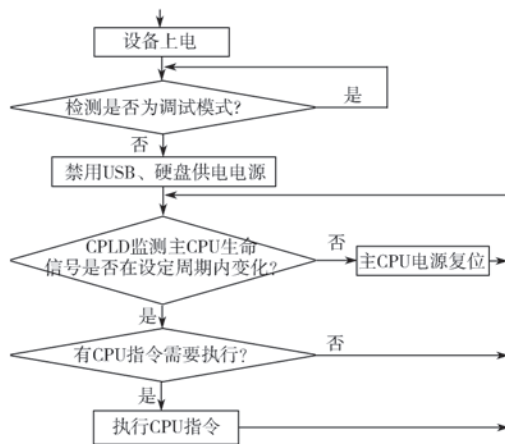


图 6 CPLD 软件流程

Fig. 6 Flow chart of the CPLD software

为了方便设备调试时使用到 USB 接口,设计了短接跳线,短接以后进入调试模式,复位功能全部禁用。

### 3.5 数据存储软件设计

数据存储软件主要完成硬盘的读写、故障诊断等功能,是本设计的重点。数据存储软件可通过操作系统接口获取硬盘的在位检测及硬盘锁的状态,并通过逻辑诊断将结果通过 LED 指示灯告知维护人员,也可将结果通过网络传输给其他 IDU 显示报警。其软件控制流程见图 7。

数据存储的策略:当硬盘锁打开时,立即停止向硬盘写入数据,并将数据临时写入内存;在硬盘锁关闭以后,再将内存数据写入硬盘存储。这样既可避免在维护人员更换硬盘时因向硬盘写数据而导致的硬盘数据或硬盘介质的损坏,同时也保证了在硬盘更换时刻数据的完整性。

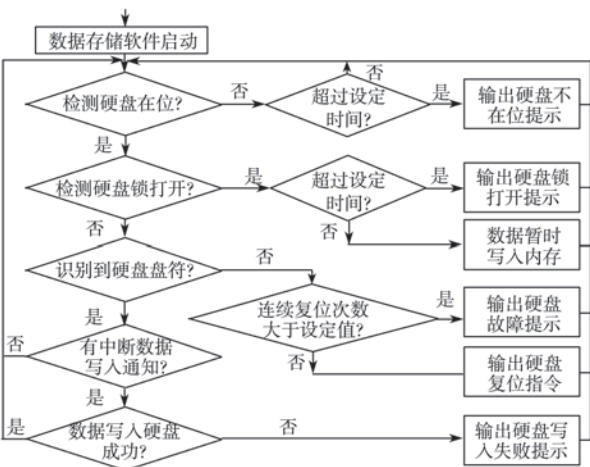


图7 数据存储软件控制流程  
Fig.7 Flow chart of the data storage software

4 试验验证

按照 GB/T 25119-2010 《轨道交通 机车车辆电子设备》标准要求，本设备通过了各项型式试验。同时，为了检验设备在进行大容量数据存储时，周期性断电、瞬间断电及设备正常工作时维护人员进行存储硬盘的更换操作对设备的稳定性、可靠性的影响，在实验室常温环境下进行如下测试试验：

（1）为了充分验证本方案研制的数据存储设备的稳定性、可靠性和可用性，除了严格进行型式试验以外，还参考机车车载安全防护系统（6A 系统）机车自动视频监控及记录子系统，同时获取 12 路高清视频摄像头视频流数据（每一路的码流为 2 MB 左右）并进行存储。通过可编程继电器控制数据存储设备的电源，实现自动定时开关机（开机 4 min、关机 1 min）；测试数据存储功能，连续进行 7×24 h 的周期性断电测试，累计断电次数 2 000 多次，设备运行正常。

（2）为充分检测瞬间断电对设备的影响，通过可编程继电器控制数据存储设备的电源，定时开关机（开机 1 min、关机 1 s），连续 4×24 h 周期性断电测试，累计断电 5 000 多次，设备运行正常。

（3）为了检测维护人员在设备处于工作状态时更换硬盘是否会对存储硬盘及数据的完整性造成影响，通过人工手动操作，打开硬盘锁然后再拔出硬盘，连续测试 100 次，设备功能正常。

目前，采用该方案设计的样机已在我国出口到塞尔维亚的电力机车音视频系统项目中成功应用，实现了 8 路高清视频高密度、长时间的存储，性能稳定可靠。

5 结语

本设备在研制过程中充分考虑现有产品存在的存储容量小、处理性能低、稳定性差等问题，将硬件结构、功能设计与底层软件、应用软件控制策略等综合考虑，大幅度降低目前存储设备普遍存在的因为随机断电或硬盘更换而导致的存储数据缺失、存储硬盘损坏、设备系统启动故障等问题的出现概率，提高了存储设备的稳定性、可靠性、易用性与易维护性；同时，将硬盘设计成盒式结构，可方便用户根据实际需要进行存储容量的扩展。

参考文献：

[1] 王庆武, 张启安, 李国华, 等. 中国机车远程监测与诊断系统 (CMD 系统) 总体暂行技术规范 TJ/JW 023—2014 [S]. 2014.

[2] 单晟, 王志, 刘黎明, 等. 中国机车远程监测与诊断系统 (CMD 系统) 车载子系统暂行技术规范 TJ/JW 024—2017 [S]. 2017.

[3] 张瑞芳, 李群锋, 黄涛, 等. 机车车载安全防护系统 (6A 系统) 机车自动视频监控及记录子系统 TJ/JW 001G—2004 [S]. 2004.

[4] 单晟, 贺德强, 刘黎明, 等. 基于 3G 的机车运用安全视频监视系统 [J]. 机车电传动, 2011(3): 71–73, 84.

SHAN S, HE D Q, LIU L M, et al. Locomotive Application Security Video Surveillance System Based on 3G [J]. Electric Drive for Locomotive, 2011(3): 71–73, 84

[5] 王太勇, 何慧龙, 邓学欣, 等. 基于 EWF 保护的 XPE 操作系统的开发与应用 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2006, 34(3): 410–413.

WANG T Y, HE H L, DENG X X, et al. Development and Application of Windows XP Embedded Operating System Based on Enhanced Write Filter Protection [J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2006, 34(3): 410–413.

(上接第 28 页)

[5] 陶然, 苏建徽. 三电平 SVPWM 算法的研究 [J]. 电子质量, 2008 (1): 1–5.

TAO Y, SU J H. Simulation of Three-Level Converter Based on SVPWM [J]. Electronics Quality, 2008 (1): 1–5.

[6] 林渭勋. 现代电力电子电路 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2002.

[7] 周卫平, 吴正国, 唐劲松, 等. SVPWM 的等效算法及 SVPWM 与 SPWM 的本质联系 [J]. 中国电机工程学报, 2006, 26 (2): 133–137.

ZHOU W P, WU Z G, TANG J S, et al. A Novel Algorithm of SVPWM and the Study on the Essential Relationship Between

SVPWM and SPWM [J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26 (2): 133–137.

[8] 陈远华, 刘文华, 宋强. 基于 FPGA 的级联逆变器直接 PWM 发生器 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (9): 61–63, 75.

CHEN Y H, LIU W H, SONG Q. FPGA-based Multilevel Direct PWM Generator for H-bridge Inverters [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(9): 61–63, 75.

[9] 孙超, 严成, 张扬帆, 等. T 型三电平并网逆变器两种调制策略研究 [J]. 电源学报, 2013(5): 43–48.

SUN C, YAN C, ZHANG Y F, et al. Research on Two Modulation Scheme of Three-level T-Type Grid-connected Inverter [J]. Journal of Power Supply, 2013(5): 43–48.