

文章编号:1007-2780(2010)05-0718-06

一种基于 ARM9 的彩色 TFT-LCD 模块设计及实现

马舜峰^{1,2},金龙旭^{1*},安少婷³,朴永杰^{1,2},张 柯¹,陶宏江¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033,E-mail:mashunfeng@yahoo.com.cn;

2. 中国科学院 研究生院,北京 100039; 3. 许昌许继昌南通信设备有限公司,河南 许昌 461000)

摘 要:介绍了一种基于 ARM9 的彩色薄膜晶体管液晶显示模块(TFT-LCD)的设计和实现方法。为了解决图像及字符在液晶模块上的实时显示,图像库及字符库存储在容量达 64 Mbyte 的 NAND Flash 闪存中,可以根据不同需求对图像库及字符库进行更新。模块支持 24 bit 彩色 RGB 格式图像的显示,还支持 JPEG 格式图像的显示,JPEG 图像的解码功能在 ARM9 处理器上实现。模块采用串口方式与其他外接主控系统通信,通过接收主控系统的不同指令,可以实现对库中图像及字符显示的实时更改。在液晶屏 LQ080V3DG01 上已通过测试,运行可靠。该模块已实际应用于图像显示设备中。

关 键 词: ARM;薄膜晶体管液晶显示器;闪存;JPEG 解码

中图分类号: TP334.7;TP752.1 **文献标识码:** A

Design and Implementation of Chromatic TFT-LCD Module Based on ARM9

MA Shun-feng^{1,2},JIN Long-xu^{1*},AN Shao-ting³,
PIAO Yong-jie^{1,2},ZHANG Ke¹,TAO Hong-jiang¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,

Changchun 130033, China, E-mail:mashunfeng@yahoo.com.cn;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Xuchang Xuji Changnan Communication Equipment Co. Ltd., Xuchang 461000, China)

Abstract: This paper presents the design and implementation of a chromatic TFT-LCD module based on ARM9 processor. To resolve the real-time display, the image and character library is stored in the NAND Flash memory, and the memory capacity is 64 Mbytes. Depending on different requirements, the image and character library can be updated. The 24 bit color image of raw pixel can be displayed on the LCD directly. The image decoding for the JPEG format is presented, so the image of JPEG format can also be displayed. The module communicates with control system using the serial port. Receiving different kind of instructions, image and character in the flash memory can be displayed respectively. The module was tested on the TFT-LCD LQ080V3DG01, and the result shows that the module works reliably. The module has been applied to the image display system.

Key words: ARM; TFT-LCD; flash memory; JPEG decoder

收稿日期: 2010-03-23; 修订日期: 2010-04-19
作者简介:马舜峰(1984—),男,河南漯河人,博士研究生,主要研究方向是 CCD 图像数据采集及数字图像压缩编码技术。
* 通讯联系人; E-mail:jluer@hotmail.com

1 引言

TFT-LCD 因其厚度薄且画面质量优异,可以实现信息的高速度、高亮度及高对比度显示^[1],已广泛应用于图像显示系统中。虽然 TFT-LCD 具有良好的显示性能,但 TFT-LCD 的驱动信号非常复杂,同时外围的控制单元需要处理的数据量非常大^[2],以一个分辨率为 640×480 的彩色 TFT-LCD 为例,显示一幅彩色图像就需要处理 900 kbyte 的数据量,这对于传统的单片机等处理器显得无能为力。由于图像数据量大,目前图像大都采用压缩后再存储,其中 JPEG (Joint Photographic Experts Group) 格式的压缩图像应用最为广泛。

为了解决图像等大容量数据在 TFT-LCD 显示屏上的应用,本文提出了一种基于 ARM9 处理器 S3C2440X 的彩色液晶显示模块。模块能够实现对字符及彩色 RGB 格式图像的显示,同时还可以显示 JPEG 格式的图像。由于液晶显示屏只能接收 RGB 格式的图像数据,为了实现对 JPEG 格式的图像显示,必须对压缩图像进行解压缩, JPEG 格式图像的解码功能在 ARM9 处理器上实现。本文提出的方法简化了彩色 TFT-LCD 图像显示的设计难度,同时为 JPEG 格式的解码及液晶显示提供了一种实现方法。液晶显示模块可以方便地与外接系统接口,实现图像显示模块的功能。

2 模块结构设计与分析

模块硬件包括 4 个部分:ARM9 S3C2440X 处理器、数据存储模块、液晶显示模块及 RS232 串口通信模块。模块中使用了两种非易失性闪存 NAND Flash 和 NOR Flash。考虑到 NOR Flash 具有芯片内执行及可靠性高的特点,使用它来存储 ARM9 处理器运行的程序代码;存储容量大且高单元密度的 NAND Flash 用来存储海量数据,作为图像库及字符库的存储单元。SDRAM 作为外扩存储器使用。TFT-LCD LQ080V3DG01 作为模块的显示屏使用。与其他外部模块通信采用 RS232 串口方式。

模块实现的主要功能有:JPEG 格式图像的解码;支持 24 bit 彩色 RGB 图像数据及 JPEG 两种格式图像的显示;字符的显示;数据存储容量为 64 Mbyte,可以实现对图像库及字符库的更新;

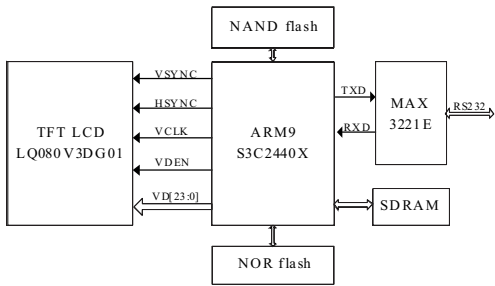


图 1 模块功能框图

Fig. 1 Functional block diagram of the module

可以设置不同的串口波特率。模块功能框图如图 1 所示。

2.1 ARM9 嵌入式处理器 S3C2440X

S3C2440X 是一款基于 ARM920T 内核、主频最高达 400 MHz、适用于嵌入式应用的 RISC 处理器。它支持可配置的 8, 16, 32 bit 数据总线宽度。在存储器接口方面,最多可以扩展 6 个通道的 ROM 或 RAM 存储器,以及 2 个通道的 SDRAM,同时它还支持 NAND Flash、NOR Flash 存储器扩展。

它内部的 ARM920T 内核具有高速微控制器总线(AMBA BUS)结构及哈佛结构的高速缓冲存储器(Cache),高速缓冲分别是 16 kbyte 程序及 16 kbyte 数据存储,使其具有良好的高速性能^[3];具有丰富的外围设备,包括 LCD 控制器、UART、USB、SD 及 SPI 等接口,可以满足不同的设计要求。

2.1.1 LCD 控制器

S3C2440X 内部 LCD 控制器接口支持 STN-LCD 及 TFT-LCD 的无缝连接,它支持单色、调色板彩色及 24 bit 真彩色的显示。根据不同的设计要求,通过程序编程可以实现相应的 LCD 分辨

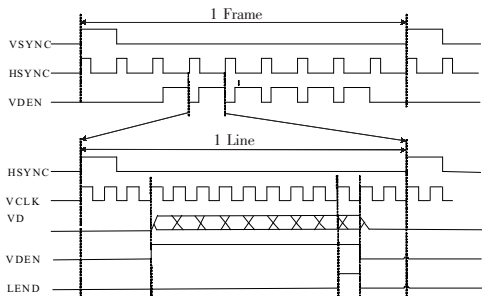


图 2 TFT-LCD 时序图

Fig. 2 TFT-LCD timing diagram

率,数据格式及帧频等设置,从而满足各种类型的 LCD 模块。S3C2440X LCD 控制器用来传输视频数据 VD [23:0],同时产生相应的控制信号 VSYNC、HSYNC、VDEN 及 LEND,时序图如图 1 所示。实现 LCD 控制器功能的关键是根据 LCD 时序的要求^[4],合理配置控制器寄存器。

图 1 中的信号定义如下:

VSYNC:LCD 控制器和 LCD 之间的帧同步信号,高电平有效时表示一帧图像的起始。

HSYNC:行同步信号,由水平有效像素的大小决定。

VCLK:LCD 时钟信号,在一个时钟周期内数据送入 LCD 移位寄存器内。

VDEN:数据使能信号,高电平表示数据有效。

LEND:行结束信号。

VD [23:0]:RGB 数据信号线。对于 24 bit TFT-LCD,R、G、B 各占 8 位;而对于 16 bit TFT 屏有两种方式:5:6:5 及 5:5:5+1,使用时需要注意要与相应 TFT-LCD 的信号相一致。

2.1.2 数据存储模块

NAND Flash 是一种固态内存,与 EEPROM 相比,具有读写速度快的优势;与 SRAM 相比,具有非易失性等优势。图像尤其是彩色图像数据量大,因此需要考虑使用大容量的存储器来存储图像数据。另外,考虑到断电后数据的非易失性,因此选择 NAND Flash 作为存储器件。

数据存储单元 NAND Flash 包括图像库及字符库,其中字符库存储容量是 8 Mbyte,图像库存储容量是 56 Mbyte。模块选用 NAND Flash K9F1216U0A 作为图像的存储器件,它的容量大小为 $64\text{M} \times 8 \text{ bit}$,其中每页是 $(512+16) \text{ byte}$,块大小是 $(16\text{k}+512) \text{ byte}$;随机读取一页数据的最大时间是 $12 \mu\text{s}$,而向 NAND Flash 写入一页数据的典型时间是 $200 \mu\text{s}$ 。以分辨率为 640×480 的 RGB 彩色图像为例,图像数据大小是 900 byte,因此将此图像写入 Flash 的最大时间是 $341 \mu\text{s}$,然后将此图像从 Flash 读出的最长时间是 $21 \mu\text{s}$ 。

以分辨率为 640×480 的 RGB 格式彩色图像为例,56 Mbyte 的图像存储容量可以存储 62 幅图像,完全可以满足大容量存储的要求。在存储图像数据的编程过程中,由于 NAND Flash 是以

页为单元进行数据存储,这就意味着一幅图像需要占用多个页的存储空间。需要注意的是,由于 NAND Flash 器件存在坏块单元,而且坏块是随机分布的,因此需要对坏块进行标记处理,对它们标记为不可用,这样就避免了由于坏块单元引起的数据存储错误。

2.1.3 JPEG 图像解码

JPEG 是一种目前广泛使用的静态图像压缩标准,它以其显著的压缩效率和较低的图像质量损失获得了广泛应用,成为国际通用的标准。JPEG 的目的是提供一种使用于各种连续色调图像的压缩方法,并且能够易于硬件实现,具有良好的性价比。为了满足各种应用需求,它提供了两种压缩编码技术:基于离散余弦变换 (DCT) 的有损压缩编码和基于 DPCM 的无损编码^[5],这两种编码方式可以采用 4 种操作模式来实现:顺序编码、累进编码、无损编码及层次编码。其中基于 DCT 变换的顺序编码方式最常用。

以基于离散余弦变换的顺序编码方式来说明 JPEG 图像解码的过程。图像解码是压缩编码的反过程,解码的码流起始位置标志信息,解码器根据 JPEG 压缩图像的文件头信息,得到原始图像的基本信息。得到原始图像信息后,解码器根据 JPEG 文件中的霍夫曼表进行解码。由于熵编码过程中使用霍夫曼编码分别对 DC 及 AC 系数进行编码,其中系数编码的顺序采用 zig-zag 序列,因此实现解码时需要考虑这些相关实现过程,详细信息请参考相关文献^[5]。根据量化系数表,经霍夫曼解码后的系数与相应的量化值进行乘积,然后进行反余弦变换。需要注意的是,JPEG 图像使用的是 $Y C_r C_b$ 模型,其中 Y 是亮度分量, C_r 及 C_b 是色度分量,需要将系数的色彩空间从 $Y C_r C_b$ 转换到 RGB 空间,最终得到图像的 R、G、B 数据值,这些数据才可以在液晶显示屏上显示。根据 JPEG 文件交换格式提供的资料文献^[6], $Y C_r C_b$ 色彩空间到 RGB 色彩空间的转换见公式 (1)。

$$\begin{cases} R=Y+1.402(C_r-128) \\ G=Y-0.34414(C_b-128)-0.71414(C_r-128) \\ B=Y+1.772(C_b-128) \end{cases} \quad (1)$$

考虑到延时应尽量小,程序在 NOR Flash 存储器上执行效率低。图像解码算法中应合理安排在 ARM9 中的内存分配。设计过程中将频繁访

问的程序代码及数据搬运到 ARM9 内部高速缓冲存储器中,从而提高编码的效率^[7]。由于顺序编码方式最常用,它通常称为 JPEG 基本系统(BaseLine)。设计过程中,实现的 JPEG 图像解码支持顺序编码,完全可以满足应用要求。

2.2 TFT-LCD LQ080V3DG01

实验中选用 LQ080V3DG01 彩色液晶显示模块测试设计效果。LQ080V3DG01 由彩色 TFT-LCD 面板、驱动电路、控制电路、供电电路

及背光单元组成。它支持最大分辨率为 640×480 的图形和文字显示,数据输入格式为 18 bit,其中红绿蓝各占 6 bit,提供的颜色共 262 144 种。TFT-LCD 需要+3.3 V 或+5 V 供电电压,背光需要交流电源供电。输入的控制信号有 4 个:帧同步信号 VSYNC、行同步信号 HSYNC、数据使能信号 ENAB 及时钟信号 CK。数据线宽度是 18 bit,红绿蓝各占 6 bit,分别是 R[0:5]、G[0:5] 及 B[0:5],颜色配置信息如表 1 所示^[8]。

表 1 输入数据信号及颜色显示配置
Table 1 Input signals and basic display colors configuration

Colors	Data signal																	
	R ₀	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	G ₀	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
Black	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Blue	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Green	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Cyan	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Magenta	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Yellow	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
White	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

LQ080V3DG01 液晶显示屏的数据线共 18 bit,对于 24 bit 的彩色图像以及 24 bit 的 ARM9 S3C2440X 的 TFT-LCD 控制器而言,其接口并不兼容。设计中为了适应 LQ080V3DG01 液晶显示屏的接口,分别舍弃了 8 bit R、G、B 值的低 2 位,测试结果显示效果良好。如果选用的 TFT-LCD 是 24 bit 数据线,则可以直接连接到 LCD 控制器相应的数据线。

3 模块设计方案的实现

3.1 工作流程

在 ARM9 执行初始化后,主程序就等待外部模块通过串口发送指令。外接模块通过 RS232 串口与本模块通信,根据通信协议发送不同的指令,实现相应的功能。在约定的串口波特率下,通信协议如下:显示图像时首先发送指令 0x55,然后再发送图像在图像库中的编号;显示字符时首先发送指令 0x56,然后再发送字符在字符库中的编号,最后发送字符在液晶屏上显示的横轴及纵

轴坐标。需要说明的是,在 NAND Flash 存储空间中的图像库及字符库是自己定义的,可以重新下载更新。软件流程图如图 3 示。

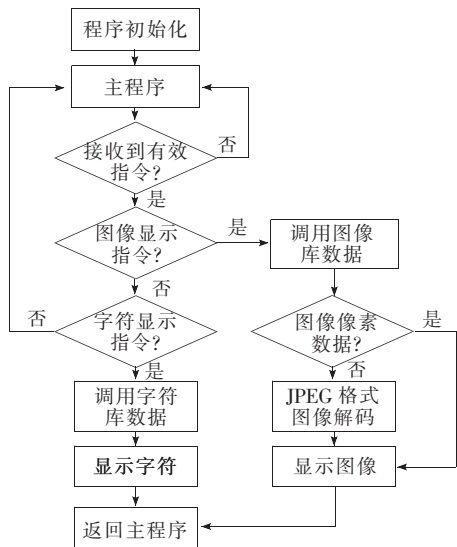


图 3 软件流程图
Fig. 3 Software flowchart

3.2 彩色图像显示

所设计的模块支持 24 bit 彩色 RGB 及 JPEG 两种格式的图像显示。因为像素数据可以直接送到液晶接口控制模块显示,而 JPEG 格式的图像则必须经过解码之后才能显示,所以图像在显示前,需要先判断图像数据是什么格式。如果图像数据是 JPEG 格式,则必须经过图像解码,解码后得到原始彩色图像的像素数据值 R 、 G 、 B ,这些数据经过显示控制单元送到液晶屏显示。如果图像是原始图像的数据,则可以直接送到液晶控制模块进行显示。

由于要显示的图像存储在 NAND Flash 的图像库存储空间,所以在将彩色图像输出到 TFT-LCD 显示时,首先要将需要显示的图像数据从 NAND Flash 中读取出来,得到一幅 24 bit 彩色图像的完整原始图像数据。原始图像数据中,一个像素占用 3 byte,其中 R 、 G 、 B 各占 1 byte。将数据输出给 TFT-LCD 显示前,需要根据 LCD 接收的数据格式将图像数据进行转换,然后才能输出显示,图像数据按照从上到下,自左向右的顺序输出^[9]。同样,将 TFT-LCD 按照相同的顺序进行扫描,最终完成整幅图像的显示。

NAND Flash 存储着大量的图像数据,为了区分不同的图像数据,将相应的图像输出显示,模块采用 RS232 串口与外界通信。通过发送不同的指令,可以将 NAND Flash 上存储的相应图像读取出来,输出在 TFT-LCD 上,最终实现各种彩色图像的显示。

3.3 字符显示

字符采用 16×16 点阵,由于每个像素占用 3 byte,所以每个字符占用 768 byte。可以将常用字符存储在 NAND Flash 中,作为字符库使用,需要时调用即可。当显示字符时,首先要确认相应字符在存储器中的位置,然后根据地址信息对相应字符进行操作,最后根据字符要显示的位置在液晶屏上输出,实现字符在液晶屏上的显示。

参 考 文 献:

- [1] 席鑫宁,潘宏侠. 基于 DSP 的 LCD 模块设计及其在设备状态监测系统中的应用 [J]. 液晶与显示,2009,24(1): 110-114.
- [2] 张超建,王厚军. 一种基于 FPGA 的 TFT-LCD 液晶显示模块设计 [J]. 自动化信息,2009,(9): 52-54.
- [3] SAMSUNG. Product Specifications on S3C2440XX RISC Microprocessor [DB/OL]. [2010-20-23] <http://www.samsung.com>

实验过程中为字符库分配 8 Mbyte 空间,可以存储 10 922 个字符。字符库还可以实现更新,只需将存储器 NAND Flash 对应地址空间的内容替换即可。

4 实验结果

为了测试模块的正确性,将一幅分辨率为 640×480 的图像“AutumnLeaves”下载到 NAND Flash 存储器中,它在图像库中的编号为 0x01。根据串口通信协议,向液晶显示模块发送指令 0x55,然后再发送图像在图像库中的编号 0x01。显示模块接收到指令后,液晶屏显示效果如图 4 所示。测试结果表明,模块工作正常,发送显示其他图像及字符的指令同样效果良好,运行可靠,达到了模块方案设计要求。



Fig. 4 液晶屏显示图像测试结果

Fig. 4 Experiment result of image display on TFT-LCD

5 结 论

提出了一种基于 ARM9 的 24 bit 彩色 TFT-LCD 液晶显示模块设计方案。图像及字符库存储在 NAND Flash 固态闪存中,保证了图像及字符的实时显示,同时还能实现对图像库及字符库的更新。提供了串口通信方式,可以方便地实现与其他外接系统交互。该模块设计简化了彩色 TFT-LCD 显示图像的设计难度,提高了开发效能。模块可以兼容不同类型的彩色 TFT-LCD,为液晶显示模块的彩色图像显示提供了一种新的方法。

datasheet4u. com/html/S/3/C/S3C2440XX_Samsungsemiconductor. pdf. html.

[4] 纪宁宁,孙灵燕. S3C2440A 驱动 RGB 接口 TFT LCD 的研究[J]. 液晶与显示,2008,23(1): 96-98.

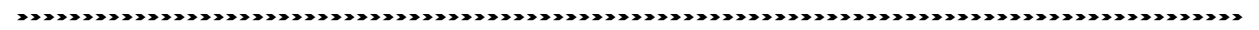
[5] 张春田,苏育挺,张静. 数字图像压缩编码 [M]. 北京:清华大学出版社,2006.

[6] Eric Hamilton. JPEG File Interchange Format, Version 1. 02[S]. Milpitas:C-Cube Microsystems, 1992.

[7] 马亮,王丹宁,王文青,等. 基于 DSP 的 JPEG 视频压缩系统的实现 [J]. 电子设计工程, 2009,17(9) : 82-85.

[8] SHARP. Product Specifications on LQ080V3DG01 TFT-LCD Module[DB/OL]. [http://document. sharpsma. com/files/LQ080V3DG01_SP_032905. pdf](http://document.sharpsma.com/files/LQ080V3DG01_SP_032905. pdf).

[9] 程明,肖祖胜. 基于 FPGA 的 TFT-LCD 显示驱动设计[J]. 液晶与显示,2009,24(2):228-229.



科技参考文献著录的规则

根据中华人民共和国国家标准“文后参考文献著录规则”(GB/T7714-2005),《液晶与显示》编辑部希望广大作者在向本刊投稿时注意参考文献的著录。

1. 文后参考文献书写格式

期刊:[序号]作者. 文献题名[文献类型标志]. 连续出版物题名:其他题名信息,年份,卷号(期号):起止页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[1]凌志华. STN-LCD 技术的发展[J]. 液晶与显示,2002,17(4):233-242.

例:[2]李晓东,张庆红,叶瑾琳. 气候学研究的若干理论问题[J]. 北京大学学报:自然科学版,1999,35(1):101-106.

例:[3]邵喜斌,王丽娟,李梅. a-Si:H TFT 亚阈值区 SPICE 模型的研究[J/OL]. 液晶与显示,2005,20(4):267-272. [2005-10-18]. [http://www. wanfangdata. com. cn/src/szhqk/ wf_ szhqk_ brow- ser. Asp](http://www.wanfangdata.com.cn/src/szhqk/wf_szhqk_browser.Asp).

专著:[序号]作者. 题名[文献类型标志]. 析出文献其他责任者//专著主要责任者. 专著题名:其他题名信息. 版本项(第 1 版略). 出版地:出版者,出版年:析出文献的页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[4]周其凤,王新久. 液晶高分子[M]. 北京:科学出版社,1994:27-38.

例:[5]日本学术振兴会第 142 委员会. 液晶器件手册[M]. 黄锡珉,黄辉光,李之熔,译. 北京:航空工业出版社,1992.

例:[6]母国光. 白光光学信息处理及期彩色摄影术[M]//陈星旦. 光学与光学工程,北京:科学出版社,2005:62-72.

例:[7]赵耀东. 新时代的工业工程师[M/OL]. 台北:天下文化出版社,1998[1998-09-26]. [http:// www. ie. nthu. edu. tw/inf/ie. newie. htm\(Big5\)](http://www.ie.nthu.edu.tw/inf/ie.newie.htm(Big5)).

例:[8]陈兵,徐寿颐. 新型烷基环己基炔类液晶的合成与性质[C]//2002 年中国平板显示会议论文集. 深圳:深圳天马微电子股份有限公司,2002:167-168.

例:[9]闫石. 液晶光控取向膜材料的研究[D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2001.

例:[10]全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会. GB/T5795-1986 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,1986.

专利:[序号]专利所有者. 专利题名:专利国别,专利号[文献类型标志]. 公告日期或公开日期[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[11]吕永积,王群伟,邵佑军,等. 平板真空摄像器件:中国,ZL95241185. 7[P]. 1997-08-09.

(下转 P758)