

一等奖

智能型动态图像追踪自控车

大学院校： 义守大学信息工程学系

参赛队员： 吴长泽 周士新 赵家宏 徐家玮

指导教师： 金明浩

一. 设计概述

1. 设计目的

汽车电子在安全控制上的需求愈来愈高，汽车的数量又相当庞大，根据 The Global Automotive Components 年报统计，2004年达7.6亿辆，2005年达到8.5亿辆。美国通用汽车预估，到2020年，全球汽车总数量将达11亿辆。另外，IC Insights的数据则显示，2010年汽车搭载汽车电子的比例，亦将达40%，因此汽车电子市场的未来发展潜力十足，可为相关厂商带来丰厚的收益，更是台湾高科技厂商再创高成长的一大契机。因此，汽车电子成为台湾科技研发重点之一，本作品利用图像处理的技术来提供辨识功能，实现汽车自动导引，例如：本作品对汽车在泊车时，如果对于倒车入库不是很熟悉，即可启动电子化自动引导装置，以提供自动导引、速控、辨视标志等支持功能。

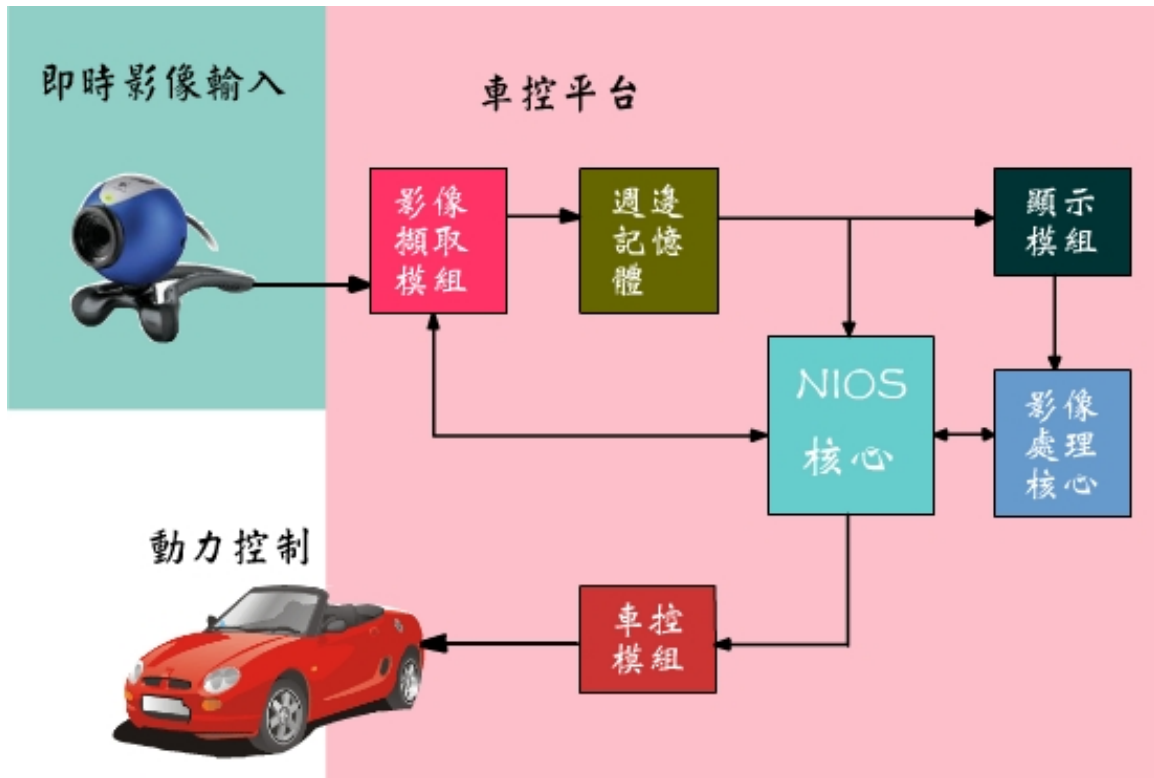
今年十月份Toyota Lexus 的2007 年最新车款Lexus LS 460 和Lexus LS 460L 将在美国市场上市，两部车子都装置了Toyota 最新发展的”高级停车导引系统(Advanced Parking Guidance System)”，这个系统是使用一个向后的摄像头和停车声纳传感器侦测周边状况，驾驶人靠在一个停车位旁边，按个按钮，踩煞车以控制速度，系统便会自动接手控制电动动力方向盘，完成路边停车的动作。除此之外，在目前最常应用于工厂自动化系统中的自动导引车辆(Automatic Guided Vehicle, AGV)系统，可按照程序所下的命令及导引

路线进行、停止、转弯，并能和搬运系统作连结；AGV是一种物料搬运设备，能在固定位置自动进行货物的装载，并自动行走至另一位置，以完成货物的卸载的全自动运输设备。AGV基本功能为能自动依循固定的轨道行走，虽然说这个技术早已引用在工厂中，但是由于路线必须是规划好并在地上画上行走路径，并无法应用于较复杂的环境之中，而我们所提出来的作品，是利用图像来辨别标志，而标志摆放位置亦可以根据实际的应用环境来做改变，所以应用范围较传统AGV更为广泛，不仅如此，本作品亦具有特定标志搜寻功能，能够自动的分析现有的图像信息，自动锁定目标物并进行自动化车控的控制，故我们设计这套系统来协助民众自动停车、自动倒车入库，亦可应用于机场对飞机的管控或是任何具有动力的交通运输工具。本作品将机械视觉算法以硬件加速的模块实现，结合多核的高效能的嵌入式处理器Nios，完成一个自动化汽车导引的平台，未来可实现很多汽车驾驶安全方面的应用，包括防撞、车道偏离警报和车道维持(可导引驾驶人回到原车道)、背面障碍物警报、行人监测、车距监测(让驾驶人和前车保持适当的距离)、夜视、自动头灯调节、交通/限速标志识别和盲点监测等等。

本作品使用两颗嵌入式Nios® 软核，通过快速设计且高集成性的Avalon总线，将复杂的外围电路及数种内存模块集成为车控平台，通过Nios高性能的表现，可以很轻易地实现实时图像处理及高速自动控制的产品。

2. 作品介绍

我们使用”软硬件共同设计 (Co-design)方法” 集成图像输入端、车控平台及动力控制模块，完成自动化目标追踪的实验平台，通过效能佳的软核CPU来控制外围的模块，并利用VHDL自制图像处理核心电路，建立智能型图像追踪的嵌入式系统平台，如图一所示。

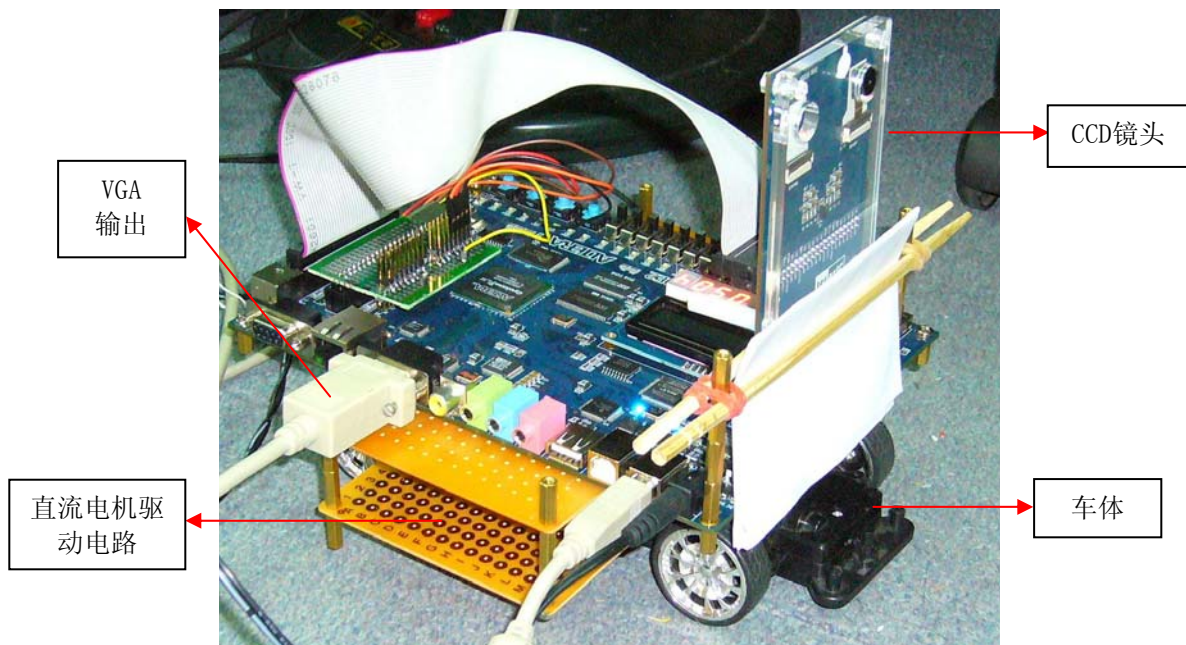


图一、智能型图像追踪的嵌入式系统平台

本作品的系统核心组成器件可分成以下三类：

1. CMOS Sensor 硬件模块：CMOS Sensor controller 、Data simplification、SDRAM controller
 - (1) CMOS Sensor controller：驱动CMOS Sensor并进行连续图像摄取，将动态图像数据流传入。
 - (2) Data simplification：将 CMOS Sensor 摄取的图像数据 (GB&GR) 进行压缩，以便大幅减少计算量及分析时间。
 - (3) SDRAM controller：通过六组FIFO控制器，将SDRAM资源规划给两组CMOS Sensor controller及VGA controller来使用(三写三读)。
2. VGA硬件模块
 - (1) VGA controller：通过其器件，可以实时将图像直接显示在VGA上。
 - (2) XY Histogram：并通过 XY 坐标标示出目标位置，并在实时图像上进行 X 轴及 Y 轴的图像数据统计(Histogram)。
3. 动力控制：通过第二颗软核CPU来依序执行外部给入的命令，CPU通过四组PIO来驱动车体前后轮的控制电路，达到车体前进、后退、左转、右转的控制。

本作品的外观如图二所示：



图二、智能型图像追踪车

3. 应用领域

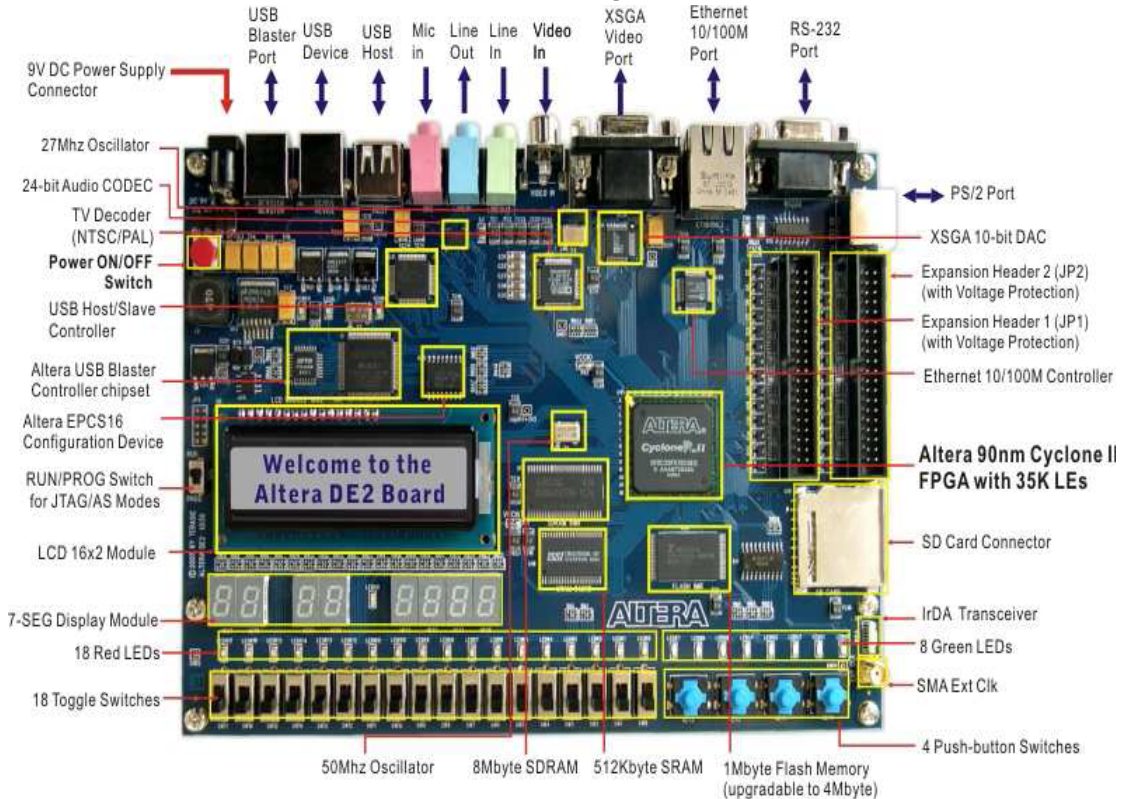
1. 智能性汽车电子装置，应用于倒车入库、路边停车、自动化行驶的导引系统。
2. AGV 自动引导车的自动化搬运系统。
3. 飞机自动引导、自动定位至闸口或跑道
4. 自动化图像视觉操控接口，可应用于玩具车或玩具船或控制命令的输入接口(视觉游戏手柄)。
5. 辅具(轮椅、电动车)的自动化导引装置。

4. 目标用户

1. 汽车电子设备制造商。
2. AGV 自动引导车控系统研发厂商。
3. 飞机自动引导控制系统制造商。
4. 家庭娱乐产品制造商。
5. 辅具制造商。

5. 发展套件

采用DE2 Development and Education Board, 包含Altera Cyclone® II 2C35 FPGA 带有 35000 LEs、8Mbyte (1M x 4 x 16) SDRAM、4Mbyte 闪存、SD卡界面、带有A类和B类USB接口的USB主从控制器、10/100 Ethernet physical layer/media access control (PHY/MAC)、Two serial connectors (RS-232 DB9 port)…等。



图三、DE2 Development and Education Board

二. 功能描述

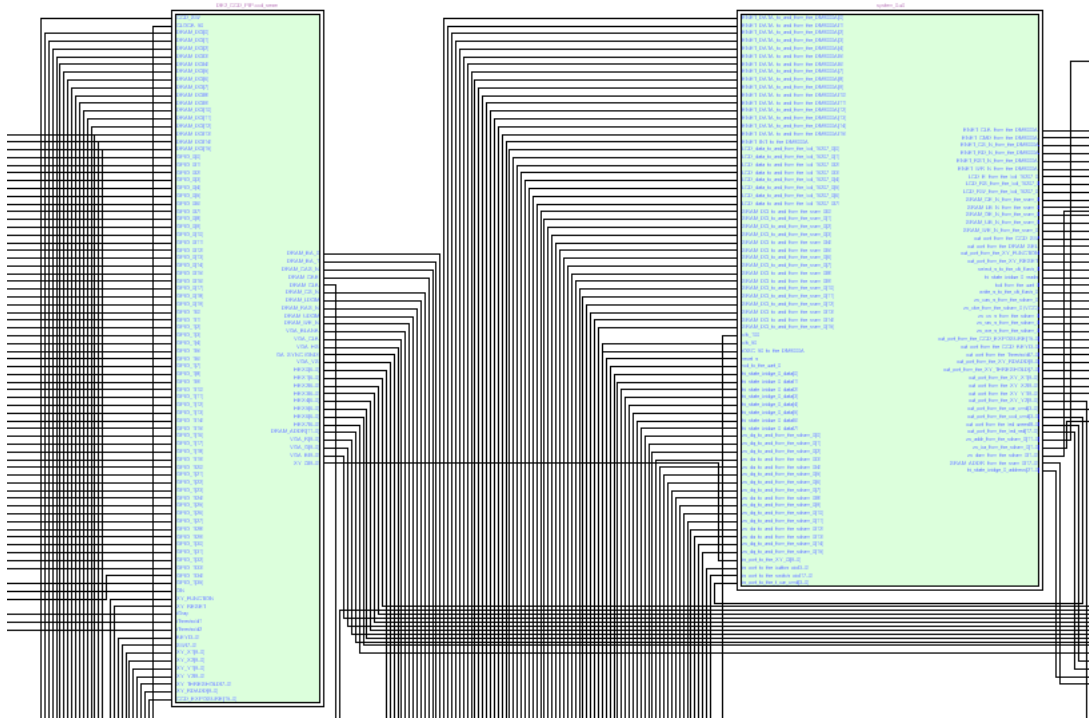
1. 功能介绍

1. 以 Quartus® II 7.1 针对智能型交通工具引导系统的 Data Compress 和 XY Histogram 核心, 完成各部计算器件(以 VHDL 及 Verilog 设计)。
2. 通过 CMOS Sensor 撷取图像, 经过 Data simplification 将图像量减少, 并通过 VGA Controller 实时显示在屏幕上。
3. 将减少后的图像数据, 进行 X 轴及 Y 轴的数据统计以进行图像分析。
4. 以 SOPC 基础结构出整个系统, 完成软硬件共同设计及 100%的演示。
5. 完成自动化车体导引系统, 展示自动化停车、自动辨视左右转、自动搜寻特定目标等演示。
6. 完成多接口的 SDRAM 控制器, 以 FIFO 的结构来分配 SDRAM 读写的安排。
7. 实现双 CPU 的嵌入式系统, 分别处理 CMOS Sensor 图像处理与车体动力控制。

2. 实现方法

1. 主要硬件器件

以 SOPC Builder 完成双 CPU 核心的设定, 并利用 Verilog 设计硬件电路器件, 以 waveform 进行时序仿真并验证, 再通过 PIO 方式和 CPU 连结, 除了 SOPC Builder 所提供的外围电路以外尚有双 CMOS Sensor 图像撷取电路、六端口 SDRAM 控制器、VGA 控制器(含图像处理电路), 说明如下, 如图四所示, 自行开发的硬件电路已集成成一个较大的模块(在图四左方的方块), 而图四右方的方块则是利用 SOPC Builder 所建立的双 CPU 模块。



图四、硬件器件

(1) 双核处理器:

在图五中的cpu_0是用来控制CMOS Sensor及图像处理所用，而cpu_1是用来控制车动力的。

Use	Connections	Module Name	Description	Clock	Base	End	IRQ	
<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> cpu_0	Nios II Processor	clk_50				
		instruction_master	Avalon Master					
		data_master	Avalon Master					
		jtag_debug_module	Avalon Slave					
						0x01b01000	0x01b017ff	IRQ 0 IRQ 31
<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> cpu_1	Nios II Processor	clk_50				
		instruction_master	Avalon Master					
		data_master	Avalon Master					
		jtag_debug_module	Avalon Slave					
						0x00000800	0x00000fff	IRQ 0 IRQ 31

图五、双CPU系统

(2) Two CMOS Sensor grabber:

撰写镜头图像撷取的控制硬件电路，并利用DE2发展板上的双IDE接口 (Expansion Header1,2)可同时撷取到双重镜头的图像。

(3) Multi-port SDRAM controller:

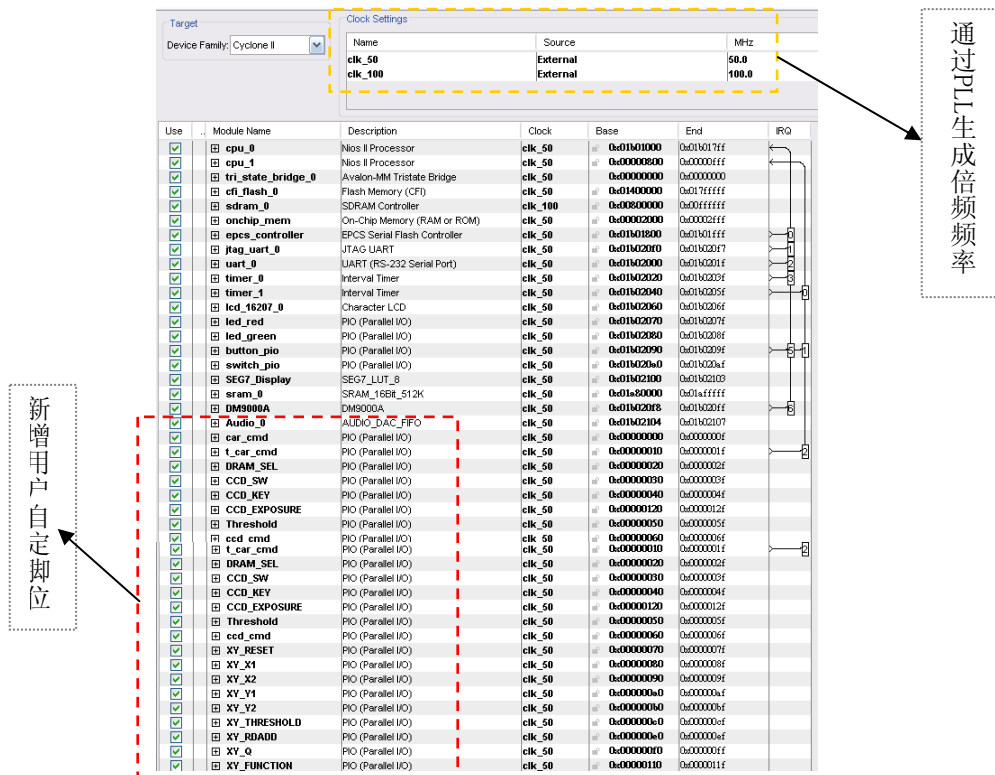
利用Mega Wizard Plug-In Manager来生成三写三读的六接口FIFO(以Embedded RAM实现)，让二组CMOS Sensor grabber及一组VGA controller能读写SDRAM设备。

(4) VGA controller & Image Processing:

撰写VGA输出的硬件控制电路，并在图像输出的同时，进行X轴及Y轴的图像数据统计，并将结果存于On-Chip Memory之中，以便Nios处理器来读取。

2. SOPC 系统端接口设定

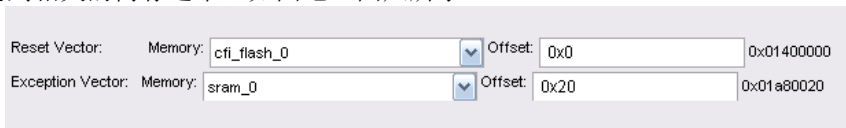
由DE2发展板所提供的范例新增用户自定义脚位来控制自制的外围电路，并通过PLL生成100MHz频率的时钟源供SDRAM来使用，如图六所示。

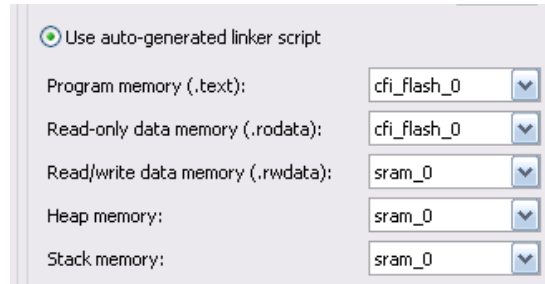


图六、系统端SOPC接口设定

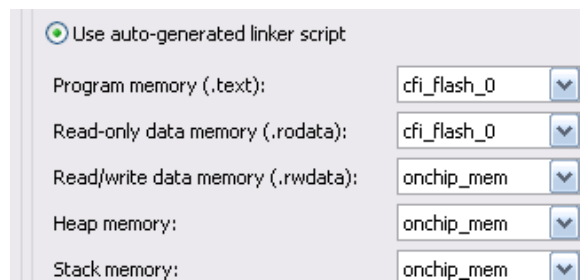
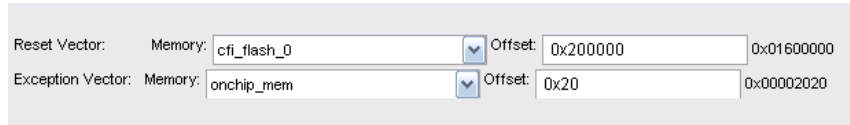
3. 将减少后的图像数据，进行 X 轴及 Y 轴的数据统计以进行图像分析。

由于发展板上的SDRAM已被CMOS Sensor grabber及VGA controller所使用，所以cpu_0及cpu_1的程序内存是放于Flash上，而cpu_0执行程序时的例外向量是放于SRAM上；而cpu_1是放于onchip memory之中，当然在Nios IDE开发该CPU的软件时，也必须分别要把变量堆叠区指定到相关的内存之中，如图七、图八所示。





图七、cpu_0在SOPC(上)及在Nios IDE(下)中的内存配置



图八、cpu_1 在 SOPC(上)及在 NIOS IDE(下)中的内存配置

三. 性能参数

本作品主要是针对每秒10张frame，而每个frame为640*480全彩24bit的实时图像进行图像辨视，每秒必须处理8.78M Byte的数据量，并进行二值化及X轴、Y轴Histogram的图像处理，由于必须快速处理大量图像信息，所以采用硬件加速，软件控制的架构来实现，此外，由于本作品的SDRAM资源可以切换给Nios来使用，所以亦可使用Nios来读取SDRAM的图像信息并进行图像处理，此外，在测试图像处理算法时，也利用BCB开发出PC端的仿真程序，而配备如下(Intel 1.6GHz Core Duo, 1G RAM, 1.3 Mega CMOS Sensor)，下面就三者实验数据进行比较，如表一所示。

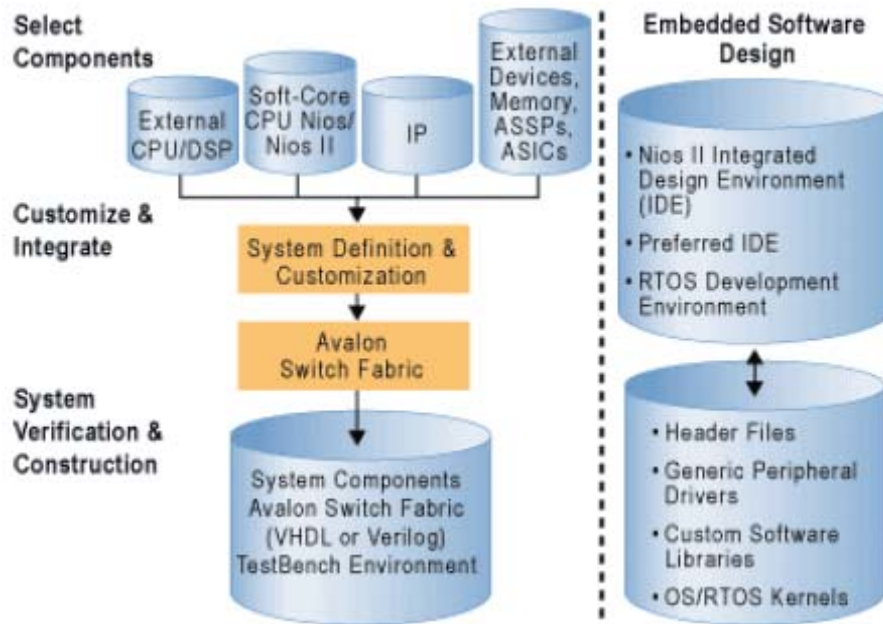
表一、三种图像处理平台的效能分析

	PC软件仿真	Nios软件	Nios软件+硬件加速
每秒处理Frame数	1~2	3~4	9~11

附注	使用VFW函式开发，进行二值化、直方图分析…等步骤	包含切换SDRAM控制权、读SDRAM、二值化、直方图分析等步骤	包含读SDRAM、二值化、直方图分析…等步骤
----	---------------------------	----------------------------------	------------------------

四. 设计结构

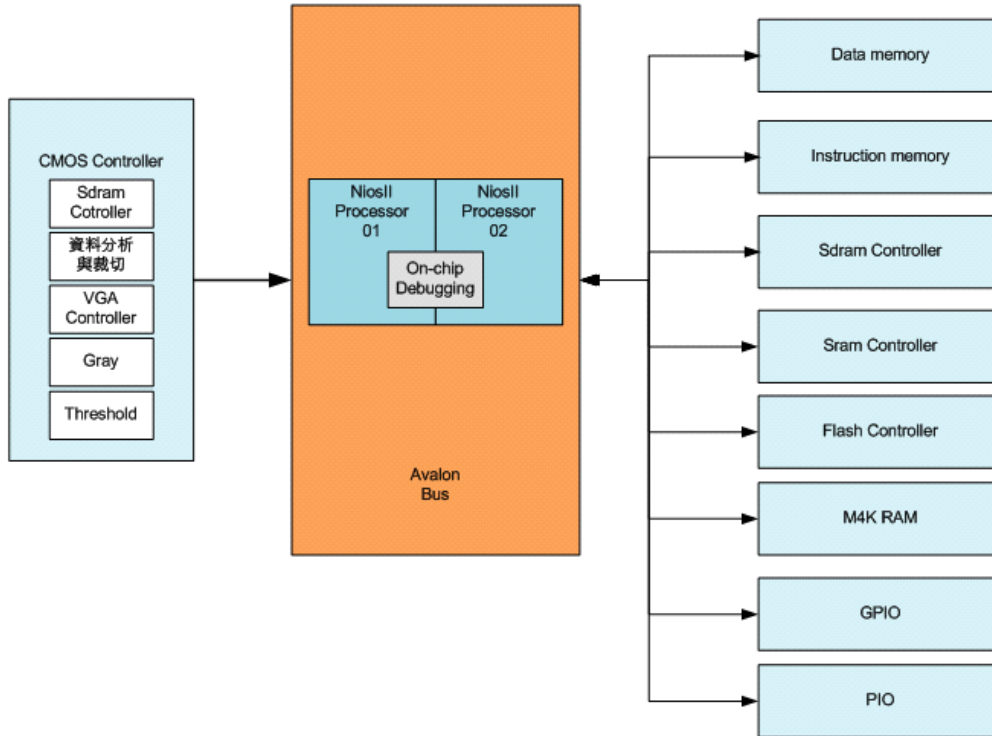
1. 系统发展流程图



图九、系统发展流程图

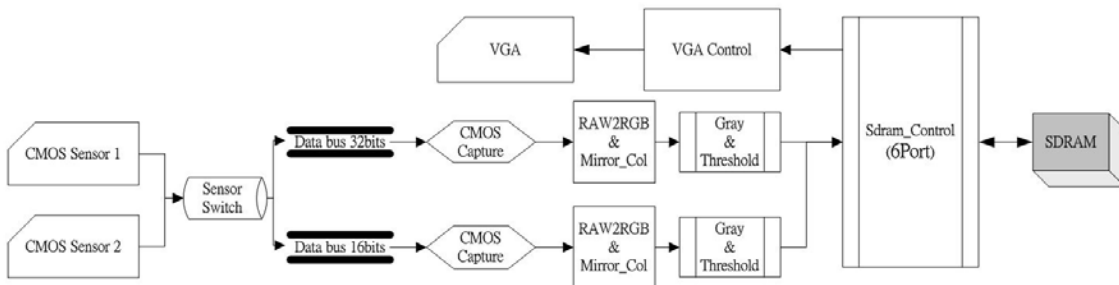
2. 系统架构图

由系统方框图十可知，本作品使用双核的系统，其中一个CPU是用来控制CMOS Controller模块，而另一个CPU可以控制大部份的外围器件，而两个CPU之间是利用输出及输入PIO脚位，来达到传递讯息之目的，这样设计的好处是，可利用一个CPU全速处理大量图像信息，而另一个CPU可以负责车控系统，若从图像中侦测到偏离或碰撞危险时，将能通过PIO来触发另一个CPU的中断，进而实时告知车控系统下达校正方向或闪避的控制命令，本作品使用到许多的外围器件包含：Flash Memory、SDRAM、SRAM、M4K RAM、LCM、JTAG-UART、RS232、GPIO、Button、Switch、Timer、LED、Segment、VGA、CMOS Sensor等。



图十、系统方框图

3. 图像处理方框图

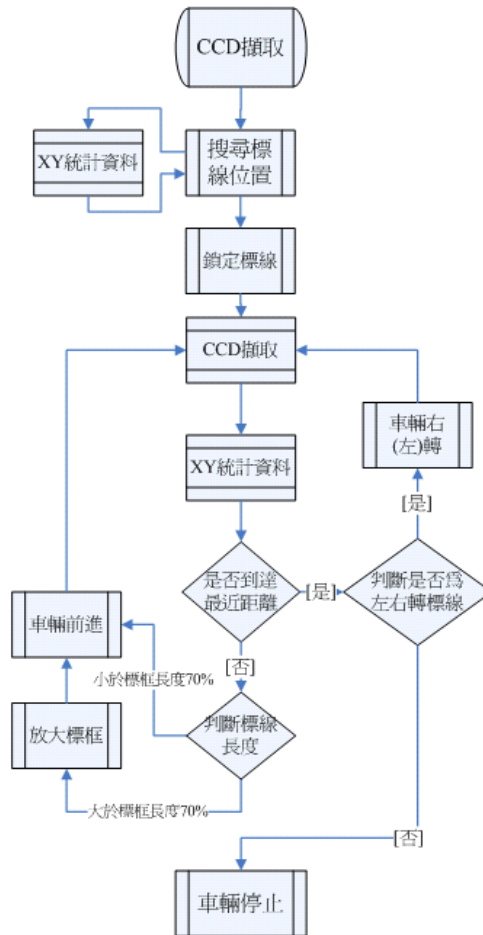


图十一、图像处理方框图

由图十一可发现，本作品之所以能达到实时图像及实时动态追踪，是因为当CMOS Sensor下图像撷取时，便能通过硬件器件，将数据从RAW Data转成RGB再进行二值化或灰阶的处理，以利进行图像处理，而且同时亦在VGA上立即显示出该图像，整个过程均是由硬件来做；在图像追踪时，Nios可以通过X轴或Y轴的直方图统计方式来进行标示目标物，所以一张新的图像进来时，Nios并不用做任何处理，即可读出所需要的数值，这样一来才能达到所期待的硬件加速效能。

4. 软件流程图

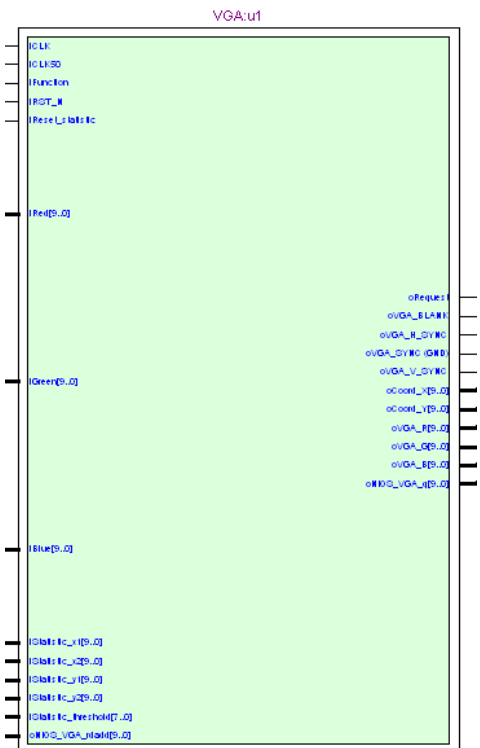
1. 为了加速运算，由硬件分别做了二值化和数据统计。
2. 一开始先搜寻目标标线位置。
3. 找到标线后进行动态锁定。
4. 开始判断标线长度，自控车是否在标线最近距离，若否，则判断标线长是否大于标框长的70%，如果大于70%则放大标框。
5. 由PIO送出前进的控制信号给自控车。
6. 若自控车在标线最近距离则判断是否为左右转标线，若是 则依标线左(右)转，否则停止动作。



图十一、软件流程图

5. 硬件电路图

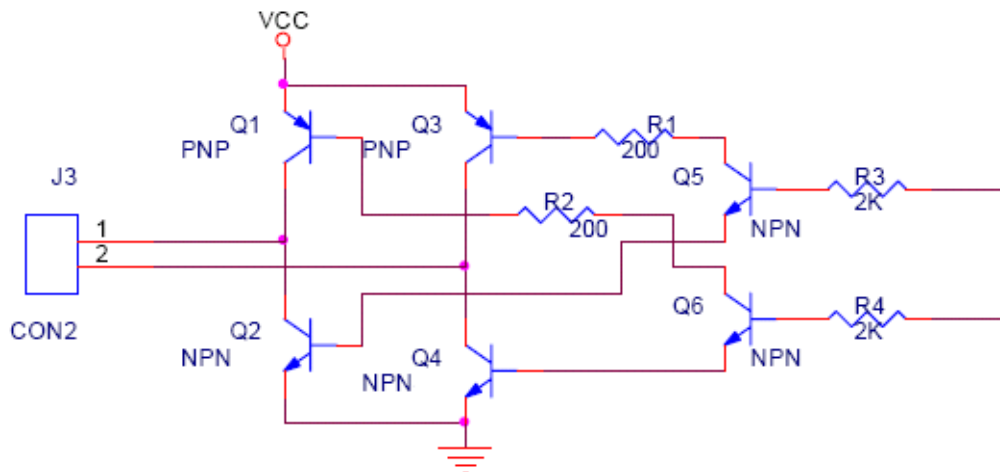
- (1) 双CMOS Sensor图像撷取器件：通过Switch开关来达到切换主画面/子母画面的功能，Frame的速度由其中一个CMOS Sensor来主导，每一次CMOS Sensor所输出的数值为10bit，并同时输出该pixel的x, y坐标，以利读取。



图十四、VGA controler & Image Processing模块

6. 直流电机驱动电路

我们使用全桥电路来控制轮子的正转及反转、Nios通过CAR_CMD[3..0]这个PIO来控制车体的运动，CAR_CMD[1..0]为后轮的开关，而CAR_CMD[3..2]为前轮的开关，在图十五中为一可控制电流正流或逆流的全桥电路开关，而前轮亦同，其中详细的控制命令，如表二所示。

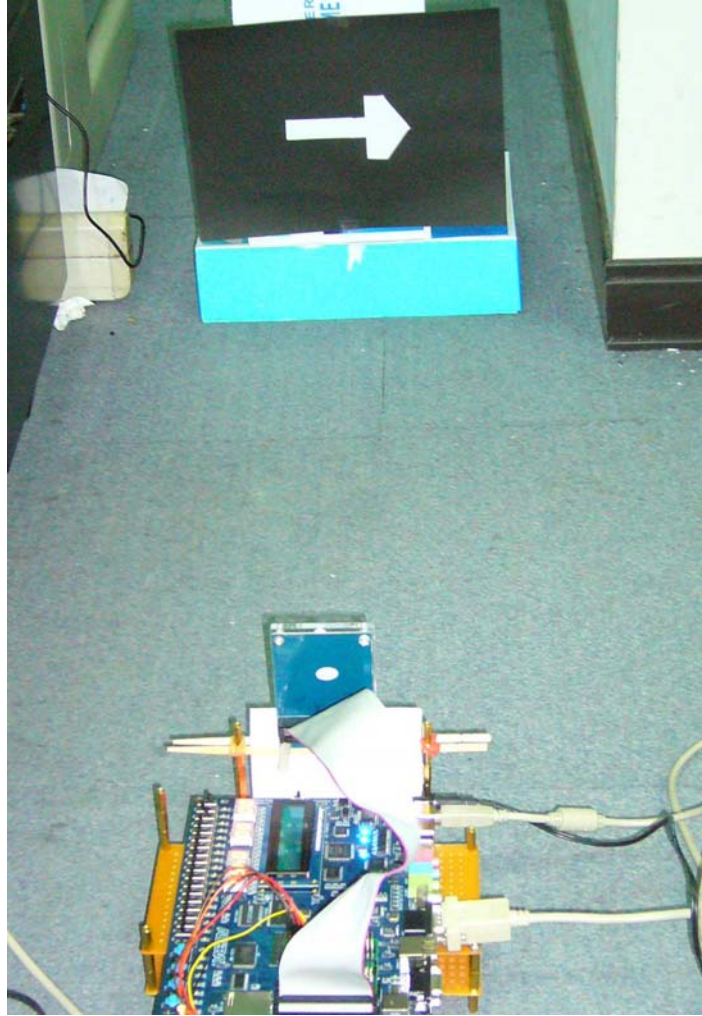


图十五、后轮的全桥电路开关

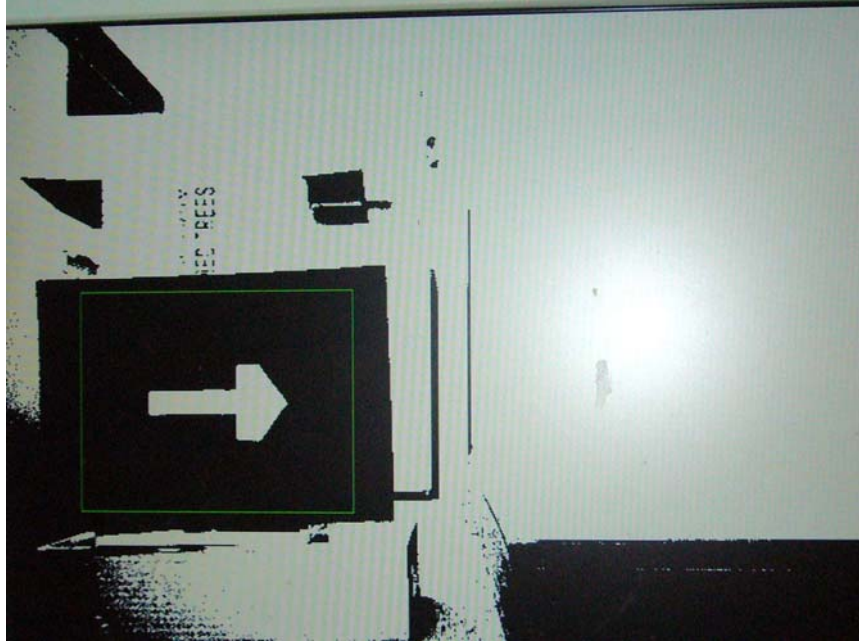
CAR_CMD[3]	CAR_CMD[2]	CAR_CMD[1]	CAR_CMD[0]	CAR_CMD	车体运行
0	0	0	0	0x0	停止
0	0	0	1	0x1	前进
0	0	1	0	0x2	后退
0	1	0	0	0x4	前轮右转
1	0	0	0	0x8	前轮左转
0	1	0	1	0x5	右前
0	1	1	0	0x6	右后
1	0	0	1	0x9	左前
1	0	1	0	0xA	左后

7. 测试实境

在图十六中，智能型图像追踪车已锁定特定的目标物了，并朝著目标物前进，图中可以清楚地看出除了白色箭头标志外，尚有许多其它的白色干扰物，如白色墙壁、面纸等，而在图十七中是智能型图像追踪车的VGA输出，可以清楚地看到图中是二值化的图像，并且已智能型图像追踪车已锁定白色箭头标志(绿框围住)，在车体前进时，绿框会自动变大并锁定白色箭头。



图十六、智能型图像追踪车正朝著目标物前进



图十七、智能型图像追踪车前进时锁定的目标

五. 设计方法

1. 实现方法:

- (1) 定义系统: 包含处理器、内存、外设器件及与外部器件连结的引脚。
- (2) 生成系统: 利用SOPC Builder生成ptf系统文档。
- (3) 硬件设计: 利用Verilog撰写建立所需器件, 并进行电路的综合并编译及仿真; 进行车体驱动电路设计, 并量测所需电气特性。
- (4) 软件设计: 利用BCB检测图像处理的演算法, 并利用Nios II IDE生成相关的Header文件及Driver并撰写系统端的应用程序, 最后编译成elf文档。
- (5) 仿真: 利用ModelSim进行仿真, 如果发生问题, 回到(二)修改系统再进行软硬件的设计。
- (6) 验证: 将软、硬件通过JTAG下载至DE2发展板上的RAM或Flash上做物理验证。
- (7) 测试: 结合车体动力控制进行雏型系统的产品测试。

2. 设计步骤:

我们了解到SOPC可提供一个高弹性的软硬件集成平台, 而本作品涉及嵌入式系统在机电控制上的应用, 所以在设计的规划上可分为以下的四大阶段, 分述如下:

(1) 输入端及输出端的定义:

从外而内, 定义每一个阶段所需要的模块, 并决定这些模块的输出/入脚位, 例如在最外层的系统输入端为CMOS Sensor, 而输出端为VGA输出及自动车的动力控制, 而在较内层的模块包含了CMOS grabber、SDRAM controller、VGA controller、Nios CPU、自动车驱动模块...等。

(2) 核心选用及自制IP器件:

本作品选用两颗full edition的cpu, 除了SOPC Builder所附的外围接口外, 还需要自制Multi-port SDRAM controller、VGA controller等。

(3) 软硬件系统设计

我们在设计中进行软硬件共同设计, 由于软硬件共同设计可以说是一个挑战, 因为软件开发涉及到硬件资源的规划和分配, 并且关系到整个系统性能的表现, 但由于SOPC Builder提供了一个高弹性的集成开发接口, 所以加速了系统规画的流程, 而Nios IDE亦有完整的软件开发环境, 包含设立断点、调试、指令仿真等, 都能提高产品的开发速度。

(4) 机电集成

我们的作品中, 结合了直流电机、PWM信号控制、全桥开关、晶体管放大电路等模块, 虽然非我们所擅长的领域(我们均为信息工程系), 但我们抱著玩家的态度来学习, 也从中获得许多乐趣及成就感, 用机电集成的方式来呈现我们的作品, 让原型发展系统以较动态的方式来呈现。

六. 设计特点

1. 双CPU核心并可进行通信:

本组利用两个CPU来共同控管智能型图像追踪车系统, 并以输出/入及中断的方式达到双CPU通信的功能。

2. 100%软硬件呈现:

本组完整的呈现出智能型图像追踪车的展示, 从目标物搜索、目标物锁定、车体自动导引控制、自动停车等功能。

3. 具有硬件加速的定制化外设:

我们原先是开发CMOS Sensor controller及SDRAM controller, 利用硬件电路直接将CMOS Sensor图像存入SDRAM之后, 再把SDRAM控制权交给Nios, 但实验的结果, 速度无法达到我们的要求, 原因是Nios花费太多时间在读取SDRAM及图像处理上, 所以之后本组又自行开发了VGA controller结合图像处理的电路, 让VGA输出的同时进行图像处理, 如此一来, 整体效能即可达到我们的要求。

4. 在Nios II 核心外连结了三个自制IP:

正因NiosII可以弹性化的设定, 所以可依自己的需求而轻易地设计出对外沟通的PIO脚位, 本组亦结合了VGA controller、Multi-port SDRAM controller、Image Processing function等硬件电路, 提升了处理大量图像数据流处理的效能。

5. 超过65%的逻辑单元及72%内存, 并开发复杂的IP核心:

本作品采用Cyclone 2C35的大容量FPGA, 但由于本作品使用了双核cpu, 亦开发了许多的复杂的IP核心, 而且在其中也有很多器件会运用到M4K RAM(像是FIFO及图像处理的器件), 所以整个系统综合的结果使用了21732 LEs(65%)及347248 bits RAM(72%), 充

份利用了该FPGA所提供的资源。

Flow Status	Successful - Mon Sep 17 10:36:39 2007
Quartus II Version	7.1 Build 178 06/25/2007 SP 1 SJ Full Version
Revision Name	DE2_NET
Top-level Entity Name	DE2_NET
Family	Cyclone II
Device	EP2C35F672C6
Timing Models	Final
Met timing requirements	No
Total logic elements	21,732 / 33,216 (65 %)
Total combinational functions	19,215 / 33,216 (58 %)
Dedicated logic registers	12,412 / 33,216 (37 %)
Total registers	12477
Total pins	433 / 475 (91 %)
Total virtual pins	0
Total memory bits	347,248 / 483,840 (72 %)
Embedded Multiplier 9-bit elements	8 / 70 (11 %)
Total PLLs	1 / 4 (25 %)

图十八、本作品综合完所使用FPGA的资源

七. 总结

本组在参加这次Altera所举办的2007 Nios II 嵌入式处理器竞赛中，获得相当多的收获，本组的工作分配是分成系统集成、硬件开发及控制电路设计，以下分成这三个部分来说明：

■ 系统方面：

由于NiosII所提供的IDE开发环境及SOPC Builder的便利性，让软核CPU能以弹性化的设计快速实现于原型机上，加速开发的流程，新版的Quartus 7.1及Nios II IDE 7.1在双核的PC上执行效率非常快，大大缩短了冗长的硬件集成或软件编译的等待时间。

■ 硬件方面：

从这次比赛，让我了解到SDRAM controller的设计，及通过时序安排让多个高速的外围能共享同一块SDRAM，另外亦学到了VGA controller，而且又能在一边把图像pixel输出的同时又能进行实时的图像处理，让我获益良多。

■ 控制电路设计：

非常荣幸这次能参加Nios设计大赛，我们这次挑战不熟悉的机电控制，实在让我们吃尽苦头，不过到最后也是苦尽甘来，终于能够让看起来就很重的智能型图像跟踪车能够在各式各样的地面上行走，这次比赛也让我们实验室里的成员都能齐聚一堂，共同来克服每一项问题，很感谢贵公司能提供如此宝贵的参赛机会，让许多青年学子都能够有筑梦踏实的机会！