

基于MSP430的车载雷达测速测距系统

谢宜生¹, 沈国江¹, 吴琦灿²

(1. 浙江大学工业控制技术国家重点实验室, 杭州 310027; 2. 浙江水利水电专科学校电气工程系, 杭州 310018)

摘要: 为解决大雾沙尘暴等恶劣天气条件下交通事故频发以及汽车无法上高速公路的难题, 提出一种基于MSP430单片机的车载雷达测速测距系统。该系统以16位超低功耗微处理器MSP430F436为核心, 通过检测微波雷达传感器输出混频信号的频率和幅值, 获取与前方目标车辆的相对速度和距离值并对其进行实时显示。当检测值超过阈值时该系统发出光声报警, 在反应时间内警示驾驶员采取安全措施, 从而避免与前方的目标车辆相撞。实验测试结果表明, 该系统具有测量精度高、量程宽、功耗低等优点。

关键词: 超低功耗; MSP430单片机; 微波雷达; 测速测距; 车载装置

Vehicle-mounted Radar Velocity and Distance Measurement System Based on MSP430

XIE Yi-sheng¹, SHEN Guo-jiang¹, WU Qi-can²

(1. State Key Laboratory of Industrial Control Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Department of Electric Engineering, Zhejiang Water Conservancy and Hydropower College, Hangzhou 310018, China)

【Abstract】 In order to solve the problems of high frequency road accident and automobile can not go to the freeway under the atrocious weather like dense fog and sandstorm, this paper presents a kind of velocity and distance measurement system by using vehicle-mounted radar. The system with the kernel of 16 bit Ultra Low Power(ULP) microprocessor MSP430F436, adopts the value of anterior target vehicle's velocity and distance by detecting the frequency and amplitude of the microwave radar sensor's output mixing signal. And it displays the values at real time. To avoid colliding with the target vehicle ahead, it alarms to drivers in reaction time with light and sound when the measurement is above the critical value. Testing result of experiments indicates that the system has the excellences of high measurement precision, large measuring range, and low power consumption.

【Key words】 Ultra Low Power(ULP); MSP430 Micro Controller Unit(MCU); microwave radar; velocity and distance measurement; vehicle-mounted device

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.18.079

1 概述

随着经济的迅猛发展, 我国汽车工业和人均汽车保有量不断上升, 随之而来的道路交通安全问题也日益突出。为保证道路交通的行车安全、畅通, 人们采取了很多措施, 如安全气囊、安全带、保险杠、阻燃器件等。近年来, 车载防撞系统的研制越来越受到人们的青睐。同时, 微波技术由于其自身强大的穿透能力, 因此在这一领域发挥了重大的作用。

国外这项研究的起步比较早, 也取得了一些显著的成果: 美国Eaton公司于1993年开发Vorad汽车防撞雷达系统; 日本丰田公司于1995年研制出主动预防安全系统和被动防撞安全系统, 微波雷达是其中的重要组成部分; 德国奔驰公司于1997年研制的汽车雷达系统荣获德国的工业革新奖^[1]。国内此项研究才刚刚起步, 目前还没有成熟的技术成型, 也没有相应的产品面市。然而, 国外技术的系统结构庞大复杂、成本高, 只适用于少数高档车而不具备普及性。因此, 当公路特别是高速公路上出现大雾、沙尘暴等恶劣天气时, 采取的手段通常是人为封锁道路。这不仅不利于道路的行车畅通, 而且耗费大量的人力物力, 不仅浪费时间, 而且不利于经济的快速发展。

为解决高速公路在某些恶劣气候下的安全通行问题, 提高高速公路的服务效率, 缓解高速公路周边国道省道的交通压力, 增加高速公路的盈利水平, 本文提出基于MSP430F436

单片机的车载雷达测速测距系统, 旨在实现微波雷达低成本、高精度的测速测距功能。

2 微波测速测距原理

现有的大多测速或测距仪器采用的技术手段主要有超声波、红外线、激光、视频、微波雷达等。它们各自的技术特性存在以下区别^[2-3]:

(1)超声波的远距离探测能力和温度稳定性较差; 红外线和激光在烟雾、灰尘笼罩时的性能较差, 且受气候影响大。

(2)视频的黑暗穿透能力弱, 同时和红外激光一样, 在烟雾、灰尘笼罩时的性能较差。

(3)微波雷达的远距离探测能力、黑暗穿透力、灰尘烟雾笼罩时的性能以及温度稳定性等综合指标均较好。

因此, 具有良好探测能力且适合全天候运行的微波雷达是车载测速测距系统的最佳选择。

微波雷达测速测距原理示意图如图1所示。

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2007AA11Z216); 国家自然科学基金资助项目(61174174); 浙江省自然科学基金资助项目(Y1090208)

作者简介: 谢宜生(1986—), 男, 硕士, 主研方向: 智能交通控制, 嵌入式系统; 沈国江, 副研究员、博士; 吴琦灿, 助教

收稿日期: 2011-03-17 **E-mail:** betomy@163.com

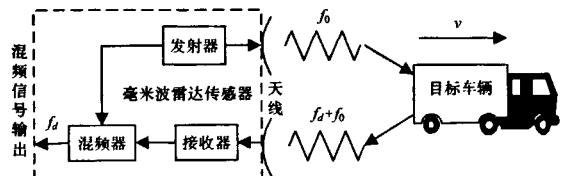


图 1 微波雷达测速测距原理

微波雷达测速测距的原理如下^[4]:

(1) 测速原理。如图 1 所示, 微波雷达传感器主要由发射器、接收器和混频器 3 个部分组成, 发射器发射出频率为 f_0 的入射波, 当目标车辆与传感器之间有相对速度 v 时, 接收器将接收到发生多普勒频移的反射波, 其频率为 $f_0 + f_d$, 最后入射波与反射波在混频器的作用下输出一频率为 f_d 的电信号, 根据多普勒原理可以得到:

$$f_d = \frac{2v}{\lambda} \quad (1)$$

其中, v 为目标车辆的相对速度; λ 为微波的波长。因此, 只要检测出混频输出信号的频率即可通过式(1)得到目标车辆的相对速度。

(2) 测距原理。现在考虑波的能量理论, 假设入射波的角频率、波长及场强分别为 ω 、 λ 和 E_1 , 目标车辆与其距离为 D , 则入射波可表示为 $e_1 = E_1 \cos \omega(t)$, 经目标车辆反射后的回波为 e_2 、场强为 E_2 , 则:

$$e_2 = E_2 \cos \omega(t - \frac{2D}{c}) \quad (2)$$

其中, c 为光速。由此可得, D 与 E_2 之间存在一定的对应关系。而场强在电信号上表现为电压值, 本文可以通过电压和距离之间的关系进行标定, 通过查表法最终确定信号源与目标测量之间的距离。

3 硬件电路设计

3.1 系统硬件结构

车载雷达测速测距系统采用车上 12 V 的点烟器供电, 要求体积小、易安装、精度高、功耗低以及稳定性好, 为满足上述要求, 本文采用美国 TI 公司生产的 16 位精简指令结构(RISC)的超低功耗单片机 MSP430F436 作为核心微处理器芯片, 其最主要的特点是超低功耗和工作稳定: 它可工作在 1.8 V~3.6 V 之间, 正常工作时功耗可控制在 200 μ A 左右, 低功耗模式时可实现 2 μ A, 甚至是 0.1 μ A 的超低功耗。像其他 MSP430 系列的微处理器一样, 它主要由 12 bit 的 A/D、比较器、定时器、片内 UART、看门狗、片内振荡器和大量的 I/O 端口及大容量的片内存储器等组成^[5-6]。

以 MSP430F436 为核心的测速测距系统结构^[7-9]如图 2 所示, 其主要包括微波雷达传感器、信号调理模块、微处理器 MSP430F436、LCD 显示电路、光声报警装置、上位机通信模块、供电装置和 MSP430 系列单片机(Micro Controller Unit, MCU)所必需的外围 JTAG、时钟、复位等电路。

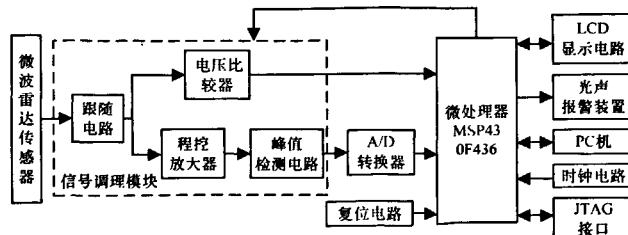


图 2 系统硬件体系结构

微波雷达传感器输出的混频信号经信号处理模块后分两路输入分别输入到 MCU 和 A/D 转换器中, MCU 通过读取 A/D 转换器的结果以及对电压比较器输出的方波信号的捕获计数决定程控放大器的放大倍数和峰值检测电路中蓄电电容的放电时刻。与此同时, MCU 还会将获得的频率与幅值转化成相对速度和距离值, 并实时显示在 LCD 上。当检测所得的值超出预先设定阈值时, MSP430 会驱动光声报警装置, 在反应时间内警示驾驶员采取刹车等措施, 避免事故的产生。

3.2 信号调理模块

微波雷达传感器输出的混频信号是一个包含时间分量的正弦信号, 它具有以下特点:

(1) 信号微小, 在距离为 20 cm 以下时可获得最大 $V_{pp}=4$ V。

(2) 随着距离的改变, 信号幅度的变化范围大。

(3) 信号的输出阻抗大, 容易受后级电路负载以及数字量的串连干扰而发生严重的变形。

因此, 不能未加处理地把微波雷达传感器输出的混频信号直接输入 MCU 中, 而需要在它们之间加一个信号处理模块, 在硬件上对其进行预处理。从图 2 可知该模块主要由跟随电路、电压比较器、程控放大器和峰值检测电路 4 个部分组成。四者各司其职, 协调工作, 其中:

(1) 跟随电路: 增大输入阻抗, 减小输出阻抗, 起到阻抗匹配、增强信号稳定性的作用, 也因此消除了电路负载和数字量对信号的影响。

(2) 电压比较器: 将稳定的信号转换成 3.3 V 的方波信号, 使用时可用电位计调节比较电压的值, 消除工频信号的干扰。

(3) 程控放大器: 对小信号进行放大, MCU 根据前一时刻 A/D 转换器采集的数据改变其放大倍数, 从而使信号的幅值一直保持 2 V~3 V, 进一步提高采样精度。在设计方案上, 有 2 种选择: 1) 采用诸如 TI 公司生产的 PGA2310 等集成程控增益放大器; 2) 采用放大器加模拟多路复用器, 虽然前者的电路集成度高、结构简单, 但考虑它昂贵的成本, 因此, 本文采用后者, 即放大器 OP07 和模拟多路复用器 MAX308 组成的程控放大器。

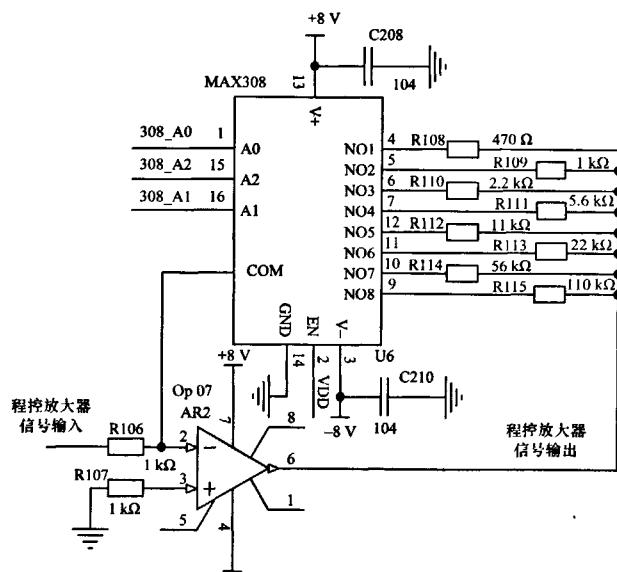
(4) 峰值检测电路: 获取信号的峰值, 即放大信号的幅值, 以供 A/D 转换器采样。本系统设计一方面要求蓄电电容性能要好, 蓄电能力强, 不至于在 A/D 采集之前电容把电荷全部泄漏而导致采集到的数据不准确; 另一方面在模拟开关对蓄电电容进行充放电控制时, 要求充放电速度要快, 以保证在下一个峰值来临之前放电完毕。综合考虑本文选用特性接近理想电容、容量为 1 μ F 的聚酯电容作为蓄电电容, 而在放电部分直接采用集成模拟开关 MAX4656(内阻大约为 20 Ω), 测试表明这样设计的充放电时间大约为 100 μ s, 满足系统设计要求。

信号处理模块的部分电路原理图及其输出的两路信号波形如图 3、图 4 所示。在此, 需要说明的是:

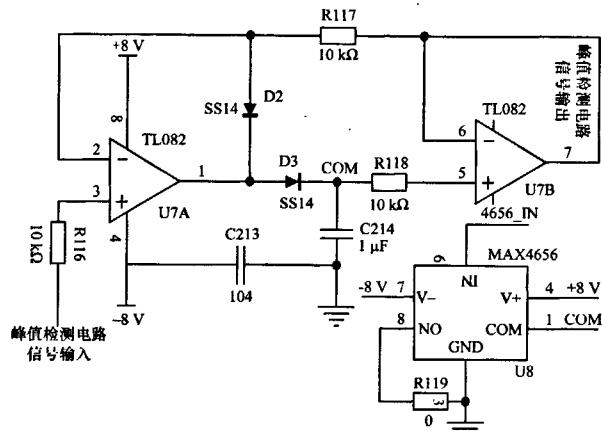
(1) 在测试时, 被测物朝着远离传感器的方向前进, 所以, 波形的幅值都是由大变小。

(2) 虽然电压比较器的输出波形稳定, 但是偶尔也会由于外界扰动高于比较电压而产生孤立的方波, 这可以在软件处理时将其过滤。

(3) 本文在测试时并没有在每个波峰来临之前对蓄电电容进行放电, 这也是输出波形的电压值高于后面小峰值的原因; 而电压下降是由蓄电电容泄漏电荷引起的(任何电容都不能达到理想电容的效果)。

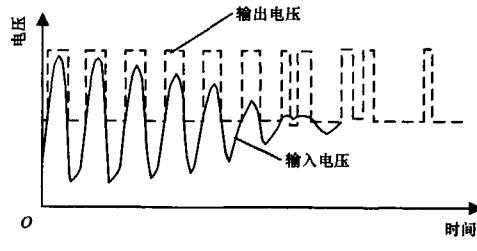


(a) 程控放大电路

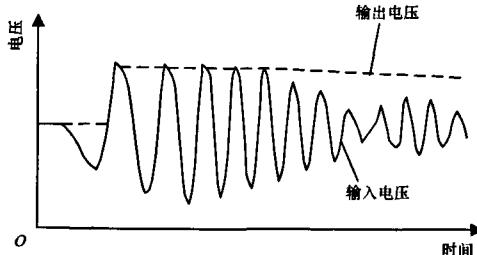


(b) 峰值检测电路

图3 信号处理模块部分电路原理



(a) 电压比较器输出波形



(b) 峰值检测输出波形

图4 信号处理模块输出波形

4 软件设计

系统的软件设计是基于 MSP430F436 进行的，在 IAR Embedded Workbench EW430 集成环境中，采用 C 和汇编混合

编程的程序设计方法以提高软件的性能。同时，软件采用模块化设计方法，增强设计的可靠性和移植性。

本系统的软件设计主要包括系统初始化模块、数据采集模块、数据滤波模块、定时器中断模块、串口通信模块以及 LCD 显示模块等。其中，系统初始化模块实现对 MSP430 时钟、端口、LCD、定时器的初始化，中断的开启和低功耗模式的进入等；定时器中断模块包括用于看门狗复位及 LCD 显示屏刷新的基本定时器以及用于捕获方波信号的定时器 A；串口通信模块主要负责与 PC 机之间的通信交互，传递距离与速度的报警阈值、LCD 刷新频率等系统参数。

鉴于车载雷达系统在实际运行过程中会受到地物杂波、回波等干扰，在软件设计过程中，本文采用数据采集逻辑与软件滤波算法相结合，测速与测距相结合的方法以进一步加强系统的抗干扰能力：在电压比较器输出的第 1 个方波上升沿(对应程控放大后的波谷)开始计数，第 3 个上升沿计数结束并启动 A/D 转换器采集距离信息(幅值)，即每 2 个周期采集一次速度与距离的数据，并采用滑动窗口进行滤波处理。为消除孤立方波的扰动，如果定时器 A 连续溢出 2 次(2 s~4 s)，则本次采集重新开始；连续溢出 5 次(5 s~10 s 没有信号)，则清空 LCD 显示，丢弃之前采集的所有数据；具体的采集流程如图 5 所示。

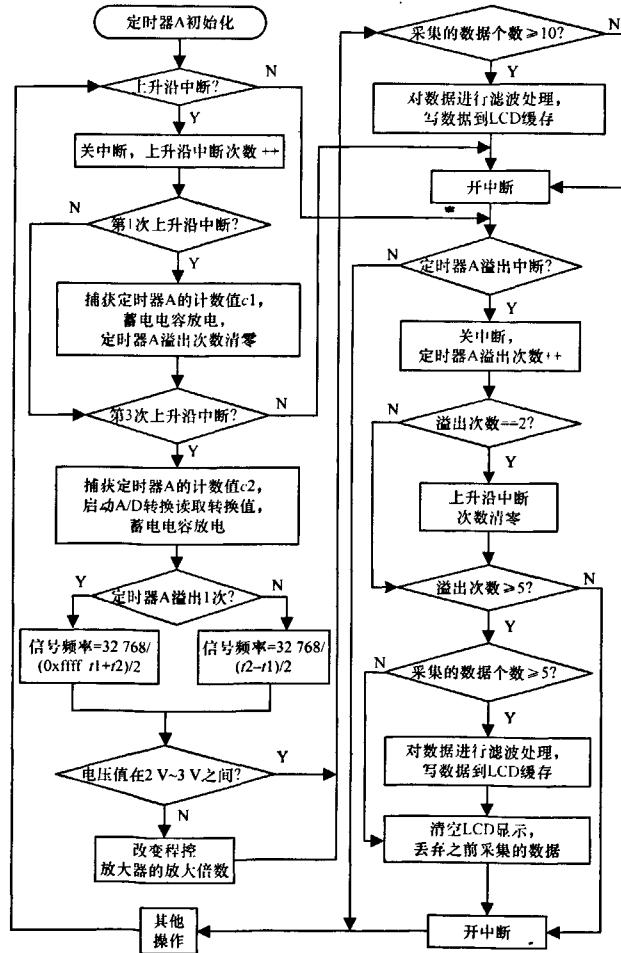


图5 数据采集流程

5 测试实验

在测试实验中，探测车辆(装有本文设计的微波雷达测速测距系统)以 10 km/h, 15 km/h, 20 km/h, …, 60 km/h 的不同速度驶向或驶离目标车辆，在 10 m~150 m 之间每隔 10 m 记录一组数据，即距离与速度的测量值，一共可获得 195 组数据。

本文采用相对误差的方法衡量测量的精度, 即:

$$e = \frac{|D_r - D_t|}{D_r} \times 100\% \quad (3)$$

其中, e 为相对误差; D_r 为测量值; D_t 为真实值。由此可获得误差的分布情况如图 6 所示。从图 6 可见, 速度与距离的精度均在 10% 以下, 并且随着测量值的增大, 相对误差逐渐减小。

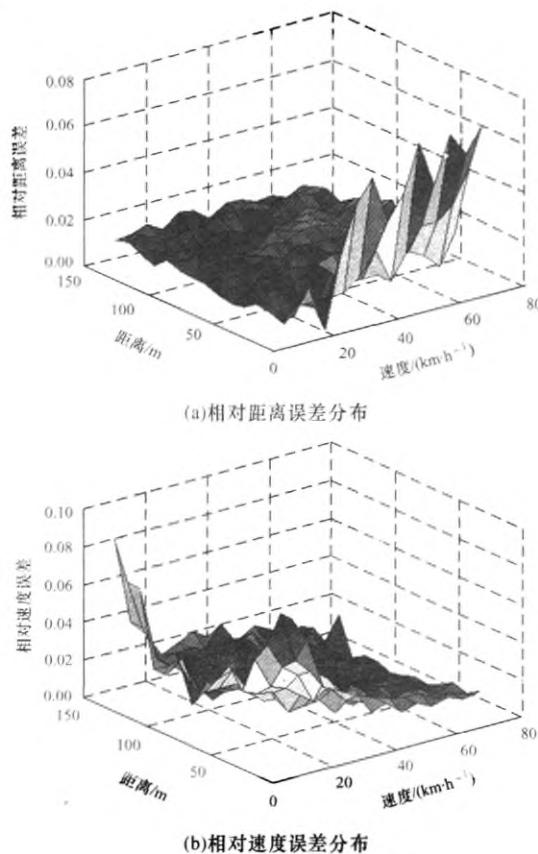


图 6 距离和速度的相对误差分布

(上接第 235 页)

6 结束语

本文针对曲面多通道立体投影系统设计实现了较为精确的软件几何校正与配准方法, 改善了投影效果, 便于安装与维护, 成本低廉, 适合在工程上应用推广。通过精确的立体显示使用户获得身临其境的体验, 具有较好的应用前景。在保证投影区精确配准的同时, 如何进一步提高系统非线性几何校正的精度, 并应用于更复杂的不规则曲面将是下一步的研究方向。

参考文献

- [1] Brown M, Majumder A, Yang Ruigang. Camera-based Calibration Techniques for Seamless Multi-projector Displays[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2005, 11(2): 193-206.
- [2] 胡礼勇, 杨小冈, 缪栋. 一种抗几何畸变的景象匹配方法[J]. 计算机工程, 2007, 33(5): 187-189.

6 结束语

本文分析了微波雷达的测速测距原理, 并在此基础上给出车载雷达测速测距系统的软硬件设计。实验测试结果表明, 该系统的距离探测范围为 10 m~150 m, 相对速度探测范围为 0 km/h~120 km/h, 且它们的相对误差均在 10% 以下。由于微波雷达技术的全天候运行能力强、稳定性好, 能有效降低恶劣天气条件下交通事故的发生概率, 因此在道路交通安全领域具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] 王秀春. 汽车防撞雷达的发展前景[J]. 江苏交通, 2003, (3): 50-52.
- [2] 黄文奎. 毫米波汽车防撞雷达的设计与实现[D]. 上海: 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 2006.
- [3] 向敬成, 张民友. 毫米波雷达及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [4] Sahu O P, Gupta A K. Measurement of Distance and Medium Velocity Using Frequency-modulated Sound/Ultrasound[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008, 57(4): 838-842.
- [5] Texas Instruments. MSP430x43x, MSP430x43x1, MSP430x44x Mixed Signal Microcontroller[EB/OL]. (2009-11-13). <http://www.focus.ti.com/lit/ds/slas344g/slas344g.pdf>.
- [6] 沈建华, 杨艳琴. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[D]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [7] 卢伍根, 王戈, 李鹏. 基于 MSP430F1611 和 TR3000 的无线通信系统设计[J]. 计算机工程, 2007, 33(10): 238-240.
- [8] 高雷, 郑相金, 姬国伟, 等. 基于 MSP430 的 WSN 双向链路设计[J]. 计算机工程, 2010, 36(16): 103-105.
- [9] 鲍吉龙, 应延治. 基于 DSP 技术的汽车防撞雷达[J]. 微计算机信息, 2006, 22(2-4): 188-190.

编辑 陆燕菲

- [3] Raskar R. Immersive Planar Display Using Roughly Aligned Projectors[C]//Proceedings of Conf. on Virtual Reality. New York, USA: IEEE Computer Society Press, 2000: 109-116.
- [4] Raskar R, Brown M, Yang Ruigang, et al. Multi-projector Displays Using Camera-based Registration[C]//Proceedings of IEEE Conf. on Visualization. San Francisco, USA: IEEE Computer Society Press, 1999: 161-168.
- [5] 曾鸿, 张均东, 王海燕. 三通道立体投影轮机模拟器实景仿真系统[J]. 大连海事大学学报, 2007, 33(1): 39-42.
- [6] 孙健. 面向室外移动机器人 THMR-III 导航的路标识别算法的研究[D]. 北京: 清华大学计算机系, 1997.
- [7] Bourke P. Edge Blending Using Commodity Projectors[EB/OL]. (2004-03-01). http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/texture_color/edgeblend/.

编辑 张帆