

模块 14

实验：实时系统



实验：实时系统

14.0 目标

本实验的目的是连接碰撞传感器以检测碰撞，这将是机器人探索其世界所需的一项任务；见图 1。

1. 您将使用边沿触发中断来检测碰撞。
2. 您将使用共享全局变量在线程之间进行通信。
3. 在为多个并发事件提供服务时，您将使用优先级来定义执行顺序。
4. 您将分析服务中断的时间。
5. 您将把此实验与之前的实验结合起来解决问题。

小知识：中断对于嵌入式系统非常重要，它提供了实现实时行为和多线程的机制。

14.1 入门

14.1.1 从下面的软件工程起步

浏览以下 3 个工程：

EdgeInterrupt（P1.1 和 P1.4 上的边沿触发中断）

Lab13_Timers（实验 13 的解决方案）

Lab14_EdgeInterrupts（本实验的入门项目）

14.1.2 参考资料

Meet the MSP432 LaunchPad (SLAU596)

MSP432 LaunchPad User's Guide (SLAU597)

Polulu_BumpSwitch_1404.png, mechanical drawing of switch

JN_LSA_2RSLKB01_V0.1.pdf, line sensor datasheet

14.1.3 阅读材料

Volume 1 Sections 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, and 9.5

Embedded Systems: Introduction to the MSP432 Microcontroller",

Volume 2 Sections 4.5, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, and 5.5

Embedded Systems: Real-Time Interfacing to the MSP432 Microcontroller"

小知识：边沿触发中断是微控制器的一个有用特性，通常用于嵌入式系统。通常，外部事件可以表示为状态的变化。例子包括危险，电源故障，温度过载，系统故障。如果状态是外部数字逻辑信号，则它可以连接到 GPIO 输入，系统可以在该信号的上升沿或下降沿请求中断。

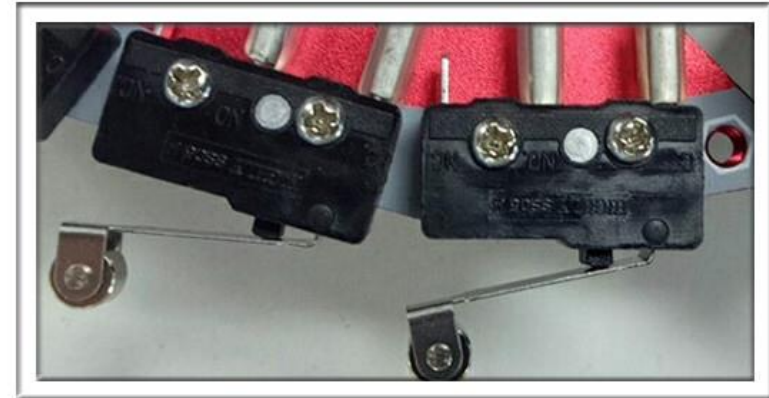


图 1.位于机器人前部的碰撞传感器

14.1.4 本实验所需组件（实验 10 和 12 的组合）

数量	组件描述	制造商	型号
1	MSP-EXP432P401R LaunchPad	TI	MSP-EXP432P401R
6	Bump Switches(SS0505A)	JiangNiu	
1	Line Sensor Array	JiangNiu	JN_LSA_2RSLKB01_V0.2
1	Bump Switches Cable(2*6pin)	JiangNiu	
1	Al Alloy Chassis &Structure	JiangNiu	
1	Power Module	JiangNiu	JN_PDB_2RSLKB01_V0.2



实验：实时系统

1	Motor Driver Board	JiangNiu	
2	Encoder and Dc Motor and Gear Reducer	JiangNiu	
2	φ3mm Couping	JiangNiu	
2	φ65mm Rubber Wheel	JiangNiu	
1	Omni-Directional Wheel	JiangNiu	
1	Interf ace Board For Exp432	JiangNiu	
2	Motor Mounting Bracket	JiangNiu	
1	Battery Holder	JiangNiu	
2	14500 Li-Battery 3.7v 320mAh	JiangNiu	
1	Charger(110-220)	JiangNiu	
1	Interface Board To Motor Driver Module Cable(13pin)	JiangNiu	
1	Power Module Cable(3pin)	JiangNiu	
1	Motor To Motor Driver Module Cable	JiangNiu	

表 1 本实验所需的部件

14.1.5 所需实验设备

示波器（至少 10 kHz 采样的 1 个通道）
逻辑分析仪（至少 10 kHz 采样的 4 个通道）

14.2 系统设计要求

本实验的第一个目标是在机器人移动时使用边缘触发中断来检测碰撞传感器的碰撞。碰撞事件应该导致中断，并且应该在**中断服务程序（ISR）**中读取碰撞开关的状态。

在之前的实验中，我们建议您将用于线路传感器的周期性中断（请参见模块 10 中的 SysTick 中断）作为高优先级，因为它是实时测量。但是，一旦我们将实验集成在一起，碰撞任务的优先级应优先于周期性测量，因为碰撞代表了需要立即服务的危险情况。在实验 10 中，您将碰撞传感器连接到机器人并将它们连接到微控制器。在本实验中，您将把传感器的软件服务从周期性中断转移到事件驱动的触发器。

本实验的第二个目标是将组件集成到单个硬件软件解决方案中，该解决方案执行简单但集成的任务。该集成任务必须包括碰撞传感器的边沿触发中断接口。

随意调整/组合以前实验的解决方案/传感器。例如，您可以探索竞技场中的围栏，如图 2 所示。当机器人碰撞到墙壁时，它可以稍微后退，转弯，然后继续前进。

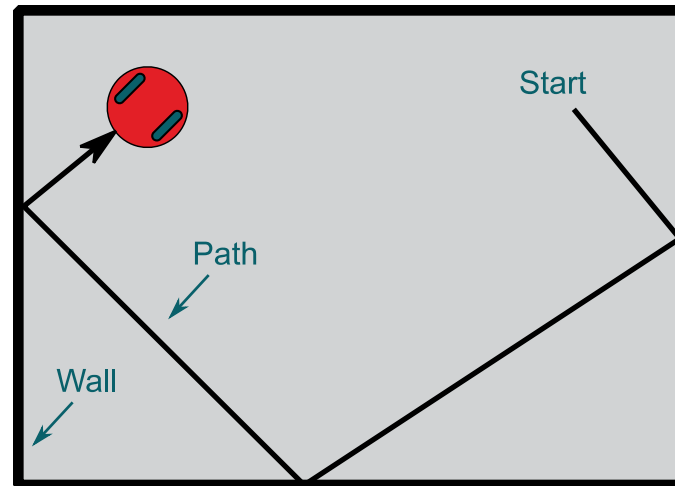


图 2 一个可能的集成迷宫是在盒子里面探索的



实验：实时系统

此高级策略应与碰撞开关触摸边沿中断引起的边沿触发 ISR 分开执行。例如，您可以定义三个线程

- 周期性 Timer_A1 中断运行高级策略。
- 边沿触发的碰撞中断。
- 主程序初始化，然后在循环中什么都不做。

14.3 实验准备

您在实验 6 中将 JN_LSA_2RSLKB01_V0.1 线传感器连接回来。您在实验 10 中将碰撞传感器连接回来。图 3 显示了六个传感器的一个可能位置。图 4 显示了用于连接开关的简单电路。

注：TI MSP432 引脚不耐 5V；您必须用+ 3.3V 为线传感器和碰撞传感器供电。

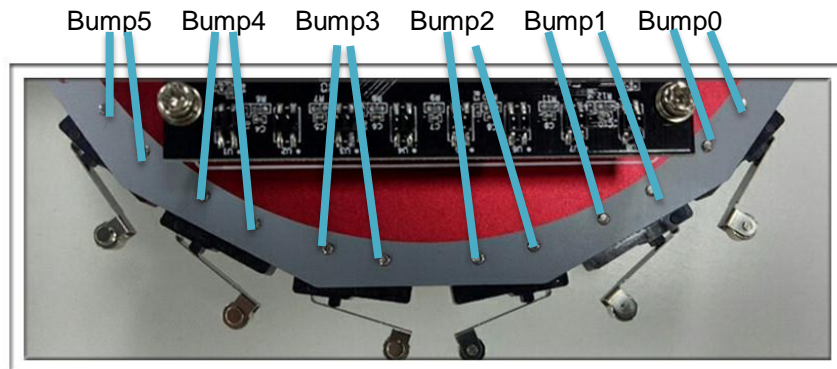


图 3. 连接到机器人前部的碰撞传感器（底视图）

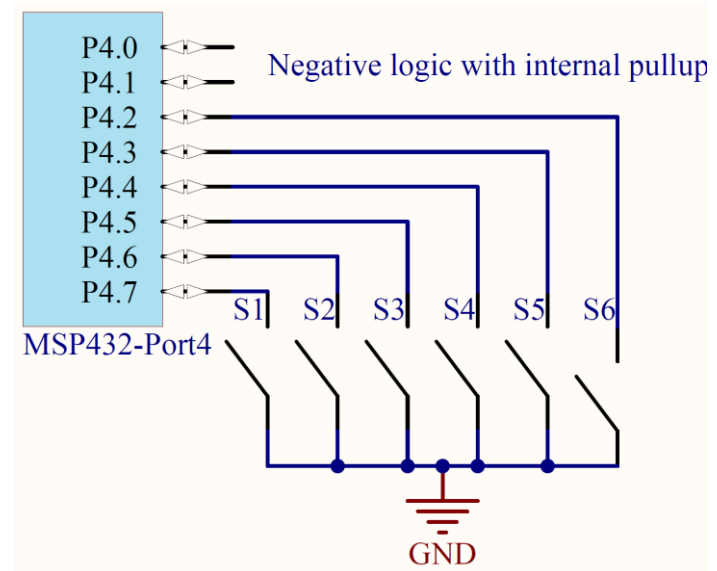


图 4. 一个可能的碰撞传感器接口电路。使用端口 4，将与 CC3100 / CC3120 wifi 模块冲突。但是，只有端口 1 - 6 可以触发中断。

14.4 实验步骤

14.4.1 连接开关和电机

如果您没有将碰撞传感器作为实验 10 的一部分进行接口，请按照实验 10 说明将传感器连接到机器人，并将信号连接到微控制器。如果您没有将电机作为实验 12 的一部分连接，请按照实验 12 的说明将电机连接到机器人，并将信号连接到微控制器。

14.4.2 开发和调试边沿触发中断

您将编写一个函数来初始化碰撞传感器，`BumpInt_Init()`。此功能配置相应的端口引脚，根据需要启用内部电阻，并启用边沿触发中断。您需要一种方法将低



实验：实时系统

级别设备驱动程序代码与高级别机器人系统集成。一种方法是将 ISR 置于高级别。这是一种简单的方法，但它确实将高级别代码与低级别代码交织在一起。更优雅的解决方案是使用钩子或函数指针。初始化接口时，用户提供的功能动态地从高级别传递到低级别。这个高级别函数将在 ISR 处理边缘触发事件的碰撞时调用。为了提供附加功能，您的 ISR 将从传感器传递 6 位值。

```
void BumpInt_Init(void(*task)(uint8_t));
```

注：在以前的实验中，您处理了周期性 ISR 中的碰撞。如果中断周期为 10ms，则平均延迟为 5ms，因此碰撞事件的最坏情况延迟将为 10ms。当作为高优先级边缘触发中断运行时，延迟将大约为 1 μ s。

您设计并测试了 Motor_Stop 功能，作为实验 13 的一部分。有关电机的更多信息，请参阅实验 12 和 13。例如，如果机器人需要停止，您可以定义一个函数

```
uint8_t CollisionData, CollisionFlag; // mailbox
void HandleCollision(uint8_t bumpSensor) {
    Motor_Stop();
    CollisionData = bumpSensor;
    CollisionFlag = 1;
}
```

HandleCollision 在高级别软件中定义。初始化碰撞传感器时，会传入指向此高级别例程的指针。

```
BumpInt_Init(&HandleCollision);
```

此函数将从 ISR 调用，因此其执行时间应该短且有限。换句话说，请避免 ISR 中的长延迟循环。

14.4.3 分析

使用示波器和未使用的引脚来测量碰撞检测器的延迟。示波器的一个通道显示下降沿（碰撞），第二个通道显示 ISR 运行的时间。您可以使用三重切换技术来测量延迟（从碰撞到服务开始的延迟）和响应时间（从碰撞到电机停止的延迟）。

您将需要一个真实的示波器或逻辑分析仪（而不是 TExaS），因为时间将在微秒级（TExaS 的时间分辨率为 100 μ s）。

14.4.4 集成机器人系统

在调试集成系统时，使用实验 10 中学习的转储技术在运行期间记录战略信息。操作机器人约一分钟，然后观察调试信息，以验证机器人传感器和执行器是否按预期运行。

如果在周期性中断中运行高级策略，则很容易实现类似的机器人命令语言如：

1. **Back Up** 慢慢地持续 1 秒钟
2. **Turn Right** 慢慢地持续 5 秒（90 度）
3. **Go Forward** 快速 1 分钟（无限时间）
4. **Repeat steps**

由于此任务在周期性中断中运行，因此软件没有循环。更具体地说，它没有 do-while-loops，没有 while-loops，也没有 for-loops。这种软件结构将大大提高处理器的执行时间。

在发生冲突时，您将停止并重新启动这一组简单的命令。

14.5 疑难解答

碰撞传感器不起作用：

- 检查接线，如图 3 所示。图 3 显示了负逻辑和内部上拉电阻。由于没有外部电阻，因此需要在软件中配置内部电阻。
- 使用电压表，示波器或逻辑分析仪查看信号。您应该看到微控制器引脚上的电压在按下时为 0，在释放时为 3.3V。一个开关的操作不应影响其他开关上的信号。
- 查看调试器中的端口寄存器。在调试器进行定期更新并运行软件时，您应该看到端口输入寄存器随交换机而变化。

机器人无法正常运行：

- 不要试图一次性解决整个项目。将问题分解为许多小组件并分别测试每个组件。测试两个组件后，将这两个组件组合在一起并测试两个组件。在系统完成之前逐步添加组件。
- 使用分析技术来观察 CPU 利用率。特别是，衡量每个线程所需的百分比时间。观察一个任务的执行是否阻止另一个线程运行。
- 使用实验 10 中的调试技术，可以在机器人运行时实时观察输入和输出。

14.6 请思考



实验：实时系统

在本节中，我们列出了完成本实验后要考虑的思考问题。这些问题旨在测试您对本实验中概念的理解。

- 中断优先级如何影响机器人的特性？
- 假设您知道转动大约 90 度需要您运行电机 2 秒钟。您会如何使用中断来执行此操作？
- 哪些因素会影响此机器人的延迟？
- 如何使用中断从 Lab 6 运行有限状态机，如图 7 所示？
- 您应该在主程序中做些什么来节省电力？

- 使用端口引脚和示波器执行执行分析
- 在机器人上执行高级任务

14.7 其它挑战

在本节中，我们列出了您可以执行的其它活动，以进一步探索此模块的概念。您可以扩展系统或提出完全不同的东西。例如，

- 集成 Lab 11，以便在 LCD 上显示调试信息。
- 集成 Lab 10，以便将调试信息记录到闪存 ROM 中。
- 使用 CCS 中的调试功能执行执行分析。
- 使用 CCS 中的调试功能在 MSP432 上执行功率分析。但是，机器人中使用的大部分电力都是从电池输送到电机，因此 CCS 将无法监控此电源。要测量总功率，您需要从实验 12 中进行当前测量。

14.8 接下来是哪些模块？

这是本课程中中断的第一次使用。以下模块将基于此模块构建：

- 模块 15) 使用 ADC 将 IR 距离传感器连接到机器人。
- 模块 16) 将转速计连接到微控制器并使用输入捕获来测量车轮速度。
- 模块 17) 组合模块 12, 13 和 16 以开发闭环电机控制器。在此模块中，您将能够以恒定速度旋转电机。

14.9 您应该已经学会

在本节中，我们将回顾您应该在本单元中学到的重要概念：

- 使用边沿触发的中断来实现多线程
- 使用全局变量在线程之间进行通信

IMPORTANT NOTICE FOR TI DESIGN INFORMATION AND RESOURCES

Texas Instruments Incorporated ("TI") technical, application or other design advice, services or information, including, but not limited to, reference designs and materials relating to evaluation modules, (collectively, "TI Resources") are intended to assist designers who are developing applications that incorporate TI products; by downloading, accessing or using any particular TI Resource in any way, you (individually or, if you are acting on behalf of a company, your company) agree to use it solely for this purpose and subject to the terms of this Notice.

TI's provision of TI Resources does not expand or otherwise alter TI's applicable published warranties or warranty disclaimers for TI products, and no additional obligations or liabilities arise from TI providing such TI Resources. TI reserves the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its TI Resources.

You understand and agree that you remain responsible for using your independent analysis, evaluation and judgment in designing your applications and that you have full and exclusive responsibility to assure the safety of your applications and compliance of your applications (and of all TI products used in or for your applications) with all applicable regulations, laws and other applicable requirements. You represent that, with respect to your applications, you have all the necessary expertise to create and implement safeguards that (1) anticipate dangerous consequences of failures, (2) monitor failures and their consequences, and (3) lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate actions. You agree that prior to using or distributing any applications that include TI products, you will thoroughly test such applications and the functionality of such TI products as used in such applications. TI has not conducted any testing other than that specifically described in the published documentation for a particular TI Resource.

You are authorized to use, copy and modify any individual TI Resource only in connection with the development of applications that include the TI product(s) identified in such TI Resource. NO OTHER LICENSE, EXPRESS OR IMPLIED, BY ESTOPPEL OR OTHERWISE TO ANY OTHER TI INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT, AND NO LICENSE TO ANY TECHNOLOGY OR INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT OF TI OR ANY THIRD PARTY IS GRANTED HEREIN, including but not limited to any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information regarding or referencing third-party products or services does not constitute a license to use such products or services, or a warranty or endorsement thereof. Use of TI Resources may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

TI RESOURCES ARE PROVIDED "AS IS" AND WITH ALL FAULTS. TI DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING TI RESOURCES OR USE THEREOF, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ACCURACY OR COMPLETENESS, TITLE, ANY EPIDEMIC FAILURE WARRANTY AND ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF ANY THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

TI SHALL NOT BE LIABLE FOR AND SHALL NOT DEFEND OR INDEMNIFY YOU AGAINST ANY CLAIM, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY INFRINGEMENT CLAIM THAT RELATES TO OR IS BASED ON ANY COMBINATION OF PRODUCTS EVEN IF DESCRIBED IN TI RESOURCES OR OTHERWISE. IN NO EVENT SHALL TI BE LIABLE FOR ANY ACTUAL, DIRECT, SPECIAL, COLLATERAL, INDIRECT, PUNITIVE, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR EXEMPLARY DAMAGES IN CONNECTION WITH OR ARISING OUT OF TI RESOURCES OR USE THEREOF, AND REGARDLESS OF WHETHER TI HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

You agree to fully indemnify TI and its representatives against any damages, costs, losses, and/or liabilities arising out of your non-compliance with the terms and provisions of this Notice.

This Notice applies to TI Resources. Additional terms apply to the use and purchase of certain types of materials, TI products and services. These include; without limitation, TI's standard terms for semiconductor products (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>), [evaluation modules](#), and [samples](http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm) (<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>).

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2018, Texas Instruments Incorporated