

使用 MQX™ RTOS 和塔系统设计 Kinetis 微控制器工作原型

Kinetis 智能喷水系统

作者: Maclain Lobdell, Ron Kim, Anthony Huereca
微控制器解决方案部门

内容

1 简介

设计一个基于微控制器的系统会消耗大量的时间和资源，因此必须快速而小心地开发硬件和软件，避免出现推迟上市的问题。幸运的是，飞思卡尔提供软件和硬件工具，缩短开发时间并实现快速原型设计。快速原型设计系统具有降低整体项目风险的能力，并且提高了产品成功的可能性。该应用说明的目的是提供一工作示例，说明如何使用飞思卡尔软件和硬件工具开发基于 Kinetis 微控制器的系统。

采用以下软件和硬件工具：

- 飞思卡尔 MQX™ 实时操作系统(RTOS)
- 飞思卡尔塔硬件原型设计平台

此外，该应用说明还提供了采用飞思卡尔 Kinetis ARM Cortex-M4 微控制器几个强大功能的示例。

以下为该示例中采用的 Kinetis ARM Cortex-M4 微控制器的特性和功能：

- 段式 LCD
- 实时时钟
- FlexMemory
- 连接至 Wi-Fi 系统的 SPI 接口
- 连接至图形 LCD 显示器的 FlexBus 外部总线接口
- 通过 ADC 实现触摸屏
- 通过 I2C 和外部飞思卡尔的传感器通信
- 以太网控制器
- 硬件触摸传感器接口(TSI)

1	简介.....	1
2	智能家用灌溉（喷水）系统.....	2
3	系统概述.....	3
4	软件.....	12
5	参考.....	15

- 低功耗模式，配有低漏电唤醒单元(LLWU)
- 通用输入/输出(GPIO)

有关其他信息，请参见参考部分。

2 智能家用灌溉（喷水）系统

节约资源对减少人类对环境的影响非常重要。随着人口的持续增长和资源的日益匮乏，社会和个人必须想办法少花钱多办事。

很多社区的住宅和商用物业安装有家用灌溉喷水系统，用于补充降雨，使草坪和花园保持郁郁葱葱。遗憾的是，很多现有系统低效浪费。随着无处不在的无线网络的发展，现在可以创建连接智能网络的高效系统。

这些系统可以与网络通信获取天气数据，连同其本地传感器一起确定最有效的喷洒计划。飞思卡尔提供微控制器工具和软件创建了这一可以对世界产生积极影响的产品。

2.1 智能家用灌溉（喷水）系统

我们选择提供一个家用灌溉系统的原型，它有如下优势：

- 它是一种简单可识别的应用
- 该概念可以扩展到许多更复杂和要求更苛刻的应用
- 它展示了一个完整的解决方案
- 它确实有效

2.2 系统要求

系统要求如下：

- 实用、高性能、高效率
 - 小尺寸
 - 低成本、低功耗
 - 开发时间短
 - 灵活而易于扩展
 - 连接至通用 Wi-Fi 或有线以太网家用网络
- 直观的用户界面
 - 触摸屏幕图形用户界面
 - 智能手机 Web 浏览器界面或智能手机应用程序
 - 用于显示信息的段式 LCD
- 可靠系统
 - 断电恢复
 - 段式 LCD 故障检测
 - 分析系统性能和天气数据的数据录入
- 该系统将设在室内（例如车库）

2.3 开发要求

- 使用飞思卡尔微控制器软件。

- 使用 IAR Embedded Workbench® for ARM 或 Freescale CodeWarrior Development Studio for Microcontrollers 进行开发。
- 使用飞思卡尔塔模块进行低成本硬件原型设计。无需调试硬件。
- 为期六周的开发计划，三名工程师投入硬件/软件开发、集成、测试和调试。
- 如果需要，MQX RTOS 付费支持可能会产生额外费用。

3 系统概述

该应用说明介绍了两种系统实现，分别强调了 Kinetis 微控制器的不同特性和功能。

系统 1: Kinetis K60N512 家用灌溉系统控制器

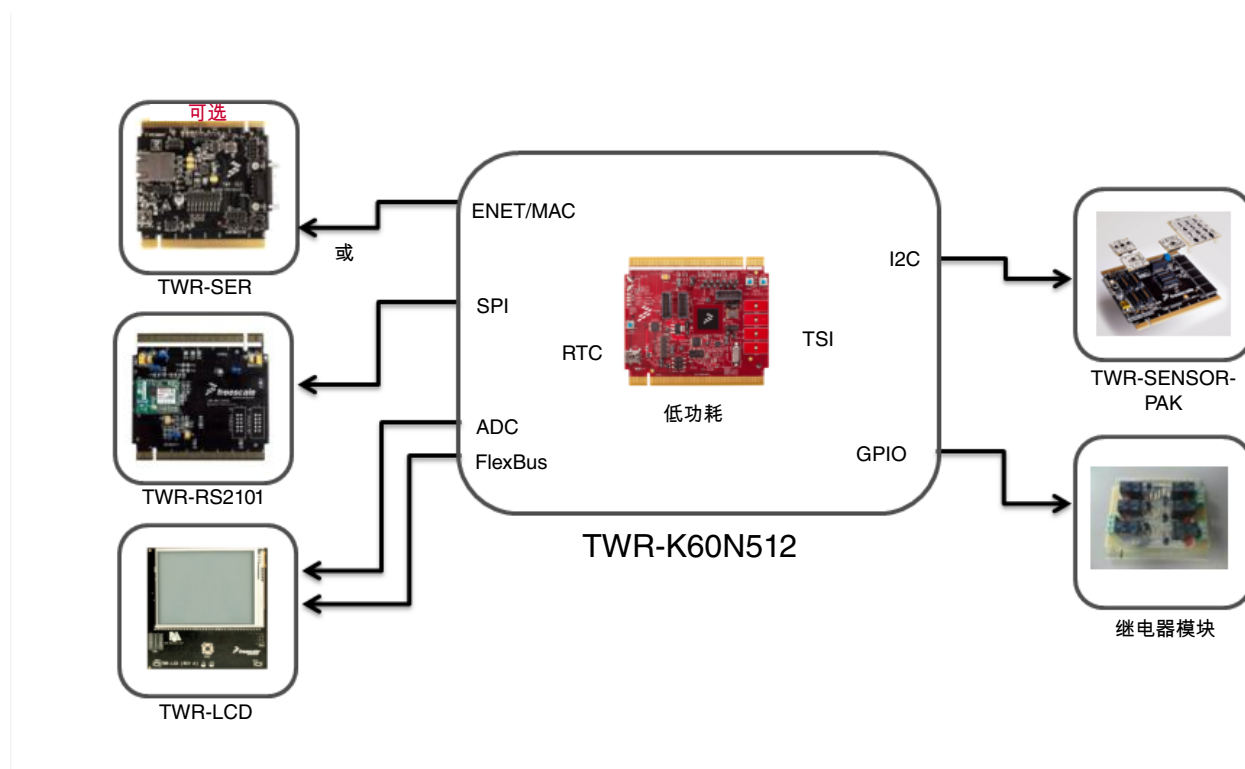


图 1. Kinetis K60N512 系统框图

特性:

- 连接至 Wi-Fi 系统的 SPI 接口
- 连接至图形 LCD 显示器的 FlexBus 外部总线接口
- 通过 ADC 实现触摸屏
- 以太网控制器
- 硬件触摸传感器接口(TSI)
- 实时时钟
- 通过 I2C 和外部飞思卡尔的传感器通信
- 低功耗模式，配有低漏电唤醒单元
- 通用输入/输出(GPIO)

系统 2: Kinetis K40X256 家用灌溉系统控制器

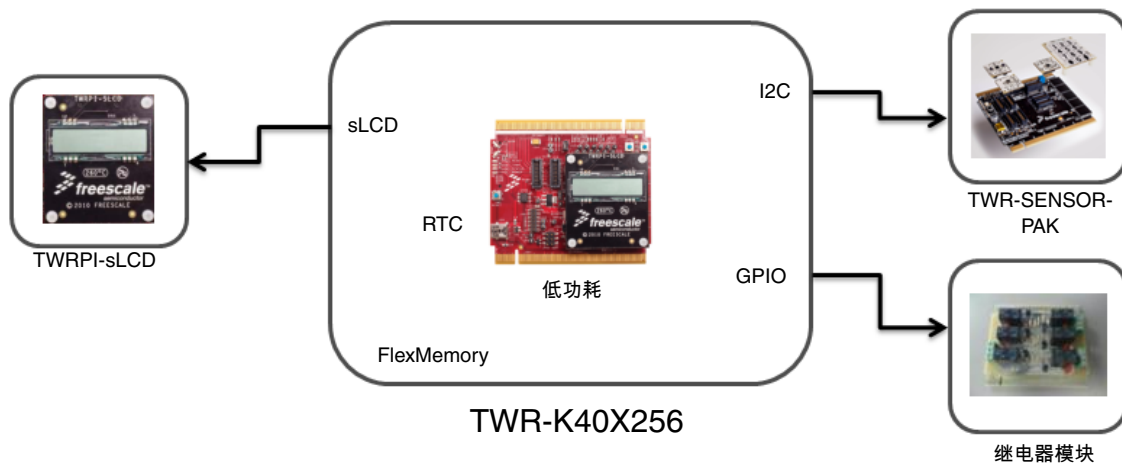


图 2. Kinetis K40X256 系统框图

特性:

- 段式 LCD
- FlexMemory
- 实时时钟
- 与外部飞思卡尔传感器的 I2C 通信
- 低功耗模式，配有低漏电唤醒单元
- 通用输入/输出

3.1 塔系统的自定义继电器模块

塔系统是原型设计的优秀平台，因为它可以使任何人轻松构建模块对接到系统。飞思卡尔与合作伙伴提供很多塔模块来为系统提供原型，然而很多应用程序需要其他应用特定的电路。这可以通过 TWR-Proto 原型设计模块上的接线电路或通过设计和构建自定义塔模块来实现。塔模块价格便宜，因为它不需要用于对接其他电路板的昂贵连接器。通过塔式升降模块运行的众多信号都需要通过卡边缘的连接。

我们为该原型系统设计和构建了一个自定义模块。该模块含有继电器电路，能够切换典型家用灌溉系统所需的 24V 交流电源。继电器电路由微控制器模块上的 GPIO 信号控制。GPIO 信号从微控制器模块通过塔式升降模块向下传递到继电器模块，从而控制继电器。

有关继电器模块的更多信息，请参见该应用说明的参考部分。

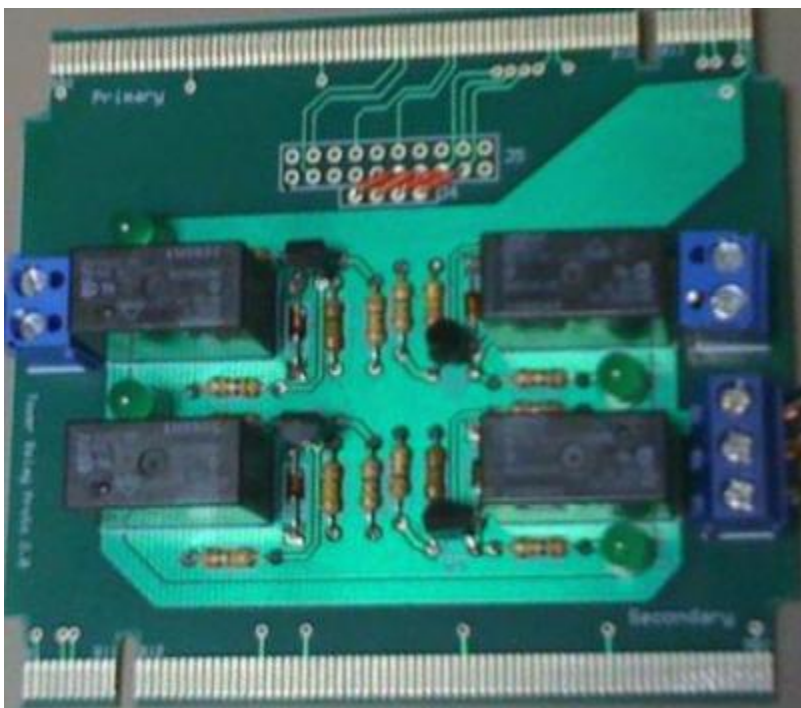


图 3. 继电器模块

3.2 Kinetis K60 系统

Kinetis K60 系统上的智能喷水系统的实现展示了以下功能：

- 图形电阻式触摸型 LCD，显示系统状态和接收用户输入
- HTTP Web 服务器，用于远程状态和控制。通过 Wi-Fi 或有线网络提供。
- 使用实时时钟录入当天的准确时间
- 当系统处于非活动状态时呈现低功耗状态，节省电力
- TSI 用于唤醒低功耗状态下的系统

3.2.1 通过塔系统进行原型设计

3.2.1.1 采用的硬件模块

- Kinetis K40 MCU 模块(TWR-K40X256)
- 塔式传感器模块(TWR-SENSOR-PAK)
- 塔式升降模块(TWR-ELEV)
- 自定义继电器模块

除了专为该原型运用所创建的自定义继电器模块外，<https://www.freescale.com> 中的所有模块均可用。

3.2.2 安装系统

有关硬件和软件安装的详细信息，请参见源代码随附的安装指南。

3.2.3 每个关键功能的设计实现

有关详情，请参见该应用说明的参考部分。

图形 LCD

该项目中使用的图形 LCD 提供了美观而易于使用的系统界面。除了图形显示功能外，它还具有一个电阻式触摸接口，提供触屏输入。通过 SPI 或外部总线和模数转换器(ADC)，这种 LCD 几乎可以用于任何 MCU。智能 LCD 屏幕（如 TWR-LCD 上使用的屏幕）是具有集成显存和串行或并行总线接口的面板。LCD 面板发展到集成显存和 LCD 控制器的阶段，意味着 LCD 系统可以很容易地实现，而无需采用芯片上配有图形控制器的传统微处理器(MPU)。

MCU 模块通过 8 位或 16 位外部总线或通过 SPI 与 TWR-LCD 通信。该应用采用 16 位模式的 FlexBus 外部总线接口。屏幕分辨率为 320x240。屏幕每 100 毫秒刷新一次，即每秒刷新 10 次。

飞思卡尔的免费 eGUI 软件支持该 LCD。该软件实现了驱动智能 LCD 的图形用户界面。并且专为此应用系统创建了图形，eGUI 图像转换器用于将它们输入 eGUI 软件。有关 eGUI 的更多信息，请参见参考部分。

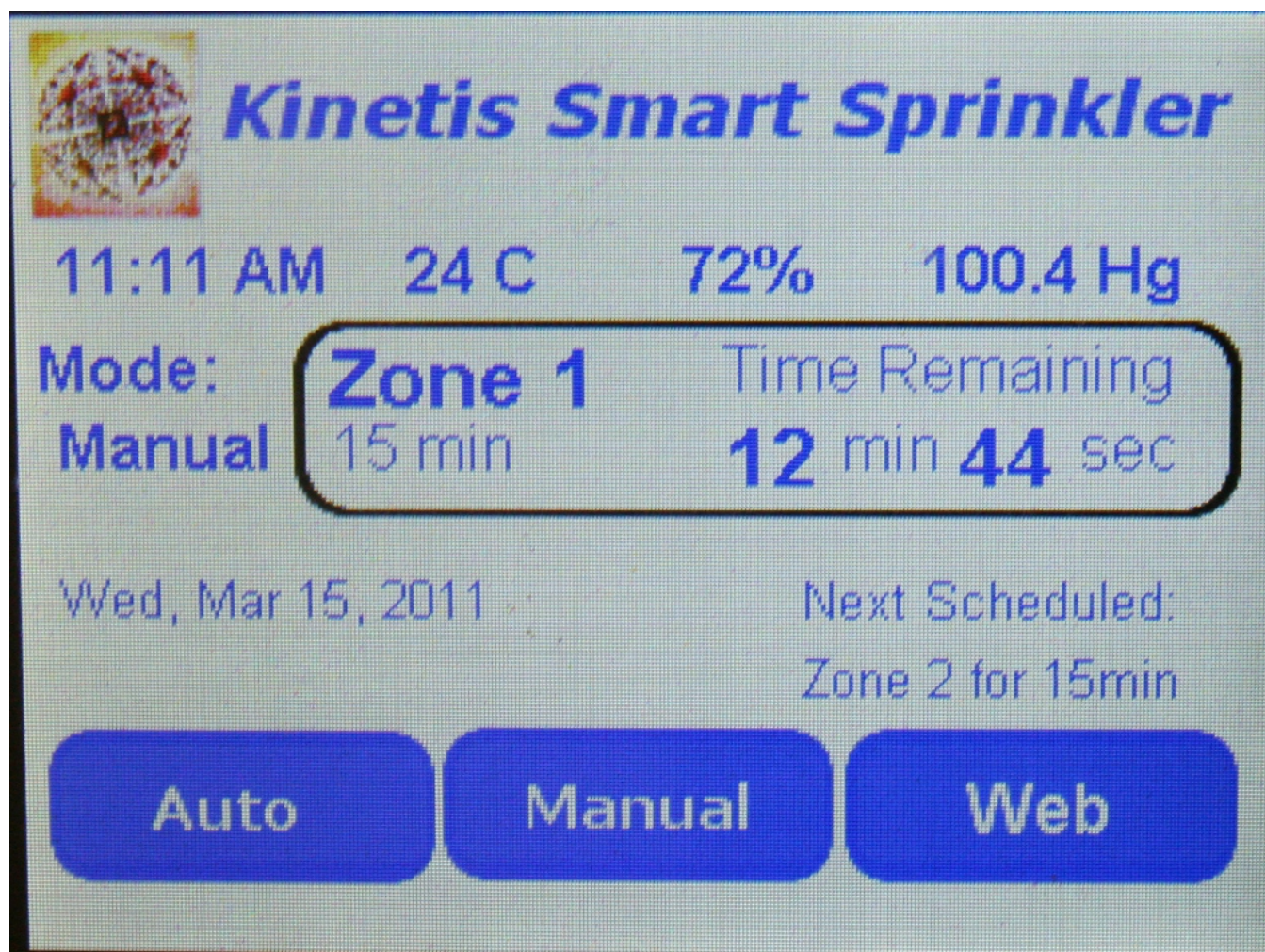


图 4. 配有电阻式触摸界面的图形 LCD

连接至 TWR-LCD 的 FlexBus 接口

对于该应用，FlexBus 用于将屏幕图像数据发送至 TWR-LCD 模块。FlexBus 配置为 16 位宽的非复用模式，运行频率为 12 MHz。屏幕图像数据被发送至 TWR-LCD 模块，每 100 毫秒刷新一次屏幕。有关驱动器与 TWR-LCD 之间接口的信息，请参见 <https://www.freescale.com> 中提供的 eGUI 参考手册。

TWR-LCD 上的电阻式触摸屏支持

TWR-LCD 电阻式触摸屏的模拟输出由连接至 Kinetis MCU 的四个 ADC 通道测量。测量结果确定触摸事件的 x-y 位置。在该应用中，ADC 转换的结果每 100 毫秒轮询一次。

Wi-Fi/有线网络

该系统已连接至网络，可以进行远程监控。此外，有了网络连接，还能够使用先进的节水技术来节约用水，例如和天气服务器通信。该系统集成了用于远程监控的基本网络功能。其他软件框架还有待开发，以便实现系统与天气服务器之间的通信并调整其洒水计划。

该系统使用 DHCP 从网络获取 IP 地址。“Web”详细信息页面中的图形界面上显示 IP 地址。如果需要，该系统还可以提供使用静态 IP 地址的选项。

MQX 实时通信套件(RTCS)用于管理 TCP/IP 网络。RTCS 网络通过 Wi-Fi 和有线网络接口发挥相同的功能。

Wi-Fi 接口详细信息

该系统使用 Redpine RS9110-N-11-21 Wi-Fi 模块提供 802.11b/g/n 网络无线连接。该系统通过 SPI 接口与 Wi-Fi 模块通信。SPI 数据速率为 1 MHz。有关更多信息，请参见 TWR-WIFI-RS2101 文档。有关更多详细信息，请参见参考部分。

有线网络详细信息

通过采用 Kinetis K60 设备上提供的 10/100 Mbps 以太网 MAC (ENET)内置以太网控制器，可以实现有线以太网连接。以太网控制器通过简化媒体独立接口(RMII)连接至以太网 PHY 设备。TWR-SER 串行接口模块提供以太网 PHY 和 RJ-45 插座，用于将系统连接至有线网络。

HTTP Web 服务器

该系统使用 HTTP Web 服务器连接至笔记本电脑、平板电脑或智能手机上的 Web 浏览器。Web 服务器功能由 MQX RTCS 提供。

HTML 网页存储在系统的内部存储器中，并在请求时提供给 Web 浏览器。在软件开发期间，使用 MQX 提供的 mktf 工具将 HTML 网页转换为普通文件系统数据。然后在编译软件应用程序时网页数据被编译到应用程序中。

AJAX 技术用于创建交互式网页。HTML 页面包含 JavaScript，向服务器发出请求来执行通用网关接口(CGI)功能。这些功能或者将信息返回给浏览器，或者在系统中执行某些动作。网页上的表单和数据与应用程序中的功能进行交互，支持用于监控系统的 Web 浏览器界面。有关更多详细信息，请参见 MQX 的/rctcs/examples 文件夹中的 httpsrv 软件示例。



图 5. 网页界面

当天的时间

当前的日期和时间通过实时时钟(RTC)计算，该时钟由 K60 塔模块底部的电池支持。MQX 可以通过 API 调用来计算和存储当前的日期和时间，简化了用户必须执行的代码。

触摸感应界面

TSI 用于提供与系统对接的更多选项。在这种情况下，它可以打开和关闭 TWR-LCD 屏幕。由于它采用电容式触摸，避免采用难看突出的按钮。Kinetis 的 TSI 模块自动采样输入，在扫描完成之后，在中断里面判断触摸或者是和触摸相关的检测什么时间发生。

传感器数据采集

塔系统中连接的 TWR-SENSOR-PAK 模块采集温度、湿度和气压数据。传感器模块包含一个 MC9S08QE96 MCU，通过 I2C 对各种传感器进行采样。Kinetis 系统通过 I2C 与 MC9S08QE96 通信以获取那些传感器读数的结果。此外，设置 TWR-Sensor 上的跳线可以通过 I2C 直接读取传感器数据。但是，在该应用中，MC9S08QE96 用于收集数据。

GPIO

通用输出信号用于控制继电器打开/关闭连接至系统的喷水阀。继电器位于专为该应用设计的自定义模块上。

3.3 Kinetis K40 系统

Kinetis K40 系统上的智能喷水系统的实现展示了以下功能：

- 段式 LCD 实现在显示段中显示故障检测的系统状态
- FlexMemory 实现数据录入
- FlexMemory 实现电源中断后快速系统恢复
- 当喷水系统处于非活动状态时呈现低功耗状态，节省电力

3.3.1 通过塔系统进行原型设计

3.3.1.1 采用的硬件模块

- Kinetis K40 MCU 模块(TWR-K40X256)
- 塔式传感器模块(TWR-SENSOR-PAK)
- 塔式升降模块(TWR-ELEV)
- 自定义继电器模块

除了专为该原型运用所创建的自定义继电器模块外，<https://www.freescale.com> 中的所有模块均可用。

3.3.2 安装系统

有关硬件和软件安装的详细信息，请参见源代码随附的安装指南。

3.3.3 每个关键功能的设计实现

有关详情，请参见该应用说明的参考部分。

段式 LCD

使用段式 LCD 显示器是向用户显示信息的一种相对简单、成本较低的方式。

在本应用中使用段式 LCD 显示当前喷洒区及其剩余时间。当系统不喷洒某特定区时，LCD 用于显示当天的时间。



图 6. 段式 LCD

有关 sLCD 初始化和使用的详情，请参见 Kinetis 快速参考用户指南和 Kinetis 示例代码。

段码故障检测

如果一个或多个 LCD 段码中存在缺陷，那么 LCD 上显示的信息可能会导致用户根据该错误的信息作出不正确的决定。在工业和医疗应用中，在段式 LCD 上表示准确信息至关重要，否则健康和安全会面临风险。

在大部分采用段式 LCD 的应用中，系统启动时执行的初始化例程能对每个 LCD 段码执行诊断检查，确保它能正常亮灭。

然而，如果系统初始化后发生一个段码故障，但是该故障类型仍允许显示有效的字符或数字，那么用户可能不知道段式 LCD 上显示的信息可能已经存在问题。

看看下面的示例，其中由于一个 LCD 底板中出现对地短路，第二个数字的中心 LCD 段码不正确地变亮。一个 LCD 段码中的一个故障就可能导致实际温度(28°C)被错误地显示为(20°C)。

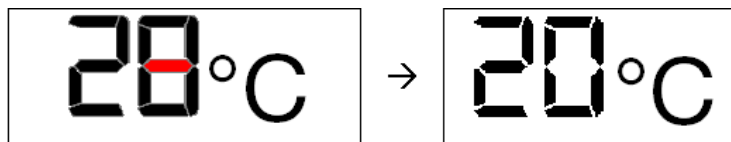


图 7. 段式 LCD 显示器上的故障

集成在 Kinetis K40 MCU 中的段式 LCD 模块设有一个功能，能够实时检测段码故障。

故障检测电路的工作方式是在 LCD 引脚上施加输出低电平电压并监测段码矩阵上的电容特性。开路或短路状态连接改变段码矩阵的电容特性，因此测量电容和用户定义的参考值差值太大能让段式 LCD 控制器生成一个中断，发出段码故障错误状态的信号。

在智能喷水系统设计中实施段式 LCD 故障检测，方式是允许用户通过 K40 塔板上的一个按钮启用/停用故障检测。当故障检测启用时，一旦 LCD 显示器、显示器连接器或 MCU 与显示器之间的板连接出现故障，终端窗口上就会显示错误消息。

通过 FlexMemory 录入数据

在许多系统中，在非易失性存储器中对特定的参数集进行数据录入有助于跟踪系统随时间变化的性能。当然，参数的数量以及参数值历史日志的长度不超过非易失性存储器的大小和写入寿命。

Kinetis 系列 MCU 集成非易失性存储器，具备 FlexMemory 功能。FlexMemory 是一套功能多样、强大的解决方案，能让设计人员将非易失性存储器配置为字节可写入/可擦除 EEPROM、数据 flash(D-Flash)或两者结合，具体取决于应用的需求。

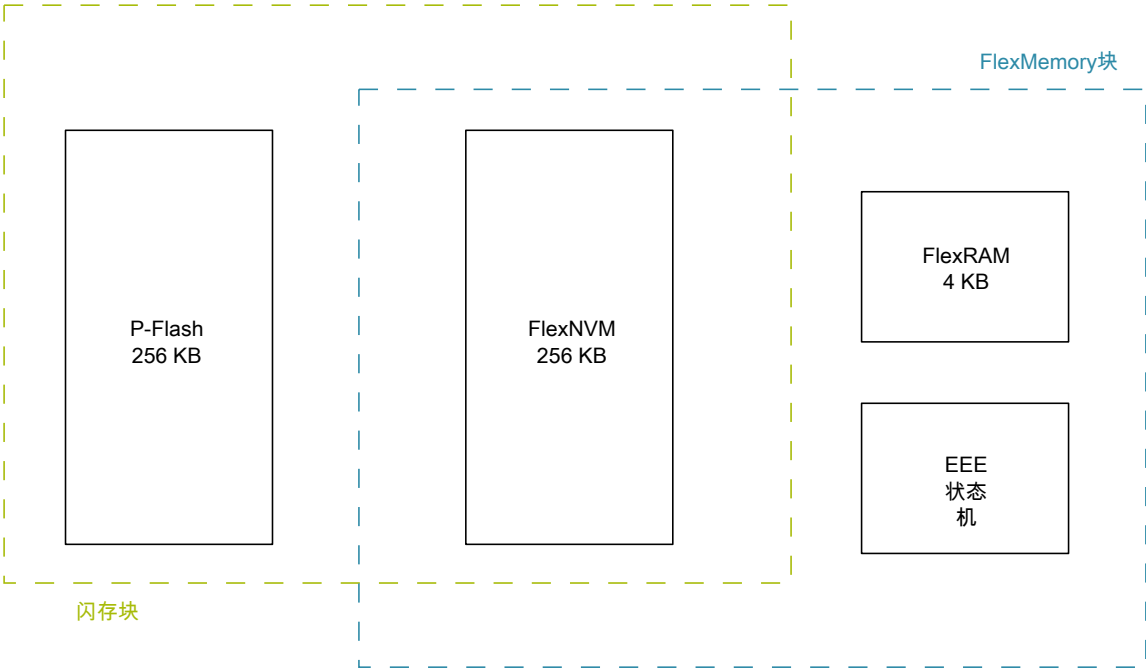


图 8. Kinetis flash 块

根据应用的需求，系统设计人员可以配置 FlexMemory 以指定 D-Flash 大小、EEPROM 大小以及为 EEPROM 备份分配的空间。示例配置如下所示：

表 1. FlexMemory 配置选项

Flexmemory 配置		
FlexNVM 配置		FlexRAM 配置
256 KB 数据 flash	0 KB 用于 EEPROM 备份	传统 RAM (4 KB)
224 KB 数据 flash	32 KB 用于 EEPROM 备份	字节可写 EEPROM 可配置，32 字节至 4 KB
192 KB 数据 flash	64 KB 用于 EEPROM 备份	
128 KB 数据 flash	128 KB 用于 EEPROM 备份	
64 KB 数据 flash	192 KB 用于 EEPROM 备份	
32 KB 数据 flash	224 KB 用于 EEPROM 备份	
0 KB 数据 flash	256 KB 用于 EEPROM 备份	

EEPROM 寿命取决于指定的 EEPROM 大小以及为 EEPROM 备份分配的空间。

如果数据 flash 的空间不是非常重要的，那么分配 FlexNVM 比较多的空间作为 EEPROM 的备份空间，能延长 EEPROM 写入寿命。

例如，如果系统设计人员需要完整 4 KB EEPROM 且将所有 256 KB FlexNVM 都分配为 EEPROM 备份，那么预计的 EEPROM 寿命能达到 310,000 个周期。

或者，如果系统设计人员仅需要 32 字节 EEPROM 数据且将所有 256 KB FlexNVM 都分配为 EEPROM 备份，那么预计的 EEPROM 寿命能超过 1000 万个周期。

有关寿命计算的详情，请参见 <https://www.freescale.com> 的应用说明 AN4282。

在此特定应用中，K40 FlexMemory 被配置为将 FlexRAM 用作 4 KB EEPROM，将整个 FlexNVM (256 KB)用作 EEPROM 备份。

智能喷水系统的传感器通过 I2C 总线将温度、百分比湿度、气压、活动喷水区、喷水区喷洒时长以及喷水模式数据发送至 K40 MCU，这样它们可以每隔 90 秒存储在 EEPROM 中，并且有时间和日期戳：

Date and Time Stamp	Temp	Humidity	Pressure	ActZone	Runtime	SprMode
2011/02/17 19:57:10	24.36	43.82	98.86	1	10	1
2011/02/17 19:55:40	24.17	43.13	98.67	1	10	1
2011/02/17 19:54:09	24.15	44.21	98.73	0	00	0
2011/02/17 19:52:39	23.91	43.65	98.73	0	00	0
2011/02/17 19:51:08	23.80	43.48	98.73	0	00	0
2011/02/17 19:49:38	23.53	44.54	98.67	0	00	0
2011/02/17 19:48:07	23.13	45.40	98.86	0	00	0
2011/02/17 19:46:37	22.70	46.18	98.79	0	00	0
2011/02/17 19:45:06	23.31	45.21	98.62	0	00	0

数据日志的每个条目存储几个不同的参数：

- 记录日志条目的日期和时间
- 温度记录单位为摄氏度
- 湿度存储单位为百分比
- 压力存储单位为 kPa
- “ActZone”是记录日志条目时当前喷洒的喷水区。如果记录日志条目时喷水系统不喷洒，那么活动区为 0。
- “Runtime”是记录日志条目时的编程喷洒时长（单位为分钟）。如果记录日志条目时喷水系统不喷洒，那么运行时间为 0。
- “SprMode”是记录日志条目时的喷水模式。如果记录日志条目时喷水系统不喷洒，那么喷水模式为 0（关）。如果记录日志条目时喷水系统正在按顺序喷洒所有区，那么喷水模式为 1（顺序）。如果记录日志条目时喷水系统正在喷洒单一区，那么喷水模式为 2（单一）。

每个日志条目为 32 字节。由于大约 3328 字节的 EEPROM 已被分配用于数据日志存储，所有这意味着可以记录 104 条数据日志条目的历史。当写入 3328 字节时，日志开始先重新写入最旧的数据。每个数据日志条目每 90 秒存储一次，这意味着在 EEPROM 内可以访问最近 156 分钟内的历史。对于该 FlexMemory 配置，EEPROM 的预计寿命为 310,000 个周期。

通过 **FlexMemory** 进行断电恢复

当 FlexMemory 配置为 EEPROM 时，写入时间与 SRAM 一样快，大约需要 100 μ s 写入预擦除位置。即使在 MCU 时钟或电源出现意外系统中断时，EEPROM 状态机可以确保 EEPROM 写入的完整性。

在本应用中，软件定时在 EEPROM 中写入几个工作参数的状态。这些参数包括：

- 编程喷水开始时间
- 每个区的编程喷洒时长

- 目前被喷洒的区
- 目前被喷洒的特定区剩余的时间

电源恢复时，系统通过从 EEPROM 读取系统状态实现断电恢复。然后，系统继续以断电前的状态运行。如果喷洒时发生电源中断，那么系统会继续为该区喷洒剩余的时间（四舍五入至分钟）。用户无需重新编辑喷洒时间表或重新手动启动喷洒进程。

如果恰好在 EEPROM 正在写入且 EEPROM 写入没有成功完成时发生断电，那么 EEPROM 数据将会恢复到先前的值。因此，数据不会损坏。

EEPROM 写入时间快，因此还能在低电压检测(LVD)发现电压降低时让系统快速保存其状态。但是，本喷水系统应用中没有配备本功能。

当喷水系统处于非活动状态时进入到低功耗模式

Kinetis 系列中的每个 MCU 都提供 10 种电源模式，让系统设计人员能够很好地控制 MCU 运行，在性能和节能需求之间实现平衡。

在本应用中，当喷水模式没有活动运行时 MCU 进入低泄漏停止(LLS)模式。通过降低内部逻辑的电压，同时维持其状态，MCU 进入低泄漏模式。因为从该电源模式恢复不需要执行整个复位流程，所以唤醒时间大约为 6 μ s。

传感器数据采集

塔系统中连接的 TWR-SENSOR-PAK 模块采集温度、湿度和气压数据。传感器模块包含一个 MC9S08QE96 MCU，通过 I2C 对各种传感器进行采样。Kinetis 系统通过 I2C 与 MC9S08QE96 通信以获取那些传感器读数的结果。设置 TWR-Sensor 上的跳线可以通过 I2C 直接读取传感器数据。然而在本应用中，MC9S08QE96 用于收集数据。

GPIO

通用输出信号用于控制继电器打开/关闭连接至系统的喷水阀。继电器位于专为该应用设计的自定义模块上。

4 软件

该部分为软件概述。提供可供下载的源代码，用来补充应用说明。

有关其他详细信息，请参见随附源代码的安装指南。

4.1 软件概述

该系统可以配置为以 48 MHz 的频率运行来节省功耗。这大约是 Kinetis 所能达到的最大频率的一半。即使以该频率运行，该应用只占用 CPU 负载的 7%。因此，该应用只占 Kinetis MCU 负载的一小部分。

K60 项目发布（最高编译器优化设置）的总代码大小为 166 KB。对于 K40 项目，代码大小为 48 KB。

注

代码大小因应用而异。通过删除可选功能，还可以进行其他优化。

代码大致分解如下：

表 2. K60 项目

图形界面图像	13 KB
图形界面字体	13 KB
板级支持包	15 KB
处理器支持包	19 KB
网页界面网页	26 KB

下一页继续介绍此表...

表 2. K60 项目 (继续)

喷水系统应用和其他	40 KB
实时通信套件（网络协议）	40 KB
K60 项目总大小	166 KB

表 3. K40 项目

板级支持包	16 KB
处理器支持包	14 KB
喷水系统应用和其他	18 KB
K40 项目总大小	48 KB

4.1.1 任务概述

喷水系统采用飞思卡尔 MQX RTOS 提供任务调度和外围驱动程序。该项目被分成几个任务。MQX 任务列表位于 Sprinkler_Init.c。

这些任务包括：

- INIT_TASK：开机时运行并快速启动其他任务
- SPR_AUTO_TASK：按照计划控制喷水系统何时喷洒
- SPR_TASK：控制实际喷水系统，接通和关断继电器来设定时间量
- SENSOR_TASK：读取传感器数据。FlexMemory 数据录入也由该任务完成（K40 版本）。
- SHELL_TASK：实现命令行界面
- D4D_TASK：执行 eGUI 任务来控制 LCD（K60 版本）
- SLCD_TASK：控制段式 LCD 显示器（K40 版本）
- PWR_RECOV_LOG_TASK：用于断电时从 FlexMemory 中恢复日志数据。（K40 版本）

4.1.2 每项任务的摘要

INIT_TASK (Sprinkler_Init.c)

初始化任务是系统中唯一一个自动启动的任务。因此，它是在系统启动时启动的唯一任务。初始化任务创建和初始化系统变量并启动该系统的其他任务。初始化任务启动 SENSOR_TASK、SLCD_TASK、SPR_TASK、SPR_AUTO_TASK。初始化任务还调用函数来初始化网络协议(RTCS)。

SENSOR_TASK (Sensor.c)

传感器任务采用 MQX I2C 驱动程序从 TWR-SENSOR-PAK 模块读取温度、湿度和压力传感器的当前状态。它安装 I2C 驱动程序，然后在 TWR-SENSOR-PAK 模块上轮询 MC9S08QE96 来获取当前传感器状态。

在 K40 系统中，这些值以及当前日期和时间、主动喷水模式和喷水运行时间根据 LOG_FREQUENCY_MILLSEC 中指定间隔存储的 FlexMemory 中作为数据记录。该任务位于 Sensors.c，可以在传感器文件夹中找到。

SLCD_TASK (sLCD_Task.c)

SLCD 任务驱动段式 LCD 塔插件模块(TWRPI)。初始化段式 LCD 屏幕后，SLCD 任务在默认模式下显示当前当天的时间。如果喷水区处于活动状态，那么 LCD 屏幕将显示正被喷洒的活动喷水区和该区剩余喷洒时间。

SPR_TASK (Sprinkler_tasks.c)

喷水任务控制喷水区的运行。该任务等待接收事件信号，该信号将告知其开始打开喷淋阀。该事件可由 SPR_AUTO_TASK、D4D_TASK（通过图形界面屏幕）和 Web 服务器（通过 cgi 函数）触发。

SPR_AUTO_TASK (Sprinkler_tasks.c)

喷水自动任务定期查看是否到了开始喷水计划的时间。它将所需的开始时间与当前时间相比较。一旦这些时间相匹配，它便开始按照用户预配置的时间运行所有区。

PWR_RECOV_LOG_TASK (Sensor.c)

喷水电力恢复日志任务定期保存当前的活动喷水区、喷水模式和剩余喷洒时间至 FlexMemory，因此即使在断电的情况下，当电力恢复并允许喷水系统重新开始喷洒因断电剩下部分时间的活动区时，这些参数也可以恢复。该任务位于 Sensors.c，可以在传感器文件夹中找到。

D4D_Task (Sprinkler_D4D_task.c)

D4D 任务驱动 TWR-LCD 屏幕。D4D 任务校准触摸屏幕，启用定期计时器来刷新 LCD 屏幕上的值，然后定期轮询 eGUI 软件是否变化。

您可以在 D4D_Application 文件夹中查看创建 LCD 屏幕的文件。

images.c 包含由 eGUI 图像转换器创建且由该项目使用的字节数组图像。喷水系统采用的四个屏幕都有这些文件 (screen_XXXX.c)。在每个文件中，都有用于屏幕文本的标签声明：

```
D4D_DECLARE_STD_LABEL(lbl_zone, str_zone, 80, 80, 5, 5, FONT_ARIALL16_BOLD)
```

用于图形的图片和按钮声明：

```
D4D_DECLARE_STD_PICTURE(picBanner, 0, 0, &bmpKinetisBanner)
```

```
D4D_DECLARE_BUTTON(btn_web, NULL, 210, 180, 0, 0, BTN_FLAGS, &bmpWebButton, &bmpWebButton,
NULL, 0, NULL, OnClick_BtnWeb, NULL)
```

以及屏幕上所列的所有显示对象的屏幕声明：

```
D4D_DECLARE_STD_SCREEN_BEGIN(screen_main, ScreenMain_
```

该屏幕每 100 毫秒刷新一次，检测发生的触摸。启用 MQX 定时器以较慢的时间间隔刷新某些项目，避免闪烁影响。

Shell_task (Sprinkler_Shell_Commands.c)

Shell 任务实现喷水系统的命令行接口。各命令及其相关代码列表位于 Shell 文件夹中的 Sprinkler_Shell_Commands.c。

HTTP Web 服务器任务

当 HTTP Web 服务器初始化和启动后，RTCS 创建一个任务来管理 Web 服务器。网络初始化函数位于 Web 文件夹中的 Sprinkler_network.c。

TSI (tsi.c)

触摸传感器接口由 INIT_TASK 初始化。TSI 连续扫描触摸感测电极的电容。每次扫描结束时，系统启动一个中断例程对 TSI 扫描进行评估。当中断例程中检测到触摸事件时，服务例程中的代码对系统执行所需的操作，例如打开一个 LED。因此，TSI 不要求自己的任务来处理触摸感应信息。TSI 的代码位于 TSI 文件中的 tsi.c。

4.1.3 软件流

启动和 MQX 初始化后，INIT_TASK 首先执行，因为它是唯一一个自动启动的任务。INIT_TASK 启用系统的很多其他任务。然后，这些任务能够根据其优先级开始执行。一个任务将运行指定的时间，然后放弃控制允许其他任务运行。一个典型的放弃控制让其他任务来运行的机制是使用_time_delay()函数。例如，SENSOR_TASK 采集数据时将无限循环运行。每个循环结束后，它将执行_time_delay(500)，放弃控制其他任务并持续 500 毫秒，然后开始收集更多传感器数据。

4.1.4 任务优先级

系统的任务被配置为基于优先级抢占（非时间片）。因此，准备运行的最高优先级任务将抢占系统中其他较低优先级任务。通常，每个任务执行一些操作，然后放弃控制允许其他任务运行。如果没有任务需要运行系统，空闲任务将运行并等待另一个任务就绪。每个任务都有一个唯一的优先级，代表其在系统中的重要性。请注意，高优先级任务有一个较低的优先级号，反之亦然。由 RTCS 创建的 HTTP Web 服务器任务具有比所有其他任务更高的优先级。位于 Sprinkler_Init.c 中的 MQX 任务列表预先配置了任务优先级。

4.1.5 任务之间的通信

任务之间可以通过多种方式在 MQX 中相互通信和传递数据。智能喷水系统的要求相对简单，因此只采用了一些简单的技术。没有信号量保护的全局变量用于由一个任务更新而由另一个任务使用的非关键数据。如果数据不是相互依存，且在读写时一个任务被抢占的情况下该数据仍不被损坏，那么该方法是可以接受的。另外，轻量事件用于触发从一个任务到另一个任务的操作。例如，图片界面或网页界面任务可以通过轻量事件向喷水任务发送信号告知其运行喷水区。

5 参考

该部分列出了飞思卡尔网站上提供的几个参考文档和软件。

以下为搜索关键字，可用于在 <https://www.freescale.com> 中快速查找文档。

5.1 智能喷水系统的其他相关文档

该应用说明随附的源代码提供以下其他文档：

Sprinkler Demo Setup Guide：硬件和软件安装说明，包括板修改

K40 Sprinkler Demo Users Guide：有关 K40 系统操作的详细信息

K60 Sprinkler Demo Users Guide：有关 K60 系统操作的详细信息

5.2 自定义继电器模块

900-76126_TWR-MECHDRW：塔机械图纸

5.3 Kinetis ARM Cortex-M4 微控制器

<https://www.freescale.com> 中提供了 Kinetis 资源

KQRUG：Kinetis 外围模块快速参考

KINETIS512_SC：Kinetis 的裸机示例代码项目

AN4282：使用 Kinetis 系列中的增强型 EEPROM 功能

K60P144M100SF2RM：144 引脚封装的 100 MHz 设备的 K60 子系列参考手册

K60P144M100SF2: 144 引脚封装的 100 MHz 设备的 K60 子系列数据表

K40P144M100SF2RM: 144 引脚封装的 100 MHz 设备的 K40 子系列参考手册

K40P144M100SF2: 144 引脚封装的 100 MHz 设备的 K40 子系列数据表

5.4 飞思卡尔 MQX™软件解决方案

<https://www.freescale.com/mqx> 中提供了 MQX™资源

MQXUG: Freescale MQX™用户指南

AN3905: 编写第一个 MQX™应用程序

MQXRM: 飞思卡尔 MQX™参考手册

MQXIOUG: 飞思卡尔 MQX™ I/O 驱动程序用户指南

MQXRTCSUG: 飞思卡尔 MQX™ RTCS 用户指南

5.5 飞思卡尔 eGUI: MCU 和 MPU 的图形 LCD 驱动程序

<https://www.freescale.com> 中提供了飞思卡尔 eGUI 资源

DRM116: 飞思卡尔嵌入式 GUI (D4D)参考手册

EGUIPRE: 飞思卡尔 eGUI 介绍演示

AN4263: 字符显示器驱动程序

5.6 飞思卡尔传感器

<https://www.freescale.com/sensors> 中提供了有关飞思卡尔传感器的信息

5.7 飞思卡尔塔系统

<https://www.freescale.com> 中提供了塔系统资源。

注: 除自定义继电器模块外, 该应用说明中描述的所有塔模块都可以在 <https://www.freescale.com/tower> 上向飞思卡尔分销商或直接向飞思卡尔购买。

5.7.1 TWR-K60N512: Kinetis K60 模块

TWR-K60N512-UM: TWR-K60N512 用户手册

TWRK60QSG: TWR-K60N512-KIT 快速入门指南

TWRK60N512QSDLAB: TWR-K60N512 快速入门演示软件和实验室指南

5.7.2 TWR-K40X256: Kinetis K40 模块

TWR-K40X256-UM: TWR-K40X256 用户手册

TWRK40QSG: TWR-K40X256-KIT 快速入门指南

TWRK40X256QSDLAB: TWR-K40X256 快速入门演示软件和实验室指南

5.7.3 TWR-SENSOR-PAK: 传感器模块

TWRSNSRPKUM_C: TWR-SENSOR-PAK 用户手册修订版本 C

TWRSNSRPKQSG: TWR-SENSOR-PAK 快速入门指南

5.7.4 TWR-LCD: 图形 LCD 模块

TWRLCDUM: TWR-LCD 用户手册

TWRLCDLAB: TWR-LCD 实验室教程

TWRLCDQSG: TWR-LCD 快速入门指南

5.7.5 TWR-WIFI-RS2101: 具有 Redpine 信号的 802.11n Wi-Fi 模块

TWRWIFIRS2101_UM: TWR-WIFI-RS2101 用户手册

TWRWIFIRS2101_QSG: TWR-WIFI-RS2101 快速入门指南

TWRWIFIRS2101LAB: TWR-WIFI-RS2101 实验室指南

5.7.6 TWR-SER: 串行模块

TWRSERUM: 塔系统串行模块 - 用户手册

How to Reach Us:**Home Page:**freescale.com**Web Support:**freescale.com/support

本文档中的信息仅供系统和软件实施方使用 Freescale 产品。本文并未明示或者暗示授予利用本文档信息进行设计或者加工集成电路的版权许可。Freescale 保留对此处任何产品进行更改的权利，恕不另行通知。

Freescale 对其产品在任何特定用途方面的适用性不做任何担保、表示或保证，也不承担因为应用程序或者使用产品或电路所产生的任何责任，明确拒绝承担包括但不限于后果性的或附带性的损害在内的所有责任。

Freescale 的数据表和/或规格中所提供的“典型”参数在不同应用中可能并且确实不同，实际性能会随时间而有所变化。所有运行参数，包括“经典值”在内，必须经由客户的技术专家对每个客户的应用程序进行验证。

Freescale 未转让与其专利权及其他权利相关的许可。Freescale 销售产品时遵循以下网址中包含的标准销售条款和条件：freescale.com/SalesTermsandConditions。

Freescale, the Freescale logo, and Kinetis, are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc., Reg. U.S. Pat. & Tm. Off. All other product or service names are the property of their respective owners.

© 2011 Freescale Semiconductor, Inc.

© 2011 飞思卡尔半导体有限公司