

MCXA156 光编码器演示应用

1. 概述

该演示程序实现了多个关键模块，包括高速ADC采样、多摩川协议串口配置、CRC校验、ATAN2计算优化以及EQDC正交解码等功能。程序基于NXP MCXA156微控制器开发板设计，展示了该芯片的多种高级功能。

MDK工程位置:

```
sincos_encoder\boards\frdmmcxa156\driver_examples\sin_cos_encoder\sin_cos_encoder
```

2. 时钟配置

系统使用外部20MHz晶振，并通过FRO自动校准实现高精度时钟源。主要时钟配置：

- 内核时钟: 96MHz
- ADC时钟: 直接使用外部20MHz晶振作为输入时钟
- UART时钟: 直接使用外部20MHz晶振作为输入时钟
- 定时器时钟: 96MHz，用于高精度计时

3. 开发环境

- Keil MDK
- SDK: SDK_2_16_000_FRDM-MCXA156

4. 功能模块

4.1 ADC采样

- 同时使用两个ADC控制器(ADC0和ADC1)进行同步采样
 - ADC0: 通道0、1、4
 - ADC1: 通道4、0、1
 - 对应引脚: P2_0至P2_5
- 支持硬件平均采样，可通过 `app_adc.h` 中的 `ADC_HW_AVERAGE_MODE` 宏定义调整
- 支持链式命令配置，实现多通道顺序采样
- 提供快速转换模式，仅采样特定通道以提高性能
- 支持硬件触发，可通过ARM TXEV事件同步触发

4.2 多摩川协议CRC校验

实现了多摩川协议使用的CRC-8算法(多项式: $x^8 + x^2 + x + 1$)，包括：

- 基于查表的软件实现
- 硬件加速实现

- 性能对比和验证功能
- 支持测试向量验证

4.3 ATAN2优化计算

ATAN2优化实现使用多项式近似法，相比标准库函数提供了显著的性能提升：

- 实现快速ATAN2近似计算，使用六阶多项式
- 与标准库函数精度对比
- 性能基准测试
- 支持四象限角度计算

4.4 高速串口通信

- 支持2.5Mbps波特率配置
- 外部20MHz晶振作为时钟输入，可以完美分频出2.5Mbps波特率(无计算误差)
- 使用LPUART1，引脚P3_21(TX)和P3_20(RX)

4.5 EQDC正交解码

- 支持正交编码器信号解码
- 输入引脚:
 - P3_31: TRG_IN10(ENA)
 - P4_6: TRG_IN4(ENI)
 - P2_17: TRG_IN9(ENB)

5. 硬件要求

- NXP MCXA156微控制器开发板
- 外部时钟源(20MHz)，**需要硬件改动**
- 串口连接(用于调试和命令交互)
- 支持ADC输入的模拟信号源(用于ADC测试)

6. 软件架构

该演示程序采用模块化设计，主要组件包括：

- `main.c` : 主程序入口，初始化各个模块并处理用户命令
- `app_adc.c/h` : ADC配置和采样功能
- `app_atan.c/h` : ATAN2优化实现和基准测试
- `app_crc.c/h` : 多摩川协议CRC-8实现和测试
- `app_lpuart.c/h` : 高速UART通信
- `app_timer.c/h` : 高精度定时器

- `app_eqdc.c/h` : EQDC正交解码器配置和使用
- `pin_mux.c/h` : 引脚复用配置

7. 使用方法

1. 编译并下载程序到MCXA156开发板
2. 通过串口连接(115200波特率)与演示程序交互
3. 使用以下命令进行功能测试:

- `a` - ADC演示
- `f` - 快速ADC演示
- `u` - UART演示
- `t` - 多摩川CRC演示
- `n` - ATAN2性能测试

```
1  ADC initialization complete
2  ADC0 channels: 0, 1, 4
3  ADC1 channels: 4, 0, 1
4  Hardware average: 1 sample
5  ADC resolution: 16-bit
6  Fast conversion configured for channels 0 and 4
7  CoreClock: 96000000 Hz
8  MCXA156 Demo Application
9  Core System Clocks:
10   Core Clock:      96000000 Hz ( 96 MHz)
11   Bus Clock:       96000000 Hz ( 96 MHz)
12  =====
13  Available commands:
14   a - ADC Demo
15   f - Fast ADC Demo
16   u - UART Demo
17   t - Tamagawa CRC Demo
18   n - ATAN2 Benchmark
19   e - EQDC Encoder Demo
20  >
```

ADC测试(6通道)

```
1  --- ADC DEMO ---
2
3  ADC0 Results:
```

```
4 Channel 0 - Value: 1474, CmdID: 1
5 Channel 1 - Value: 499, CmdID: 2
6 Channel 4 - Value: 6959, CmdID: 3
7
8 ADC1 Results:
9 Channel 4 - Value: 2286, CmdID: 2
10 Channel 0 - Value: 1667, CmdID: 3
11 Channel 1 - Value: 3202, CmdID: 4
12
13
14 ADC Conversion Time: 8.7 us
```

快速ADC测试(2通道)

```
1 --- FAST ADC DEMO ---
2 ADC0 Channel 0 Value: 2112
3 ADC1 Channel 4 Value: 5078
4
5 Fast ADC Conversion Time: 2.6 us
```

硬件CRC:

```
1 --- TAMAGAWA CRC DEMO ---
2
3 --- Tamagawa Protocol CRC-8 Test ---
4 Testing command: 0x01 0x05 0x12 0x34 0x56 0x78 0x9A 0xBC 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00
   0x00 0x00 0x00
5
6 CRC-8 Results:
7 -----
8 1. Table-based SW: 0x08 (6.42 us)
9 2. Hardware CRC: 0x08 (4.32 us)
10
11 Verification:
12 -----
13 - Implementations match
14
15 Performance:
16 -----
17 - HW vs Table: 1.48x (HW is faster)
18
19 Performance test with 1000 iterations:
```

```
20 -----
21 1. Table-based SW (1000x): 4700.10 us
22 2. Hardware CRC (1000x): 1992.17 us
23
24 Speed comparison (1000 iterations):
25 - HW vs Table: 2.36x (HW is faster)
```

软件ATAN优化:

```
1 --- ATAN2 BENCHMARK ---
2 ATAN2 Benchmark - Standard vs SVML-Style Optimized
3 -----
4 | Point | X | Y | Standard ATAN2 | Fast ATAN2 | Error (rad) | Error
  (deg) |
5 |-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----
  ----|
6 | 0 | 1.000 | 1.000 | 0.785398 | 0.785396 | 0.00000173 |
  0.000099 |
7 | 1 | -1.000 | 1.000 | 2.356194 | 2.356196 | 0.00000191 |
  0.000109 |
8 | 2 | 0.000 | 1.000 | 1.570796 | 1.570796 | 0.00000000 |
  0.000000 |
9 | 3 | 0.000 | -1.000 | -1.570796 | -1.570796 | 0.00000000 |
  0.000000 |
10 | 4 | 1.000 | 0.000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.00000000 |
  0.000000 |
11 | 5 | -1.000 | 0.000 | 3.141593 | 3.141593 | 0.00000000 |
  0.000000 |
12 | 6 | 1.000 | -1.000 | -0.785398 | -0.785396 | 0.00000173 |
  0.000099 |
13 | 7 | -1.000 | -1.000 | -2.356194 | -2.356196 | 0.00000191 |
  0.000109 |
14 | 8 | 0.500 | 0.866 | 1.047185 | 1.047186 | 0.00000155 |
  0.000089 |
15 | 9 | 100.000 | 0.100 | 0.001000 | 0.001000 | 0.00000002 |
  0.000001 |
16 -----
17 Average Error: 0.00000088 rad (0.000051 deg)
18 Maximum Error: 0.00000191 rad (0.000109 deg)
19
20 Single Call Timing Measurement:
21 Standard atan2 single call: 5.885 us
22 Fast atan2 single call: 0.438 us
```

```
23 Single call speed ratio:    13.5x
24
25 Performance Benchmark (1000 iterations):
26 Standard atan2: 13227.3 us
27 Fast atan2:      9451.8 us
28 Speed improvement: 1.4x
```