

MCX A15x ADC及其他外设典型演示应用

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 MCXA154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: 内部 FRO48MHz 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软件触发采样

- 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 DMA+ADC+TIMER定时采样测试

- 使用LPTMR0作为定时触发源，支持可配置采样率
- EDMA自动搬运ADC数据到内存缓冲区
- 支持128个样本的连续采样
- 默认配置6.4kHz采样率，实现20ms内完成128个样本采集

- 硬件配置:
 - ADC: ADC0通道0 (P2_0)
 - 定时器: LPTMR0
 - DMA: DMA0通道2
 - 缓冲区: 128个32位样本, 32字节对齐

4.3 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

4.4 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

4.5 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), 使用SDK的 DMA uart example.

4.6 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_single.c/h` : 单点ADC配置和采样功能
- `app_adc_dma.c/h` : 定时器触发采样ADC+DMA搬运功能实现
- `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
- `d` - ADC+DMA+LPTMR 定时触发ADC+ DMA搬运演示.

```
1  MCXA156 Demo Application
2  Core System Clocks:
3      Core Clock:      96000000 Hz ( 96 MHz)
4      Bus Clock:       96000000 Hz ( 96 MHz)
5      kCLOCK_FroHf:    96000000 Hz ( 96 MHz)
6      kCLOCK_FroHfDiv: 96000000 Hz ( 96 MHz)
7  =====
8  Available commands:
9      a - ADC Demo
10     f - Fast ADC Demo
11     u - UART Demo
12     t - Tamagawa CRC Demo
13     n - ATAN2 Benchmark
14     e - EQDC Encoder Demo
```

```
15     d - DMA ADC Demo (128 samples in 20ms)
16 >
```

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
```

LPTMR触发定时器+DMA搬运

```
1  --- DMA ADC TIMER trigger DEMO ---
2
3  Fast ADC Conversion Time: 20.0 ms
4
5  === ADC Results (Rate: 6400Hz) ===
6  Samples: 128
7      3      4      11      20      27      19      14      9
8      12      9      13      11      18      17      13      16
9      21      19      6      3      12      14      6      0
10     14      12      20      17      17      14      9      11
```

```

11      12      18      20      24      16      16      4      9
12      21      9       17      24      11      17      9      14
13      17      7       18      10       9      11      13     27
14      22      9       3       18       6       8       6      14
15       8      11      16       0      13      17      22     16
16      10      24      26      12       3       7      16     28
17      17      9       19       0      18      13      17     14
18      10      13       9      30      21       8       9      13
19       9       2       8      26      17       9      22      3
20      20      4       17      26       5       7      10     12
21      11      8       18      17       8      17      19     13
22      17      9       12       8      12      14       9     26
23  =====

```

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
```

