

Dokumentation des Projekts "Sequencer mit Tonerzeugung" im Modul Programmiertechnik

Daniel Erich Raab und Justus Konstantin Schmidt

18. Juli 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	2
2	Struktur	2
2.1	Grundstruktur	2
2.2	Modulstruktur	3
3	Module	4
3.1	main.c	4
3.2	Sequenz (<i>sequence</i>)	4
3.2.1	enum Tone_length	5
3.2.2	struct Step	5
3.3	Display (<i>lcd</i>)	5
3.3.1	void lcd_init()	5
3.3.2	void lcd_clear()	5
3.3.3	Schreibfunktionen	6
3.3.4	void lcd_set_cursor(unsigned char x, unsigned char y)	6
3.3.5	void write_pitch(unsigned int pitch)	6
3.3.6	void write_tone_length(enum Tone_length tone_length)	6
3.3.7	void write_tempo(unsigned int tempo)	7
3.4	Eingabe (<i>input</i>)	7
3.4.1	void button_init()	7
3.4.2	Flaggen	7
3.4.3	__interrupt void P2_ISR()	7
3.4.4	__interrupt void ADC10_ISR()	8

3.5	LED-Matrix (<i>led_matrix.h</i>)	8
3.5.1	void <i>i2c_init</i> ()	8
3.5.2	void <i>i2c_write_byte</i> (unsigned char <i>i2c_address</i> , unsigned char <i>expander_reg</i> , unsigned char <i>data</i>)	8
3.5.3	void <i>led_on</i> (unsigned char <i>led_nr</i>)	9

1 Vorwort

Dies ist die technische Dokumentation des Projekts im Modul Programmier-technik von Daniel Raab und Konstantin Schmidt. Es wird der Aufbau der Software beschrieben und dargestellt, sowie die einzelnen Teilmodule. Das Projekt wurde für das *MSP Education Board 3.0* der HTWK Leipzig entworfen und implementiert. Der Quellcode wurde in C mithilfe des *Code Composer Studio 6* geschrieben.

2 Struktur

2.1 Grundstruktur

Das Programm besitzt keinen sequentiellen Ablauf, da ein auf interrupts(engl. Unterbrechungen) basierender Ansatz gewählt wurde, um alle Funktionen gut implementieren zu können.

Der Grundablauf ist in Abbildung 1 zusehen. Es wird zuerst der Mikrorechner und alle benötigten Systeme initialisiert und dann in den interrupt-gesteuerten Betrieb übergegangen. Der Prozessor wird also in den Schlaf bzw. Low-Power-Modus versetzt und reagiert ab sofort nur noch auf auftretende interrupts. Die aufgerufene interrupt service routine (ISR) soll möglichst schnell abgearbeitet werden, also wird meist lediglich das interrupt ausgewertet und dann eine entsprechende Flagge gesetzt. Dann wird der Schlafmodus verlassen und die ISR beendet. Durch das Verlassen des Schlafmodus werden nun in der *main()*-Funktion die nächsten Befehle ausgeführt. Hier werden nun die Flaggen abgefragt und die entsprechenden Arbeiten erledigt. Sobald alle Flaggen abgefragt und abgearbeitet sind, wird der Prozessor wieder in den Schlafmodus versetzt. Diese Abarbeitung in der *main()*-Funktion hat den großen Vorteil, dass lang andauernde Arbeiten, wie z.B. Ansteuerung des Displays mit Wartezeiten, durch interrupts unterbrochen werden können, ohne das erst auf die lange andauernden Anweisungen gewartet werden muss. Diese Blockierung der schnell abzuarbeitenden ISRs passiert, wenn alle Aufgaben in ISRs passieren und nicht in der *main()*-Funktion. Zeitkritische

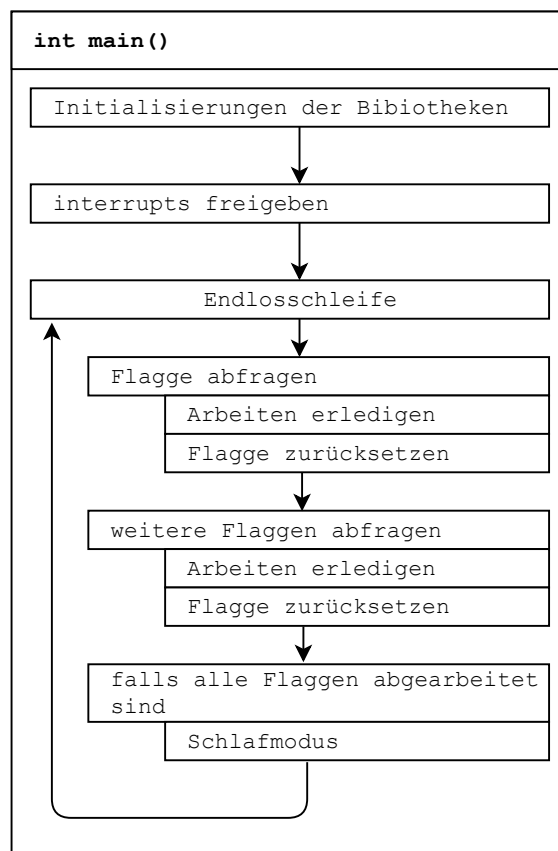


Abbildung 1: Der Grundablauf schematisch dargestellt

Aufgaben z.B. Tastendrucke oder Töne könnten nicht richtig oder zeitnah ausgelesen bzw. ausgegeben werden. Eine Ausnahme dieser Regel betrifft die `play_tone`-Funktion der Tonbibliothek, siehe .

2.2 Modulstruktur

Die Programmierung des Mikrorechners erfolgte in Teilmodulen, die sich den verschiedenen Teilbereichen des Projekts widmen. Diese Teilmodule des Projekts wurden erst für sich entwickelt und sobald ein passabler Grad der Implementierung erreicht wurde in das Gesamtprojekt eingebunden und im Verbund getestet. Das Projekt wurde in folgende Module zerlegt:

- Sequenz-Datenstrukturen (*sequence.h*)
- Display-Ansteuerung (*lcd.h*)
- Eingaben, also Taster und Drehgeber (*input.h*)

- Tonerzeugung (*tone.h*)
- LED-Matrix (*led_matrix.h*)

Die Steuerung des Programms passiert in der *main.c* über die Funktionen, die auf die Eingaben des Benutzers reagieren. Dort werden alle Bibliotheken und Module eingebunden und zum Projekt vereinigt.

3 Module

Hier werden die Module genauer in ihrem Aufbau und ihrer Struktur beschrieben. Die Modulnamen für die tatsächlichen Dateien sind in Klammern angegeben und umfassen die entsprechende *.h und *.c Dateien.

3.1 **main.c**

Die *main.c*-Datei ist der Einstiegspunkt des Programms und enthält die Funktion `int main()`. Es werden alle unserer Bibliotheken inkludiert, und diese werden gleich zu Beginn durch ihre Initialisierungsfunktionen initialisiert werden können. Danach werden die interrupts freigegeben und das Programm startet die Hauptschleife und damit den interrupt-basierten Ablauf, wie im Abschnitt Grundstruktur und in der Abbildung 1 erläutert.

Es werden außer den ISRs noch ähnliche Funktionen definiert, die durch Bibliotheken für bestimmte Ereignisse aufgerufen werden. Dies sind `void new_minute()`, das von der Uhrzeit-Bibliothek aufgerufen wird, sobald eine neue Minute angebrochen ist und die Funktion `void alarm_ring()`, die signalisiert, dass ein Alarm ausgelöst worden ist und nun klingeln soll. Diese Funktionen wurden in die *main.c* Datei verlegt, da diese Ereignisse Veränderungen in mehreren Bibliotheken auslösen: `void new_minute()` bedeutet, dass die Alarmer überprüft werden müssen und die LED-Matrix aktualisiert werden muss; `void alarm_ring()` bedeutet, dass das Menü in den Alarm-Modus übergehen muss und die Melodie des entsprechenden Alarms gestartet wird.

3.2 Sequenz (*sequence*)

Diese Datei beinhaltet die Datenstrukturen und globalen Variablen der Sequenz. Globale Variablen sind das Tempo in bpm (`unsigned int tempo`) und die aktuelle Position innerhalb der Sequenz (`unsigned int current_step`).

3.2.1 enum Tone_length

Diese Enumeration definiert die fünf verschiedenen Tonlängen, die ein Schritt der Sequenz haben kann. Dies sind Pause - `pause`, Viertel - `quarter`, Halb - `half`, Dreiviertel - `three_quarters` und Ganz - `full`. Dies rührt daher, dass die Sequenz in verschiedenen Tempi abgespielt werden kann und die Tonlänge deswegen relativ zum Tempo ist - wie bei geschriebener Musik.

3.2.2 struct Step

Diese Struktur beschreibt einen Schritt einer Sequenz und die Sequenz besteht aus 16 solcher Schritte: `struct Step sequence[16]`. Jeder Schritt besitzt dabei Tonlänge als `enum Tone_length tone_length` und Tonhöhe als `unsigned int pitch`. Die Tonhöhe ist eine Ganzzahl, die den Abstand in Halbtonschritten von C1 angibt. Mit zwölf Halbtönen pro Oktave bedeutet das C4 entspricht beispielsweise 36 oder #G5 entspricht 55.

3.3 Display (*lcd*)

Die Display Bibliothek steuert das LC-Display und stellt verschiedene Methoden zur Beschreibung und Steuerung dessen zur Verfügung. Außerdem wurden besondere Methoden für diese Projekt implementiert, die die Anzeige an vorher festgelegten Stellen mit bestimmten Werten beschreibt: `write_pitch`, `write_tone_length` und `write_tempo`.

Alle Funktionen des Display benötigen (relativ) viel Zeit, um mit dem Display-Controller zu kommunizieren und sollten demnach nicht in Interrupt Service Routinen benutzt werden.

3.3.1 void lcd_init()

Das LC-Display wird gestartet und initialisiert über die Funktion `void lcd_init()`. Es wird dann die Initialisierungssequenz für das Display gesendet und es für die weitere Verwendung konfiguriert. Es wird das Display geleert und sowohl der Cursor als auch Blinken ausgeschaltet.

3.3.2 void lcd_clear()

Eine Funktion, die alles Angezeigte vom Display löscht und den Cursor zurück in die obere, linke Ecke (0, 0) setzt. Sollte nicht zu häufig verwendet werden, da es sonst zu störendem Flackern der Anzeige kommt.

3.3.3 Schreibfunktionen

Als grundlegenden Schreibfunktionen, um das Display zu verwenden, sind

- `void lcd_write(unsigned char character),`
- `void lcd_write_string(unsigned char string[])` und
- `void lcd_write_int(unsigned int number, int digits)`

für die verschiedenen wichtigen Datentypen implementiert. Es können einzelne Zeichen (`unsigned char`) gesendet werden, sowie ganze strings, also Felder von Zeichen, die jedoch mit dem terminierendem Zeichen `0x0` oder `'\0'` abgeschlossen werden müssen. Dies passiert automatisch, wenn ein string mit doppelten Anführungszeichen angegeben wird. Um Zahlen (`int`) anzuzeigen muss noch ein zweites Argument übergeben werden, das die Anzahl der Stellen bestimmt. Falls die Zahl weniger Stellen besitzt, wird der Rest mit Nullen aufgefüllt, also wird beispielsweise bei der Zahl 45 und drei Stellen `045` angezeigt.

All diese Funktionen schreiben immer ab der aktuellen Position des Cursors und der Cursor ist nach dem Schreiben beim nachfolgenden Zeichen des letzten neu auf das Display geschriebenen Zeichens.

3.3.4 `void lcd_set_cursor(unsigned char x, unsigned char y)`

Der Cursor kann mithilfe der Funktion `void lcd_set_cursor(unsigned char x, unsigned char y)` an eine beliebige Stelle im Display gesetzt werden. `x` steht für die Position innerhalb der Zeile (beginnend mit 0, also maximal 15) und `y` für eine der beiden Zeilen (0 oder 1).

3.3.5 `void write_pitch(unsigned int pitch)`

Diese Funktion wandelt die als Zahl angegebene Tonhöhe (wie in X erläutert) in die gewohnte Notation (Vorzeichen, Notename und Oktavnummer, z.B. `#G4`) um. Sie wird dann auf dem Display an der festgelegten Stelle (0, 0 - linke obere Ecke) für die Tonhöhe angezeigt.

3.3.6 `void write_tone_length(enum Tone_length tone_length)`

Mithilfe dieser Funktion wird auf dem Display ab der festgelegten Stelle 0, 1 ein Balkendiagramm als Darstellung der Tonlänge angezeigt. Übergeben wird die in `sequence.h` festgelegte Enumeration dafür und je nach Wert zeigt der Balken keine bis vier Segemente: beispielsweise `[000.]` oder `[....]`.

3.3.7 `void write_tempo(unsigned int tempo)`

Diese Funktion schreibt das Tempo als Zahl in bpm an die dafür festgelegte Stelle auf dem Display: 9, 0.

3.4 Eingabe (*input*)

In der Eingabe-Bibliothek werden die Taster, das Potentiometer und der Drehgeber (auch Encoder) ausgelesen und dem Rest des Programms in Form von Flaggen zur Auswertung zur Verfügung gestellt. Es werden die interrupts an Port 2 empfangen und ausgelesen, die jeweilige Flagge gesetzt und der Low-Power-Modus beendet, damit die Flaggen sofort ausgelesen und darauf reagiert werden kann.

3.4.1 `void button_init()`

Die Funktion initialisiert den Port 2 so, dass die interrupts ausgelöst und damit auf die Eingaben reagiert werden kann. Außerdem wird der Analog-Digital-Umsetzer (engl. ADC) passend konfiguriert, um das Potentiometer auszulesen. Dafür wird das capture/compare-register 0 (CCR0) des Timer A verwendet, das den ADC hunderte Male pro Sekunde zum Auslesen des gerade anliegenden Potentiometerwertes anregt. CCR0 wird dementsprechend konfiguriert und das Auslesen wird in `__interrupt void CCR0_ISR()` angeregt.

3.4.2 Flaggen

Es gibt für jeden Taster eine Flagge (`bool button_SW4` bis `bool button_SW1` entsprechend der Tasternummer), eine Flagge `potentiometer_new` für einen neuen Wert des Potentiometers und zwei Flaggen `bool encoder_l` und `bool encoder_r` für die beiden Drehrichtungen des Encoders.

3.4.3 `__interrupt void P2_ISR()`

Die interrupt service routine für Port 2, die aufgerufen wird, sobald ein Taster oder der Encoder betätigt werden. Dort wird überprüft, ob der Encoder und wenn ja, in welche Richtung er gedreht wurde. Da die Taster prellen, dürfen die Tasterdrücke nicht sofort ausgewertet werden, da ansonsten bei jedem Tastendruck fälschlicherweise viele Tastendrucke erkannt werden würden. Deswegen wird über die Wartefunktion `void debounce_delay()` eine passende Wartezeit vor der Auswertung realisiert. Je nachdem welche

Taster oder Encoder-Richtung erkannt wurde, wird die entsprechende Flagge gesetzt und der Prozessor aus dem Schlafmodus aufgeweckt, um in der `main()`-Funktion darauf zu reagieren.

3.4.4 `__interrupt void ADC10_ISR()`

Diese Interrupt Service Routine wird immer dann aufgerufen, sobald ein neuer Wert vom ADC gemessen wurde. Dies bedeutet aber nicht notwendigerweise eine Änderung des Wertes also eine Benutzereingabe. Es muss also ein Vergleich mit dem vorherigen Wert stattfinden, deswegen gibt es zwei Variablen: `pot_value` und `pot_value_old`. Der ADC gibt 10bit-Werte aus, für das Projekt wollen wir aber nur zwischen 16 Werten unterscheiden (die Schritte der Sequenz). Dies entspricht einer 4bit-Zahl, also wird der ADC-Wert um 6 Werte nach rechts bit-verschoben und dann erst in `pot_value` gespeichert. Falls dieser Wert nicht mit `pot_value_old` übereinstimmt wird die Flagge `potentiometer_new` gesetzt und der Schlafmodus verlassen, um darauf zu reagieren.

3.5 LED-Matrix (*led_matrix.h*)

Diese Bibliothek steuert die LED-Matrix, die über die i2c-Schnittstelle an dem Mikrorechner angeschlossen ist. Die Matrix dient der visuellen Ausgabe der aktuellen Position innerhalb der Sequenz, indem eine der 16 LEDs leuchtet.

3.5.1 `void i2c_init()`

Diese Funktion initialisiert alle benötigten Komponenten: Port 3, um die Datenleitungen ansteuern zu können, das Universal Serial Communication Interface (USCI), das die Kommunikation mit der LED-Matrix über i2c erledigt und dann die Initialisierung der Steuerung der LED-Matrix.

3.5.2 `void i2c_write_byte(unsigned char i2c_address, unsigned char expander_reg, unsigned char data)`

Diese Funktion wird benötigt, um ein einzelnes Byte in den Speicher der Steuerung der LED-Matrix zu schreiben. Dabei muss zuerst die i2c-Adresse der LED-Matrix übergeben werden sowie das zu beschreibende Register und natürlich das zu schreibende Byte. Diese Funktion wird innerhalb des Moduls verwendet, um das Register GPIO zu beschreiben, das die digitalen Pins der LEDs steuert und damit bestimmt welche LEDs leuchten.

3.5.3 `void led_on(unsigned char led_nr)`

Diese Funktion wird verwendet, um auszuwählen welche der 16 LEDs leuchten soll. Die Funktion berechnet aus der übergebenen Zahl in welcher Spalte und Zeile sich die entsprechende LED befindet und berechnet dann mithilfe von bit-Verschiebungen das Datenbyte, das in das GPIO-Register (kontrolliert die Ausgänge an denen die LED-Matrix angeschlossen ist) geschrieben wird. Die Zahl darf dabei nur zwischen 0 und 15 liegen, ansonsten leuchtet keine der LEDs. Das Datenbyte besteht aus zwei Teilen, den Bits 0 bis 3 und Bit 4 bis Bit 7, die entsprechend die vier Zeilen und vier Spalten aktivieren. Nur die LEDs leuchten deren Spalte *und* Zeile aktiviert sind.