MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades "Master of Science in Engineering" im Studiengang Embedded Systems

Der Objekt Orientierte Ansatz in der Entwicklung von Eingebetteten Systemen

Ausgeführt von: Ney Fränz, BSc

Personenkennzeichen: 1610297013

BegutachterIn: FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Martin Horauer

Wien, den 31. Juli 2018



Eidesstattliche Erklärung

"Ich, als Autor / als Autorin und Urheber / Urheberin der vorliegenden Arbeit, bestätige mit meiner Unterschrift die Kenntnisnahme der einschlägigen urheber- und hochschulrechtlichen Bestimmungen (vgl. Urheberrechtsgesetz idgF sowie Satzungsteil Studienrechtliche Bestimmungen / Prüfungsordnung der FH Technikum Wien idgF).

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt und Gedankengut jeglicher Art aus fremden sowie selbst verfassten Quellen zur Gänze zitiert habe. Ich bin mir bei Nachweis fehlender Eigen- und Selbstständigkeit sowie dem Nachweis eines Vorsatzes zur Erschleichung einer positiven Beurteilung dieser Arbeit der Konsequenzen bewusst, die von der Studiengangsleitung ausgesprochen werden können (vgl. Satzungsteil Studienrechtliche Bestimmungen / Prüfungsordnung der FH Technikum Wien idgF).

Weiters bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit bis dato nicht veröffentlicht und weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt habe. Ich versichere, dass die abgegebene Version jener im Uploadtoolasas entspricht."

Wien, 31. Juli 2018

Unterschrift

Kurzfassung

In der Entwicklung von eingebetteten Systemen hat sich in den letzten Jahren einiges getan. Moderne Programmiersprachen wie C/C++ haben sich in der embedded Entwicklung etabliert und aufwendiges programmieren in Assembler sollte nur noch in wenigen Fällen von Nöten sein. Diese Arbeit beschäftigt sich hauptsächlich mit der Frage, ob der Einsatz einer objekt-orientierten Programmiersprache auf Plattformen mit nur wenigen kBytes an Flash Speicher sinnvoll ist und welchen Mehrwert diese für die Embedded Entwicklung haben könnte.

Hierbei sollen vor allem die gängigsten Konzepte (Klassen, Templates, etc.) der objektorientierten Sprache analysiert werden, um Solide Richtwerte über Performance und Speicherverbrauch geben zu können. Dazu soll der kompilierte Code analysiert und diverse Benchmark Tests durchgeführt werden. Zusätzlich wird der Vergleich mit einer klassischen funktionalen Programmiersprache dargestellt.

Als Referenz Programmiersprache wird C/C++ in Verbindung mit der ARM Cortex-M Architektur verwendet, da diese Kombination sehr interessant für stromsparende und kleinere IoT Projekte ist und sich wahrscheinlich in Zukunft durchsetzen wird. Am Anfang wird auch eine State-Of-the-art Analyse über die momentan verfügbaren ARM C++ Compiler durchgeführt um auflisten zu können welche Versionen und Erweiterungen von C++ unterstützt werden.

Abstract

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: "Dies ist ein Blindtext" oder "Huardest gefburn"? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie "Lorem ipsum" dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Keywords: Keyword1, Keyword2, Keyword3, Keyword4

Danksagung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: "Dies ist ein Blindtext" oder "Huardest gefburn"? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie "Lorem ipsum" dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Inhaltsverzeichnis

| • | Siai | State-of-Art Arialyse | | | | |
|-----|--------|-----------------------|---|----|--|--|
| | 1.1 | Mikroc | ontroller Hardware Analyse | 1 | | |
| | | 1.1.1 | Stromverbrauch und Effizienz | 1 | | |
| | | 1.1.2 | MCU Peripherie | 1 | | |
| | | 1.1.3 | Sicherheits- Features | 1 | | |
| | 1.2 | Work-F | Flow und Tools in der embedded Entwicklung | 1 | | |
| | | 1.2.1 | Entwicklungs- Umgebungen | 1 | | |
| | | 1.2.2 | Test und Qualitäts- Management | 1 | | |
| | | 1.2.3 | Code Generatoren | 1 | | |
| | | 1.2.4 | Low-Level Hardware Bibliotheken | 1 | | |
| | 1.3 | Progra | mmiersprachen für die embedded Entwicklung | 1 | | |
| | | 1.3.1 | Kompilierte Programmiersprachen | 1 | | |
| | | 1.3.2 | Interpretierte Programmiersprachen | 1 | | |
| | 1.4 | Verfüg | bare C/C++ Compiler für die ARM Architektur | 1 | | |
| | | 1.4.1 | GNU Arm Embedded Toolchain | 1 | | |
| | | 1.4.2 | IAR Embedded Workbench | 1 | | |
| | | 1.4.3 | ARM Compiler | 1 | | |
| 2 | Emb | oedded | C++ | 1 | | |
| | | 2.0.1 | Überblick | 2 | | |
| | | 2.0.2 | C++ Konzepte | 2 | | |
| | | 2.0.3 | Eingabe- und Ausgabestreams | 2 | | |
| | | 2.0.4 | Funktionen Überladen | 3 | | |
| | | 2.0.5 | Standardparameter | 5 | | |
| | | 2.0.6 | Funktions- Templates | 7 | | |
| | | 2.0.7 | Arrays | ç | | |
| | | 2.0.8 | Zeichenketten | 11 | | |
| | | 2.0.9 | Pointer vs Referenzen | 13 | | |
| | | 2.0.10 | Namespaces | 13 | | |
| | | 2.0.11 | Dynamische Speicher Verwaltung | 13 | | |
| | | 2.0.12 | Klassen | 13 | | |
| Lit | teratı | ırverze | ichnis | 14 | | |
| ΑŁ | bildı | ungsve | rzeichnis | 15 | | |
| | | _ | | | | |

| Tabellenverzeichnis | | |
|-----------------------|----------|----|
| Quellcodeverzeichnis | | 17 |
| Abkürzungsverzeichnis | | 18 |
| A | Anhang A | 19 |
| В | Anhang B | 20 |

1 State-of-Art Analyse

- 1.1 Mikrocontroller Hardware Analyse
- 1.1.1 Stromverbrauch und Effizienz
- 1.1.2 MCU Peripherie
- 1.1.3 Sicherheits-Features
- 1.2 Work-Flow und Tools in der embedded Entwicklung
- 1.2.1 Entwicklungs- Umgebungen
- 1.2.2 Test und Qualitäts- Management
- 1.2.3 Code Generatoren
- 1.2.4 Low-Level Hardware Bibliotheken
- 1.3 Programmiersprachen für die embedded Entwicklung
- 1.3.1 Kompilierte Programmiersprachen
- 1.3.2 Interpretierte Programmiersprachen
- 1.4 Verfügbare C/C++ Compiler für die ARM Architektur
- 1.4.1 GNU Arm Embedded Toolchain
- 1.4.2 IAR Embedded Workbench
- 1.4.3 ARM Compiler

2 Embedded C++

2.0.1 Überblick

In diesem Kapitel werden verschiedene Konzepte von C++ näher analysiert um klare Aussagen über Speicherverbrauch und Performance liefern zu können. Es soll zugleich als eine Art Guideline für Embedded Programmierer dienen um C++ effizient einsetzen zu können.

Die GNU ARM Embbedded Toolchain wird für diese Tests verwendet da Sie neben Compiler, Linker und Co. auch noch viele nützliche Tools zur Analyse mitliefert. Verschieden Tools die in den nachfolgenden Kapiteln zum Einsatz kommen werden in Tabelle 1 aufgelistet.

| Tool | Beschreibung |
|-----------------------|---|
| arm-none-eabi-g++ | C++ Compiler (Präprozessor , Kompiler, Linker) |
| arm-none-eabi-gcc | C Compiler (Präprozessor , Kompiler, Linker) |
| arm-mone-eabi-nm | Listet Symbole aus Objekt Dateien |
| arm-none-eabi-objdump | Zur erweiterten Analyse von Objekt Dateien |
| arm-none-eabi-size | Zeigt Größe der verschieden Link Segmente (Text, Data, BSS) |

Tabelle 1: Analyse Tools

2.0.2 C++ Konzepte

2.0.3 Eingabe- und Ausgabestreams

2.0.4 Funktionen Überladen

C++ bietet ein Mechanismus indem man mehrere Funktionen mit dem gleichen Namen deklarieren kann, diese sich jedoch in ihrer Signatur unterscheiden müssen. Somit kann man bestehende Funktionen überladen, indem man die Datentypen oder Anzahl der Parameter verändert. Der Compiler sucht sich dann die Funktion mit der passenden Signatur heraus.

Beispiel

Im folgendem Beispiel braucht man eine Funktion die jeweils 2 *int* und *double* Werte addieren kann. Im klassischen C müsste man 2 Funktionen deklarieren die sich jeweils in ihrem Namen unterscheiden, wohingegen man in C++ den gleichen Funktionsnamen erneut verwenden darf.

```
1 static int add(int a, int b) {
                                              1 static int add_i(int a, int b) {
   return a + b;
                                                 return a + b;
                                              3 }
3 }
5 static double add(double a, double b) {
                                              5 static double add_d (double a, double b) {
   return a + b;
                                                 return a + b;
                                              7 }
7 }
                                              8
9 volatile int i_1=3, i_2=4, i_3=0;
                                              9 volatile int i_1=3, i_2=4, i_3=0;
                                              10 volatile double d_1=3, d_2=4, d_3=0;
10 volatile double d_1=3, d_2=4, d_3=0;
                                              11
11
12 int main() {
                                              12 int main() {
                                              13
i_3 = add(i_1, i_2);
                                                i_3 = add_i(i_1, i_2);
15 d_3 = add(d_1, d_2);
                                              d_3 = add_d(d_1, d_2);
16
                                              16
17
   return 0;
                                              17
                                                 return 0;
                                              18 }
18 }
```

Quellcode (1) C++ Beispiel

Quellcode (2) C Beispiel

Analyse

Beide Compiler generieren jeweils eine Funktion für *int* (48 byte) und eine für *double* (76 byte). Beim C++ Compiler kann man erkennen das dieser automatisch 2 verschiedene Funktionen mit dem Index 'ii' und 'dd' erstellt. Somit kann man sagen das Funktions- Überladungen keinen Speicher Overhead erzeugen. Zusätzlich kann man lange Funktionsnamen vermeiden und die Wahrscheinlichkeit das man irrtümlicherweise die falsche Funktion verwendet sinkt erheblich.

```
$ arm-none-eabi-g++ -c -00 main.cpp
$ arm-none-eabi-nm main.o --print-size
...
00000030 0000004c t _ZL3adddd
00000000 00000030 t _ZL3addii
...
$ arm-none-eabi-gcc -c -00 main.c
$ arm-none-eabi-nm main.o --print-size
...
00000030 0000004c t add_d
00000000 00000030 t add_i
...
```

Analyse C++ Analyse C

Fazit

Funktions- Überladungen erzeugen keinen Speicher Overhead und sind zu empfehlen wenn sich der Funktions- Block erheblich in verschiedenen Implementationen unterscheidet. Ändern sich nur die Datentypen wie es in diesem Beispiel der Fall ist sind *Funktions- Templates* eher zu empfehlen. Ändert sich nur die Anzahl der Parameter kann man oftmals mit *Standardparametern* (Default Arguments) wie es sie in C++ gibt schöneren Code erzeugen.

2.0.5 Standardparameter

Bei der Initialisierung von Hardware Modulen sind oft Standardparameter sinnvoll. Bei einer Seriellen Schnittelle ist die Konfiguration *9600 8N1* für viele Anwendungen schon ausreichend. In C++ kann man Funktionsparameter mit festen Standardwerten versehen welche geltend sind sollte beim Funktionsaufruf das Argument fehlen. Im klassischen C gibt es mehrere Möglichkeiten so ein Verhalten nach zu implementieren, jedoch ist dies ohne zusätzlichen Quellcode meist nicht möglich.

Beispiel

Das folgende Beispiel zeigt wie man die Initialisierungsfunktion einer Seriellen Schnittstelle mit Standardwerten versehen kann. Sofort erkennbar ist das die gleiche Implementierung in C wesentlich unübersichtlicher wirkt. In der main Funktion werden die verschieden Möglichkeiten dargestellt wie man die Funktion aufrufen könnte.

```
1 static int __attribute__ ((noinline))
                                               1 static int __attribute__ ((noinline))
2 uart_init(int baud=9600,
                                               2 uart_init(int baud,
            int Ndata=8,
                                                          int Ndata,
                                               3
            int parity=0,
                                                          int parity,
            int stop=1) {
                                               5
                                                          int stop) {
                                               6
   return baud+Ndata+parity+stop;
                                                if(baud < 0)
7
8 }
                                                    baud = 9600;
                                                if(Ndata < 0)</pre>
9
                                               9
                                                   Ndata = 8;
10
                                              10
                                                 if(parity < 0)</pre>
11
                                              11
                                              12
                                                    parity = 0;
                                                 if(stop < 0)
13
                                              13
                                                    stop = 1;
14
                                              14
15
                                              15
16
                                              16
                                                 return baud+Ndata+parity+stop;
                                              17 }
17
                                              18
19 volatile int ret=0;
                                              19 volatile int ret=0;
                                              20
21 int main() {
                                              21 int main() {
   ret = uart_init();
                                                ret = uart_init(-1, -1, -1, -1);
                                              24 ret += uart_init(57600, -1, -1, -1);
24  ret += uart_init(57600);
                                              25 ret += uart_init(57600, 7, -1, -1);
25
   ret += uart_init(57600, 7);
   ret += uart_init(57600, 7, 1);
                                              26  ret += uart_init(57600, 7, 1, -1);
   ret += uart_init(57600, 7, 1, 0);
                                              27  ret += uart_init(57600, 7, 1, 0);
   return 0;
                                                 return 0;
28
                                              28
29 }
                                              29 }
```

Quellcode (5) C++ Beispiel

Quellcode (6) C Beispiel

Analyse

Der C++ Compiler ersetzt die nicht angegeben Parametern während der Übersetzungszeit durch die Default-Parameter womit die main Funktion bei beiden Varianten gleich viel ROM Speicher (176 byte) benötigt. Jedoch alloziert die uart_init Funktion in der C Version mehr Speicher da hier zur Laufzeit die Standardparameter gegebenenfalls gesetzt werden müssen.

```
$ arm-none-eabi-g++ -c -Os main.cpp
$ arm-none-eabi-nm a.out --print-size
...
00000000 00000010 t _ZL9uart_initiiii
00000000 000000b0 T main
00000000 00000004 B ret
...
00000000 00000004 B ret
...
```

Analyse C++ Analyse C

Bei Verwendung von C++ Standardparametern sollte man darauf achten dass man die Parameter, wo die Wahrscheinlichkeit einer Änderung am Höchsten ist ganz links in der Funktionsparameter liste packt. Bei der Seriellen Schnittelle wäre das die Baudrate da sich die restlichen Parameter nicht so häufig ändern.

Fazit

Standardparameter sind sehr nützlich wenn es sich um Konfigurations- Funktionen handelt da man diese übersichtlicher gestalten kann. Auch Funktions- Aufrufe mit langen Parameter Listen kann man vermeiden wenn einem die Standard Werte genügen.

2.0.6 Funktions- Templates

Oftmals muss man eine und dieselbe Funktion für verschiedene Datentypen implementieren. In C++ kann man dieses Problem mit Templates sehr elegant lösen. Templates stellen eine Art Schablone dar mit denen man Funktionen unabhängig von einem bestimmten Datentypen implementieren kann. Dies ist vor allem bei Manipulationen von Listen oder Arrays interessant da man den Algorithmus nicht für jeden Datentyp erneut implementieren muss.

Beispiel

Das nachfolgende Beispiel zeigt wie man in C++ eine Funktion die 2 Werte addieren soll unabhängig von dessen Datentypen implementieren kann. Erkennbar ist auch dass die C++ Variante wesentlich kürzer und somit auch übersichtlicher als die Version in C wirkt.

```
1 #include <stdint.h>
                                               1 #include <stdint.h>
2 volatile uint8_t a_1=3, a_2=4, a_3=0;
                                               2 volatile uint8_t a_1=3, a_2=4, a_3=0;
3 volatile int16_t b_1=5, b_2=6, b_3=0;
                                               3 volatile int16_t b_1=5, b_2=6, b_3=0;
5template <typename T> T add(T a, T b) {
                                              5 static uint8_t a(uint8_t a, uint8_t b) {
   return a + b;
                                                  return a + b;
7 }
                                              7 }
                                               8
8
                                              9 static int16_t b(int16_t a, int16_t b) {
9
                                                  return a + b;
10
11
                                              11 }
                                              12
12
                                              13 int main() {
13 int main() {
15
   a_3 = add(a_1, a_2);
                                              15
                                                 a_3 = a(a_1, a_2);
   b_3 = add(b_1, b_2);
                                              16 b_3 = b(b_1, b_2);
16
17
                                              17
18
   return 0;
                                              18
                                                 return 0;
                                              19 }
19 }
```

Quellcode (9) C++ Beispiel

Quellcode (10) C Beispiel

Analyse

Beide Versionen wurden mit der Compiler Optimierung **-O0** kompiliert. Analysiert man beide Objekt Dateien findet man jeweils 2 Versionen von der Addier- Funktion. Bei der C Variante heißen die Funktionen genau gleich wie im Quellcode deklariert, wohingegen eine automatische Indexierung bei der C++ Variante erfolgt. In beiden Versionen werden jeweils 64 byte für die *uint8_t* und 72 byte für die *int16_t* Funktion alloziert. Es kann durchaus sein dass bei anderen Optimierungsstufen die Funktionen als inline kompiliert werden, jedoch entsteht auch dann nie ein Unterschied zwischen der C und C++ Version.

```
$ arm-none-eabi-g++ -c -00 main.cpp
$ arm-none-eabi-nm a.out --print-size
...
00000000 00000040 W _Z3addIhET_S0_S0_
00000000 00000048 W _Z3addIsET_S0_S0_
...
$ arm-none-eabi-gcc -c -00 main.c
$ arm-none-eabi-nm a.out --print-size
...
00000000 00000040 t a
000000040 00000048 t b
...
```

Analyse C++ Analyse C

Zudem kann man erkennen das die Funktionen in der C Version mit t markiert sind und somit in die .text Sektion gelinkt werden. Würde man in einer anderen C Datei genau die gleiche Funktionen implementieren würde man nach dem linken 2 Versionen von genau der gleichen Funktion in der auszuführenden Datei (Executable) finden. Hierbei sind die Funktionen a und b fest an die jeweilige Objektdatei gebunden. In der C++ Version sind beide Funktionen als WEAK deklariert und befinden sich in einer eigenen Link Sektion. Dies ermöglicht es dem Linker Optimierungen vorzunehmen falls es mehrere Implementierungen des gleichen Templates in verschieden Objekt Dateien gibt. Dieses Compiler Verhalten ist auch unter dem Namen Borland Model bekannt.

```
$ arm-none-eabi-objdump -d main.o

-> .text:
00000000 <main>:
...

-> .text._Z3addIhET_S0_S0_:
00000000 <_Z3addIhET_S0_S0_>:
...

-> .text._Z3addIsET_S0_S0_:
00000000 <_Z3addIsET_S0_S0_:
...

-> .text._Z3addIsET_S0_S0_:
...

-> .text._Z3addIsET_S0_S0_:
...

-> .text._Z3addIsET_S0_S0_:
...

00000000 <_Z3addIsET_S0_S0_:
...

...

000000040 <b>:
...
```

Analyse C++ Analyse C

Fazit

Funktions- Templates erhöhen die Lesbarkeit des Quellcodes und bewirken das man Fehler nur in einer Funktion beheben muss und somit die Wartbarkeit erheblich erhöhen. Zudem kann sich die Verwendung von Templates positiv auf die Größe des Executables auswirken da der Linker Optimierungen vornehmen kann. Templates sollten auch wenn möglich in einer header Datei definiert werden und wenn nötig in der .cpp Datei eingebunden werden. Bei großen Projekten kann sich dies jedoch negativ auf die Übersetzungszeit auswirken da der Template Code mehrmals kompiliert werden muss.

2.0.7 Arrays

In C++ gibt es mehrere Möglichkeiten Daten in Arrays zusammenzufassen. C- Array, *sdt::vector* und *std::array* sind die 3 bekanntesten Modelle um Daten zu speichern und werden in diesem Kapitel näher unter die Lupe genommen. Als embedded Programmierer sollte man genau wissen welche Methode für den jeweiligen Anwendungsfall die beste Wahl ist.

C- Array / std::array

Das klassische C- Array ist nach wie vor weit verbreitet und kann auch in C++ weiter verwendet werden. Jedoch sollte man in neuen Projekten darauf verzichten da es in der Standard C++ Bibliothek verschiedene Containerklassen gibt die übersichtlicher aufgebaut sind und somit gängige Fehler im Vorhinein eliminieren. Die *std::array* Containerklasse is das Pendant zum C- Array, bietet jedoch einige Vorteile was Elementzugriff oder Informationen über die Kapazität das Arrays betrifft. Näher zu erwähnen ist die Methode **at** mit der man Zugriff auf einzelne Elemente des Arrays bekommt, jedoch gegenüber [] eine Grenzen Überprüfung während der Laufzeit stattfindet. Dies kann sehr nützlich sein da der Zugriff auf nicht existierende Elemente einer der häufigsten Fehler bei C- Arrays darstellt.

Ein zusätzlicher Vorteil bieten die Standard C++ Containerklassen da diese Iteratoren zu Verfügung stellen womit man verschiedene Algorithmen der Standard Bibliothek verwenden kann. Somit kann man auf vorhandenen und getesteten Code zurückgreifen wenn es ums sortieren oder das manipulieren eines Arrays geht.

Das nachfolgende Beispiel zeigt wie man mittels C- Array und *std::array* ein **int** Array mit jeweils 10 Elementen mit 0 initialisiert und dann mit Daten befühlt.

```
1 #include <array>
2
                                                   2
3int a[10] = { 0 };
                                                   3 std::array<int, 10> a = { 0 };
5 int main() {
                                                   5 int main() {
                                                   6
    for(int i=0; i<10; i++) {
                                                  7
                                                      for(size_t i=0; i<a.size(); ++i){</pre>
                                                        a[i] = i;
      a[i] = i;
8
                                                   8
9
                                                  9
                                                  10
    return 0;
                                                      return 0;
11
                                                  11
                                                  12 }
12 }
                                                  13
14 / *EOF */
                                                  14 / *EOF */
```

Quellcode (15) C- Array

Quellcode (16) std::array

std::vector

Bei der *sdt::vector* Containerklasse hat man die Möglichkeit die Größe des Arrays dynamisch anzupassen. Somit ist *sdt::vector* wesentlich komplexer und mit Vorsicht zu genießen da Speicher zur Laufzeit am Stack oder Heap alloziert werden muss. Bei embedded Projekten sollte man auf die *sdt::vector* Klasse verzichten und wenn eine dynamische Speicherverwaltung von Nöten ist bieten gängige RTOS oder OS Systeme bessere Mechanismen an, die im Fehlerfall (Heap/Stack Überläufe) wesentlich besser zu Debuggen sind.

Analyse

Kompiliert man die C- Array und *std::array* Variante jeweils mit der Optimierungsstufe **-0s** kann man keinen unterschied zwischen den beiden Implementierungen feststellen. Jedoch einsteht ein geringer Overheat bei Verwendung von *std::array* in Kombination mit niedrigeren Optimierungsstufen die durch die höhere Abstraktion zum eigentlichen Speicher Segment zu erklären ist. Auch zu erkennen ist dass bei beiden Implementierungen jeweils Speicher für genau 10 **int** Werte statisch in der **bss** Sektion reserviert wird.

```
$ arm-none-eabi-size a.out
text data bss dec hex
1840 1092 64 2996 bb4

$ arm-none-eabi-size a.out
text data bss dec hex
1840 1092 64 2996 bb4

$ arm-none-eabi-nm a.out --print-size
...
00018bb0 00000028 B a
...
00018bb0 00000028 B a
...
```

C- Array std::array

Fazit

Schlussfolgernd kann man Sagen dass *std::array* ohne weiteres in embedded Projekten verwenden werden darf und eine Reihe von Vorteilen gegenüber dem C- Array bietet. Auch die Kompatibilität zu älterem Code der möglicherweise noch klassische Pointer benötigt sollte kein Problem darstellen da man mit der *std::array* Methode **data** direkten Zugriff auf das darunterliegende Array bekommt. In der Standard C++ Bibliothek findet man auch noch einige andere Containerklassen wie *std::list* oder *std::deque* die sich zur Speicherung von Daten anbieten, jedoch auch wie *std::vector* wesentlich komplexer sind und somit nur zum Einsatz kommen sollten wenn Speicherverbrauch und CPU Auslastung keine wesentliche Rolle spielen.

2.0.8 Zeichenketten

Bei textbasierten Schnittellen oder Dateioperationen kommt man um Zeichenketten nicht herum. In C++ kann man die Klasse *std::string* aus der C++ Standardbibliothek verwenden oder man benutzt weiterhin klassische C Strings. Der größte Vorteil von *std::string* ist dass dieser Datentyp seine exakte Größe kennt und somit unerlaubte Zugriffe außerhalb des zugewiesenen Speicher vermieden werden können. Dies ist ein bekanntes Problem bei C Strings in Kombination mit den Standard Funktionen die in der Bibliothek *string.h* deklariert sind, da man hier extrem aufpassen muss dass man nicht über die Grenzen hinaus operiert und Zeichenketten stets richtig mit '\0' terminiert.

Um die Funktionsweise von *std::string* besser zu verstehen analysieren wir die Größe der Datentypen *std::string* und *char*. Das die Größe von *char* 1 Byte ist sollte keine Überraschung sein, jedoch ist einem auf den ersten Blick unklar warum die Größe von *std::string* 24 Byte ist.

| Datentyp | Größe mittels sizeof() |
|-------------|------------------------|
| std::string | 24 |
| char | 1 |

Tabelle 2: Größe von std::string und char

Analysiert man die *std::string* Klasse findet man heraus dass diese eine Instanziierung von der Template Klasse *std::basic_string* mit dem Datentypen *char* ist. Schaut man sich die Header-Datei dieser Klasse an kann man ein Datenschema wie im Quellcode 19 vereinfacht dargestellt erkennen. Nun weiß man auch warum sizeof(std::string) 24 ergibt. Die Daten setzen sich aus einem Pointer *data (4 byte) der auf den Datenblock zeigt, einer Variable *string_lenght* (4 byte) welche die Länge des Strings beinhaltet und einer Union (16 byte) welche als Buffer dient oder als Variable die Anzahl des allozierten Speichers am Heap beinhaltet.

Quellcode (19) Datenschema std:string

Solange die Zeichenkette weniger als 17 Zeichen beinhaltet, werden Daten im lokalen Datenblock von 16 Byte abgelegt auf welchen auch der Zeiger *data zeigt. Überschreitet die Zeichenkette die Länge von 16 Zeichen wird zur Laufzeit dynamisch Speicher am Heap reserviert wo dann der neue String auch hin kopiert wird. Jetzt zeigt der Zeiger *data nicht mehr auf den lokalen Buffer sondern auf den am Heap allozierten Speicher. Die Variable allocated_data beinhaltet nun die Größe des allozierten Speichers am Heap. Um Speicher zu sparen wurde der Buffer local_data[16] und die Variable allocated_data in eine Union verpackt da immer nur eine zur gleichen Zeit verwendet wird. Die Größe des allozierten Speichers am Heap muss mindestens so groß sein wie die Länge der eigentlichen Zeichenkette (allocated_data >= string_lenght).

Das nachfolgende Beispiel verdeutlicht wie dynamisch Speicher am Heap alloziert wird wenn man die Länge von *std::string* dynamisch verändert. Dazu wird die Zeichenkette bei jedem Schleifendurchgang um das Zeichen '=' erweitert. Die Funktionen *malloc* und *free* wurden so manipuliert das diese jeweils ein Text ausgeben wenn Speicher am Heap alloziert oder dealloziert wird.

```
1int main() {
                                      02: =
                                      03: ==
    std::string str;
                                      :::
                                      15: =======
4
    for(int i=2; i <33; i++) {</pre>
5
                                      16: =======
        str.append("=");
                                      * Allocate 31 bytes
        printf("%02d:_%s\n", i,
                                      17: ========
              str.c_str());
8
                                      18: ========
9
10
                                      30: ========
                                      31: ==========
    return 0;
11
12 }
                                      * Allocate 61 bytes
13
                                      * Deallocate
14
                                      32: ==========
15
16
17 / *EOF */
```

Quellcode (20) Dynamisches Verhalten

Ausgabe Quellcode (20)

Wie bei den C Strings ist auch bei *std::string* jede Zeichenkette mit '\0' terminiert. Fügt man das 17 Zeichen hinzu werden 31 Bytes am Heap alloziert da der interne Buffer mit 16 bytes jetzt zu klein ist. Wächst die Zeichenkette auf 32 Zeichen an werden weiter 61 Bytes alloziert wohin die neue Zeichenkette kopiert wird. Nach dem Kopier- Vorgang wird der alte Speicher von 31 Bytes wieder freigegeben. Erkennbar ist also dass der Speicher jeweils um das doppelte wächst sollte der momentane Speicher am Heap nicht mehr ausreichend sein.

- 2.0.9 Pointer vs Referenzen
- 2.0.10 Namespaces
- 2.0.11 Dynamische Speicher Verwaltung
- 2.0.12 Klassen

Konstruktoren

Destruktoren

Literaturverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

| Tabelle 1 | Analyse Tools | 2 |
|-----------|--------------------------------|---|
| Tabelle 2 | Größe von std::string und char | 1 |

Quellcodeverzeichnis

| Quellcode 1 | C++ Beispiel | 3 |
|--------------|------------------------|----|
| Quellcode 2 | C Beispiel | 3 |
| Quellcode 3 | | 4 |
| Quellcode 4 | | 4 |
| Quellcode 5 | C++ Beispiel | 5 |
| Quellcode 6 | C Beispiel | 5 |
| Quellcode 7 | | 6 |
| Quellcode 8 | | 6 |
| Quellcode 9 | C++ Beispiel | 7 |
| Quellcode 10 | C Beispiel | 7 |
| Quellcode 11 | | 8 |
| Quellcode 12 | | 8 |
| Quellcode 13 | | 8 |
| Quellcode 14 | | 8 |
| Quellcode 15 | C- Array | 9 |
| Quellcode 16 | std::array | 9 |
| Quellcode 17 | | 10 |
| Quellcode 18 | | 10 |
| Quellcode 19 | Datenschema std:string | 11 |
| Quellcode 20 | Dynamisches Verhalten | 12 |
| Quellcode 21 | | 12 |

Abkürzungsverzeichnis

ABC Alphabet

WWW world wide web

ROFL Rolling on floor laughing

A Anhang A

B Anhang B