

Eine Einführung in modernes C++ mit CMake

Paul Nykiel

July 2, 2019

- 1 Einleitung
- 2 Ein erstes C++ Programm
- 3 CMake
- 4 Mehr C++
- 5 Design Pattern
- 6 OOP in C++
- 7 Noch mehr C++
- 8 Praxis: Einrichten der Entwicklungsumgebung
- 9 STL
- 10 Praxis
- 11 Tools
- 12 Abschluss

Einleitung

Ein erstes
C++
Programm

CMake

Mehr C++

Design
Pattern

OOP in C++

Noch mehr
C++

Praxis:
Einrichten der
Entwicklung-
sumgebung

STL

Praxis

Tools

Einleitung

Einleitung

Ein erstes
C++
Programm

CMake

Mehr C++

Design
Pattern

OOP in C++

Noch mehr
C++

Praxis:
Einrichten der
Entwicklung-
sumgebung

STL

Praxis

Tools

Was ist C++

- ~~C with classes~~

Einleitung

Ein erstes
C++
Programm

CMake

Mehr C++

Design
Pattern

OOP in C++

Noch mehr
C++

Praxis:
Einrichten der
Entwicklung-
sumgebung

STL

Praxis

Tools

Was ist C++

- ~~C with classes~~
- C++11!

Einleitung

Ein erstes
C++
Programm

CMake

Mehr C++

Design
Pattern

OOP in C++

Noch mehr
C++

Praxis:
Einrichten der
Entwicklung-
sumgebung

STL

Praxis

Tools

Was ist C++

- ~~C with classes~~
- C++11!
- Standardisiert und offen

Einleitung

Ein erstes
C++
Programm

CMake

Mehr C++

Design
Pattern

OOP in C++

Noch mehr
C++

Praxis:
Einrichten der
Entwicklung-
sumgebung

STL

Praxis

Tools

Was ist C++

- ~~C with classes~~
- C++11!
- Standardisiert und offen
- Wird in quasi jeder Domäne genutzt

Was ist C++

- ~~C with classes~~
- C++11!
- Standardisiert und offen
- Wird in quasi jeder Domäne genutzt
- Ziele: Sicherer und performanter Code

C++ im Vergleich zu Java, C#

- undefiniertes Verhalten

C++ im Vergleich zu Java, C#

- undefiniertes Verhalten
- keine automatische Speicherverwaltung

C++ im Vergleich zu Java, C#

- undefiniertes Verhalten
- keine automatische Speicherverwaltung
- kleiner Sprachkern und kleine Standardlibrary

C++ im Vergleich zu Java, C#

- undefiniertes Verhalten
- keine automatische Speicherverwaltung
- kleiner Sprachkern und kleine Standardlibrary
- Templates

C++ im Vergleich zu Java, C#

- undefiniertes Verhalten
- keine automatische Speicherverwaltung
- kleiner Sprachkern und kleine Standardlibrary
- Templates
- Operatorenüberladung

C++ im Vergleich zu Java, C#

- undefiniertes Verhalten
- keine automatische Speicherverwaltung
- kleiner Sprachkern und kleine Standardlibrary
- Templates
- Operatorenüberladung
- tendenziell weniger tiefe Vererbung

C++ im Vergleich zu Java, C#

- undefiniertes Verhalten
- keine automatische Speicherverwaltung
- kleiner Sprachkern und kleine Standardlibrary
- Templates
- Operatorenüberladung
- tendenziell weniger tiefe Vererbung
- Mehrfachvererbung

C++ im Vergleich zu Java, C#

- undefiniertes Verhalten
- keine automatische Speicherverwaltung
- kleiner Sprachkern und kleine Standardlibrary
- Templates
- Operatorenüberladung
- tendenziell weniger tiefe Vererbung
- Mehrfachvererbung
- definierte Objektlebenszeit

Ein erstes C++ Programm

Beispiel: Hello World

Vom Sourcecode zur ausführbaren Datei

- Präprozessor

Vom Sourcecode zur ausführbaren Datei

- Präprozessor
- C++-Compiler

Vom Sourcecode zur ausführbaren Datei

- Präprozessor
- C++-Compiler
- Linker

Vom Sourcecode zur ausführbaren Datei

- Präprozessor
- C++-Compiler
- Linker
- includes sichern Typkonsistenz

Vom Sourcecode zur ausführbaren Datei

- Präprozessor
- C++-Compiler
- Linker
- includes sichern Typkonsistenz
- Templates müssen im Header definiert werden

Beispiel: Eine zweite Übersetzungseinheit

CMake

Warum CMake

- Nur geänderte Dateien neu kompilieren

Warum CMake

- Nur geänderte Dateien neu kompilieren
- Einzelner Befehl an Compiler wird zu kompliziert

Warum CMake

- Nur geänderte Dateien neu kompilieren
- Einzelner Befehl an Compiler wird zu kompliziert
- Portabilität

Beispiel: CMake

Mehr C++

Speicherverwaltung

- `std::list<int> a = b;`
`std::list<int> c = f(a);`

Speicherverwaltung

- `std::list<int> a = b;`
 `std::list<int> c = f(a);`
- Jegliche Zuweisung ist eine Kopie, auch für Funktionsargumente

Speicherverwaltung

- `std::list<int> a = b;`
`std::list<int> c = f(a);`
- Jegliche Zuweisung ist eine Kopie, auch für Funktionsargumente
- Einfach verständlich

Speicherverwaltung

- `std::list<int> a = b;`
`std::list<int> c = f(a);`
- Jegliche Zuweisung ist eine Kopie, auch für Funktionsargumente
- Einfach verständlich
- Für große Objekte unnötige Performanceeinbuße

Pointer

- Pointer

Pointer

- Pointer
- Angst!

Pointer

- Pointer
- Angst!
- Gefährlich!

Pointer

- Pointer
- Angst!
- Gefährlich!
- Böse!

- Pointer
- Angst!
- Gefährlich!
- Böse!
- Nicht schlimm aber viel Fehlerpotential

Pointer

- Pointer
- Angst!
- Gefährlich!
- Böse!
- Nicht schlimm aber viel Fehlerpotential
- `int b = 17; int *a = &b;`

Einleitung

Ein erstes
C++
Programm

CMake

Mehr C++

Design
Pattern

OOP in C++

Noch mehr
C++

Praxis:
Einrichten der
Entwicklung-
sumgebung

STL

Praxis

Tools

- Pointer
- Angst!
- Gefährlich!
- Böse!
- Nicht schlimm aber viel Fehlerpotential
- `int b = 17; int *a = &b;`
- `int *c = new int();`

- Pointer
- Angst!
- Gefährlich!
- Böse!
- Nicht schlimm aber viel Fehlerpotential
- `int b = 17; int *a = &b;`
- `int *c = new int();`
- `delete c;`

- Pointer
- Angst!
- Gefährlich!
- Böse!
- Nicht schlimm aber viel Fehlerpotential
- `int b = 17; int *a = &b;`
- `int *c = new int();`
- `delete c;`
- Gehört nicht in die Anwendungslogik

Smart-Pointer

- Funktionen aus der Standardlibrary

Smart-Pointer

- Funktionen aus der Standardlibrary
- `unique_ptr`

Smart-Pointer

- Funktionen aus der Standardlibrary
- `unique_ptr`
- Genau ein Owner

Smart-Pointer

- Funktionen aus der Standardlibrary
- `unique_ptr`
- Genau ein Owner
- `std::unique_ptr<int> a = std::make_unique<int>(17);`

Smart-Pointer

- Funktionen aus der Standardlibrary
- `unique_ptr`
- Genau ein Owner
- `std::unique_ptr<int> a = std::make_unique<int>(17);`
- `shared_ptr`

Smart-Pointer

- Funktionen aus der Standardlibrary
- `unique_ptr`
- Genau ein Owner
- `std::unique_ptr<int> a = std::make_unique<int>(17);`
- `shared_ptr`
- Quasi immer nutzbar
- `std::shared_ptr<int> a = std::make_shared<int>(17);`

- Sprachfeature kein Library-Feature

Referenzen

- Sprachfeature kein Library-Feature
- Können nicht null sein

Referenzen

- Sprachfeature kein Library-Feature
- Können nicht null sein
- Können aber ungültig werden

Referenzen

- Sprachfeature kein Library-Feature
- Können nicht null sein
- Können aber ungültig werden
- `int b = 17; int &a = b;`

Zusammenfassung Pointer

- Raw-Pointer: Wird quasi nie verwendet

Zusammenfassung Pointer

- Raw-Pointer: Wird quasi nie verwendet
- Unique-Pointer: Ersatz für Raw-Pointer

Zusammenfassung Pointer

- Raw-Pointer: Wird quasi nie verwendet
- Unique-Pointer: Ersatz für Raw-Pointer
- Shared-Pointer: Sichere Pointer für beliebig viele Ownerr

Zusammenfassung Pointer

- Raw-Pointer: Wird quasi nie verwendet
- Unique-Pointer: Ersatz für Raw-Pointer
- Shared-Pointer: Sichere Pointer für beliebig viele Ownerr
- Referenzen: Oftmals um Kopien zu vermeiden

Beispiel: Pointer & Referenzen

Design Pattern

Const-Correctness

- Alles per Referenz: Super Effizient aber Fehlerquelle

Einleitung

Ein erstes
C++
Programm

CMake

Mehr C++

Design
Pattern

OOP in C++

Noch mehr
C++

Praxis:
Einrichten der
Entwicklung-
sumgebung

STL

Praxis

Tools

Const-Correctness

- Alles per Referenz: Super Effizient aber Fehlerquelle
- Const-Referenzen

Const-Correctness

- Alles per Referenz: Super Effizient aber Fehlerquelle
- Const-Referenzen
- `const int &a = b;`

Const-Correctness

- Alles per Referenz: Super Effizient aber Fehlerquelle
- Const-Referenzen
- `const int &a = b;`
- Const-Memberfunktionen

Const-Correctness

- Alles per Referenz: Super Effizient aber Fehlerquelle
- Const-Referenzen
- `const int &a = b;`
- Const-Memberfunktionen
- `int getX() const {...`

Const-Correctness

- Alles per Referenz: Super Effizient aber Fehlerquelle
- Const-Referenzen
- `const int &a = b;`
- Const-Memberfunktionen
- `int getX() const {...`
- Mutable

Beispiel: Const-Correctness

- Resource acquisition is initialization

Einleitung

Ein erstes
C++
Programm

CMake

Mehr C++

**Design
Pattern**

OOP in C++

Noch mehr
C++

Praxis:
Einrichten der
Entwicklung-
sumgebung

STL

Praxis

Tools

- Resource acquisition is initialization
- Objekt akquiriert Ressourcen im Konstruktor und gibt sie im Destruktor frei

- Resource acquisition is initialization
- Objekt akquiriert Ressourcen im Konstruktor und gibt sie im Destruktor frei
- ```
int readJsonFromFile(const std::string &fileName) {
 File f{fileName}
 Json j = f.parse();
 return j.at("ABC");
}
```

# OOP in C++

# Klassendeklaration

```
class A : public B {
 public:
 A(int c, int d);
 auto getC() const -> int;
 private:
 const int d;
};
```

# Klassendefinition

```
A::A(int c, int d) : B{c}, d{d} {
 // More code
}

auto A::getC() const -> int {
 return this->c;
}
```



# Beispiel: HelloWorld OOP

# Noch mehr C++

# Casts und Null-Pointer

- `static_cast<T>(a)`

# Casts und Null-Pointer

- `static_cast<T>(a)`
- `dynamic_cast<T>(a)`

# Casts und Null-Pointer

- `static_cast<T>(a)`
- `dynamic_cast<T>(a)`
- 0, NULL und `nullptr`

# Type-Deduction

```
float f = 0;
auto i = 0;
auto i2 = i;
auto i3 = static_cast<int>(f);
decltype(i3) i4 = 12;
```

# Lambda-Ausdrücke und Funktionen

```
int c = 17;
auto mulFun = [&c](int i, int m) {
 c++;
 return i * m;
}
mulFun(17, 3);

auto doubleFun =
 std::bind(mulFun, std::placeholder::_1, 2);
doubleFun(17);
```

# Kurzeinführung Templates als Generics

Eine  
Einführung in  
modernes  
C++ mit  
CMake

Paul Nykiel

Einleitung

Ein erstes  
C++  
Programm

CMake

Mehr C++

Design  
Pattern

OOP in C++

Noch mehr  
C++

Praxis:  
Einrichten der  
Entwicklung-  
sumgebung

STL

Praxis

Tools

```
template<typename T>
auto max(T i, T j) -> T {
 if (i > j) {
 return i;
 } else {
 return j;
 }
}

max<int>(1,2);
max(1,2);
```



# Praxis: Einrichten der Entwicklungsumgebung

# Linux (Ubuntu basiert)

```
sudo add-apt-repository -y ppa:ubuntu-toolchain-r/test
sudo apt install -y gcc-8 g++-8 make cmake build-essential
update-alternatives --install /usr/bin/gcc gcc /usr/bin/gcc-8 800 --s
```

```
sudo snap install clion --classic
```

```
xcode-select --install
```

CLion runterladen und installieren:

<https://www.jetbrains.com/clion/download/#section=mac>

Siehe Anleitung:

[https://www.jetbrains.com/help/clion/  
quick-tutorial-on-configuring-clion-on-macos.html](https://www.jetbrains.com/help/clion/quick-tutorial-on-configuring-clion-on-macos.html)

Anleitung befolgen und hoffen:

[https://www.jetbrains.com/help/clion/  
quick-tutorial-on-configuring-clion-on-windows.html](https://www.jetbrains.com/help/clion/quick-tutorial-on-configuring-clion-on-windows.html)

# STL

- Standard Template Library

Einleitung

Ein erstes  
C++  
Programm

CMake

Mehr C++

Design  
Pattern

OOP in C++

Noch mehr  
C++

Praxis:  
Einrichten der  
Entwicklung-  
sumgebung

**STL**

Praxis

Tools

- Standard Template Library
- Utility

Einleitung

Ein erstes  
C++  
Programm

CMake

Mehr C++

Design  
Pattern

OOP in C++

Noch mehr  
C++

Praxis:  
Einrichten der  
Entwicklung-  
sumgebung

**STL**

Praxis

Tools

- Standard Template Library
- Utility
- Container



- Standard Template Library
- Utility
- Container
- Algorithmen

- Standard Template Library
- Utility
- Container
- Algorithmen
- IO

- Standard Template Library
- Utility
- Container
- Algorithmen
- IO
- Concurrency

- `std::string`

Einleitung

Ein erstes  
C++  
Programm

CMake

Mehr C++

Design  
Pattern

OOP in C++

Noch mehr  
C++

Praxis:  
Einrichten der  
Entwicklung-  
sumgebung

**STL**

Praxis

Tools

# Utility

- `std::string`
- `std::unique_ptr<T>`

# Utility

- `std::string`
- `std::unique_ptr<T>`
- `std::shared_ptr<T>`

# Utility

- `std::string`
- `std::unique_ptr<T>`
- `std::shared_ptr<T>`
- `std::chrono`

- `std::string`
- `std::unique_ptr<T>`
- `std::shared_ptr<T>`
- `std::chrono`
- `std::sin()` ...



- `std::string`
- `std::unique_ptr<T>`
- `std::shared_ptr<T>`
- `std::chrono`
- `std::sin()` ...
- `std::complex` ...

- `std::string`
- `std::unique_ptr<T>`
- `std::shared_ptr<T>`
- `std::chrono`
- `std::sin()` ...
- `std::complex` ...
- `std::normal_distribution` ...

- `std::string`
- `std::unique_ptr<T>`
- `std::shared_ptr<T>`
- `std::chrono`
- `std::sin()` ...
- `std::complex` ...
- `std::normal_distribution` ...
- `std::function<T(A...)>`

# Container

- `std::array<T, N>`

# Container

- `std::array<T, N>`
- `std::vector<T>`

# Container

- `std::array<T, N>`
- `std::vector<T>`
- `std::deque<T>`

# Container

- `std::array<T, N>`
- `std::vector<T>`
- `std::deque<T>`
- `std::list<T>` und `std::forward_list<T>`

# Container

- `std::array<T, N>`
- `std::vector<T>`
- `std::deque<T>`
- `std::list<T>` und `std::forward_list<T>`
- `std::set<T>` und `std::map<K, V>`



# Container

- `std::array<T, N>`
- `std::vector<T>`
- `std::deque<T>`
- `std::list<T>` und `std::forward_list<T>`
- `std::set<T>` und `std::map<K, V>`
- `std::tuple<T...>` und `std::pair<T1, T2>`

# Container

- `std::array<T, N>`
- `std::vector<T>`
- `std::deque<T>`
- `std::list<T>` und `std::forward_list<T>`
- `std::set<T>` und `std::map<K, V>`
- `std::tuple<T...>` und `std::pair<T1, T2>`
- `std::optional<T>`

```
std::vector<int> a = {1,2,17,42,1337};
int b = 0;

for (std::vector<int>::iterator it = a.begin();
 it != a.end(); it++) {
 b += *it;
}
```

# for-each

```
std::vector<int> a = {1,2,17,42,1337};
int b = 0;

for (const auto &i : a) {
 b += i;
}
```

# Algorithmen

- `std::transform`

# Algorithmen

- `std::transform`
- `std::sort`

# Algorithmen

- `std::transform`
- `std::sort`
- `std::max`, `std::max_element` ...

Einleitung

Ein erstes  
C++  
Programm

CMake

Mehr C++

Design  
Pattern

OOP in C++

Noch mehr  
C++

Praxis:  
Einrichten der  
Entwicklung-  
sumgebung

**STL**

Praxis

Tools

- `std::istream` und `std::ostream`



- `std::istream` und `std::ostream`
- `std::cout`, `std::cerr` und `std::cin`

- `std::istream` und `std::ostream`
- `std::cout`, `std::cerr` und `std::cin`
- `std::fstream`

# Concurrency

- `std::thread`

# Concurrency

- `std::thread`
- `std::launch` und `std::future<T>`

# Concurrency

- `std::thread`
- `std::launch` und `std::future<T>`
- `std::mutex` und `std::lock_guard<T>`

# Concurrency

- `std::thread`
- `std::launch` und `std::future<T>`
- `std::mutex` und `std::lock_guard<T>`
- `std::atomic<T>`

# Praxis

# Praxis:



# Praxis: Huffman-Codierer

- Datei einlesen

Einleitung

Ein erstes  
C++  
Programm

CMake

Mehr C++

Design  
Pattern

OOP in C++

Noch mehr  
C++

Praxis:  
Einrichten der  
Entwicklung-  
sumgebung

STL

**Praxis**

Tools

# Vorgehen

- Datei einlesen
- Relative Häufigkeiten ( $\approx$  Wahrscheinlichkeiten) berechnen (Byteweise)

Einleitung

Ein erstes  
C++  
Programm

CMake

Mehr C++

Design  
Pattern

OOP in C++

Noch mehr  
C++

Praxis:  
Einrichten der  
Entwicklung-  
sumgebung

STL

**Praxis**

Tools

# Vorgehen

- Datei einlesen
- Relative Häufigkeiten ( $\approx$  Wahrscheinlichkeiten) berechnen (Byteweise)
- Huffman-Baum konstruieren

Einleitung

Ein erstes  
C++  
Programm

CMake

Mehr C++

Design  
Pattern

OOP in C++

Noch mehr  
C++

Praxis:  
Einrichten der  
Entwicklung-  
sumgebung

STL

**Praxis**

Tools

- Datei einlesen
- Relative Häufigkeiten ( $\approx$  Wahrscheinlichkeiten) berechnen (Byteweise)
- Huffman-Baum konstruieren
  - Menge aller Symbole mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten

- Datei einlesen
- Relative Häufigkeiten ( $\approx$  Wahrscheinlichkeiten) berechnen (Byteweise)
- Huffman-Baum konstruieren
  - Menge aller Symbole mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten
  - Zwei Symbole geringster Wahrscheinlichkeit finden

- Datei einlesen
- Relative Häufigkeiten ( $\approx$  Wahrscheinlichkeiten) berechnen (Byteweise)
- Huffman-Baum konstruieren
  - Menge aller Symbole mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten
  - Zwei Symbole geringster Wahrscheinlichkeit finden
  - Symbole aus Menge Entfernen

- Datei einlesen
- Relative Häufigkeiten ( $\approx$  Wahrscheinlichkeiten) berechnen (Byteweise)
- Huffman-Baum konstruieren
  - Menge aller Symbole mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten
  - Zwei Symbole geringster Wahrscheinlichkeit finden
  - Symbole aus Menge Entfernen
  - Zu neuem Knoten kombinieren



- Datei einlesen
- Relative Häufigkeiten ( $\approx$  Wahrscheinlichkeiten) berechnen (Byteweise)
- Huffman-Baum konstruieren
  - Menge aller Symbole mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten
  - Zwei Symbole geringster Wahrscheinlichkeit finden
  - Symbole aus Menge Entfernen
  - Zu neuem Knoten kombinieren
  - Knoten zu Menge hinzufügen

- Datei einlesen
- Relative Häufigkeiten ( $\approx$  Wahrscheinlichkeiten) berechnen (Byteweise)
- Huffman-Baum konstruieren
  - Menge aller Symbole mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten
  - Zwei Symbole geringster Wahrscheinlichkeit finden
  - Symbole aus Menge Entfernen
  - Zu neuem Knoten kombinieren
  - Knoten zu Menge hinzufügen
- Abbildung ausgeben

# Tools

```
TEST(SqrtTest, Simple) {
 EXPECT_EQ(sqrt(4), 2);
}

TEST(SqrtTest, Negative) {
 EXPECT_THROW(sqrt(-1), std::runtime_error);
}
```

```
/**
 * Returns the maximum of two objects.
 *
 * @tparam T the type of the objects,
 * the type must support the < operator.
 * @param i the first object
 * @param j the second object
 * @return the maximum value
 */
template<typename T>
auto max(T i, T j) -> T {
```

# Debugging und Fehlersuche

- Debugger

# Debugging und Fehlersuche

- Debugger
- Valgrind

# Debugging und Fehlersuche

- Debugger
- Valgrind
- LibAdressSanitizer (Asan)



# Debugging und Fehlersuche

- Debugger
- Valgrind
- LibAdressSanitizer (Asan)
- clang-tidy

# Beispiel: Tools

# Abschluss

# Was fehlt?

- R-Value Referenzen, forward/universal Referenzen

Einleitung

Ein erstes  
C++  
Programm

CMake

Mehr C++

Design  
Pattern

OOP in C++

Noch mehr  
C++

Praxis:  
Einrichten der  
Entwicklung-  
sumgebung

STL

Praxis

Tools

# Was fehlt?

- R-Value Referenzen, forward/universal Referenzen
- Move

# Was fehlt?

- R-Value Referenzen, forward/universal Referenzen
- Move
- Destruktor und Copy / Move Konstruktor

# Was fehlt?

- R-Value Referenzen, forward/universal Referenzen
- Move
- Destruktor und Copy / Move Konstruktor
- Operatorenüberladung

# Was fehlt?

- R-Value Referenzen, forward/universal Referenzen
- Move
- Destruktor und Copy / Move Konstruktor
- Operatorenüberladung
- Friend Definition



# Was fehlt?

- R-Value Referenzen, forward/universal Referenzen
- Move
- Destruktor und Copy / Move Konstruktor
- Operatorenüberladung
- Friend Definition
- Meta-Programming

# Mehr Informationen

- [en.cppreference.com](http://en.cppreference.com)

# Mehr Informationen

- [en.cppreference.com](http://en.cppreference.com)
- [github.com/isocpp/CppCoreGuidelines](https://github.com/isocpp/CppCoreGuidelines)

# Mehr Informationen

- [en.cppreference.com](http://en.cppreference.com)
- [github.com/isocpp/CppCoreGuidelines](https://github.com/isocpp/CppCoreGuidelines)
- [godbolt.org](http://godbolt.org)

# Mehr Informationen

- [en.cppreference.com](http://en.cppreference.com)
- [github.com/isocpp/CppCoreGuidelines](https://github.com/isocpp/CppCoreGuidelines)
- [godbolt.org](http://godbolt.org)
- [github.com/SoPra-Team-10/CppCMakeIntro](https://github.com/SoPra-Team-10/CppCMakeIntro)

# Mehr Informationen

- [en.cppreference.com](http://en.cppreference.com)
- [github.com/isocpp/CppCoreGuidelines](https://github.com/isocpp/CppCoreGuidelines)
- [godbolt.org](http://godbolt.org)
- [github.com/SoPra-Team-10/CppCMakeIntro](https://github.com/SoPra-Team-10/CppCMakeIntro)
- Scott Meyers: Effective Modern C++