



C++26: Ein Überblick

Rainer Grimm

Schulung, Mentoring und
Technologieberatung

C++26

Kernsprache



- ☐ Reflektion
- ☐ Contracts
- ☐ Platzhalter
- ☐ Template-Verbesserungen
- ☐ `delete` mit Grund

Bibliothek



- ☐ `std::inplace_vector`
- ☐ Unterstützung der linearen Algebra
- ☐ `std::submdspan`
- ☐ Unterstützung bei der Fehlersuche

Concurrency



- ☐ `std::execution`
- ☐ Data-Parallel Typen (SIMD)

C++26

Kernsprache



- ☒ Reflektion
- ☒ Contracts
- ☒ Platzhalter
- ☒ Template-Verbesserungen
- ☒ `delete` mit Grund

Bibliothek



- ☐ `std::inplace_vector`
- ☐ Unterstützung der linearen Algebra
- ☐ `std::submdspan`
- ☐ Unterstützung bei der Fehlersuche

Concurrency



- ☐ `std::execution`
- ☐ Data-Parallel Typen (SIMD)

Reflektion

Reflektion ist die Fähigkeit eines Programms, seine Struktur und sein Verhalten zu untersuchen, zu analysieren und zu ändern.

```
int main() {  
    constexpr auto r = ^^int;  
    typename[:r:] x = 42;           // Same as: int x = 42;  
    typename[:^^char:] c = '*';    // Same as: char c = '*';  
  
    static_assert(std::same_as<decltype(x), int>);  
    static_assert(std::same_as<decltype(c), char>);  
    assert(x == 42);  
    assert(c == '*');  
}
```

- **^^: Reflektion Operator** erzeugt einen Reflektion-Wert aus seinem Operanden (^^int und ^^char)
- **[:refl:]**: **Splicer** erzeugt ein grammatisches Element aus einem Reflektion-Wert ([:r:] und [^^char:])
- **Reflektion-Wert** ist eine Darstellung von Programmelementen als konstanter Ausdruck

Reflektion

- Reflektion
 - Proposal [P2996R5](#)
 - ist ein minimal viable product
 - unterstützt viele Metafunktionen
- Metafunktionen
 - als `constexpr` deklariert
 - den Reflektion-Wert `std::meta::info` akzeptieren
- Reflektion-Operator (`^^`)
 - erstellt `std::meta::info`

[daveed.cpp](#)
[getSize.cpp](#)

Contracts

Ein **Contract** spezifiziert Schnittstellen für Softwarekomponenten auf präzise und überprüfbare Weise.

- Die Softwarekomponenten sind Funktionen und Methoden, die preconditions, postconditions und invariants erfüllen müssen.
 - Eine **preconditions**: ein Prädikat, das bei der Eingabe in eine Funktion gelten soll.
 - Eine **postconditions**: ein Prädikat, das beim Verlassen der Funktion gelten soll.
 - Eine **invariant**: ein Prädikat, das an seinem Punkt in der Berechnung gelten soll.
- Die Contracts basieren auf dem Proposal [P2961R2](#).

Contracts

```
int f(int i)
  pre (i >= 0)
  post (r: r > 0) {
    contract_assert (i >= 0);
    return i+1;
  }
```

pre und post

- fügt eine precondition (postconditions) hinzu. Eine Funktion kann eine beliebige Anzahl von preconditions (postconditions) haben. Sie können beliebig miteinander vermischt werden.
- sind kontextbezogene Schlüsselwörter
- stehen am Ende der Funktionsdeklaration

post

- kann einen Rückgabewert haben. Dem Prädikat muss ein Bezeichner vorangestellt werden, gefolgt von einem Doppelpunkt.

contract_assert

- ist ein Schlüsselwort. Andernfalls könnte es nicht von einem Funktionsaufruf unterschieden werden.

Platzhalter

Platzhalter sind eine gute Möglichkeit, nicht mehr benötigte Variablen hervorzuheben.

Platzhalter

- ist der Unterstrich ()
- kann beliebig oft verwendet werden
- gibt keine Warnung aus, wenn sie nicht verwendet wird
- wird häufig in Python verwendet

Template-Verbesserungen

Pack Indexing ermöglicht den Indexzugriff auf die Elemente des Parameterpacks.

Indizierung der Packs

- Kann Ihre Lieblings-Template-Verbesserung sein, wenn Sie ein Freund der Template-Metaprogrammierung sind
- basiert auf dem Proposal [P2662R3](#)

[packIndexing.cpp](#)

delete mit Grund

Mit C++26 können Sie einen Grund für Ihr `delete` angeben.

- `delete` mit Grund
 - wird zur Best Practice
 - stützt sich auf den Proposal [p2573r2](#)

C++26

Kernsprache



- ☐ Reflektion
- ☐ Contracts
- ☐ Platzhalter
- ☐ Template-Verbesserungen
- ☐ `delete` mit Grund

Bibliothek



- ☒ `std::inplace_vector`
- ☒ Unterstützung der linearen Algebra
- ☒ `std::submdspan`
- ☒ Unterstützung bei der Fehlersuche

Concurrency



- ☐ `std::execution`
- ☐ Data-Parallel Typen (SIMD)

`std::inplace_vector`

`std::inplace_vector`

- Vektor mit dynamischer Größenänderung und zur Compilezeit festgelegter Kapazität
- zusammenhängender eingebetteter Speicher, in dem die Elemente innerhalb des Vektorobjekts selbst gespeichert werden
- drop-in replacement für `std::vector`
- Wenn `std::inplace_vector`? ([P0843R8](#))
 - Speicherzuweisung ist nicht möglich
 - Die Speicherzuweisung führt zu einer inakzeptablen Beeinträchtigung der Performanz
 - `std::array` ist keine Option, z. B. wenn nicht default konstruierbare Objekte gespeichert werden müssen
 - innerhalb von `constexpr`-Funktionen ist ein Array mit dynamischer Größenänderung erforderlich

Unterstützung für Lineare Algebra

`<linalg>` ist eine freie Schnittstelle für lineare Algebra, die auf BLAS basiert.

- **BLAS: Basic Linear Algebra Subprograms** ist eine Spezifikation, die eine Reihe von Low-Level-Routinen für die Durchführung gängiger linearer Algebra-Operationen vorschreibt
 - Vektoraddition
 - skalare Multiplikation
 - Linearkombinationen
 - Matrix-Multiplikation
- Diese Operationen sind de facto die grundlegenden Standardroutinen für lineare Algebra-Bibliotheken.

std::submdspan

std::submdspan

```
template<class T, class E, class L, class A,  
         class ... SliceArgs>  
auto submdspan(mdspan<T,E,L,A> x, SliceArgs ... args);
```

```
int* ptr = ...;  
int N = ...;  
mdspan a(ptr, N);
```

// subspan of a single element

```
auto a_sub1 = submdspan(a, 1);  
static_assert(decltype(a_sub1)::rank() == 0);  
assert(&a_sub1() == &a(1));
```

// subrange

```
auto a_sub2 = submdspan(a, tuple{1, 4});  
static_assert(decltype(a_sub2)::rank() == 1);  
assert(&a_sub2(0) == &a(1));  
assert(a_sub2.extent(0) == 3);
```

// subrange with stride

```
auto a_sub3 = submdspan(a, strided_slice{1, 7, 2});  
static_assert(decltype(a_sub3)::rank() == 1);  
assert(&a_sub3(0) == &a(1));  
assert(&a_sub3(3) == &a(7));  
assert(a_sub3.extent(0) == 4);
```

// full range

```
auto a_sub4 = submdspan(a, full_extent);  
static_assert(decltype(a_sub4)::rank() == 1);  
assert(a_sub4(0) == a(0));  
assert(a_sub4.extent(0) == a.extent(0));
```

Unterstützung bei der Fehlersuche

C++26 hat drei Funktionen für die Fehlersuche.

- `std::breakpoint`: Hält das laufende Programm an, wenn es aufgerufen wird, und übergibt die Kontrolle an den Debugger
- `std::breakpoint_if_debugging`: ruft `std::breakpoint` auf, wenn `std::is_debugger_present true` zurückgibt
- `std::is_debugger_present`: prüft, ob ein Programm unter der Kontrolle eines Debuggers läuft

C++26

Kernsprache



- ☐ Reflektion
- ☐ Contracts
- ☐ Platzhalter
- ☐ Template-Verbesserungen
- ☐ `delete` mit Grund

Bibliothek



- ☐ `std::inplace_vector`
- ☐ Unterstützung der linearen Algebra
- ☐ `std::submdspan`
- ☐ Unterstützung bei der Fehlersuche

Concurrency



- ☒ `std::execution`
- ☒ Data-Parallel Typen (SIMD)

std::execution

`std::execution` bietet *"ein Standard-C++-Framework für die Verwaltung der asynchronen Ausführung auf generischen Ausführungsressourcen"*.
([P2300R10](#))

- `std::execution`
 - früher bekannt als Executors oder Sender/Empfänger
 - [stdexec](#) ist die Referenzimplementierung dieses Proposals
 - Verfügt über drei zentrale Abstraktionen: Scheduler, Sender und Empfänger sowie eine Reihe von anpassbaren asynchronen Algorithmen.

[stdexec.cpp](#)

std::execution

Das Programm "Hello world" des Proposals [P2300R10](#).

```
using namespace std::execution;

scheduler auto sch = thread_pool.scheduler(); // 1

sender auto begin = schedule(sch); // 2
sender auto hi = then(begin, []{ // 3
    std::cout << "Hello world! Have an int."; // 3
    return 13; // 3
}); // 3
sender auto add_42 = then(hi, [](int arg) { return arg + 42; }); // 4

auto [i] = this_thread::sync_wait(add_42).value();
```

[HelloWorld.cpp](#)

std::execution

- Ressourcen für die Ausführung
 - den Ort der Ausführung
 - brauchen keine Darstellung im Code
- Scheduler
 - die Ausführungsressource darstellen
 - Das Scheduler Concept wird durch einen einzigen Sendalgorithmus definiert: `schedule`.
 - Der Algorithmus `schedule` gibt einen Sender zurück, der auf einer vom Scheduler bestimmten Ausführungsressource fertiggestellt wird.

```
execution::scheduler auto sch = thread_pool.scheduler();  
execution::sender auto snd = execution::schedule(sch);  
// snd is a sender (see below) describing the creation of a new execution resource  
// on the execution resource associated with sch
```

std::execution

- Sender beschreiben Arbeit
 - einige Werte zu senden, wenn ein mit diesem Sender verbundener Empfänger diese Werte schließlich erhalten wird
- Empfänger stoppt den Arbeitsablauf
 - er unterstützt drei Kanäle: Wert, Error, Stop

```
execution::scheduler auto sch = thread_pool.scheduler();  
execution::sender auto snd = execution::schedule(sch);  
execution::sender auto cont = execution::then(snd, []{  
    std::fstream file{ "result.txt" };  
    file << compute_result;  
});  
  
this_thread::sync_wait(cont);  
// at this point, cont has completed execution
```

`std::execution`

▪ Sender Fabriken

- `execution::scheduler`
- `execution::just`
- `execution::just_error`
- `execution::just_stopped`
- `execution::read_env`

▪ Sender Empfänger

- `this_thread::sync_wait`

▪ Sender Adapter

- `execution::continues_on`
- `execution::then`
- `execution::upon_*`
- `execution::let_*`
- `execution::starts_on`
- `execution::into_variant`
- `execution::stopped_as_optional`
- `execution::stopped_as_error`
- `execution::bulk`
- `execution::split`
- `execution::when_all`

Data-Parallel Typen (SIMD)

```
const int SIZE= 8;
int vec[]={1, 2 , 3, 4, 5, 6, 7, 8};
int res[SIZE]={0,};

int main(){
    for (int i= 0; i < SIZE; ++i){
        res[i]= vec[i] + 5;
    }
}
```

Nicht vektorisiert

```
movslq  -8(%rbp), %rax
movl    vec(,%rax,4), %ecx
addl    $5, %ecx
movslq  -8(%rbp), %rax
movl    %ecx, res(,%rax,4)
```

Vektorisiert

```
movdqa  .LCPI0_0(%rip), %xmm0    # xmm0 = [5,5,5,5]
movdqa  vec(%rip), %xmm1
padd    %xmm0, %xmm1
movdqa  %xmm1, res(%rip)
padd    vec+16(%rip), %xmm0
movdqa  %xmm0, res+16(%rip)
xorl    %eax, %eax
```

Data-Parallel Typen (SIMD)

- **Vektorisierbaren Typen:** Standard-Ganzzahltypen, Zeichentypen und die Typen `float` und `double`
- Das Klassen-Template `simd`

```
template< class T, class Abi = simd_abi::compatible >  
class simd;
```

- Die Aliase `native_simd` und `fixed_size_simd`

```
template< class T, int N >  
using fixed_size_simd = std::datapar::simd<T, std::datapar::simd_abi::fixed_size<N>>;  
  
template< class T >  
using native_simd = std::datapar::simd<T, std::datapar::simd_abi::native<T>>;
```

Data-Parallel Typen (SIMD)

Data-Parallel Typen

- besitzen vektorspezifische Operationen (Reduktion,, Reduktion mit Maske).
- können auf die Funktionen in [<cmath>](#) angewandt werden (grundlegende, exponentielle, potenz, trigeometrische, hyperbolische oder gamma Funktionen).

Syntaktischer Zucker

```
void f(std::vector<float>& data) {  
    std::for_each(std::execution::simd, data.begin(), data.end(), [](auto& v) {  
        v = std::sin(v);  
    });  
}
```

C++26

Kernsprache



- ☐ Reflektion
- ☐ Contracts
- ☐ Platzhalter
- ☐ Template-Verbesserungen
- ☐ `delete` mit Grund

Bibliothek



- ☐ `std::inplace_vector`
- ☐ Unterstützung der linearen Algebra
- ☐ `std::submdspan`
- ☐ Unterstützung bei der Fehlersuche

Concurrency



- ☐ `std::execution`
- ☐ Data-Parallel Typen (SIMD)



Blog: www.ModernesCpp.com
Mentoring: www.ModernesCpp.org

Rainer Grimm
Schulung, Mentoring und
Technologieberatung