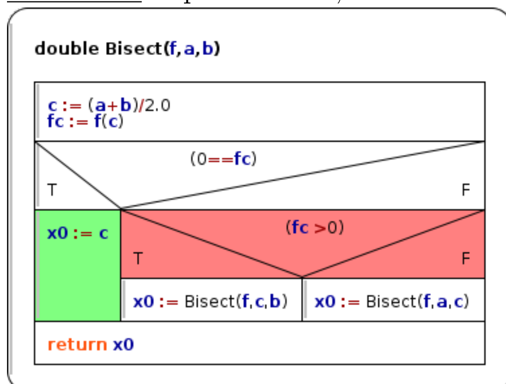
Draft der C++-Vorlesung vom 19.April 2024

Zu Aufgabenblatt 3:

- Beispiel Geheimzahl mit Speicherung aller Versuche (dynamischer Vektor) und einem Vektor von Strings zur flexiblen Ausgabe.
  Code: v_3a[1] mit docu[2].
- Auch mit `array` [Haase23, §5.1.2] von Strings möglich (`main.cpp:51`).
- Zufallszahlengenerierung (`main.cpp:108-112`) im Intervall $[anf, ende]$ mit C+++-Zufallszahlen `#include <random>`, zur Vertiefung[3].
- Benötigt die Compileroption `-std=c++11`

Beispiel Bisektion aus §7.8

Rekursion: Bsp. Bisektion, Bestimme eine Nullstelle der Funktion $f(x)$ mit $x \in [a, b]$.



Den Anfang von [Haase23, §7.8] aufschlagen und lesen.

$$x_0 := \text{Bisect}(a, b, \varepsilon)$$
$$:= \begin{cases} c := (a+b)/2 & \text{falls } f(c) == 0 \\ \text{Bisect}(c, b, \varepsilon) & \text{sonst, falls } f(c) > 0 \\ \text{Bisect}(a, c, \varepsilon) & \text{sonst, falls } f(c) < 0 \end{cases}$$

- Wegen numerischer Rundungsfehler der Gleitkommazahlen kann es passieren, daß der Test des Funktionswertes auf die exakte 0, $0 == fc$, niemals erfüllt wird. Um diese *Endlosrekursion* zu vermeiden und um nur bis zu einer *sinnvollen Genauigkeit* zu rechnen, wird dieser Test durch $|fc| < \varepsilon$ ersetzt. Das ε kann/sollte als Inputparameter an die Funktion übergeben werden, wie in Bisect1.cpp:15[4].
  Die math. Funktion $\sin(x) - x/2$ ist in `Bisect1.cpp:49` direkt im Funktionskörper implementiert, dies geht flexibler.
- **C++-Funktionen als Inputparameter** von Funktionen:
  Die in `Bisect` benötigte Funktion $f(x)$ besitzt die Signatur `double f(double)`, siehe Bisect3.cpp:18[5]. Eine Funktion dieser Signatur mit spezifiziertem Rückgabetypen kann via
  ```
  const std::function<double(double)>& func
  ```
  als Inputputparameter einer Funktion deklarieriert werden. Damit ergibt sich die Funktionsdeklaration (`Bisect3.cpp:49`)
  ```
  double Bisect3(const std::function<double(double)>& func,
  ```

---

[1] `http://imsc.uni-graz.at/haasegu/Lectures/Kurs-C/SS23/v_3a.zip`
[2] `http://imsc.uni-graz.at/haasegu/Lectures/Kurs-C/SS23/v_3a/html`
[3] `https://en.cppreference.com/w/cpp/header/random`
[4] `http://imsc.uni-graz.at/haasegu/Lectures/Kurs-C/SS23/../Beispiele/Bisect1.cpp`
[5] `http://imsc.uni-graz.at/haasegu/Lectures/Kurs-C/SS23/../Beispiele/Bisect3.cpp`

```
                    const double a, const double b, const double eps=1e-6);
```
welche in `Bisect3.cpp:67` aus dem Hauptprogramm aufgerufen wird.
Benötigt `#include <functional>` und die Compileroption '-std=c++11'.

- Statt der Definition einer globalen Funktion
  `double f(double x) { return sin(x)-x/2.0; }`
  im Aufruf `Bisect3(f,a,b,eps)` kann man eine (lokale) **Lambda-Funktion** mit identischer Signatur benutzen:
  `Bisect3([ ] (double x) { return sin(x)-x/2.0; }, a,b,eps)`
  Dies wird `Bisect/Bisect3_lambda.cpp:84-92` demonstriert, beim zweiten Aufruf mit benutzem Caption (Einfangen weiterer Variablen aus dem Scope).

- In obiger Deklaration ist der Parameter `double eps=1e-6` ein optionaler Parameter mit dem Standardwert 1e-6 (default). Dies erlaubt den Aufruf der Funktion als
  - `Bisect3(g, anfang, ende, tol)` , aber auch
  - `Bisect3(g, anfang, ende)` wobei dann `eps=1e-6` gilt.

Bislang galt stets die Voraussetzung $f(a) > 0 > f(b)$ welche in der abschließenden Implemenierung v_5d[6] nicht mehr nötig ist.

- Vollständige Fallunterscheidung bzgl. der Relationen von $f(a)$, 0 und $f(b)$, siehe dazu [Haase23, p.67f] und `v_5d/main.cpp:113-137`.

- Flexible Auswahl aus mehreren, vordefinierten Funktionen für $f(x)$, siehe dazu die Zuweisungen der Variablen
  `std::function<double(double)> ff;`
  über die Fallauswahl in `v_5d/main.cpp:78-100`.

Pointer $\longrightarrow$ Iterator aus §6.1

Motivation für Konzept der Iteratoren am Bsp. Vektor (*v_5c/*):
Indexzugriff $\longrightarrow$ Pointerzugriff $\longrightarrow$ Iteratorzugriff $\longrightarrow$ Range-For

- statisches C-Array in `main:17-18` und Loop mit Indexzugriff in `main:29-33`.
- Pointer auf Arrayanfang (`main:20-21`) und Verbindung mit Indexzugriff in `main:32`.
- Loop mit Pointer als Laufvariable in `main:45-48`.
- Nun mit `vector` und Loop mit Indexzugriff in `main:59`.
- Loop mit Iterator als Laufvariable in `main:64-68`.
- Nun mit `list`: kein Loop mit Indexzugriff möglich (/sinnvoll).
- Loop mit Iterator als Laufvariable in `main:88-91`.
- Range-For-Loop in `main:96-99`.

Matrizen aus §5.1.4

[6] `http://imsc.uni-graz.at/haasegu/Lectures/Kurs-C/SS23/v_5d.zip`

Im ersten Teil beschäftigen wir uns mit **vollbesetzten** (dense) **Matrizen** in C++, siehe auch [Haase23, §5.1.4 (zu überarbeiten)] (*bsp514_b/*).
Unsere Matrix A habe $NROW = 4$ Zeilen und $MCOL = 3$ Spalten

$$A_{NROW \times MCOL} := \begin{pmatrix} 4 & -1 & -0.5 \\ -1 & 4 & -1 \\ -0.5 & -1 & 4 \\ 3 & 0 & 1 \end{pmatrix} .$$

Wir demonstrieren für verschiedene Varianten der Speicherung die Matrixdeklaration und -definition, sowie den Zugriff auf das Element $A_{2,1}$ (Indizes fangen mit 0 an).

Falls die Matrixdimensionen als Konstanten zur Compilezeit bekannt sind, dann kann ein *statischer* Datentyp gewählt werden, anderfalls ist ein *dynamischer* Datentyp notwendig, siehe Beispiel bsp514_b[7].

1. Static matrix via `array`, 2D-access, see also `bsp514_b.cpp:68`:
   ```
   int const NROW(4), MCOL(3);                    // constant dimensions
   array<array<double,MCOL>,NROW> a{ 4,-1,-0.5, -1,4,-1, -0.5,-1,4,
   3,0,-1 };
   ```
   Each row consists of the fixed size array `array<double,MCOL>` with access to element $A_{2,1}$ via `a[2][1]`.

2. Static matrix via `array`, 1D-access, see also `bsp514_b.cpp:90`:
   ```
   array<double,NROW * MCOL> a{ 4,-1,-0.5, -1,4,-1, -0.5,-1,4, 3,0,-1 };
   ```
   The matrix elements are stored continuously stored in memory (ordered as in the initailizer list above) and accessed as vector with special index calculation, e.g., we access element $A_{2,1}$ as `a[2*MCOL+1]`.

3. Matrix as `vector` with static initialization and 2D-access, see also `bsp514_b.cpp:26`:
   ```
   vector<vector<double>> const a({{4,-1,-0.5}, {-1,4,-1}, {-0.5,-1,4},
   {3,0,-1}});
   ```
   Each row k consists of the vector `vector<double>` whose length depends on the appropriate number of elements in the initializer list, i.e., `a[k].size()` returns the number of columns of row k. Access to element $A_{2,1}$ via `a[2][1]`.
   Without `const` in the declaration, the dimensions of `a` could be changed afterwards.

4. Matrix as `vector` with static initialization and 1D-access, see also `bsp514_b.cpp:48`:
   ```
   vector<double> const a{ 4,-1,-0.5, -1,4,-1, -0.5,-1,4, 3,0,-1 };
   ```
   The matrix elements are stored continuously stored in memory (ordered as in the initailizer list above) and accessed as vector with special index calculation, e.g., we access element $A_{2,1}$ as `a[2*MCOL+1]`.
   Without `const` in the declaration, the dimensions of `a` could be changed afterwards.

5. Dynamic matrix dimensions with 2D access, see also `bsp514_b.cpp:114`:
   ```
   int nrow,mcol; cin >> nrow >> mcol;
   vector<vector<double>> a(nrow, vector<double>(mcol) );
   ```
   - Each of the `nrow` elements in `vector<...>` represents a matrix row which is initialized by a `vector<double>` with `mcol` uninitialized double values.
   - `vector<double>(mcol,0.0)` initializes all matrix entries with value 0.
   - Warning: `vector<double>()` results in column size 0, see `bsp514_b.cpp:115`. In this case the column size has to be set in all rows afterwards, e.g., `a.[k].resize(mcol);`

   Access to element $A_{2,1}$ via `a[2][1]`.

[7] `http://imsc.uni-graz.at/haasegu/Lectures/Kurs-C/SS23/bsp514_b.cpp`

6. Dynamic matrix dimensions with 1D access:

```
int nrow,mcol; cin >> nrow >> mcol;
vector<double> a(nrow*mcol);
a[2*mcol+1]
```

Bsp. Graph

Ein Graph wie der angegebene[8], unvollständige Graph, besteht aus Knoten (knots/vertices) welche über Kanten (edges) verbunden sind.
Im Beispielcode graph[9] wird die Kantenbeschreibung obigen Graphs eingelesen und daraus für jeden Knoten dessen sämtliche Knotennachbarn ermittelt.

1. Jede Kante besitzt stets genau 2 Knoten, jedoch ist die Anzahl der Kanten unbekannt. Somit ist z.B. folgende Datenstruktur zur Speicherung der Kantenbeschreibung sinnvoll:
   `vector<array<int,2>> edges;` // main.cpp:15
   D.h., jede Kante speichert die Indizes der sie definierenden Knoten.

2. Das Einlesen der Kantenbeschreibung erfolgt über die Funktion
   `read_edges_from_file(name, edges);` // main.cpp:16
   welche vom Vorlesungsbeispiel file_io[10] übernommen und adaptiert wurde. Die einzigen Änderungen zum Original sind `graph.cpp:18` und die Signatur der Funktion.

3. Die Knoten in obigem Graphen besitzen eine unterschiedliche Anzahl von Nachbarknoten welche mittels
   `auto n2n=get_node2nodes(edges);` // main.cpp:30
   aus der Kantenbeschreibung bestimmt werden. Das Schlüsselwort **auto** legt für die Variable `n2n` denselben Datentyp wie den Rückgabetyp der Funktion fest.

4. Bislang wissen wir noch nicht wieviele Knoten unser Graph besitzt. Unter Annahme einer fortlaufenden Numerierung wird diese Knotenanzahl in `graph.cpp:43-51` bestimmt.

5. Damit können wir eine Datenstrukur festlegen, welche für jeden Knoten dessen noch zu bestimmende Nachbarknotenindizes jeweils in einem dynamisch wachsenden Vektor speichern wird. Mit
   `vector<vector<int>> n2n(nnode);` //n2n(nnode,vector<int>()) // graph.cpp:54
   wird die Anzahl der Nachbarknoten stets mit 0 initialisiert.

6. Der Algorithmus in `graph.cpp:54-61` liest aus der Kantenbeschreibung für jede Kante k die Indizes ihrer beiden Knoten und hängt diese wechselseitig beim anderen Knoten als Nachbarknoten an, die Vektoren der Nachbarn wachsen also dynamisch.
   ```
   {
       const int v0 = edges[k][0];
       const int v1 = edges[k][1];
       n2n[v0].push_back(v1);      // add v1 to neighborhood of v0
       n2n[v1].push_back(v0);      // and vice versa
   }
   ```
   Die aktuelle Anzahl der Nachbarn für Knoten k ist hierbei `n2n[k].size()`.

7. Abschließend werden die ermittelten Indizes der Nachbarknoten in `graph.cpp:65` für jeden Knoten aufsteigend sortiert [Haase23, §11.3.2].

[8] http://imsc.uni-graz.at/haasegu/Lectures/Kurs-C/SS23/graph_1.pdf
[9] http://imsc.uni-graz.at/haasegu/Lectures/Kurs-C/SS23/graph.zip
[10] http://imsc.uni-graz.at/haasegu/Lectures/Kurs-C/SS23/file_io.zip

Fun with ASCII[11]: *char_sum.cpp*

- How to achieve 103% performance?
- { HARDWORK, KNOWLEDGE, ATTITUDE, BULLSHIT };
- `magic=96` ⟶ `magic=0` : BILLGATES (the third!)

Literatur

[Haase23] Gundolf Haase: Einführung in die Programmierung mit C++ (2023), *www*[12].

[Stroustrup10] Bjarne Stroustrup: Einführung in die Programmierung mit C++. Pearson Studium, München (2010).

[11] http://www.torsten-horn.de/techdocs/ascii.htm

[12] http://imsc.uni-graz.at/haasegu/Lectures/Kurs-C/Script/html/script_programmieren.pdf