Übungsstunde — Informatik — 10

Adel Gavranović

Pointer-relevante Operatoren, Referenzen vs. Pointer, Iteratoren, `this->`, dynamischer Speicher

Übersicht

Follow-up
`&` vs `*`
Referenzen vs Pointer
`this->`
Dynamische Datenstrukturen & Iteratoren
- `Our_list` Grundmaterial
- `Our_list` Bonusmaterial

`n.ethz.ch/~agavranovic`

Material

Webpage

Mail

1. Follow-up

Anzahl Argumente für überladene Operatoren

Letzte Übungsstunde was ich überrascht, dass overloaded operators nur einen Input benötigen. Jetzt weiss ich wieso!

```
Tribool Tribool::operator&&(const Tribool& other) const {
    Tribool result(std::min(value, other.value));
    return result;
}
```

Folgendes ist equivalent:

```
Tribool A("True"), B("Unknown");
Tribool C = A && B;              // infix notation
// Equivalent to
Tribool D = A.operator&&(B);     // explicit member funtion notation
```

Non-member Funktionen brauchen noch immer beide Objekte als Input!

Ranged `for`-loops

Letzte Übungsstunde habe ich einen Fehler beim Erklären der "Ranged `for`-loops" gemacht — Bitte entschuldigt die Verwirring.

```cpp
std::vector<int> numbers = {1, 2, 3, 4, 5};

for (int i : numbers) {
    std::cout << (i += 1) << " ";
}

std::cout << "| ";

for (int i : numbers) {
    std::cout << i << " ";
}
```

Was wird hier der Output sein? `2 3 4 5 6 | 1 2 3 4 5`

Ranged `for`-loops mit Referenzen

Die Elemente im Container werden also "direkt" verfügbar gemacht, also keine Iteratoren nötig!

```
std::vector<int> numbers = {1, 2, 3, 4, 5};

for (int& i : numbers) {                // referenced (&) this time!
    std::cout << (i += 1) << " ";
}

std::cout << "| ";

for (int i : numbers) {
    std::cout << i << " ";
}
```

Was wird hier der Output sein? 2 3 4 5 6 | 2 3 4 5 6

Fragen/Unklarheiten?

2. Feedback zu **code** expert

Allgemeines bezüglich **code** expert

Aufgabe "Recursive Function Analysis"

- Achtet auf die Details!

Musterlösung für Teil 1

```
bool f(const int n) {
  if (n == 0) return false;
  return !f(n - 1);
}
```

Musterlösung

i)
```
// PRE:  n >= 0
// POST: returns `false` if n is even
//       returns `true`  if n is odd
```

ii) he function `f` immediately terminates for `n == 0`. With each recursive call `n` is decremented, i.e., `f` is called with parameter $<$`n`, eventually reaching `n == 0` (at which point it terminates — as mentioned above).

iii) $\text{Calls}_f(n) = n + 1$ (including first non-rec. call)

Musterlösung für Teil 2

```
void g(const int n) {
  if (n == 0) {
    std::cout << "*"; return;
  }
  g(n - 1); g(n - 1);
}
```

Musterlösung

i)
```
// PRE:  n >= 0
// POST: prints 2^n stars to std::out
```

ii) The function `g` immediately terminates for `n == 0`. With each recursive call `n` is decremented, i.e., `g` is called with parameter $< n$, eventually reaching `n == 0`. This is true for both recursive calls of `g`.

iii) $\text{Calls}_g(n) = \sum_{i=0}^{n} 2^i = 2^{n+1} - 1$ (including first non-rec. call)

Fragen bezüglich **code** expert eurerseits?

3. Lernziele

Ziele

- ☐ Unterschiede zwischen Pointern und Referenzen verstehen
- ☐ Programme mit Pointern tracen und schreiben können
- ☐ Programme mit dynamischem Speicher schreiben können
- ☐ Simple Container implementieren können

4. Zusammenfassung

5. & vs *

Bedeutungen von `&`

Das Symbol `&` hat in C++ viele Bedeutungen. Das ist verwirrend.
Es hat *3 verschiedene Bedeutungen*, je nach Position im Code:

Bedeutung von `&`

1. als AND-operator
   ```
   bool z = x && y;
   ```
2. um eine Variable als Alias zu deklarieren
   ```
   int& y = x;
   ```
3. um die Adresse einer Variable zu erhalten (address-operator)
   ```
   int *ptr_a = &a;
   ```

Bedeutungen von *

Dito mit dem Symbol *.

Bedeutung von *

1. als (arithmetischer) Multiplikation-operator
   ```
   z = x * y;
   ```
2. um eine Pointer-Variable zu deklarieren
   ```
   int* ptr_a = &a;
   ```
3. um auf eine Variable via ihrem Pointer zuzugreifen (dereference-operator)
   ```
   int a = *ptr_a;
   ```

Fragen/Unklarheiten?

6. Referenzen vs Pointer

Pointer Basics

Versucht, folgendes Programm[1] detailiert zu tracen

```c
int main() {

    int a = 5;
    int* x = &a;
    *x = 6;

    return 0;
}
```

[1] Vollständiger Trace hier

References

```
void references(){
    int  a = 1;
    int  b = 2;
    int& x = a;
    int& y = x;
    y = b;

    std::cout
    << a << " "
    << b << " "
    << x << " "
    << y << std::endl;
}
```

Trace das Programm und schreibe den erwarteten Output hin, wenn die Funktion aufgerufen wurde

```
2 2 2 2
```

Pointers

```
void pointers(){
    int  a = 1;
    int  b = 2;
    int* x = &a;
    int* y = x;


    std::cout
    << a << " "
    << b << " "
    << x << " "
    << y << std::endl;
}
```

Trace das Programm und schreibe den erwarteten Output hin, wenn die Funktion aufgerufen wurde

```
1 2 0x7ffe4d1fb904 0x7ffe4d1fb904
```

(Die Adressen könnten bei jedem Aufruf anders sein!)

Pointers and Addresses

```
void ptrs_and_addresses(){
    int  a = 5;
    int  b = 7;

    int* x = nullptr;
    x = &a;

    std::cout << a << "\n";
    std::cout << *x << "\n";

    std::cout << x << "\n";
    std::cout << &a << "\n";
}
```

Trace das Programm und schreibe den erwarteten Output hin, wenn die Funktion aufgerufen wurde

```
5
5
0x7ffe4d1fb914
0x7ffe4d1fb914
```

(Die Adressen könnten bei jedem Aufruf anders sein!)

Fragen/Unklarheiten?

7. this->

Was zum f*&k ist `this->`?

Bedeutung von `this->`

`this->` hat zwei Teile

- `this`
  - ist ein Pointer zum *aktuellen* Objekt (Class oder Struct `T`)
  - also vom Typ `T*`
- `->`
  - ist ein sehr cool aussehender Operator
  - `this->member_element` ist äquivalent zu `*(this).member_element`
  - Der Pfeil-Operator dereferenziert einen Pointer zu einem Objekt, um auf einen seiner Members zuzugreifen (Funktionen oder Variablen)

Beispiel

Wofür wird `this` hier benutzt?

```
struct WeirdNumber {

    int number;

    void increment_by(int number){
        (*this).number = (*this).number + number;
        // or
        // this->number = this->number + number;
    }
};
```

Um die beiden gleichnamigen Variablen `number` zu unterscheinden

Beispiel

```
int main(){

    WeirdNumber a = {42};
    WeirdNumber b = {-17};

    a.increment_by(3);
    // 'this' in the call of the increment_by function
    // refers to the object a.
    b.increment_by(2);
    // 'this' in the call of the increment_by function
    // refers to the object b.

    std::cout << a.number << " " << b.number << std::endl;

    return 0;
}
```

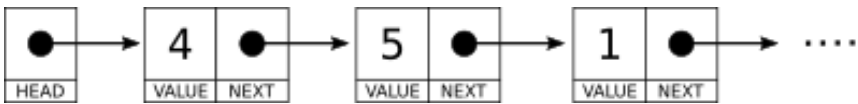
8. Dynamische Datenstrukturen & Iteratoren

8. Dynamische Datenstrukturen & Iteratoren

8.1. `Our_list` Grundmaterial

our_list

Wir implementieren unsere eigene Linked-List (zumindest Teile davon)



- Eine Liste besteht aus "Blöcken" von `lnodes`, wobei eine `lnode` immer auf die nächste zeigt
- Aber was ist überhaupt eine `lnode`?
- Antwort: ein Struct, das aus einem `int value` und einem `lnode` pointer besteht

our_list

Erste Aufgabe: Implementiere einen Constructor, der eine neue Liste mit Iteratoren initialisiert

- Wir wollen schreiben können: `our_list my_list(begin, end);`
- Idee: Benutze die Iteratoren, um neue `lnodes` in die Liste hinzuzufügen
- Wie können wir auf die verschiedenen Elemente zugreifen?
  - Zugriff auf Wert der `lnode`, auf die der Iterator zeigt:

    `*it`
  - Nächste `lnode` in der Folge:

    `node->next`
  - Pointer zu neuer `lnode` erstellen::

    `new lnode{value, pointer}`

    Denkt daran: `new T` gibt einen `T*` zurück

our_list: class our_list

```
class our_list {

        struct lnode {
            // ...
        };

        lnode* head;

    public:

        class const_iterator {
            // ...
      };

      // member functions
};
```

our_list: struct lnode

```
//                          in class our_list                          //
struct lnode {
    int value;
    lnode* next;
};
```

our_list: const_iterator

```
//                          in class our_list                          //
class const_iterator {
        const lnode* node;
    public:
        const_iterator(const lnode* const n);
        // PRE: Iterator doesn't point to the element beyond the last one
        // POST: Iterator points to the next element
        const_iterator& operator++(); // Pre-increment
        // POST: Return the reference to the number at which the
        //       iterator is currently pointing
        const int& operator*() const;
        // True if iterators are pointing to different elements
        bool operator!=(const const_iterator& other) const;
        // True if iterators are pointing to the same element
        bool operator==(const const_iterator& other) const;
};
```

our_list: Memberfunktionen

```
//                          in class our_list                          //
our_list();

// PRE: begin and end are iterators pointing to the same vector
//      and begin is before end
// POST: Constructed our_list contains all elements between begin and end
our_list(const_iterator begin, const_iterator end);

// POST: e is appended at the beginning of the vector
void push_front(int e);

// POST: Returns an iterator that points to the first element
const_iterator begin() const;

// POST: Returns an iterator that points after the last element
const_iterator end() const;
```

Aufgabe "`our_list::init`"

- Öffnet "`our_list::init`" auf **code** expert
- Überlegt euch, wie ihr das Problem mit Stift und Papier angehen würdet
- Programmiert eine Lösung (optional in Gruppen)

Aufgabe "`our_list::init`" (Lösung)

```
our_list::our_list(our_list::const_iterator begin,
                   our_list::const_iterator end)   {
    this->head = nullptr;
    if (begin == end) {
        return;
    }
    // add first element
    our_list::const_iterator it = begin;
    this->head = new lnode { *it, nullptr };
    ++it;
    lnode *node = this->head;
    // add remaining elements
    for (; it != end; ++it) {
        node->next = new lnode { *it, nullptr };
        node = node->next;
    }
}
```

Fragen/Unklarheiten?

our_list

Zweite Aufgabe: Implementiere eine Funktion der Class "`our_list`", die eine Node mit der nächsten tauscht

- Ihr könnt eine recht ähnliche Herangehensweise wie bei anderen Swap-Funktionen benutzen (also mit einer temporären Variable `tmp`)
- Aber:
  - Benutzt Pointer
  - Was passiert im Fall "0" (wenn der Head Pointer getauscht werden soll)?
  - Wie könnt ihr vermeiden, dass nicht plötzlich auf unerlaubten Speicher zugegriffen wird?

Aufgabe "`our_list::swap`"

- Öffnet "`our_list::swap`" auf **code** expert
- Überlegt euch, wie ihr das Problem mit Stift und Papier angehen würdet
- Programmiert eine Lösung (optional in Gruppen)

Aufgabe "`our_list::swap`" (Lösung)

```
void our_list::swap(int index) {

  if (index == 0) {

    assert(this->head != nullptr);
    assert(this->head->next != nullptr);

    lnode* tmp = this->head->next;
    this->head->next = this->head->next->next;
    tmp->next = this->head;
    this->head = tmp;

  } else {/* ... */}
```

Aufgabe "our_list::swap" (Lösung)

```
else {  lnode* prev = nullptr;
        lnode* curr = this->head;

        while (index > 0) {                  // Find the element
          prev = curr;
          curr = curr->next;
          --index;
        }

        assert(curr != nullptr);
        assert(curr->next != nullptr);

        lnode* tmp = curr->next;             // Swap with the next one
        curr->next = curr->next->next;
        tmp->next = curr;
        prev->next = tmp;                   }}// two '}' to close function
```

Fragen/Unklarheiten?

8.2. `Our_list` Bonusmaterial

Aufgabe "`our_list::extend`"

- Öffnet "`our_list::extend`" auf **code** expert
- Überlegt euch, wie ihr das Problem mit Stift und Papier angehen würdet
- Programmiert eine Lösung (optional in Gruppen)

Aufgabe "`our_list::extend`" (Lösung)

```
void our_list::extend(our_list::const_iterator begin,
                      our_list::const_iterator end) {
  if (begin == end) { return; }
  our_list::const_iterator it = begin;
  if (this->head == nullptr) {
    this->head = new lnode { *it, nullptr };
    ++it;
  }
  lnode *n = this->head;
  while (n->next != nullptr) {
    n = n->next;
  }
  for (; it != end; ++it) {
    n->next = new lnode { *it, nullptr };
    n = n->next;
  }
}
```

Fragen/Unklarheiten?

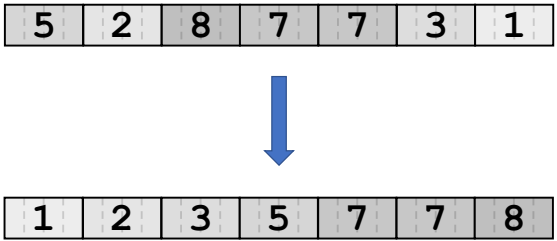
Aufgabe "`our_list::merge_sorted`" (Schwierig)

Falls all diese Klassen, Pointers und dynamischen Datenzuweisungen nicht schon schwierig genug für euch waren, lasst uns auch noch Rekursion dazunehmen!

Merge-Sort

Merge-Sort

- Goal: Sort an **arbitrary** array as **quickly** as possible.

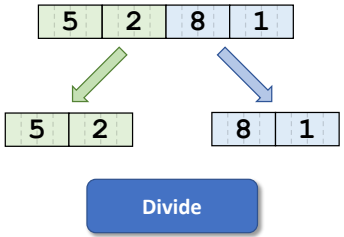


Merge-Sort

- Idea: **Divide and Conquer**

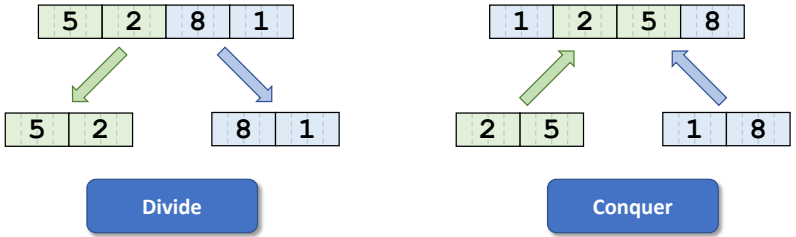
Merge-Sort

- Idea: **Divide and Conquer**
  1. Split whole array into two parts. (**Divide**)



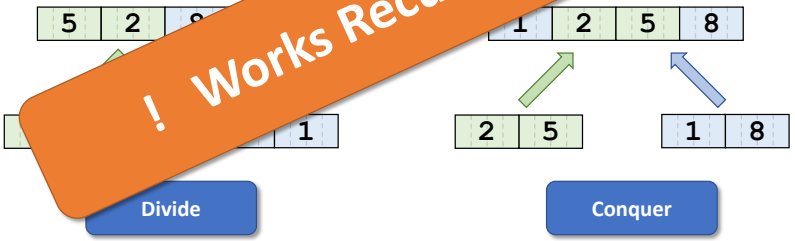
Merge-Sort

- Idea: **Divide and Conquer**
  1. Split whole array into two parts. (**Divide**)
  2. Then sort these and combine them. (**Conquer**)



Merge-Sort

- Idea: **Divide and Conquer**
  1. Split whole array into two parts. (**Divi**
  2. Then sort these and combine th



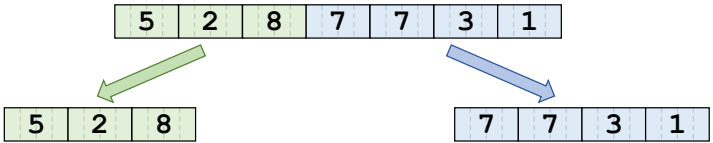
! Works Recursively !

Merge-Sort

- Divide:

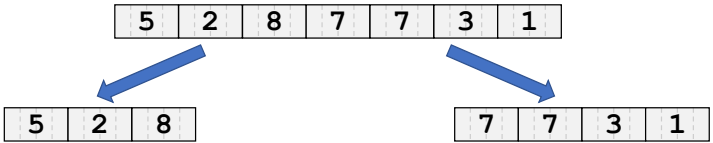
Merge-Sort

- Divide:



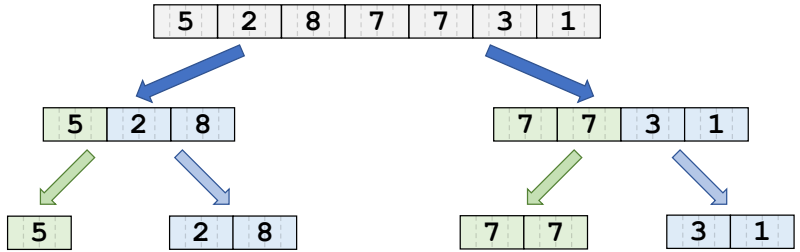
Merge-Sort

- Divide:



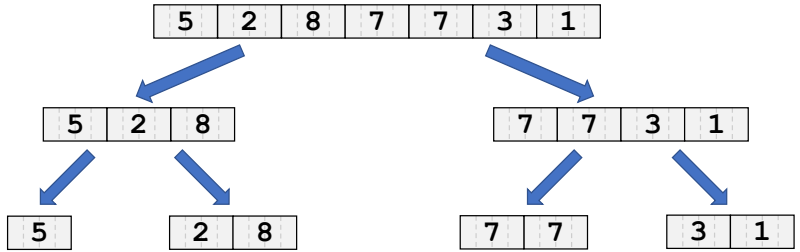
Merge-Sort

- Divide:



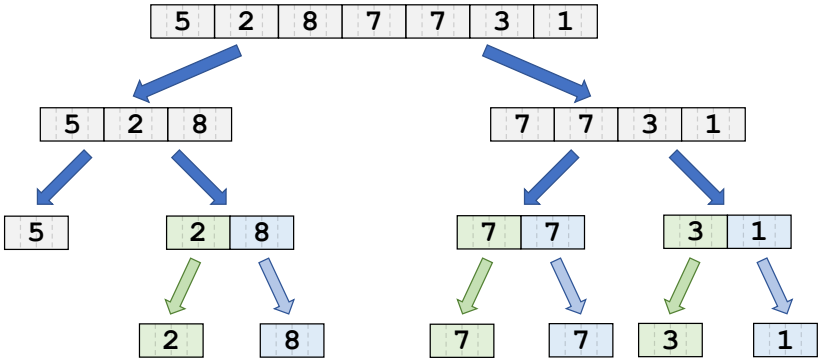
Merge-Sort

- Divide:



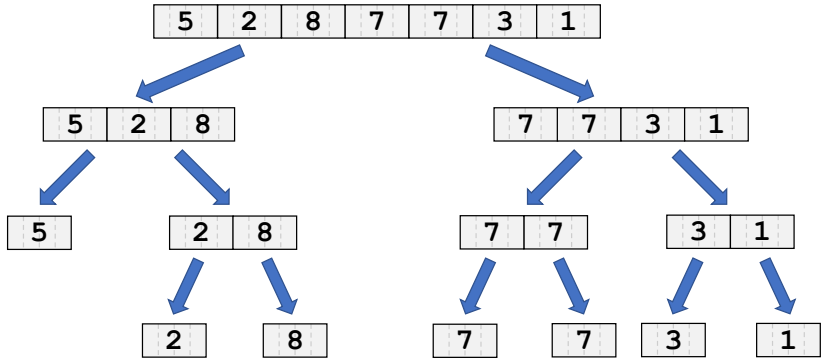
Merge-Sort

- Divide:



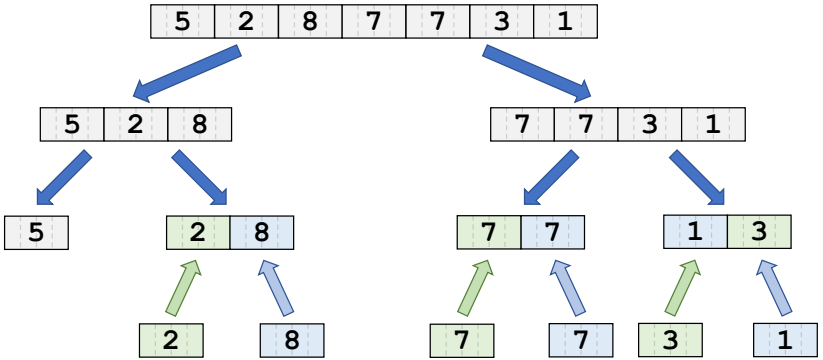
Merge-Sort

- Divide:



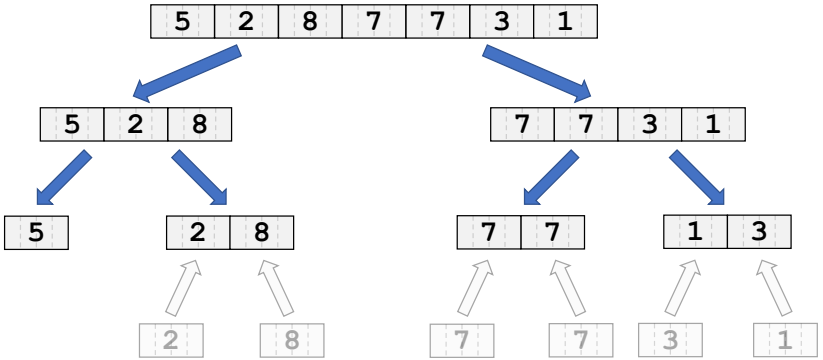
Merge-Sort

- Conquer:



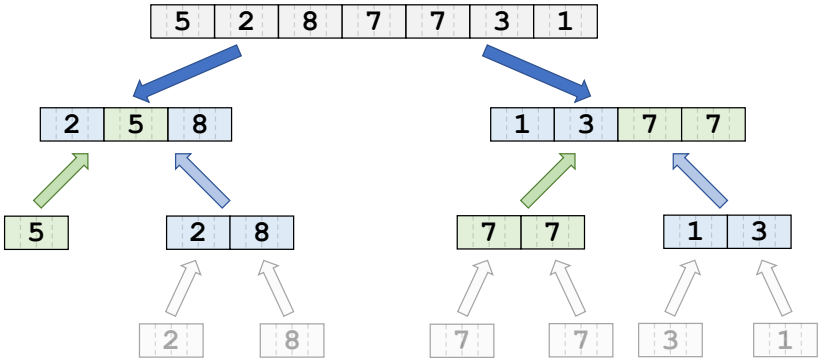
Merge-Sort

- Conquer:



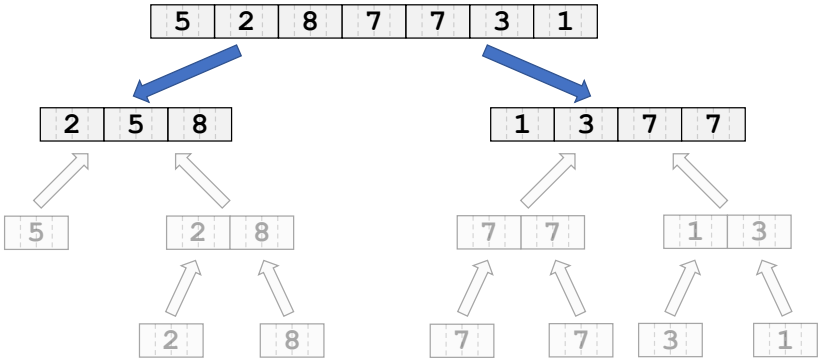
Merge-Sort

- Conquer:



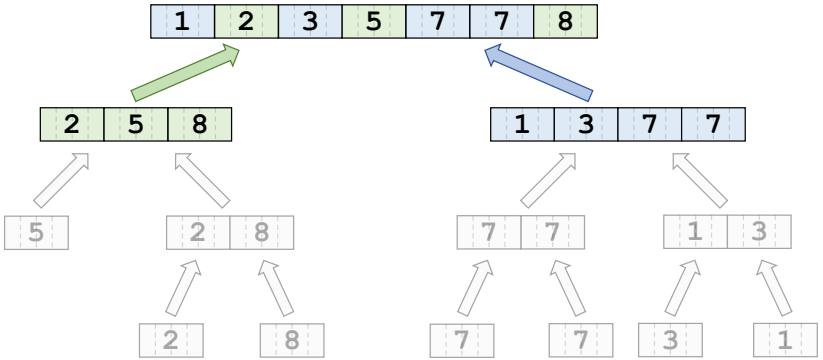
Merge-Sort

- Conquer:



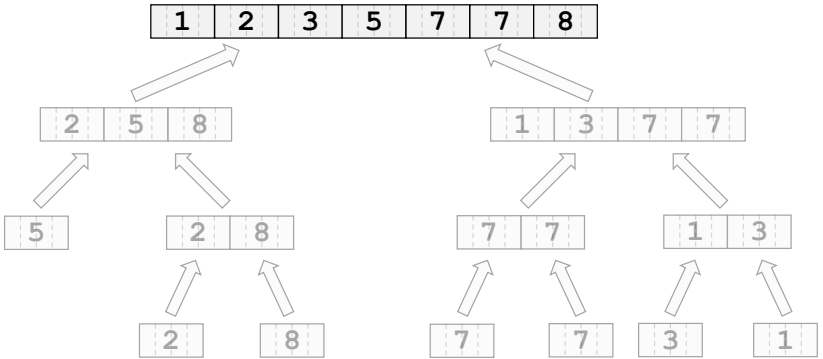
Merge-Sort

- Conquer:



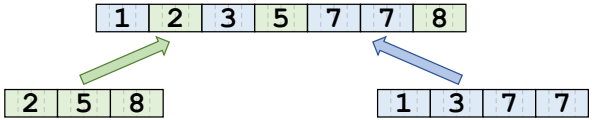
Merge-Sort

- Conquer:



Merge-Step

- How does



work?

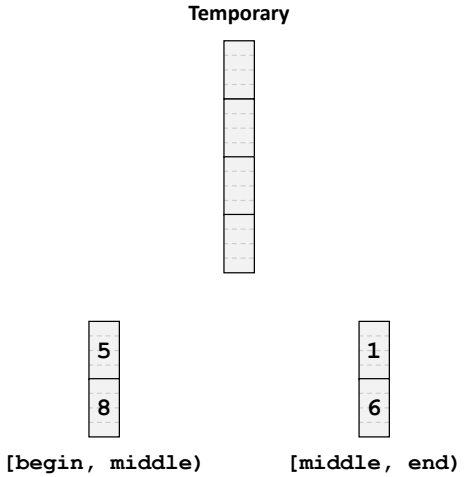
- Card-player's trick:
  Remove smaller «top card» (see next slides)

Merge-Sort – Exercise 1

- Idea:

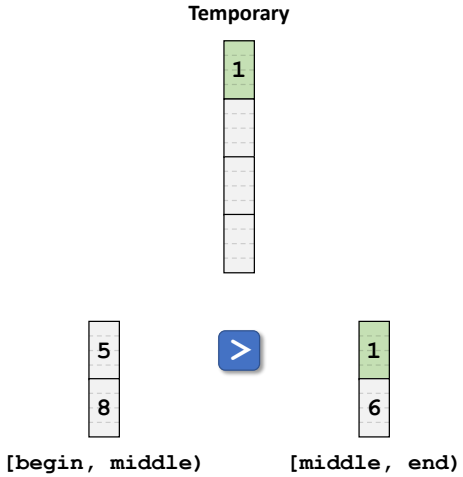
Merge-Sort – Exercise 1

- Idea:



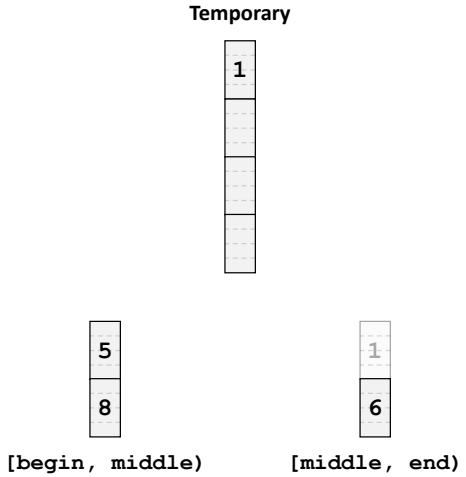
Merge-Sort – Exercise 1

- Idea:



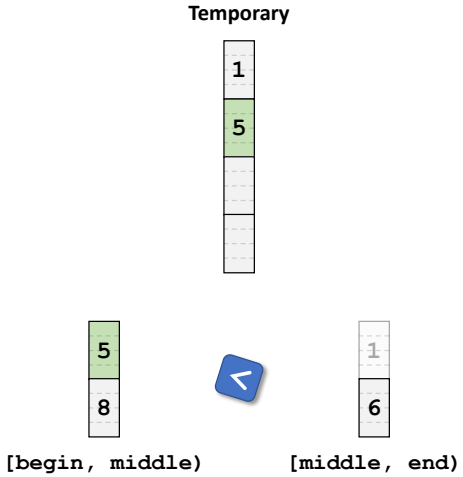
Merge-Sort – Exercise 1

- Idea:



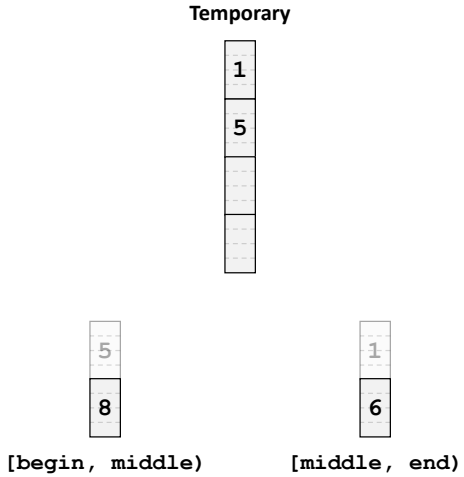
Merge-Sort – Exercise 1

- Idea:



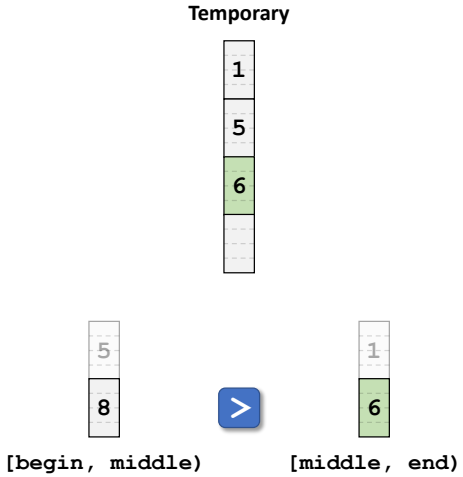
Merge-Sort – Exercise 1

- Idea:



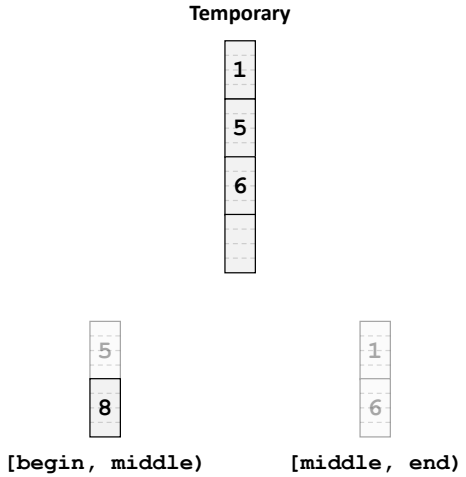
Merge-Sort – Exercise 1

- Idea:



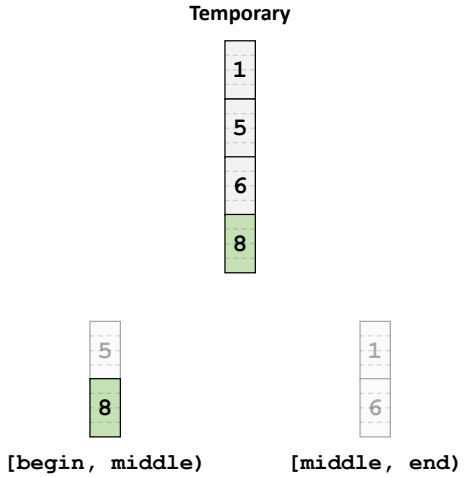
Merge-Sort – Exercise 1

- Idea:



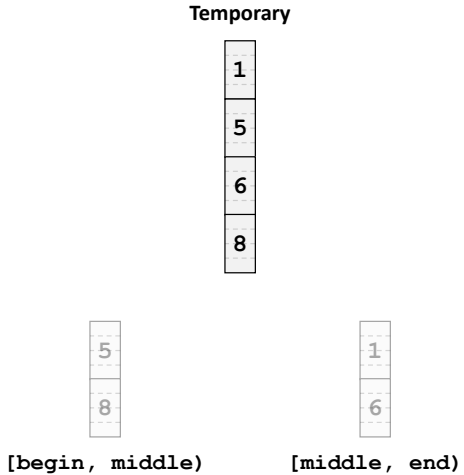
Merge-Sort – Exercise 1

- Idea:



Merge-Sort – Exercise 1

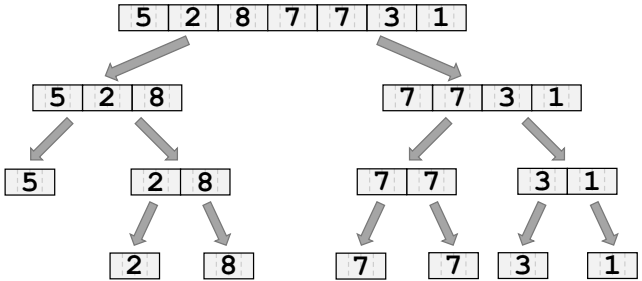
- Idea:



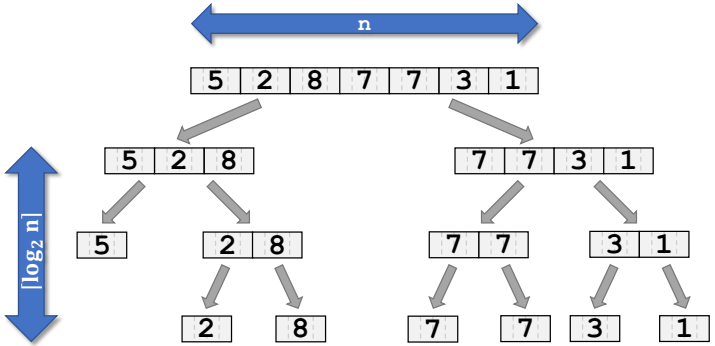
Runtime

(Intuition)

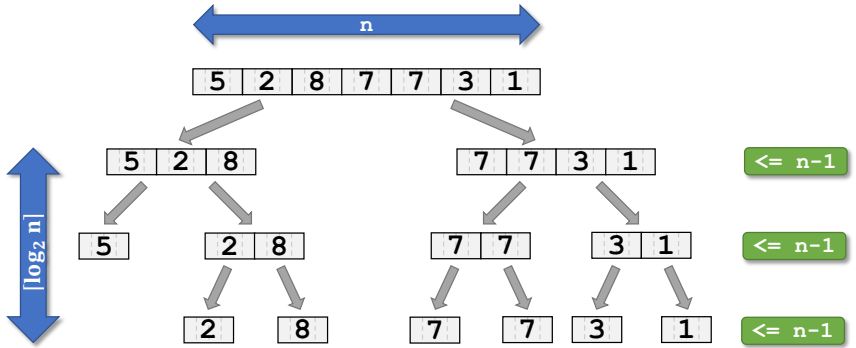
Alternative Proof



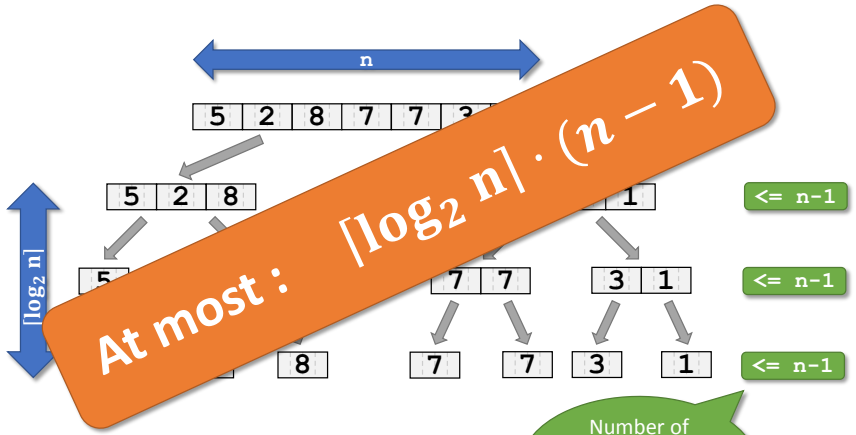
Alternative Proof



Alternative Proof



Alternative Proof



Aufgabe "`our_list::merge_sorted`" (Schwierig)

- Öffnet "`our_list::merge_sorted`" auf **code** expert
- Überlegt euch, wie ihr das Problem mit Stift und Papier angehen würdet
- Programmiert eine Lösung (optional in Gruppen)

Aufgabe "`our_list::merge_sorted`" (Lösung)

Siehe **code** expert

Fragen/Unklarheiten?

9. Outro

Allgemeine Fragen?

Bis zum nächsten Mal

Schöne Woche noch!