Estrutura de Dados II (ED2)

Aula 01 – Regras do jogo e Introdução

Departamento de Informática (DI)
Centro Tecnológico (CT)
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

(Material baseado nos slides do Professor Eduardo Zambon)

Professor

Contato

- **Nome**: Giovanni Comarela
- **E-mail**: `gc@inf.ufes.br`
- **Telefone**: (27) 4009-XXXX
- **Escritório**: CT-7 Sala 28

Sobre as aulas

- Ambiente participativo e interativo

Sobre as aulas

- Ambiente participativo e interativo
- Aulas são planejadas assumindo que haverá perguntas

Sobre as aulas

- Ambiente participativo e interativo
- Aulas são planejadas assumindo que haverá perguntas
- Não há perguntas idiotas.

Sobre as aulas

- Ambiente participativo e interativo
- Aulas são planejadas assumindo que haverá perguntas
- Não há perguntas idiotas. **False**!

Sobre as aulas

- Ambiente participativo e interativo
- Aulas são planejadas assumindo que haverá perguntas
- Não há perguntas idiotas. **False**!
- Há perguntas idiotas, mas elas são bem-vindas!

Sobre as aulas

- Ambiente participativo e interativo
- Aulas são planejadas assumindo que haverá perguntas
- Não há perguntas idiotas. **False**!
- Há perguntas idiotas, mas elas são bem-vindas!
- Não há tolerância para:
  - Destratar, diminuir ou depreciar uma pessoa tirando dúvida
  - Qualquer tipo de discriminação

Sobre as aulas

- Ambiente participativo e interativo
- Aulas são planejadas assumindo que haverá perguntas
- Não há perguntas idiotas. **False**!
- Há perguntas idiotas, mas elas são bem-vindas!
- Não há tolerância para:
  - Destratar, diminuir ou depreciar uma pessoa tirando dúvida
  - Qualquer tipo de discriminação
- Sobre política...

Sobre as aulas

- Ambiente participativo e interativo
- Aulas são planejadas assumindo que haverá perguntas
- Não há perguntas idiotas. **False**!
- Há perguntas idiotas, mas elas são bem-vindas!
- Não há tolerância para:
  - Destratar, diminuir ou depreciar uma pessoa tirando dúvida
  - Qualquer tipo de discriminação
- Sobre política...
- Eu só preciso de um ambiente civilizado (silêncio e ordem):
  - Celular em aula?
  - Dormir em aula?

Sobre as dúvidas

- Em sala de aula
- AVA! Discussões são encorajadas; apenas não postem as soluções
- Dúvidas não serão elucidadas por e-mail
- Ainda tenho que testar o AVA para dúvidas. Se não funcionar bem, vou criar um Piazza.

Sobre presença

É obrigatória!

Sobre plágio

Não paguem para ver!

Preciso lembrar das disciplinas de programação anteriores?

Óbvio!

Ponteiros, Ponteiros para `void`, Ponteiros para funções, ...

Sobre as avaliações (vide Plano de Ensino)

Provas teóricas

- P1 – 2.0
- P2 – 4.0
- P3 – 4.0

Trabalhos Práticos

- T1 – 2.0
- T2 – 4.0
- T3 – 4.0

$$MP = \frac{P1 + P2 + P3 + T1 + T2 + T3}{2}$$

Referência (vide plano de ensino)

Referência principal

Algorithms in C
Robert Sedgewick
3rd edition

Atenção

É impossível cobrir todo conteúdo do livro em sala. Toda aula terá uma leitura associada, a qual é obrigatória e de responsabilidade dos alunos.

Cronograma

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1uY2Xr2aXbFL7Vr2Og3Cc3PuCUdHk4vggWrOyD_E9OMg/edit?usp=sharing

O cronograma poderá ser alterado durante o semestre.
Alterações serão mencionadas em sala de aula.

Posso gravar a aula?

- Slides e roteiros serão disponibilizados no AVA
- A gravação para uso pessoal é permitida
- Vocês não têm minha autorização para distribuir ou publicar material gravado em aula.

FAQ

1. Esse curso vai ser difícil?

FAQ

1. Esse curso vai ser difícil? Se você fizer os exercícios e leituras recomendados nos tempos recomendados, não.

FAQ

1. Esse curso vai ser difícil? Se você fizer os exercícios e leituras recomendados nos tempos recomendados, não.
2. Vou precisar ler o livro e estudar em casa para passar?

FAQ

1. Esse curso vai ser difícil? Se você fizer os exercícios e leituras recomendados nos tempos recomendados, não.
2. Vou precisar ler o livro e estudar em casa para passar? Sim.

FAQ

1. Esse curso vai ser difícil? Se você fizer os exercícios e leituras recomendados nos tempos recomendados, não.
2. Vou precisar ler o livro e estudar em casa para passar? Sim.
3. Esse curso vai ser mais difícil que ED2 com Berilhes?

FAQ

1. Esse curso vai ser difícil? Se você fizer os exercícios e leituras recomendados nos tempos recomendados, não.
2. Vou precisar ler o livro e estudar em casa para passar? Sim.
3. Esse curso vai ser mais difícil que ED2 com Berilhes? `https://gph.is/1KxUnD4`

FAQ

1. Esse curso vai ser difícil? Se você fizer os exercícios e leituras recomendados nos tempos recomendados, não.
2. Vou precisar ler o livro e estudar em casa para passar? Sim.
3. Esse curso vai ser mais difícil que ED2 com Berilhes? `https://gph.is/1KxUnD4`
4. Outras dúvidas sobre a nossa logística?

Introdução

- Estruturas de dados (EDs) são componentes fundamentais de qualquer sistema de computação.
- **Aula de hoje**: exemplos de como diferentes EDs podem impactar no desempenho de programas.
- **Objetivos**: motivar o estudo aprofundado de diferentes EDs.

Referências

Chapter 1 – Introduction
R. Sedgewick

Visão geral do curso

Curso de ED2 (AKA TBO - Técnicas de Busca e Ordenação):

- Curso de nível intermediário em EDs.
  (Continuação direta de ED1.)
- Foco em programação com aplicação em solução de problemas.
- Algoritmo: método para resolver um problema.
- Estrutura de dados: método para armazenar informação.

Visão geral do curso

Curso de ED2 (AKA TBO - Técnicas de Busca e Ordenação):

- Curso de nível intermediário em EDs.
  (Continuação direta de ED1.)
- Foco em programação com aplicação em solução de problemas.
- Algoritmo: método para resolver um problema.
- Estrutura de dados: método para armazenar informação.

Tópicos e estruturas que serão abordados:

- Tipos de dados: pilha, fila (simples e de prioridades), *bags*, *union-find*.
- Ordenação: *quicksort*, *mergesort*, *heapsort*, *radix sorts*.
- Busca: BST (*binary search tree*), árvores rubro-negras, tabelas *hash*.

Por que estudar algoritmos?

O seu impacto é amplo e profundo:

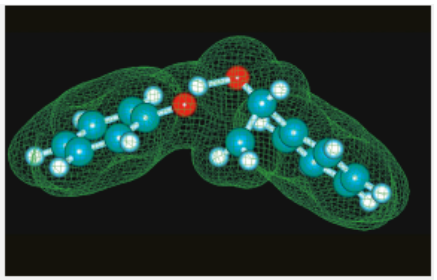
- Biologia: Projeto do genoma humano, enovelamento de proteínas, ...
- Física: simulação de partículas, astro-física, ...
- Computadores: *Layout* de circuitos, sistemas de arquivos, compiladores, ...
- Computação gráfica: filmes, jogos, realidade virtual, ...
- Multimídia: MP3, JPEG, DivX, HDTV, reconhecimento de padrões, ...
- Internet: Busca na *Web*, roteamento de pacotes, compartilhamento de arquivos distribuídos, ...

Por que estudar algoritmos?

Para desvendar os mistérios do universo.

> *"Modelos computacionais que simulam sistemas reais são cruciais para a maioria das descobertas na química hoje... Hoje o computador é tão importante para um químico quanto um tubo de ensaio."*
>
> *— Vencedores do Prêmio Nobel de Química*

Martin Karplus, Michael Levitt, and Arieh Warshel



Por que estudar algoritmos?

Para entender o mundo atual.

Algoritmo para manipular cotações já mexeu com 4% do mercado dos EUA

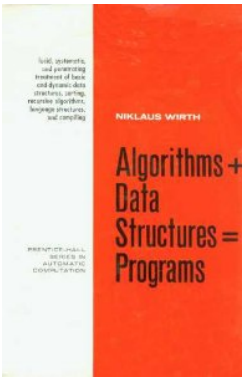
> *"Parece filme: um algoritmo de High-Frequency Trading invade a bolsa e faz milhares de investidores perderem suas economias. Algo similar aconteceu nos EUA semana passada, após um único robô postar e cancelar milhares de ordens em frações de segundos - em o que acredita-se ser uma tentativa de manipular o mercado. Isso foi o suficiente para se tornar 4% de todas as ordens nas bolsas dos EUA na semana passada, sem realizar um único negócio."*

Por que estudar algoritmos?

Para se tornar um programador proficiente.

"De fato, eu acho que a diferença entre um mau programador e um bom programador é o que ele/ela considera mais importante: o seu código ou as suas estruturas de dados. Programadores ruins se preocupam com código. Programadores bons se preocupam com as estruturas de dados e as suas relações."
— Linus Torvalds

"Algorithms + Data Structures = Programs."
— Niklaus Wirth



Por que estudar algoritmos?

Tema recorrente deste curso

Passos para se desenvolver um algoritmo utilizável na prática:

- Modelar o problema.
- Encontrar um algoritmo para resolver.
- Rápido o suficiente? Consome muita memória?
- Se não, descobrir por quê.
- Encontrar uma forma de diminuir consumo de recursos.
- Iterar até satisfeito.

Tema recorrente deste curso

Passos para se desenvolver um algoritmo utilizável na prática:

- Modelar o problema.
- Encontrar um algoritmo para resolver.
- Rápido o suficiente? Consome muita memória?
- Se não, descobrir por quê.
- Encontrar uma forma de diminuir consumo de recursos.
- Iterar até satisfeito.

Pilares para estudo dos algoritmos:

- Método científico.
- Análise matemática.
- Análise empírica (experimental).

Problema da conectividade dinâmica

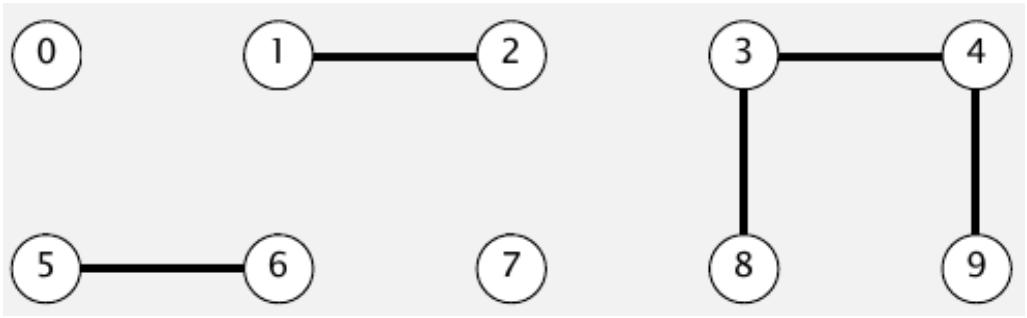
Dado um conjunto de N objetos, suportar duas operações:

- Conectar dois objetos.
- Testar se existe um caminho ligando dois objetos.

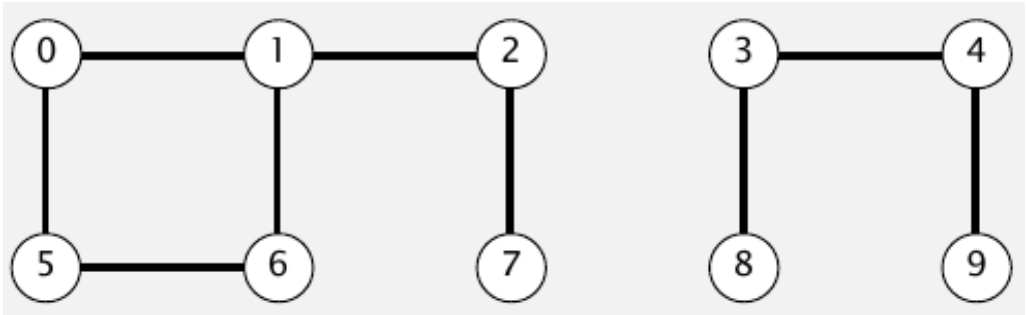
Problema da conectividade dinâmica

Dado um conjunto de N objetos, suportar duas operações:

- Conectar dois objetos.
- Testar se existe um caminho ligando dois objetos.

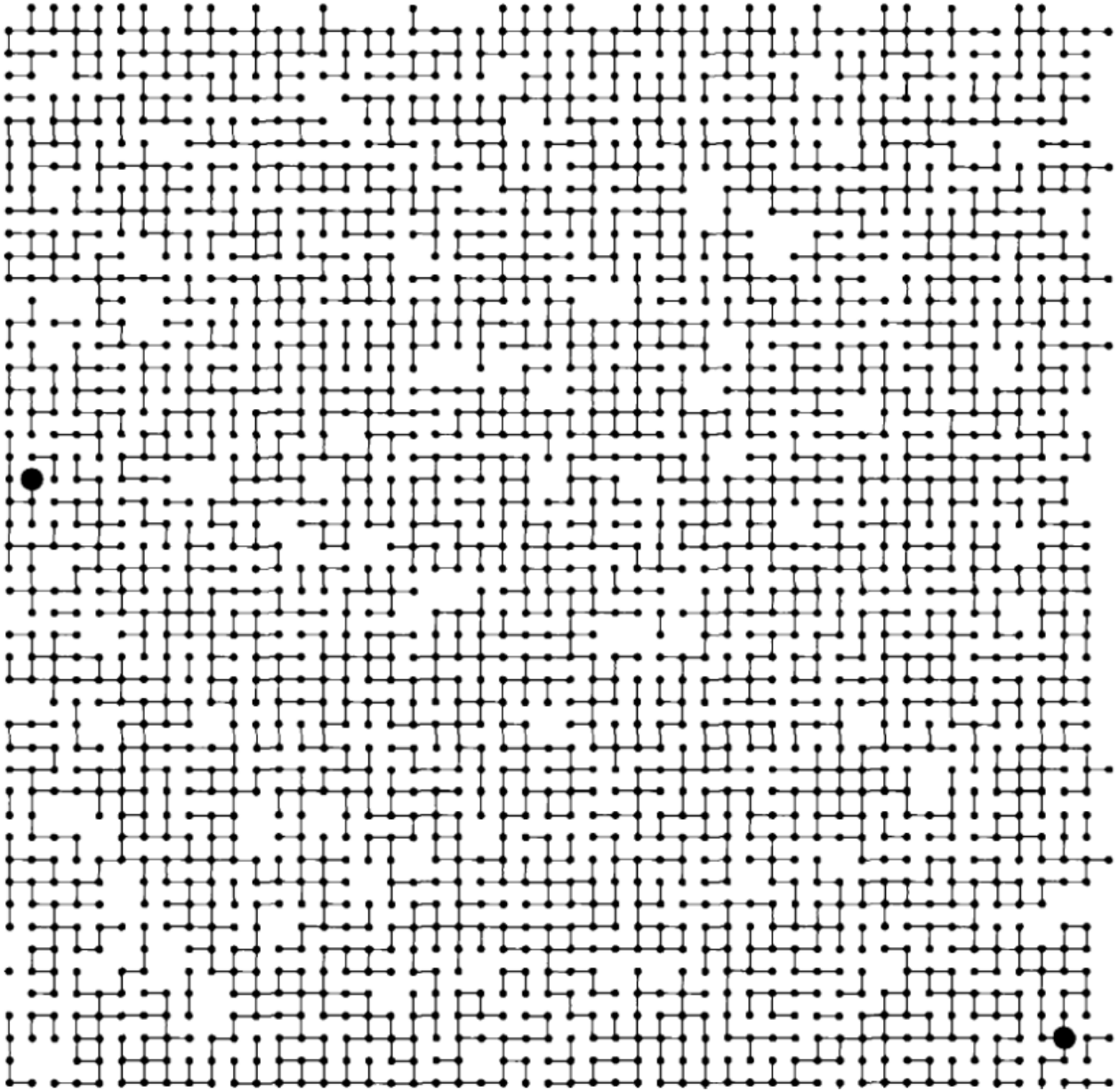


Conectar 4 e 3
Conectar 3 e 8
Conectar 6 e 5
Conectar 9 e 4
Conectar 2 e 1
Testar 0 e 7 ×
Testar 8 e 9 ✓



Conectar 5 e 0
Conectar 7 e 2
Conectar 6 e 1

Um exemplo maior – Há um caminho?



Um exemplo maior – Há um caminho?

Modelando os objetos

Aplicações exigem a manipulação de variados tipos de objetos

- *Pixels* em uma foto digital.
- Computadores em uma rede.
- Amigos em uma rede social.
- Transistores em um chip.
- Elementos em um conjunto.
- Variáveis em um programa.

Modelando os objetos

Aplicações exigem a manipulação de variados tipos de objetos

- *Pixels* em uma foto digital.
- Computadores em uma rede.
- Amigos em uma rede social.
- Transistores em um chip.
- Elementos em um conjunto.
- Variáveis em um programa.

É conveniente numerar os objetos de 0 a $N - 1$:

- Permite usar o identificador do objeto como um índice em um *array*.
- Camada de abstração que permite ignorar detalhes desnecessários do problema.
- Não atrapalha pois é possível usar uma tabela de símbolos para se traduzir nomes para inteiros (aulas futuras).

Modelando as conexões

Assumimos que “ser conectado com” é uma relação de equivalência:

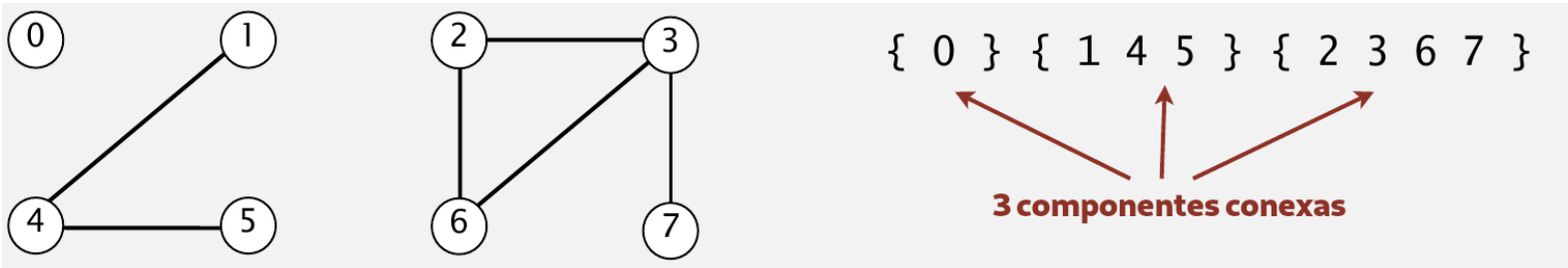
- Reflexividade: p é conectado com p.
- Simetria: se p é conectado com q então q é conectado com p.
- Transitividade: se p é conectado com q e q é conectado com r, então p é conectado com r.

Modelando as conexões

Assumimos que “ser conectado com” é uma relação de equivalência:

- Reflexividade: *p* é conectado com *p*.
- Simetria: se *p* é conectado com *q* então *q* é conectado com *p*.
- Transitividade: se *p* é conectado com *q* e *q* é conectado com *r*, então *p* é conectado com *r*.

Componente conexa: conjunto maximal de objetos que são mutuamente conectados.



Implementando as operações

Vamos implementar as seguintes operações:

Implementando as operações

Vamos implementar as seguintes operações:

- *Find*: Em qual componente o objeto *p* está?

Implementando as operações

Vamos implementar as seguintes operações:

- *Find*: Em qual componente o objeto p está?
- *Connected*: Os objetos p e q estão no mesmo componente?

Implementando as operações

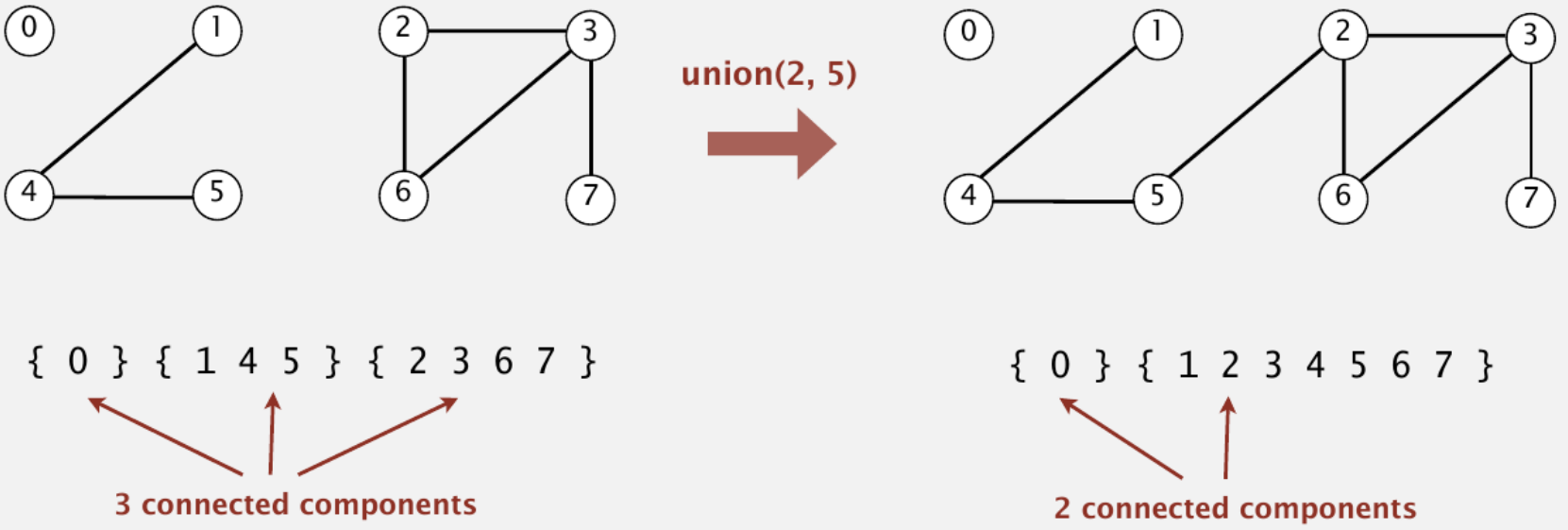
Vamos implementar as seguintes operações:

- *Find*: Em qual componente o objeto p está?
- *Connected*: Os objetos p e q estão no mesmo componente?
- *Union*: Substitua as componentes contendo os objetos p e q pela sua união.

Implementando as operações

Vamos implementar as seguintes operações:

- *Find*: Em qual componente o objeto *p* está?
- *Connected*: Os objetos *p* e *q* estão no mesmo componente?
- *Union*: Substitua as componentes contendo os objetos *p* e *q* pela sua união.



Tipo de dados (API) *union-find*

Objetivo: Projetar uma estrutura de dados eficiente.

- Número de objetos N pode ser muito grande.
- Número de operações M pode ser muito grande.
- Operações de *union* e *find* podem ser misturadas.

Tipo de dados (API) *union-find*

Objetivo: Projetar uma estrutura de dados eficiente.

- Número de objetos N pode ser muito grande.
- Número de operações M pode ser muito grande.
- Operações de *union* e *find* podem ser misturadas.

Arquivo `UF.h`:

```
#include <stdbool.h>

// Inicializa estrutura com N objetos numerados de 0 a N-1.
void UF_init(int N);
// Adiciona uma conexao entre p e q.
void UF_union(int p, int q);
// Retorna o identificador do componente de p (entre 0 a N-1).
 int UF_find(int p);
// Os objetos p e q estao no mesmo componente?
bool UF_connected(int p, int q);
```

Tipo de dados (API) *union-find*

Objetivo: Projetar uma estrutura de dados eficiente.

- Número de objetos N pode ser muito grande.
- Número de operações M pode ser muito grande.
- Operações de *union* e *find* podem ser misturadas.

Arquivo `UF.h`:

```
#include <stdbool.h>

// Inicializa estrutura com N objetos numerados de 0 a N-1.
void UF_init(int N);
// Adiciona uma conexao entre p e q.
void UF_union(int p, int q);
// Retorna o identificador do componente de p (entre 0 a N-1).
 int UF_find(int p);
// Os objetos p e q estao no mesmo componente?
bool UF_connected(int p, int q);
```

```
bool UF_connected(int p, int q) {
  return UF_find(p) == UF_find(q);
}
```

Cliente da API

- Recebe o número *N* de objetos como argumento.
- Repete:
  - Lê um par de inteiros de `stdin`.
  - Se eles ainda não estão conectados, faz a união e imprime o par em `stdout`.

Cliente da API

- Recebe o número *N* de objetos como argumento.
- Repete:
  - Lê um par de inteiros de `stdin`.
  - Se eles ainda não estão conectados, faz a união e imprime o par em `stdout`.

Arquivo `client.c`:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "UF.h"

int main(int argc, char *argv[]) {
  int p, q, N = atoi(argv[1]);
  UF_init(N);
  while (scanf("%d %d", &p, &q) == 2) {
    if (!UF_connected(p, q)) {
      UF_union(p, q);
      printf("%d %d\n", p, q);
    }
  }
}
```

Cliente da API

- Recebe o número *N* de objetos como argumento.
- Repete:
  - Lê um par de inteiros de `stdin`.
  - Se eles ainda não estão conectados, faz a união e imprime o par em `stdout`.

Arquivo `client.c`:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "UF.h"

int main(int argc, char *argv[]) {
  int p, q, N = atoi(argv[1]);
  UF_init(N);
  while (scanf("%d %d", &p, &q) == 2) {
    if (!UF_connected(p, q)) {
      UF_union(p, q);
      printf("%d %d\n", p, q);
    }
  }
}
```

```
$ ./a.out 10
stdin    stdout
4 3      4 3
3 8      3 8
6 5      6 5
9 4      9 4
2 1      2 1
8 9
5 0      5 0
7 2      7 2
6 1      6 1
1 0
6 7
```

Quick-find

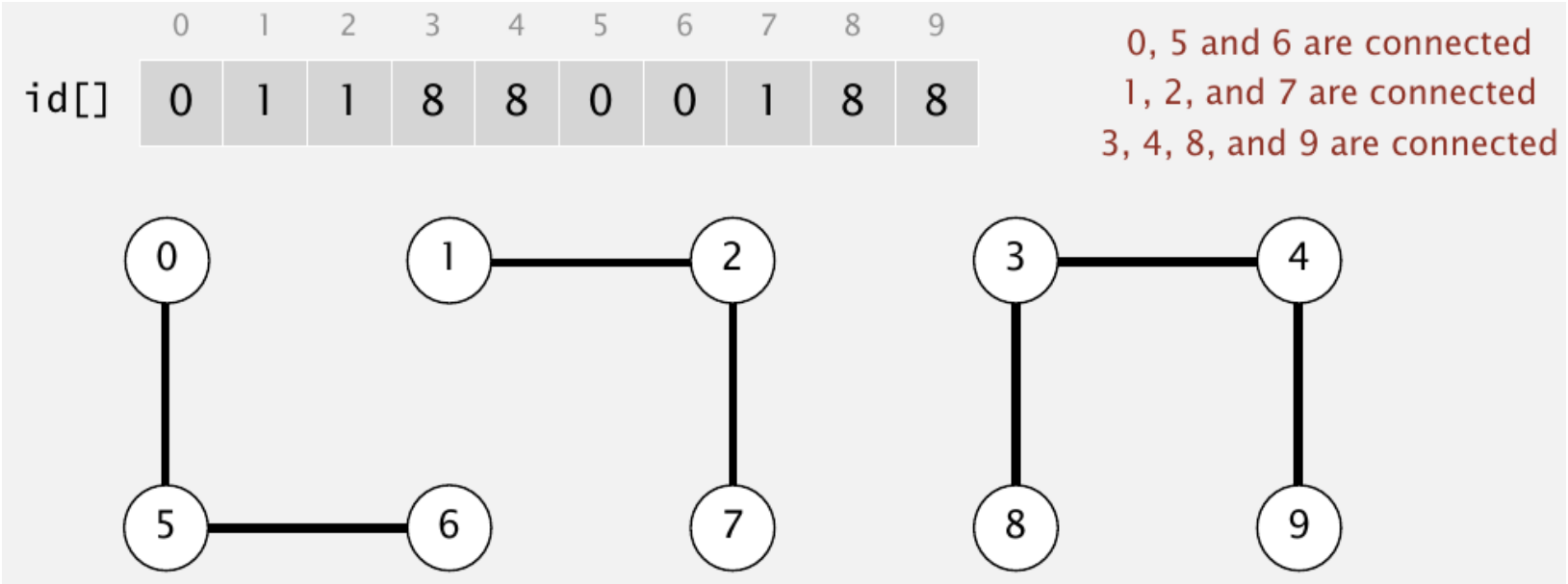
Estrutura de dados:

- Um *array* de inteiros `id[]` de tamanho *N*.
- Interpretação: `id[p]` é o identificador da componente conexa que contém *p*.
- O `id` de um objeto é escolhido arbitrariamente para ser o representante da componente aonde ele pertence.

Quick-find

Estrutura de dados:

- Um *array* de inteiros `id[]` de tamanho *N*.
- Interpretação: `id[p]` é o identificador da componente conexa que contém *p*.
- O `id` de um objeto é escolhido arbitrariamente para ser o representante da componente aonde ele pertence.



Quick-find

Operações:

- *Find*: Qual é o `id` de *p*? $\Rightarrow$ `id[p]`.
- *Connected*: Os objetos *p* e *q* têm o mesmo `id`?

```
id[6] = 0; id[1] = 1;
=> 6 e 1 não estão conectados
```

- *Union*: Para unir as componentes contendo *p* e *q*, modifique todas as posições contendo `id[p]` para `id[q]`.

Quick-find

Operações:

- *Find*: Qual é o `id` de *p*? ⇒ `id[p]`.
- *Connected*: Os objetos *p* e *q* têm o mesmo `id`?

```
id[6] = 0; id[1] = 1;
=> 6 e 1 não estão conectados
```

- *Union*: Para unir as componentes contendo *p* e *q*, modifique todas as posições contendo `id[p]` para `id[q]`.

Quick-find – Demo

Ver arquivo `15DemoQuickFind.mov`

Quick-find – Implementação

```
static int id[1000];
static int N;

void UF_init(int size) {
  N = size;
  for (int i = 0; i < N; i++) {
    id[i] = i;  // Cada objeto comeca na sua propria componente.
  }             // N acessos ao array.
}

int UF_find(int p) {
  return id[p]; // Retorna o id da componente de p. 1 acesso.
}

void UF_union(int p, int q) {
  int pid = id[p];
  int qid = id[q];
  for (int i = 0; i < N; i++) {
    if (id[i] == pid) { // Troca todas os valores de id[p]
      id[i] = qid;      // por id[q].
    }                   // No maximo 2N + 2 acessos ao array.
  }
}
```

Quick-find é muito lento

Modelo de custo: número de acessos ao *array* (leitura ou escrita).

Ordem de crescimento do número de acessos por operação.

Algoritmo	`init`	`union`	`find`	`connected`
quick-find	*N*	*N*	1	1

Quick-find é muito lento

Modelo de custo: número de acessos ao *array* (leitura ou escrita).

Ordem de crescimento do número de acessos por operação.

Algoritmo	`init`	`union`	`find`	`connected`
quick-find	N	N	1	1

- União é muito custosa: operação requer N^2 acessos ao *array* para processar uma sequência de N operações `union` sobre N objetos.
- $\Rightarrow$ Algoritmo quadrático.

Algoritmos quadráticos não escalam

Análise simplificada:

- 10^9 operações por segundo.
- 10^9 *words* de memória principal.
- $\Rightarrow$ Acesso a toda memória leva $\approx$ 1 s.

Algoritmos quadráticos não escalam

Análise simplificada:

- 10^9 operações por segundo.
- 10^9 *words* de memória principal.
- $\Rightarrow$ Acesso a toda memória leva $\approx$ 1 s.

Grande problema:

- 10^9 operações sobre 10^9 objetos.
- *Quick-find* leva mais de 10^{18} ops.
- 30+ anos de tempo de computação.