Estruturas de Kripke

Aula para disciplina de Métodos Formais

Gabriela Moreira

Departamento de Ciência da Computação - DCC
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

04 de março de 2024

Conteúdo

Sistemas de transições

Estruturas de Kripke

Não determinismo

Outline

Sistemas de transições

Estruturas de Kripke

Não determinismo

Sistema de transições: Definição

- Abstrações que descrevem o comportamento de sistemas com precisão matemática e sem ambiguidade (BAIER; KATOEN, 2008) .
- Podem ser vistos como grafos dirigidos onde
  - Os nós são **estados**
  - As arestas são **transições**

Um **estado** descreve as informações de um sistema em um momento específico.

Uma **transição** descreve como um sistema pode mudar de um estado para outro.

Sistema de transições: Definição formal

Um sistema de transições é definido pela tripla $(S, \to, I)$ onde

- S é um conjunto de estados,
- $\to \subseteq S \times S$ é uma relação de transições, e
- $I \subseteq S$ é um conjunto de estados iniciais.

Um **comportamento** ou **execução** ρ de um sistema de transições é uma sequência de estados tal que

$$\rho = s_0, s_1, \ldots \ \textit{tal que}\ s_i \to s_{i+1}\ \textit{para todo}\ i \geq 0$$

Sistemas de transições finito

Um sistema de transições é dito **finito** se e somente se S é finito.

Pergunta: Comportamentos de sistemas de transições finitos são sempre finitos?

Sistemas de transições finito

Um sistema de transições é dito **finito** se e somente se S é finito.

Pergunta: Comportamentos de sistemas de transições finitos são sempre finitos?

Não! Comportamentos sobre uma sequência de estados ainda podem ser infinitos, mesmo que os estados sejam finitos.

Determinismo e Não-Determinismo

O conjunto de **sucessores** de um estado s é definido por $Post(s) = \{s' \in S \mid s \to s'\}$.

Um sistema de transições é dito **determinístico** se e somente se $|I| \leq 1 \land \forall s \in S : |Post(s)| \leq 1$. Ou seja:

- Tem apenas um estado inicial, e
- Todo estado tem, no máximo, um sucessor.

Não-Determinismo acontece quando há múltiplos estados iniciais $|I| > 1$ ou múltiplos sucessores para o mesmo estado ($|Post(s)| > 1$).

Outline

Sistemas de transições

Estruturas de Kripke

Não determinismo

Estruturas de Kripke

Estruturas de Kripke são um tipo de sistema de transições com uma restrição adicional:

A relação $\rightarrow$ *deve ser total*

ou seja

$$\forall s \in S, \exists s' \in S : s \rightarrow s'$$

Estruturas de Kripke

Estruturas de Kripke são um tipo de sistema de transições com uma restrição adicional:

A relação $\rightarrow$ *deve ser total*

ou seja

$$\forall s \in S, \exists s' \in S : s \rightarrow s'$$

Estados terminais

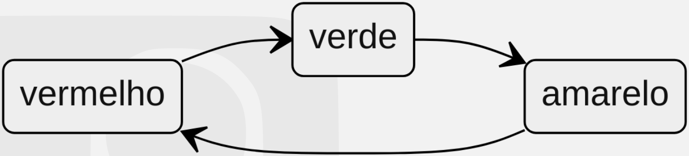
Em sistemas de transições, um estado é dito terminal se $Post(s) = \emptyset$.

Isso não é possível em estruturas de Kripke, devido a restrição acima. Em estruturas de Kripke, estados terminais são aqueles que possuem apenas transições para si mesmo, ou seja $Post(s) = \{s\}$

Exemplo: Semáforo

Um semáforo pode ser representado por uma estrutura de Kripke $(S, \rightarrow, I)$ onde

- $S = \{verde, amarelo, vermelho\}$
- $\rightarrow = \{verde \rightarrow amarelo, amarelo \rightarrow vermelho, vermelho \rightarrow verde\}$
- $I = \{vermelho\}$



Exercício: 🚦🚦 Dois semáforos

Um sistema com **dois** semáforos pode ser representado por uma estrutura de Kripke $(S, \to, I)$ onde

Exercício: 🚦🚦 Dois semáforos

Um sistema com **dois** semáforos pode ser representado por uma estrutura de Kripke $(S, \rightarrow, I)$ onde

- $S = \{(1 : vermelho\ e\ 2 : vermelho), (1 : amarelo\ e\ 2 : vermelho), (1 : verde\ e\ 2 : vermelho), (1 : vermelho\ e : amarelo), (1 : vermelho\ e\ 2 : verde)\}$

Exercício: 🚦🚦 Dois semáforos

Um sistema com **dois** semáforos pode ser representado por uma estrutura de Kripke $(S, \to, I)$ onde

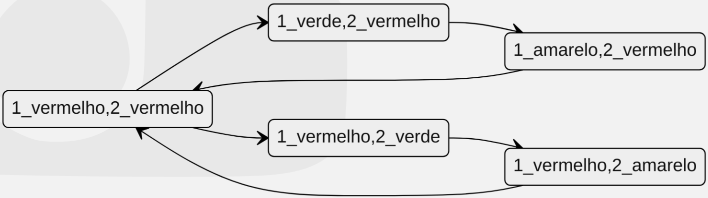
- $S = \{(1 : vermelho\ e\ 2 : vermelho), (1 : amarelo\ e\ 2 : vermelho), (1 : verde\ e\ 2 : vermelho), (1 : vermelho\ e\ : amarelo), (1 : vermelho\ e\ 2 : verde)\}$
- $$\begin{aligned} \to = \{ & \\ & (1 : vermelho\ e\ 2 : vermelho) \to (1 : verde\ e\ 2 : vermelho), \\ & (1 : verde\ e\ 2 : vermelho) \to (1 : amarelo\ e\ 2 : vermelho), \\ & (1 : amarelo\ e\ 2 : vermelho) \to (1 : vermelho\ e\ 2 : vermelho), \\ & (1 : vermelho\ e\ 2 : vermelho) \to (1 : vermelho\ e\ 2 : verde), \\ & (1 : vermelho\ e\ 2 : verde) \to (1 : vermelho\ e\ 2 : amarelo), \\ & (1 : vermelho\ e\ 2 : amarelo) \to (1 : vermelho\ e\ 2 : vermelho), \\ \} & \end{aligned}$$

Exercício: 🚦🚦 Dois semáforos

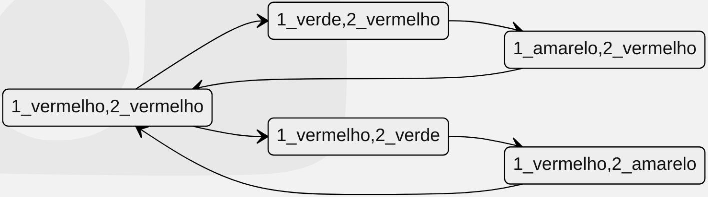
Um sistema com **dois** semáforos pode ser representado por uma estrutura de Kripke $(S, \rightarrow, I)$ onde

- $S = \{(1 : \textit{vermelho e } 2 : \textit{vermelho}), (1 : \textit{amarelo e } 2 : \textit{vermelho}), (1 : \textit{verde e } 2 : \textit{vermelho}), (1 : \textit{vermelho e } : \textit{amarelo}), (1 : \textit{vermelho e } 2 : \textit{verde})\}$
- $$\begin{aligned}\rightarrow = \{ & \\ & (1 : \textit{vermelho e } 2 : \textit{vermelho}) \rightarrow (1 : \textit{verde e } 2 : \textit{vermelho}), \\ & (1 : \textit{verde e } 2 : \textit{vermelho}) \rightarrow (1 : \textit{amarelo e } 2 : \textit{vermelho}), \\ & (1 : \textit{amarelo e } 2 : \textit{vermelho}) \rightarrow (1 : \textit{vermelho e } 2 : \textit{vermelho}), \\ & (1 : \textit{vermelho e } 2 : \textit{vermelho}) \rightarrow (1 : \textit{vermelho e } 2 : \textit{verde}), \\ & (1 : \textit{vermelho e } 2 : \textit{verde}) \rightarrow (1 : \textit{vermelho e } 2 : \textit{amarelo}), \\ & (1 : \textit{vermelho e } 2 : \textit{amarelo}) \rightarrow (1 : \textit{vermelho e } 2 : \textit{vermelho}), \\ \} & \end{aligned}$$
- $I = \{(1 : \textit{vermelho e } 2 : \textit{vermelho})\}$

Exercício: 🚦🚦 Dois semáforos II



Exercício: Dois semáforos II



`https://forsyte.at/kripke/`

- `AF(B_verde)`
- `AF(A_vermelho & B_vermelho)`

Exercício: 🚦🚦🚦 Três semáforos

Exercício: 🚦🚦🚦 Três semáforos

- Vish!

Exercício: 🚦🚦🚦 Três semáforos

- Vish!
- Muita coisa pra escrever, certo?
- Um jeito melhor: linguagens de especificação

Exercício: 🚦🚦🚦 Três semáforos

- Vish!
- Muita coisa pra escrever, certo?
- Um jeito melhor: linguagens de especificação

Vamos perceber algumas generalizações

1. Cada semáforo deve iniciar vermelho, e fazer o caminho vermelho $\rightarrow$ verde $\rightarrow$ amarelo enquanto os outros permanecem vermelhos.
2. Quando um semáforo fecha, queremos que **outro** semáforo abra
   - Com três semáforos, deve haver um revezamento que garanta que cada um vai abrir de vez em quando.

N semáforos em TLA+

$$
\begin{array}{l}
\textsc{module}\ \mathit{Semaforos} \\
\textsc{extends}\ \mathit{Integers}, \mathit{FiniteSets} \\
\textsc{variable}\ \mathit{cores}, \mathit{proximo} \\
\textsc{constant}\ \mathit{SEMAFOROS} \\
\\
\mathit{FicaVerde}(s) \triangleq \begin{array}[t]{l} \land\ \mathit{proximo} = s \\ \land\ \forall\, s2 \in \mathit{SEMAFOROS} : \mathit{cores}[s2] = \text{“vermelho”} \\ \land\ \mathit{cores}' = [\mathit{cores}\ \textsc{except}\ ![s] = \text{“verde”}] \\ \land\ \mathit{proximo}' = (s+1)\%\mathit{Cardinality}(\mathit{SEMAFOROS}) \end{array} \\
\\
\mathit{FicaAmarelo}(s) \triangleq \begin{array}[t]{l} \land\ \mathit{cores}[s] = \text{“verde”} \\ \land\ \mathit{cores}' = [\mathit{cores}\ \textsc{except}\ ![s] = \text{“amarelo”}] \\ \land\ \textsc{unchanged}\ \langle \mathit{proximo} \rangle \end{array} \\
\\
\mathit{FicaVermelho}(s) \triangleq \begin{array}[t]{l} \land\ \mathit{cores}[s] = \text{“amarelo”} \\ \land\ \mathit{cores}' = [\mathit{cores}\ \textsc{except}\ ![s] = \text{“vermelho”}] \\ \land\ \textsc{unchanged}\ \langle \mathit{proximo} \rangle \end{array} \\
\\
\mathit{Init} \triangleq \mathit{cores} = [s \in \mathit{SEMAFOROS} \mapsto \text{“vermelho”}] \land \mathit{proximo} = 0 \\
\\
\mathit{Next} \triangleq \exists\, s \in \mathit{SEMAFOROS} : \mathit{FicaVerde}(s) \lor \mathit{FicaAmarelo}(s) \lor \mathit{FicaVermelho}(s) \\
\\
\mathit{Spec} \triangleq \mathit{Init} \land \Box[\mathit{Next}]_{\langle \mathit{cores}, \mathit{proximo} \rangle}
\end{array}
$$

N semáforos em Quint

Especificação completa no GitHub.

```
module semaforos {
  type Cor = Vermelho | Verde | Amarelo
  type Semaforo = int

  var cores: Semaforo -> Cor
  var proximo: Semaforo

  const SEMAFOROS: Set[Semaforo]

  action fica_verde(s: Semaforo): bool = all {
    proximo == s,
    SEMAFOROS.forall(s2 => cores.get(s2) == Vermelho),

    cores' = cores.set(s, Verde),
    proximo' = (s + 1) % SEMAFOROS.size(),
  }
```

Perguntas

1. Todos os exemplos de semáforos (1, 2, 3 e N) são sistemas de transições. Quais deles são Estruturas de Kripke?

Perguntas

1. Todos os exemplos de semáforos (1, 2, 3 e N) são sistemas de transições. Quais deles são Estruturas de Kripke?
   - Para um sistema de transições ser uma estrutura de Kripke, $\rightarrow$ deve ser total:
     - $\forall s \in S, \exists s' \in S : s \rightarrow s'$

Perguntas

1. Todos os exemplos de semáforos (1, 2, 3 e N) são sistemas de transições. Quais deles são Estruturas de Kripke?
   - Para um sistema de transições ser uma estrutura de Kripke, $\rightarrow$ deve ser total:
     - $\forall s \in S, \exists s' \in S : s \rightarrow s'$
   - **Resposta**: Sim! Sempre há um passo para um próximo estado

Perguntas

1. Todos os exemplos de semáforos (1, 2, 3 e N) são sistemas de transições. Quais deles são Estruturas de Kripke?
    - Para um sistema de transições ser uma estrutura de Kripke, $\rightarrow$ deve ser total:
        - $\forall s \in S, \exists s' \in S : s \rightarrow s'$
    - **Resposta**: Sim! Sempre há um passo para um próximo estado
2. Os sistemas de semáforos são finitos?

Perguntas

1. Todos os exemplos de semáforos (1, 2, 3 e N) são sistemas de transições. Quais deles são Estruturas de Kripke?
   - 💡 Para um sistema de transições ser uma estrutura de Kripke, $\rightarrow$ deve ser total:
     - $\forall s \in S, \exists s' \in S : s \rightarrow s'$
   - **Resposta**: Sim! Sempre há um passo para um próximo estado
2. Os sistemas de semáforos são finitos?
   - 💡 Um sistema de transições é dito **finito** se e somente se S é finito.

Perguntas

1. Todos os exemplos de semáforos (1, 2, 3 e N) são sistemas de transições. Quais deles são Estruturas de Kripke?
   - Para um sistema de transições ser uma estrutura de Kripke, $\rightarrow$ deve ser total:
     - $\forall s \in S, \exists s' \in S : s \rightarrow s'$
   - **Resposta**: Sim! Sempre há um passo para um próximo estado
2. Os sistemas de semáforos são finitos?
   - Um sistema de transições é dito **finito** se e somente se S é finito.
   - **Resposta**: Sim! Os estados são um conjunto finito.

Perguntas

1. Todos os exemplos de semáforos (1, 2, 3 e N) são sistemas de transições. Quais deles são Estruturas de Kripke?
   - 💡 Para um sistema de transições ser uma estrutura de Kripke, $\rightarrow$ deve ser total:
     - $\forall s \in S, \exists s' \in S : s \rightarrow s'$
   - **Resposta**: Sim! Sempre há um passo para um próximo estado
2. Os sistemas de semáforos são finitos?
   - 💡 Um sistema de transições é dito **finito** se e somente se S é finito.
   - **Resposta**: Sim! Os estados são um conjunto finito.
3. Nossas definições de semáforo são determinísticas?

Perguntas

1. Todos os exemplos de semáforos (1, 2, 3 e N) são sistemas de transições. Quais deles são Estruturas de Kripke?
    - 💡 Para um sistema de transições ser uma estrutura de Kripke, $\rightarrow$ deve ser total:
        - $\forall s \in S, \exists s' \in S : s \rightarrow s'$
    - **Resposta**: Sim! Sempre há um passo para um próximo estado
2. Os sistemas de semáforos são finitos?
    - 💡 Um sistema de transições é dito **finito** se e somente se S é finito.
    - **Resposta**: Sim! Os estados são um conjunto finito.
3. Nossas definições de semáforo são determinísticas?
    - 💡 O conjunto de **sucessores** de um estado s é definido por $Post(s) = \{s' \in S \mid s \rightarrow s'\}$.
    - 💡 Sistema é deterministico sse $|I| \leq 1 \wedge \forall s \in S : |Post(s)| \leq 1$

Perguntas

1. Todos os exemplos de semáforos (1, 2, 3 e N) são sistemas de transições. Quais deles são Estruturas de Kripke?
    - 💡 Para um sistema de transições ser uma estrutura de Kripke, $\rightarrow$ deve ser total:
        - $\forall s \in S, \exists s' \in S : s \rightarrow s'$
    - **Resposta**: Sim! Sempre há um passo para um próximo estado
2. Os sistemas de semáforos são finitos?
    - 💡 Um sistema de transições é dito **finito** se e somente se S é finito.
    - **Resposta**: Sim! Os estados são um conjunto finito.
3. Nossas definições de semáforo são determinísticas?
    - 💡 O conjunto de **sucessores** de um estado s é definido por $Post(s) = \{s' \in S \mid s \rightarrow s'\}$.
    - 💡 Sistema é deterministico sse $|I| \leq 1 \wedge \forall s \in S : |Post(s)| \leq 1$
    - **Resposta**: Nem todas. A definição que demos para 2 semáforos contém não determinismo. As definições para 1 semáforo e N semáforos são determinísticas.

Outline

Sistemas de transições

Estruturas de Kripke

Não determinismo

Não determinismo nos semáforos

Como seriam semáforos com não determinismo?

- $Post(s) = \{s' \in S \mid s \to s'\}$.
- Sistema é deterministico sse $|I| \leq 1 \wedge \forall s \in S : |Post(s)| \leq 1$

Não determinismo nos semáforos

Como seriam semáforos com não determinismo?

- $Post(s) = \{s' \in S \mid s \to s'\}$.
- Sistema é deterministico sse $|I| \leq 1 \land \forall s \in S : |Post(s)| \leq 1$

1. Qualquer estado pode ser um estado inicial. Se definirmos isso ($I = S$), temos não determinismo

Não determinismo nos semáforos

Como seriam semáforos com não determinismo?

- $Post(s) = \{s' \in S \mid s \to s'\}$.
- Sistema é deterministico sse $|I| \leq 1 \wedge \forall s \in S : |Post(s)| \leq 1$

1. Qualquer estado pode ser um estado inicial. Se definirmos isso ($I = S$), temos não determinismo
   - $|I| \leq 1$ não é satisfeito

Não determinismo nos semáforos

Como seriam semáforos com não determinismo?

- $Post(s) = \{s' \in S \mid s \to s'\}$.
- Sistema é deterministico sse $|I| \leq 1 \wedge \forall s \in S : |Post(s)| \leq 1$

1. Qualquer estado pode ser um estado inicial. Se definirmos isso ($I = S$), temos não determinismo
    - $|I| \leq 1$ não é satisfeito
2. Caso o primeiro semáforo a abrir não esteja definido

Não determinismo nos semáforos

Como seriam semáforos com não determinismo?

- $Post(s) = \{s' \in S \mid s \to s'\}$.
- Sistema é deterministico sse $|I| \leq 1 \wedge \forall s \in S : |Post(s)| \leq 1$

1. Qualquer estado pode ser um estado inicial. Se definirmos isso ($I = S$), temos não determinismo
   - $|I| \leq 1$ não é satisfeito
2. Caso o primeiro semáforo a abrir não esteja definido
   - $|Post(1 : vermelho\ e\ ...\ e\ N : vermelho\ e\ próximo : indefinido)| \leq 1$ não é satisfeito

Não determinismo nos semáforos

Como seriam semáforos com não determinismo?

- $Post(s) = \{s' \in S \mid s \to s'\}$.
- Sistema é deterministico sse $|I| \leq 1 \wedge \forall s \in S : |Post(s)| \leq 1$

1. Qualquer estado pode ser um estado inicial. Se definirmos isso ($I = S$), temos não determinismo
   - $|I| \leq 1$ não é satisfeito
2. Caso o primeiro semáforo a abrir não esteja definido
   - $|Post(1 : \textit{vermelho e ... e } N : \textit{vermelho e próximo} : \textit{indefinido})| \leq 1$ não é satisfeito
3. Caso a definição de próximo seja removida

Não determinismo nos semáforos

Como seriam semáforos com não determinismo?

- $Post(s) = \{s' \in S \mid s \rightarrow s'\}$.
- Sistema é deterministico sse $|I| \leq 1 \wedge \forall s \in S : |Post(s)| \leq 1$

1. Qualquer estado pode ser um estado inicial. Se definirmos isso ($I = S$), temos não determinismo
   - $|I| \leq 1$ não é satisfeito
2. Caso o primeiro semáforo a abrir não esteja definido
   - $|Post(1 : \textit{vermelho e ... e } N : \textit{vermelho e próximo} : \textit{indefinido})| \leq 1$ não é satisfeito
3. Caso a definição de próximo seja removida
   - $|Post(1 : \textit{vermelho e ... e } N : \textit{vermelho})| \leq 1$ não é satisfeito

Não determinismo na realidade

Onde podemos encontrar não determinismo em sistemas de software?

Não determinismo na realidade

Onde podemos encontrar não determinismo em sistemas de software?

1. Escolhas de usuário
    - Depósitos e saques
    - Qualquer input em geral

Não determinismo na realidade

Onde podemos encontrar não determinismo em sistemas de software?

1. Escolhas de usuário
   - Depósitos e saques
   - Qualquer input em geral
2. Fatores aleatórios
   - Se rolar 20 no dado, o dano é dobrado

Não determinismo na realidade

Onde podemos encontrar não determinismo em sistemas de software?

1. Escolhas de usuário
   - Depósitos e saques
   - Qualquer input em geral
2. Fatores aleatórios
   - Se rolar 20 no dado, o dano é dobrado
3. Influências do ambiente
   - Falha de hardware
   - Falha na rede

Não determinismo na realidade

Onde podemos encontrar não determinismo em sistemas de software?

1. Escolhas de usuário
   - Depósitos e saques
   - Qualquer input em geral
2. Fatores aleatórios
   - Se rolar 20 no dado, o dano é dobrado
3. Influências do ambiente
   - Falha de hardware
   - Falha na rede
4. Ordem de execução quando há concorrência
   - Processo A executa antes do processo B
   - Requisição A é recebida antes da requisição B

Definindo a fronteira

Ao especificar um sistema, especialmente quando há não determinismo, é preciso definir uma fronteira.

- Até aquela fronteira, fatores externos não especificados determinam o que acontece.
- O não determinismo é uma forma de abstrair esses fatores externos
    - i.e. De A, vou pra B ou C. Isso depende de algum fator externo. Se é a jogada de um dado ou o input de um usuário, não me importa.
    - Se isso me importa, então vou modelar a jogada de dado.

Exemplo: Notas de alunos

Vamos considerar duas fronteiras diferentes:

1. O professor coloca uma nota no SIGA. Se a nota for ≥ 7, o aluno passa.
   - Não determinismo no input do professor

Exemplo: Notas de alunos

Vamos considerar duas fronteiras diferentes:

1. O professor coloca uma nota no SIGA. Se a nota for ≥ 7, o aluno passa.
   - Não determinismo no input do professor
2. O aluno pode ou não prestar atenção nas aulas. Se prestar atenção, vai se dar bem na prova, sua nota será maior que 7, e portanto vai passar.
   - Não determinismo nas escolhas do aluno
   - A nota que o professor dá é **determinada** pelas escolhas do aluno

Exemplo: Notas de alunos

Vamos considerar duas fronteiras diferentes:

1. O professor coloca uma nota no SIGA. Se a nota for ≥ 7, o aluno passa.
    - Não determinismo no input do professor
2. O aluno pode ou não prestar atenção nas aulas. Se prestar atenção, vai se dar bem na prova, sua nota será maior que 7, e portanto vai passar.
    - Não determinismo nas escolhas do aluno
    - A nota que o professor dá é **determinada** pelas escolhas do aluno

No caso (2) estamos detalhando mais o mundo externo fora do SIGA, enquanto no (1) a fronteira é na interface do SIGA.

Exemplo: Notas de alunos

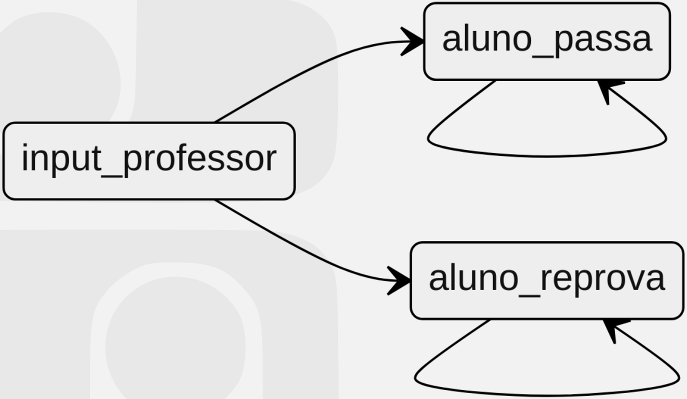
Vamos considerar duas fronteiras diferentes:

1. O professor coloca uma nota no SIGA. Se a nota for ≥ 7, o aluno passa.
    - Não determinismo no input do professor
2. O aluno pode ou não prestar atenção nas aulas. Se prestar atenção, vai se dar bem na prova, sua nota será maior que 7, e portanto vai passar.
    - Não determinismo nas escolhas do aluno
    - A nota que o professor dá é **determinada** pelas escolhas do aluno

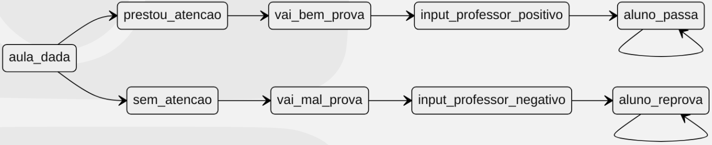
No caso (2) estamos detalhando mais o mundo externo fora do SIGA, enquanto no (1) a fronteira é na interface do SIGA.

O caso (1) é uma especificação do SIGA, enquanto o (2) fala mais sobre um sistema universitário.

Exemplo: Notas de alunos - input professor



Exemplo: Notas de alunos - escolhas dos alunos



Exemplo: Vôo com conexões

Versão 1:

Joinville $\rightarrow$ *São Paulo* $\rightarrow$ *Paris*

Exemplo: Vôo com conexões

Versão 1:

Joinville → São Paulo → Paris

Versão 2:

Check-in em Joinville → Despacho de Bagagem em Joinville → Check de Segurança em Joinville → Embarque em Joinville → Pouso em São Paulo → Check de Segurança em São Paulo → Embarque em São Paulo → Pouso em Paris → Retirada de bagagem em Paris

Exemplo: Vôo com conexões - Não determinismo

Onde poderia ter **não determinismo**?

- Chegar atrasado e perder o check-in
- Acharem uma bomba na bagagem
- Problemas técnicos no vôo
- Perder a conexão

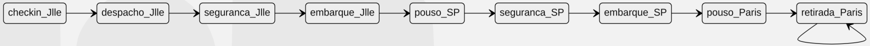
Exemplo: Vôo com conexões - Não determinismo

Onde poderia ter **não determinismo**?

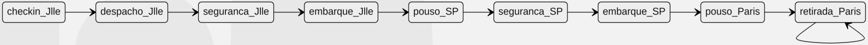
- Chegar atrasado e perder o check-in
- Acharem uma bomba na bagagem
- Problemas técnicos no vôo
- Perder a conexão

Podemos ter não determinismo em cada estado. Nos casos listados, podemos ou não determinar o que acontece. Cabe ao nível de detalhe, ou a **fronteira** da nossa modelagem.

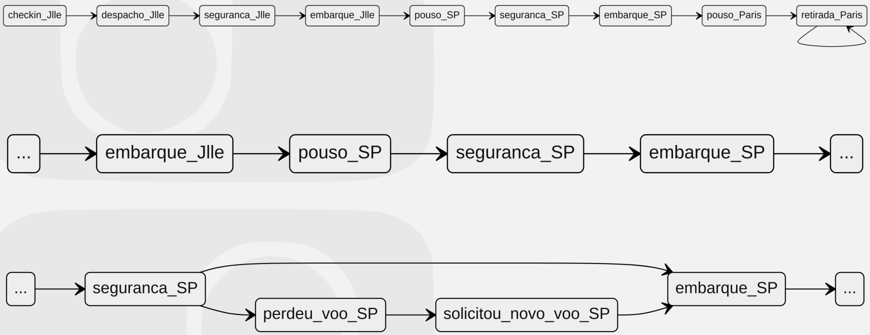
Exemplo: Vôo com conexões - Perdendo a conexão



Exemplo: Vôo com conexões - Perdendo a conexão



Exemplo: Vôo com conexões - Perdendo a conexão



Referências

BAIER, C.; KATOEN, J.-P. **Principles of model checking**. Cambridge, MA: The MIT Press, 2008.

Estruturas de Kripke

Aula para disciplina de Métodos Formais

Gabriela Moreira

Departamento de Ciência da Computação - DCC
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

04 de março de 2024