Bases Mínimas para o Diagnóstico de Falhas em Sistemas a Eventos Discretos

Aluno: **Saulo T. S. Lima**[⋆]

Orientador: **João C. Basilio**[†,⋆]

Laboratório de Controle e Automação

[⋆] Escola Politécnica - Departamento de Engenharia Elétrica

[†] COPPE - Programa de Engenharia Elétrica

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Introdução

- Processos industriais automatizados

Introdução

- Processos industriais automatizados $\longrightarrow$ Como modelar?

Introdução

- Processos industriais automatizados $\longrightarrow$ Como modelar?
    - Sistemas a Eventos Discretos

Introdução

- Processos industriais automatizados $\longrightarrow$ Como modelar?
  - Sistemas a Eventos Discretos
- Processo real $\longrightarrow$ falhas observáveis e não-observáveis.

Introdução

- Processos industriais automatizados → Como modelar?
  - Sistemas a Eventos Discretos
- Processo real → falhas observáveis e não-observáveis.
  - Diagnóstico de Falhas em SED.
    - Deteção de falhas através da constatação da ocorrência de eventos observáveis.

Introdução

- Processos industriais automatizados $\longrightarrow$ Como modelar?
    - Sistemas a Eventos Discretos
- Processo real $\longrightarrow$ falhas observáveis e não-observáveis.
    - Diagnóstico de Falhas em SED.
        - Deteção de falhas através da constatação da ocorrência de eventos observáveis.
- Orçamento do projeto $\longrightarrow$ quantidade e tecnologia dos sensores utilizados.

Introdução

- Método sistemático

  - Objetivo $\longrightarrow$ encontrar os menores conjuntos de eventos observáveis que permitam que uma falha em um SED seja detectada.

Tópicos da apresentação

1. Diagnóstico de Falhas em SED
   - Conceitos Básicos de SED
   - Diagnosticabilidade
   - Motivação do trabalho
2. Bases mínimas para diagnóstico de falhas
   - Definições e resultados preliminares
   - Método sistemático para identificação de bases mínimas
     - Algoritmo 1
     - Algoritmo 2
3. Conclusões e trabalhos futuros

Linguagens

Definição 1 Uma linguagem definida sobre um conjunto de eventos E é um conjunto de seqüências formadas por eventos pertencentes a E. $\square$

Exemplo 1 Suponha o conjunto de eventos $E = \{a, b, g\}$. Podem-se definir, por exemplo, as seguintes linguagens:

- $L_1 = \{\varepsilon, a, abb\}$,
- $L_2 = \{$todas as possíveis seqüências de tamanho 3 iniciadas pelo evento $a\}$ e
- $L_3 = \{$todas as possíveis seqüências de tamanho finito iniciadas pelo evento $a\}$.

Autômato

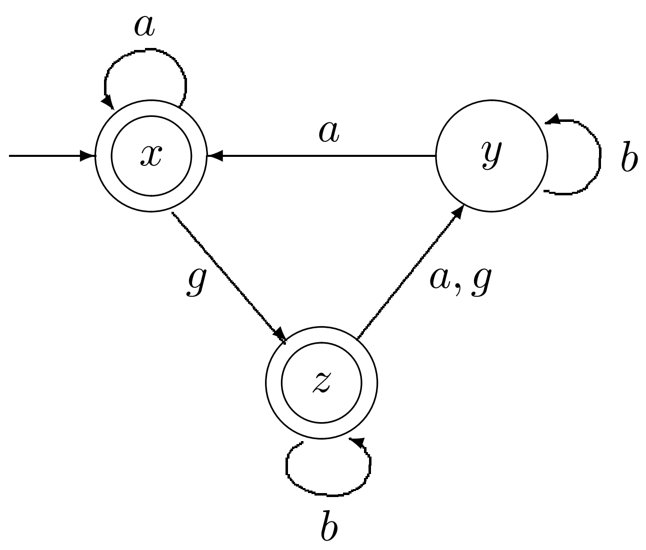
Dispositivo capaz de representar uma linguagem por regras bem definidas.

Definição 2 Um autômato determinístico é uma sêxtupla

$$G = (X, E, f, \Gamma, x_0, X_m).$$

$\square$

Exemplo 2



Linguagens gerada e marcada por um autômato

Definição 3 Linguagem gerada

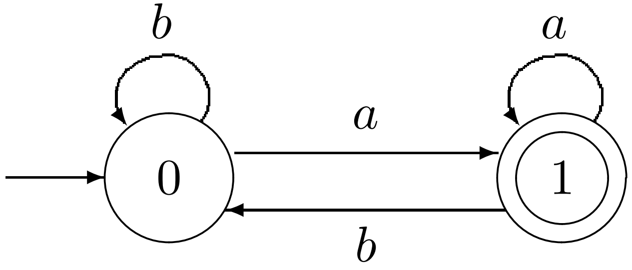
$$\mathcal{L}(G) := \{s \in E^* : f(x_0, s) \text{ é definida}\}$$

Linguagem marcada

$$\mathcal{L}_m(G) := \{s \in \mathcal{L}(G) : f(x_0, s) \in X_m\}.$$

□

Exemplo 3



Projeção de linguagens

Definição 4

$$P_i : (E_1 \cup E_2)^* \rightarrow E_i^* \; para \; i = 1, 2$$

$$P_i(a) = \begin{cases} a, & e \in E_i \\ \varepsilon, & e \notin E_i \end{cases}$$

$$P_i(sa) = P_i(s)P_i(a), s \in (E_1 \cup E_2)^*, a \in E_1 \cup E_2$$

Exemplo 4 $E_1 = \{a, b\}$, $E_2 = \{b, c\}$, e
$L = \{c, ccb, abc, cacb, cabcbbca\}$

$$\begin{aligned} P_1(L) &= \{\varepsilon, b, ab, abbba\} \\ P_2(L) &= \{c, ccb, bc, cbcbbc\} \end{aligned}$$

Composição paralela de dois autômatos

Definição 5

$$G_1 \| G_2 := Ac(X_1 \times X_2, E_1 \cup E_2, f, \Gamma_{1\|2},$$

$$(x_{01}, x_{02}), X_{m1} \times X_{m2}),$$

em que

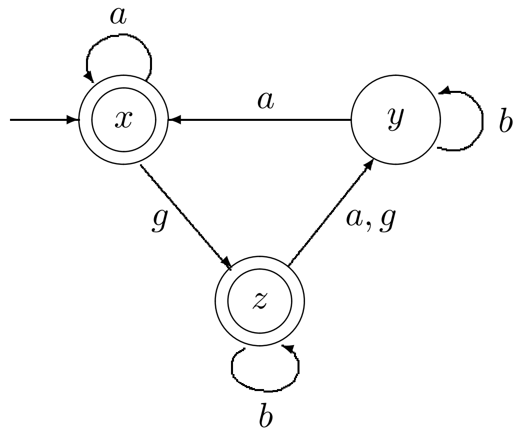
$$f[(x_1, x_2), e] :=$$

$$\begin{cases} (f_1(x_1, e), f_2(x_2, e)), & e \in \Gamma_1(x_1) \cap \Gamma_2(x_2) \\ (f_1(x_1, e), x_2), & e \in \Gamma_1(x_1) \backslash E_2 \\ (x_1, f_2(x_2, e)), & e \in \Gamma_2(x_2) \backslash E_1 \\ \textit{não definido}, & \textit{caso contrário} \end{cases}$$

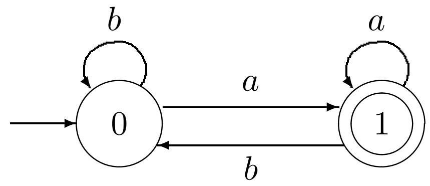
Composição paralela $\equiv$ sincronização

Composição paralela de dois autômatos

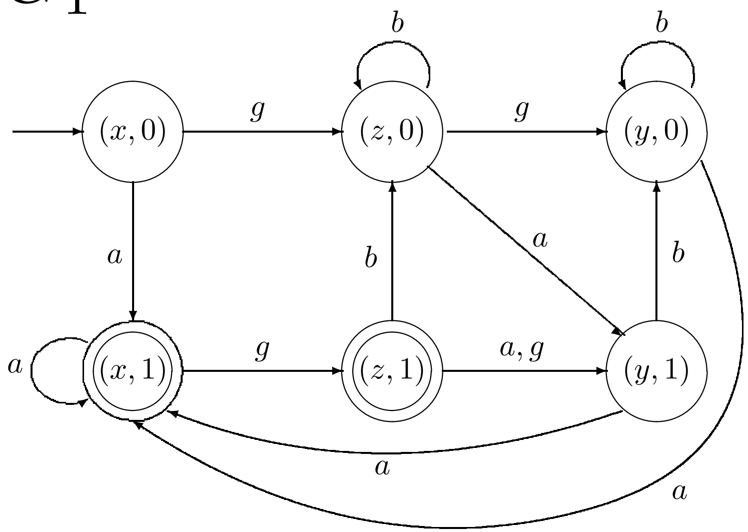
Exemplo 5



G_1



G_2



$G_1 \| G_2$

Autômatos não-determinísticos

Definição 6 Um *autômato não-determinístico*, denotado por G_{nd}, é uma sêxtupla

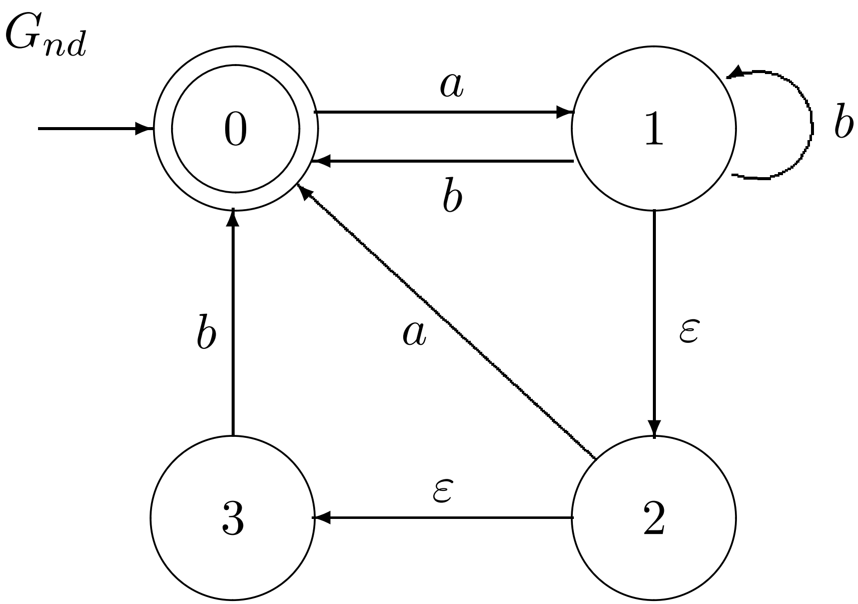
$$G_{nd} = (X, E \cup \{\varepsilon\}, f_{nd}, \Gamma, x_0, X_m).$$

$\square$

- Evento nulo $\varepsilon \longrightarrow$ não-observável.
- $f_{nd} : X \times E \cup \{\varepsilon\} \rightarrow 2^X$
- $x_0 \subseteq X$

Autômatos não-determinísticos

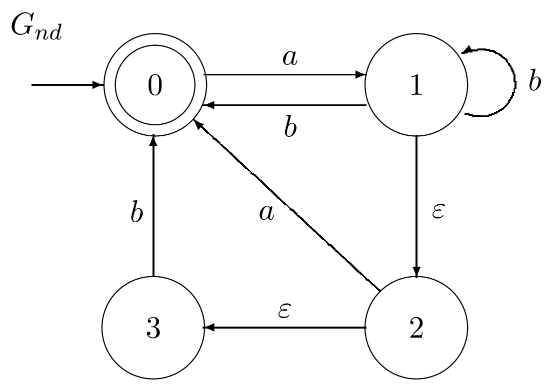
Exemplo 6

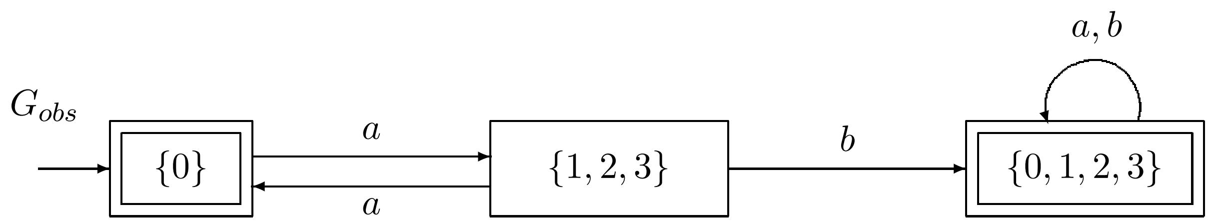


- $f(0, ab) = \{0, 1, 2, 3\}$
- $ab \in \mathcal{L}_m(G_{nd})$

Observador

- Estima o estado em que o autômato não-determinístico se encontra.





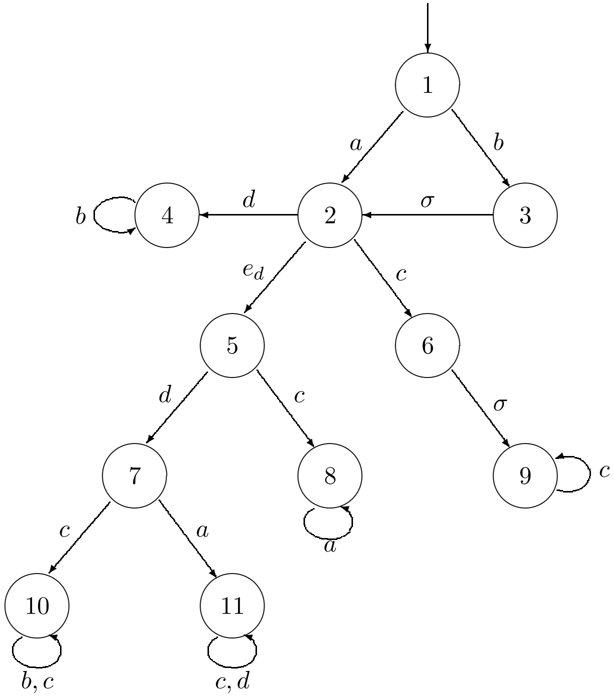
- É um autômato determinístico que gera e marca a mesma linguagem que o autômato não-determinístico

Autômato parcialmente observado

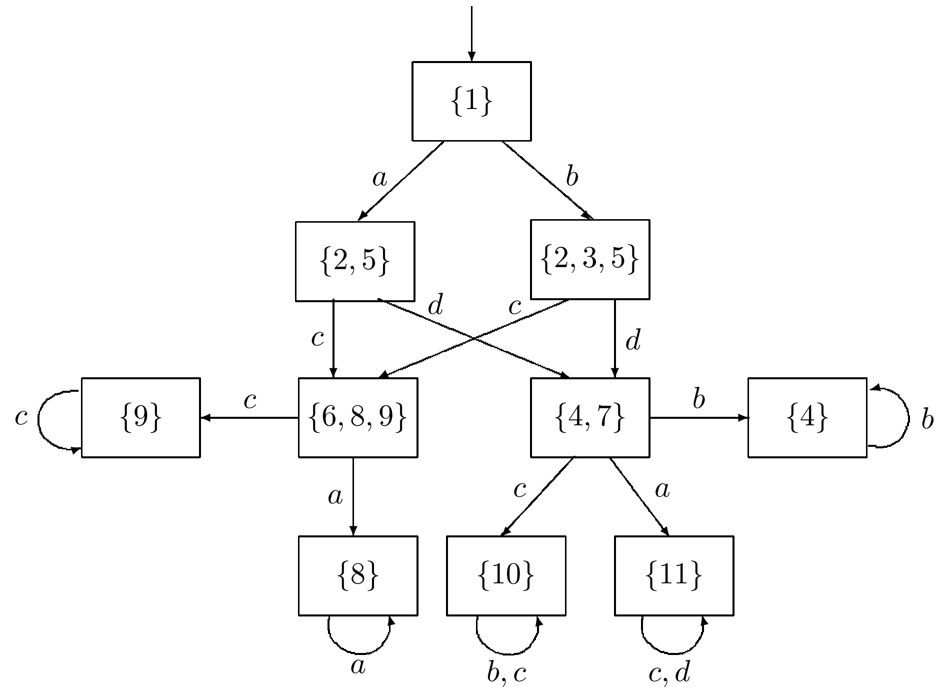
- É um autômato determinístico cujo conjunto de eventos é $E = E_o \dot{\cup} E_{uo}$.
  - E_o é o conjunto de eventos observáveis
  - E_{uo} é o conjunto de eventos não-observáveis
- Para construção do observador $\longrightarrow$ tratar $\sigma \in E_{uo}$ como ε.
  - $\mathcal{L}[Obs(G)] = P[\mathcal{L}(G)]$.
  - $\mathcal{L}_m[Obs(G)] = P[\mathcal{L}_m(G)]$.

Autômato parcialmente observado

Exemplo 7



G



$Obs(G)$

Tópicos da apresentação

1. Diagnóstico de Falhas em SED
   - Conceitos Básicos de SED
   - Diagnosticabilidade
   - Motivação do trabalho
2. Bases mínimas para diagnóstico de falhas
   - Definições e resultados preliminares
   - Método sistemático para identificação de bases mínimas
     - Algoritmo 1
     - Algoritmo 2
3. Conclusões e trabalhos futuros

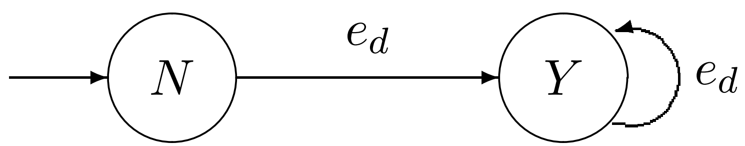
Diagnóstico de falhas

- Problema: determinar a ocorrência de determinados eventos não-observáveis, chamados falhas do sistema.
- Diagnosticador: dispositivo capaz de informar sobre a ocorrência de determinada falha é chamado de diagnosticador.
- Evento a ser diagnosticado: e_d.
  - Diagnosticador $\longrightarrow$ Observador $+$ marcações Y e N
  - Marcações Y $\longrightarrow$ o evento e_d ocorreu
  - Marcações N $\longrightarrow$ o evento e_d não ocorreu

Diagnóstico de falhas

- Pode-se construir o diagnosticador para um autômato parcialmente observável de duas formas:
  - Utilizando-se o procedimento construção do observador, incluindo-se as marcações Y e N, e propagando-as devidamente
  - Utilizando-se a operação

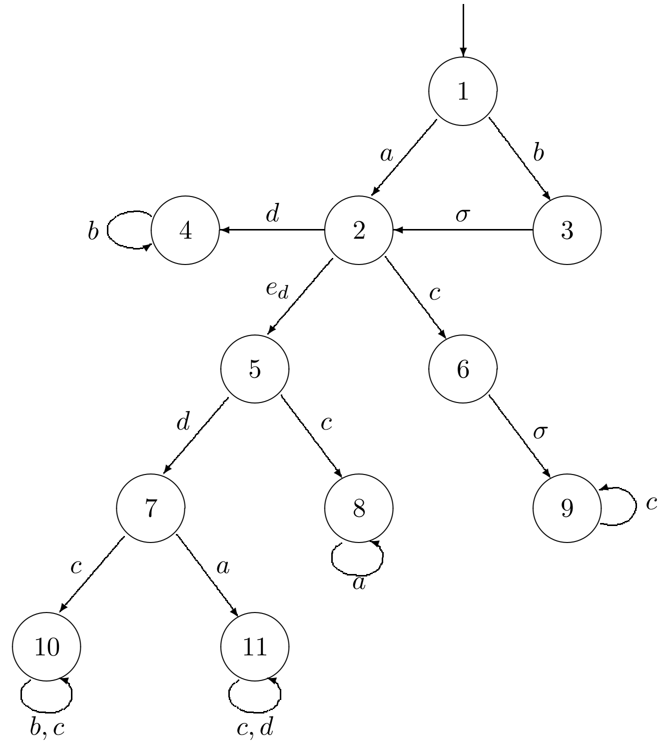
$$Diag(G) = Obs(G \| A_{label})$$



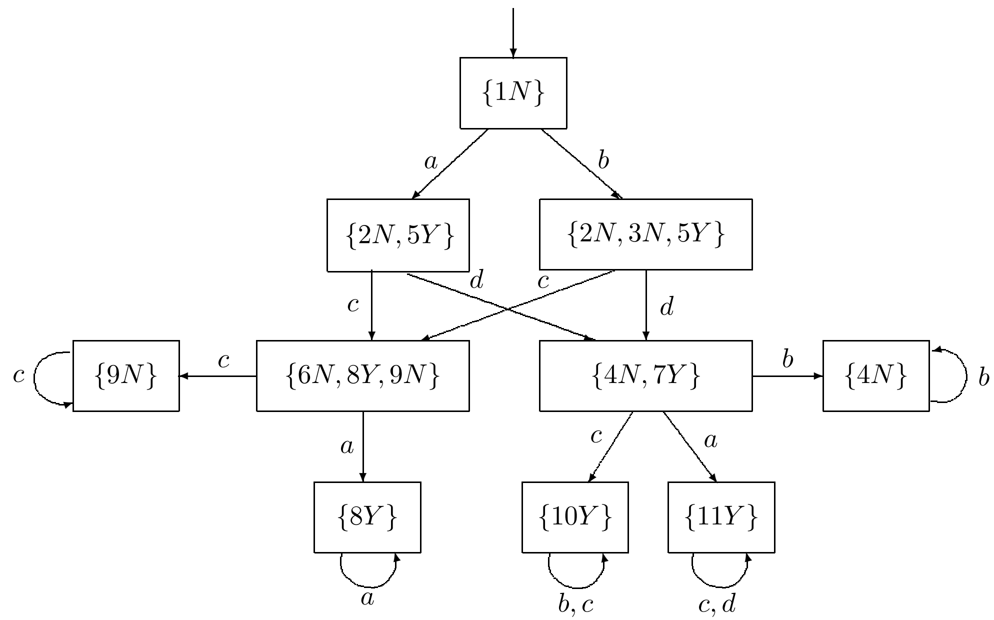
A_{label}

Diagnóstico de falhas

Exemplo 8



G



$Diag(G)$

Diagnosticabilidade

- Noção $\rightarrow$ possibilidade de se detectar qualquer falha, com um atraso finito, a partir da ocorrência de eventos observáveis.

Definição 7 Um evento não-observável e_d é não-diagnosticável em uma linguagem $\mathcal{L}(G)$ se existirem duas seqüências s_n e s_y em $\mathcal{L}(G)$ que satisfaçam às seguintes condições: (i) s_y contém e_d, mas s_n não contém; (ii) s_y possui uma continuação de tamanho arbitrariamente longo, após a ocorrência de e_d; e (iii) $P(s_n) = P(s_y)$. $\square$

Diagnosticabilidade

- Hipóteses:
  - G não possua estados de bloqueio, e que
  - G não possua ciclos de eventos não-observáveis após a ocorrência da falha.
- Se o diagnosticador possuir um ciclo indeterminado, então o sistema é não-diagnosticável.
  - O Ciclo indeterminado é formado por estados incertos de G_{diag}, cuja seqüência de eventos observáveis é igual a $P(s_n) = P(s_y)$, sendo $s_n, s_y \in \mathcal{L}(G)$, em que $e_d \in s_y$, $e_d \notin s_n$ e $P(s_n) = P(s_y)$.

Tópicos da apresentação

1. Diagnóstico de Falhas em SED
   - Conceitos Básicos de SED
   - Diagnosticabilidade
   - Motivação do trabalho
2. Bases mínimas para diagnóstico de falhas
   - Definições e resultados preliminares
   - Método sistemático para identificação de bases mínimas
     - Algoritmo 1
     - Algoritmo 2
3. Conclusões e trabalhos futuros

Motivação do trabalho

- Questão: É possível utilizar um subconjunto do conjunto de eventos observáveis para diagnosticar a ocorrência de falhas de um sistema?

- Vantagens:
  - Menor gasto com sensores
  - Introdução de sensores redundantes para melhorar a confiabilidade e robustez do diagnosticador

- Desvantagem:
  - A falha pode levar mais tempo para ser diagnosticada

Tópicos da apresentação

1. Diagnóstico de Falhas em SED
   - Conceitos Básicos de SED
   - Diagnosticabilidade
   - Motivação do trabalho
2. Bases mínimas para diagnóstico de falhas
   - Definições e resultados preliminares
   - Método sistemático para identificação de bases mínimas
     - Algoritmo 1
     - Algoritmo 2
3. Conclusões e trabalhos futuros

Diagnosticador parcial

Definição 8 Um diagnosticador parcial G_{d_i} é um autômato diagnosticador de $\mathcal{L}(G)$ cujo conjunto de eventos E_{o_i} é um subconjunto de E_o. $\square$

- Pode ser construído utilizando-se o procedimento para a construção do diagnosticador centralizado.
  - Considerar E_{o_i} como conjunto de eventos observáveis
  - Procedimento pouco prático

Diagnosticador parcial

Teorema 1

- $G_{diag} = (X_d, E_o, f_d, \Gamma_d, x_{0_d})$.
- $G_{d_i} = (X_{d_i}, E_{o_i}, f_{d_i}, \Gamma_{d_i}, x_{0_{d_i}})$.
- $E_{o_i} \subset E_o$.

$$\Downarrow$$

$$Obs(G_{diag}, E_{o_i}) = G_{d_i}$$

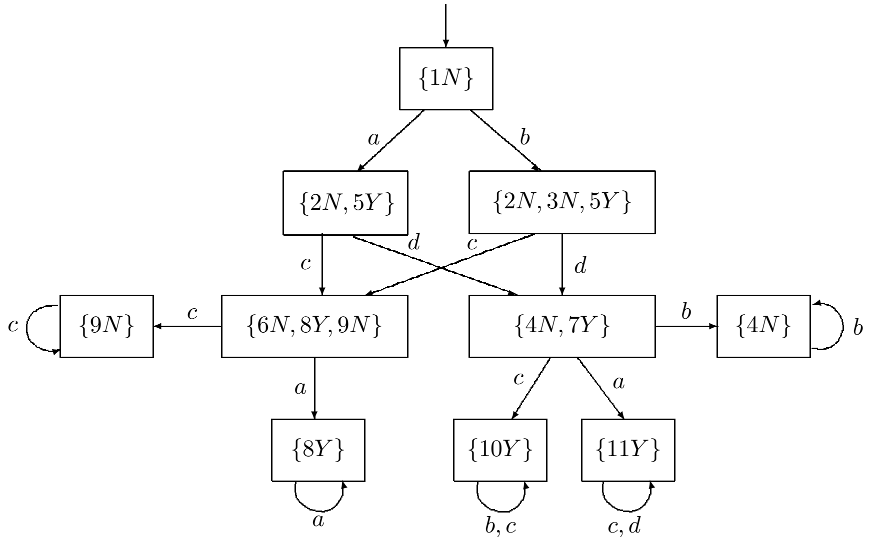
a menos da seguinte equivalência de estados:

$$\hat{x}_d = \{x_{1_d}, x_{2_d}, ..., x_{n_d}\} \in \hat{X}_d,\ x_{k_d} \in X_d \Leftrightarrow$$

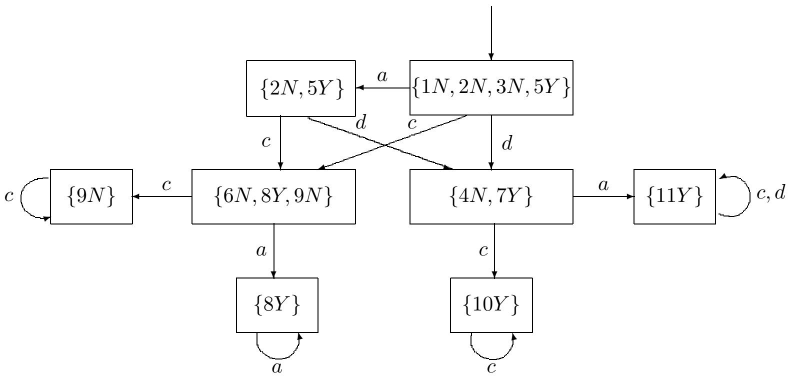
$$x_{d_i} = \bigcup_{k=1}^{n} x_{k_d} \in X_{d_i}.$$

Diagnosticador parcial

Exemplo 9 $E_{o_1} = \{a, c, d\}$.



G_{diag}



G_{d_i}

Eventos definitivos

Definição 9 *(Eventos definitivos)* Um evento $e_u \in E_o$ é um evento definitivo se $\exists s e_u \in \mathcal{L}(G_{diag})$, tal que

$$f_d(x_{0_d}, s) = y \quad \text{em que } y \text{ é um estado incerto}$$
$$\text{ou um estado certo de } G_{diag}$$

e

$$f_d(y, e_u) = z \text{ em que } z \text{ é um estado certo } G_{diag}.$$

$\square$

Bases para o diagnóstico de falhas

Definição 10 Dado um autômato $G = (X, E, f, \Gamma, x_0, X_m)$, em que $E = E_o \cup E_{uo}$ e $e_d \in E_{uo}$, um conjunto $E_{o_i} \subseteq E_o$ é uma base para o diagnóstico de $\mathcal{L}(G)$ se $\mathcal{L}(G)$ for diagnosticável com respeito a $P_{o_i} : E^* \rightarrow E_{o_i}^*$ e e_d $\square$

- Supondo que $\mathcal{L}(G)$ é diagnosticável com respeito a P_o e e_d, é possível obter condições em $G_{d_i} = (X_{d_i}, E_{o_i}, f_{d_i}, \Gamma_{d_i}, x_{0_{d_i}})$?

Bases mínimas

Definição 11 *(Eventos essenciais e redundantes)* Um evento $e \in E_{o_i}$, em que E_{o_i} é uma base para o diagnóstico de falhas, é um evento redundante (essencial) de E_{o_i} se $E_{o_i} \backslash \{e\}$ for (não for) uma base para o diagnóstico de falhas. □

Definição 12 *(Bases mínimas para o diagnóstico de falhas)* O conjunto $E_{o_i} \subseteq E_o$ é uma base mínima para o diagnóstico de falhas em G se E_{o_i} for uma base para o diagnóstico de falhas e possuir somente eventos essenciais. □

Bases mínimas

- Interesse: dado que E_o é uma base, descobrir se um conjunto $E_{o_i} \subset E_o$ é também uma base.

Bases mínimas

- Interesse: dado que E_o é uma base, descobrir se um conjunto $E_{o_i} \subset E_o$ é também uma base.
- Problema: encontrar condições necessárias e suficientes para que $\mathcal{L}(G)$ seja diagnosticável com respeito a $P_{o_i} : E^* \longrightarrow E_{o_i}^*$ e $e_d \in E_{uo}$, através do diagnosticador parcial $G_{d_i} = (X_{d_i}, E_{o_i}, f_{d_i}, \Gamma_{d_i}, x_{0_{d_i}})$.

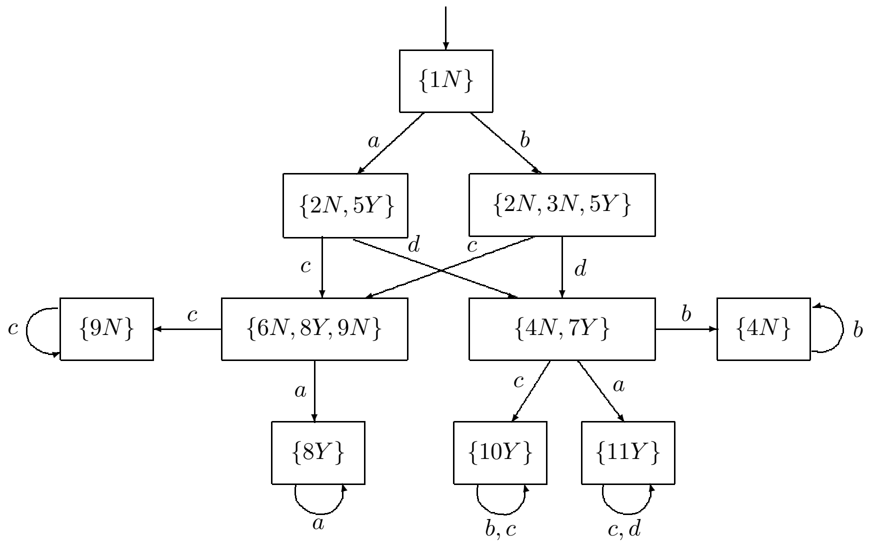
Bases mínimas

- Interesse: dado que E_o é uma base, descobrir se um conjunto $E_{o_i} \subset E_o$ é também uma base.
- Problema: encontrar condições necessárias e suficientes para que $\mathcal{L}(G)$ seja diagnosticável com respeito a $P_{o_i} : E^* \longrightarrow E^*_{o_i}$ e $e_d \in E_{uo}$, através do diagnosticador parcial $G_{d_i} = (X_{d_i}, E_{o_i}, f_{d_i}, \Gamma_{d_i}, x_{0_{d_i}})$.
- Para isso é necessário definir $G_{teste_i} = G_{diag} \| G_{d_i}$.
  - Formado por estados do tipo $x_k = (x_{k_1}, x_{k_2})$, em que $x_{k_1} \in X_d$ e $x_{k_2} \in X_{d_i}$.

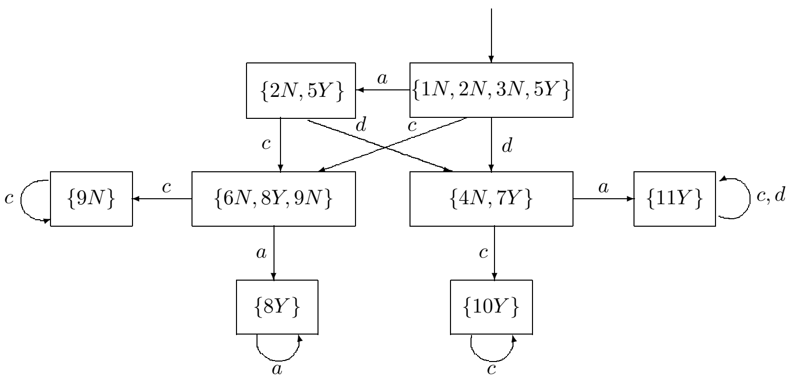
Estados incertos de G_{teste_i}

Definição 13 *(Estados incertos de G_{teste_i})* Um estado $x_k = (x_{k_1}, x_{k_2}) \in X_{teste_i}$ é um estado incerto se x_{k_1} for um estado certo de G_{diag} e x_{k_2} for um estado incerto de G_{d_i}. A presença de um estado incerto em G_{teste_i} denota que o evento definitivo que leva o diagnosticador centralizado de um estado incerto a um estado certo é um evento não-observável para o diagnosticador parcial

Diagnosticador parcial



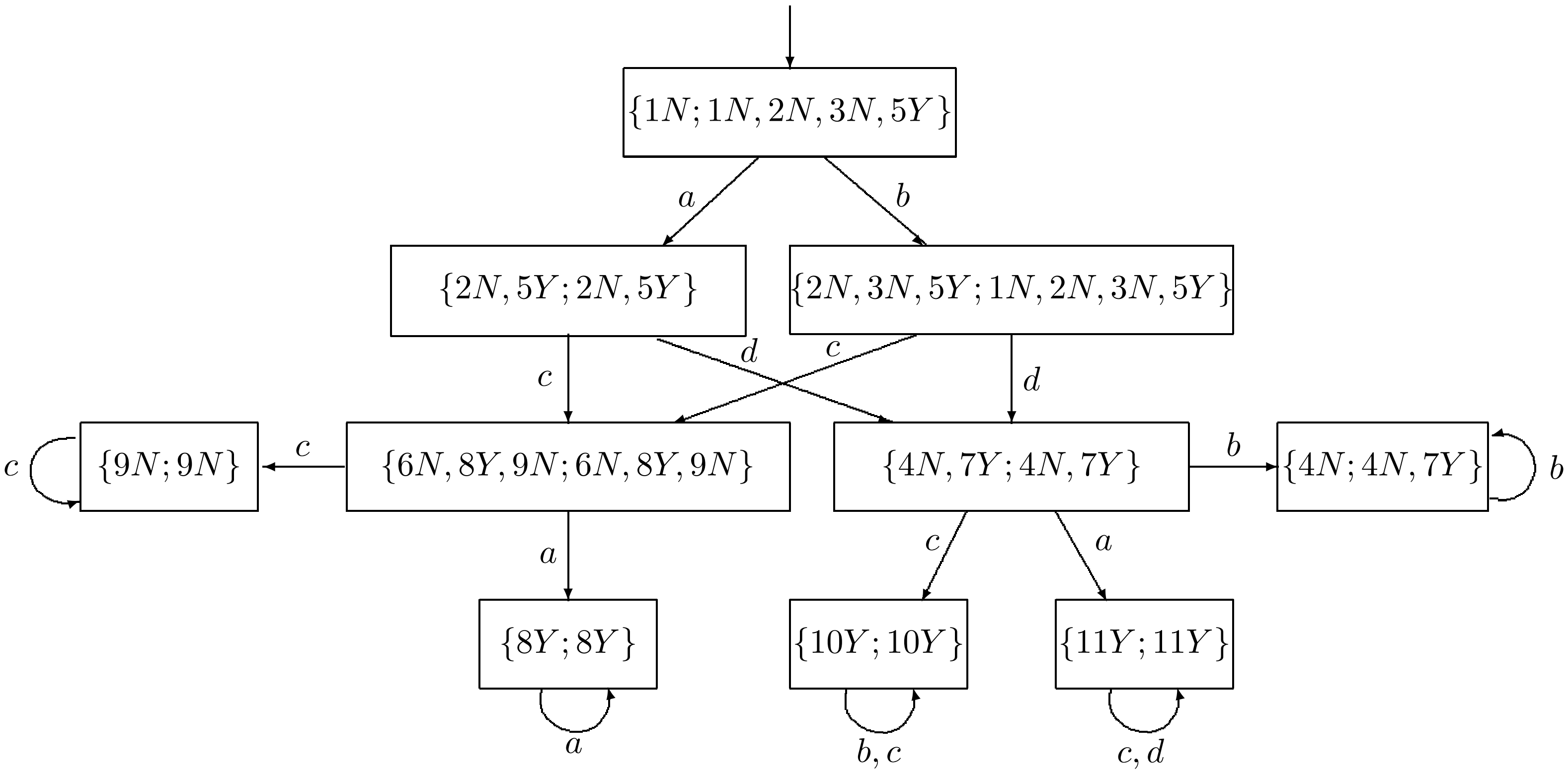
G_{diag}



G_{d_i}

Bases para o diagnóstico de falhas

$$G_{teste_1} = G_{diag} \| G_{d_1}$$



Ciclos indeterminados de G_{teste_i}

Definição 14 *(Ciclos indeterminados de G_{teste_i})* Um ciclo indeterminado de G_{teste_i} é definido como sendo um ciclo de eventos observáveis no qual todos os estados envolvidos são estados incertos, e que está associado a um ciclo indeterminado em G_{d_i} ou a um ciclo formado por estados certos em G_{diag} e que se tornou invisível (não existe) em G_{d_i}.

Ciclos indeterminados de G_{teste_i}

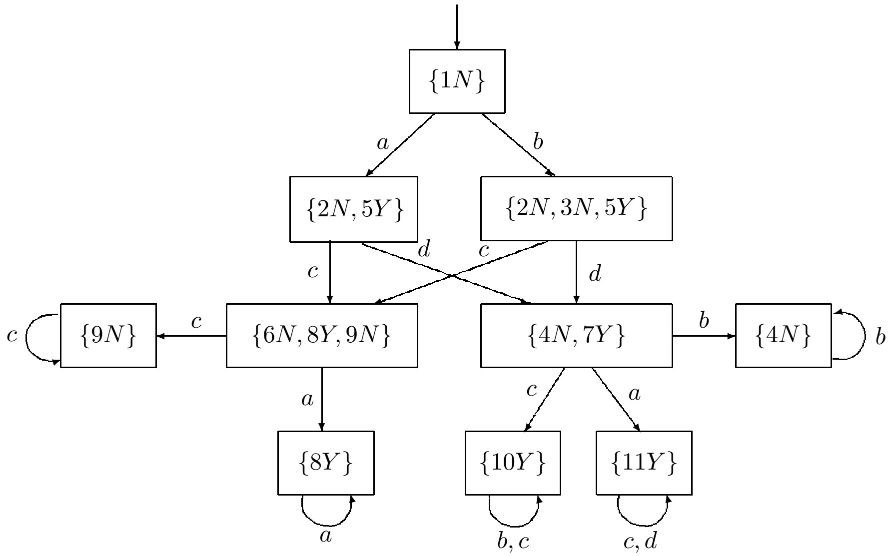
- Um ciclo indeterminado de G_{teste_i} existirá:

  1. se a não observação de um evento acarretar no aparecimento de um ciclo indeterminado em G_{d_i}, ou

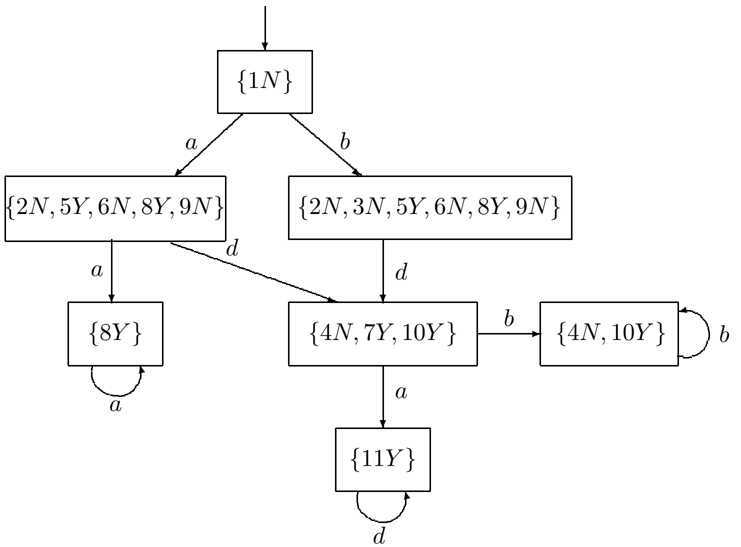
  2. se a não observação de eventos definitivos ocultar ciclos em estados certos de G_{diag}, levando ao aparecimento de um ciclo escondido indeterminado.

Bases para o diagnóstico de falhas

$$E_{o_2} = \{a, b, d\}$$



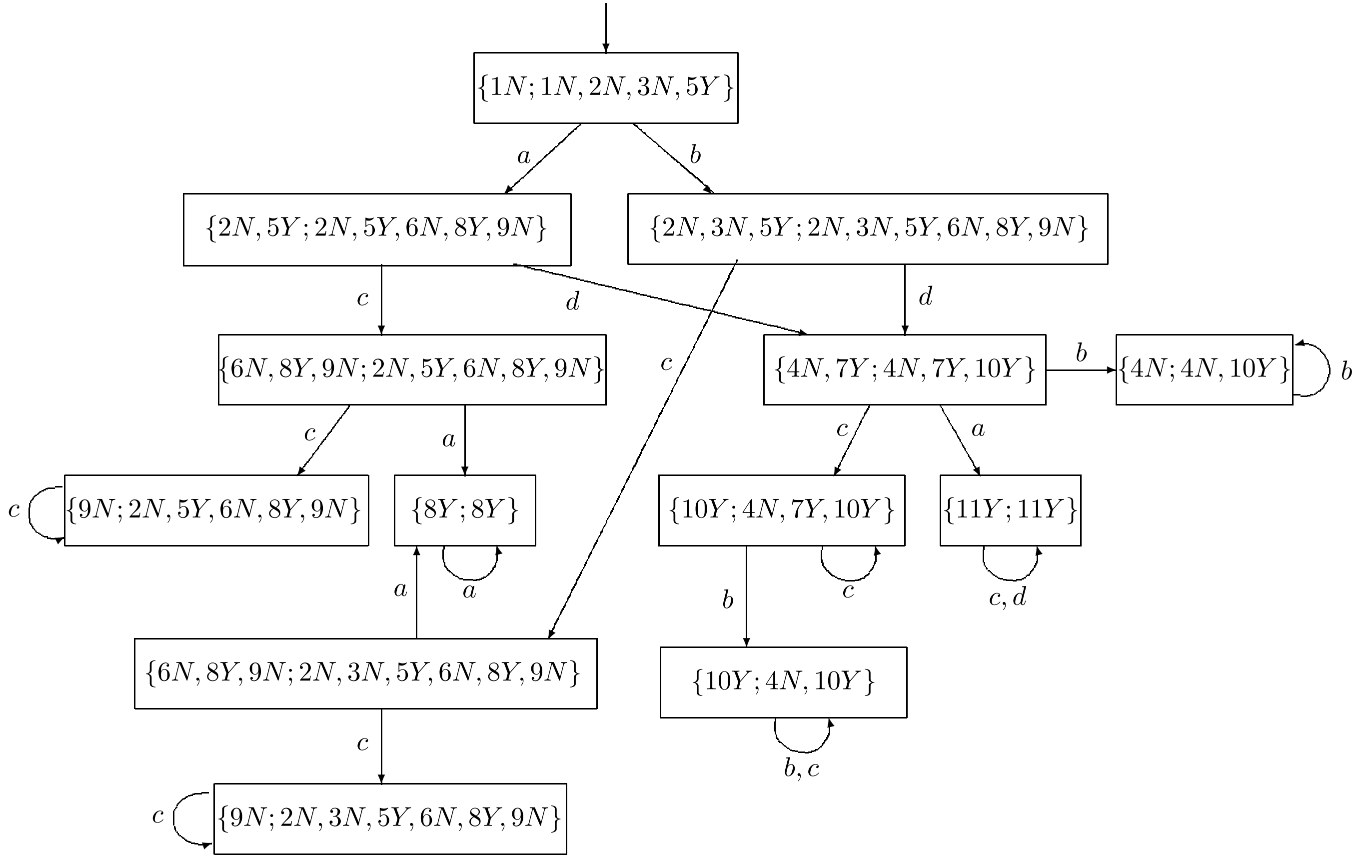
G_{diag}



G_{d_2}

Bases para o diagnóstico de falhas

$$G_{teste_2} = G_{diag} || G_{d_2}$$



Condições para diagnosticabilidade parcial

Teorema 2 Dado um autômato $G = (X, E_o \cup E_{uo}, f, \Gamma, x_0, X_m)$ e sendo sua linguagem gerada $\mathcal{L}(G)$ diagnosticável com respeito a $P_o : E^* \rightarrow E_o^*$ e $e_d \in E_{uo}$, então um subconjunto $E_{o_i} \subset E_o$ é uma base para o diagnóstico de falhas se e somente se não existirem ciclos indeterminados em $G_{teste} = G_{diag} \| G_{d_i}$. $\square$

Condições para diagnosticabilidade parcial

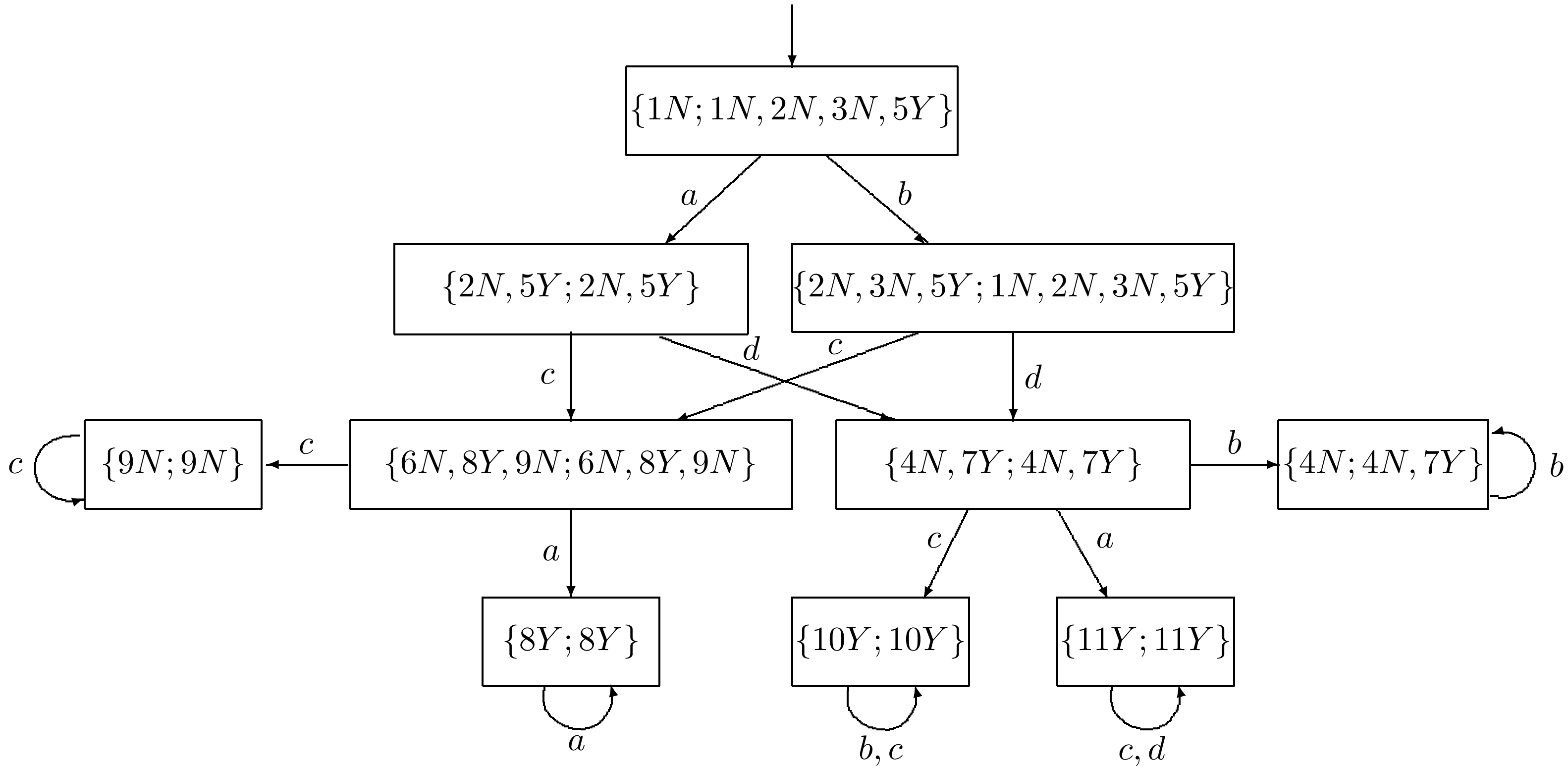
- Passos

  1. Calcular G_{d_i};
  2. Calcular $G_{teste} = G_{diag} \| G_{d_i}$ e verificar a existência de ciclos indeterminados.

- Se as condições 2 e 3 forem negativas, E_{o_i} é uma base para o diagnóstico de falhas.

Bases para o diagnóstico de falhas

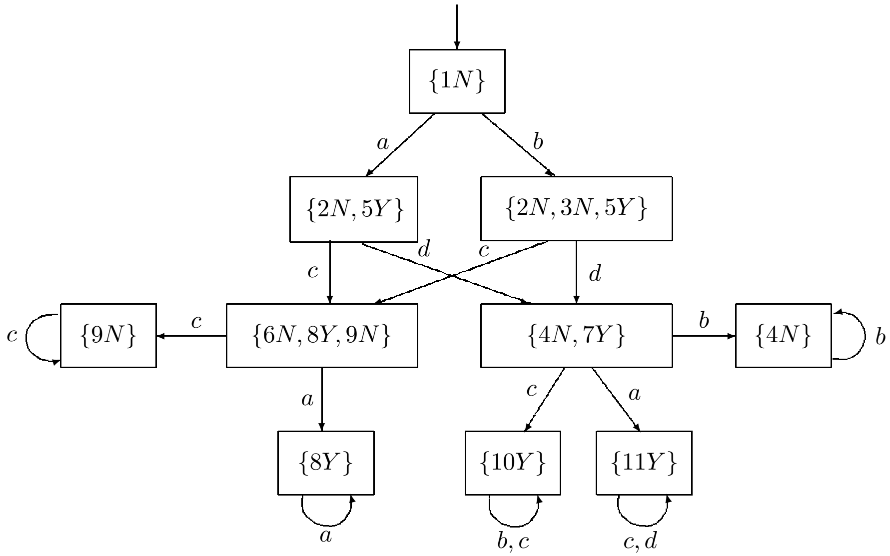
Exemplo 10 $G_{teste_1} = G_{diag} \| G_{d_1}$, para $E_{o_1} = \{a, c, d\}$.



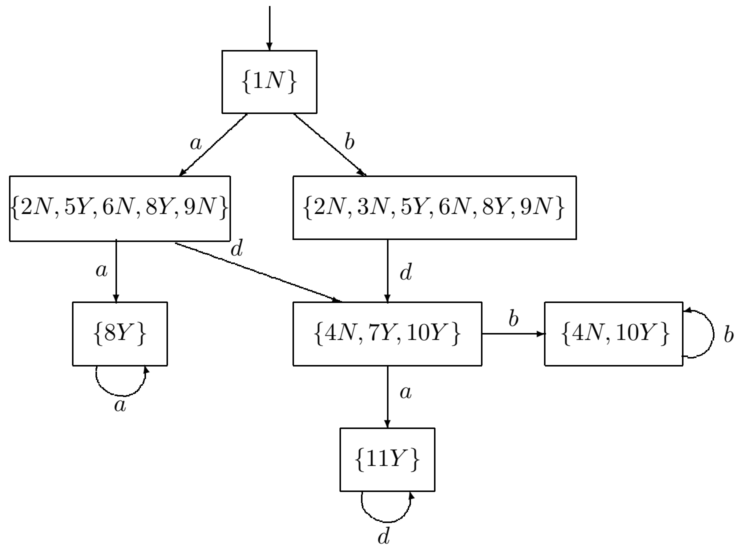
E_{o_1} *é uma base para o diagnóstico de falhas!*

Bases para o diagnóstico de falhas

Exemplo 11 $E_{o_2} = \{a, b, d\}$



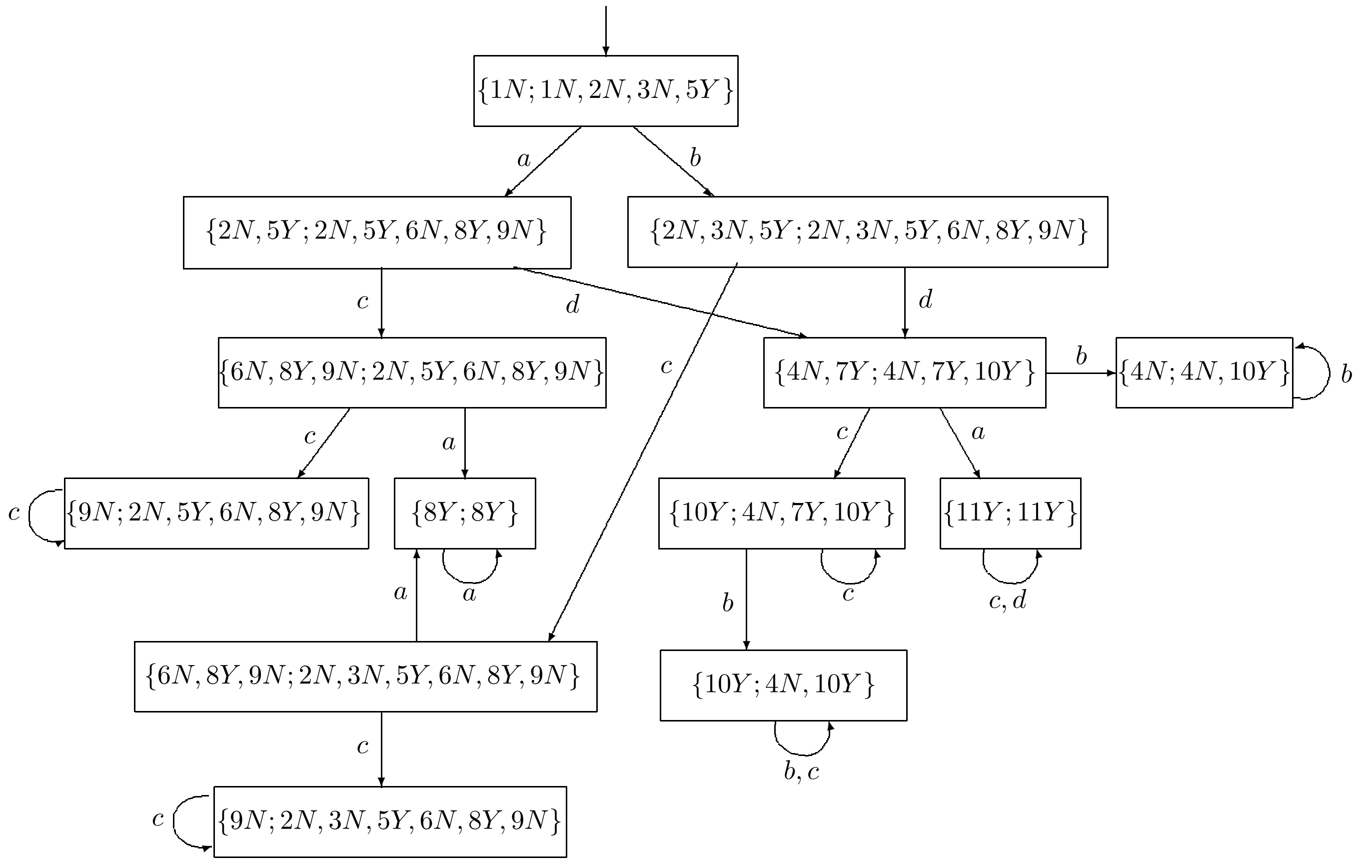
G_{diag}



G_{d_2}

Bases para o diagnóstico de falhas

$$G_{teste_2} = G_{diag} \| G_{d_2}$$



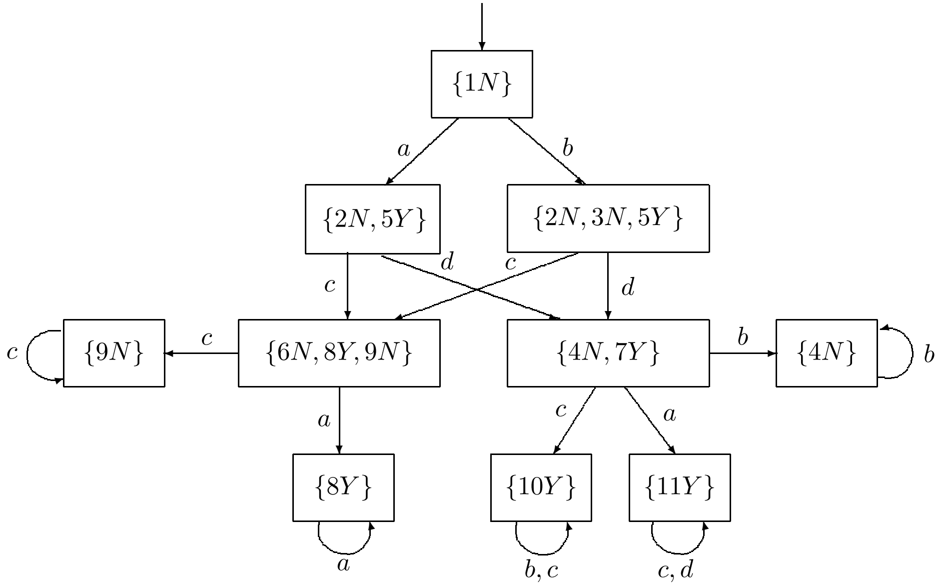
E_{o_2} não é uma base para o diagnóstico de falhas!

Tópicos da apresentação

1. Diagnóstico de Falhas em SED
   - Conceitos Básicos de SED
   - Diagnosticabilidade
   - Motivação do trabalho
2. Bases mínimas para diagnóstico de falhas
   - Definições e resultados preliminares
   - Método sistemático para identificação de bases mínimas
     - Algoritmo 1
     - Algoritmo 2
3. Conclusões e trabalhos futuros

Trajetórias N e trajetórias Y

Definição 15 São seqüências de comprimento finito do diagnosticador centralizado que se iniciam em um estado incerto e terminam em um ciclo formado somente por estados certos ou somente por estados normais (estados que indicam que a falha não ocorreu), respectivamente. Entretanto, o primeiro estado incerto deve também ser o único. $\square$



Objetividade na busca

- Fato: se uma seqüência Y, que leva o diagnosticador centralizado, através da trajetória Y associada, do estado incerto, a algum ciclo de estados certos, incluindo os eventos do ciclo, se tornar não-observável em um diagnosticador parcial, então todos os estados certos, alcançados pela seqüência Y que se tornou não-observável, serão agrupados no estado incerto (origem da trajetória), levando ao aparecimento de um ciclo escondido indeterminado.
- Conclusão: toda BMPDF deve ter pelo menos um evento definitivo de cada trajetória Y do diagnosticador centralizado.

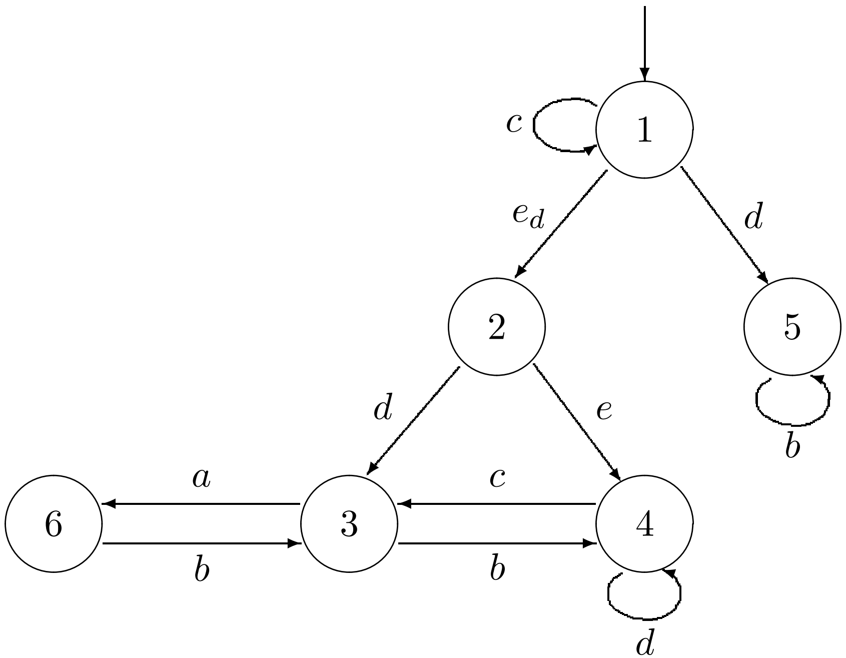
Determinação dos conjuntos de eventos definitivos

Algoritmo 1

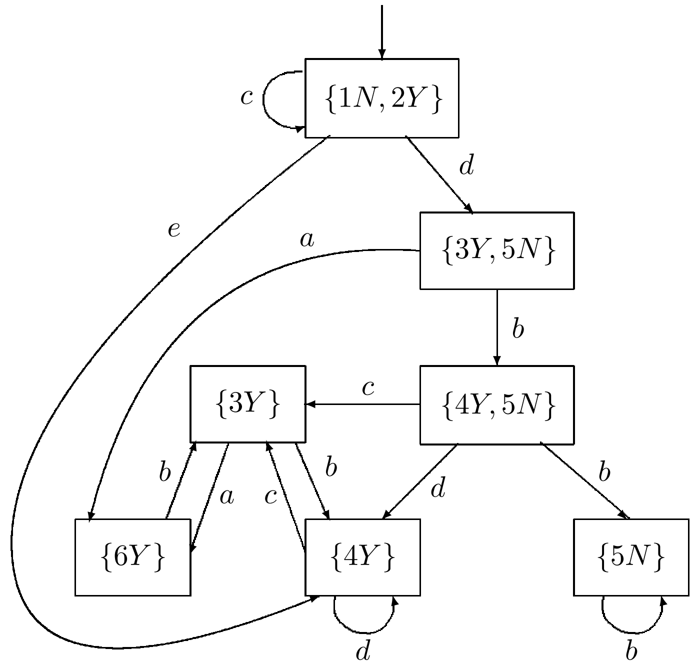
1. Identificar todos os estados incertos de G_{diag} que possuem uma transição para um estado certo.
2. Para cada estado incerto identificado, construir uma árvore em que os ramos são associados aos eventos ativos e os nós aos estados alcançados. A árvore termina quando um novo nó estiver associado a um estado que já tenha sido visitado.
3. Obter as trajetórias Y do diagnosticador e enumerá-las da seguinte forma: $T_{Y_1}, T_{Y_2}, ..., T_{Y_m}$.
4. Compor os conjuntos de eventos definitivos E_{d_i} associado à trajetória T_{Y_i} com cada evento pertencente à trajetória T_{Y_i}.

Determinação dos conjuntos de eventos definitivos

Exemplo 12

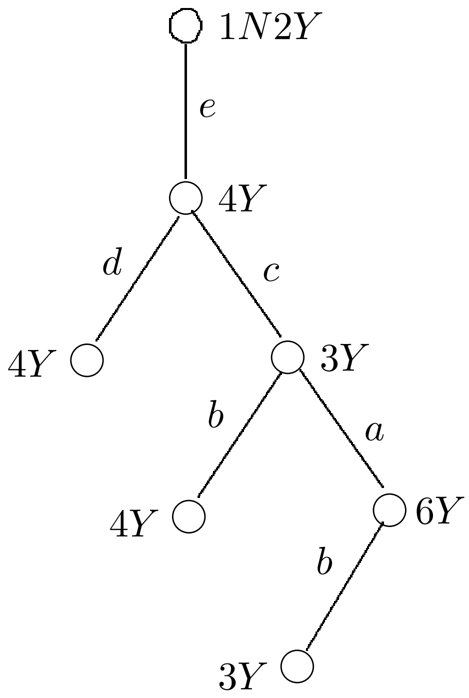


G

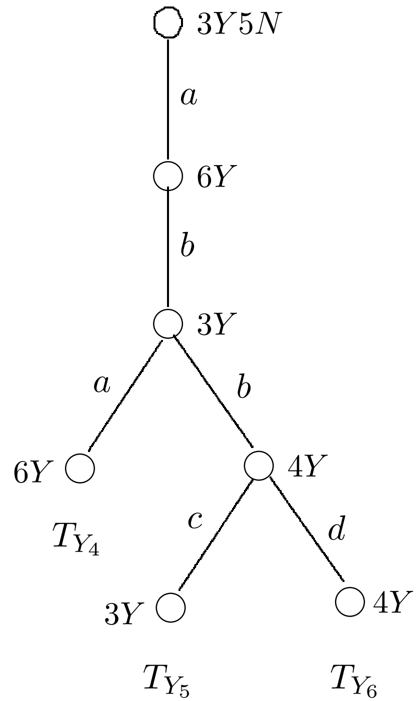


G_{diag}

Determinação dos conjuntos de eventos definitivos



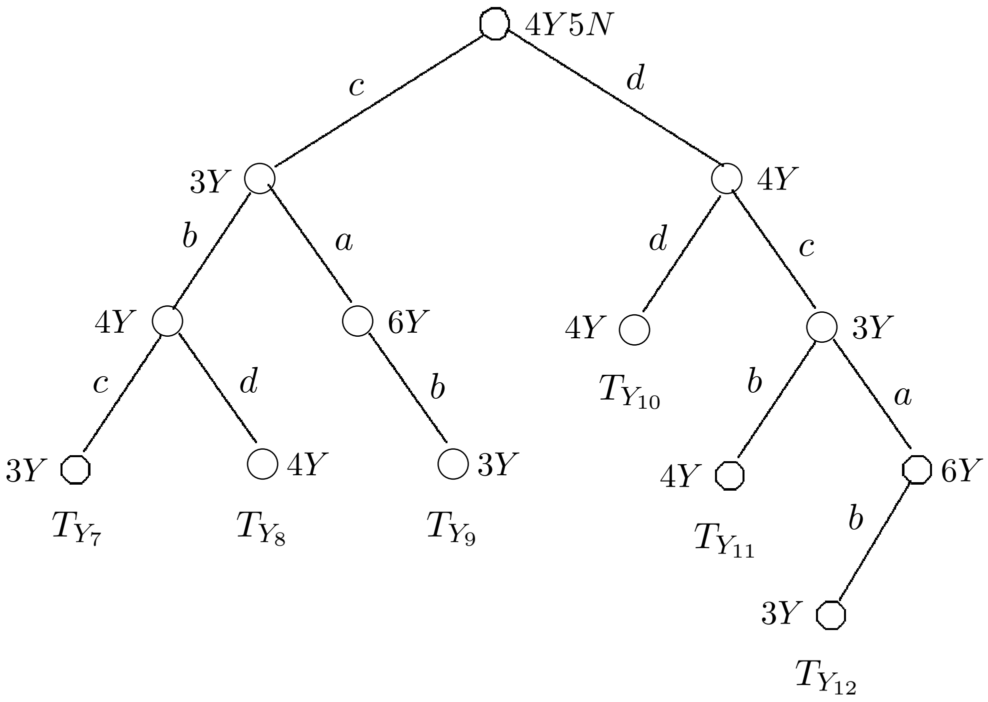
Árvore $\{1N, 2Y\}$



Árvore $\{3Y, 5N\}$

$$E_{d_1} = \{d, e\}, E_{d_2} = \{b, c, e\}, E_{d_3} = \{a, b, c, e\},$$
$$E_{d_4} = \{a, b\}, E_{d_5} = \{a, b, c\}, E_{d_6} = \{a, b, d\}.$$

Determinação dos conjuntos de eventos definitivos



Árvore $\{4Y, 5N\}$

$E_{d_7} = \{b, c\}$, $E_{d_8} = \{b, c, d\}$, $E_{d_9} = \{a, b, c\}$, $E_{d_{10}} = \{d\}$, $E_{d_{11}} = \{b, c, d\}$ e $E_{d_{12}} = \{a, b, c, d\}$.

Determinação dos conjuntos iniciais de eventos

- Pode-se, então, gerar os conjuntos iniciais de eventos a serem testados. Para isso, será definida a operação

$$E_{d_1} \dot{\times} E_{d_2} \dot{\times} \dots \dot{\times} E_{d_n} = \{\tilde{E}_o = E_{e_1} \cup E_{e_2} \cup \dots \cup E_{e_n} :$$

$$(E_{e_1}, E_{e_2}, \dots, E_{e_n}) \in 2_1^{E_{d_1}} \times 2_1^{E_{d_2}} \times \dots \times 2_1^{E_{d_n}}\}$$

sendo $2_1^B = \{\Sigma \in 2^B : |\Sigma| = 1\}$ e $|\Sigma|$ a cardinalidade.

Tópicos da apresentação

1. Diagnóstico de Falhas em SED
   - Conceitos Básicos de SED
   - Diagnosticabilidade
   - Motivação do trabalho
2. Bases mínimas para diagnóstico de falhas
   - Definições e resultados preliminares
   - Método sistemático para identificação de bases mínimas
     - Algoritmo 1
     - Algoritmo 2
3. Conclusões e trabalhos futuros

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

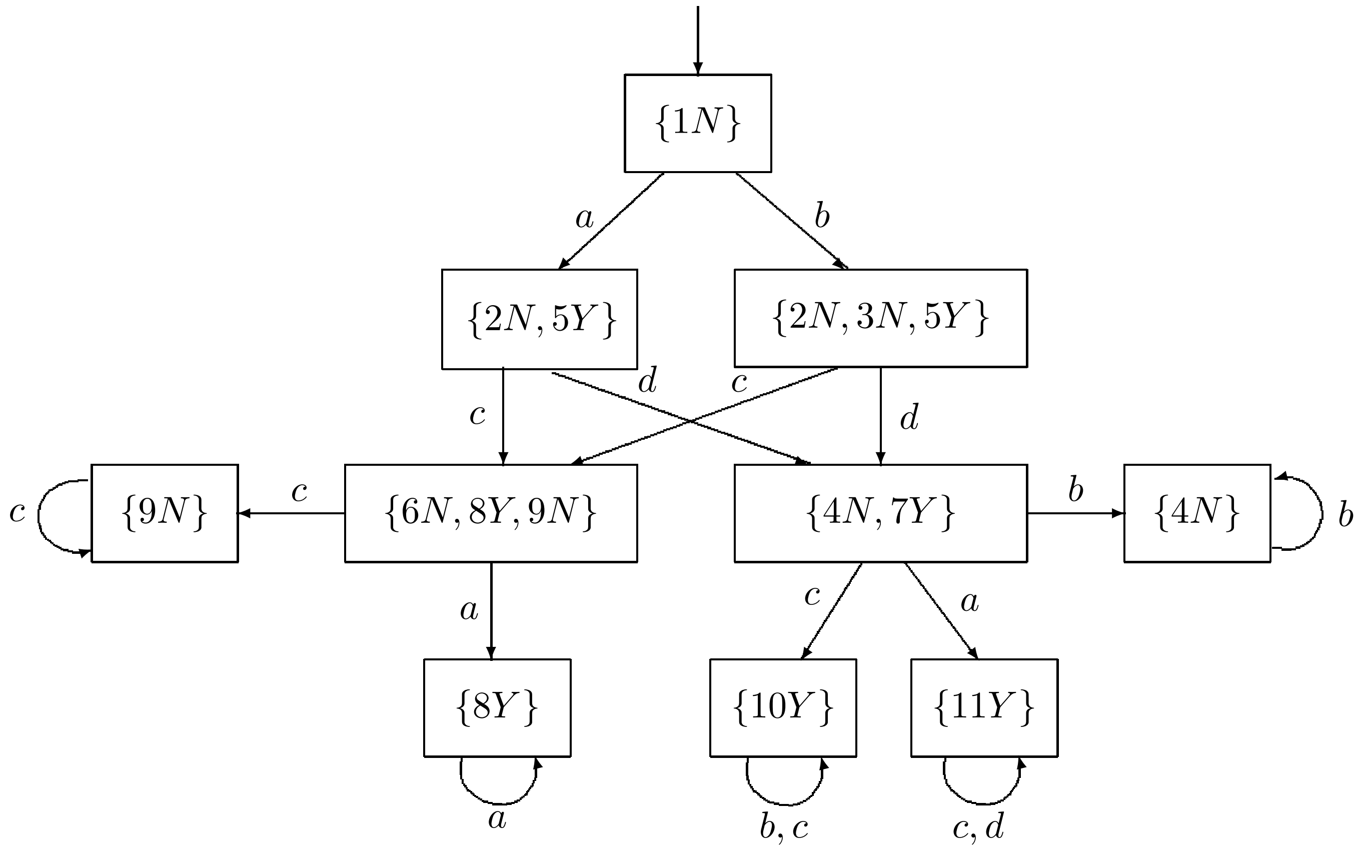
Passo 1: Obtenha todos os conjuntos de eventos definitivos E_{d_i}, $i = 1, \ldots, n$, de acordo com o algoritmo 1, em que n é o número de trajetórias Y, e faça $E_{bmd} = \emptyset$.

Passo 2: Componha, da seguinte forma, os conjuntos iniciais de eventos observáveis E_{o_i}:

1. Calcule $\tilde{E}_{cbd} = E_{d_1} \dot{\times} E_{d_2} \dot{\times} \ldots \dot{\times} E_{d_n}$.
2. Calcule $\bar{E}_{cbd} = \{\bar{E} \in \tilde{E}_{cbd} : (\exists \tilde{E} \in \tilde{E}_{cbd})[\tilde{E} \subseteq \bar{E}]\}$.
3. Calcule $E_{cbd} = \tilde{E}_{cbd} \backslash \bar{E}_{cbd} = \{E_{o_1}, E_{o_2}, \ldots, E_{o_i}\}$.

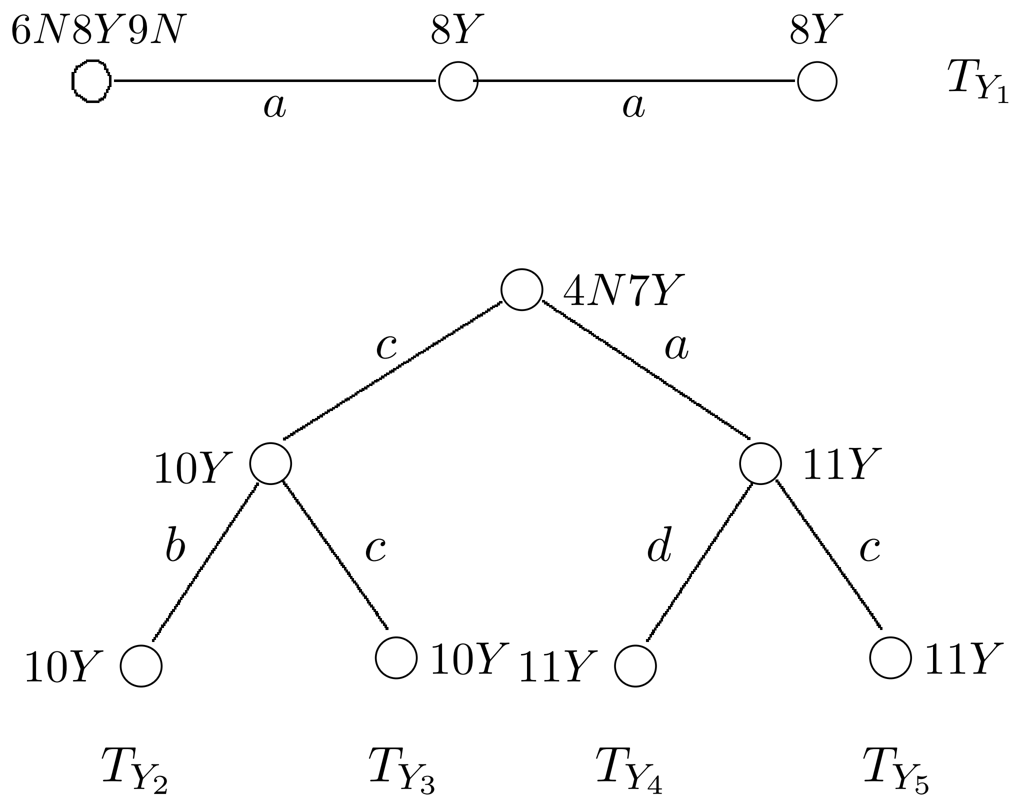
Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

- Aplicação



Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

- Aplicação



Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

- Aplicação

- $E_{d_1} = \{a\}$, $E_{d_2} = \{b, c\}$, $E_{d_3} = \{c\}$, $E_{d_4} = \{a, d\}$ e $E_{d_5} = \{a, c\}$.

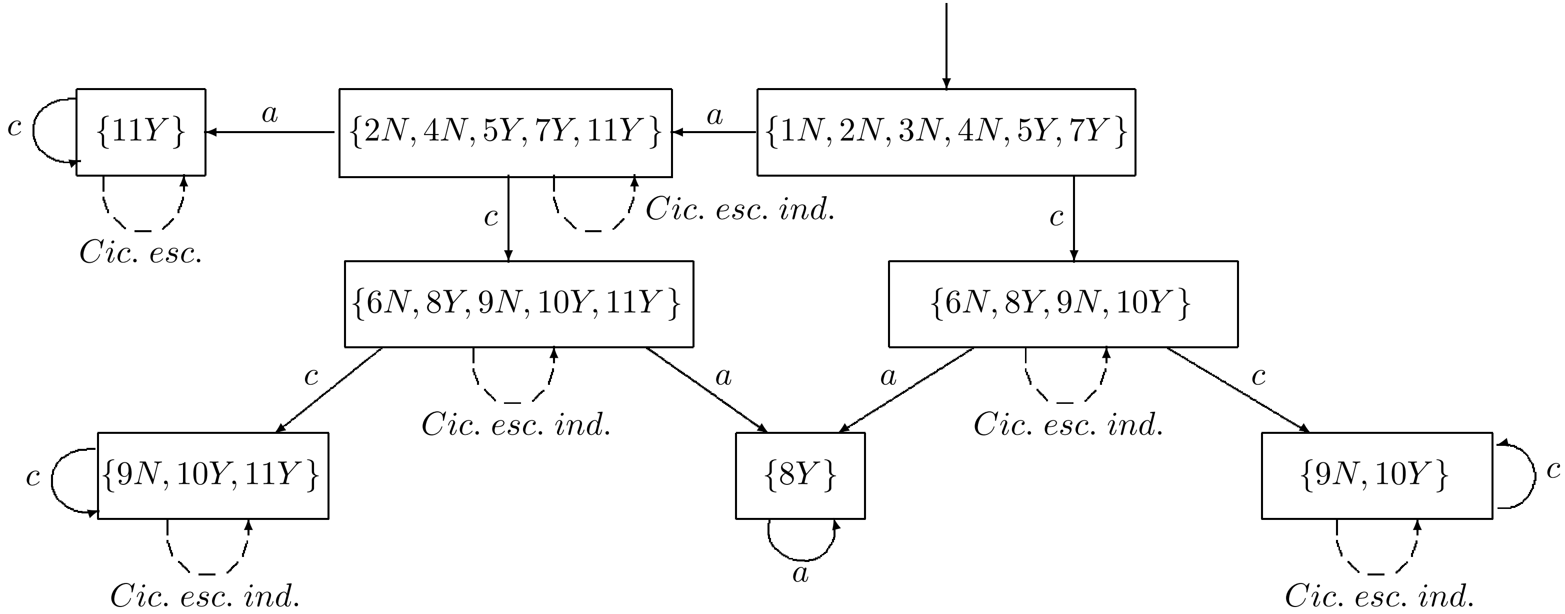
- $\tilde{E}_{cbd} = \{\{a, b, c\}, \{a, c\}, \{a, b, c, d\}, \{a, c, d\}\}$;

- $\bar{E}_{cbd} = \{\{a, b, c\}, \{a, b, c, d\}, \{a, c, d\}\}$

- $E_{cbd} = \{a, c\}$.

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

Passo 3: Seja E_{o_1} o elemento de E_{cbd} com menor cardinalidade. Verifique se L é diagnosticável com relação a $P_{o_1} : E^* \longrightarrow E_{o_1}^*$ e $e_d \in E_{uo}$.



Não diagnosticável!

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

Passo 4: Se L for diagnosticável com relação a P_{o_1} e $e_d \in E_{uo}$, então:

A.1 Faça $E_{bmd} \leftarrow E_{bmd} \cup \{E_{o_1}\}$.

A.2 Faça $E_{cbd} \leftarrow E_{cbd} \backslash \{E_{o_1}\}$.

A.3 Se existir $E_{o_j} \in E_{cbd}$ tal que $E_{o_i} \subseteq E_{o_j}$, então faça $E_{cbd} \leftarrow E_{cbd} \backslash \{E_{o_j}\}$.

Caso contrário:

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

B.1 Faça $E_{cbd} \leftarrow E_{cbd} \backslash \{E_{o_1}\}$.

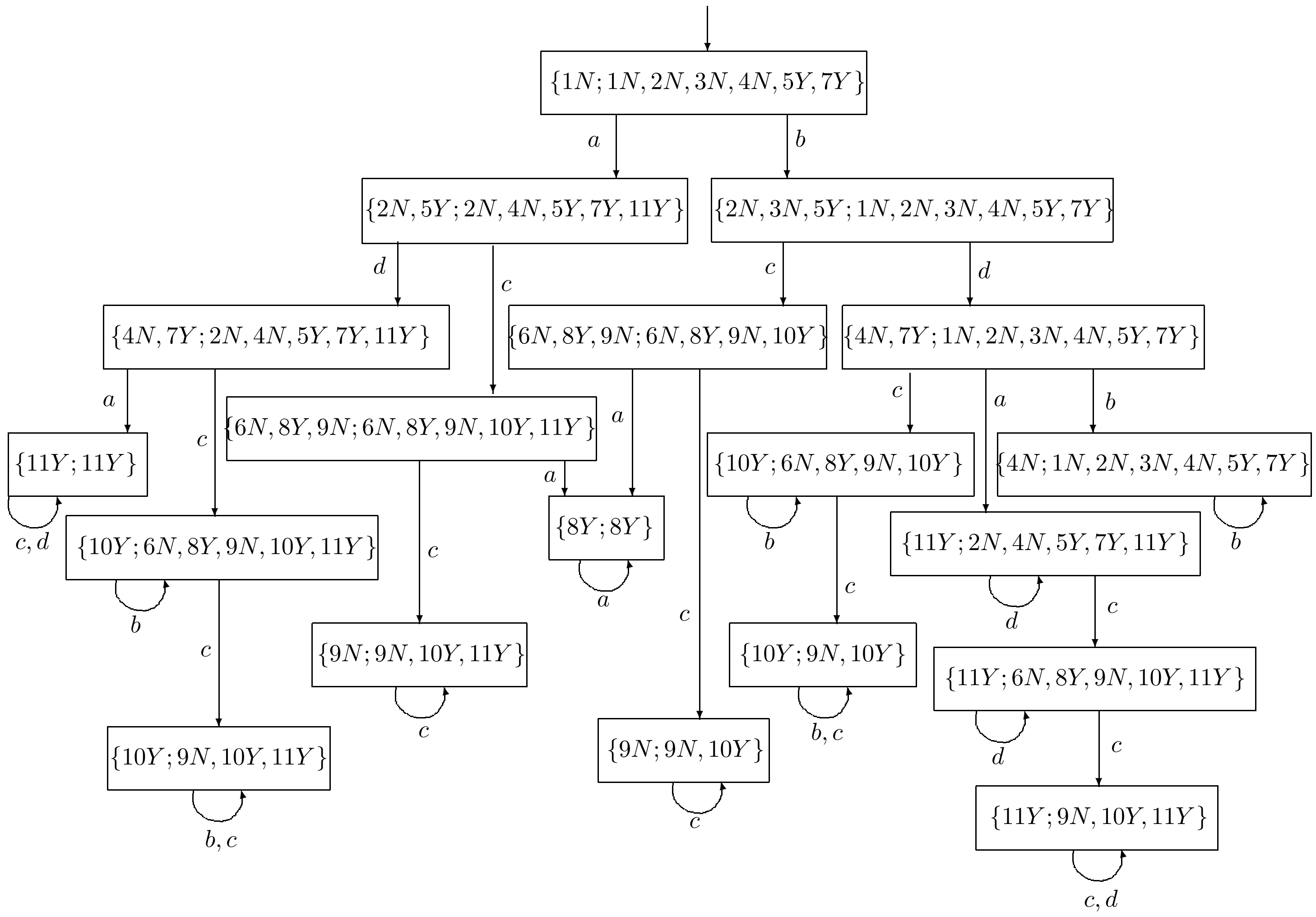
B.2 Calcule o autômato $G_{teste} = G_{diag} || G_{d_1}$ e proceda da seguinte forma:

(a) Encontre todos os estados (ou grupos de estados) incertos de $G_{teste} = G_{diag} || G_{d_i}$ que formem ciclos indeterminados, e faça $j = 0$.

(b) Identifique também todos os estados de G_{teste} em que a primeira componente é N e as segundas componentes sejam iguais às dos estados incertos determinados em (a) e formem ciclos.

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

- Aplicação



Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

- Aplicação

- $x_1 = \{10Y; 6N, 8Y, 9N, 10Y, 11Y\}$,
  $x_2 = \{10Y; 9N, 10Y, 11Y\}$,
  $x_3 = \{10Y; 6N, 8Y, 9N, 10Y\}$,
  $x_4 = \{10Y; 9N, 10Y\}$,
  $x_5 = \{11Y; 2N, 4N, 5Y, 7Y, 11Y\}$,
  $x_6 = \{11Y; 6N, 8Y, 9N, 10Y, 11Y\}$,
  $x_7 = \{11Y; 9N, 10Y, 11Y\}$.

- $x_8 = \{9N; 9N, 10Y, 11Y\}$ e
  $x_9 = \{9N; 9N, 10Y\}$.

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

(c) Para cada estado incerto (ou grupo de estados incertos, no caso de um ciclo indeterminado observável) obtido na etapa (a), identifique entre todos os estados obtidos em (a) e (b) aqueles cujas segundas componentes forem iguais às do estado incerto considerado.

- Exemplo: $x_2 = \{10Y; 9N, 10Y, 11Y\}$. Os estados a ele associados são $x_{21} = x_2$, $x_{22} = x_7$ e $x_{23} = x_8$.

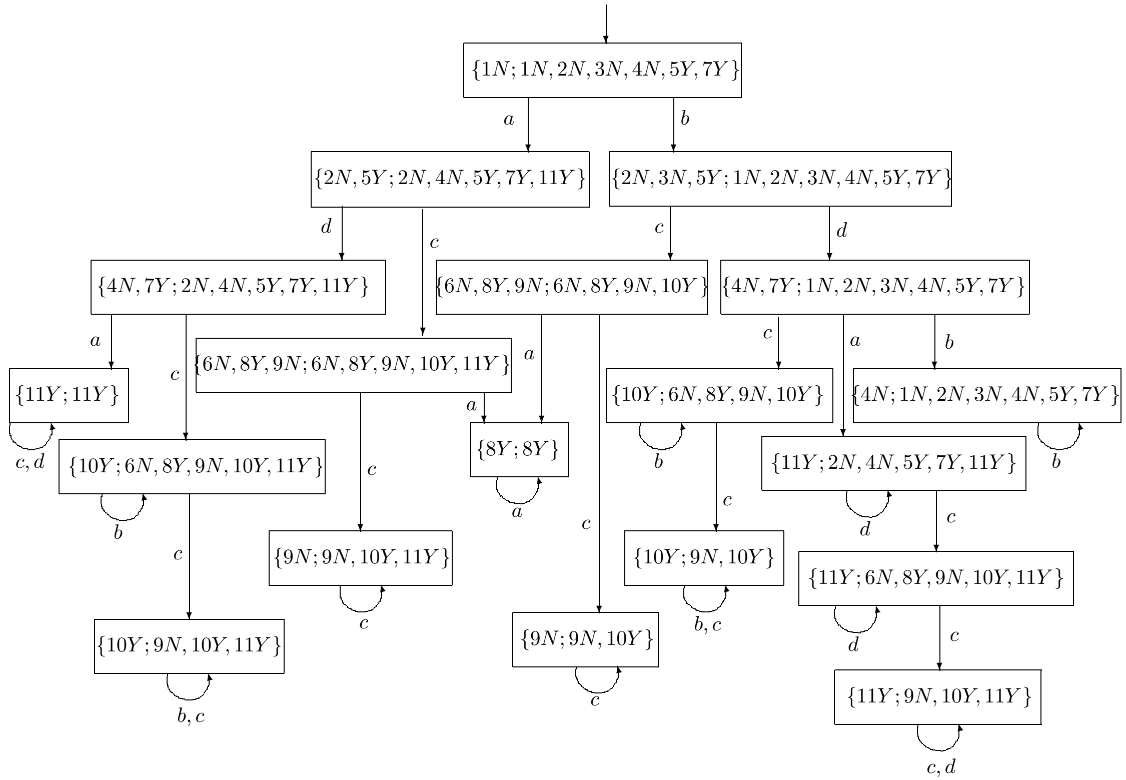
Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

(d) Para cada estado (ou grupo de estados) identificado em (c), construa uma árvore iniciando-se pelo estado citado (ou pelo último estado alcançado, no caso de um grupo de estados) e termine no estado inicial de G_{teste}.

(e) Registre todos os eventos presentes na árvore em um conjunto E_{Y_i}, para $i = 1 \ldots m$, em que m é o número de estados em que a primeira componente é um estado certo. No caso da primeira componente deste estado ser um estado normal, guarde os eventos em um conjunto E_{N_k}, para $k = 1 \ldots n$, em que n é o número de estados em que a primeira componente é um estado normal.

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

- Aplicação



- $E_{Y_1} = \{a, b, c, d\}$, $E_{Y_2} = \{a, c, d\}$, $E_{Y_3} = \{a, b, c, d\}$ e $E_{N_1} = \{a, c\}$, respectivamente.

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

(f) Faça:

(i) $E'_{Y_i} = E_{Y_i} \backslash E_{o_1}, i = 1 \ldots m.$

(ii) $E'_{N_k} = E_{N_k} \backslash E_{o_1}, k = 1 \ldots n.$

(iii) $E_{T_Y} = E'_{Y_1} \dot{\times} E'_{Y_2} \dot{\times} \ldots \dot{\times} E'_{Y_m}.$

(iv) $E''_{N_k} = E'_{N_k} \backslash \{E'_{Y_1} \cup E'_{Y_2} \cup \ldots \cup E'_{Y_m}\},$
$k = 1 \ldots n.$

(v) $E_{T_N} = E''_{N_1} \dot{\times} E''_{N_2} \dot{\times} \ldots \dot{\times} E''_{N_n}$

(vi) $E_T = E_{T_Y} \cup E_{T_N}$

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

- Aplicação

$$
\begin{aligned}
E'_{Y_1} = E'_{Y_3} &= E_{Y_1} \backslash \{a, c\} = \{b, d\} \\
E'_{N_1} &= \{a, c\} \backslash \{a, c\} = \emptyset \\
E'_{Y_2} &= E'_{Y_2} \backslash \{a, c\} = \{d\}.
\end{aligned}
$$

Então,

$$E_{T_Y} = E'_{Y_1} \dot{\times} E'_{Y_2} \dot{\times} E'_{Y_3} = \{\{d\}, \{b, d\}\} = E_T$$

que resulta em $E_{T_2} = E_T = E_{T_Y}$.

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

(g) Se ainda houver estados incertos com ciclos indeterminados, retorne à etapa (c).

B.3 Componha os novos subconjuntos de eventos observáveis E'_{o_1} da seguinte forma:

1. Calcule $E_{n_T} = E_{T_1} \dot{\times} E_{T_2} \dot{\times} \ldots \dot{\times} E_{T_j}$.
2. Calcule $\tilde{E}'_{o_1} = \{E = E_{o_1} \cup E_n : \ E_n \in E_{n_T}\}$.
3. Calcule $\bar{E}'_{o_1} = \{\bar{E} \in \tilde{E}'_{o_1} : (\exists \tilde{E} \in \tilde{E}'_{o_1})[\tilde{E} \subset \bar{E}]\}$.
4. $E'_{o_1} = \tilde{E}'_{o_1} \backslash \bar{E}'_{o_1}$

B.4 Faça $E_{cbd} \leftarrow E_{cbd} \cup (E'_{o_i} \backslash E_{bmd})$.

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

- Aplicação

$$\begin{aligned} E_{n_T} &= E_{T_1} \dot{\times} E_{T_2} \dot{\times} E_{T_3} \dot{\times} E_{T_4} \dot{\times} E_{T_5} \\ &= \{\{b\},\{d\},\{b,d\}\} \dot{\times} \{\{d\},\{b,d\}\} \dot{\times} \{\{b\},\{d\}\} \dot{\times} \\ &\quad \dot{\times} \{\{b\},\{d\},\{b,d\}\} \dot{\times} \{\{b\},\{d\}\} \\ &= \{\{d\},\{b,d\}\}. \end{aligned}$$

Tem-se como novos candidatos à base mínima os conjuntos pertencentes a

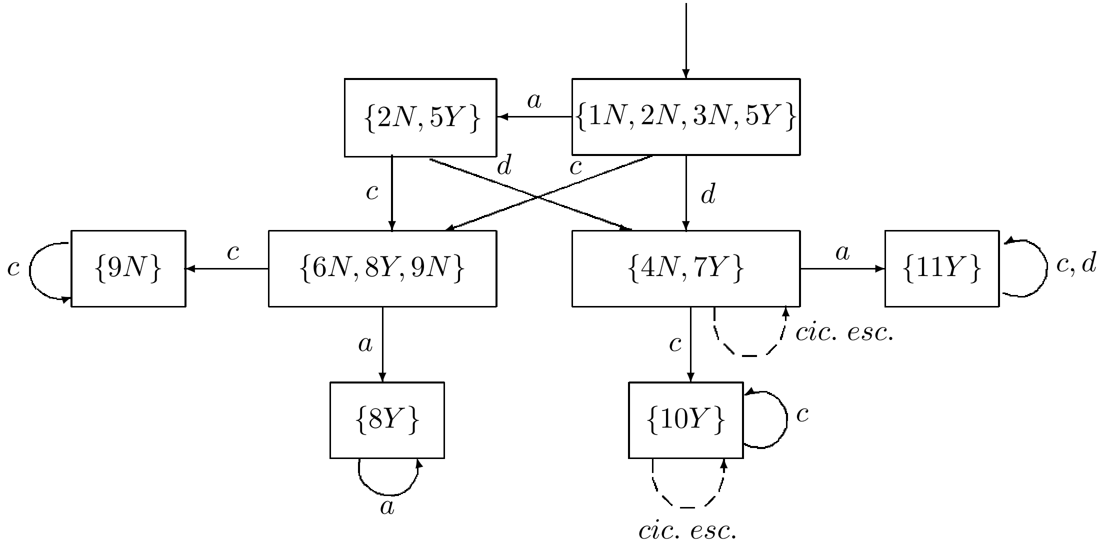
$$\begin{aligned} E'_{o_1} &= \{\{a,c,d\},\{a,b,c,d\}\} \backslash \{a,b,c,d\} \\ &= \{a,c,d\} \end{aligned}$$

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

- Aplicação
- Chegando a

$$E_{cbd} = \{\{a, c, d\}\}.$$

- Retorna-se ao passo 3.



Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

- Aplicação

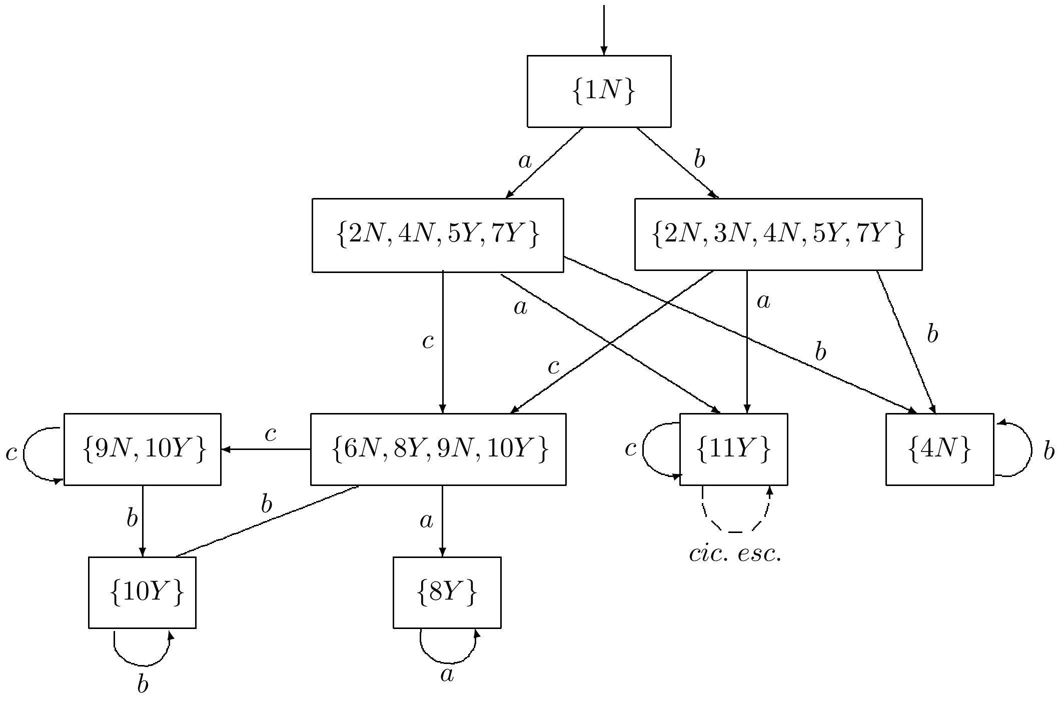
- Logo, $E_{cbd} = \emptyset$ e $E_{bmd} = \{\{a, c, d\}\}$.

Passo 5: Se $|E_{cbd}| = 0$ então o processo está finalizado. Caso contrário, retorne ao passo 3. $\square$

- Assim, o conjunto de bases mínimas encontrado para este sistema é $E_{bmd} = \{\{a, c, d\}\}$.

Algoritmo 2 - Determinação das bases mínimas

Contra-prova - Diagnosticador parcial para o conjunto $E_{o_3} = \{a, b, c\}$.



Não diagnosticável!

Tópicos da apresentação

1. Diagnóstico de Falhas em SED
   - Conceitos Básicos de SED
   - Diagnosticabilidade
   - Motivação do trabalho
2. Bases mínimas para diagnóstico de falhas
   - Definições e resultados preliminares
   - Método sistemático para identificação de bases mínimas
     - Algoritmo 1
     - Algoritmo 2
3. Conclusões e trabalhos futuros

Conclusões e trabalhos futuros

- O método apresentado demonstrou resultados positivos quanto à otimização e eficácia na busca pelas bases mínimas para o diagnóstico de falhas.
- Por ser sistemático, pode ser implementado computacionalmente.
- Trabalhos futuros:
  1. Posicionamento ótimo de sensores.
  2. Diagnóstico robusto à perda definitiva de sensores.

FIM

Obrigado.