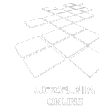


Proces rozproszony

Wykład prowadzą:

Jerzy Brzeziński
Jacek Kobusiński

Przetwarzanie rozproszone



Plan wykładu

- Proces rozproszony
- Wykonanie procesu, historia procesu
- Stan osiągalny
- Relacja poprzedzania zdarzeń
- Diagramy przestrzenno-czasowe
- Niedeterminizm przetwarzania
- Graf stanów osiągalnych
- Monitory
- Konwencja zapisu algorytmów

Proces rozproszony (2)

Przetwarzanie rozproszone



Proces rozproszony

Proces rozproszony Π , będący współbieżnym wykonaniem zbioru $\mathcal{P} = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ procesów sekwencyjnych P_i , opisuje uporządkowana czwórka

$$\Pi = \langle \Sigma, \Sigma^0, \Lambda, \Phi \rangle, \quad (3.1)$$

gdzie:

Σ – jest zbiorem stanów globalnych procesu rozproszonego,
 $\Sigma \subseteq \mathcal{S}_1 \times \mathcal{S}_2 \times \dots \times \mathcal{S}_n$,

Σ^0 – jest zbiorem stanów początkowych, $\Sigma^0 \subseteq \mathcal{S}_1^0 \times \mathcal{S}_2^0 \times \dots \times \mathcal{S}_n^0$,

Λ – jest zbiorem zdarzeń, $\Lambda = \mathcal{E}_1 \cup \mathcal{E}_2 \cup \dots \cup \mathcal{E}_n$;

Φ – jest funkcją tranzycji, taką że $\Phi \subseteq \Sigma \times \Lambda \times \Sigma$.

Proces rozproszony (3)

Przetwarzanie rozproszone



Zbiór stanów globalnych (1)

Zbiór stanów globalnych Σ jest podzbiorem iloczynu kartezyjskiego $\mathcal{S}_1 \times \mathcal{S}_2 \times \dots \times \mathcal{S}_n$ zbiorów stanów lokalnych procesów składowych przetwarzania rozproszonego.

Stan globalny procesu rozproszonego Π w chwili τ czasu globalnego oznaczony przez $\Sigma(\tau)$, jest więc uporządkowanym zbiorem stanów lokalnych wszystkich procesów składowych w chwili τ :

$$\Sigma(\tau) = \langle \mathcal{S}_1(\tau), \mathcal{S}_2(\tau), \dots, \mathcal{S}_n(\tau) \rangle \quad (3.2)$$

Proces rozproszony (4)

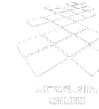


Zbiór stanów globalnych (2)

Zbiór globalnych stanów początkowych Σ^0 jest podzbiorem iloczynu kartezjańskiego $\mathcal{S}_1^0 \times \mathcal{S}_2^0 \times \dots \times \mathcal{S}_n^0$ zbiorów stanów początkowych procesów składowych.

Zbiór zdarzeń globalnych Λ jest sumą mnogościową $\mathcal{E}_1 \cup \mathcal{E}_2 \cup \dots \cup \mathcal{E}_n$ zbiorów zdarzeń procesów składowych.

Proces rozproszony (5)



Globalna funkcja tranzycji

Globalna funkcja tranzycji Φ jest złożeniem funkcji tranzycji procesów składowych, a więc jest zbiorem trójek $\langle \Sigma, E, \Sigma' \rangle$, dla których istnieje takie k , $1 \leq k \leq n$, że

$$\Sigma = \langle S_1, S_2, \dots, S_k, \dots, S_n \rangle, \quad (3.3)$$

$$\Sigma' = \langle S_1, S_2, \dots, S_k', \dots, S_n \rangle, \quad (3.4)$$

oraz

$$\langle S_k, E, S_k' \rangle \in \mathcal{F}_k. \quad (3.5)$$

Proces rozproszony (6)



Wykonanie częściowe procesu

Częściowe wykonanie procesu rozproszonego

$$\Pi = \langle \Sigma, \Sigma^0, \Lambda, \Phi \rangle$$

utożsamia się z ciągiem $\Sigma^0, E^1, \Sigma^1, E^2, \dots, \Sigma^s, E^{s+1}, \Sigma^{s+1}$, składającym się naprzemiennie ze stanów i zdarzeń, takim że dla każdego u , $0 \leq u \leq s$,

$$\langle \Sigma^u, E^{u+1}, \Sigma^{u+1} \rangle \in \Phi. \quad (3.6)$$

Proces rozproszony (7)



Wykonanie procesu

Przez **wykonanie (realizację)** \mathcal{I} procesu Π rozumiemy natomiast częściowe wykonanie rozpoczynające się stanem początkowym $\Sigma^0 \in \Sigma^0$.

Proces rozproszony (8)



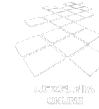
Stan osiągalny

Powiemy, że stan Σ' procesu Π jest **osiągalny** ze stanu Σ , co oznaczymy przez

$$\Sigma \rightsquigarrow \Sigma', \quad (3.7)$$

jeżeli istnieje częściowe wykonanie $\Sigma^0, E^1, \Sigma^1, E^2, \dots, \Sigma^s, E^{s+1}, \Sigma^{s+1}$ procesu Π , takie że $\Sigma = \Sigma^0$ a $\Sigma' = \Sigma^{s+1}$.

Proces rozproszony (9)



Globalny stan osiągalny

Oznaczmy przez Υ zbiór wszystkich możliwych wykonań (realizacji) procesu Π . Jeżeli istnieje wykonanie procesu Π , takie że Σ jest stanem końcowym, to stan ten nazwiemy **globalnym stanem osiągalnym (spójnym)** procesu rozproszonego Π (ang. *reachable, consistent*).

Proces rozproszony (10)



Historia wykonania

Każdemu wykonaniu $\Upsilon \in \Upsilon$ procesu Π , odpowiada pewien ciąg stanów $\Sigma^0, \Sigma^1, \Sigma^2, \dots, \Sigma^s, \Sigma^{s+1}$, nazywany **śladem wykonania (realizacji) procesu Π** , oraz ciąg zdarzeń $E^0, E^1, E^2, \dots, E^s, E^{s+1}$, nazywany **historią wykonania (realizacji) procesu**.

Historię $E^0, E^1, E^2, \dots, E^s$, oznaczamy przez Ξ^s , a zbiór historii – przez Ξ .

Proces rozproszony (11)



Proces rozproszony jako graf

Proces rozproszony jest często przedstawiana jako graf:

$$\mathcal{G} = \langle \mathcal{V}, \mathcal{A} \rangle \quad (3.8)$$

w którym :

- wierzchołki grafu $V_i \in \mathcal{V}$ reprezentują procesy składowe $P_i \in \mathcal{P}$ przetwarzania rozproszonego,
- krawędzie $(V_i, V_j) \in \mathcal{A}$, $\mathcal{A} \subseteq \mathcal{V} \times \mathcal{V}$, grafu niezorientowanego lub łuki $\langle V_i, V_j \rangle \in \mathcal{A}$ grafu zorientowanego, reprezentują kanały $C_{i,j}$ odpowiednio dwu lub jednokierunkowe.

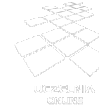
Proces rozproszony (12)



Topologia przetwarzania rozproszonego

Graf $\mathcal{G} = \langle \mathcal{V}, \mathcal{A} \rangle$ nazywany jest **grafem procesu rozproszonego** lub **topologią przetwarzania** (topologią procesu rozproszonego).

Proces rozproszony (13)



Relacja poprzedzania zdarzeń (1)

Oznaczmy przez \mapsto **relację poprzedzania** (ang. *happen before, causal precedence, happened before*) zdefiniowaną na zbiorze Λ w następujący sposób:

$$E_i^k \mapsto E_j^l \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} 1) \ i = j \wedge k < l, \text{ lub} \\ 2) \ i \neq j \text{ oraz } E_i^k \text{ jest zdarzeniem } e_send(P_i, P_j, M) \\ \text{wysłania wiadomości } M, \text{ a zdarzenie } E_j^l \text{ jest} \\ \text{zdarzeniem } e_receive(P_i, P_j, M) \text{ odbioru tej} \\ \text{samej wiadomości, lub} \\ 3) \ \text{istnieje sekwencja zdarzeń } E^0, E^1, E^2, \dots, E^s, \\ \text{taka że } E^0 = E_i^k, E^s = E_j^l \text{ i dla każdej pary} \\ \langle E^u, E^{u+1} \rangle \text{ gdzie } 0 \leq u \leq s-1, \text{ zachodzi 1) albo 2).} \end{array} \right.$$

Proces rozproszony (14)



Relacja poprzedzania lokalnego

Przez \mapsto_i oznaczamy **relację poprzedzania lokalnego** zdarzeń procesu, taką że:

$$E_i^k \mapsto_i E_j^l$$

wtedy i tylko wtedy, gdy $i=j$ oraz $k < l$ (lub gdy $i=j$ oraz $E_i^k \mapsto E_j^l$).

Proces rozproszony (15)



Zdarzenia przyczynowo-zależne

Zdarzenia E_i^k i E_j^l nazywamy **przyczynowo-zależnymi**, jeżeli:

$$E_i^k \mapsto E_j^l \text{ albo } E_j^l \mapsto E_i^k \quad (3.9)$$

W przeciwnym razie zdarzenie te nazwiemy **przyczynowo-niezależnymi** lub **współbieżnymi** (ang. *concurrent, causally independent*), co będziemy oznaczać przez $E_i^k \parallel E_j^l$.

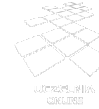
Proces rozproszony (16)



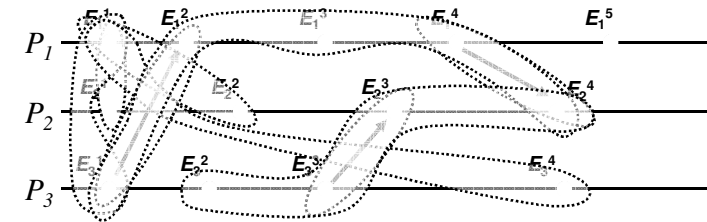
Diagramy przestrzenno-czasowe

Realizację przetwarzania rozproszonego można przedstawić graficznie w postaci **diagramu przestrzenno-czasowego** (ang. *space-time diagram*), w którym osie reprezentują upływ czasu globalnego, a punkty na osiach – zdarzenia.

Proces rozproszony (17)



Przykładowy diagram



$$\begin{array}{llll}
 E_1^1 \parallel E_2^1, & E_1^1 \parallel E_2^2, & E_1^1 \parallel E_3^1, & E_1^1 \parallel E_3^4, \\
 E_3^1 \mapsto E_1^2, & E_3^3 \mapsto E_2^3, & E_1^4 \mapsto E_2^4, & \\
 E_3^1 \mapsto E_1^4, & E_3^1 \mapsto E_2^4, & E_3^2 \mapsto E_2^4 &
 \end{array}$$

Proces rozproszony (18)



Relacja poprzedzania stanów lokalnych

Przez analogię do relacji na zbiorze zdarzeń, można zdefiniować częściowy porządek na zbiorze stanów wszystkich procesów $P_i \in \mathcal{P}$ w sposób następujący:

$$S_i^k \mapsto S_j^l \Leftrightarrow \begin{cases} E_i^{k+1} \mapsto E_j^l, \text{ lub} \\ E_i^{k+1} = E_j^l \end{cases} \quad (3.10)$$

Proces rozproszony (19)



Stany współbieżne

Stany lokalne, dla których nie zachodzi ani relacja $S_i^k \mapsto S_j^l$ ani też relacja $S_j^l \mapsto S_i^k$, nazywamy **współbieżnymi**.

Proces rozproszony (20)



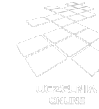
Graf stanów osiągalnych

Zbiór częściowo uporządkowany $\langle A, \mapsto \rangle$ może być przedstawiony w postaci grafu zorientowanego, w którym wierzchołki odpowiadają stanom Σ , a łuki $\langle \Sigma^k, \Sigma^l \rangle$ oznaczają istnienie zdarzenia dopuszczalnego takiego, że

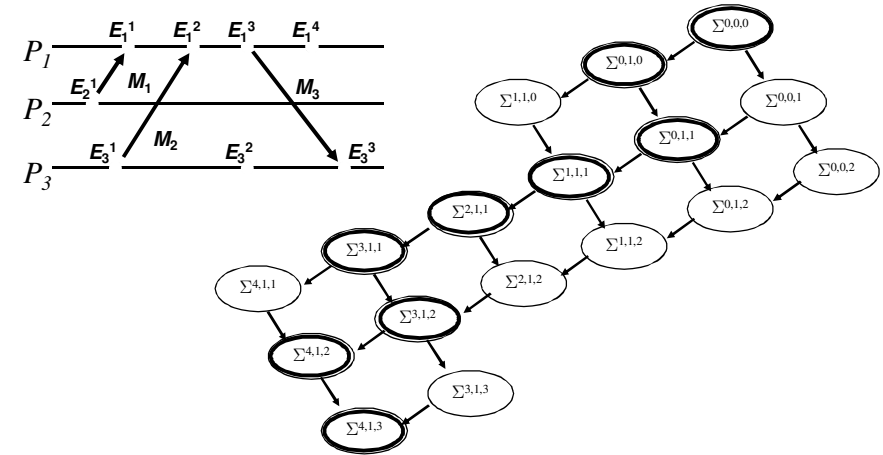
$$\langle \Sigma^k, E, \Sigma^l \rangle \in \Phi. \quad (3.11)$$

Graf taki, będziemy nazywać **grafem stanów osiągalnych przetwarzania rozproszonego** lub **siatką obliczeń rozproszonych**.

Proces rozproszony (21)



Przykład grafu stanów osiągalnych



Proces rozproszony (22)



Niedeterminizm przetwarzania

W kontekście grafu stanów osiągalnych przetwarzania rozproszonego, każda realizacja przetwarzania rozproszonego jest pewną ścieżką w tym grafie. Istnienie wiele różnych ścieżek ilustruje **niedeterminizm** przetwarzania rozproszonego, oznaczający że dla danego stanu może istnieć wiele stanów następných.

Proces rozproszony (23)



Niedeterministyczne zdarzenie lokalne

Lokalne zdarzenie procesu jest **niedeterministyczne**, gdy jego zajście może być zastąpione przez zajście innego zdarzenia i wybór ten nie jest przewidywalny.

Jeżeli przykładowo sekwencyjne wykonanie procesu może być w każdej chwili zmienione w wyniku zajścia przerwania zewnętrznego, to wszystkie zdarzenia tego procesu są niezdeterminowane.

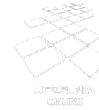
Proces rozproszony (24)



Przetwarzanie zdeterminowane i niedeterministyczne

Przetwarzanie nazywamy **zdeterminowanym** jeżeli wszystkie zdarzenia są zdeterminowane. W przeciwnym wypadku, przetwarzanie nazywamy **niedeterministycznym**.

Proces rozproszony (25)



Przetwarzanie quasi-deterministyczne

W ramach niedeterministycznego przetwarzania rozproszonego wyróżnia się podklasę przetwarzania **quasi-deterministycznego** (ang. *quasi-deterministic, piece-wise deterministic, event-driven*), w której niedeterminizm jest wyłącznie konsekwencją niedeterminizmu operacji odbioru.

Proces rozproszony (26)



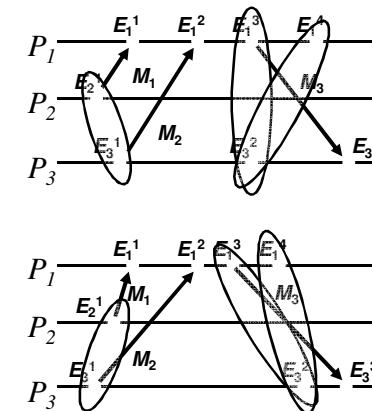
Diagramy równoważne

Należy zauważyć, że w ogólności istnieje wiele różnych diagramów przestrzenno-czasowych, którym odpowiada taki sam zbiór częściowo uporządkowany $\langle \Lambda, \mapsto \rangle$. Diagramy takie nazywa się **diagramami równoważnymi**.

Proces rozproszony (27)



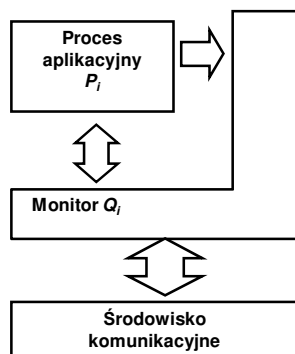
Przykład diagramów równoważnych



Proces rozproszony (28)

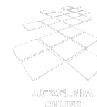


Monitor



Ocena wartości predykatów globalnych wymaga w pierwszej kolejności obserwacji (monitorowania) stanów lokalnych procesów składowych. W tym celu przyjmujemy, że z każdym procesem P_i skojarzony jest **proces monitora** Q_i .

Proces rozproszony (29)



Cechy monitora

- Monitor może odczytywać (obserwować) zmienne lokalne procesu
- Monitor może obserwować i kontrolować zdarzenia komunikacyjne
- Monitor nie ma natomiast możliwości zmiany stanu procesu przez przypisanie jego zmiennym lokalnym nowych wartości

Proces rozproszony (30)



Konwencja zapisu algorytmów

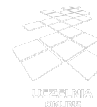
Typy komunikatów:

- aplikacyjne
- kontrolne
- sygnały
- pakiety

Wspólne atrybuty:

- identyfikator typu komunikatu
- identyfikator komunikatu
- identyfikator nadawcy
- identyfikator odbiorcy

Proces rozproszony (31)



typ FRAME

```

type FRAME is record of
  tag: ... /* pole identyfikatora typu */
  mId: ... /* pole identyfikatora wiadomości */
  sId: ... /* pole identyfikatora nadawcy */
  rId: ... /* pole identyfikatora odbiorcy */
end record
  
```

Proces rozproszony (32)

Przetwarzanie rozproszone

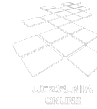


typ MESSAGE

```
type MESSAGE extends FRAME is record of  
    ...  
end record
```

Proces rozproszony (33)

Przetwarzanie rozproszone



typ CONTROL

```
type CONTROL extends FRAME is record of  
    ...  
end record
```

Proces rozproszony (34)

Przetwarzanie rozproszone



typ SIGNAL

```
type SIGNAL extends FRAME is record of  
end record
```

Proces rozproszony (35)

Przetwarzanie rozproszone



typ PACKET

```
type PACKET extends FRAME is record of  
    ...  
    data: MESSAGE  
end record
```

Proces rozproszony (36)