

RISK-AWARE PROJECT SCHEDULING

METODA GRASP

KAROL WAŁĘDZIK

The image features a white background with decorative elements consisting of multiple parallel lines in a dark red or brown color. On the left side, these lines form a corner shape that extends from the top to the bottom. On the right side, they form a diagonal shape that extends from the bottom towards the top.

DEFINICJA ZAGADNIENIA

RESOURCE-CONSTRAINED PROJECT SCHEDULING (RCPS)

Table 1
Symbols and definitions

J	:	Number of activities.
M_j	:	Number of modes activity j can be performed in.
d_{jm}	:	Duration of activity j being performed in mode m .
$R(N)$:	Set of renewable (nonrenewable) resources.
\bar{T}	:	Upper bound on the project's makespan.
$K_r^p \geq 0$:	Number of units of renewable resource r , $r \in R$, available in period t , $t = 1, \dots, \bar{T}$.
$K_r^v \geq 0$:	Total number of units available of nonrenewable resource r , $r \in N$.
$k_{jmr}^p \geq 0$:	Number of units of renewable resource r , $r \in R$, used by activity j being performed in mode m each period the activity is in process.
$k_{jmr}^v \geq 0$:	Number of units of nonrenewable resource r , $r \in N$, consumed by activity j being performed in mode m .
$\mathcal{P}_j(\mathcal{S}_j)$:	Set of immediate predecessors (successors) of activity j .
ES_j (EF_j)	:	Earliest start time (finish time) of activity j , calculated by using minimal activity durations and neglecting resource usage (consumption).
LS_j (LF_j)	:	Latest start time (finish time) of activity j , calculated by using minimal activity durations, neglecting resource usage (consumption) and taking into account the upper bound \bar{T} on the project's duration.

RISK-AWARE PROJECT SCHEDULING (RAPS)

- 1 tryb wykonywania działań
- Czas trwania zadań jako zmienna probabilistyczna o znanym rozkładzie
- Funkcja celu: minimalizacja czasu trwania projektu
- Budżet: zamodelowany przez zasób nieodnawialny

RISK-AWARE PROJECT SCHEDULING (RAPS)

- Ryzyko:
 - rozkład prawdopodobieństwa wystąpienia (w jednostce czasu)
 - definicja efektów wystąpienia ryzyka:
 - czasowa zmiana dostępnej ilości zasobu odnawialnego
 - drastyczna zmiana czasu trwania zadania
 - ...
 - ryzyko może zrealizować się tylko raz per projekt (ale może być wiele identycznych ryzyk)
 - efekt nie wpływa na zadania w trakcie realizacji w momencie realizacji ryzyka
 - warunki wystąpienia zadania:
 - moment rozpoczęcia danego zadania
 - (w przyszłości potencjalnie kolejne warunki: minimalny / maksymalny dotychczasowy czas trwania projektu, wykonanie / niewykonanie dotychczas danego zadania, ..)

RISK-AWARE PROJECT SCHEDULING (RAPS)

- Odpowiedź na ryzyko:
 - specjalny rodzaj zadania:
 - nie jest niezbędne dla realizacji projektu
 - może (ale nie musi) mieć zerowy czas trwania
 - wymaga zasobów, może mieć poprzedniki (zadania i/lub działania)
 - lista efektów:
 - czasowa zmiana ilości zasobu (odnawialnego lub nie)
 - zmiana czasu trwania zadania
 - (w przyszłości potencjalnie: zmiana rozkładu prawdopodobieństwa wystąpienia ryzyka (liniowe przeskalowanie), zmiana wartości nasilenia już występującego ryzyka)
 - efekty nie wpływają na zadania właśnie wykonywane
 - (w przyszłości opcjonalnie: opóźnienie wystąpienia efektów)
 - warunki wykonalności:
 - nierozpoczęcie wykonywania danego zadania
 - (w przyszłości potencjalnie kolejne warunki: minimalne nasilenie występowania danego ryzyka, minimalny/maksymalny czas od początku projektu, wykonanie poprzedników)

RISK-AWARE PROJECT SCHEDULING (RAPS)

- Efekt:
 - rozkład prawdopodobieństwa intensywności
 - rozkład prawdopodobieństwa czasu trwania
 - typ efektu i specyficzne parametry

The image features a white background with decorative elements consisting of multiple parallel lines in a dark red or brown color. On the left side, these lines form a corner shape that extends from the top edge down towards the middle. On the right side, the lines form a diagonal shape that extends from the bottom edge towards the middle. The text 'INSTANCJE PROBLEMU' is centered horizontally and positioned in the lower half of the page.

INSTANCJE PROBLEMU

BAZA INSTANCI RCPS

- PSPLib
- <http://www.om-db.wi.tum.de/psplib/main.html>

KONWERSJA DO INSTANCJI RAPS

- Czas trwania zadań – rozkład Beta(3,5)
 - Moda == szacunek punktowy instancji RCPS
 - $P(t \leq 75\% \text{ mody}) \approx 3-5\%$
 - $P(t \geq 150\% \text{ mody}) \approx 3-5\%$

KONWERSJA DO INSTANCJI RAPS

- Ryzyka
 - czasowa niedostępność zasobu
 - jedno ryzyko per każdy zasób odnawialny
 - prawdopodobieństwo wystąpienia == 2% w każdej jednostce czasu
 - natężenie == -1 / -2 z równym prawdopodobieństwem
 - czas trwania == rozkład jednostajny z przedziału [10;30]

KONWERSJA DO INSTANCJI RAPS

- Odpowiedzi
 - czasowe wynajęcie dodatkowego zasobu odnawialnego
 - jedno działanie per każdy rodzaj zasobu odnawialnego
 - dedykowany budżet w wysokości 34% liczby typów zasobów projekcie
 - koszt == 1 jednostka budżetu
 - czas trwania == 8
 - efekt:
 - czasowa zmiana dostępnej ilości zasobu odnawialnego
 - natężenie == 1
 - czas trwania == 40

KONWERSJA DO INSTANCJI RAPS

- Ryzyka

- czasowa niedostępność zasobu nieodnawialnego (spóźniona dostawa, awaria sprzętu)
 - dotyczy 10% najdłuższych zadań projektu transformowanych zgodnie z poniższymi regułami:
 - każde z wybranych zadań zaczyna wymagać dodatkowo 1 jednostki dedykowanego mu zasobu nieodnawialnego
 - do projektu dodawana jest dokładnie 1 jednostka tego zasobu
 - efekt ryzyka: zmniejszenie dostępnej ilości powyższego zasobu o 1
 - prawdopodobieństwo wystąpienia == 2% w każdej jednostce czasu
 - czas trwania == rozkład jednostajny z przedziału [10;30]

KONWERSJA DO INSTANCJI RAPS

- Odpowiedzi
 - czasowa wynajęcie dodatkowego zasobu nieodnawialnego
 - jedno działanie per każdy rodzaj zasobu nieodnawialnego dodanego przy ryzyku
 - dedykowany budżet w wysokości 25% typów tych zasobów projekcie
 - koszt == 1 jednostka budżetu
 - czas trwania == 8
 - efekt:
 - czasowa zmiana dostępnej ilości zasobu nieodnawialnego
 - natężenie == 1
 - czas trwania == 40

KONWERSJA DO INSTANCJI RAPS

- Ryzyka
 - drastyczna zmiana czasu trwania zadania
 - jedno ryzyko dla każdego wybranych zadań (34% wszystkich zadań)
 - prawdopodobieństwo wystąpienia == 15% w momencie rozpoczynania zadania
 - natężenie (mnożnik czasu trwania zadania) == 2
 - czas trwania: nie dotyczy (nieograniczony)
 - realizowalność: tylko w momencie rozpoczynania zadania

KONWERSJA DO INSTANCJI RAPS

- Odpowiedzi
 - zwiększenie kapitału zaangażowanego w zadanie
 - jedno działanie per każde zadanie zagrożone ryzykiem drastycznego wydłużenia czasu
 - dedykowany budżet w wysokości 15% sumarycznego oczekiwanego czasu realizacji ryzykownych zadań w projekcie
 - koszt == 1 per jednostka oczekiwanego skrócenia czasu zadania
 - czas trwania == 0
 - wykonalność: do momentu rozpoczęcia wykonywania zadania (wyłącznie)
 - efekt:
 - zmiana czasu trwania zadania
 - natężenie (mnożnik czasu realizacji zadania) == 0.66
 - czas trwania: nie dotyczy (nieograniczony)



GRASP

STOCHASTIC RCPSP

- Wersja RCPSP ze stochastycznym czasem trwania zadań
 - ale: brak uwzględnienia ryzyk
- Zaplanowanie z góry harmonogramu niemożliwe
- Zatem: alternatywna postać rozwiązania:
 - polityka planowania / realizacji kolejnych zadań

JOB-BASED POLICY

Stochastic Parallel Schedule Generation Scheme

- Uszeregowanie zadań
 - np. za pomocą funkcji priorytetyzującej
- W każdym punkcie decyzyjnym rozpoczynane są wszystkie legalne zadania w kolejności wynikającej z uszeregowania
 - Konsekwencja: każda permutacja zadań jest legalną polityką
 - punkt decyzyjny – zwykle $t=0$ oraz momenty zakończenia każdego z zadań

ACTIVITY-BASED POLICY

Stochastic Serial Schedule Generation Scheme

- Jak *job-based* z dodatkowym warunkiem:
 - zadanie nie może być rozpoczęte dopóki nie zostały rozpoczęte wszystkie zadania wcześniejsze w szeregu
 - konsekwencja: istnieją permutacje nie będące poprawną polityką
 - (przy braku zadań o zerowym czasie trwania dozwolone są tylko permutacje spełniające warunek topologicznego posortowania zadań)
- Odporna na anomalie Grahama
 - np. wydłużenie czasu trwania projektu w wyniku skrócenia czasu trwania zadania

GRASP

- Greedy Randomized Adaptive Search Procedure
- Iteracyjny algorytm z trzema fazami każdej iteracji:
 - konstrukcją polityki (rozwiązania)
 - lokalną optymalizacją rozwiązania
 - weryfikacją jakości uzyskanego rozwiązania za pomocą symulacji

GRASP

```
EliteSet =  $\emptyset$ 
while TerminationCriterion not met do
   $L = \text{BuildActList}(\text{EliteSet})$ 
   $s^* = s(\mathbf{d}^*, \Pi(L))$ 
   $s^* = \text{LocalSearch}(s^*)$ 
   $L = \text{ScheduleToList}(s^*)$ 
  Evaluate the activity-based policy  $\Pi(L)$ 
  if  $L$  is better than the worst solution  $L'$  in EliteSet then
    EliteSet =  $(\text{EliteSet} \setminus L') \cup L$ 
  end if
end while
Return the best solution found
```

BUILDACTLIST

```
 $i = 0$ ; EligibleSet = {0}; nit = 0
while  $i < n$  do
  if nit = 0 then
    reference = SelectSolution
    if reference  $\neq$  "LFT", "random" then
      nit  $\in$  [nitmin ; nitmax]
    end if
  else
    nit = nit - 1
  end if
  Select an activity  $j$  from EligibleSet according to the reference
   $L(i) = j$ ;  $i = i + 1$ 
end while
Return the activity list  $L$ 
```

SELECTSOLUTION

```
Draw  $p \in [0; 1]$ 
if  $p < p_{LFT}$  then
    reference = "LFT"
else if  $p < p_{LFT} + p_{Random}$  then
    reference = "random"
else
    A reference solution is randomly drawn from EliteSet
    if  $p < p_{LFT} + p_{Random} + p_{Inverse}$  then
        reference = inv(reference)
    end if
end if
Return reference solution
```


LOCALSEARCH

- *Double justification*
 - (podwójna justyfikacja?)
 - Algorytm:
 - zaplanuj wszystkie zadania tak późno, jak to możliwe w nierosnącej kolejności ich czasów zakończenia
 - na podstawie tego nowego harmonogramu zaplanuj działania najwcześniej jak to możliwe w niemalejącej kolejności ich czasów rozpoczęcia
- Dodatkowo: możliwe krzyżowanie polityk przed i po optymalizacji

WERYFIKACJA ROZWIĄZANIA

- Weryfikacja polityki *activity-based* w algorytmie stochastycznym za pomocą symulacji Monte-Carlo
 - Możliwe wykorzystanie *Descriptive Sampling*

The image features a white background with decorative elements. In the top-left corner, there are three parallel, dark red lines that form a right-angled shape, extending from the top edge towards the left edge. In the bottom-right corner, there are three parallel, dark red lines that form a right-angled shape, extending from the bottom edge towards the right edge. The text "GRASP w RAPSP" is centered in the middle of the page.

GRASP w RAPSP

GRASP w RAPSP

- Zastosowanie analogiczne jak PSGS w Heuristic Solverze
- W kolejnych punktach czasowych:
 - sprawdź, czy jest to punkt decyzyjny
 - jeśli tak: wygeneruj nową politykę realizacji projektu
 - wybierz zadania do realizacji na podstawie planu
 - przejdź do kolejnego punktu czasowego

GRASP W RAPSP

- W każdym punkcie decyzyjnym:
 - skonstruuj politykę realizacji projektu:
 - wygeneruj do 16 potencjalnych planów:
 - polityka składa się z odpowiedzi na ryzyka do wykonania natychmiast i uszeregowania zadań
 - w ramach generowania każdej z polityk:
 - wybierz losowo realizowalny podzbiór legalnych odpowiedzi (uwzględniając wpływ działań na wykonalność kolejnych)
 - wygeneruj politykę za pomocą GRASP
 - wybierz najkrótszy plan jako aktualny

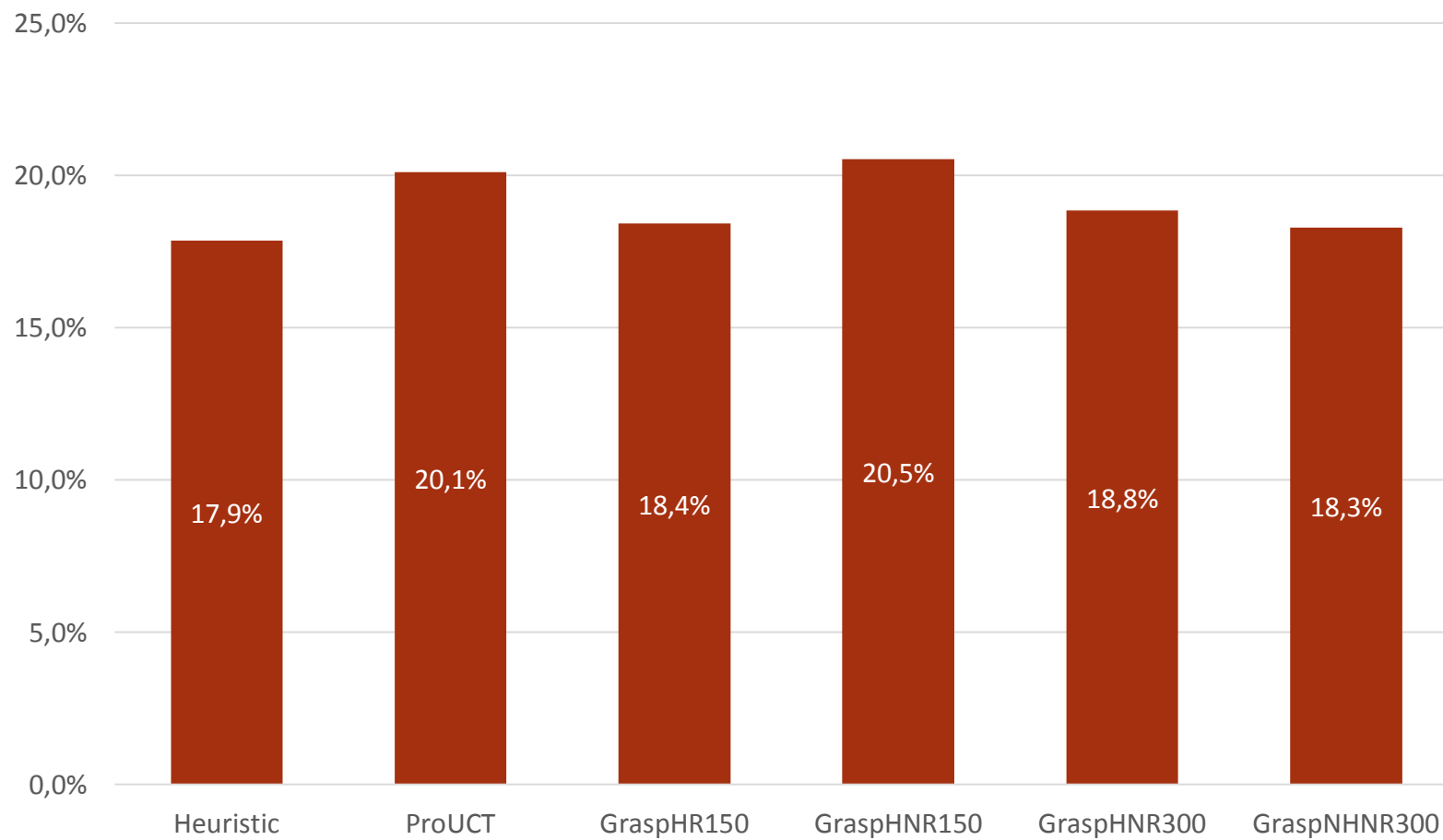
GRASP W RAPSP

- Warunki uznania punktu czasowego za punkt decyzyjny:
 - brak aktualnej polityki
 - pojawienie się nowego efektu ryzyka w poprzedniej jednostce czasowej
 - zakończenie się efektu w poprzedniej jednostce czasowej
 - pojawienie się nowej, nigdy wcześniej nie rozważanej, legalnej odpowiedzi na ryzyko

GRASP w RAPSP

- Dodatkowe możliwości
 - reużywanie w kolejnych punktach decyzyjnych rozwiązań wzorcowych (*EliteSet*)
 - wymagana, oczywiście, korekta:
 - usunięcie zadań już zrealizowanych
 - prewencyjne zwiększenie oszacowanych długości, żeby uniknąć zdominowania przez nie projektu
 - wykorzystanie dodatkowych heurystyk oprócz LFT

WYGRANE



ŚREDNIE RELATYWNE DŁUGOŚCI PROJEKTÓW

