

# RISK-AWARE PROJECT SCHEDULING

Z WYKORZYSTANIEM UCT

KAROL WAŁĘDZIK



# 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)

- Działanie:
  - 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. 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 "INSTANCJE PROBLEMU" is centered 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

- 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

- Działania naprawcze
  - czasowa wynajęcie dodatkowego zasobu
    - 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

- Działania naprawcze
  - 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)

# HEURISTIC SOLVER

HEURYSTYCZNE ROZWIĄZYWANIE RAPS

# HEURYSTYCZNE ROZWIĄZYWANIE RCPSP

- *Parallel Schedule Generation Scheme*
  - dla każdego kolejnego punktu czasowego:
    - określ zbiór D zadań, które mogą legalnie zostać rozpoczęte w tym momencie (uwzględniając zarówno wymagane poprzedniki, jak i zasoby)
    - powtarzaj dopóki zbiór D nie jest pusty:
      - wybierz spośród nich zadanie o najwyższym priorytecie
        - (korzystając z heurystyki priorytetyzującej)
      - zaplanuj rozpoczęcie wybranego zadania w analizowanym punkcie czasowym
      - uaktualnij ilość dostępnych zasobów, przelicz zawartość zbioru D



## ANALIZA ŚCIEŻKI KRYTYCZNEJ

- Analiza na bazie zależności zadań, bez uwzględnienia zasobów:
  - w przód:
    - wyznaczenie dla każdego zadania ES (*early start*) i EF (*early finish*)
  - wstecz (na bazie poprzedniej):
    - wyznaczenie dla każdego zadania LS (*late start*) i LF (*late finish*)
- Zapas czasu dla zadania (*slack*):  $S = LF - EF = ES - LS$
- Ścieżka krytyczna: zadania, dla których  $S = 0$

# HEURYSTYCZNE REGUŁY PRIORYTETYZUJĄCE

- Proste reguły:
  - najdłuższe zadanie
  - min. LF
  - min. LS
  - min. S
  - suma czasu realizacji zadania i bezpośrednich następników
  - liczba bezpośrednich i pośrednich następników zadania

# RAPS HEURISTIC SOLVER (HS)

- w kolejnych punktach czasowych:
  - sprawdź, czy jest to punkt decyzyjny
    - jeśli tak: wygeneruj nowy plan realizacji projektu
  - wybierz zadania do realizacji na podstawie planu
  - przejdź do kolejnego punktu czasowego

# RAPS HEURISTIC SOLVER (HS)

- W każdym punkcie decyzyjnym:
  - skonstruuj plan realizacji projektu:
    - wygeneruj do 32 potencjalnych planów:
      - plan składa się z działań do wykonania natychmiast i harmonogramu zadań
      - w ramach generowania każdego z planów:
        - wybierz losowo realizowalny podzbiór legalnych działań (uwzględniając wpływ działań na wykonalność kolejnych) oraz heurystykę priorytetyzującą
          - (unikając powtórzeń wybranych kombinacji)
        - stwórz deterministyczny model projektu (RCP) na bazie wartości oczekiwanych rozkładów czasu trwania zadań i aktualnego stanu zasobów (uwzględnij aktualne efekty ryzyk i działań)
        - wygeneruj plan za pomocą PSGS z wybraną heurystyką
    - wybierz najkrótszy plan jako aktualny

# RAPS HEURISTIC SOLVER (HS)

- Realizacja planu:
  1. jeśli to możliwe, rozpocznij pierwsze zadanie w planie
  2. znajdź w planie pierwsze realizowalne zadanie o zaplanowanym czasie startu nie późniejszym niż 2 jednostki od aktualnego punktu czasowego
  3. jeśli brak takiego zadania, zakończ obsługę aktualnego punktu czasowego
  4. rozpocznij wykonywanie zadania
  5. wróć do punktu 2

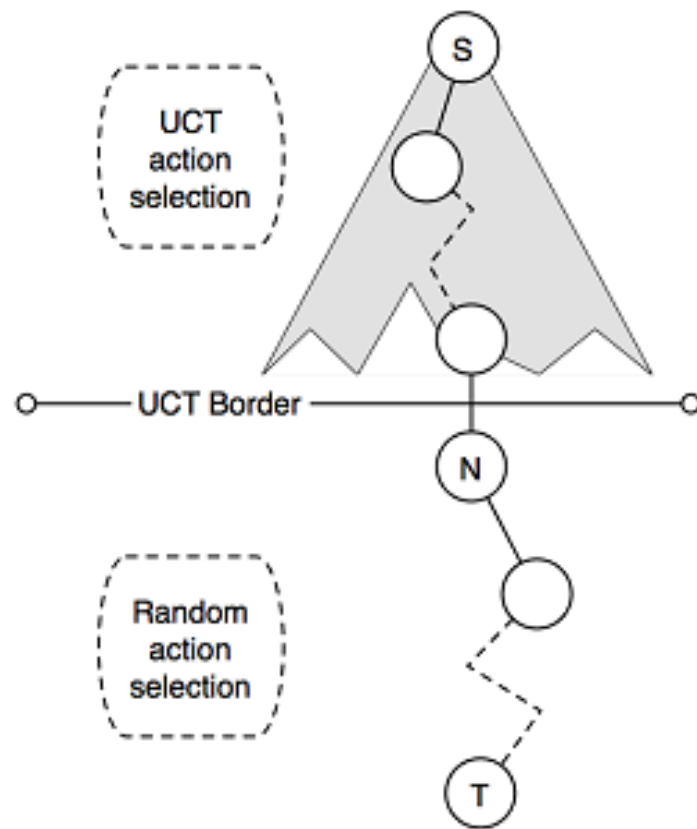
# RAPS HEURISTIC SOLVER (HS)

- Warunki uznania punktu czasowego za punkt decyzyjny:
  - brak aktualnego planu
  - pierwsze zadanie w planie opóźnione o więcej niż 2 jednostki
  - pojawienie się nowego efektu ryzyka w poprzedniej jednostce czasowej
  - zakończenie się efektu w poprzedniej jednostce czasowej
  - opóźnienie startu pierwszego zadania w planie o więcej niż 2 jednostki czasu
  - pojawienie się nowego, nigdy wcześniej nie rozważanego, legalnego działania naprawczego

The image features decorative elements in the corners. In the top-left corner, there are three parallel lines that form a right-angled shape, extending from the top and left edges towards the center. In the bottom-right corner, there are three parallel lines that form a right-angled shape, extending from the bottom and right edges towards the center. The text 'UCT' is positioned in the middle-left area of the page.

UCT

# UCT





# UCT

- Sposób wybierania kolejnego ruchu podczas symulacji (UCT):

$$a^* = \operatorname{argmax}_{a \in A(s)} \left\{ Q(s, a) + C \sqrt{\frac{\ln N(s)}{N(s, a)}} \right\}$$

- $Q(s, a)$  – średni dotychczasowy wynik pary stan-ruch
- $N$  – liczba wizyt w danym stanie/wykonania danej akcji
- akcje nigdy nie wykonane wybierane są w pierwszej kolejności

The image features decorative elements consisting of multiple parallel lines in a reddish-brown color. In the top-left corner, these lines form a series of nested, slightly offset rectangular shapes. In the bottom-right corner, they form a series of parallel diagonal lines extending from the bottom-left towards the top-right.

BASICUCT

## UCT JAKO PLANER

- Gra jednoosobowa z niedeterminizmem
- Możliwe akcje:
  - rozpoczęcie wykonania działania
  - rozpoczęcie wykonania zadania
  - *noop*
- Tylko *noop* powoduje przejście do kolejnej jednostki czasowej
- w przyszłości:
  - możliwe zastosowanie heurystyk w celu ograniczenia liczby rozpatrywanych akcji
    - np.: zawsze rozpoczynaj zadania, jeśli tylko są wolne zasoby

# FAZA UCT

```
private int Uct(OngoingProject project)
{
    if (project.ToDo.Count == 0) return project.Time;

    var node = GetOrCreateUctNode(project);
    var decision = GetPossibleDecisions(project, node)
                  .Greatest(d => d.Priority);
    ExecuteDecision(project, decision, true);

    int result = (node.Visits == 0) ?
                 MonteCarlo(project) : Uct(project);

    decision.AddScore(result);

    return result;
}
```

# FAZA MONTE-CARLO

```
private int MonteCarlo(OngoingProject project)
{
    if (project.ToDo.Count == 0) return project.Time;

    var actions = project.GetLegalActions();
    var activities = project.GetLegalActivities();

    //If there are any legal activities consider starting them
    if (activities.Count > 0 && _random.NextDouble() <= .9)
    {
        project.StartActivity(activities.Random());
    }
    //Consider starting action
    else if (actions.Count > 0 && _random.NextDouble() < .5)
    {
        project.StartAction(actions.Random());
    }
    //Noop; move ahead in time
    else
    {
        project.Go();
    }
    return MonteCarlo(project);
}
```

# REPREZENTACJA STANU W DRZEWIE UCT

- Uproszczona w celu umożliwienia jakiegokolwiek nauki
- Składowe:
  - Zbiór identyfikatorów zrealizowanych ryzyk
  - Zbiór identyfikatorów zrealizowanych akcji
  - Zbiór uproszczonych opisów działań w trakcie realizacji
    - Działanie: (identyfikator, pozostały czas trwania)
  - Zbiór uproszczonych opisów zadań w trakcie realizacji
    - Zadanie: (identyfikator, pozostały czas trwania)
  - Zbiór identyfikatorów zrealizowanych zadań
  - Zbiór uproszczonych opisów aktualnie aktywnych efektów
    - Efekt: (identyfikator, przybliżona siła, pozostały czas trwania, probabilistyczne parametry specyficzne dla typu efektu)
  - Ilości dostępnych zasobów odnawialnych i nieodnawialnych

The image features decorative lines in the corners. In the top-left, there are three parallel lines forming a right-angled shape. In the bottom-right, there are three parallel lines forming a diagonal shape.

# PROUCT

PROACTIVE SCHEDULING WITH UCT

# PRODUCT

- Planowanie:
  - na początku działania algorytmu
  - po wystąpieniu *wyzwalacza planowania*
- Dostępny jest *solver* rozwiązujący problem RCPS bez ryzyk
  - w wersji z deterministycznym trwaniem zadań
  - potencjalnie w przyszłości:
    - w wersji uwzględniającej niedeterministyczny czas trwania zadań
- aktualna realizacja: HS z wyłączeniem obsługi działań naprawczych



# PROUCT

- Algorytm planowania:
  - UCT w zastosowaniu do niedeterministycznej gry jednoosobowej
    - możliwe ruchy:
      - wykonanie działania
      - *noop*
    - *Noop* powoduje uruchomienie solvera dla problemu uwzględniającego efekty działań i realizację projektu do momentu wystąpienia *wyzwalacza planowania*
    - Reprezentacja stanu jak w BasicUCT

# PROUCT

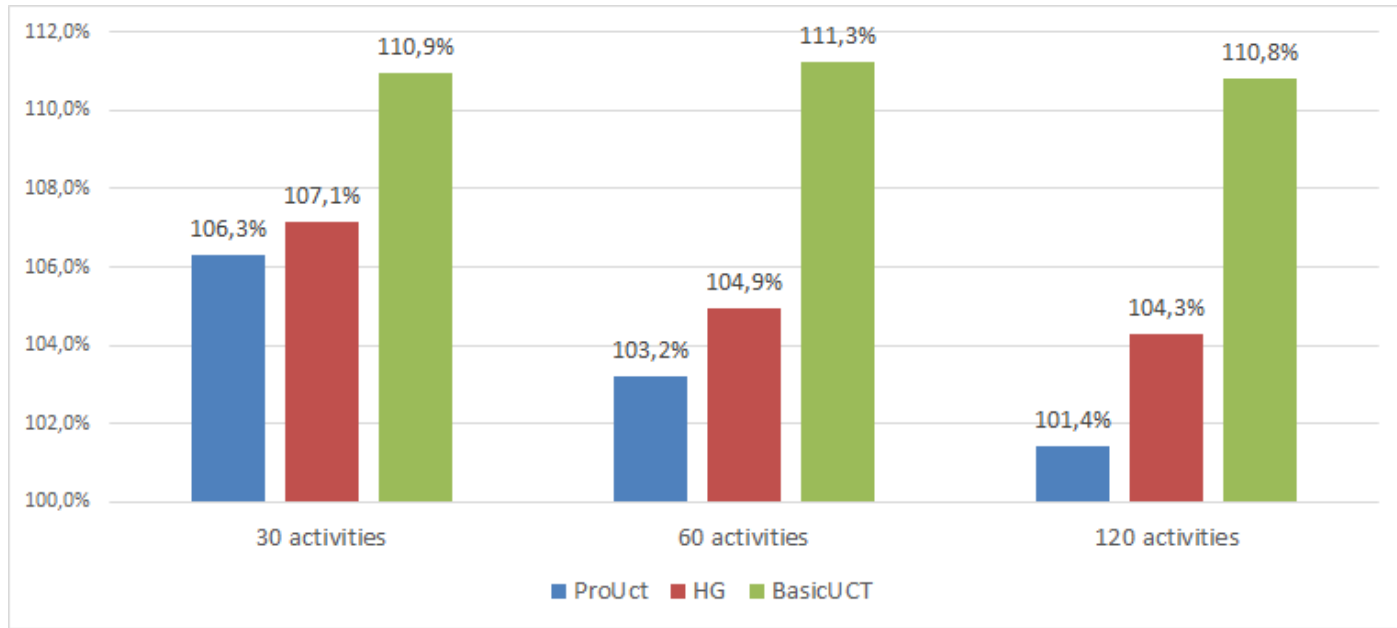
- Algorytm planowania:
  - efekt działania UCT:
    - lista działań do podjęcia w danej chwili
    - uaktualnione przy okazji symulacji statystyki czasów zadań
      - potencjalnie w przyszłości także kosztów
  - faktyczny harmonogram tworzony przez *solver* na bazie danych z UCT
  - projekt realizowany do czasu kolejnej rundy planowania
- Wyzwalacze etapu planowania:
  - jak w HS
  - upływanie 12 jednostek od ostatniego etapu planowania

# SOLVER

- W przyszłości potencjalnie:
  - solver na bazie CI (zwykle skuteczniejszy)
  - niedeterministyczne czasy trwania zadań (rozkłady z UCT)

# WYNIKI

# Average Relative Durations



# Win Rates

