

RISK-AWARE PROJECT SCHEDULING

SIMPLEUCT – CZ. 2

KAROL WAŁĘDZIK

The image features decorative elements consisting of multiple parallel lines in a reddish-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 central text is positioned between these two decorative elements.

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 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. 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 == 1% w każdej jednostce czasu
 - natężenie == -1 / -2 z równym prawdopodobieństwem
 - czas trwania == rozkład jednostajny z przedziału [5;15]

KONWERSJA DO INSTANCJI RAPS

- Ryzyka
 - drastyczna zmiana czasu trwania zadania
 - jedno ryzyko dla każdego wybranych zadań (26% wszystkich zadań)
 - prawdopodobieństwo wystąpienia == 8% 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 51% liczby typów zasobów projekcie
 - koszt == 1 jednostka budżetu
 - czas trwania == 4
 - efekt:
 - czasowa zmiana dostępnej ilości zasobu odnawialnego
 - natężenie == 1
 - czas trwania == 25

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 10% 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) == 0.7
 - czas trwania: nie dotyczy (nieograniczony)

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 'SIMPLEUCT W RAPS' is centered horizontally and positioned in the lower half of the page.

SIMPLEUCT W RAPS

UCT JAKO PLANER

- Gra jednoosobowa z niedeterminizmem
- Możliwe akcje:
 - rozpoczęcie wykonanie działania
 - rozpoczęcie wykonanie 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

LICZBA SYMULACJI UCT

- Minimalna liczba symulacji wykonywanych per podejmowana decyzja (jednostka czasu): 50
- Minimalna sumaryczna liczba symulacji w korzeniu analizy UCT: 700
- Minimalna liczba symulacji per każda dostępna decyzja: 150

```
SimpleUctNode node = GetOrCreateUctNode(project);
int simulations =
    Math.Max(
        GetPossibleDecisions(project, node).Count *
            _settings.MinSimulationsPerPossibleAction - node.Visits,
        _settings.MinNewSimulationsPerDecision);

return Math.Max(simulations, _settings.MinSimulationsTotal - node.Visits);
```

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

HEURYSTYCZNA REALIZACJA PROJEKTU W RAPS

- 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

HEURYSTYCZNA REALIZACJA PROJEKTU W RAPS

- 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 akcji (uwzględniając wpływ akcji 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
 - jeśli projekt jest nierealizowalny (w wyniku chwilowych efektów), utwórz plan cząstkowy
 - wybierz najkrótszy plan jako aktualny (preferując plany pełne nad cząstkowymi)

HEURYSTYCZNA REALIZACJA PROJEKTU W RAPS

- Realizacja planu:
 - znajdź w planie pierwsze realizowalne zadanie o zaplanowanym czasie startu nie późniejszym niż 2 jednostki od aktualnego punktu czasowego
 - jeśli brak takiego zadania, zakończ obsługę aktualnego punktu czasowego
 - rozpocznij wykonywanie zadania
 - powtórz

HEURYSTYCZNA REALIZACJA PROJEKTU W RAPS

- Warunki uznania punktu czasowego za punkt decyzyjny:
 - brak aktualnego planu
 - 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 nowej, nigdy wcześniej nie rozważanej, legalnej akcji

SIMPLE UCT vs. PLANOWANIE HEURYSTYCZNE

EKSPERYMENT

- Zbiór testowy:
 - pula instancji wygenerowanych na bazie 30-, 60- i 120-zadaniowych instancji PSPLib
- Liczba powtórzeń każdego eksperymentu (dla każdej instancji):
 - 16
- Algorytmy operują na tych samych realizacjach zmiennych losowych, tzn.:
 - w ramach każdej porównywanej pary czasy trwania zadań są takie same
 - jeśli zadania i akcje będą realizowane w tych samych momentach, to zrealizują się też te same ryzyka

PIERWSZE WNIOSKI

- Wyniki obu podejść wyraźnie lepsze niż wcześniejszych prostych benchmarków

INSTANCJE 30-ZADANIOWE

SimpleUCT	+/-	Heuristic	+/-
49,88	3,10	48,69	4,47
50,75	4,27	51,63	5,37
52,50	4,24	54,75	2,65
53,94	3,70	54,63	4,24
72,31	4,17	70,19	4,62
43,88	3,52	44,44	3,67
73,38	6,46	69,19	3,87
64,94	5,09	63,75	4,86
55,94	3,84	54,94	4,33
42,69	4,63	45,63	4,36
49,88	5,12	49,44	4,93
56,63	4,96	56,69	5,17
49,63	3,56	49,00	3,31
50,13	4,19	46,94	2,72
58,94	3,15	59,38	3,72
52,00	6,76	51,31	5,29
60,88	4,01	63,88	5,21
80,44	4,53	81,44	4,62
63,69	6,02	66,94	3,32
45,94	5,21	44,81	3,66
63,38	7,68	61,88	4,30
55,94	5,63	56,81	4,74
60,88	3,96	59,94	3,47
54,13	3,93	52,06	4,74
56,78	4,66	56,60	4,23

INSTANCJE 60-ZADANIOWE

SimpleUCT	+/-	Heuristic	+/-
93,75	8,17	88,19	8,15
92,69	5,39	90,69	4,94
84,63	8,26	83,31	5,79
83,63	3,86	78,44	5,33
102,69	5,26	99,94	6,26
92,56	10,26	87,88	6,18
75,81	5,90	71,56	6,25
83,44	8,42	89,13	8,44
90,00	5,85	88,88	6,98
101,69	5,83	101,94	8,00
73,88	4,65	73,44	5,42
77,50	4,18	76,56	5,45
89,81	7,81	87,94	5,07
89,06	6,53	88,06	5,84
88,81	5,75	89,81	5,43
63,19	4,32	65,13	2,85
72,38	4,46	70,13	4,65
58,69	3,86	59,56	4,10
74,56	5,61	74,06	6,12
75,13	5,52	75,63	7,80
69,56	4,02	68,50	3,97
81,25	7,63	80,13	7,57
77,19	5,23	73,94	5,69
114,25	5,56	106,75	6,81
89,56	6,08	90,63	6,33
88,56	6,51	88,25	6,52
69,63	6,92	66,19	5,23
64,75	3,26	66,00	3,31
60,88	4,54	62,44	3,54
82,05	5,85	80,80	5,79

INSTANCJE 120-ZADANIOWE

SimpleUCT	+/-	Heuristic	+/-
134,25	5,56	133,19	10,03
143,63	11,00	133,75	7,06
135,63	9,60	136,06	8,74
147,69	6,99	150,31	6,25
121,63	7,14	115,38	3,93
140,88	7,72	134,69	9,62
104,00	5,67	102,69	4,64
149,63	9,95	144,88	7,65
129,94	3,79	127,38	6,88
142,81	6,32	145,44	10,58
105,19	4,76	104,44	5,38
129,81	8,40	124,38	8,66
97,38	5,02	93,31	5,07
117,81	5,05	115,75	5,99
122,31	7,24	119,69	10,45
129,31	6,29	127,88	7,54
114,13	6,83	114,38	9,42
120,25	6,84	109,00	5,83
105,44	4,34	107,81	8,30
119,56	10,73	115,19	4,67
102,06	6,77	97,88	8,24
121,38	7,98	114,50	7,76
100,63	7,80	102,69	5,57
115,19	5,83	112,19	5,13
92,94	8,54	87,75	4,25
102,38	5,23	99,75	5,84
119,19	5,37	111,75	5,74
109,56	4,53	106,00	4,03
93,94	4,27	97,06	7,18
119,60	6,74	116,73	6,91



PROACTIVE SCHEDULING WITH UCT

PROUCT

- Planowanie:
 - na początku działania algorytmu
 - po wystąpieniu *wyzwalacza planowania*
- Dostępny jest *solver* rozwiązujący problem RCPS bez ryzyk
 - w wersji z deterministycznym trwania zadań
 - potencjalnie w przyszłości:
 - w wersji uwzględniającej niedeterministyczny czas trwania zadań

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 SimpleUCT

PRODUCT

- Wyzwalacze etapu planowania:
 - realizacja ryzyka
 - zakończenie efektu ryzyka?
 - zmiana spodziewanego czasu trwania całego projektu (daty zakończenia) o co najmniej 5%
 - czas, który upłynął od ostatniego planowania:
 - $\frac{1}{2}$ oczekiwanego czasu trwania najkrótszego efektu działania
 - stała wartość: 10 jednostek?
 - ...

PROUCT

- Algorytm planowania:
 - efekt działania UCT:
 - lista działań do podjęcia w danej chwili
 - uaktualnione przy okazji symulacji statystyki czasów i kosztów zadań
 - faktyczny harmonogram tworzony przez *solver* na bazie danych z UCT
 - projekt realizowany do czasu kolejnej rundy planowania

BENCHMARKI

- Planowanie statyczne:
 - proste wykorzystanie *solvera*
 - wykorzystanie *solvera* z czasami trwania zadań uzyskanymi za pomocą czystych symulacji Monte-Carlo (bez uwzględnienia działań)
 - wykorzystanie *solvera* z uwzględnieniem działań wybranych przez UCT, ale bez zebranych przez niego statystyk dotyczących zadań
- Planowanie reaktywne:
 - planowanie ponawiane w momencie wystąpienia *wyzwalacza planowania*

SOLVER

- model deterministyczny
- podejście heurystyczne:
 - w wersji multi-pass z jedną lub wieloma funkcjami heurystycznymi, na bazie Single i Parallel SGS
 - (proste wielokrotne wykonanie algorytmu i wybór najlepszego wyniku)
 - możliwe zastosowanie ważonych kombinacji różnych funkcji heurystycznych
 - możliwy reżim czasowy: zaprzestanie kolejnych obliczeń po przekroczeniu czasu obliczeń
- Implementacja na bazie PSPSolvera:
<http://sourceforge.net/projects/pspsolver/>

SOLVER

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