

RISK-AWARE PROJECT SCHEDULING

SIMPLEUCT – CZ. 2

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 partial frame. In the bottom-right corner, there are three parallel, dark red lines that also form a partial frame. The text 'INSTANCJE PROBLEMU' is centered in the middle 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 orange lines in the corners. On the left side, there are three parallel lines forming a right-angled corner. On the bottom right side, there are three parallel lines forming a diagonal corner.

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)