

Sterowanie Procesami Dyskretnymi - Laboratorium
Problem *FSP* - *Symulowane wyżarzanie*

prowadzący: mgr inż. Radosław Idzikowski

1 Wprowadzenie

Celem laboratorium jest zapoznanie się z algorytmem symulowanego wyżarzania (*Simulated Annealing*) oraz jego implementacja dla permutacyjnego problemu przepływowego $FP||C_{\max}$. Algorytm metaheurystyczny o charakterze probabilistycznym inspirowany procesem metalurgicznym. Na początku należy przyjąć temperaturę początkową $T_0 > 0$ co będzie symbolizowane przez podgrzanie metalu czyli naszego rozwiązania. Jako rozwiązanie początkowe możemy przyjąć: (1) permutację naturalną, (2) losową, (3) wynik alg. zachłannego. Warunkiem zatrzymania algorytmu jest spadek temperatury T naszego rozwiązania poniżej temperatury końcowej T_{end} . Dla każdej temperatury będziemy wykonywać L iteracji wewnętrznych (epok). W każdej epoce należy wykonać jeden pojedynczy losowy ruch:

- zamień (*swap*),
- wstaw (*insert*),
- odwróć (*twist/reverse*),
- zamień sąsiedni (*adjacent swap*).

Przez całe działanie algorytmu wykonujemy jeden typ ruchu (dopuszczalne są ruchy hybrydowe). Jeśli Rozwiązanie po wykonaniu ruchu jest lepsze niż aktualne, należy je zaakceptować (podmienić), w przeciwnym wypadku z pewnym prawdopodobieństwem p również możemy je zaakceptować:

$$p = e^{\frac{\Delta C_{\max}}{T}} \quad (1)$$

gdzie

$$\Delta C_{\max} = C_{\max}(\pi) - C_{\max}(\pi_{\text{new}}) \quad (2)$$

Prawdopodobieństwo akceptacji gorszego rozwiązania będzie malało wraz ze spadkiem temperatury oraz przy bardzo dużej różnicy wartości funkcji celu. W procesie metalurgicznym gorący materiał jest bardziej podatny na zmiany niż zimny. Idea algorytmu polega na przeglądaniu początkowo jak największego sąsiedztwa, również przechodząc przez gorsze rozwiązania, aby na końcu zbiec do któregoś minimum lokalnego akceptując już tylko lepsze rozwiązania. Po wykonaniu wszystkich iteracji wewnętrznych (epok) należy obniżyć temperaturę według ustalanego schematu chłodzenia:

- liniowego $T' = T - x$,
- geometrycznego $T' = \alpha T$,
- logarytmicznego $T' = \frac{T}{\ln(it+1)}$, gdzie it – nr iteracji algorytmu.

Alternatywnie algorytm można przerwać w momencie niezaakceptowania ani jednego rozwiązania podczas po wykonaniu epok.

Algorithm 1 Simulated Annealing Algorithm

```
1:  $T \leftarrow T_0$ 
2:  $\pi \leftarrow \text{INITSOLUTION}()$ 
3: while  $T > T_{\text{end}}$  do
4:   for  $k = 1$  to  $L$  do
5:      $i \leftarrow \text{RANDOMINT}(1, n)$ 
6:      $j \leftarrow \text{RANDOMINT}(1, n)$ 
7:      $\pi_{\text{new}} \leftarrow \pi.\text{MOVE}(i, j)$ 
8:     if  $\text{CALCULATE}(\pi_{\text{new}}) > \text{CALCULATE}(\pi)$  then
9:        $r \leftarrow \text{RANDOMDOUBLE}(0, 1)$ 
10:      if  $r \geq e^{\frac{\Delta C_{\text{max}}}{T}}$  then
11:         $\pi_{\text{new}} \leftarrow \pi$ 
12:      end if
13:    end if
14:     $\pi \leftarrow \pi_{\text{new}}$ 
15:    if  $\text{CALCULATE}(\pi) < \text{CALCULATE}(\pi^*)$  then
16:       $\pi^* \leftarrow \pi$ 
17:    end if
18:  end for
19:   $T \leftarrow \text{REDUCETEMPERATURE}(T)$ 
20: end while
```

2 Zadanie

- Należy napisać algorytm symulowanego wyżarzania dla problemu $FP||C_{\text{max}}$,
- Algorytm należy przetestować pod względem wpływu parametrów na działanie algorytmu (jakość i czas wykonywania).

parametr	wartości		
T_0	10^2	10^3	10^4
L	\sqrt{n}	n	n^2
x	$\frac{T_0}{10^3}$	$\frac{T_0}{10^4}$	$\frac{T_0}{10^5}$
α	0.97	0.95	0.90

- Ze względu na dużą liczbę parametrów, proszę wybrać do przetestowania maksymalnie dwa rodzaje sąsiedztwa i dwa schematy chłodzenia.

opracował: *Radostaw Idzikowski*