



# **BADANIA OPERACYJNE**

**Algorytm Symulowanego Wyżarzania(SA) dla  
Problemu Przypisania Pracowników w Czasie.**

**Antoni Kraczowski**

**Jakub Kołton**

# SPIS TREŚCI

- Poprawki wprowadzone do założeń
- Adaptacja algorytmu do rozpatrywanego problemu



# POPRAWKI



# STRUKTURY DANYCH

Maszyna – struktura posiadająca określone pola:

- koszt pracy wyrażony w złotych na jednostkę czasu;
- ~~minimalna~~ i maksymalna liczba pracowników potrzebna do obsługi stanowiska, **minimalna zawsze zero**;
- produktywność wyrażona w ilości produktu wytwarzanego na jednostkę czasu (np. kg/h).



# STRUKTURY DANYCH

Pracownik – struktura posiadająca określone pola:

- doświadczenie - ~~współczynnik nie mniejszy niż 1~~, struktura mapująca doświadczenie pracownika na danej maszynie, określająca ile razy szybciej pracownik wykonuje pracę od niedoświadczonego pracownika;
- wynagrodzenie wyrażone w zł/h;
- ilość godzin przepracowanych na obecnej zmianie (nie może przekroczyć 8);
- ilość godzin po opuszczeniu zmiany (nie może być mniejsza niż ~~12~~ 13), wykluczenie możliwości przypisania pracownika do pracy 2 razy w ten sam dzień;
- pracownicy mogą pracować tylko w systemach 4/8 godzin, wynika z kodeksu pracy i rodzajów umów zawieranych przez firmę



# OGRANICZENIA

- pracownik nie może pracować więcej niż 8 godzin od przyścia na zmianę;
- pracownik nie może przyjść na kolejną zmianę jeżeli od zakończenia poprzedniej nie minęło co najmniej ~~12~~ 13 godzin;
- aby maszyna miała coś produkować musi być do niej przeznaczona minimalna liczba pracowników;
- do jednej maszyny nie można przydzielić więcej pracowników niż wynosi maksymalna ilość potrzebna do obsługi;
- jeden pracownik nie może być przydzielony do dwóch maszyn na raz.
- łączna ilość wyprodukowanych towarów nie może być mniejsza niż zamówiona przez zleceniodawcę



# ADAPTACJA ALGORYTMU



# PRAWDOPODOBIENSTWO ZMIANY STANU

"The laws of thermodynamics state that at temperature  $T$ , the probability of a change in energy magnitude  $\Delta E$  is given by6 "

$$p(\Delta E) = \exp\left(-\frac{\Delta E}{k_B T}\right) \quad (3)$$

"where  $\Delta E = E_j - E_i$ ,  $E_i$  is the current energy state,  $E_j$  is a new energy state and  $k_B$  is a physical constant known as Boltzmann constant."

Źródło: Siddique, N., & Adeli, H. (2016). Simulated Annealing, Its Variants and Engineering Applications. International Journal on Artificial Intelligence Tools, 25(06), 1630001.  
doi:10.1142/s0218213016300015





# ALGORYTM SYMULOWANEGO WYŻARZANIA

Step 1: Randomly initialize  $x_i$  within the solution space  
Initialize temperature  $T$  and set iteration counter  $k = 1$

Step 2: Calculate  $f(x_i)$

Step 3: Select  $x'_i = N(x_i)$

Step 4: Calculate  $f(x'_i)$

Step 5: Calculate  $\Delta E = f(x_i) - f(x'_i)$   
Calculate  $p(x)$  according to Eq. (3)  
If  $f(x'_i) < f(x_i)$

$$x_i = x'_i$$

else if  $[rand[0, 1) < p(x)]$

$$x_i = x'_i$$

$$f(x_i) = f(x'_i)$$

Step 6: Decrease temperature according to a cooling function  $T = g(T, k)$

Step 7: If termination condition is not met,  $k = k + 1$  and Go to Step 3

Step 8: Return solution

- $k$  – iterator kroku
- $x_i$  - aktualne rozwiązanie
- $f(x_i)$  - funkcja celu
- $N(x_i)$  - wybór sąsiada rozwiązania
- $p(x)$  - prawdopodobieństwo zmiany stanu
- $g(T, k)$  - funkcja chłodzenia

Źródło: Siddique, N., & Adeli, H.  
(2016). Simulated Annealing, Its Variants and Engineering Applications. International Journal on Artificial Intelligence Tools, 25(06), 1630001. doi:10.1142/s0218213016300015



# ROZWIĄZANIE DOPUSZCZALNE

- Losowa macierz o wymiarach  $M \times P \times G$
- Każdy  $M$ -ty wiersz zawiera od 0 do  $P_{M\_max} - 1$
- Każda  $P$ -ta kolumna zawiera co najwyżej jedną 1 i  $M-1$  0 (warunek pracy jednego pracownika na jednym stanowisku), kombinacje 1 i 0 w kolumnie dla zmieniającego się wymiaru  $g$  spełniają ograniczenia dotyczące pracowników
- Wymiar  $G \leq T_{max}$ ,  $T_{max}$  to maksymalny czas realizacji zamówienia



# WYBÓR ROZWIĄZANIA POZĄTKOWEGO

- Może to być dowolna macierz spełniająca warunki rozwiązania dopuszczalnego
- Utworzenie "inteligentnego generatora" rozwiązań startowych
- Rozwiązanie startowe musi być dopuszczalne, ale nie powinno być bardzo optymalne, tak żeby algorytm mógł zadziałać poprawnie

Step 1: Randomly initialize  $x_i$  within the solution space

Initialize temperature  $T$  and set iteration counter  $k = 1$

Step 2: Calculate  $f(x_i)$



## WYBÓR LOSOWEGO SĄSIADA

- Zmiana alokacji jedynek
- Zmiana alokacji wielu jedynek na raz
- Zmiana przypisania pracownika do zmiany (tylko w wypadku nieliniowej funkcji kosztu pracy, dla liniowych kosztów brak zmiany funkcji celu)

Step 3: Select  $x'_i = N(x_i)$



# AKCEPTACJA ZMIANY STANU

- Wyliczenie różnicy energii czyli różnicy funkcji celu rozwiązania i sąsiada
- Losowanie wartości na celu dopuszczenie przejścia do gorszego rozwiązania

Step 5: Calculate  $\Delta E = f(x_i) - f(x'_i)$

Calculate  $p(x)$  according to Eq. (3)

If  $f(x'_i) < f(x_i)$

$$x_i = x'_i$$

else if  $[rand[0, 1) < p(x)]$

$$x_i = x'_i$$

$$f(x_i) = f(x'_i)$$



# CHŁODZENIE

- Funkcja, która zapewnia spadek wartości temperatury w kolejnych iteracjach

Step 6: Decrease temperature according to a cooling function  $T = g(T, k)$

- Harmonogram Kirkpatricka:

$$T(k) = -\eta k + T_0$$

- $T_0$  – temperatura początkowa
- $\eta$  - współczynnik chłodzenia wartość z przedziału (0, 1)
- $k$  – iterator
- $T(k)$  - temperatura w  $k$ -tej iteracji



## WARUNEK STOPU

- Osiągnięcie zadanej liczby iteracji
- Brak istotnej poprawy, przy braku kandydatów ze znacznie lepszą wartością funkcji celu

Step 7: If termination condition is not met,  $k = k + 1$  and Go to Step 3

