

Bożena SKOŁUD, Aleksandra ZIENTEK

Katedra Automatykacji Procesów Technologicznych
i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny,
Politechnika Śląska, Gliwice

PROGRAMOWANIE W LOGICE Z OGRANICZENIAMI DO ZARZĄDZANIA W ŚRODOWISKU WIELOPROJEKTOWYM

Streszczenie. W pracy podejmuje się próbę zdefiniowania ograniczeń zawężających liczbę projektów możliwych do współbieżnej realizacji. Przedstawiona została alternatywna metoda zapisu zajętości zasobów. Kolejność analizowania ograniczeń limitujących liczbę projektów przeprowadzana jest na podstawie Teorii Ograniczeń, według której wskaźnik priorytetu definiuje kolejność realizacji czynności zarówno na zasobie krytycznym określonym mianem *bębna*, jak i na pozostałych zasobach.

CONSTRAINT LOGIC PROGRAMING IN MULTI PROJECT ENVIRONMENT

Summary. The paper deals with the problem of defining constraints limiting the number of projects that can be carried out concurrently. An alternative method of describing occupancy of resources was presented. Sequence of analysing constraints limiting the number of running projects is based on Theory of Constraints. According to this philosophy the priority rule defines the order of project execution both on the critical resource called drum resource, and on other resources.

1. Wprowadzenie

Intensywna globalizacja, konkurencja, wzrastająca niepewność i brak możliwości przewidywania zachowań rynku, jak również szybko rozwijająca się technologia, wzrastające koszty i zmienne oczekiwania klientów mają duży wpływ na nowoczesne przedsiębiorstwa. W sektorze przemysłowym istnieje coraz większy nacisk na tańszą i szybszą produkcję większej liczby zróżnicowanych wyrobów spełniających oczekiwania klientów. Małe i średnie przedsiębiorstwa charakteryzuje koncentracja produkcji na zlecenie. Drugą grupą zadań realizowanych na tak wymagającym rynku jest planowanie i realizacja zadań związanych z uruchamianiem nowego wyrobu i/lub prototypu. W obu przypadkach zarządzanie produkcją odbywa się w oparciu o zasady, jakie obowiązują przy zarządzaniu projektem.

Celem zarządzania przez projekt jest maksymalizacja liczby projektów, które dane przedsiębiorstwo może wykonać wspólnie w określonym terminie i przy możliwie najlepszym wykorzystaniu dostępu do zasobów dzielonych. Zmiany zachodzące na rynku wymagają od przedsiębiorców zarządzania jednocześnie wieloma projektami. 95% realizowanych projektów odbywa się w środowisku wieloprojektowym. Duże projekty często składają się z wielu mniejszych projektów i w ten sposób przypominają one takie właśnie środowisko. W systemach zarządzanych przez projekt wiele czynności wykonywanych jest wspólnie na zasobach dzielonych. W tym kontekście zlecenia produkcyjne organizowane są jako projekty. Wykonanie projektów wymaga jednoczesnego wykorzystania różnych ograniczonych w czasie zasobów, np. rzeczowych, finansowych, ludzkich. Czasowe ograniczenie polega na tym, że w danym horyzoncie planistycznym część zasobów jest zaangażowana w realizację różnych przedsięwzięć. Przyjęcie do realizacji większej liczby projektów zazwyczaj powoduje zwiększenie opóźnień ich realizacji, podczas gdy mniejsza liczba jednocześnie realizowanych zadań zwiększa szansę na ich terminowe zakończenie, jednakże zmniejsza również poziom wykorzystania zasobów. Stąd też celem zarządzania przez projekt jest maksymalizacja liczby projektów, które dane przedsiębiorstwo może wykonać wspólnie. Przedsiębiorstwa dążą do takiego wykorzystania zasobów, które umożliwi realizację projektów bez zakłóceń (bez blokad i zagięć w systemie), przy określonym budżecie, terminie oraz zadanim poziomie jakości. Zarządzanie przez projekt nie jest tylko formą organizacji, koncepcją zarządzania, ale również filozofią. Polega na systematycznym planowaniu, organizowaniu, monitorowaniu, kontrolowaniu oraz właściwym wykorzystaniu zasobów produkcyjnych do osiągnięcia celów organizacji. Strategia zarządzania przez projekt związana z realizacją unikalnych zleceń, czyli projektów, sprowadza się do jednoczesnego zarządzania grupą projektów. Polega na zastosowaniu wiedzy, doświadczeń, narzędzi, metod oraz technik w działaniach projektowych w celu osiągnięcia lub przewyższenia potrzeb i oczekiwań udziałowców.

Czynność, jako składowa projektu, jest zasadniczym przedmiotem każdego problemu harmonogramowania. Wymaga zasobów, na których będzie ona realizowana oraz określonego czasu przetwarzania. Wykonanie czynności w czasie może być ograniczone przez określenie najwcześniejszego jej rozpoczęcia (ang. release time) i/lub najpóźniejszego jej zakończenia (ang. deadline). Czynności również zależą od siebie nawzajem. Inne zależności pomiędzy czynnościami są wymuszone poprzez zasoby, na których te czynności są przydzielane. Niektóre zasoby mogą realizować tylko jedną czynność w danym czasie – są to tak zwane zasoby jednostkowe (ang. unary resources), w innych liczba czynności realizowanych w danym czasie ograniczona jest pojemnością tego zasobu – mowa o zasobach dyskretnych lub kumulacyjnych (discrete resources or cumulative resources). Kolejność czynności na zasobie może być ograniczona przez specjalne schematy przejść z kolejnością zależną od czasów przygotowawczo-zakończeniowych (ang. set-up times) pomiędzy czynnościami.

2. Zarządzanie projektem

Projekt można wyrazić poprzez określone w czasie działania podejmowane w celu wykonania niepowtarzalnego wyrobu lub usługi. Spełnienie wymagań, zmieszczenie się w kosztach oraz dotrzymanie czasu realizacji to podstawowe parametry projektu. Hasło „szybko, tanio i na czas” charakteryzuje sytuacje istniejące na konkurencyjnych rynkach, które wymuszają realizowanie przedsięwzięć w relatywnie krótkim czasie oraz przy niskim budżecie. Spełnienie wymogów obejmuje spełnienie wymagań technicznych, ilościowych oraz jakościowych projektu. Projekt jako jednorazowe przedsięwzięcie obarczony jest pewnym stopniem niepewności, ryzykiem, na co wpływ ma ograniczenie dostępności zasobów niezbędnych do realizacji projektu, jak i zmienne otoczenie. Jednorazowe zadania, które z punktu widzenia harmonogramowania zachowują się jak projekty, prowadzą do rozwiązań zorientowanych na projekt.

Pierwsze założenia koncepcji zarządzania przez projekt sięgają lat pięćdziesiątych. Wówczas podjęto pierwsze próby opracowania metod planowania sieciowego. Obecnie postępująca globalizacja, kustomizacja produktów i usług spowodowały ponowne odrodzenie i rozkwit tej koncepcji. Większość zleceń klientów oparta jest na zleceniach indywidualnych, jednorazowych wymagających szczegółowej analizy oraz opracowania właściwych metod zarządzania.

Zmiany zachodzące na rynku wymagają od przedsiębiorców zarządzania jednocześnie wieloma projektami. Zgodnie z filozofią teorii ograniczeń (z ang. Theory of Constraints, TOC) zasób najbardziej obciążony limituje liczbę projektów, które dane przedsiębiorstwo może przyjąć do wykonania w rozpatrywanym okresie. Podstawowa różnica między TOC a pozostałymi metodami zarządzania polega na tym, że według TOC zasoby krytyczne stanowią punkty, wokół których koncentrują się cała działalność i rozwój organizacji [5], natomiast tradycyjne podejście zakłada eliminację wszelkich ograniczeń. W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie mechanizmami kontroli projektów w środowisku wieloprojektowym, a w szczególności badaniami naukowymi, które koncentrują się na harmonogramowaniu operacji w warunkach występujących ograniczeń zasobowych.

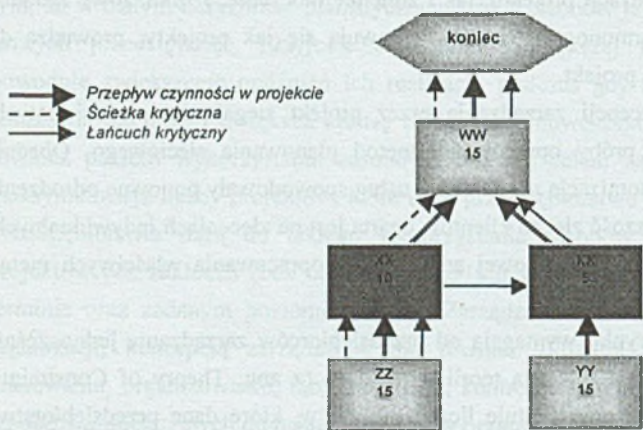
Do najbardziej znanych i najczęściej stosowanych metod planowania sieciowego zalicza się:

- Critical Path Metod (CPM),
- Program Evaluation and Review Technique (PERT),
- Metra Potential Method (MPM),
- Graphical Evaluation and Review Technique (GERT).

Zastosowanie tych metod pozwala odpowiedzieć na pytanie dotyczące terminu ukończenia projektu, gdy znane są ograniczenia zasobowe. Metody te nie uwzględniają ograniczeń związanych z czasowym dostępem do zasobów, czyli nie pozwalają na stwierdzenie, czy realizacja danego przedsięwzięcia nie przekroczy zadanego limitu

dostępnych zasobów w zadanym horyzoncie czasu. Uzyskiwane rozwiązania odpowiadają uśrednionym, w danym horyzoncie czasu, bilansom zasobów i nie gwarantują, że w każdym momencie realizacji przedsięwzięcia, liczba zasobów niezbędnych do jego wykonania będzie wystarczająca. A zatem nie są w stanie przewidzieć przypadków związanych z powstaniem blokad czy złagodzeń i są m.in. powodem zakłóceń wielu przedsięwzięć.

Problemy, których istniejące metody oraz opracowane oprogramowanie nie są w stanie rozwiązać, są powodem poszukiwania nowych metod zarządzania projektem lub rozszerzania już istniejących. Brak umiejętności radzenia sobie z rzeczywistymi problemami harmonogramowania, takimi jak opóźnienie realizacji, przekroczenie kosztów, czy zmiana specyfikacji projektu prowadzi do stosowania nowych filozofii.

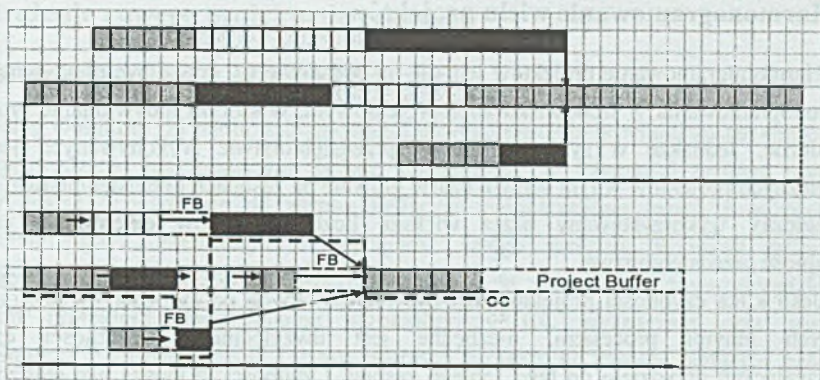


Rys. 2.1. Łańcuch krytyczny a ścieżka krytyczna
Fig. 2.1. Critical path and critical chain

Filozofia Teorii Ograniczeń w zarządzaniu projektem zakłada rozszerzenie metody ścieżki krytycznej (ang. Critical Path Method), służącej do harmonogramowania pojedynczego projektu, o rozwiązanie konfliktów zasobowych, czyli zależności występujących pomiędzy projektami wymagającymi dostępu do tych samych zasobów. Podejście to określane jest mianem metody łańcucha krytycznego (ang. Critical Chain Method - CC).

Celem TOC jest koncentracja na zasobach krytycznych poprzez identyfikację łańcuchów krytycznych i umieszczenie buforów czasowych w odpowiednich „miejscach” projektu. Bufory te zapewniają realizację projektu na czas.

W środowisku wieloprojektowym wdrożenie nowego projektu powinno być rozpoczęte od przeprowadzenia harmonogramu bębna, gdyż stanowi on ograniczenie wszystkich projektów, które dana organizacja może realizować współbieżnie przy narzuconych terminach rozpoczęcia i zakończenia projektów.



Rys. 2.2. Różnica czasu realizacji projektu na podstawie CP i CC
 Fig. 2.2. The project lead time difference on the basis of CP and CC

Ograniczeniem w przedsiębiorstwie może być pracownik, ale może być to również ograniczenie fizyczne, wynikające z rynku czy polityki państwa. Wydajność zasobu będącego ograniczeniem powinna zostać zidentyfikowana. Zasób stanowiący ograniczenie całego przedsiębiorstwa jest *bębnem* i wyznacza rytm dla realizacji wszystkich projektów. Harmonogram *bębna* określa kolejność wszystkich projektów wykorzystujących ten zasób. Jeśli *bęben* ukończy projekt przed czasem, wszystkie kolejne projekty są rozpoczęte również wcześniej, w przeciwnym przypadku są one opóźnione. Z tego powodu projekty w środowisku wieloprojektowym wymagają buforów czasu dla zabezpieczenia *bębna* i zapewnienia, że projekt(y) realizowane na nim nigdy nie zagłodzi ograniczenia.

Do realizacji nowego projektu częściej wykorzystuje się już dostępne zasoby. W tych okolicznościach konieczne jest rozważenie zależności występujących pomiędzy projektami przewidzianymi do współbieżnej realizacji. Zasób może być dedykowany określonym projektom. Na ogół jednak projekty zachodzą na siebie, np. jeden pracownik obsługuje dwa lub większą liczbę projektów w tym samym czasie lub jedna maszyna jest potrzebna do realizacji kilku projektów. Planowanie współbieżne projektów ma wpływ na oszacowanie czasów ich realizacji, dzięki czemu wydarzenia są lepiej skoordynowane. Im bardziej globalnie przeprowadzane jest harmonogramowanie, tym wymagane są mniejsze bufor czasu, krótsze czasy realizacji, a co za tym idzie - przedsiębiorstwo jest bardziej konkurencyjne.

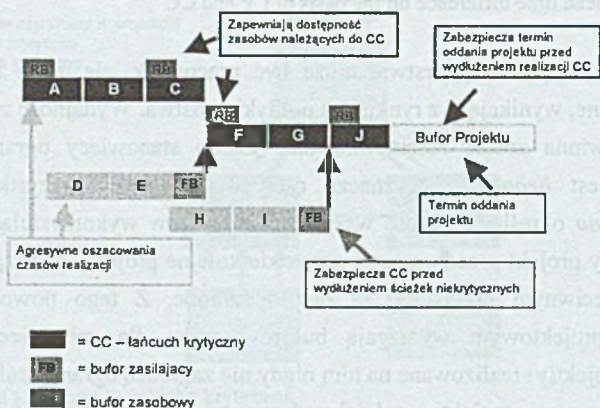
Sformułowanie problemu:

Zasoby, które są przeciążone, ograniczają liczbę projektów, które mogą zostać zrealizowane w danym przedsiębiorstwie. Celem jest maksymalizacja liczby projektów, które dane przedsiębiorstwo może realizować współbieżnie. W tym kontekście każdy projekt składający się z podprojektów może być traktowany jako środowisko wieloprojektowe.

3. Harmonogramowanie wielu projektów

Harmonogramowanie projektów jedynie na podstawie CC może być efektywną metodą harmonogramowania w środowisku wieloprojektowym, w którym indywidualne projekty są niezależne. Jednakże w sytuacji, gdy w przedsiębiorstwie wykonywanych jest kilka niezależnych projektów w tym samym czasie głównie na zasobach przedsiębiorstwa, to zasób strategiczny wykorzystywany przez większą liczbę projektów determinuje całkowitą wydajność przedsiębiorstwa.

Jeśli kilka czynności projektu musi być realizowanych na zasobach w dużym stopniu zajętych innymi procesami, niezbędne jest uwzględnienie zależności czynności wymagających przydziału do tego samego zasobu. Czynności te muszą być realizowane w odpowiedniej kolejności, nie zaś równoległe.



Rys. 3.1. Diagram przedstawiający różnice pomiędzy CP i CC; bufony zasilające są dodane na końcu ścieżek niekrytycznych

Fig. 3.1. Diagram presenting the difference between CP and CC; feeding Buffers (FBs) are added at the end of non critical paths

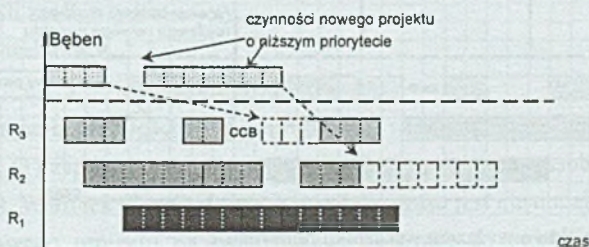
Metoda PERT zakłada takie same ryzyko dla wszystkich czynności projektu, niezależnie od tego, czy znajdują się one na ścieżce krytycznej czy nie. Celem podejścia TOC jest umieszczenie buforów zapewniających realizację projektu w odpowiednich miejscach (momentach realizacji) projektu. TOC zakłada, że oszacowanie czasów trwania prawie wszystkich czynności może zostać zredukowane o 50%, ale bufor czasowy zabezpieczający bezpieczeństwo ich realizacji, zwany *buforem projektu* (ang. Project Buffer (PB)), musi zostać dodany na końcu całego projektu [5]. PB powinien być równy 50% czasu realizacji projektu. Efektem takiego działania jest redukcja czasu trwania całego projektu.

4. Wdrożenie nowego projektu do realizacji

4.1. Nowy projekt o niższym wskaźniku priorytetu

Według Goldratta [2] harmonogramowanie nowego projektu powinno zostać rozpoczęte od przeprowadzenia harmonogramu *bębna*. Oznacza to, że czynności nowego projektu powinny zostać przydzielone do zasobu będącego ograniczeniem razem z pozostałymi czynnościami, gdyż determinuje on wydajność całego systemu. Wskaźnik priorytetu określający jego ważność (pierwszeństwo) w dostępie do zasobu musi zostać przydzielony wszystkim projektom. Indywidualne harmonogramy CC wyznaczają czas trwania, najwcześniejszy czas rozpoczęcia i czasy realizacji projektu na zasobie będącym *bębniem*. Jeśli przedsiębiorstwo stosuje regułę FIFO, to nowy projekt uzyskuje najniższy wskaźnik priorytetu. Jeśli zaś nowy projekt jest istotny dla przedsiębiorstwa (np. ze względu na wysoką jego wartość), to może on uzyskać pierwszeństwo w dostępie do zasobu przed innymi projektami. Kolejność postępowania przy wdrażaniu nowego projektu o niższym wskaźniku priorytetu:

- Obliczenie CC nowego projektu
- Planowanie czynności nowego projektu w odpowiedniej kolejności w harmonogramie projektów wcześniej alokowanych do bębna
- Wyznaczanie czasów rozpoczęcia poszczególnych czynności nowego projektu przez harmonogramowanie wstecz czynności poprzedzających bęben
- Wyznaczanie czasów rozpoczęcia pozostałych czynności po czynności realizowanej na bębnie poprzez ich harmonogramowanie w przód



Rys. 4.1. Harmonogram bębna

Fig. 4.1. Drum schedule

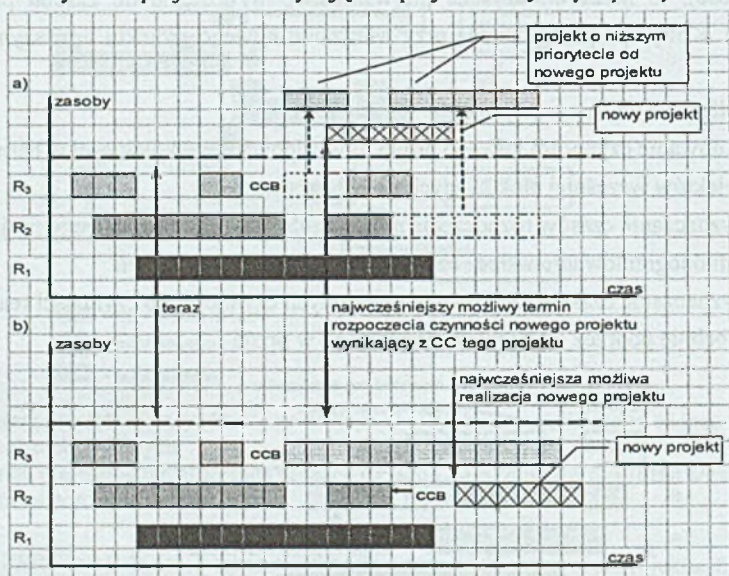
Na rysunku 4.1 przedstawiono trzy zasoby (R_1 , R_2 , R_3), stanowiące *bęben*. Założono, że pojemność bębna nie może zostać zwiększona. Projekty przyjęte wcześniej do realizacji zostały uwzględnione w harmonogramie *bębna*. Czynności nowego projektu (powyżej przerywanej linii) oczekują na dostępność jednego z zasobów bębna. Metoda polega na późniejszej realizacji projektów o niższym wskaźniku priorytetu. Bufor łańcucha krytycznego (Critical Chain Buffer (CCB)) zapewnia, że zasoby należące do *bębna* są dostępne dla nowego projektu, gdy są one wymagane. CCB jest umieszczony pomiędzy użyciem zasobu

będącego ograniczeniem przez wcześniej zaplanowaną czynność (o wyższym priorytecie) i pierwszym jego użyciu przez czynność nowego projektu. Natomiast *bufor bębna* (Drum Buffer (DB)) zapewnia, że zasoby należące do bębna są zajęte przez projekty w czasie wyznaczonym do ich realizacji.

4.2. Nowy projekt o wyższym wskaźniku priorytetu

Nowy projekt powinien być wprowadzony do harmonogramu *bębna* przy założeniu, że rozpocznie się on tak szybko, jak jest to możliwe, co wynika z CC tego projektu. Powinien on być jednak umieszczony powyżej harmonogramu *bębna* (rys. 4.2a).

Wszystkie projekty o wskaźniku priorytetu niższym od priorytetu nowego projektu powinny zostać przeniesione powyżej harmonogramu *bębna*. Następnie ponownie ustala się harmonogram wszystkich projektów zaczynając od projektu o wyższym priorytecie.



Rys. 4.2. Wdrożenie projektu o wyższym wskaźniku priorytetu

Fig. 4.2. Implementing a new project of higher priority rule

Na rysunku 4.2b nowy projekt wywiera wpływ na harmonogram *bębna* powodując opóźnienie realizacji drugiej czynności czwartego projektu.

4.3. Metodologia

Zakłada się, że istnieją zależności pomiędzy czynnościami nowego projektu. Powinny one zostać wykonane w przedziałach czasu wyznaczonych przez CC tego projektu.

Oznaczenia:

$s_r^{p,a}$ – start time w harmonogramowaniu w przód a-tej czynności p-tego projektu na r-tym zasobie,

$e_r^{p,a}$ – end time w harmonogramowaniu w przód a-tej czynności p-tego projektu na r-tym zasobie,

$s^{np,a}$ – start time w harmonogramowaniu w przód a-tej czynności np-tego (nowego) projektu,

$b^{np,a}$ – end time w harmonogramowaniu w tył a-tej czynności np-tego (nowego) projektu,

$r = 1, 2, 3, \dots, R$ – liczba zasobów,

$p = 1, 2, 3, \dots, P$ – liczba wcześniej przyjętych do realizacji projektów,

$np = P+1$ – numer nowego projektu,

$\Delta l_{r,t}^a$ – przedział niezajętości r-tego zasobu dla realizacji a-tej czynności,

$$V_{r,t}^a = [l_{r,1}^a, l_{r,2}^a, \dots, l_{r,n}^a, l_{r,N^a}^a]$$

$V_{r,t}^a$ – wektor zajętości r-tego zasobu dla realizacji a-tej czynności w $l_{r,t}^a$ momencie,

Dla każdego zasobu należącego do bębna wymiar wektora $V_{r,t}^a$ jest równy N^a , gdzie:

$$N^a = b^{np,a} - s^{np,a}$$

$a = 1, 2, \dots, A$ – jest liczbą czynności nowego projektu.

Dwa warunki, których spełnienie zapewnia realizację nowego projektu na czas, przy użyciu dostępnych zasobów, są następujące:

$$\forall a \in \{1, 2, \dots, A\}, \exists r \in R, \exists t_r^a \in \{s^{np,a}, \dots, b^{np,a}\}, l_{r,t_r^a}^a = 0, \quad (1)$$

$$\exists m_r^a \in \{s^{np,a}, \dots, s^{np,a} + \Delta l_{r,t}^a\}, \forall t_r^a \in \{m_r^a, \dots, m_r^a + \Delta^{np,a}\}, l_{r,t_r^a}^a = 0, \quad (2)$$

gdzie:

$$l_{r,t}^a = \begin{cases} 0, & \text{jeśli zasób } r\text{-ty jest wolny,} \\ 1, & \text{jeśli zasób } r\text{-ty jest zajęty,} \end{cases}$$

$l_{r,t}^a$ – element wektora $V_{r,t}^a$

$$l_{r,t}^a \in \{s^{np,a}, s^{np,a} + 1, s^{np,a} + 2, \dots, s^{np,a} + N^a\}$$

$\Delta_r^{np,a}$ – czas trwania czynności nowego projektu na r-tym zasobie: $e^{np,a} - s^{np,a} = \Delta^{np,a}$.

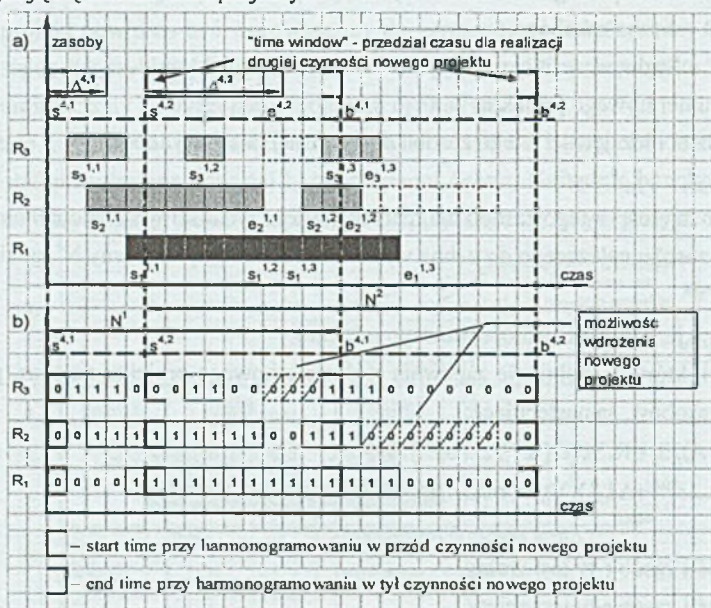
Warunek (1) zapewnia, że istnieje przedział czasu na r-tym zasobie (gdy r-ty zasób jest nieobciążony). Warunek (2) mówi, że ów przedział czasu jest nie mniejszy od czasu realizacji czynności nowego projektu na tym zasobie. Zapewnia to możliwość realizacji nowego projektu na zasobach należących do bębna. Następnie należy przeprowadzić harmonogramowanie zasobów nie należących do bębna, na których powinien być realizowany nowy projekt.

4.4. Przykład ilustrujący

Rozważmy organizację, która posiada 3 zasoby należące do bębna (R1, R2 i R3), na którym są już realizowane projekty. Nowy projekt P4 oczekuje na akceptację. Na wykresie Gantta (rys. 4.3a) czynności nowego projektu z terminami granicznymi ich rozpoczęcia i zakończenia wynikającymi z CC nowego projektu zostały zaznaczone. Pod linią

przedstawiona jest zajętość *bębna* przez wcześniej zaplanowane projekty. Rysunek 4.3b przedstawia metodę alternatywnego zapisu zajętości zasobów.

Głównym celem nowej metody zapisu zajętości zasobu jest sprawdzenie możliwości wdrożenia nowego projektu do realizacji jedynie na podstawie porównania wektorów zajętości zasobów w przedziale wyznaczonym poprzez CC nowego projektu. Zajętość każdego zasobu powinna być rozważana jedynie w granicach wektora $V_{r,t}^a$ od momentu, w którym znajdują się realizowane projekty.



Rys. 4.3. Metoda alternatywnego zapisu zajętości zasobów; dla $a=1$ $s_{4,1}=0$, $b_{4,1}=15$, dla $a=2$ $s_{4,2}=5$, $b_{4,2}=25$, $\Delta_{4,1}=3-0=3$, $\Delta_{4,2}=12-5=7$

Fig. 4.3. The alternative method of resource occupancy notation; for $a=1$ $s_{4,1}=0$, $b_{4,1}=15$, for $a=2$ $s_{4,2}=5$, $b_{4,2}=25$, $\Delta_{4,1}=3-0=3$, $\Delta_{4,2}=12-5=7$

5. Programowanie z ograniczeniami

Problemy harmonogramowania prawie zawsze należą do grupy problemów NP-trudnych, dla których nie istnieje żaden algorytm optymalnego, ich rozwiązania. Są często rozwiązywane przy użyciu heurystyki, tj. procedury skupiającej się na znalezieniu rozwiązania dopuszczającego w określonym przedziale czasu.

Deklaracyjny charakter programowania z ograniczeniami (CP) ułatwia modelowanie kombinatorycznych rzeczywistych problemów. W badaniach operacyjnych ograniczenia wiążą wszystkie zmienne. W programowaniu z ograniczeniami problem jest modelowany za pomocą zbioru ograniczeń wiążącego małe zbiory zmiennych, znacznie mniejszych od zbioru wszystkich zmiennych problemu. Celem propagacji ograniczeń jest osiągnięcie pewnego poziomu *konsekwencji* w sieci ograniczeń i zmiennych przez usunięcie z dziedziny wartości

niekonsekwentnych. Harmonogramowanie oparte na ograniczeniach rozwiązuje przydział operacji do zasobów przez zastosowanie technik satysfakcji ograniczeń. W sytuacji, gdy dziedziny zmiennych są skończone, problem może być modelowany jako problem satysfakcji ograniczeń (ang. constraint satisfaction problem CSP).

5.1. Algorytm

Do zamodelowania problemu jako CSP zasoby, projekty i relacje między nimi powinny być zdefiniowane jako zmienne i ograniczenia. Jedno z podstawowych technik modelowania używa 3 zmiennych dla zidentyfikowania czynności w czasie: czas rozpoczęcia czynności, czas zakończenia czynności i czas jej trwania (the start time, the end time, and the processing time). Jeśli czynności nowego projektu są oznaczone poprzez „a”, zmienne mogą być zapisane jako $start(a)$, $end(a)$, and $p(a)$. Zakłada się, że dziedziny tych zmiennych są dyskretne (liczby naturalne). Czas rozpoczęcia i zakończenia całego projektu oraz relacje kolejności pomiędzy czynnościami wyznaczają granice (przedziały czasu), w których czynności powinny zostać zrealizowane.

Oznaczenia:

$start(a) - s^{np,a}$ – start time w harmonogramowaniu w przed a-tej czynności np-tego (nowego) projektu,

$end(a) - b^{np,a}$ – end time w harmonogramowaniu w tył a-tej czynności np-tego (nowego) projektu,

$p(a) - \Delta_r^{np,a}$ – czas trwania czynności nowego projektu na r-tym (powiększony o CCB w przypadku pierwszej czynności nowego projektu).

Jeśli za zmienną $l_{r,t}^a$, która jest elementem wektora $V_{r,t}^a$, podstawimy j_j , wtedy:

$i = [start(a), start(a)+1, \dots, end(a)]$.

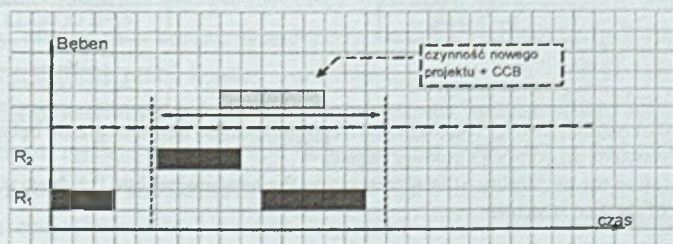
Poszukuje się przedziałów czasu, w których bęben jest nieobciążony, a zatem warunek (1) można zapisać jako:

$$j_j \neq 1, \quad (3)$$

warunek (2) można przedstawić jako:

$$\bigvee_{i=m}^{m+p(a)} j_i = 0 \quad (4)$$

Przykład:



Rys. 5.1. Przykładowy harmonogram zajętości bębna

Fig. 5.1. An example of a drum schedule

start(a)=6 (j₆) end(a)=16(j₁₆) p(a)=5

dR₁ = [j₆, j₇, j₈, ..., j₁₆] dR₁ = [0,0,0,0,0,1,1,1,1,1,0]

dR₂ = [j₆, j₇, j₈, ..., j₁₆] dR₂ = [1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0],

gdzie dR₁, dR₂ - dziedziny R₁ i R₂.

W celu przedstawienia możliwości wdrożenia nowego projektu do realizacji na zasobie będącym *bębem* w środowisku wieloprojektowym zastosowano metodę backtrackingu. Jest to metoda przeszukiwania często używana do rozwiązywania problemów o strukturze *drzewa*. Celem backtrackingu jest znalezienie jednej *ścieżki* będącej pierwszym rozwiązaniem postawionego problemu w *drzewie* lub znalezienie wszystkich *ścieżek* (rozwiązań problemu).

Warunek (1) można zapisać jako:

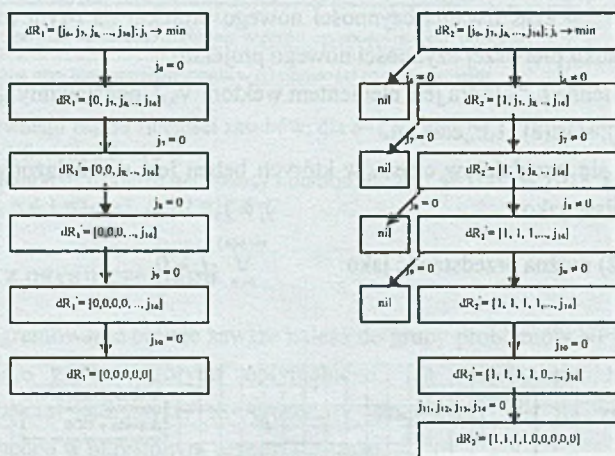
$j_6, j_7, j_8, \dots, j_{16} \neq 1$

$dR_1 = [j_6, j_7, j_8, j_9, j_{10}, j_{16}]$

$dR_2 = [j_{10}, j_{11}, j_{12}, j_{13}, j_{14}, j_{15}, j_{16}]$

nil – oznacza, że warunek nie jest spełniony.

Harmonogramowanie w oparciu o ograniczenia stwarza ramy do rozwiązywania problemów harmonogramowania. Jego podstawowe zalety to jasność i ogólność utworzonych modeli. Poza tym dostarcza ogólnych technik satysfakcji ograniczeń, które następnie mogą zostać wykorzystane między innymi do rozwiązania problemów harmonogramowania przy użyciu specjalnych algorytmów filtrujących i strategii harmonogramowania.



Rys. 5.2. Sprawdzenie możliwości wdrożenia nowego projektu do harmonogramu bębna przedstawione za pomocą struktury drzewa

Fig. 5.2. Verification the possibility of implementation the new project into the drum schedule on the basis of the tree structure

6. Wnioski

CC dla pojedynczego projektu nie jest na ogół jedynym ograniczeniem dla przedsiębiorstwa zajmującego się współbieżną realizacją projektów. Konieczne jest zidentyfikowanie ograniczenia wpływającego na wydajność środowiska wieloprojektowego, a następnie wykorzystanie go do synchronizacji harmonogramowana wszystkich projektów. W środowisku wieloprojektowym ograniczeniem jest *bęben* i powinien być wyznaczony przed przystąpieniem do harmonogramowania, a wszystkie projekty na nim realizowane muszą posiadać przydzielone wskaźniki priorytetu, które określają kolejność ich realizacji. CC indywidualnych projektów są podporządkowane czasem czynności realizowanych na zasobie krytycznym i definiują termin rozpoczęcia i zakończenia projektu.

Literatura

1. Goldratt E.M., Cox J., *Cel. Doskonałość w produkcji*, Werbel, Warszawa 2000.
2. Goldratt E.M., Cox J., *Łańcuch krytyczny*, Werbel, Warszawa 2000.
3. Leach L.P., *Critical Chain Project Management*, Artech House, Norwood 2000.
4. NcMullen T.B., Newbold R.C., *Project Management in the Fast Lane. Applying the Theory of Constraints*, St.Luice Press, 2000.
5. Rand G.K., *Critical Chain: the theory of constraints applied to project management*, International Journal of Project Management 18, 2000.
6. Skołud B., Zientek S., *Project Management – TOC Approach*, Automation 2003, pp 177-184.

Abstract

The diversification of customer demands has significantly increased the industrial competition requiring products variety. Such problem is observed mainly in companies characterised by multi-tasking, production planning based on customer orders and the fact that both product lead-time and product price are subjects of negotiation with the customer. Consequently, allocation of resources and their capacities in order to keep the time regime is one of the most difficult tasks. In other words, the main task is to set up the activities schedule in a given system determined by the resources availability in time. Being competitive involves the organisational method of production flow, and time at which the method is being chosen and applied. Enterprises should react to potential client expectations as soon as it is possible, and they are characterised by activities connected with unique batch production of small production series, which are never repeated once they are finished. This situation causes that the small batch production in small and medium enterprises (SME) is managed by adopting rules similar to those involved in the project management called project driven management.

The function of project management includes defining requirements of work, allocating work to resources, planning and executing. In practice, especially in the multi-project environment, resources have often limited availability. Planning of large projects is a difficult, common and important problem of modern enterprises. Well known network planning techniques such as PERT (Program Evaluation and Review Technique) and CPM (Critical Path Method) make it possible to find minimum duration of projects assuming that various resources required for project completion are not the constraining factor. In practice, however, project completion requires using various resources, which limited availability influences time estimations and scheduling problems. The inability to deal with real life project scheduling problems such as late completion, over spending, cutting specifications of a project calls for permanent analysis and new methods application. One of them is Theory of Constraints (TOC) assuming that Critical Path (CP) should be extended to Critical Chain (CC) of activities using scarce resources. In the multi-project situation CC scheduling should be extended of drum resource scheduling, which constraints the multi-project environment and limits a greater number of projects. The company constraint resource becomes the drum for multi-project scheduling and it establishes the rhythm and determines sequencing of all projects utilising the drum resource. The important resource allocation problem is the resource-constrained project-scheduling problem, which involves scheduling of a project to minimise its total duration. Computing a schedule that respects constraints and objectives of a given scheduling problem is *combinatorial task*: many alternatives need to be explored; many decisions need to be made and undone before a feasible schedule can be found. In fact, in most cases scheduling problems belong to the NP-complete class. Constraint programming (CP) supports the natural modelling of real-life combinatorial problems via specialised constraints, where the problem is modelled by using a set of constrains binding small sets of variables, which are much smaller than the set of all variables in the problem. The aim of constraint propagation is to achieve some level of consistency in the network of constraints and variables by removing inconsistent values form the variables domain. Constraint-based scheduling is an approach for solving scheduling problems using constraints satisfaction technique and can be modelled by using a set of variables, their domains, and constraints describing feasible combination of variables values. The paper deals with the problem of new projects acceptance into the multi project environment, where constraints are limiting the number of projects that a company is able to carry out concurrently. The objective of this paper is to answer the question: Is it possible to execute new project on time in the multi-project environment? For answering the question combination of Theory of Constraints and conditions guaranteeing project due dates with constraint-based scheduling are proposed. As a result the decision of the project implementation and the schedule of project activities, which the company is able to implement concurrently are obtained.