Tomasz SZAPIRO

DWUREFERENCYJNE WSPOMAGANIE DECYZJI MENEDŻERSKICH

1. Proces decyzyjny

Decyzje podejmowane w działalności menedżerskiej są kulminacją złożonego procesu obejmującego wyszukiwanie danych, szczegółowe formułowanie problemu, przetwarzanie danych, opracowanie wyników tego przetwarzania, wnioskowanie i decydowanie, wreszcie komunikowanie i wdrażanie decyzji. Wszelkie okoliczności (dotyczące ludzi, warunków ekonomicznych i społecznych itp.), w których przebiega ten proces, to *sytuacja decyzyjna*. Wybrane elementy sytuacji decyzyjnej (decydent, warunki opisujące dopuszczalność wariantów decyzji, reguła wyboru pomiędzy nimi decyzji ostatecznej) to *struktura problemu*. Rozważamy sytuacje, w których problem decyzyjny można reprezentować jako zagadnienie wyboru spomiędzy zbioru dopuszczalnych wariantów działania (tzw. zbioru *decyzji dopuszczalnych*) o różnych skutkach (ocenach) odczuwanych przez odpowiedzialnego za to działanie niezależnie podejmującego decyzje menedżera[1].

Warunki sztywne (niezależne od decydenta) ograniczają zbiór rozważanych wariantów, o wyborze zaś przesądza analiza skutków tych wariantów, które bada się, porównując poziomy realizacji celu ze względu na dane kryterium oceny jakości. Cele cząstkowe są konfliktowe, gdy przy wyborze spośród dwóch decyzji otrzymujemy dla dwóch kryteriów różne wyniki (np. spodziewane zyski i wysokość inwestycji jako kryteria oceny projektu są zwykle konfliktowe).

Gdy cele są konfliktowe, wtedy w ocenie decyzji posługuje się *punktami odniesienia* (na przykład opcja zerowa, punkt idealny i antyidealny – odpo-

[1] Wyróżnia się trzy typy ról decydenta [10]. Niezależne podejmowanie decyzji związane jest z odpowiedzialnością za decyzje i władzą pozwalającą je wdrożyć. *Sekwencyjne współzależne podejmowanie decyzji* występuje, gdy decydent podejmuje jedynie decyzje cząstkowe, których skutki przekazywane są dalej. *Decydowanie współzależne* występuje w sytuacjach wymagających negocjacji i interakcji uczestników. Mówimy tu o pierwszej z tych ról.

wiadające najwyższym i najniższym ocenom), porównaj na przykład [1], [4], [6]. Ponieważ kryteria są konfliktowe, więc decyzje o idealnych ocenach nie są dopuszczalne. Gdy ponadto i opcja zerowa nie satysfakcjonuje decydenta, wtedy zmierza on ku rozwiązaniom możliwie bliskim idealnym, uciekając od antyidealnych. Punkty odniesienia tworzy się też na użytek danego problemu (między innymi jako opinie ekspertów).

Proces decyzyjny powtarza do skutku trzy kroki: rozpoznanie i opis sytuacji decyzyjnej, wyznaczenie rozwiązania, analizę tego rozwiązania skutkującą w jego odrzuceniu lub akceptacji (por. [13]). Proces ten obejmuje wymianę elementów struktury (dołączenie dodatkowych wariantów, kryteriów oceny itp.) i polega na uczeniu się – na zdobywaniu i przetwarzaniu informacji o sytuacji decyzyjnej, o metodach rozwiązań, o swoich nieuświadamianych preferencjach [7], [15], [16].

2. Decydowanie w firmie

Podejmowanie decyzji[2] jest działalnością występującą na wszystkich szczeblach zarządzania, często utożsamianą z zarządzaniem. Decyzje menedżerskie zapadają na podstawie danych postaci skondensowanej w formie globalnych lub wycinkowych jakościowych ocen (o statusie i zagrożeniach przedsięwzięć, o jego planach i o sprawności przedsiębiorstwa itp.). Problemów menedżerskich nie charakteryzuje jednolita, sztywna struktura ani powtarzalność, co nie pozwala określać algorytmów tworzenia wariantów postępowania. Ważniejsze trudności, z którymi mają do czynienia menedżerowie, to wysoka złożoność, częściowa (losowa) znajomość parametrów, niedokładnie sprecyzowane cele, ich wielokryterialność. W efekcie prowadzona jest – często nieukierunkowana – analiza decyzyjna sprowadzająca się do manipulowania zasobami informacyjnymi. W jej trakcie[3] informacje dotyczące kontekstu decyzji są odrzucane lub stopniowo redukowane przez odpowiednie obniżanie poziomów aspiracji (czyli progowych wielkości, których osiągnięcie satysfakcjonuje decydenta). W miarę analizy następuje tworzenie takich układów cech, które stają się nowymi charakterystykami wariantów decyzji i wraz z odpowiadającymi im warunkami ograniczającymi, tworzą nową strukturę problemu.

---

[2] Wyróżnia się trzy typy decyzji menedżerskich: *decyzje podejmowane automatycznie* (*decyzje programowalne*) na podstawie niekontrolowanego świadomie wnioskowania wykorzystującego doświadczenie i wiedzę, *decyzje konstruowane* (podejmowane w wyniku jednorazowego procesu myślowego wywołanego przez konieczność działania), oraz opisane wyżej wyniki *wyboru* spośród wielu wariantów decyzji.

[3] Wyróżnia się tu etapy: rozpoznania celu, wyodrębnienia zbioru działań, przyporządkowania charakterystyk działaniom cząstkowym, wybór i opis charakterystyk odpowiadających realizacji celu, określenie reguły wyboru.

W tej sytuacji trudno mieć nadzieje na sformalizowanie problemu decyzyjnego pozwalające na kompleksowe zastosowanie metod matematycznych (por. [1], [2], [9]) i automatyzacje (skomputeryzowanie) tych decyzji. Jednak w zadaniu zniwelowania różnicy między opcją zerową i rozwiązaniem idealnym decydenta można wspomagać na różnych etapach[4]. Wprawdzie do rzadkości należą systemy wspomagające analizę przeddecyzyjną (rozpoznania sytuacji decyzyjnej i budowy modelu tej sytuacji), istnieje wszelako wiele metod wsparcia właściwej analizy decyzyjnej (na etapie edycji modelu, w wyznaczaniu rozwiązania oraz przy jego interpretacji; por. np. [3], [8], [11]).

Barierami w stosowaniu wspomagania komputerowego jest niedokładność w wykorzystaniu informacji o wielkościach mierzalnych pośrednio opisujących na przykład preferencje podejmującego decyzje[5]. Informacje te uchwycone w postaci użyteczności, współczynników wymiany (ang. *trade-offs*) czy wag kryteriów są trudne do pozyskania i interpretacji, a w dodatku wpływają na decyzje w niekontrolowany przez decydenta sposób (por. np. [16]).

Wspomniane trudności ominięto w dużym zakresie w dwureferencyjnej procedurze interaktywnego wyznaczania rozwiązań w problemach wielokryterialnych, która została wprowadzona w kolejnych wersjach [5] i [6] oraz omówiona szerzej w [11].

3. Procedura dwureferencyjna ([6], [13])

Procedura dwureferencyjna[6] pozwala ujawnić użytkownikowi swoje preferencje przez odpowiedź typu „tak-nie" bez konieczności ilościowego mierzenia substytucji między kryteriami oceny, wyznaczania wag itp. Umożliwia wspomaganie dynamicznych procesów decyzyjnych ze zmienną liczbą porównywanych wariantów decyzji, dopuszczając uczenie się metodą prób i błędów. Decyzja jest

[4] Do klasycznych narzędzi i metod należą: arkusze danych, arkusze identyfikacji problemu, karty procesów, skomputeryzowane systemy ewidencjonowania i przetwarzania danych tranzakcyjnych i in.

[5] Potrzeby informacyjne dzielimy zwykle na: informacje o *wielkościach mierzalnych bezpośrednio*, do których należą na przykład wielkości fizyczne i kalkulacyjne (koszty, ceny, stopy kredytowe itp.) oraz informacje o *wielkościach mierzalych pośrednio* (preferencje decydenta, niepewność itp.). W analizie korzystającej z metod matematycznych ten drugi typ informacji musi być pozyskiwany w formie liczbowej.

[6] Omawiana procedura jest przykładem interaktywnego modelowania procesu decyzyjnego. Modele intereaktywne różnią się w opisie sytuacji decyzyjnych (problemy dyskretne lub ciągłe, z wypukłymi lub liniowymi funkcjami celu i ograniczeniami) oraz w reprezentacji ujawnianych przez decydenta preferencji (korzysta się z porównań par alternatyw, użyteczności współczynników wymiany, definiuje interpretowalne współczynniki; por. [13]).

skutkiem kolejnych modyfikacji modelu analizowanej sytuacji. Ocena otrzymanych rozwiązań steruje korektami modelu.

Modelem sytuacji decyzyjnej wspomaganej za pomocą procedury dwureferencyjnej jest zadanie maksymalizacji wektorowej funkcji celu $\mathbf{f}: \mathbf{X} \to \mathbf{R}$, $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{C}\mathbf{x}$, $\mathbf{C} \in \mathbf{M}\ (m \times n)$, na zbiorze decyzji dopuszczalnych postaci

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{x} \in \mathbf{R}^k \mid \mathbf{A}\mathbf{x} \leq \mathbf{b}\},\ \mathbf{b} = [b^1, \ldots, b^k] \in \mathbf{R},\ \mathbf{A} \in \mathbf{M}\ (k \times n).$$

Mówimy, że decyzja $\mathbf{x}'$ jest preferowana (spośród decyzji $\mathbf{x}'$ i $\mathbf{x}''$), jeśli ocena $f(\mathbf{x}')$ dominuje ocenę $f(\mathbf{x}'')$. Problemem wielokryterialnego programowania liniowego zadawanym przez trójkę $\langle \mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{C} \rangle$ nazywamy zadanie wyznaczenia zbioru $\mathbf{Y}$ decyzji sprawnych[7], tj. takich, których oceny nie są zdominowane przez oceny dopuszczalne. Zbiór $\mathbf{Y}$ zawiera zwykle wiele elementów. Procedura dwureferencyjna pozwala wybrać z $\mathbf{Y}$ ocenę ostateczną.

Punktem wyjściowym w problemie zadawanym przez $\langle \mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{C} \rangle$ jest początkowy wektor najgorszych ocen $\mathbf{y}_w(0) \in \mathbf{R}^m$, wprowadzany przez podejmującego decyzje oraz wektor $\boldsymbol{\varepsilon} \in \mathbf{R}$ współczynników tolerancji[8].

W r-tej iteracji, $r \geq 1$, danymi są początkowy wektor $\mathbf{y}_w(0)$ oraz rozwiązanie próbne $\mathbf{y}_T(r-1)$ z poprzedniej iteracji (dla $r = 1$ rolę rozwiązania próbnego $\mathbf{y}_T(0)$ pełni punkt idealny[9] $\mathbf{y}_U$ zbioru $\mathbf{Y}$; $\mathbf{y}_T(0) = \mathbf{y}_U$). Rozwiązanie próbne $\mathbf{y}_T(r-1)$ komunikowane jest podejmującemu decyzje, który ocenia rozwiązanie próbne, orzekając, które z poziomów realizacji jego cząstkowych celów (reprezentowanych przez składowe $\mathbf{y}_T^j(r-1)$ wektora $\mathbf{y}_T(r-1)$) pragnie poprawić, które satysfakcjonują go i które mogą ulec pogorszeniu. Niech $I^+(r)$, $I^0(r)$ oraz $I^-(r)$ będą zbiorami indeksów tych kryteriów, ze względu na które oceny składowych rozwiązania próbnego $\mathbf{y}_T(r-1)$ w następnej iteracji należy poprawić, utrzymać lub można obniżyć. Podział $\{I^+(r), I^0(r), I^-(r)\}$ zbioru kryteriów w r-tej iteracji oznaczamy symbolem π_r.

Zgodnie z tą informacją (mierzącą zmiany w preferencjach) modyfikowana jest struktura wyjściowego problemu: zmieniony zostaje zbiór ocen dopuszczalnych, przemieszczone – wektor najgorszych ocen i punkt idealny. Zbiór

$$\mathbf{Y}_r = \left\{ \mathbf{y} \in \mathbf{Y} \middle| \bigvee_{j \in I^0(r)} y^j = y_T^j(r-1) \wedge \bigvee_{j \in I^+(r)} y^j \geq y_T^j(r-1) \right\}$$

nazywamy zbiorem ocen dopuszczalnych w r-tej iteracji. Przez $\mathbf{y}_U(r)$ oznaczamy punkt idealny zbioru $\mathbf{Y}_r$.

---

[7] Por. między innymi w [1] i [9].

[8] Współczynniki tolerancji odpowiadają progom, bez przekroczenia których różnice odpowiednich składowych dwóch wektorów ocen nie są postrzegane jako istotne.

[9] Składowe punktu idealnego $\mathbf{y}_U = [y_U^1, \ldots, y_U^m]$ zbioru $\mathbf{Y}$ dane są wzorem
$y_U^j = \max\{y^j \mid [y^1, \ldots, y^m] \in \mathbf{Y}\}$ dla $j \in \{1, \ldots, m\}$.

Zauważmy, że dla $i \in I^+(r)$ poziomy realizacji celów mają zostać poprawione, więc dla nich poziom najgorszych oczekiwań wyznaczają składowe rozwiązania próbnego: $y_W^j(r) = y_T^j(r-1)$. Dla $i \in I^0(r)$ poziomy realizacji celów w iteracji r pozostają niezmienione: $y_W^j(r) = y_T^j(r-1)$. Dla $i \in I^-(r)$ poziomy realizacji celów będą mogły być niższe – nie niższe jednak niż zakładano w chwili początkowej: $y_W^j(r) = y_T^j(0)$. Zatem składowe $y_W^j(r)$ wektora $\mathbf{y}_W(r)$ najgorszych ocen w r-tej iteracji dane są wzorem:

$$y_W^j(r) = \begin{cases} y_T^j(r-1) & \text{dla } j \in I^+(r) \cup I^0(r), \\ y_T^j(0) & \text{dla } j \in I^-(r). \end{cases}$$

Przy założeniu, że $\mathbf{y}_W(r)$ jest dopuszczalny, w każdej iteracji r, w celu poprawienia oceny $\mathbf{y}_W(r)$ wyznacza się iteracyjnie ocenę dopuszczalną dominującą dopuszczalny wektor najgorszych ocen, wykorzystując wektor

$$\mathbf{d}(r) = \mathbf{y}_U(r) - \mathbf{y}_W(r)$$

jako kierunek poprawy. Gdy otrzymane punkty nie są niezdominowane, wtedy następne kierunki poprawy otrzymujemy przez rzutowanie kierunku $\mathbf{d}(r)$ na ścianę zbioru ocen dopuszczalnych. W ten sposób otrzymujemy niezdominowane w $\mathbf{Y}$ rozwiązanie próbne w r-tej iteracji $\mathbf{y}_T(r)$.

Procedura zostaje zatrzymana albo przez podejmującego decyzje, albo gdy dwa kolejne rozwiązania są dla niego nierozróżnialne: tzn. jeżeli

$$\bigvee_{j \in \{1,\ldots,m\}} \left| y_T^j(r) - y_T^j(r-1) \right| < \varepsilon',$$

to $\mathbf{y}_T(r)$ jest ostatecznym rozwiązaniem problemu. Istnienie rozwiązań próbnych oraz inne własności procedury dwureferencyjnej wykazano w cytowanych wyżej pracach. Zbieżność procedury dwureferencyjnej zależy od dwóch czynników: od formalnej struktury problemu (czyli od obiektów $\langle \mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{C} \rangle$ charakteryzujących sytuację decyzyjną) oraz od zmian preferencji podejmującego decyzje.

Okazuje się, że można sformułować jednolity formalizm tzw. uogólnionych protokołów procesu decyzyjnego, który pozwala badać oba aspekty (por. [12]). Okazuje się, że każdy proces podejmowania decyzji jest quasi-cykliczny, tzn. musi powtarzać pewne sekwencje ocen chwilowych, co tłumaczy obserwowanie zjawiska odwróceń preferencji. Można tez opisać formalne wymogi, by proces decyzyjny był zbliżający lub progresywny, skąd wynika już jego zbieżność. Dla procesów cyklicznych zbieżność procedury związana jest bezpośrednio ze zbieżnością cykli.

Mimo że operujemy modelem matematycznym, cały schemat dokładnie odpowiada ogólnemu mechanizmowi procesów decyzyjnych opisanych na początku tekstu, pozwala w pewnym stopniu tłumaczyć zjawiska behawioralne. Okazuje sie, że dopuszcza również wsparcie mikrokomputerowe.

4. System wspomagania

W ramach prac finansowanych przez Komitet Badań Naukowych ([14]) opracowany został prototypowy system wspomagania indywidualnych decyzji bazujący na procedurze dwureferencyjnej.

Funkcje systemu o architekturze skorupowej wyznaczają następujące moduły: Edytor, Konwerter, Egzekutor (wraz z Solverami), Rekonwerter i Arbiter.

Edytor pozwala w trybie dialogowym zapisać jako plik tekstowy macierze **A** i **C**, wektory **b**, $\mathbf{y}_W(0)$ i ε, oraz zbiory $I^+(r)$, $I^0(r)$ i $I^-(r)$. Ponadto Edytor pozwala zapisywać i wczytywać (częściowe) wyniki pracy. W Edytorze wreszcie określany jest typ Solvera (i odpowiedniego Konwertera) do wyznaczania rozwiązania przez moduł Egzekutora.

Konwerter przetwarza pliki Edytora do formatu Solvera zdefiniowanego w Edytorze przez użytkownika systemu i wykorzystywanego przez moduł Egzekutora.

Egzekutor jest modułem wyznaczającym rozwiązania próbne $\mathbf{y}_T(r)$. W tym celu wielokrotnie dokonuje przemieszczeń wektora najgorszych ocen $\mathbf{y}_W(r)$, rozwiązuje się zadanie programowania liniowego (korzystając z Solvera), aby wyznaczyć punkty idealne $\mathbf{y}_U(r)$ zbiorów $\mathbf{Y}_r$, wyznacza kierunki poprawy $\mathbf{d}(r)= \mathbf{y}_U(r) - \mathbf{y}_W(r)$, testuje dominacje pomocniczych rozwiązań próbnych i w razie konieczności wyznacza rzuty kierunków poprawy i ostateczne rozwiązania próbne w danej iteracji. Do rozwiązywania zadań programowania liniowego system korzysta z własnego programu Solvera opracowanego do tego celu. Możliwe jest też korzystanie z oprogramowania komercyjnego.

Rekonwerter przywraca plikom wynikowym Solvera format Edytora, którym operuje Arbiter. Arbiter jest modułem testującym kolejne rozwiązania próbne i automatycznie zatrzymującym procedurę, gdy nie powstają nietolerowane różnice, lub zapisującym wynik interaktywnej oceny jako plik wykorzystywany przez Edytor w następnej iteracji.

Uwagi końcowe

Procedura dwureferencyjna jest metodą decyzyjną, która łączy elastyczność w strukturyzacji sytuacji decyzyjnej z rygorem ścisłości wymaganym przez podejście zmatematyzowane, a przez to dopuszcza skomputeryzowane przetwarzanie danych. Z tego powodu istnieje wiele wskazań pozwalających ją rekomendować do implementancji w problemach zarządzania. Skomputeryzowane przetwarzanie danych pozwala efektywniej wykorzystywać informacje: nawet w wypadku

zasobów informacji o skomplikowanej strukturze możliwe jest natychmiastowe budowanie wycinkowych zestawień o danych cechach.

Ograniczeniem tej metody jest możliwość liczbowego scharakteryzowania wariantów decyzji. Jednakże literatura przedmiotu opisuje bogaty zasób realistycznych sytuacji, gdzie opis taki jest zasadny. Zwykle wielokryterialność ocen wariantów decyzji rozważanych w tych sytuacjach jest czynnikiem komplikującym nadmiernie (z punktu widzenia użytkownika) proponowane dotąd metody optymalizacyjne. Procedura dwureferencyjna również umożliwia wspomaganie w tych wypadkach, przy czym wielokryterialność ocen sprowadza wyłącznie do odpowiedzi użytkownika na pytanie, czy z określonych przezeń punktów widzenia proponowane rozwiązanie go satysfakcjonuje, czy chce je poprawić czy też dopuszcza jego pogorszenie. Przez podanie tej informacji użytkownik steruje zmianami całej struktury: od zbioru dopuszczalnych ocen, przez punkty idealne po wektory najgorszych ocen. Korzystanie ze zmiennego opisu problemu i podwójnego układu punktów referencyjnych, pozwala zmniejszyć przypadkowe zaburzenia procesu decyzyjnego.

Procedura dwureferencyjna pozwala skutecznie wspomagać ten etap podejmowania decyzji, gdzie dokonuje się wyboru wariantów decyzji. Włączenie do wspomagania procesu wyszukiwania danych możliwe jest tylko na etapie implementacji tej metody, gdyż zależy od struktur baz danych. System nie wspomaga konstrukcji wariantów decyzji ani definiowania ich opisu. Wspomaganie na etapie formułowania problemu odbywa się przez zapytania dotyczące nazw zmiennych i parametrów ich ograniczeń, brak natomiast wsparcia procesów wnioskowania na podstawie baz wiedzy. Dla projektanta implementującego system pozostawiono zadanie opracowania specyficznych kanałów komunikacji (w tym wprowadzania danych) i wdrażanie decyzji.

Literatura

[1] **Galas Z., Nykowski I., Żółkiewski Z.**, Programowanie wielokryterialne, PWN, Warszawa 1987.

[2] **Krawczyk S.**, Matematyczna analiza sytuacji decyzyjnych, PWE, Warszawa 1990.

[3] **Laritchev O., Nikiforov A. D.**, Analytic Survey of Procedures for Solving Multicriteria Mathematical Programming Problems, w: Toward Interactive and Intelligent Decision Support Systems, **Y. Sawaragi, K. Inoue, H. Nakayama** (eds.), 1987.

[4] **Michałowski W.**, „Use of the Displaced Worst Compromise in Interactive Multiobjective Programming, I. E. E. E. Transactions on System, Man and Cybernetics, t. 18, 1988, nr 3.

[5] **Michałowski W., Szapiro T.**, „Procedure for Worst Outcomes Displacement in Mul-

tiple Criteria Decision Making", Computers and Operations Research, t. 16, 1989, nr 3.

[6] **Michałowski W., Szapiro T.**, „A Bi-Reference Procedure for Interactive Multiple Criteria Programming", Operations Research, t. 40, 1991, nr 1.

[7] **Simon H. A.**, Alternative Visions of Rationality, w: Judgment and Decision Making: An Interdisciplinary Reader, **H. R. Arkes, K. R. Hammond** (eds.), Cambridge University Press, Cambridge 1986.

[8] **Słowiński R.**, Przegląd metod wielokryterialnego programowania liniowego, cz. I i II, Przegląd Statystyczny, t. 31, 1984, nr 1/2 i 3/4.

[9] **Steuer R. E.**, Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application, John Wiley, New York 1986.

[10] **Stewart D. M.**, Praktyka kierowania, PWE, Warszawa 1994.

[11] **Szapiro T.**, Podejście interaktywne we wspomaganiu podejmowania decyzji, Monografie i Opracowania, t. 338, 1991.

[12] **Szapiro T.**, Convergence of the Bi-Reference Procedure in Multiple Criteria Decision Making, Ricerca Operativa, t. 23, 1993, nr 66.

[13] **Szapiro T.**, Co decyduje o decyzji, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993.

[14] **Szapiro T.**, „Prototypowy system interaktywnego wspomagania decydenta w wielokryterialnych problemach decyzyjnych", projekt badawczy nr 1P11003507, Komitet Badań Naukowych, 1994.

[15] von **Winterfeldt D., Edwards W.**, Decision Analysis and Behavioral Research, Cambridge University Press, Cambridge 1986.

[16] **Weber M.**, Availability as an Explanation for Multi-Attribute Splitting Bias, manuscript, 1990.