



Poznań University of Technology
Faculty of Computing and Telecommunications

Doctoral dissertation

Experimental analysis of the properties of
models and decision support methods in
the context of the use of holistic preferences

Michał Wójcik

Supervisor: Miłosz Kadziński, Ph.D., Habil.

Poznań, 2024

Abstract

One of the fundamental challenges that humanity has faced since the beginning of its existence is solving various decision-making problems. They may be considered by individuals or by a group when it is desirable to develop a compromise solution that satisfies many stakeholders. There are various ways to deal with such dilemmas; logical thinking, intuition, expert knowledge, or random factors may have a significant influence on the choices made. Despite taking the time and effort to thoroughly analyze the available options and the consequences of choosing them, sometimes the wrong decisions are made, which may result in unsatisfactory results. The direct cause of such choices may be, for example, a lack of understanding of the essence of the problem, an incorrect perception of the solutions and priorities by the decision-maker, or a poor selection of evaluation criteria. One way to minimize the risk of errors when solving real-world, important dilemmas is to use the methods and practices developed within the Multi-Criteria Decision Aiding (MCDA). It is a field focused on the research, development, and systematization of information that enables effective decision-making, where the decision-maker's preferences reflect their attitude toward many often contradictory evaluation criteria.

The standard approach to the decision problem, commonly used in MCDA, assumes the existence of a set of decision alternatives, also called variants, options, or actions. Each alternative is evaluated based on at least two, often contradictory, criteria. In addition, it is necessary to specify the type of dilemma being considered, which corresponds to the expected recommendations form. There are four most popular types – the choice problem, the solution of which should indicate one or more best or outstanding choices; the ranking problem, for which it is necessary to order the alternatives from the least to the most desirable; the sorting problem, for which the decision-maker expects to assign each of the considered variants to one of many predefined, preferentially-ordered classes; the description problem, which provides information on the consequences of making specific decisions.

The development of MCDA has resulted in numerous studies conducted over the last fifty years on various issues related to decision-making processes. They offer a variety of tools and procedures, the main goal of which is to facilitate the decision-making process and to ensure that the answers obtained are easy to interpret and consistent with the decision-maker's expectations. The developed models and decision support methods create comprehensive solutions that enable a systematic approach to carrying out subsequent steps of the decision-making process, such as determining the type of the considered problem and the expected form of recommendations created, defining a set of possible alternatives and criteria for their evaluation, and determining the way of expressing preferences and the approach to their representation.

Due to the method of obtaining information about the decision maker's beliefs, we can distinguish approaches that directly interfere with the values of parameters and the shape of a given model. This concept of transmitting preference information requires the decision maker to understand how a given decision support procedure works and the meaning of individual parameters, which makes the effective use of this approach demanding and does not guarantee the delivery of high-quality recommendations. For this reason, we can observe the growing popularity of methods and procedures based on indirect preference information, which expresses the decision maker's beliefs about the expected relationships among the considered alternatives that should be reflected in the recommendations received. Approaches adapted to this form of transmitting information fit into the paradigm of preference disaggregation, which assumes that the model representing preferences can be derived based on sample decisions referring to an incomplete subset of the considered alternatives.

This way of expressing preferences enables the decision-maker to articulate their beliefs in an intuitive way that does not require specialist domain knowledge. Moreover, numerous models and methods that allow for processing preferences formulated in such a way prove that this form of decision-maker expression is universal. Additionally, it enables reliable comparison of the predictive potential of approaches that use it. Unfortunately, this significant research issue is frequently overlooked in the scientific literature. In most cases, publications presenting new decision-making procedures indicate only practical applications in which a given method applies, leaving aside the presentation of a comparison with existing, competitive approaches capable of solving the same problems.

Filling this substantial research gap was one of the motivations of this doctoral thesis. For this reason, several studies were conducted, focused on presenting the analyzed decision support models and procedures and highlighting their diversity, primarily in terms of the quality of recommendations provided, the types of problems solved, and the methods used to process preferential information. Existing methods, along with new proposals and adaptations of some decision models and procedures, were analyzed in terms of different properties. Moreover, we introduced several quality measures necessary to conduct an experimental comparative analysis. In addition, the dissertation contains a detailed description of the experiments, enriched with a discussion of the obtained results. Based on this, we developed a set of guidelines for decision analysts to facilitate their work and help select the appropriate decision-making procedure for the considered problem.

The basis of this dissertation is a series of four publications containing a detailed description of the results of the conducted research work. In addition, the doctoral thesis includes a detailed theoretical introduction, indicating the scope and nature of the problems considered and information on the compared models and decision support algorithms. The concepts underlying the experimental comparative analyses performed, such as the accuracy and robustness of recommendation, the expressiveness of the model, and the ability to solve preference learning problems, are also explained. Additionally, each study is thoroughly discussed, starting with an overview of the addressed issue and potential solutions, followed by a presentation of the experimental design, ending with a discussion of the results and conclusions drawn from the analysis.

In the context of reproducing univocal preferences, the research results indicate that methods incorporating the outcomes of stochastic analysis yield the most robust outcomes. Moreover, studies on the robustness of recommendations and the expressiveness of models have confirmed the opposing nature of these two aspects. The results also demonstrate that models reflecting the dependence of decision-maker preferences on inter-criteria interactions are more expressive than those that focus on the non-monotonic nature of preferences. In addition, the results of studies that considered various approaches to the preference learning problem provide evidence that algorithms inspired by nature, such as the genetic algorithm, can perform better than classical approaches based on linear programming techniques. Most importantly, the presented approach, based on an experimental comparison of methods and models, could serve as a valuable complement to publications introducing new decision-support procedures. The results of the analyses themselves allowed for the formulation of guidelines for selecting adequate methods for the considered problems, confirming the research hypothesis of this dissertation.

Streszczenie

Jednym z fundamentalnych wyzwań, towarzyszących ludzkości od początku jej istnienia, jest rozwiązywanie różnorodnych problemów decyzyjnych. Mogą mieć one charakter indywidualny i być rozważane przez jednostki albo grupowe, kiedy pożądanym jest wypracowanie kompromisowego rozwiązania, satysfakcjonującego wielu interesariuszy. Istnieją różnorodne sposoby radzenia sobie z takimi dylematami; zdolność do logicznego myślenia, intuicja, wiedza ekspercka czy czynniki losowe mogą wywierać istotny wpływ na podejmowane wybory. Zdarza się, że pomimo poświęconego czasu i wysiłku na dokładną analizę dostępnych opcji i konsekwencji ich wyboru, podejmowane są błędne decyzje, prowadzące do niezadowalających rezultatów. Bezpośrednią przyczyną takich decyzji może być np. brak zrozumienia istoty problemu, błędne postrzeganie rozważanych rozwiązań i priorytetów przez decydenta czy nieprawidłowy dobór kryteriów oceny. Jednym ze sposobów na zminimalizowanie ryzyka pomyłek podczas rozwiązywania rzeczywistych i istotnych dylematów, jest zastosowanie metod i praktyk wypracowanych w ramach rozwoju Wielokryterialnego Wspomagania Decyzji (WWD). Jest to dziedzina zorientowana na badanie, rozwój i systematyzowanie informacji, które pozwalają na skuteczne rozwiązywanie problemów decyzyjnych, w których preferencje decydenta odzwierciedlają jego stosunek do wielu, często sprzecznych ze sobą, kryteriów oceny.

Standardowe podejście do problemu decyzyjnego, które jest powszechnie wykorzystywane w WWD, zakłada istnienie zbioru wariantów decyzyjnych, nazywanych również alternatywami, opcjami lub akcjami. Każda z alternatyw jest oceniona przy pomocy co najmniej dwóch, często wzajemnie sprzecznych kryteriów. Oprócz tego, konieczne jest określenie rodzaju rozważanego problemu, związanego z oczekiwaną formą rekomendacji. Wyróżnia się cztery najpopularniejsze rodzaje – problem wyboru, którego rozwiązanie powinno wskazywać jedną lub więcej najlepszych albo wyróżniających się alternatyw; problem rankingu, dla którego konieczne jest uporządkowanie alternatyw od najmniej do najbardziej pożądaney; problem sortowania, dla którego decydent oczekuje przypisania każdej z rozważanych alternatyw do jednej z wielu predefiniowanych klas, które są uporządkowane względem preferencji; problem opisu, który dostarcza informacji na temat konsekwencji podjęcia określonych decyzji.

Rozwój dziedziny spowodował, że na przestrzeni ostatnich pięćdziesięciu lat, powstało wiele opracowań podejmujących różne zagadnienia związane z procesami decyzyjnymi. Oferują one różnorodne narzędzia i procedury, których głównym celem jest ułatwienie podejmowania decyzji, a ponadto zagwarantowanie, że otrzymane odpowiedzi będą łatwe w interpretacji oraz spójne z oczekiwaniami decydenta. Opracowane modele i metody wspomagania decyzji tworzą kompleksowe rozwiązania, które umożliwiają systematyczne podejście do przeprowadzenia kolejnych kroków procesu decyzyjnego, takich jak określenie rodzaju rozważanego problemu i oczekiwanej formy utworzonych rekomendacji, zdefiniowanie zbioru możliwych alternatyw i istotnych kryteriów ich ewaluacji oraz określenie sposobu wyrażania preferencji i podejścia do ich reprezentacji.

Ze względu na sposób uzyskiwania informacji na temat przekonań decydenta, możemy wyróżnić podejścia, które mają bezpośrednie przełożenie na wartości parametrów i kształt określonego modelu. Taka koncepcja przekazywania informacji preferencyjnej wymaga od decydenta zrozumienia sposobu działania określonej procedury decyzyjnej i znaczenia poszczególnych parametrów, co sprawia, że skuteczne zastosowanie tego podejścia jest wymagające i nie gwarantuje dostarczenia wysokiej jakości rekomendacji. Z tego powodu, można zaobserwować rosnącą popularność metod i procedur, które bazują na pośredniej informacji preferencyjnej, wyrażającej przekonania decydenta na temat oczekiwanych relacji zachodzących wśród rozważanych alternatyw, które powinny zostać odzwierciedlone w otrzymanych rekomendacjach. Podejścia dostosowane do takiej formy przekazywania informacji o przekonaniach decydenta, wpisują się w paradygmat dezagregacji preferencji, który zakłada, że model reprezentujący preferencje może zostać wywieziony na podstawie przykładowych decyzji, odnoszących się do niekompletnego podzbioru rozważanych alternatyw.

Wyrażone w ten sposób holistyczne preferencje umożliwiają decydentowi wyrażenie swoich przekonań w sposób intuicyjny i niewymagający specjalistycznej wiedzy dziedzinowej. Ponadto, istnienie dużej liczby dostępnych modeli i metod wspomagania decyzji, umożliwiających przetwarzanie tak sformułowanych preferencji dowodzi, że taka forma ekspresji decydenta jest uniwersalna, a ponadto umożliwia wiarygodne porównanie potencjału predykcyjnego wykorzystujących ją podejść. Niestety, to istotne zagadnienie badawcze jest bardzo często pomijane w literaturze naukowej. Publikacje prezentujące nowe procedury decyzyjne zwykle wskazują jedynie na praktyczne zastosowania, w jakich dana metoda została wykorzystana, abstrahując od przedstawienia porównania z istniejącymi, konkurencyjnymi podejściami, zdolnymi do rozwiązywania takich samych problemów.

Uzupełnienie tej istotnej luki badawczej stanowiło jedną z motywacji niniejszej pracy doktorskiej. Aby to umożliwić, przeprowadzono szereg badań, skoncentrowanych na przedstawieniu analizowanych modeli i procedur wspomagania decyzji, a ponadto ukazaniu ich różnorodności, przede wszystkim ze względu na jakość dostarczanych rekomendacji, rodzaj rozwiązywanych problemów i sposób wykorzystywania informacji preferencyjnej. Istniejące metody wraz z nowymi propozycjami i adaptacjami niektórych modeli i procedur decyzyjnych, zostały przeanalizowane pod kątem różnorodnych właściwości. Zaproponowano również szereg miar jakości, które zostały wykorzystane do przeprowadzenia eksperymentalnej analizy porównawczej. Dodatkowo, praca zawiera szczegółowy opis przeprowadzonych eksperymentów wraz z omówieniem uzyskanych rezultatów. Na ich podstawie, opracowane zostały wytyczne dla analityków decyzyjnych, ułatwiające ich pracę i wybór adekwatnej procedury decyzyjnej do rozważanego problemu.

Podstawę niniejszej rozprawy stanowi cykl czterech publikacji, zawierających szczegółowy opis wyników przeprowadzonych prac badawczych. Ponadto, praca zawiera szczegółowy wstęp teoretyczny, wskazujący zakres i charakter rozważanych problemów oraz informacje na temat porównywanych modeli i algorytmów wspomagania decyzji. Wyjaśniono również pojęcia leżące u podstaw przeprowadzonych eksperymentalnych analiz porównawczych, takich jak trafność i odporność rekomendacji, ekspresywność modelu i zdolność do rozwiązywania problemów uczenia się preferencji. Ponadto, każde badanie zostało dokładnie omówione, zaczynając od wprowadzenia rozważanych zagadnień i potencjalnych rozwiązań, przez prezentację schematu analizy eksperymentalnej, kończąc na omówieniu wyników i wniosków płynących z przeprowadzonej analizy.

W kontekście odtwarzania jednoznacznych preferencji, przeprowadzone badania wskazują, że metody uwzględniające wyniki analizy stochastycznej dostarczają najbardziej odpornych rezultatów. Co więcej, badania dotyczące odporności rekomendacji i ekspresywności modeli potwierdziły przeciwstawną naturę tych dwóch aspektów. Wyniki pokazują również, że modele odzwierciedlające zależności preferencji decydenta od interakcji międzykryterialnych są bardziej ekspresywne niż te, które koncentrują się na niemonotonicznej naturze preferencji. Oprócz tego, wyniki badań, w ramach których rozważano różnorodne podejścia do problemu uczenia się preferencji, dostarczają dowodów na to, że algorytmy inspirowane naturą, takie jak algorytm genetyczny, mogą działać lepiej niż klasyczne podejścia oparte na technikach programowania liniowego. Co jednak najistotniejsze, przedstawione podejście, oparte na eksperymentalnym porównaniu metod i modeli, może stanowić istotne uzupełnienie publikacji, wprowadzających nowe procedury wspomagania decyzji. Zaś same wyniki analiz pozwoliły na sformułowanie wskazówek, dotyczących wyboru adekwatnych metod do rozważanych problemów, potwierdzając hipotezę badawczą niniejszej dysertacji.

