



Poznan University of Technology
Faculty of Computing and Telecommunications

Doctoral dissertation

Computer-aided decision support methods
resistant to imperfections of learning data

Grzegorz Miebs

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

Poznań, 2023

Abstract

The field of Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) tackles problems with alternatives described by at least two criteria reflecting their different, usually contradicting, characteristics. In such a scenario, most alternatives are incomparable, forming the so-called Pareto Front consisting of non-dominated alternatives. To effectively solve this class of problems, additional preference information reflecting the value system of a Decision Maker (DM) is needed. This information, together with alternatives' descriptions, is used to build a mathematical model, which is later exploited to provide a recommendation.

MCDA distinguishes three main types of decision problems: (a) choice, where a subset of the most preferred alternatives have to be selected; (b) sorting or classification, where alternatives have to be assigned to predefined classes; (c) ranking, where alternatives are to be ordered from the best to the worst. In addition, a clustering problem can be considered where alternatives have to be divided into groups based on similarities and patterns. Those types of problems can be observed in many areas like economy, cybersecurity, chemistry, or logistic.

Preference information acquired from a DM can take different forms. The most popular are weights of each criterion, pairwise comparisons, and assignments for a subset of alternatives to predefined classes. The process of obtaining preference information is not error-proof. There are multiple sources of possible data imperfection like measurement error, human error, or process error. What is more, at this stage, imperfection can have different forms, such as lack of precise information, distorted value, or conflicting preferences. Each type of imperfection requires a different form of tackling the problem.

Apart from preference information, other types of input are usually needed. Some algorithms require specifying their metaparameters. Also, the choice of the MCDA algorithm is an input. Both input types can be a source of imperfection, affecting the whole decision-making process. As such, they also require special treatment to lower the chances of introducing imperfection or to minimize its impact.

This dissertation is motivated by the observed unsatisfied needs of real-world problems. Most well-known MCDA methods are suitable only for theoretical problems but cannot deal with imperfect data, which is unavoidable in most real applications. There are different sources of data imperfection like measurement error, imprecise data available (e.g., in the form of ranges), or imperfect preference information coming from a DMs. Each type of imperfection requires different treatment. What is more, sometimes, it is possible to eliminate the source of imperfections.

The dissertation presents the theoretical backgrounds of developed algorithms as well as their applications to real-world use cases. The studies aimed to provide new methods suitable for application to real complex decision-making problems and, therefore, increase the usability and popularity of MCDA.

Streszczenie

Dziedzina wielokryterialnego wspomaganie decyzji zajmuje się problemami, w których występują alternatywy opisane na co najmniej dwóch kryteriach, odzwierciedlając ich różne, zwykle sprzeczne, cechy. W takim przypadku większość alternatyw jest nieporównywalna, tworząc tzw. front Pareto składający się z wariantów niezdominowanych. Aby skutecznie rozwiązać tę klasę problemów, potrzebne są dodatkowe informacje o preferencjach odzwierciedlających system wartości decydenta. Informacje te, wraz z opisami alternatyw, są wykorzystywane do budowy modelu matematycznego, który jest następnie używany do wypracowania rekomendacji.

Wielokryterialne wspomaganie decyzji rozróżnia trzy główne typy problemów decyzyjnych: (a) wybór, gdzie należy wybrać podzbiór najbardziej preferowanych alternatyw; (b) sortowanie lub klasyfikacja, gdzie alternatywy muszą być przypisane do wcześniej zdefiniowanych klas; (c) ranking, gdzie alternatywy mają być uporządkowane od najlepszych do najgorszych. Ponadto można rozważyć problem grupowania, w którym alternatywy muszą być podzielone na grupy w oparciu o podobieństwa i wzorce. Tego typu problemy można zaobserwować w wielu dziedzinach, takich jak ekonomia, cyberbezpieczeństwo, chemia czy logistyka.

Informacja preferencyjna uzyskana od decydenta może przybierać różne formy. Najpopularniejsze z nich to wagi poszczególnych kryteriów, porównania parami oraz przypisanie podzbioru alternatyw do wcześniej zdefiniowanych klas. Proces uzyskiwania informacji o preferencjach nie jest w pełni odporny na błędy. Istnieje wiele możliwych źródeł niedoskonałości danych, takich jak błąd pomiaru, błąd ludzki lub błąd procesu. Co więcej, na tym etapie niedoskonałość może mieć różne formy, takie jak brak precyzyjnych informacji, zniekształcona wartość lub sprzeczne preferencje. Każdy rodzaj niedoskonałości wymaga innej procedury jego korygowania.

Oprócz informacji preferencyjnej zwykle potrzebne są inne rodzaje danych wejściowych. Niektóre algorytmy wymagają określenia ich metaparametrów. Również wybór algorytmu wspomaganie decyzji stanowi pewien ich rodzaj. Oba typy danych wejściowych mogą być źródłem niedoskonałości, wpływając na cały proces decyzyjny. W związku z tym wymagają one również specjalnego traktowania w celu zmniejszenia szans na wprowadzenie niedoskonałości

lub zminimalizowania jej wpływu.

Niniejsza rozprawa jest motywowana zaobserwowanymi potrzebami występującymi w rzeczywistych problemach. Większość znanych metod wspomaganie decyzji jest odpowiednia tylko dla problemów teoretycznych, ale nie działa odpowiednio w sytuacji z niedoskonałymi danymi, co jest nieuniknione w większości rzeczywistych zastosowań. Istnieją różne źródła niedoskonałości danych, takie jak błąd pomiaru, nieprecyzyjne dostępne dane (np. w postaci zakresów) lub niedoskonałe informacje o preferencjach pochodzące od decydenta. Każdy rodzaj niedoskonałości wymaga innego traktowania. Co więcej, czasami możliwe jest wyeliminowanie źródła niedoskonałości.

W rozprawie przedstawiono podstawy teoretyczne opracowanych algorytmów, a także ich zastosowania w rzeczywistych przypadkach użycia. Badania miały na celu dostarczenie nowych metod odpowiednich do zastosowania w rzeczywistych złożonych problemach decyzyjnych, a tym samym zwiększenie użyteczności i popularności wielokryterialnego wspomaganie decyzji.



© 2023 Grzegorz Miebs

Poznan University of Technology
Faculty of Computing and Telecommunications
Institute of Computing Science
Typeset using L^AT_EX in Computer Modern.

Bib_TE_X:

```
@phdthesis{ Miebs2023,  
  author = "Grzegorz Miebs",  
  title = "{New computer based decision support methods robust to imperfections of  
learning data}",  
  school = "Poznan University of Technology",  
  address = "Pozna{\n}, Poland",  
  year = "2023",  
}
```