

МОДЕЛЬ АНАЛИЗА СООТНОШЕНИЯ СИЛ ПРОТИВОБОРСТВУЮЩИХ СТОРОН ПО МНОГИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

С.В. Микони

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский Центр РАН
Россия, 199178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39
E-mail: smikoni@mail.ru

Ключевые слова: противоборствующие стороны, равновесие, превосходство, показатель, принадлежность классу, упорядочение по принадлежности классам.

Аннотация: Сформулирована задача анализа соотношения сил противоборствующих сторон с целью достижения подвижного равновесия или создания превосходства одной из сторон. Силы сторон характеризуются многими количественными и качественными показателями. Одна их сторон характеризуется нормативными, а вторая фактическими значениями показателей. Предложена модель оценивания соотношения сил сторон по одному и многим показателям. Модель нечёткой принадлежности норме преобразуется в модель трех смежных классов. Два крайних класса отражают направление и величину отклонений от нормы. Для сопоставления различных вариантов соотношения сил в модель включены два фиктивных класса, отражающих предпочтение одному из классов отклонения от нормы. Это позволяет упорядочивать варианты по целостным оценкам принадлежности классам для принятия решений по сформулированным целям. Модель реализована на инструментальной системе выбора и ранжирования СВІРЬ-М.

1. Введение

Задача противоборства двух сторон породила такую научную дисциплину, как теория игр [1]. В антагонистической игре каждая из сторон стремится одержать победу над противником. Она может быть одержана при нарушении равновесия в стратегиях противников. В том случае, когда противник не имеет «злого умысла», решается задача игры с Природой. И в той, и в другой задаче проблема равновесия является ключевой, ибо нарушение равновесия несет ущерб одной из сторон, в частности, Природе.

Таким образом, для выбора оптимальной стратегии насущной задачей является выявление равновесия противоборствующих сторон. Если под ними понимать сложные системы, выявление их равновесия требует сопоставления обладаемых ими ресурсов. Ресурсы сложной системы оцениваются многими десятками показателей, как количественных, так и качественных. Условием выявления равновесия сложных систем является сопоставимость их показателей. Она предполагает наличие одинакового набора показателей и одинаковых шкал, используемых для их измерения.

Отличительным свойством современных сложных систем является изменчивость их характеристик. Фактор времени требует выявления подвижного равновесия противоборствующих сторон. Быстрая изменчивость состояния сложной системы затрудняет нахождение вероятностных характеристик ее состояния. Это обстоятельство влечет необходимость постоянного отслеживания (мониторинга) состояния сложной системы. Целью настоящей работы является описание модели автоматизированного сопоставления сил противоборствующих сторон и нахождения критических и выгодных вариантов для принятия оперативных и стратегических решений.

2. Постановка задачи

Пусть противоборствующие стороны обладают N противостоящими друг другу объектами, что означает наличие N пар объектов в системе противостояния. Каждый объект обладает m ресурсами. Каждый ресурс характеризуется n свойствами. Каждое свойство измеряется своим качественным или количественным показателем. Показатели противоборствующих сторон сопоставимы по единицам измерения и шкалам.

Одна из сторон принимается за активную. Она называется Стратегом, а другая сторона – Противником. В задачу Стратега входит сопоставление своих ресурсов с ресурсами Противника на предмет обнаружения их равновесия, либо преобладания ресурсами одной из сторон. Сопоставление выполняется по отдельным показателям, по группам показателей и по всем показателям (целостная оценка). По результатам сопоставления ресурсов Стратег принимает решения по либо выравниванию ресурсов, либо по обеспечению преобладания своих ресурсов над ресурсами Противника.

Противник заинтересован скрывать свои ресурсы. Для оценивания ресурсов Противника Стратег использует разведку (научную, техническую, промышленную), а также мнения экспертов. Приблизительные данные о ресурсах Противника представляются, как правило, интервальными величинами на шкалах показателей. Назовем эти величины *нормой*.

Стратег имеет точные данные о своих ресурсах. Они сопоставляются с нормативными данными Противника. По каждому показателю данные Стратега либо соответствуют норме, либо меньше, либо больше ее. По направлению и величине отклонения информации о своих ресурсах от ресурсов Противника делается заключение о соотношении ресурсов противоборствующих сторон. Учитывая быструю изменчивость ресурсов в конкурентной среде, система оценивания соотношения ресурсов по многим показателям должна обеспечивать своевременное поступление данных своих и Противника. Это позволяет решать задачу определения подвижного равновесия противоборствующих сторон.

В докладе предлагается модель многомерного оценивания (ММО) ресурсов (сил) противоборствующих сторон по многим показателям и реализуемые этой моделью функции.

3. Модель предметной области

3.1. Характеристика исходных данных

Исходные данные, подлежащие обработке, принадлежат разным типам (числовые и строковые) и измеряются в разных шкалах. Их обработка требует приведения всех данных к числовому типу и единой шкале.

Ключевым понятием оценивания показателей является *норма* [5]. Она представляет собой отрезок $[c_{Hj}, c_{Bj}]$ на шкале j -го показателя, $j = \overline{1, n}$ (рис. 1).

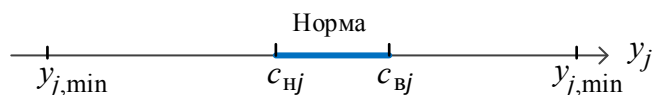


Рис. 1. Интервальное представление нормы.

В частном случае при совпадении нижней и верхней границы норма является точечной: $c_{Hj} = c_{Bj} = c_j$.

Границы шкалы $[y_{j,\min}, y_{j,\max}]$ j -го показателя в задаче отклонения от нормы должны быть равны предельно допустимым значениям (ПДЗ). Границы нормы и шкалы устанавливаются экспертом. В частном случае одна из границ нормы может совпадать с границей шкалы. Это необходимо учитывать при построении модели оценивания показателя. Выход текущего значения j -го показателя за границы шкалы модели ($y_j < y_{j,\min}$ или $y_j > y_{j,\max}$) необходимо обнаруживать на этапе анализа исходных данных, поскольку объект с таким показателем подлежит специальному анализу.

Распределение первичных показателей по группам обуславливает многоуровневую структуру показателей. Это позволяет оценивать объект, как по отдельным группам, так и по всем показателям [6].

3.2. Модель оценивания показателя

Назначением модели оценивания показателя является фиксация направленности и величины отклонения его значения от нормы. Степень принадлежности j -го показателя норме $y_j \in [y_{j,\min}, y_{j,\max}]$ оценивается величиной функции принадлежности $\mu_n(y_j) > 0$. Значение $\mu_n(y_j) = 1$ означает полную принадлежность норме на отрезке шкалы $[c_{Hj}, c_{Bj}]$. В отсутствие информации о значимости отклонения от нормы принадлежность норме слева и справа от ее границ убывает линейно (верхняя часть рис. 2).

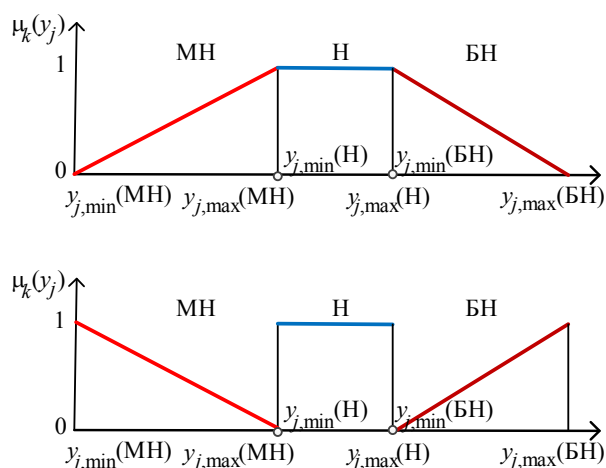


Рис. 2. Переход от нечёткой функции принадлежности классу «Норма» к трём классам МН, Н, БН.

Нечёткую функцию принадлежности норме заменим на 3 класса: норму (Н), меньше (МН) и больше (БН) нормы (нижняя часть рис. 2). На границе с нормой принадлежность классам МН и БН равна нулю и возрастает до единицы на границах шкалы, совпадая с ПДЗ. Величина принадлежности классам МН $\mu_{МН}(y_j)$ и БН $\mu_{БН}(y_j)$ по j -у показателю рассчитывается через величину отклонения от нормы $d(y_j)$ в каждую из сторон следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{Если } d(y_j) = 0, \text{ то } \mu_n(y_j) &:= 1; & \mu_{МН}(y_j) &:= 0; & \mu_{БН}(y_j) &:= 0; \\ \text{Если } d(y_j) < 0, \text{ то } \mu_{МН}(y_j) &:= 1 - |d(y_j)|; & \mu_n(y_j) &= 0; & \mu_{БН}(y_j) &:= 0; \\ \text{Если } d(y_j) > 0, \text{ то } \mu_{БН}(y_j) &:= 1 - d(y_j); & \mu_n(y_j) &= 0; & \mu_{МН}(y_j) &:= 0. \end{aligned}$$

Биполярная функция отклонения от нормы вычисляется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} d^-(y_j) &= \frac{y_j - c_{Hj}}{c_{Hj} - y_{j,\min}} \text{ если } y_j < c_{Hj}, \\ d^+(y_j) &= \frac{y_j - c_{Bj}}{y_{j,\max} - c_{Bj}}, \text{ если } y_j > c_{Bj}. \end{aligned}$$

Отношение к отклонениям значения показателя от нормы может быть различным. Показатель, для которого предпочтение отдается норме, назовем нейтральным. Если же предпочтение отдается одной из границ шкалы, показатель подлежит оптимизации. Это означает, что чем ближе приближается расход ресурса к левой границе показателя, тем лучше, либо чем больше имеется ресурсов (приближение к правой границе шкалы), тем лучше. Назовём такие показатели оптимизируемыми к минимуму, либо к максимуму.

3.3. Оценивание отклонений от нормы по многим показателям

Принадлежность объекта, оцениваемого многими показателями, одному из назначенных m классов неоднозначна. По одному показателю объект может быть отнесен к норме, по другому – к классу МН, а по третьему – к классу БН. Для определения класса h^* , которому объект x принадлежит в наибольшей степени, вычисляются средневзвешенные свертки принадлежностей каждому классу по всем показателям:

$$\mu_k(x) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \mu_{jk}(x), k = \overline{1, m}.$$

В этой формуле w_j обозначает вес (важность) j -го показателя. При равной важности $w_j = 1/n$. Предпочтительный класс определяется по формуле:

$$h^* = \arg(\max_k \mu_k(x)).$$

Следует отметить, что при малых отклонениях значений показателей от нормы предпочтение будет отдаваться классу «Норма», поскольку принадлежность ему помечается единицей. Если, например, по одному из показателей объект x принадлежит норме, а по трем другим имеет место принадлежность $\mu_{\text{МН}}(y_j) = 0,3$ или $\mu_{\text{БН}}(y_j) = 0,3$, то будет выбран класс «Норма», хотя и не с высокой долей принадлежности. Таким образом, о степени отклонения объекта x по всем показателям, можно судить по величине $\mu_n(x)$. Эту величину можно использовать также для упорядочения классифицируемых объектов по принадлежности норме.

Для классификации объекта, характеризуемого нейтральными показателями, достаточно трех принятых класс Н, МН и БН. В том случае, когда объект характеризуется оптимизируемыми показателями, существует необходимость привлечения двух фиктивных классов: «Лучше нормы» (ЛН) и «Хуже нормы» (ХН). Необходимость в фиктивных классах обуславливается различием минимизируемого и максимизируемого показателей. У первого класс ЛН совпадает с классом МН, а у второго – с классом БН. В фиктивном классе ЛН это различие устраняется за счёт исключения из рассмотрения направления оптимизации. В класс ХН заносится средневзвешенная принадлежность классу, противоположному классу ЛН. Для сравнения различных вариантов сил Стратега принадлежности классам ХН, Н, ЛН могут использоваться в качестве критериев $\mu_n(x) \rightarrow \max$, $\mu_{\text{ЛН}}(x) \rightarrow \max$, $\mu_{\text{ХН}}(x) \rightarrow \min$.

4. Решение задачи

Поскольку сведения о силах противника, как правило, приблизительны, они представляются вектором интервальных норм. Точечные нормы показателей рассматриваются, как частный случай. За объект (вариант) принимаются известные силы Стратега, представленные точечными значениями показателей. В процессе планирования рассматриваются различные варианты распределения сил Стратега. Из них необходимо выбрать наилучший вариант.

1. На этапе анализа исходных данных выявляются показатели с запредельными значениями. По ним принимаются неотложные решения.
2. Выполняется классифицирование варианта распределения сил Стратега.

3. Анализируется соотношение сил Стратега и противника по отдельным показателям, группам показателей и в целом по всем показателям.
4. Для анализа соотношения сил по группам показателей и по всем показателям используются классы ЛН и ХН.
5. Для учета направления оптимизации при анализе соотношения сил используются величины принадлежности объекта классам МН и БН.
 - 5.1. Если значение максимизируемого показателя Стратега принадлежит классу Н, то силы сторон по этому показателю считаются *сопоставимыми*. Если значение показателя принадлежит классу МН, то силы противника считаются *превосходящими*, а если значение принадлежит классу БН, то его силы считаются *слабыми*.
 - 5.2. Зеркальные выводы делаются по минимизируемому показателю.
6. Классы могут быть упорядочены по величине принадлежности им оцениваемого варианта.
7. При наличии нескольких вариантов соотношения сил упорядочение по принадлежности классам используется для нахождения предпочтительного варианта.

Предложенная модель и метод решения поставленной задачи реализованы на инструментальной системе выбора и ранжирования СВИРЬ-М.

5. Заключение

Модель двустороннего отклонения от нормы представляет собой важный частный случай классификации объекта по многим показателям. Анализ отклонений от нормы востребован в задачах отслеживания состояния (мониторинга) системы и оперативного управления объектами. Оригинальность модели отклонений от нормы с тремя смежными классами заключается в ее преемственности модели нечеткой принадлежности норме. По величине функции принадлежности каждому из классов можно судить о соотношении сил противоборствующих сторон и делать заключения по достижению подвижного равновесия, либо по достижению превосходства над противником. В силу своей общности модель может найти разнообразные применения. Пример анализа соотношения сил противоборствующих сторон реализован на инструментальной системе выбора и ранжирования СВИРЬ-М.

Исследования проводились в рамках бюджетной темы FFZF–2022–0004.

Список литературы

1. Шавров И.Е. О классификации и системе локальных войн и военных конфликтов // Локальные войны: История и современность. М.: Воениздат, 1981. 304 с.
2. Воробьев И.Н., Киселев В.А. Стратегические категории «время» и «пространство» в современных войнах // Военная мысль. 2008. № 6. С.62-65.
3. Вершилов С.А., Масленников А.Н., Дагаев К.Н., Первоначала сетцентрической войны // Военные науки. 2020. Т. 1-1 (40). С. 36-40.
4. Микони С.В., Захаров В.В. Перспективы решения задач организационного управления в инструментальной системе выбора и ранжирования СВИРЬ // Известия вузов. Приборостроение. 2024. № 3. С. 940-942.
5. Микони С.В. Табличная модель принятия оперативных решений беспилотным летательным аппаратом // Авиакосмическое приборостроение, 2023. № 8. С. 3-12.
6. Микони С.В., Бураков Д.П., Гарина М.И. Инструментальная система для решения задач многокритериального выбора // Программные продукты и системы. 2009. № 4. С. 6-9.