

УДК: 519.8

Построение баз знаний группой экспертов

О. К. Подлипский

Московский физико-технический институт (государственный университет),
141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, 9

E-mail: ok_podlipsky@yahoo.com

Получено 22 апреля 2010 г.

Рассматриваются вопросы построения баз экспертных знаний для создания прикладных консультационных и обучающих систем в медицине. Описывается опыт построения таких баз и систем. Предлагаются методы построения баз знаний группой экспертов.

Ключевые слова: теория принятия решений, экспертная база знаний

Construction of knowledge bases by a group of experts

O. K. Podlipsky

*Moscow Institute of Physics and Technology (State University),
9 Institutskii pereulok, Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russia*

Abstract. — Questions of construction of expert knowledge bases for creation of applied consulting and training systems in medicine are considered. Experience of construction of such bases and systems is described. Methods of construction of knowledge bases by a group of experts are offered.

Keywords: theory of decision-making, expert knowledge base

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2010, vol. 2, no. 1, pp. 3–11 (Russian).

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-1512.2010.9.

Введение

Традиционно различаются два вида знания — декларативное и процедуральное. Декларативное знание представляет собой теории, факты, сведения. Оно может быть описано в книгах. Ярким примером декларативных знаний являются учебники.

Процедуральное знание — это умение применять декларативное знание на практике.

В медицине типичной является задача постановки диагноза на основе проведенных обследований, то есть требуется определить конкретный вид заболевания либо установить, что пациент здоров. Наиболее важная характеристика таких задач принятия решений — их повторяемость: люди решают данные задачи многократно, вырабатывая навыки наиболее успешного, эффективного решения. Врач решает задачи диагностики многократно для одного и того же объекта, каким является человеческий организм. Данная область профессиональной деятельности имеет дело с крайне сложными объектами, с недостаточно изученными свойствами, внутренней структурой и зависимостями между параметрами. Это не позволяет найти точные и однозначные формальные правила решения задач классификации. Вместо этого люди вырабатывают свои практические навыки решения таких задач [Schmidt, 1993]. Возможность успешного решения задач классификации объясняется их повторяющимся характером. Это очевидно: людям требуется достаточно длительная практика, чтобы стать хорошими специалистами.

Специалиста, достигшего высшего уровня мастерства в своей профессиональной области, принято называть экспертом. Как показали исследования в когнитивной психологии, путь от новичка до эксперта занимает не менее 10 лет интенсивной практики [Ericsson, 1996]. За эти годы созревает умение эксперта быстро и эффективно решать свои профессиональные задачи, на основе метода «проб и ошибок» он вырабатывает правила принятия успешных решений. Дефицит экспертов актуализирует проблемы создания компьютерных систем, имитирующих экспертные суждения. Однако процедуральные знания эксперта не могут быть вербализованы, то есть эксперт не может объяснить, как он решает задачу. Например, опытный врач легко ставит диагноз по совокупности симптомов, но он не может объяснить ход мыслей, приведший его к решению. Поэтому одним из основных направлений в искусственном интеллекте является создание компьютерных систем, имитирующих искусство эксперта [Anderson et al., 1995]. Подобные системы позволяют сохранить знание опытного профессионала, сделать его бессмертным и применимым одновременно во многих местах. Для построения таких систем необходимо решить задачу выявления подсознательных экспертных решающих правил [Ларичев, Нарыжный, 1996; Ларичев и др., 1989]. Эта задача имеет важное практическое значение, поскольку экспертные решающие правила могут быть проанализированы и использованы при построении систем искусственного интеллекта, а также при обучении молодых специалистов экспертному знанию [Брук и др., 2008; Кочин, Подлипский, 2004а]. Существуют методики, позволяющие в короткие сроки создавать полные и непротиворечивые базы экспертных знаний для построения интеллектуальных обучающих систем и экспертных систем для задач классификации, полностью отражающие предпочтения эксперта, основанные на его опыте и интуиции [Ларичев и др., 1989; Асанов, Подлипский, 2001]. Предложенный автором метод был использован для построения баз экспертных знаний в задачах диагностики острого инфаркта миокарда и расслаивающей аневризмы аорты [Асанов, Подлипский, 2001; Кочин, Подлипский, 2004а; Кочин, Подлипский, 2004с]. Полученные базы знаний стали основой разработанных компьютерных обучающих систем [Брук и др., 2008]. При построении сложных систем не всегда достаточно мнения одного эксперта. Более полную информацию о задаче классификации можно получить, привлекая к ее решению нескольких экспертов. Поэтому актуальны вопросы построения баз знаний группой экспертов.

Экспертная классификация альтернатив

Многие важные практические задачи, ежедневно решаемые экспертами в различных областях, представляют собой задачи классификации. Они характеризуются наличием формализованного описания некоторого объекта исследования, которому необходимо назначить один или несколько классов решений. Например, задача медицинской диагностики есть задача классификации, в которой объектом исследования является пациент, чье состояние описывается некоторым набором записей из его истории болезни, а классами решений являются возможные заболевания. Обычно предполагается, что классы решений упорядочены по степени выраженности некоторого свойства (наличие и степень тяжести заболевания пациента и т. п.). Объекты (или альтернативы), подлежащие классификации, описываются, как правило, оценками по различным критериям, которые могут иметь как качественный, так и количественный характер.

Задачи экспертной классификации обычно подразделяют на задачи *номинальной* классификации и задачи *порядковой (ординальной)* классификации. В первом случае необходимо по характеристикам объекта определить, относится ли он к каждому из рассматриваемых независимых классов решений. Во втором случае классы решений представляют степень выраженности некоторого свойства, то есть являются упорядоченными. Далее будем рассматривать задачу порядковой экспертной классификации. В этом случае построенную полную базу знаний можно описать с помощью *границ* классов решений, состоящих из недоминируемых и недоминирующих объектов класса — *граничных объектов*.

Для решения задач классификации в Институте системного анализа РАН была разработана методология *вербального анализа решений* (ВАР) [Ларичев, Мошкович, 1996; Ларичев, 2004]. В соответствии с принципами ВАР для работы с широким кругом задач принятия решений под руководством О.И. Ларичева было создано семейство методов, успешно применяющихся для решения практических задач.

Методы вербального анализа решений основаны на следующих принципах:

- Проблема принятия решений описывается на языке вербальных (словесных) оценок на порядковых шкалах критериев и словесных же описаний классов решений. Эксперт или лицо, принимающее решения (ЛПР), определяет перечень критериев, по которым следует оценивать качество альтернатив и набор классов решений, упорядоченных по его предпочтению. Далее по каждому из критериев дается описание различных уровней качества на естественном языке, принятом экспертом (ЛПР) и его окружением в повседневной деятельности. Это описание сохраняется в процессе решения задачи без каких-либо преобразований словесных характеристик в числа и баллы.
- Интерактивная процедура построения классификации состоит из этапов, на каждом из которых ЛПР предъявляется объект, соответствующий вектору из пространства Y . Объект представляется в виде содержательного описания (на естественном языке) набора оценок по критериям. Такое описание привычно для ЛПР и позволяет ему использовать опыт и интуицию для классификации предъявляемого на экране компьютера описания объекта. Иначе говоря, выбираются такие способы получения информации от человека, которые получили положительные оценки в психологических экспериментах, направленных на изучение способности людей давать достаточно надежную информацию. Таким образом, способы выявления предпочтений выбираются с учетом возможностей и ограничений человеческой системы переработки информации.
- После каждого решения ЛПР об отнесении объекта к тому или иному классу решений осуществляется распространение по доминированию. Согласно свойству непротиворечивости

классификация одного объекта позволяет получить информацию о допустимых классах для множества других объектов, с которыми он связан отношением доминирования. Таким образом, на основе одного решения ЛПР осуществляется косвенная классификация совокупности объектов.

- Множество объектов, доминируемых данным объектом, называется конусом доминирования. В общем случае конусы доминирования пересекаются. Следовательно, значительная часть объектов оказывается классифицированной по несколько раз. При этом возникает возможность проверки строящейся классификации на непротиворечивость. Если ЛПР совершает ошибку, приводящую к нарушению этого условия, ему предъявляются на экране компьютера противоречащие решения и предлагается проанализировать и скорректировать их.

Перечисленные принципы означают, что методы вербального анализа решений имеют как математическое, так и психологическое обоснование.

Формальная постановка задачи классификации

Для построения баз знаний используется хорошо зарекомендовавший себя подход экспертной классификации [Ларичев и др., 1989], в рамках которого задача экспертной классификации предполагает определение множества критериев $K = \{K_1, K_2, \dots, K_N\}$, по которым проводится оценка состояний объекта исследования. Критерии предполагаются независимыми. Для каждого критерия K_q считается определенным некоторое множество $S_q = \{k_1^q, k_2^q, \dots, k_{\omega_q}^q\}$ возможных оценок. Если в некоторой задаче множество оценок по одному или более критериям бесконечно, то соответствующая шкала преобразуется к конечной посредством разбиения исходного бесконечного множества оценок на конечный набор интервалов. Декартово произведение шкал оценок по всем критериям формирует пространство $Y = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_N$ всевозможных состояний, подлежащих классификации на основе знаний эксперта.

Требуется на основе экспертных знаний построить классификацию в заданном пространстве состояний, то есть сформировать правила отнесения каждого объекта к одному из predetermined классов.

Построенная классификация считается полной, если для любого возможного состояния определен некоторый класс решения C_n .

Рассмотрим формальную постановку задачи ординальной классификации, в которой необходимо определить степень выраженности единственного свойства G (то есть решить задачу разбиения).

- G — свойство, отвечающее целевому критерию задачи (наличие и степень тяжести заболевания, критичность неисправности в технической системе, ценность кредитного проекта и т. д.).
- $K = \{K_1, K_2, \dots, K_N\}$ — множество критериев (признаков), по которым оценивается каждый объект исследования.
- $S_q = \{k_1^q, k_2^q, \dots, k_{\omega_q}^q\}$ для $q = 1, \dots, N$ — множество оценок по критерию K_q ; ω_q — число градаций на шкале критерия K_q ; оценки в S_q упорядочены по убыванию характерности для свойства G . То есть на каждом множестве S_q определено отношение Q_q , такое, что $k_i^q Q_q k_j^q \Leftrightarrow i < j$.

- $Y = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_N$ — декартово произведение шкал критериев определяет пространство состояний объектов (альтернатив), подлежащих классификации. $L = |Y| = \prod_{q=1}^N \omega_q$ — мощность множества Y .
- $C = \{C_1, C_2, \dots, C_M\}$ — множество классов решений, упорядоченных по убыванию выраженности свойства G . То есть на множестве C определено отношение Q_C , такое, что $C_i Q_C C_j \Leftrightarrow i < j$.

Каждый объект множества Y описывается набором оценок по критериям K_1, K_2, \dots, K_N и представляется в виде векторной оценки $y \in Y$, где $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$, y_q равно номеру оценки из множества S_q .

Введем бинарное отношение строгого доминирования P :

$$(\forall x, y \in Y) xPy \Leftrightarrow \{\forall q = 1, \dots, N : x_q \geq y_q \text{ и } \exists q_0 \in \{1, \dots, N\} : x_{q_0} > y_{q_0}\}.$$

Требуется: с помощью эксперта построить отображение $F : Y \rightarrow \{Y_i\}, i = 1, \dots, M$, такое, что $Y = \bigcup_{i=1}^M Y_i; Y_i \cap Y_k = \emptyset$ при $k \neq i$ (где Y_i — множество векторных оценок, принадлежащих классу C_i), удовлетворяющее свойству непротиворечивости: $\forall x, y \in Y : x \in Y_i, y \in Y_j, xPy \Rightarrow i \geq j$.

Таким образом, задача классификации заключается в распределении L объектов по M классам решений. При этом классификация считается непротиворечивой, если объект с более характерным для свойства G набором оценок по критериям не может принадлежать к классу, соответствующему меньшей степени выраженности свойства G .

Результаты экспертной классификации можно описать совокупностью граничных объектов [Ларичев, 2004; Кочин, Подлипский, 2004b].

Классификация альтернатив группой экспертов

Как показали исследования, при решении сложных задач, в которых граница класса решений описывается большим числом правил, а также при решении сложных задач, с которыми эксперт ранее не встречался в своей практике, возможны случаи, когда эксперт затрудняется отнести ситуацию к тому или иному классу [Подлипский, 2008]. При этом для построения базы знаний эксперт должен классифицировать все объекты. Поэтому более полную информацию о задаче классификации можно получить, привлекая к ее решению нескольких экспертов.

Будем рассматривать случаи, когда в задаче классификации только два класса решений: $C_1 = C$ и $C_2 = \bar{C}$.

То есть в класс C попадают объекты, обладающие, по мнению эксперта, свойством G , а в класс \bar{C} — не обладающие свойством G .

На этом множестве с помощью эксперта строится отображение $F : Y \rightarrow \{Y_1, Y_2\}$, такое, что

$Y = Y_1 \cup Y_2; Y_1 \cap Y_2 = \emptyset$ (где Y_i — множество векторных оценок, принадлежащих классу C_i), удовлетворяющее свойству непротиворечивости: $\forall x, y \in Y : x \in Y_i, y \in Y_j, xPy \Rightarrow i \geq j$.

Определим функцию $f(x) : Y \rightarrow \{0, 1\}$ так, что

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x \in Y_1, \\ 0, & x \in Y_2. \end{cases}$$

Пусть рассматриваемую задачу решают Z экспертов. В результате решения каждый из экспертов построит отображение F_i и соответствующую ему функцию $f_i(x)$ ($i = 1, \dots, Z$).

Назовем *вероятностью* принадлежности объекта $x \in Y$ классу C_1 , по мнению (группы) экспертов, величину

$$W(x) = \frac{\sum_{i=1}^Z f_i(x)}{Z}.$$

В рассматриваемом случае эту величину также можно назвать *вероятностью, по мнению (группы) экспертов*, того, что объект $x \in Y$ обладает свойством G . В частности, если все эксперты считают, что некоторая альтернатива обладает свойством G , то и вероятность этого, по мнению экспертов, будет равна 1. В общем случае вероятность, по мнению экспертов, будет показывать, какая доля экспертов считает, что альтернатива обладает свойством G .

В работе [Подлипский, 2010], в частности, было доказано следующее

Утверждение.

Функция $W(x)$ монотонна на множестве Y . То есть $\forall x, y \in Y, xPy \Rightarrow W(x) \leq W(y)$.

Это утверждение означает, что у объекта с более характерным для свойства G набором оценок по критериям вероятность, по мнению (группы) экспертов, больше. То есть если каждый из экспертов построил непротиворечивую классификацию, то и совокупность построенных классификаций будет непротиворечивой в указанном смысле.

Аналогичным образом можно определить понятие вероятности, по мнению (группы) экспертов, в задачах классификации с более чем двумя классами решений. Однако в этом случае вероятность нужно вводить по отношению к набору классов решений, либо начиная с некоторого, либо заканчивая некоторым классом. Построенная таким образом функция также будет обладать свойством монотонности.

Методика извлечения экспертных знаний

Опишем применяемую нами методику извлечения экспертных знаний.

Извлечение знаний происходит в диалоге с экспертом. На первом этапе производится структуризация предметной области. Например, применительно к медицине, в ходе диалога фиксируются основные признаки заболевания, симптомы (значения признаков) и степени развития заболевания. В результате все возможные пациенты будут описываться одним из сочетаний симптомов по всем признакам. Таким образом, первый этап состоит из:

- Обсуждение постановки задачи. Формулирование свойства G .
- Выделение экспертом множества критериев K .
- Построение шкал критериев. Предварительный анализ: проверка того, что оценки на шкалах упорядочены по убыванию характерности для свойства G .
- Выделение экспертом множества классов решений C .

Для построения базы экспертных знаний в рассматриваемой области эксперт должен указать заболевание для каждого сочетания симптомов. То есть он должен отнести каждый объект к одному из указанных классов. При этом производится анализ множества Y . Выделяются исключения, то есть из множества Y удаляются такие ситуации, которые, например, не встречаются в жизни по причине несочетаемости некоторых признаков.

Второй этап методики выявления знаний — экспертная классификация — состоит именно в предъявлении эксперту последовательности сочетаний значений признаков. Этот этап является довольно длительной процедурой, поскольку число всевозможных сочетаний признаков обычно

весьма велико. Долгая рутинная работа по диагностике сочетаний может снижать внимание эксперта и приводить к ошибкам. Поэтому методика предусматривает выделение из исходной задачи классификации упрощенных задач, которые получаются из исходной переходом только к двум значениям по каждому признаку [Подлипский, 2005]. Решение упрощенных задач производится гораздо быстрее, что позволяет получить более надежные результаты. Правила, полученные в результате решения упрощенных задач, вводятся в систему, и эксперт решает задачу в полном пространстве.

В ходе классификации может выясниться, что отдельные сочетания значений признаков не могут быть реализованы на практике. В этом случае объекты с такими сочетаниями исключаются из предметной области и не предъявляются эксперту. Классификация заканчивается, когда всем неисключенным объектам будет назначен класс (диагноз).

Далее работает третий этап методики — проверка границ классов. Дело в том, что эксперт тоже человек и может ошибаться. Вместе с тем границы классов — это ключевые элементы в определении классификации. Поэтому необходимо проверить назначенный им класс, для чего каждый граничный элемент повторно предъявляется эксперту.

На четвертом этапе полученные границы классов преобразуются в экспертные решающие правила специального вида. Решающие правила имеют вид двухуровневого дерева, где на первом уровне находятся значения ключевых признаков, а на нижнем уровне — комбинации значений второстепенных признаков. Выявленные правила соответствуют неявным экспертным знаниям.

В результате применения описанной методики получается полная и непротиворечивая база экспертных знаний в заданной области. Лучше всего данная методика применима к слабоструктурированным областям, например таким, как медицина.

Построение баз знаний группой экспертов

Как говорилось ранее, более полную информацию о задаче классификации можно получить, привлекая к ее решению нескольких экспертов. Базы знаний, построенные группой экспертов, более качественно описывают задачу классификации и могут быть использованы при построении как консультационных, так и обучающих систем. В случае консультационных систем появится характеристика, отражающая степень уверенности в диагнозе. В случае обучающих систем упростится отбор ситуаций, которые нужно оставить для обучения.

Опрос эксперта — трудоемкий процесс, состоящий иногда из тысяч вопросов к эксперту. Новые методы, разработанные в последние годы, позволили строить полные и непротиворечивые классификации в пространствах векторных описаний объектов с произвольными количествами классов и градаций на шкалах критериев в задачах большой размерности [Асанов, Подлипский, 2001; Кочин, Подлипский, 2004а]. В частности, для решения больших задач классификации в [Асанов, Подлипский, 2001] был предложен подход разбиения исходной задачи на упрощенные (бинарные) подзадачи, который позволил обеспечить более ровную нагрузку на эксперта и качественное сохранение промежуточных результатов в виде решающих правил.

Можно рассматривать решение задачи классификации группой из Z экспертов, как решение Z отдельных задач. В этом случае трудозатраты по построению баз знаний возрастут в точности в Z раз. Однако знания экспертов в одной области при решении одной задачи не должны сильно различаться. На большую часть задач (простого и среднего уровня) они обязаны давать одинаковые ответы. Различие может наступить лишь при решении наиболее сложных задач. Также отметим, что при любом опросе эксперт обязан решить все задачи, отвечающие «граничным» ситуациям. Количество граничных элементов достаточно мало по сравнению с общим количеством альтернатив, подлежащих классификации. Например, в [Подлипский, 2005] показано, что в бинарных задачах с N шкалами критериев суммарное число граничных элементов на границе, разделяющей два соседних класса, не превышает в случае четного N величины

$S = C_N^{N/2} + C_N^{N/2-1}$, а в случае нечетного N величины $S = 2C_N^{[N/2]}$. А общее количество вопросов, задаваемое эксперту, может в десятки раз превышать количество граничных ситуаций.

В рамках подхода экспертной классификации был разработан ряд методов и компьютерных систем выявления экспертных знаний: ОРКЛАСС (Ларичев, Мошкович, 1996), ЦИКЛ (Ларичев, Асанов, 2000), CLARA (Ларичев, Кочин, Кортнев, 2002), которые использовались при построении экспертных систем в медицине, а именно: в хирургии, реаниматологии, кардиологии, педиатрии. В частности, система CLARA применялась для построения баз экспертных знаний в задачах диагностики острого инфаркта миокарда и расслаивающей аневризмы аорты [Kochin et al., 2002]. Извлечение знаний происходит при совместной работе инженера-когнитолога и эксперта. В результате такой работы удается формализовать знания и навыки эксперта с достаточной степенью точности. Тем или иным способом формализованное знание специалиста воспроизводится в машинной базе знаний, что открывает возможности для его дальнейшего использования (например при создании консультационных или обучающих компьютерных систем).

Таким образом, чтобы существенно сократить суммарное время работы инженера-когнитолога и группы экспертов по построению баз знаний, предлагается следующая методика. На этапе экспертной классификации все эксперты сначала решают упрощенные задачи. После чего один из экспертов решает задачу в полном пространстве. Для построенной им базы знаний выделяются границы классов решений. После чего каждый из оставшихся экспертов начинает работу в полном пространстве с решения задач, отвечающих границам классов решений первого эксперта. Предполагается, что границы классов решений для каждого эксперта будут «лишь немного» отличаться друг от друга. Поэтому предложенная методика может дать существенный выигрыш по сравнению с независимым построением баз знаний экспертами. Также возможна вариация методики, предполагающая использование результатов первого эксперта еще на этапе решения упрощенных задач. Предложенную методику предполагается апробировать при решении группой экспертов задачи по диагностике быстро прогрессирующего гломерулонефрита.

Список литературы

- Асанов А. А., Подлипский О. К. Опыт построения большой базы экспертных знаний // Методы поддержки принятия решений. Сборник трудов Института системного анализа Российской академии наук. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. — С. 42–50.
- Брук Э. И., Кочин Д. Ю., Подлипский О. К. Системы неявного обучения задачам медицинской диагностики, основанные на экспертных знаниях // Медицина в зеркале информатики. — М.: Наука, 2008. — С. 22–33.
- Кочин Д. Ю., Подлипский О. К. Построение баз экспертных знаний // Моделирование процессов управления. Сборник научных трудов. — М., 2004а. — С. 116–123.
- Кочин Д. Ю., Подлипский О. К. О границах классов решений в задачах экспертной классификации // Некоторые проблемы фундаментальной и прикладной математики. Сборник научных трудов. — М., 2004б. — С. 103–118.
- Кочин Д. Ю., Подлипский О. К. Системы неявного обучения экспертным знаниям // Научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект» Института проблем искусственного интеллекта Украинской академии наук, Т-2004. Ц Украина, 2004с. Ц С. 305–309.
- Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах. — М.: Логос., 2000. — 296 с.
- Ларичев О. И., Мечитов А. И., Мошкович Е. М., Фуремс Е. М. Выявление экспертных знаний. — М.: Наука, 1989. — 128 с.
- Ларичев О. И., Мошкович Е. М. Качественные методы принятия решений. — М.: Наука, Физматлит, 1996.
- Ларичев О. И., Нарыжный Е. В. Компьютерное обучение экспертным правилам в задачах классификации // Научно-техническая информация. Серия 2 — «Информационные процессы и системы», — 1996. — № 9.

- Подлинский О. К.* Некоторые оценки числа граничных элементов классов решений в задачах экспертной классификации // Некоторые проблемы фундаментальной и прикладной математики и их приложения в задачах физики. Сборник научных трудов. — М., 2005. — С. 150–162.
- Подлинский О. К.* Об одной гипотезе организации экспертного знания // Современные проблемы фундаментальной и прикладной математики. Сборник научных трудов. — М., 2008. — С. 140–155.
- Подлинский О. К.* О многоэкспертной классификации альтернатив // Фундаментальные и прикладные проблемы современной математики. Сборник научных трудов МФТИ. — М.: МФТИ, 2010. — С. 139–148.
- Anderson J. R., Corbett A. T., Koedinger K., Pelletier R.* Cognitive tutors: Lessons learned // *The Journal of Learning Sciences*, — 1995. — № 4. — P. 167–207.
- Ericsson K. A.* The Acquisition of Expert Performance: An Introduction to Some of the Issues / K. A. Ericsson // *The Road to Excellence: The Acquisition of Expert Performance in the Art and Sciences, Sports and Games* / Ed. K. A. Ericsson Hillsdale. N. J.: Lawrence Erlbaum Associates. — 1996. — P. 1–51.
- Kochin D. Yu., Larichev O. I., Kortnev A. V.* Decision support system for classification of a finite set of multicriteria alternatives // *Journal of Decision Support Systems*. — 2002. — 33. — P. 13–21.
- Schmidt H. G.* On acquiring expertise in medicine / H. G. Schmidt, H. P. A. Boshuizen // *Educational Psychology Review*, — 1993. — № 5. — P. 1–17.