

О способе представления экспертных знаний в распределенной системе поддержки экспертных решений*

Н. В. Чугунов¹

В работе развивается метод выявления и представления экспертных знаний о количественных параметрах задач, анализируемых в условиях неопределенности, — метод обобщенных интервальных оценок (ОИО). Полученные аналитические соотношения для плотности результирующего распределения иллюстрируются на примере оценки эффективности строительного проекта. Предложена стандартная форма представления ОИО. Рассмотрена структура соответствующей распределенной системы поддержки экспертных решений.

Введение

Наличие грамотно построенных моделей не всегда оказывается достаточным условием решения поставленной задачи. Дело в том, что во многих задачах, с которыми приходится сталкиваться на практике, информация об исходных данных используемых моделей не является полной и точной. В таких ситуациях обычно привлекают экспертов, знания и опыт которых должны помочь при оценке значений исходных параметров. Очень важно, чтобы инструментарий, используемый для извлечения и формализации экспертных знаний, содержал психологически корректные методы [Kahneman et al., 1982] и использовал терминологию и математический аппарат, понятные эксперту.

В данной работе развивается подход обобщенных интервальных оценок (ОИО), разработанный для учета неопределенности в исходных количественных данных моделей предметных областей [Стернин и др., 2003, 2004, Sheperlyov et al., 2003]. Знания эксперта представляются при этом в

* Работа выполнена при поддержке программ фундаментальных исследований РАН «Математическое моделирование и интеллектуальные системы» и ОИТВС РАН «Фундаментальные основы информационных технологий и систем», РФФИ (проекты 04-01-00290, 05-01-00666), гранта Президента Российской Федерации НШ 1964.2003.1 для поддержки ведущих научных школ.

¹ 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 9, ИСА РАН, nvc@isa.ru.

виде совокупности интервалов, в которых могут лежать значения моделируемого параметра. Дальнейшее оперирование с полученными знаниями осуществляется на базе установленных в [Стернин и др., 2003] соотношений. В настоящей статье предложены более простые соотношения для плотности результирующего распределения вероятностей, агрегирующие экспертную информацию об оцениваемых параметрах. Применение этих формул для некоторых комбинаций типов распределения иллюстрируется на примере задачи оценки привлекательности строительного проекта. Описана процедура преобразования ОИО, предлагающая единую форму представления экспертных оценок, которая позволяет анализировать структуры суждений эксперта, используемые при формировании той или иной ОИО.

Развитие информационных технологий предоставляет новые возможности для программной реализации систем поддержки экспертных решений. Концептуальная структура распределенной СПЭР рассмотрена в заключительной части статьи.

1. Обобщенная интервальная оценка

Подробное описание подхода ОИО приведено в работе [Стернин и др., 2005], представленной в данном сборнике. Здесь мы ограничимся рассмотрением частного случая, в котором знания эксперта о значениях параметра D описываются совокупностью вложенных интервалов, задаваемой наименее широким из входящих в совокупность интервалов, — «мини-интервалом» $[D_l^m, D_r^m]$ и наиболее широким («базовым») интервалом совокупности $[D_l^b, D_r^b]$ (рис. 1).

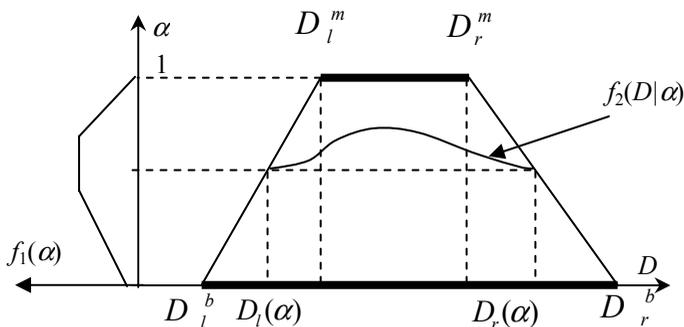


Рис. 1. ОИО в виде совокупности вложенных интервалов

ОИО задается системой двух случайных величин: α и D , первая из которых является меткой интервала в общей совокупности и имеет плотность распределения $f_1(\alpha)$, характеризующего шансы на реализацию соответствующих интервалов в их системе. На каждом интервале совокупности случайная величина D обладает условной плотностью распределения $f_2(D|\alpha)$.

Исходя из ОИО, можно получить агрегированную функцию распределения и ее плотность, заданную на базовом интервале ОИО. Формулы для $P(D)$ получены ранее [Стернин и др., 2003]. Соотношения для плотности распределения имеют вид (1.1). Смысл $\alpha_{i,r}$ ясен из рис. 1.

$$f(D) = \begin{cases} \int_0^{\alpha_i(D)} f_1(\alpha) f_2(D|\alpha) d\alpha, & \text{при } D \in [D_i^b; D_i^m), \\ \int_0^1 f_1(\alpha) f_2(D|\alpha) d\alpha, & \text{при } D \in [D_r^m; D_r^m), \\ \int_0^{\alpha_r(D)} f_1(\alpha) f_2(D|\alpha) d\alpha, & \text{при } D \in [D_r^m; D_r^b). \end{cases} \quad (1.1)$$

Для некоторых комбинаций типов распределений по α и по D с помощью соотношений (1.1) можно получить явные расчетные формулы для результирующей плотности распределения на базовом интервале. К таким типам распределений относятся равномерное, треугольное и трапецидальное. Соотношения (1.1) позволяют получить явные формулы и для более сложных случаев. Интересным представляется рассмотрение случая, когда при равномерном распределении по α эксперт указывает треугольный закон для распределения по моделируемому параметру D на базовом интервале, переходящий в равномерное распределение на мини-интервале. Обоснованность такой постановки объясняется следующими рассуждениями. Выдвинем гипотезу, что знания эксперта о поведении параметра в значительной мере связаны с размерами интервалов его возможных значений. Чем уже интервал, тем труднее эксперту определить предпочтительные участки на этом интервале. Представляется поэтому естественным, что на наиболее узком из указанных экспертом интервалов распределение близко к равномерному.

Анализ и сравнение различных комбинаций распределений в рамках метода ОИО иллюстрируются следующим примером.

2. Иллюстрирующий пример

В строительном бизнесе часто возникает задача анализа инвестиционного проекта для принятия решения о возможной покупке земельного

участка и выбора наилучшей идеи его использования. Значения многих параметров проекта не могут быть точно оценены на момент проведения анализа и оцениваются экспертом. В случае анализа проекта по возведению бизнес-центра к таким параметрам, например, относится цена за квадратный метр, по которой будут продаваться площади в возводимом объекте. На рис. 2 приведены функции плотности вероятности и функции вероятностей гарантированного результата для стоимости квадратного метра офисных площадей, полученные в результате использования экспертом инструментария ОИО. Для сравнения даны результаты, которые были бы получены при использовании моноинтервального подхода.

В качестве базового интервала был указан интервал от 2 до 11 тыс. у. е. Мини-интервал был определен симметрично — от 5 до 8 тыс. у. е. Сначала была построена функция распределения для комбинации равномерное по α равномерное по D .

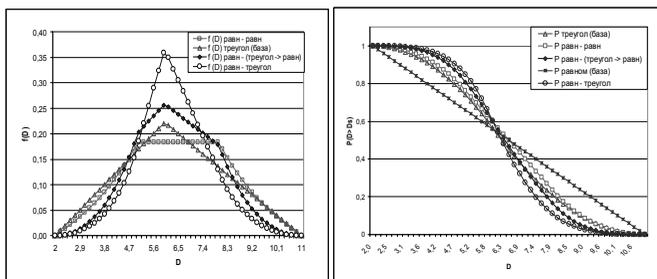


Рис. 2. Плотности функций распределения и функции вероятности для различных оценок стоимости квадратного метра офисных площадей в планируемом бизнес-центре

Эксперт выразил желание выделить предпочтительные участки на мини-интервале (также было явно указано модальное, наиболее вероятное значение для цены за квадратный метр — 6 тыс. у. е., заметим, что это не центр мини-интервала). При расчете результирующего распределения на базовом интервале для новой комбинации исходных распределений — равномерное по α треугольное по D — эксперт высказал опасения по поводу слишком высоких, по его мнению, шансов для значений в окрестности моды относительно остальных значений интервала. После расчетов для того же значения моды в комбинации равномерное по α треугольное по D на базовом интервале, переходящее в равномерное на мини-интервале, эксперт выразил согласие с полученным на базовом интервале результатом.

По плотностям функций распределения были рассчитаны функции вероятностей «гарантированного результата». При сравнении результатов применения ОИО с моноинтервальным равномерным законом распределения на базовом интервале можно видеть, что поведение функции распределения для ОИО более сбалансировано: ОИО устраняют недооценку больших значений исходных параметров, с одной стороны, и переоценку больших значений этих параметров, с другой.

Различия в оценках стоимости за квадратный метр, полученных при использовании треугольного распределения для моноинтервального подхода и треугольного, переходящего в равномерное, для ОИО, на выбранном экспертом уровне $P(85)$ составили более 10 %: 4 340 у. е. и 4 880 у. е. соответственно. При общей площади планируемого объекта в 35 000 кв. м. различия в оценках планируемой прибыли составили несколько миллионов у. е.

3. Нормальная форма ОИО

Одна и та же результирующая функция распределения значений моделируемой величины на базовом интервале может быть получена на основе различных ОИО. Следовательно, существует потребность в стандартной форме представления ОИО, которая позволяла бы сравнивать различные оценки, анализировать их и преобразовывать в другие формы.

Идея состоит в преобразовании ОИО в ОИО с равномерным распределением по параметру α . Назовем такую форму ОИО *нормальной формой ОИО*.

Алгоритм «нормализации» заключается в разбиении исходной ОИО на достаточно большое число (N) α -слоев и пересчете высоты каждого слоя в зависимости от соответствующего ему значения $f_1(\alpha)$: $\delta_j = \frac{f_1(\alpha_j)}{N}$.

На рис. 3 представлены результаты нормализации двух ОИО, построенных на исходных данных рассмотренного выше примера. Плотности $f_1(\alpha)$ имеют треугольную форму соответственно с модами 0,3 и 0,7 (на рисунке не показаны). После нормализации и наложения двух оценок видно, что в первом случае эксперт склонен описывать поведение параметра более широкими интервалами, чем во втором случае.

Думается, что такой способ представления знаний эксперта позволит повысить наглядность обобщенной оценки при сохранении всей информации, полученной от эксперта. Действительно, в рамках подхода ОИО мнение эксперта о шансах интервала или слоя интервалов в общей совокупности может быть отражено как значением $f_1(\alpha)$ для соответствующего слоя, так и формой боковых сторон криволинейной трапеции,

являющейся представлением знаний эксперта о моделируемом параметре. Для «нормальной» формы ОИО используется только второй из описанных способов.

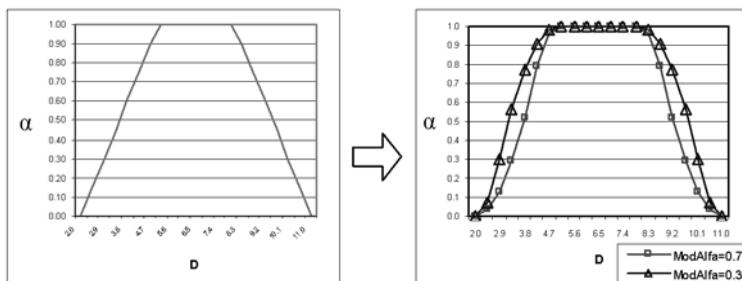


Рис. 3. Преобразование ОИО в нормальную форму

4. Web-реализация СПЭР

Очередным этапом в эволюции распределенных систем явилась технология Web-services (Web-сервисов или Web-служб) [W3C, 2002]. Практически на любом Web-сервере в Интернет можно создать программный модуль (Web-сервис) и в соответствии с установленными стандартами описать правила запросов к его процедурам и форматы ответов. Теперь любой пользователь Интернет или программа может послать запрос, вызвать желаемые процедуры данного Web-сервиса и получить результаты их работы.

Технология Web-сервисов базируется на следующих четырех компонентах, разработка которых стандартизована консорциумом W3C:

- стандартный протокол запросов к Web-сервисам: SOAP (Simple Object Application Protocol) [SOAP, 2002];
- стандартный формат представления данных: XML (eXtensible Markup Language) [XML, 2000];
- стандартный язык описания Web-сервиса: WSDL (Web Services Description Language) [WSDL, 2002];
- Стандартный механизм обнаружения Web-сервиса: UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) [UDDI, 2004].

Архитектура интеллектуальной СПЭР, реализованной с использованием технологии Web-сервисов, выглядит следующим образом (рис. 4).



Рис. 4. Архитектура Web-СПЭР

Стандартная двухуровневая модель клиент-сервер расширяется до многоуровневой:

- уровень представления данных;
- уровень Web-сервера;
- уровень приложений;
- уровень вычислений;
- уровень базы данных.

Роль клиента выполняет стандартный Web-браузер, входящий в комплект поставки большинства современных операционных систем. Все современные Web-браузеры обеспечивают поддержку языков XML и HTML, поэтому функции представления реализуются с использованием этих форматов.

Графическое представление данных основано на технологии Scalable Vector Graphics (SVG) [SVG, 2004], разработанной компанией Adobe. Эта технология также стандартизована консорциумом W3C. SVG позволяет создавать двумерные динамические интерактивные объекты на основе XML-описания.

Уровень Web-сервера реализован комбинацией Internet Information Server (IIS 5.0), входящим в стандартную поставку операционных систем Windows 2000 и Windows XP, и серверными скриптами Active Server Pages в среде .NET Framework (ASP.NET).

Уровень приложений представлен набором Web-сервисов, реализующих взаимодействие с экспертом и расчет параметров по моделям, входя-

щим в базу моделей СПЭР. Для задач, требующих значительных вычислительных мощностей, целесообразно выделить отдельный уровень, взаимодействие с которым будет также осуществляться через механизм Web-сервисов.

Рассмотрим подробнее реализацию этой идеи (рис. 5).

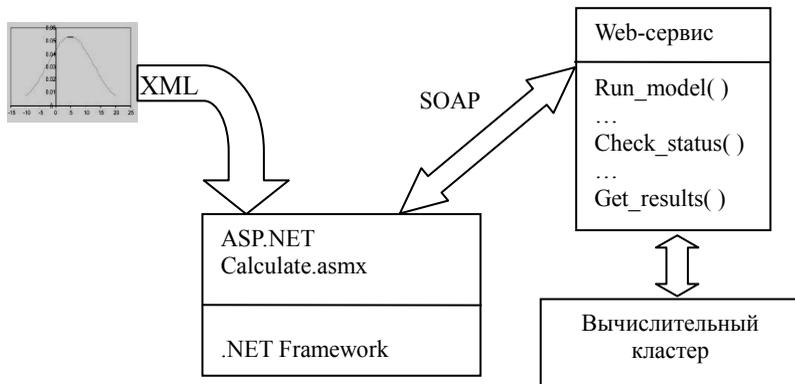


Рис. 5. Организация вычислений в Web-СПЭР

При работе с системой эксперт задает значения исходных параметров в виде интервальных чисел, ОИО, случайных величин или детерминистических оценок — в зависимости от степени его уверенности в реализации того или иного исхода. Заметим, что вся эта информация является структурированной. В случае ОИО со вложенной структурой каждый параметр характеризуется оценками базового и мини-интервалов с указанием типов и характеристик распределений, а также распределением по параметру α .

Эти значения определяют XML-описание данного параметра, упаковываемые в SOAP-конверт и отправляются в качестве запроса соответствующему Web-сервису, отвечающему за выполнение расчетов по определенной модели. Web-сервис вызывает вычислительный код, расположенный на высокопроизводительном сервере и ожидает ответ в виде результатов расчета. Во время счета другой Web-сервис может отображать ход процесса на экране эксперта.

Поскольку весь обмен данными идет по открытым протоколам в форме SOAP-конвертов, представляющих собой XML-документы, а транспортным протоколом выступает HTTP, проблем совместимости различных платформ не возникает. Например, Web-сервис, вызывающий

вычислительный код, может находиться на Web-сервере на платформе Windows (IIS 5.0), а сам код — на высокопроизводительном кластере под Linux.

Пользователь (руководитель или эксперт по проблеме или ее составной части) имеет доступ к соответствующим разделам интерфейса, позволяющим ему взаимодействовать с требуемыми для работы моделями и базами данных. Web-сервисы, отвечающие за определенные модели, либо за подготовку входных параметров, могут быть реализованы в виде приложений для «толстого» клиента. Это позволит эксперту использовать отдельные компоненты СПЭР и работать в автономном режиме, загружая необходимые для этого модули на своем компьютере.

Заключение

Корректность и эффективность результатов решения многих практических задач часто зависит от эффективности взаимодействия эксперта и СПЭР. Инструментарий интеллектуальных систем поддержки экспертных решений должен включать не только базу моделей предметных областей (как экспресс-модели, так и наиболее детальные), но и базу моделей представления экспертных знаний о предметной области.

Метод ОИО является перспективным подходом к выявлению и представлению экспертных знаний о количественных параметрах, известных с неопределенностью. Его достоинства заключаются в гибкости построения ОИО, поскольку эксперт имеет возможность самостоятельно определять характерные интервалы для описания всей их совокупности, отражающей его знания, а также в наличии аналитических соотношений, позволяющих получать результирующие распределения вероятностей из исходных экспертных суждений.

Предложенное преобразование произвольной ОИО к нормальной форме с равномерным распределением по параметру α позволяет сопоставить ОИО с различными типами исходных распределений по α , формируя основу для работы с группой экспертов.

Литература

- [Стернин и др., 2003] *Стернин М. Ю., Шепелев Г. И.* Метод представления знаний в интеллектуальных системах поддержки экспертных решений // *Новости искусственного интеллекта.* 2003. № 4.
- [Стернин и др., 2004] *Стернин М. Ю., Чугунов Н. В., Шепелев Г. И.* Система поддержки экспертных решений оценки запасов углеводородов // *Искусственный интеллект.* 2004. № 2.

[Стернин и др., 2005] *Стернин М. Ю., Чугунов Н. В., Шепелев Г. И.* Модели предметных областей в компьютерных системах, основанных на знаниях // Труды Института системного анализа Российской академии наук (ИСА РАН). М.: УРСС, 2005.

[Kahneman et al., 1982] *Kahneman D., Slovic P., Tversky A.* (eds). Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

[Shepelyov et al., 2003] *Shepelyov G., Sternin M.* Method of generalized interval estimations for intelligent DSS // Proceedings of international conference «DSS in the uncertainty of the Internet age». Katowice: University of economics, 2003.

[SOAP, 2002] SOAP 1.2 (Recommendation) [Electron. resource] // Mode of access: <http://www.w3.org/TR/soap12-part0/>.

[SVG, 2004] Scalable Vector W3C Graphics (SVG). [Electron. resource] // Mode of access: / <http://www.w3.org/Graphics/SVG/>.

[UDDI, 2004] Universal Description, Discovery and Integration of Web Services. [Electron. resource] // Mode of access: <http://www.uddi.org/>.

[WSDL, 2002] Web Services Description Language (WSDL) 2.0 (W3C Specification). [Electron. resource] // Mode of access: <http://www.w3.org/2002/ws/desc/wsdl20>.

[W3C, 2002] W3C Web Services Activity. [Electron. resource] // Mode of access: <http://www.w3.org/2002/ws/>.

[XML, 2000] XML Protocol Working Group (W3C). [Electron. resource] // Mode of access: <http://www.w3.org/2000/xp/Group/>.