

D. V. Bocharova, Yu. V. Barsukov
JSC «Concern „Oceanpribor“» (Saint Petersburg)

G. D. Dmitrevich
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

CASE-TECHNOLOGIES FOR AUTOMATED UNDERWATER MULTYCHANNEL PRE-PROCESSING SYSTEMS TESTING

Describes necessity of using CASE-technologies in automated underwater pre-processing systems testing. CASE-system for automated underwater pre-processing systems is introduced

CASE-technologies, CASE-system, automated testing, underwater pre-processing systems, underwater communication system

УДК 004.9

Н. В. Даценко
Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации

Принятие решений на основе неопределенной априорной информации в автоматизированной консультативной системе судебно-медицинской травматологии

Предлагается способ повышения эффективности процесса производства судебно-медицинской экспертизы по делам о расстройстве здоровья и смерти от воздействия внешних факторов – разработка и использование автоматизированной консультативной системы, позволяющей оперативно формировать достоверные заключения на основе неполной, неточной, нечеткой, противоречивой информации.

Автоматизированная консультативная система, судебно-медицинская травматология, продукционная база знаний, формализация нечетких априорных данных, принятие решений на основе неполной и/или неточной информации, процедуры разрешения конфликтов логического вывода

Основной задачей судебно-медицинской травматологии (СМТ) является установление взаимосвязи между наступившим расстройством здоровья и телесным повреждением, причиненным каким-либо фактором внешней среды – физическим, химическим, биологическим, психическим. Формирование судебно-медицинского диагноза – весьма сложная задача, так как вопросы СМТ решаются специалистом на основе неопределенной (неполной, неточной, противоречивой) исходной информации в условиях дефицита времени для принятия решения, вследствие чего повышается вероятность совершения ошибок при производстве экспертизы. Неполнота априорных данных объясняется тем, что организм каждого человека индивидуален, в связи с чем при воздей-

ствии на него внешних факторов могут проявиться не все характерные симптомы, и, наоборот, наличие свидетельств, указывающих, например, на отравление химическими веществами, может быть обусловлено обострением хронических заболеваний у пострадавшего. Неточность информации связана с тем, что многие симптомы характерны для целого ряда внешних воздействий, но играют разную диагностическую роль для каждого из них. Противоречивость исходных данных объясняется как индивидуальными особенностями организма, так и различными субъективными факторами (например, противоречивыми свидетельскими показаниями). Большое значение для следствия имеет оперативность формирования экспертного заключения, так как по статистике

большинство преступлений раскрывается на этапе предварительного расследования. Однако специалист не всегда может обеспечить оперативность получения заключения из-за необходимости обработки большого объема данных и наличия логических рассуждений и действий, выполнение которых нельзя ускорить даже привлечением большого числа исполнителей.

В связи с изложенным формирование экспертного заключения в области судебно-медицинской травматологии в настоящее время оказывается неэффективным с точки зрения обеспечения достоверности и оперативности экспертизы. Указанная проблема может быть решена посредством разработки и использования в экспертной практике автоматизированной консультативной системы (АКС), позволяющей осуществлять оперативную обработку неопределенной априорной информации и получать достоверные выводы на основе данных осмотра места происшествия и результатов криминалистических экспертиз [1].

При разработке АКС необходимо учитывать, что специалист формирует заключение, применяя как теоретические знания из области СМТ, так и практический опыт, т. е. эвристические правила. В связи с этим для формализации процесса производства судебно-медицинской экспертизы по делам о расстройстве здоровья и смерти от воздействия внешних факторов целесообразно использовать принципы искусственного интеллекта, позволяющие решать сложноформализуемые задачи.

Структурирование знаний в автоматизированной консультативной системе судебно-медицинской травматологии. Как известно, одним из наиболее важных блоков интеллектуальной системы является база знаний (БЗ), содержащая процедурную информацию предметной области. При проектировании БЗ прежде всего возникает проблема выбора наиболее адекватной модели представления процедурных знаний. Учитывая особенности процесса формирования диагноза в области СМТ, модель процедурных знаний формализуемой предметной области должна обеспечивать возможность сокращения времени поиска информации и модификации одних знаний относительно независимо от других (например, в связи с расширением номенклатуры химических веществ, развитием методов исследований и т. д.). Всем этим требованиям отвечает продукционная модель, которая чаще всего используется в интеллектуальных системах для представления знаний.

Продукции в базе знаний АКС целесообразно представить в виде кортежа [2], [3]:

$$\langle p; L; A \rightarrow h; \text{МД}_p; \text{МНД}_p \rangle, \quad (1)$$

где p – имя продукции (в его качестве предлагается использовать порядковый номер продукции в БЗ); L – сфера применения продукции («химический фактор», «физический фактор» и т. д.); $A \rightarrow h$ – ядро продукции; МД_p и МНД_p – соответственно мера доверия и мера недоверия гипотезе h , выводимой из данной продукции, при условии истинности посылок ($A = \{A_n\}$, $n = \overline{1, N}$ – множество посылок, описывающих некоторую ситуацию, $h = \{h_j\}$, $j = \overline{1, J}$ – множество гипотез, которые рассматриваются в процессе логического вывода, если посылки будут удовлетворены).

Интерпретацией ядра продукции является выражение

$$\text{ЕСЛИ } A_1 \text{ и/или } \dots A_n, \text{ ТО } h_j.$$

Для получения значений МД_p и МНД_p предлагается использовать метод направленного опроса специалистов: из БЗ отбираются продукции с одинаковым значением L и объединяются в множества; экспертам предлагается заполнить анкеты, в которых необходимо оценить n входных переменных (посылок продукции) в зависимости от их значимости для истинности (при назначении МД_p) или ложности (при назначении МНД_p) выводимой гипотезы. Каждый специалист производит ранжирование, т. е. присваивает всем переменным определенные ранги: наименее значимой переменной – наименьший ранг (равный 1), наиболее значимой – наибольший (равный n). Таким образом формируется матрица ранжирования, по данным которой оценивается согласованность экспертов с помощью коэффициента конкордации Кендалла. В случае принятия гипотезы о наличии согласия эксперты дают оценку МД_p (или МНД_p) продукции, посылкам которой присвоена наибольшая сумма рангов; остальные значения мер рассчитываются пропорционально этой оценке и полученной сумме рангов исходя из того, что МД_p и МНД_p принимают значения в интервале $[0; 1]$. Например, из описания продукции «12; химический фактор; ЕСЛИ имеются химические ожоги И они имеют чернова-

тую окраску, ТО отравление серной кислотой; 0.9; 0.05» следует, что, по мнению специалистов, при наличии данных симптомов мера доверия гипотезы h_j = «причиной отравления является серная кислота», выводимой из данной продукции, составляет 0.9, а мера недоверия – 0.05.

Структурируем БЗ автоматизированной консультативной системы, представив ее в виде совокупности множеств, элементами каждого из которых являются продукции, относящиеся к определенной сфере предметной области:

$$Q = \{q_s\}, s = \overline{1, S}, t = \overline{1, T},$$

где s – порядковый номер множества; t – порядковый номер продукции, принадлежащей множеству с номером s .

Предлагается упорядочить продукции внутри каждого множества q_s по степени детализации априорной информации – от общей (например, данных, полученных после осмотра места происшествия) к специфической (результатов судебно-химических, судебно-биологических исследований, вскрытия и т. п.). Таким образом вводятся статические приоритеты продукции, чтобы исключить дополнительную экспертизу в случае, когда можно сформировать достоверное заключение на основе уже рассмотренных продукции; тем самым уменьшаются материальные затраты и обеспечивается оперативность получения выводов.

Формализация нечеткой информации в автоматизированной консультативной системе судебно-медицинской травматологии. При разработке базы знаний АКС необходимо учитывать, что одной из особенностей процесса производства судебно-медицинских исследований в области травматологии является сложность накопления достаточного количества статистических данных по всем возможным случаям, что объясняется уникальностью каждого следственного дела. В связи с этим необходимо формировать БЗ с участием экспертов, которые нередко выражают свои знания с помощью нечетких понятий типа «небольшая концентрация яда», «среднее телосложение», «большая скорость всасывания» и т. п. Для обеспечения автоматизированной обработки качественной информации в АКС ее необходимо формализовать. Эту задачу можно решить разработав соответствующий программный мо-

дуль, позволяющий формировать функцию принадлежности с использованием методов групповой экспертизы [4]. Они обеспечивают высокую достоверность полученной информации, поскольку применение математических процедур для объединения экспертных данных позволяет компенсировать смещение оценок отдельных членов группы. В связи с этим формализацию нечеткой информации в АКС предлагается осуществлять с помощью следующих методов [5]:

1) парных сравнений – для формализации понятий типа «большая концентрация карбоксигемоглобина в крови», «слабая сердечная деятельность», «высокая температура тела» и т. п.;

2) прямой экспертной оценки – при необходимости формализации нечетких чисел, приблизительно равных некоторому четкому числу (например, «средняя суточная доза фенобарбитала для взрослых составляет приблизительно 2 мг/кг массы»), и приближенных интервальных оценок вида «токсическая доза ноксирона находится приблизительно в интервале от 5 до 20 г».

На первом этапе нечеткое подмножество универсального множества $X = \{x\}$ представляется в виде совокупности пар [6]:

$$S = \{\mu_S(x)/x\}, x \in X,$$

где $\mu_S : X \rightarrow [0,1]$ – отображение множества X в единичный отрезок $[0,1]$, называемый функцией принадлежности нечеткого множества S .

Значение функции принадлежности $\mu_S(x)$ для элемента $x \in X$ является степенью принадлежности; интерпретацией степени принадлежности $\mu_S(x)$ служит субъективная мера того, насколько элемент $x \in X$ соответствует понятию, смысл которого формализуется нечетким множеством S . С помощью метода направленного опроса специалистов формируется множество N_S , называемое носителем нечеткого множества S :

$$N_S = \{x \in X : \mu_S(x) > 0\}.$$

Затем вычисляются степени принадлежности $\mu_S(x)$ с использованием указанных выше методов.

Рассмотрим, например, процедуру формализации нечеткого понятия «небольшая концентрация барбитуратов в крови» [7]. Согласно мнениям экспертов, носителем нечеткого множества формализуемого понятия является конечное множество

$$N_S = \{0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1.0\}, \quad (2)$$

каждый элемент которого представляет собой определенную концентрацию барбитуратов в крови в миллиграмм-процентах. С помощью метода парных сравнений были получены следующие значения функции принадлежности:

$$\mu_S(x) = \{0.1; 0.3; 0.8; 0.9; 1.0; 1.0; 0.9; 0.8; 0.3; 0.1\}.$$

Таким образом, нечеткое множество S имеет вид

$$S = \{0.1/0.1; 0.3/0.2; 0.8/0.3; 0.9/0.4; 1.0/0.5; 1.0/0.6; 0.9/0.7; 0.8/0.8; 0.3/0.9; 0.1/1.0\}. \quad (3)$$

Из (3) следует, что формализуемому нечеткому понятию полностью соответствует концентрация от 0.5 до 0.6 миллиграмм-процентов, в меньшей степени – концентрация от 0.1 до 0.4 и от 0.7 до 1.0 миллиграмм-процентов; концентрация меньше 0.1 и больше 1.0 миллиграмм-процента понятием «небольшая» охарактеризована быть не может.

Вывод экспертного заключения в автоматизированной консультативной системе на основе неточной и/или неполной информации. Как уже отмечалось, при экспертизе телесных повреждений специалисту довольно часто приходится принимать решения на базе неточной и/или неполной информации. В связи с этим экспертное заключение не всегда может быть сформировано с полной (100 %-й) уверенностью. С целью решения проблемы оценки степени уверенности, с которой можно считать достоверными выводимые гипотезы, целесообразно использовать эффективную процедуру неточного вывода экспертной системы MYCIN, для чего с каждой продукцией базы знаний АКС необходимо связать коэффициент надежности (КН), а с каждой посылкой – коэффициент уверенности (КУ), выражающие соответственно большую (или меньшую) достоверность продукции и посылки [8]. Коэффициент уверенности является динамической величиной, назначается пользователем в процессе логического вывода в зависимости от имеющихся следственных данных и принимает значение в интервале [0; 1]. Для вычисления коэффициента надежности продукции используется следующая формула:

$$КН_p = МД_p - МНД_p.$$

Таким образом, учитывая изложенное, выражение (1) примет вид

$$\langle p; L; \text{ЕСЛИ } A_1(KY_1) \text{ и/или... } A_n(KY_n), \text{ ТО } h_j; МД_p; МНД_p \rangle. \quad (10)$$

Комбинации посылок A_1 и/или... A_n представим в виде множества $B = \{b_r\}$, $r = \overline{1, R}$, а все известные на данный момент свидетельства – в виде множества $E = \{e_\omega\}$, $\omega = \overline{1, \Omega}$ [9]. При поступлении свидетельства e_ω в рабочую память системы осуществляется просмотр БЗ для выявления продукции, посылки которой совпадают с e_ω . Если такая продукция найдена, то коэффициент уверенности m -й гипотезы с учетом свидетельства e_ω вычисляется по выражению

$$КУ_{h_m}[e_\omega] = КН_p[e_\omega] \cdot КУ_{b_r}[e_\omega], \quad (4)$$

где $КН_p[e_\omega]$ – коэффициент надежности продукции, посылки которой совпадают с e_ω ; $КУ_{b_r}[e_\omega]$ – обобщенный коэффициент уверенности посылки b_r , совпадающей с e_ω , который определяется следующим образом:

1) если в r -й продукции имеется операция конъюнкции $A_1(KY_1)$ и... $A_n(KY_n)$, то

$$КУ_{b_r}[e_\omega] = \min(KY_1, \dots, KY_n);$$

2) если используется дизъюнкция $A_1(KY_1)$ или... $A_n(KY_n)$, то

$$КУ_{b_r}[e_\omega] = \max(KY_1, \dots, KY_n).$$

При появлении дополнительной информации (свидетельства e_λ , $\lambda = \overline{1, \Omega}$) в пользу m -й гипотезы коэффициент уверенности вычисляется по выражению

$$КУ_{h_m}[e_\omega, e_\lambda] = КУ_{h_m}[e_\omega] + КУ_{h_m}[e_\lambda](1 - КУ_{h_m}[e_\omega]), \quad (5)$$

где свидетельство e_λ следует за e_ω ; $КУ_{h_m}[e_\lambda]$ определяется по формуле (2).

При применении выражения (5) эффект, оказанный e_λ на m -ю гипотезу при данном свидетельстве e_ω , заключается в смещении коэффициента уверенности в сторону полной определенности на значение, зависящее от e_λ . Очевидно, что

коэффициент уверенности гипотезы принимает значения в интервале $[0; 1]$. Согласно мнениям экспертов, всякий факт, для которого коэффициент уверенности ≤ 0.2 , рассматривается как малонадежный, и гипотеза может быть отвергнута. По окончании процесса вывода заключения пользователю выдается сообщение о результатах диагностики.

Разрешение конфликтов логического вывода экспертного заключения в автоматизированной консультативной системе. Помимо проблемы вывода заключений на основе неполной и/или неточной информации, как уже отмечалось, в АКС судебно-медицинской травматологии должна быть решена задача формирования достоверных выводов на базе противоречивых данных. Следствием противоречивости априорной информации является возникновение ситуаций, когда становятся истинными послылки нескольких продукций, т. е. возникает конфликт между продукциями и появляется проблема выбора порядка активизации продукций из конфликтного набора. Кроме того, в процессе логического вывода коэффициенты уверенности нескольких гипотез могут одновременно принимать значение ≥ 0.2 . В такой ситуации необходимо определить наиболее достоверную из них, т. е. найти направление дальнейшего вывода [10].

Приоритет продукций предлагается определять ранжированием конфликтного набора, учитывая упорядоченность продукций в каждом из множеств q_{s_i} . Наличие номера p у каждой продукции позволяет использовать методы сортировки числовой информации для определения наиболее приоритетных продукций (с наименьшими номерами), позволяющих вывести экспертное заключение с наименьшими затратами временных и материальных ресурсов.

Для разрешения конфликта гипотез целесообразно использовать правило Байеса, которое позволяет вычислить апостериорные вероятности гипотез на основе их априорных вероятностей. Так как разрешение конфликта между гипотезами, возникающего в процессе логического вывода в АКС, заключается в выборе наиболее достоверной из них (т. е. имеющей наибольший коэффициент уверенности), то для определения направления дальнейшего вывода предлагается использовать правило Байеса в виде

$$KY'_{H_i}[h_m, e_\lambda] = \frac{KY_{H_i}[h_m]KY_{H_i}[h_m, e_\lambda]}{\sum_{k=1}^K KY_{H_k}[h_m]KY_{H_k}[h_m, e_\lambda]}, \quad (6)$$

$$i = \overline{1, K},$$

где H_i – гипотеза из полной группы несовместных комбинаций гипотез h_m ; $KY_{H_i}[h_m]$ – априорный коэффициент уверенности гипотезы H_i ; $KY_{H_i}[h_m, e_\lambda]$ – КУ гипотезы при условии, что появилось новое свидетельство e_λ ; $KY'_{H_i}[h_m, e_\lambda]$ – апостериорный КУ гипотезы.

Например, в случае конфликта двух гипотез $h_1 = \text{«отравление ядовитым веществом } Z_1\text{»}$ и $h_2 = \text{«отравление ядовитым веществом } Z_2\text{»}$ необходимо выяснить, какая из следующих гипотез, образующих полную группу событий, является наиболее достоверной:

$$H_1 = h_1 \overline{h_2}, H_2 = \overline{h_1} h_2, H_3 = h_1 h_2, H_4 = \overline{h_1} \overline{h_2}.$$

Гипотеза H_4 не рассматривается системой, поскольку коэффициенты уверенности гипотез h_1 и h_2 в процессе логического вывода приняли значение ≥ 0.2 , т. е. имеется достаточно оснований считать, что соответствующие события произошли. Априорные коэффициенты уверенности остальных гипотез вычисляются следующим образом:

$$KY_{H_1}[h_m] = KY_{H_1}[h_1, \overline{h_2}] = KY_{h_1}(1 - KY_{h_2}),$$

$$KY_{H_2}[h_m] = KY_{H_2}[\overline{h_1}, h_2] = KY_{h_2}(1 - KY_{h_1}),$$

$$KY_{H_3}[h_m] = KY_{H_3}[h_1, h_2] = KY_{h_1}KY_{h_2}.$$

Коэффициенты уверенности гипотез при появлении дополнительных данных (свидетельства e_λ) определяются по выражению (5):

$$KY_{H_i}[h_m, e_\lambda] = KY_{H_i}[h_m] + KY_{H_i}[e_\lambda](1 - KY_{H_i}[h_m]), \quad i = \overline{1, 3},$$

где $KY_{H_i}[e_\lambda]$ вычисляются по формуле (4):

$$KY_{H_1}[e_\lambda] = KN_1[e_\lambda]KY_1[e_\lambda],$$

$$KY_{H_2}[e_\lambda] = KN_2[e_\lambda]KY_2[e_\lambda],$$

$$KY_{H_3}[e_\lambda] = KN_3[e_\lambda]KY_3[e_\lambda].$$

Здесь $KN_1[e_\lambda]$, $KN_2[e_\lambda]$ и $KN_3[e_\lambda]$ – коэффициенты надежности продукций, antecedentes которых стали истинными при поступлении дополнительной информации, а консеквенты представляют собой гипотезы H_1 , H_2 и H_3 соответственно; $KY_1[e_\lambda]$, $KY_2[e_\lambda]$ и $KY_3[e_\lambda]$ – обобщенные КУ послылок этих продукций.

Затем рассчитываются апостериорные коэффициенты уверенности конфликтующих гипотез по формуле (6). Гипотеза, имеющая наибольшее значение $KU'_{H_i}[h_m, e_\lambda]$, принимается в качестве рабочей, а остальные гипотезы конфликтного набора исключаются из рассмотрения.

Предлагаемые процедуры принятия решений в автоматизированной консультативной системе

судебно-медицинской травматологии позволяют оперативно формировать достоверные заключения по делам о расстройстве здоровья и смерти от воздействия внешних факторов в условиях множества альтернативных гипотез на основе неопределенной априорной информации и тем самым повысить эффективность процесса производства экспертизы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбатенко С. А., Даценко Н. В. Информационные технологии в процессе производства медико-криминалистической экспертизы отравлений // Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов: материалы XII Междунар. науч. конф., М., 2003 / Академия управления МВД России. М., 2003. С. 428–434.
2. Искусственный интеллект: в 3 кн. Кн. 2. Модели и методы / под ред. Д. А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. 304 с.
3. Горбатенко С. А., Горбатенко В. В., Даценко Н. В. Алгоритмические процедуры принятия решений в автоматизированной консультативной системе медико-криминалистической экспертизы отравлений // Вестн. Воронежского ин-та МВД России. 2012. Вып. 3. С. 187–193.
4. Даценко Н. В. Формализация нечеткой информации методом групповой экспертизы // Сб. науч. тр. ВВШ МВД РФ / ВИ МВД РФ. Воронеж, 1998. Ч. 2. С. 32–34.
5. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А. Н. Борисов, А. В. Алексеев, Г. В. Меркурьева и др. М.: Радио и связь, 1989. 304 с.
6. Zadeh L. A. Similarity relations and Fuzzy Orderings // Inform. Science. 1971. Vol. 3, № 2. P. 177–200.
7. Горбатенко С. А., Даценко Н. В. Автоматизированная система обучения гуманитарным дисциплинам для повышения качества подготовки специалистов // Вестн. компьютерных и информационных технологий. 2011. № 10. С. 35–39.
8. Экспертные системы. Принципы работы и примеры / А. Брукинг, П. Джонс, Ф. Кокс и др.; пер. с англ.; под ред. Р. Форсайта. М.: Радио и связь, 1987. 224 с.
9. Горбатенко С. А., Даценко Н. В. Формирование экспертных заключений в автоматизированной консультативной системе судебно-медицинской травматологии на основе неопределенной априорной информации // IV Междунар. науч.-практ. конф. «Современные информационные технологии и ИТ-образование», М., 2009. URL: <http://2009.it-edu.ru/pages/Conference-works> (дата обращения: 21.04.2015).
10. Прасолов Б. Н., Даценко Н. В. Логический вывод в автоматизированной консультативной системе медико-криминалистической экспертизы отравлений // Информационные технологии. 2005. № 6. С. 68–71.

N. V. Datsenko

Voronezh Institute of the ministry of the interior of the Russian Federation

PROBLEM SOLVING ON THE BASIS OF UNCERTAIN A PRIORI INFORMATION IN THE FORENSIC TRAUMATOLOGY COMPUTER-BASED CONSULTATIVE SYSTEM

The way of efficiency improvement of forensic medical examination process in cases of the injury to health and death because of exposure to external factors is proposed - the development and the use of computer-based consultative system making possible to form promptly truthful expert conclusions on the basis of incomplete, inexact, fuzzy, contradictory information.

Computer-based consultative system, forensic traumatology, production knowledge base, fuzzy a priori data formalization, problem solving on the basis of incomplete and/or inexact information, logical deduction conflicts resolution procedures