

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОСТРАДАВШЕГО

А.И. Мотиенко (Санкт-Петербург), О.О. Басов (Орёл)

Введение

Одним из направлений в области создания аварийно-спасательных средств является разработка специализированных роботов для оказания первой помощи и транспортировки пострадавших в безопасное место. Ведущую роль при выборе способа, средств и положения, в котором будут транспортироваться пострадавшие, играют виды травм, их локализация, состояние пострадавшего. В работе представлена модель выбора положения для транспортировки пострадавшего на основе байесовской сети доверия (БСД), позволяющая делать вывод о допустимой позе пострадавшего в условиях неполных данных относительно признаков травм, состояния человека и симптомов заболевания.

Подход на основе байесовских сетей доверия

БСД имеют вероятностную семантику, используются для рассуждений в условиях неопределенности и все чаще применяются в диагностике заболеваний, выборе оптимального курса лечения пациента, предсказании исхода заболевания, построении моделей заболеваний в клинической эпидемиологии [1]. Данный научно-методический аппарат позволяет комбинировать имеющиеся статистические данные о характеристиках здоровья пациентов, в дополнение к экспертной информации, которую предоставляют врачи-специалисты. Кроме того, БСД (по сравнению с другими моделями) позволяют моделировать возможность возникновения нескольких заболеваний, а ее элементы имеют достаточно простую интерпретацию [2, 3]. Важным достоинством моделей, опирающихся на принципы искусственного интеллекта, является возможность автоматического обучения структуры модели, то есть даже если первоначальная структура модели была неполной, то имеется возможность улучшить модель при помощи поступающих данных [4].

Структура разработанной БСД представлена признаками травм, непосредственно травмами, соответствующими им положениями для транспортировки пострадавшего и взаимосвязями между ними. При этом узлы графа БСД введены, исходя из [5], на основе признаков травм, которые можно определить визуально или при помощи несложных манипуляций. В виду их большого числа ($|\mathbf{x}|=130$) для удобства восприятия граф БСД G разбит на подграфы:

- подграф G_1 (рис. 1), определяющий взаимосвязи между травмами ($x_6 \dots x_{23}$) и положениями для транспортировки ($x_1 \dots x_5$);
- подграф G_2 «Повреждение позвоночника» с таблицей условных вероятностей [6] $p(x_6 | \tilde{x}_{24} \tilde{x}_{25} \tilde{x}_{26} \tilde{x}_{27} \tilde{x}_{28} \tilde{x}_{29} \tilde{x}_{30})$;
- подграф G_3 «Шоковое состояние» с таблицей условных вероятностей $p(x_7 | \tilde{x}_{28} \tilde{x}_{31} \tilde{x}_{32} \tilde{x}_{33} \tilde{x}_{34} \tilde{x}_{35} \tilde{x}_{36} \tilde{x}_{37} \tilde{x}_{38})$;
- подграф G_4 «Переломы костей таза и нижних конечностей» с таблицей условных вероятностей $p(x_8 | \tilde{x}_{26} \tilde{x}_{28} \tilde{x}_{35} \tilde{x}_{39} \tilde{x}_{40} \tilde{x}_{41} \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{44} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{46} \tilde{x}_{47} \tilde{x}_{48} \tilde{x}_{49} \tilde{x}_{50})$;

– подграф G_5 «Сотрясение головного мозга» (рис. 2) с таблицей условных вероятностей $p(x_9 | \tilde{x}_7 \tilde{x}_{51} \tilde{x}_{52} \tilde{x}_{53} \tilde{x}_{54} \tilde{x}_{55} \tilde{x}_{56} \tilde{x}_{57} \tilde{x}_{58} \tilde{x}_{59} \tilde{x}_{60})$;

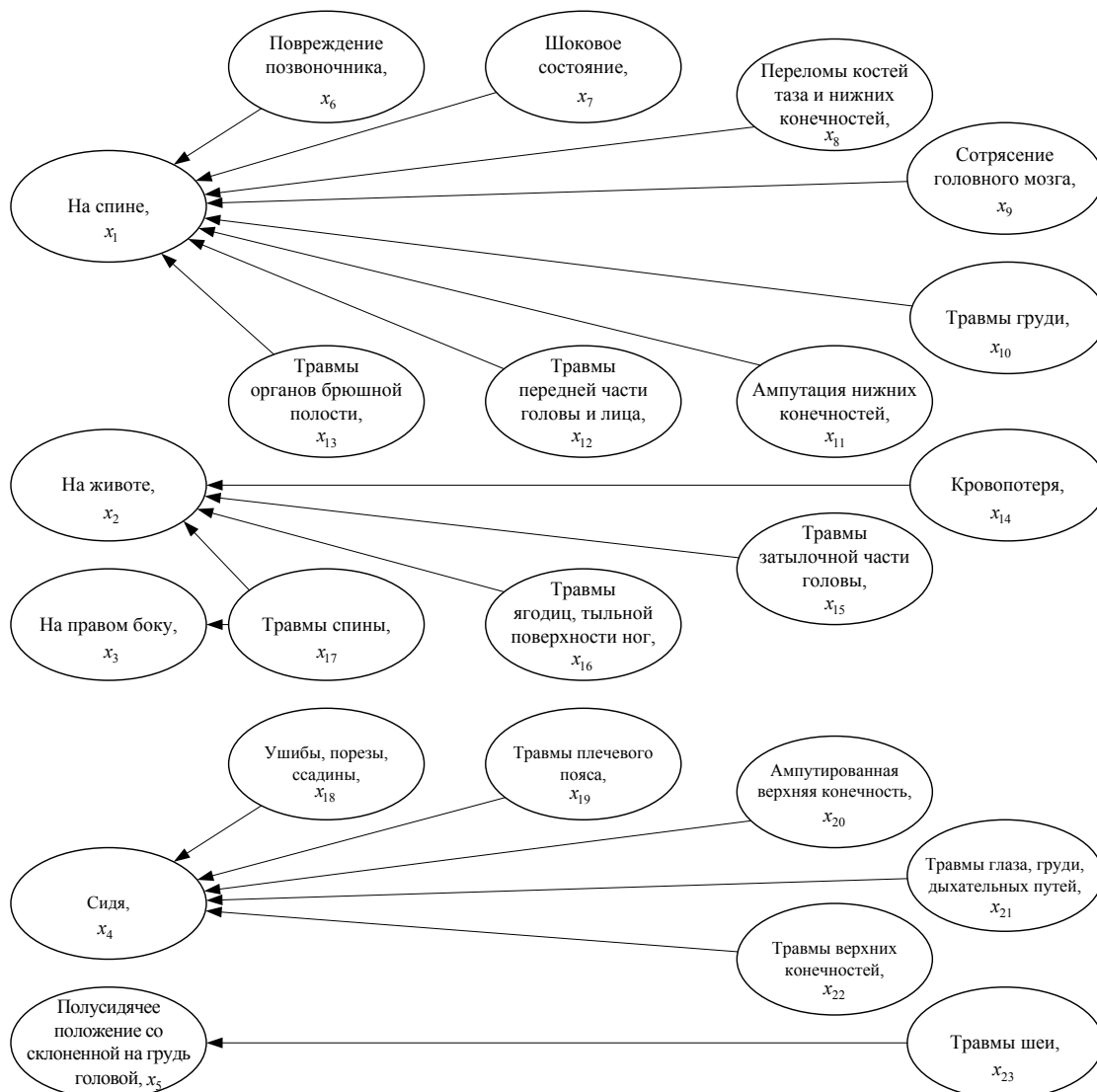


Рис. 1. Подграф БСД, определяющий взаимосвязи между травмами и положениями для транспортировки

– подграф G_6 «Травмы груди» с таблицей условных вероятностей $p(x_{10} | \tilde{x}_{28} \tilde{x}_{61} \tilde{x}_{62} \tilde{x}_{63} \tilde{x}_{64} \tilde{x}_{65} \tilde{x}_{66} \tilde{x}_{67} \tilde{x}_{68} \tilde{x}_{69} \tilde{x}_{70} \tilde{x}_{71} \tilde{x}_{72} \tilde{x}_{73} \tilde{x}_{74})$;

– подграф G_7 «Ампутированная нижняя конечность» с таблицей условных вероятностей $p(x_{11} | \tilde{x}_{75})$;

– подграф G_8 «Травмы передней части головы и лица» с таблицей условных вероятностей $p(x_{12} | \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{46} \tilde{x}_{76} \tilde{x}_{77} \tilde{x}_{78} \tilde{x}_{79} \tilde{x}_{80} \tilde{x}_{81})$;

– подграф G_9 «Травмы органов брюшной полости» с таблицей условных вероятностей $p(x_{13} | \tilde{x}_7 \tilde{x}_{28} \tilde{x}_{33} \tilde{x}_{34} \tilde{x}_{37} \tilde{x}_{38} \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{78} \tilde{x}_{83} \tilde{x}_{84} \tilde{x}_{85} \tilde{x}_{86} \tilde{x}_{87} \tilde{x}_{89} \tilde{x}_{90} \tilde{x}_{91} \tilde{x}_{92})$;

- подграф G_{10} «Кровопотеря» с таблицей условных вероятностей $p(x_{14} | \tilde{x}_7 \tilde{x}_{53} \tilde{x}_{60} \tilde{x}_{85} \tilde{x}_{93} \tilde{x}_{94} \tilde{x}_{95})$;
- подграф G_{11} «Травмы затылочной части головы» с таблицей условных вероятностей $p(x_{15} | \tilde{x}_9 \tilde{x}_{87} \tilde{x}_{96} \tilde{x}_{97} \tilde{x}_{98} \tilde{x}_{99} \tilde{x}_{100} \tilde{x}_{101} \tilde{x}_{102} \tilde{x}_{103} \tilde{x}_{104} \tilde{x}_{105})$;

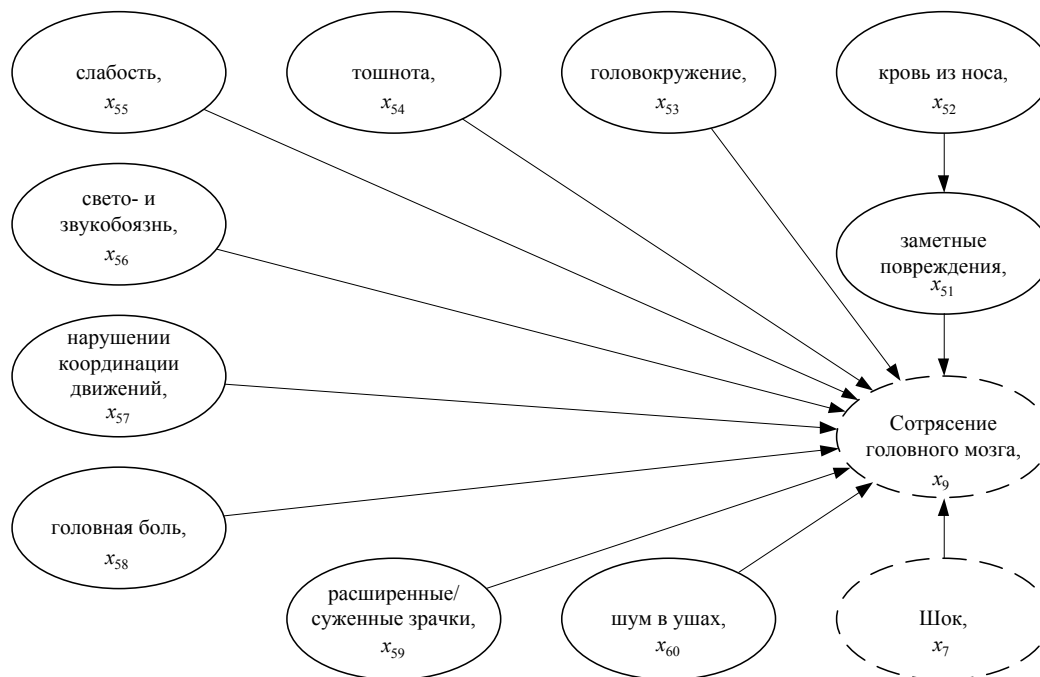


Рис. 2. Подграф БСД, определяющий симптоматику сотрясения головного мозга

- подграф G_{12} «Травмы ягодиц, тыльной поверхности ног» с таблицей условных вероятностей $p(x_{16} | \tilde{x}_8 \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{78} \tilde{x}_{106} \tilde{x}_{107})$;
- подграф G_{13} «Травмы спины» с таблицей условных вероятностей $p(x_{17} | \tilde{x}_6 \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{107})$;
- подграф G_{14} «Ушибы, порезы, ссадины» с таблицей условных вероятностей $p(x_{18} | \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{78} \tilde{x}_{106} \tilde{x}_{109})$;
- подграф G_{15} «Травмы плечевого пояса» с таблицей условных вероятностей $p(x_{19} | \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{46} \tilde{x}_{76} \tilde{x}_{89} \tilde{x}_{110} \tilde{x}_{111} \tilde{x}_{112} \tilde{x}_{113})$;
- подграф G_{16} «Ампутированная верхняя конечность» с таблицей условных вероятностей $p(x_{20} | \tilde{x}_{114})$;
- подграф G_{17} «Травмы глаза, груди, дыхательных путей» с таблицей условных вероятностей $p(x_{21} | \tilde{x}_{10} \tilde{x}_{33} \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{46} \tilde{x}_{115} \tilde{x}_{116} \tilde{x}_{117} \tilde{x}_{118} \tilde{x}_{119} \tilde{x}_{120})$;
- подграф G_{18} «Травмы верхних конечностей» с таблицей условных вероятностей $p(x_{22} | \tilde{x}_{76} \tilde{x}_{121} \tilde{x}_{122} \tilde{x}_{123} \tilde{x}_{124} \tilde{x}_{125} \tilde{x}_{126})$;

– подграф G_{19} «Травмы шеи» с таблицей условных вероятностей $p(x_{23} | \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{54} \tilde{x}_{107} \tilde{x}_{127} \tilde{x}_{128} \tilde{x}_{129} \tilde{x}_{130})$.

Обозначение \tilde{x} используется для указания, что на этом месте в формуле может стоять как сама пропозициональная формула x , так и ее отрицание \bar{x} .

Для подграфа G_1 (см. рис. 1) таблица условных вероятностей имеет вид:

$$p(x_1 | \tilde{x}_6 \tilde{x}_7 \tilde{x}_8 \tilde{x}_9 \tilde{x}_{10} \tilde{x}_{11} \tilde{x}_{12} \tilde{x}_{13}) = 1, \quad (1)$$

если имеет место хотя бы одна пропозициональная формула $x_i, i = 6...13$;

$$p(x_2 | \tilde{x}_{14} \tilde{x}_{15} \tilde{x}_{16} \bar{x}_{17}) = 1, \quad (2)$$

если имеет место хотя бы одна пропозициональная формула $x_i, i = 14...16$;

$$p(x_2 | x_{14} x_{15} x_{16} x_{17}) = 1; \quad p(x_2 | \bar{x}_{14} \bar{x}_{15} \bar{x}_{16} x_{17}) = 0,5; \quad p(x_2 | \tilde{x}_{14} \tilde{x}_{15} \tilde{x}_{16} x_{17}) = 0,75, \quad (3)$$

при любом другом сочетании пропозициональных формул x_i и их отрицаний \bar{x}_i ($i = 14...16$);

$$p(x_3 | x_{17}) = 1; \quad p(x_3 | \bar{x}_{17}) = 0; \quad (4)$$

$$p(x_4 | \tilde{x}_{18} \tilde{x}_{19} \tilde{x}_{20} \tilde{x}_{21} \tilde{x}_{22}) = 1, \quad (5)$$

если имеет место хотя бы одна пропозициональная формула $x_i, i = 18...22$;

$$p(x_5 | x_{23}) = 1; \quad p(x_5 | \bar{x}_{23}) = 0 \quad (6)$$

Для подграфа G_5 (см. рис. 2) на начальном этапе формирования таблицы условных вероятностей можно допустить независимость появления событий $(x_7, x_{51}...x_{60})$ и равнозначность их вклада в формирование апостериорной вероятности события x_9 «сотрясение головного мозга». Тогда:

$$p(x_9 | \tilde{x}_7 \tilde{x}_{51} \tilde{x}_{53} \tilde{x}_{54} \tilde{x}_{55} \tilde{x}_{56} \tilde{x}_{57} \tilde{x}_{58} \tilde{x}_{59} \tilde{x}_{60}) = 0,1, \quad (7)$$

если в (7) имеет место одна пропозициональная формула $x_i, i = 7, 51, 53, 54...60$;

$$p(x_9 | \tilde{x}_7 \tilde{x}_{51} \tilde{x}_{53} \tilde{x}_{54} \tilde{x}_{55} \tilde{x}_{56} \tilde{x}_{57} \tilde{x}_{58} \tilde{x}_{59} \tilde{x}_{60}) = 0,2, \quad (8)$$

если в (8) имеет место две пропозициональных формулы $x_i, i = 7, 51, 53, 54...60$; и так далее, вплоть до случая:

$$p(x_9 | x_7 x_{51} x_{53} x_{54} x_{55} x_{56} x_{57} x_{58} x_{59} x_{60}) = 1. \quad (9)$$

Аналогичный подход справедлив для всех подграфов G_2, \dots, G_{19} травм $(x_6...x_{23})$. Уточнение таблиц условных вероятностей для них осуществлялось на основе экспертной информации, имеющихся медицинских исследований, направленных на

выявление подобных взаимосвязей между элементами процесса диагностики травм, накопленных статистических данных.

Имитационное моделирование процесса апостериорного вывода

В описанной модели формально наиболее вероятное положение для транспортировки можно определить как значение множества допустимых положений, доставляющее максимум вероятности наличия травмы (травм) при условии конкретного набора свидетельств $(x_{24} \dots x_{130})$, которые включают в себя признаки травм, симптомы и другие признаки. Так как данная задача является NP-сложной, в работе для нахождения положения для транспортировки использован метод стохастического моделирования – прямое сэмплирование (forward sampling). При его реализации переменным $x_{24} \dots x_{130}$ случайным образом присваивались значения с использованием заданного БСД распределением. Затем последовательно выбирались значения их потомков $(x_6 \dots x_{23})$ с использованием таблиц условных вероятностей в зависимости от того, что выпало на первом этапе, и так далее. Процесс имитационного моделирования повторялся до тех пор, пока он не сходил к искомому распределению. При этом, если выпавшее случайным образом распределение противоречило имеющимся свидетельствам, оно исключалось из конечных результатов.

Результаты моделирования показали, что разработанная БСД обеспечивает возможность решения задач вероятностного прогнозирования, базируясь на субъективных и неполных данных. Первые из них формируются в результате опроса пострадавшего, вторые – на основе систем компьютерного зрения и датчиков различного назначения, устанавливаемых на специализированных роботах.

Вероятностные оценки наблюдаемых свойств (свидетельств) дают фактические величины, позволяющие получить возможность пересмотра доверия к оценкам ненаблюдаемых свойств (травм и положений для транспортировки). Модель выбора положения для транспортировки пострадавшего дает возможность:

- установить, какие свидетельства являются наиболее важными по степени влияния на решение, составить их список и ранжировать по степени важности;
- выявить переменные x_i ($i = 24 \dots 130$), не дающие оснований для выводов;
- создать упорядоченный список шагов, наиболее эффективно приводящих к ясному решению относительно положения для транспортировки (например, список вопросов, которые должны быть заданы пострадавшему при анализе ситуации, перечень и последовательность применения датчиков и т.п.).

Выводы

Исследование указанных возможностей позволит модифицировать разработанную модель выбора положения для транспортировки пострадавшего, синтезировать алгоритмы оценки признаков травм, состояния человека и оптимизировать алгоритм вероятностного вывода.

Разрабатываемые средства ориентированы на развитие спасательной робототехники на основе интеллектуального программно-аппаратного обеспечения человеко-машинного взаимодействия [7–9].

Литература

1. Мусина В. Ф. Байесовские сети доверия как вероятностная графическая модель для оценки медицинских рисков. // Труды СПИИРАН. – 2013. – Вып. 24. – С. 135–151.
2. Wasyluk H., Onisko A., Druzdzal M.J. Support of diagnosis of liver disorders based on a causal Bayesian network model // Medical Science Monitor. – 2001. – № 7 (Suppl. 1). – pp. 327–332.
3. Lacave C., Diez F.J. Knowledge Acquisition in PROSTANET – A Bayesian network for diagnosis prostate cancer // Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. Lecture Notes in Computer Science. – 2003. – Vol. 2774. – pp. 1345–1350.
4. Wiegerincka W.A.J.J., Kappena H.J., ter Braakb E.W.M.T., ter Burgc W.J.P.P., Nijmana M.J., Ob Y.L., Neijtb J.P. Approximate inference for medical diagnosis // Pattern Recognition Letters. – 1999. – Vol. 20. – №11–13. – pp. 1231–1239.
5. Шаров Д.В., Иванюк А.С. Реабилитация после переломов и травм // Научная книга. – 2008. – 250 с.
6. Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети: логико-вероятностный подход // Наука. СПб. – 2006. – 607 с.
7. Ронжин А.Л., Юсупов Р.М. Многомодальные интерфейсы автономных мобильных робототехнических комплексов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 1(162). – С. 195–206.
8. Басов О.О. Принципы построения полимодальных инфокоммуникационных систем на основе многомодальных архитектур абонентских терминалов // Труды СПИИРАН. – 2015. – Вып. 39. – С. 109–122.
9. Козыренко Н.С., Мещеряков Р.В., Ходашинский И.А., Ануфриева Н.Ю. Математическое и алгоритмическое обеспечение оценки состояния здоровья человека // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 33. – С. 117–146.