УДК 656.131:343.983.25

© Я. В. Васильев, канд. техн. наук, доцент

© В. В. Воронин, аспирант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: xen2k@rambler.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-113-121

© Ya. V. Vasilyev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© V. V. Voronin, post-graduate student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: xen2k@rambler.ru

ПРИМЕНЕНИЕ КОЭВОЛЮЦИОННЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ УСТАНОВЛЕНИЯ МЕСТА КОНТАКТА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЭКСПЕРТИЗЕ ДТП

APPLICATION OF COEVOLUTIONARY GENETIC ALGORITHMS IN THE PROBLEMS OF DETERMINING THE PLACE OF CONTACT OF INVESTIGATED OBJECTS IN THE EXAMINATION OF ROAD TRAFFIC ACCIDENT

В данной статье рассматривается метод применения коэволюционных генетических алгоритмов при выполнении экспертного исследования по установлению места столкновения транспортных средств или места наезда на пешехода при реконструкции ДТП. Приведено сравнение результатов расчета по предложенной методике и расчета по общепринятой методике.

Ключевые слова: экспертиза ДТП, анализ ДТП, реконструкция механизма ДТП, определение места столкновения, оптимизация площади места столкновения.

This article considers the method of applying coevolutionary genetic algorithms when performing an expert study to determine the place of vehicles' collision or the place of a vehicle's collision with a pedestrian in the reconstruction of a road accident. The results of calculation by the proposed method and calculation by the generally accepted method are compared.

Keywords: expert examination of road traffic accident, crash accident analysis, reconstruction of the accident mechanism, impact point determination, area optimization of the place of collision.

В производстве дорожно-транспортных экспертиз в отечественной практике до настоящего времени сохраняется тенденция переходного периода, в которой алгоритмизированный линейный численный анализ пространственно-временных характеристик стадий механизма ДТП (сближение — контактно-следовое взаимодействие — разлет) замещается модельно-ориентированным подходом. При неизменной значимости таких экспертных исследований в правоприменительной деятельности, в информационном пространстве, занимаемом методологией реконструкции механизма ДТП, сохраняется относительно обширная область условных белых пятен, в которых нет научно обоснованного и стабильного решения определенных видов задач или их решение достигается только в случаях наличия объема исходных данных, несо-

измеримо большего, чем исходный, представляемый на исследование.

Как отмечалось ранее в [1], качество сбора (получение и фиксация с использованием средств измерения) первичной пространственно-следовой информации (ПСИ) с места ДТП (в категориях таких ее свойств, как полнота и достоверность) в значительной мере определяет семантическую емкость исследовательского объема ПСИ, ее репрезентативность и, как следствие, влияет на качество экспертного исследования, формально при этом являясь мерой, влияющей на достижимую и необходимую точность и достоверность исследования (сходимость с фактическими данными, особенно при наличии видеофиксации).

В обобщенном виде ПСИ, предоставляемая на исследование судебному автотехническому эксперту, может быть охарактеризована как услов-

но определенная в минимально достаточном для расчета объеме. Свойство ее условной определенности возникает из размытости и нечеткости категорий определения таких важных для расчета значений, как, например, коэффициент сцепления, дальность конкретной видимости и многих других, в том числе и повреждений ТС (в первичных документах, оформляемых ГИБДД или следствием, обычно это просто перечень, не всегда полный и описывающий повреждения, который недостаточен для исследования, если ТС на момент исследования продано, утилизировано или отремонтировано, а фотоматериал по нему отсутствует).

Минимальная достаточность возникает из скудности технического оснащения и точности применяемых средств измерения при первоначальном процессе сбора ПСИ (осмотр места ДТП, осмотр объектов исследования, выполнение следственных экспериментов и т. п.), при этом часто в представляемом на исследование судебному эксперту объеме ПСИ отсутствуют дополнительные данные, влияющие на расчеты: величины фактических уклонов в месте ДТП, местоположения тела пешехода после ДТП и т. п.

При этом как у государственных судебных экспертов, так и у коммерческих организаций, выполняющих дорожно-технические судебные экспертизы, фактически нет практики оценки погрешности вычислений, основанных на нечетких данных, выполняемых в рамках проведенных экспертами исследований, что формально не отвечает требованиям Федерального закона № 73-ФЗ¹ в части оценки достоверности результатов исследования. Накопление расчетной ошибки, связанной с изначальной погрешностью измерений при осмотре места ДТП, например при расчете скоростей движения объектов исследования, может приводить к результирующим значениям, сильно отличным от фактических [2].

В части задач, лежащих в области анализа и выявления места начала контактно-следового взаимодействия (КСВ) при расчетных значениях скоростей, накопление ошибки вычислений приводит к варьированию значений определимых границ области фактического местоположения

точки начала контакта. Кроме того, в большинстве случаев экспертами не уделяется должного внимания пути совместных перемещений объектов исследования, коэффициентам восстановления и трения в контактной зоне (при моделировании в программных средах типа PC-Crash) при реконструкции ДТП, что также оказывает влияние на точность рассчитываемых значений пространственно-временных характеристик стадий механизма ДТП.

Выше обозначенные свойства первичной и вторичной ПСИ (получаемой в ходе следственных и/или экспертных действий) оказывают существенное влияние на точность результатов расчетов при определении скорости движения объектов исследования, пространственно-временных характеристик перемещений на разных стадиях механизма ДТП, и в том числе при установлении места наезда на основе положений модельно-ориентированной реконструкции (МОР), изложенной в [3].

При этом в типовую ситуацию исследования обычно попадают именно ДТП с недостатком информации, так как случаи ДТП, где имелась избыточная ПСИ, определяющая место контакта, составляют всего порядка 30–40 % от общего числа исследований. Так, в частности, был проанализирован многолетний накопленный объем выполненных дорожно-транспортных экспертиз в Институте безопасности дорожного движения СПбГАСУ (ИБДД СПбГАСУ) за период с 2010 по 2020 годы, при этом были выбраны заключения экспертов ИБДД, где ставился вопрос об установлении места контакта (наезда или столкновения). Из них было отобрано 453 заключения по столкновениям (различного вида) ТС и 378 заключений по наездам на пешехода.

Из полученной выборки было определено процентное соотношение исследовательских случаев, когда место столкновения ТС (рис. 1) и место наезда (рис. 2) было определено как область (категоричное решение) и как точка (категоричное решение) в зависимости от метода определения, без учета заключений, в которых применялись модели оптимизации в специальном программном обеспечении (а именно в PC-Crash).

Категоричные решения по местоположению места столкновения ТС в виде точки пространства (на проезжей части относительно ее

¹ Федеральный закон № 73-ФЗ «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации» (с изм. на 26 июля 2019 года).

Рис. 1. Результаты анализа выборки по определению места столкновения ТС

Рис. 2. Результаты анализа выборки по определению места наезда на пешехода

границ) были получены в 43 % из исследуемых случаев столкновений (рис. 1) и соответственно в 38 % из исследуемых случаев наездов на пешеходов (рис. 2).

Среди тех случаев столкновений ТС, когда была определена расчетная область, в 75 % исследованных столкновений длина меньшей оси эллипса полученной области была более 1,2 м, что позволило дать категоричный вывод только в 25 % исследований (рис. 3).

Соответственно, среди тех случаев наездов на пешеходов, когда была определена расчетная область, в 63 % исследованных наездов длина меньшей оси эллипса полученной области была более 1,2 м, что позволило дать категоричный вывод только в 33 % исследований (рис. 4).

При этом при исследовании наездов на пешеходов полученные расчетные области фактического местоположения точки наезда по длине большей оси эллипса в 54 % случаев были более 6 м, при этом только в 42 % случаев место наезда, указанное водителем, попадало в границы эллипса расчетной области контакта. Аналогично при исследовании места столкновения ТС расчетные области фактического местоположения точки столкновения по длине большей оси эллипса в 39 % случаев были более 6 м, при этом только в 58 % случаев место наезда, указанное водителем (-лями), попадало в границы эллипса расчетной области контакта.

Обобщая представленные данные, следует отметить, что при столкновении ТС (при любом угле взаиморасположения и угле столкновения)

Рис. 3. Результаты анализа столкновений ТС, когда расчетным путем определена область фактического контакта

Рис. 4. Результаты анализа наездов на пешехода, когда расчетным путем определена область фактического контакта

в ходе симуляций, выполняемых в рамках МОР, область фактического контакта для случаев, когда ПСИ не содержит в себе объективных трасологических следов (сдвиг, перемена сплошности нанесения или излом следов торможения, осыпи грязи, царапины и задиры асфальта и т. п.), указывающих на место начала КСВ, может быть выделена только в виде овальной (эллипсоид-

ной) формы (разной протяженности и разного сечения), множество точек пространства внутри которой может являться фактической точкой контакта ТС. При этом, например для случаев встречных ДТП, такая расчетная область может находиться без преобладания какой-либо из сторон проезжей части, т. е. равновероятно на попутной и на встречной стороне движения

относительно направления движения одного из ТС. Это лишает возможности выделить четкое определимое решение и дать категоричные выводы в рамках исследования по анализу ДТП при производстве судебных дорожно-технических экспертиз.

Аналогичная ситуация складывается и при исследовании наездов на пешеходов, в частности, в большинстве случаев, при известном месте падения пешехода на проезжую часть, конечном положении ТС, в объеме ПСИ, достаточном для применения методов расчета изложенных в [4–6], место наезда на пешехода не может быть конкретизировано до фактической точки пространства. Результаты моделирования позволяют только выделить область контакта, которая может занимать промежуточное положение между заданными границами реконструируемых обстоятельств: наличия или отсутствия возможности ТС избежать наезда, нахождения места наезда в зоне или вне зоны пешеходного перехода. В частности, попадание границ большей оси эллипса выделяемой области частично на пешеходный переход не позволяет конкретизировать выводы по исследованию, особенно в тех случаях, когда наезд имеет место на участке дороги вне населенного пункта, где средние стабильные скорости движения весьма высоки, а разница границ расчетной области весьма вытянута (до 15–25 м). В этом случае можно считать, что решение нестабильно или неоптимально, формально являясь допустимым, но ограничено (в части приближенности к фактическим значениям) отвечающим требованию обоснованности и достоверности экспертного исследования.

При этом на текущий момент в экспертной практике нет достаточно проработанных и обоснованных исследований по методам оптимизации расчетных варьируемых данных, позволяющих существенно сузить площадь расчетной области (сократить длины осей эллипса области) до решения, стабилизирующего результат и позволяющего дать обоснованные и категоричные выводы. Имеются работы по применению методов линейной оптимизации, оптимизации методами Монте-Карло [7, 8] и применению генетических алгоритмов, а также методов оптимизации и устранения неопределенностей ПСИ, использующих методы нечеткой логики [9–11].

Также потенциально рациональным следует считать применение для оптимизационных задач такого рода метода роя частиц и метода эллипсоидов [12,13]. Однако на настоящий момент нет опыта широкого их внедрения в практику производства экспертных исследований при анализе ДТП.

В общем виде под коэволюционными алгоритмами понимается система взаимодействующих между собой генетических алгоритмов, образующих множество популяций индивидов-решений. Согласно работам [14, 15] коэволюционный генетический алгоритм (КГА) является представителем мультиалгоритмического подхода в классе эволюционных алгоритмов.

Структурная взаимосвязь моделей и методов оптимизации и их место в информационном поле цикла риск-ориентированного симуляционного анализа в терминах МОР, определенных в [3], показана на рис. 5.

Для задач, связанных с установлением места наезда на пешехода, области, занимаемые вертикально накладываются популяциями, сужаются по одной из осей до ширины коридора перемещения локальной зоны деформаций (контактной зоны) ТС, в частности на рис. 6 показан пример кооперативного вертикального наложения областей популяций для задачи сужения расчетной области фактического контакта ТС с пешеходом.

Для случаев анализа эффективности предлагаемого метода были отобраны 10 ДТП (пять столкновений ТС и пять наездов на пешехода), в которых место контакта (наезда) было определено как область большой площади, внесение которой в масштабную схему места ДТП не позволило дать категоричный вывод о положении точки начала КСВ (в частности, для столкновений ТС — область расположена без преобладания какой-либо из сторон проезжей части, а для наездов на пешехода — область расположена частично в зоне пешеходного перехода). КГА с вертикальным наложением был экспериментально реализован в Matlab R2020b.

Результаты оценки эффективности предлагаемого метода оптимизации по площади расчетной области и по критерию категоричности вывода о местоположении точки начала КСВ показаны в таблице.

Рис. 5. Структурная взаимосвязь моделей и методов оптимизации и их место в информационном поле цикла риск-ориентированного симуляционного анализа в терминах МОР

На рис. 7 показана визуализация примера сопоставления работы КГА с вертикальным наложением популяций с результатом имитационного моделирования в программе VirtualCrash 2.2 Lite для расчетного случая, приведенного на рис. 6.

Обобщая полученные результаты, даже при относительно малой выборке выполненных ис-

следований предлагаемый метод оптимизации с применением КГА с вертикальным наложением популяций показал свою эффективность в сравнении с оптимизацией методами, положенными в базовые алгоритмы PC-Crash, по параметру конечной площади оптимизированной области внутри исходной расчетной, а также по критерию категоричности полученного решения.

Результаты оценки эффективности методов

№	Вид ДТП	Расчет по действующим методикам		Применение КГА с вертикальным наложением популяций	
		Площадь расчетной области, м ²	Категоричность полученного решения	Площадь расчетной области, м ²	Категоричность полученного решения
1	Столкновение	3,4	Нет	1,2	Да
2		4,5	Нет	0,8	Да
3		2,5	Нет	0,9	Да
4		5,6	Нет	1,4	Да
5		3,2	Нет	1,1	Да
6	Наезд на пешехода	8,1	Нет	3,3	Да
7		12,4	Нет	3,5	Да
8		6,7	Нет	2,4	Да
9		8,8	Нет	2,7	Да
10		14,6	Нет	3,7	Да

Рис. 6. Типовой расчетный случай, принятый за базовый для исследования: 1 — конечное после ДТП положение автомобиля; 2 — конечное после ДТП положение тела пострадавшего; 3 — место столкновения, указанное на схеме ДТП водителем; 4 — границы коридора перемещений локальной зоны деформаций автомобиля; 5 — расчетная область, подлежащая оптимизации; 6 — популяционная область в ходе оптимизации; 7 — получаемая оптимизированная область; 8 — пешеходный переход

Рис. 7. Пример сопоставления работы КГА с вертикальным наложением с результатом имитационного моделирования для расчетного случая, принятого в исследовании: 1 — конечное после ДТП положение автомобиля; 2 — конечное после ДТП положение тела пострадавшего; 3 — границы коридора перемещений локальной зоны деформаций автомобиля; 4 — расчетная область, подлежащая оптимизации; 5 — популяционная область в ходе оптимизации; 6 — получаемая оптимизированная область; 7 — габаритный объем автомобиля в момент наезда; 8 — положение пострадавшего в момент наезда в центре оптимизированной области

Целесообразно продолжить исследование в данной области с разработкой специализированного ПО, а также провести исследования в области определения возможности применения наклона плоскостей налагаемых популяций в ис-

ходной области за счет применения нейронных сетей с обучением. Кроме того, при продолжении исследований, связанных с КГА, предполагается также выполнить анализ скорости нахождения оптимизационного решения с использованием

предложенного метода в сравнении с широко применяемыми на практике (базовыми для PC-Crash и аналогичных ему программных продуктов).

Библиографический список

1. Евтюков С. А., Васильев Я. В., Rajczyk P. Концепция количественной оценки неопределенности знаний в задачах реконструкции ДТП // Сб. докладов 12-й Международной научно-практической конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». СПб., 28–30 сентября 2016 г. СПб.: СПбГАСУ, 2016.
2. Тартаковский Д. Ф. Проблемы неопределенности данных при экспертизе дорожно-транспортных происшествий. СПб.: Юридический центр Пресс, 2006. 268 с.
3. Евтюков С. С. Методология оценки и повышения эффективности дорожно-транспортных экспертиз: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2020. 355 с.
4. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Справочник по экспертизе дорожно-транспортных происшествий. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: Петрополис, 2020. 516 с.
5. Reza A., Wierciński J. Wypadki drogowe Vademecum biegłego sądowego. 2^o wyd. Kraków: Instytut Ekspertyz Sądowych, 2010. 1094 s.
6. Stevenson T. J. Simulation of vehicle-pedestrian interaction: A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Engineering. University of Canterbury, 2006. 342 p.
7. Steffan H., Moser A., Spek A., Makkinga W. Collision optimizer and Monte Carlo methods in impact calculation // XVI EVU Annual meeting 2007.
8. Moser A., Steffan H., Spek A., Makkinga W. Application of the Monte Carlo Methods for Stability Analysis within the Accident Reconstruction Software PC-CRASH // SAE 2003 World Congress & Exhibition. Technical Paper 2003-01-0488.
9. Hiemer M. Model based detection and reconstruction of road traffic accidents: Dissertation. Universität Karlsruhe, 2004. 240 S.
10. Pawlus W., Reza Karimi H., Robbersmyr K. G. A fuzzy logic approach to modeling a vehicle crash test // Open Engineering. 2013. Vol. 3 (1). Pp. 67–79.
11. Hao Wang, Lai Zheng, Xianghai Meng. Traffic Accidents Prediction Model Based on Fuzzy Logic // Advances in Information Technology and Education. International Conference, CSE 2011, Qingdao, China, July 9–10, 2011, Proceedings. Part I. Pp. 101–108.
12. Horn J., Nafpliotis N. Multi-objective optimization using the niched Pareto genetic algorithm: tech. rep. IlliGAL Report 93005, Illinois Genetic Algorithms Laboratory, University of Illinois, Urbana, Champaign. 1993.

13. Paulo Ricardo Valentim Francisco. Simulation and multi-objective optimization of road traffic accidents: dissertation. Instituto Superior Técnico, University of Lisbon, Portugal. 11 p.

14. Журавлёв Ю. И. Избранные научные труды. М.: Магистр, 1998. 416 с.

15. Расстригин Л. А. Адаптация сложных систем. Рига: Зинатне, 1981. 375 с.

References

1. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V., Rajczyk P. *Kontseptsiya kolichestvennoy otsenki neopredelennosti znaniy v zadachakh rekonstruktsii DTP* [The concept of quantitative assessment of the uncertainty of knowledge in the tasks of road traffic accident reconstruction]. *Trudy 12-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsiya «Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v krupnykh gorodakh»* [Proceedings of the 12-th International scientific and practical conference "Organization and safety of road traffic in large cities" St. Petersburg, September 28–30, 2016]. St. Petersburg, 2016, SPbGASU Publ., 2016.
2. Tartakovsky D. F. *Problemy neopredelennosti dannykh pri ekspertize dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Problems of data uncertainty in the examination of road traffic accidents]. St. Petersburg, Yuridicheskiy tsentr Press Publ., 2006, 268 p.
3. Evtyukov S. S. *Metodologiya otsenki i povysheniya effektivnosti dorozhno-transportnykh ekspertiz. Disc. dokt. tekhn. nauk* [Methodology for assessing and improving the effectiveness of road transport expertise. Dr. Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2020, 355 p.
4. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V. *Spravochnik po ekspertize dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Reference book on the examination of road traffic accidents]. 3-e izd., revised. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2020, 516 p.
5. Reza A., Wierciński J. *Wypadkidrogowe Vademecumbiegłego sądowego. 2^o wyd.* Kraków, Instytut Ekspertyz Sądowych Publ., 2010, 1094 p.
6. Stevenson T. J. *Simulation of vehicle-pedestrian interaction*: A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Engineering. University of Canterbury Publ., 2006, 342 p.
7. Steffan H., Moser A., Spek A., Makkinga W. *Collision optimizer and Monte Carlo methods in impact calculation*. Proceedings of the XVI EVU Annual meeting 2007.
8. Moser A., Steffan H., Spek A., Makkinga W. *Application of the Monte Carlo Methods for Stability Analysis within the Accident Reconstruction Software PC-CRASH*. SAE 2003 World Congress & Exhibition. Technical Paper 2003-01-0488.

9. Hiemer M. *Model based detection and reconstruction of road traffic accidents: Dissertation*. Universität Karlsruhe Publ., 2004, 240 p.
10. Pawlus W., Reza Karimi H., Robbersmyr K. G. A fuzzy logic approach to modeling a vehicle crash test. *Open Engineering*, 2013, vol. 3 (1), pp. 67–79.
11. Hao Wang, Lai Zheng, Xianghai Meng. Traffic Accidents Prediction Model Based on Fuzzy Logic. Proceedings of the International conference, “Advances in Information Technology and Education”, CSE 2011, Qingdao, China, July 9–10, 2011, Pt. I, pp. 101–108.
12. Horn J., Nafpliotis N. *Multi-objective optimization using the niched Pareto genetic algorithm: tech. rep.* IlliGAL Report 93005, Illinois Genetic Algorithms Laboratory, University of Illinois Publ., Urbana, Champaign, 1993.
13. Paulo Ricardo Valentim Francisco. Simulation and multi-objective optimization of road traffic accidents: dissertation. Instituto Superior Técnico, University of Lisbon Publ., Portugal, 11 p.
14. Zhuravlyov Yu. I. *Izbrannye nauchnye trudy* [Selected scientific works]. Moscow, Magistr Publ., 1998, 416 p.
15. Rastrigin L. A. *Adaptatsiya slozhnykh sistem* [Adaptation of complex systems]. Riga, Zinatne Publ., 1981, 375 p.