УДК 343.148.6

© С. А. Евтюков, д-р техн. наук, профессор

© И. В. Ворожейкин, аспирант

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

E-mail: s.a.evt@mail.ru, igor.vorozheikin@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-1-140-148

© S. A. Evtyukov, Dr. Sci. Tech., Professor

© I. V. Vorozheikin, post-graduate student

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

E-mail: s.a.evt@mail.ru, igor.vorozheikin@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПО ФОТОГРАФИЧЕСКИМ СНИМКАМ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ДТП

IMPROVEMENT OF THE METHOD FOR DETERMINING THE DISTANCE BETWEEN VEHICLES BY PHOTOGRAPHIC IMAGES DURING ROAD TRAFFIC ACCIDENT RECONSTRUCTION

Приводятся фотографические материалы, используемые при расследовании ДТП. Проводится исследование по совершенствованию метода определения расстояния между транспортными средствами по фотографическим снимкам при реконструкции ДТП на основе нечеткой нейронной сети.

Ключевые слова: экспертиза ДТП, фото- и видеоматериалы.

Some photographic materials used in the investigation of road traffic accidents are presented. The authors discuss the ways of improving the method of determining the distance between vehicles by photographic images in the reconstruction of a road traffic accident based on a fuzzy neural network.

Keywords: road traffic accident examination, photo and video materials.

Очень часто при установлении обстоятельств ДТП эксперту необходимо определить расстояние до объекта по предоставленным фотографическим материалам, но для определения такого параметра эксперт должен обладать профессиональными навыками в области фото- и видеотехнической экспертизы. В Российской Федерации до сих пор отсутствуют методы определения расстояния до объекта по фотографическим снимкам. Разработка и дальнейшее применение таких методов будут способствовать повышению уровня точности расследования дорожно-транспортных происшествий [1, 2].

Расчетная схема (с точки зрения оптики) для определения расстояния до объекта приведена на рис. 1. На нем в качестве примера приведена иллюстрация процесса формирования набора изображений объектов с применением одной линзы. Для определения расстояния до объекта будет использована формула

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{D_i} + \frac{1}{d_i}. \quad (1)$$

После некоторых преобразований она примет следующий вид:

$$D_i = \frac{d_i F}{d_i - F}, \quad (2)$$

где D_i — значение расстояний от объекта до линзы для i -го кадра (изображения) массива; F — значение фокусного расстояния линзы; d_i — значение расстояния от линзы до изображения i -го кадра массива [3].

Для определения расстояния до ТС были проведены экспериментальные исследования при помощи следующих приборов:

- фотоаппарат Canon EOS 600D;
- штатив-трипод;
- измерительная строительная рулетка;
- две измерительные линейки.

Для определения расстояния до объекта по фотографическим снимкам с помощью формулы тонкой линзы был проведен следующий эксперимент: транспортное средство устанавливалось на парковочной площадке перпендикулярно ли-

Рис. 1. Расчетная схема с точки зрения оптики для определения расстояний между объектами и фотоаппаратом

ниям разметки, на определенном расстоянии от транспортного средства устанавливался фотоаппарат Canon EOS 600D на штативе, а фактическое расстояние до объекта определялось между крайней точкой переднего бампера и объективом фотоаппарата при помощи строительной рулетки с классом точности 2. Для каждого измеренного расстояния выполнялось несколько снимков с разными фокусными расстояниями объектива. Пример изображения, полученного при проведении экспериментальных исследований, показан на рис. 2.

В ходе исследований было установлено, что для определения расстояния до объекта по фотографическим снимкам эксперту необходимо знать метаданные фотоизображения. Метаданные

Рис. 2. Изображение при проведении экспериментальных исследований

цифровых изображений — невидимая информация о свойствах и признаках, созданная в автоматическом режиме с помощью фотоаппарата или мобильного устройства. Любой тип файла (звук, текст, изображение, видео) имеет свой стандарт метаданных [4, 5]. Для цифровых фотографий наибольшее распространение среди метаданных имеет стандарт формата EXIF (Exchangeable Image File Format) — техническая информация о деталях съемки, сделанная фотокамерой. Для получения метаданных изображения необходимо загрузить фотографию в программный продукт, например, в Orpanda EXif, пример полученных метаданных показан на рис. 3.

В ходе проведения первых экспериментов было установлено, что для повышения точности определения расстояния до объекта по фотографическим материалам необходимо устранение дисторсии при помощи фотографического редактора, например, Adobe Photoshop. Как известно из теории, дисторсией называется оптический эффект, при котором искривляются линии на фотографическом снимке. Можно отметить два наиболее распространенных вида данного эффекта — подушкообразная и бочкообразная. Для бочкообразной дисторсии характерно выгибание линий наружу, в связи с чем изображение становится выпуклым, для подушкообразной

Рис. 3. Набор метаданных полученного изображения

дисторсии характерен изгиб линий, направленный к центру изображения. Одной из основных причин возникновения дисторсии является схождение параллельных линий, когда фотоаппарат находится в наклонном положении. Данный эффект характерен для зум-объективов, то есть для объективов с переменным фокусным расстоянием [6, 7, 8]. Для устранения этого эффекта при проведении эксперимента необходимо иметь, как минимум, два эталонных элемента, один из которых должен быть расположен ровно по горизонтали, а второй — по вертикали на полученном изображении. Помимо применения эталонных элементов при проведении эксперимента, необходимо устранить эффект дисторсии в программном продукте Adobe Photoshop при помощи функции «коррекция дисторсии».

После проведения всех операций по устранению искажений, изучения метаданных, а также нахождения высоты изображения ТС на матрице возможно произвести расчеты для нахождения расстояния до транспортного средства. Для каждого эксперимента было сделано три фотографии с разными фокусными расстояниями, после обработки полученных изображений рассчитали расстояние до объекта (таблица).

Из полученных результатов видно, что погрешность при расчете расстояния до объекта после обработки фотографий достаточно велика. Это обусловлено несколькими факторами: во-первых, несовершенством существующих ме-

тодов, во-вторых, невозможностью полностью устранить эффект дисторсии (одной из основных причин является отсутствие третьего эталонного элемента, который должен был располагаться так же, как ось Z в системе координат) [9, 10, 11]. Опираясь на данные факторы, можно сделать вывод, что необходима разработка поправочных коэффициентов, применение которых помогло бы минимизировать погрешность между рассчитанным расстоянием и фактически измеренным. Очевидно, что производить расчет для каждого случая невозможно, так как каждый случай индивидуален, поэтому в дальнейшем в рамках работы будет предложен метод для расчета поправочного коэффициента на основе нечеткой нейронной сети [12].

Принципиально реализация нечетких логических систем определения и прогнозирования расстояния между транспортными средствами по фотографиям и видеосъемкам для экспертизы по реконструкции ДТП осуществляется по принципу фаззификации — нечеткий логический вывод — дефаззификация. При разработке интеллектуальной нейронной или нечеткой системы определения и прогнозирования расстояния между транспортными средствами по фотографиям и видеосъемкам для экспертизы ДТП база знаний формируется путем сбора информации о системе согласно экспертным оценкам, которая определяет каждое свое действие в виде правил вида «ЕСЛИ ..., ТО...». Из множества этих правил

Результаты экспериментальных исследований

Порядковый номер эксперимента	Фокусное расстояние объектива, мм	Фактическое расстояние до объекта, м	Рассчитанное расстояние до объекта без устранения дисторсии, м	Рассчитанное расстояние до объекта после устранения дисторсии, м
1	18	3,40	4,50	4,21
	24	3,40	4,60	4,31
	32	3,40	4,67	4,44
2	18	5,29	6,54	6,16
	24	5,29	6,38	6,07
	34	5,29	6,29	5,99
3	18	6,65	8,09	7,59
	24	6,65	7,70	7,21
	34	6,65	7,56	7,36
4	18	4,68	5,89	5,47
	24	4,68	5,91	5,52
	34	4,68	5,79	5,27

составляется база знаний нечеткого нейронного логического диагностирования объекта [13].

Особенностью функционирования фаззи-систем является то, что стратегия управления объектом определяется на языковом (лингвистическом) уровне, а тактика — на цифровом. В связи с этим структуру всех фаззи-систем можно разделить на две части (два уровня) по видам обрабатываемых данных — языковой уровень и числовой (цифровой) уровень (рис. 4).

Для системы был принят ряд допущений:

- пренебрегаем внешними воздействиями;
- рассматриваем двухмерную задачу;

- для упрощения системы прогнозирования задаемся тремя входными переменными.

В данной работе метод определения и прогнозирования расстояния между транспортными средствами по фотографиям и видеосъемкам для реконструкции ДТП на основе принципов нечеткой логики реализуется программно (рис. 5).

На вход подаются три переменные:

- ошибка по положению (рассогласование) — угол отклонения (Ugol);
- координата точки 1 (Szadania1);
- координата точки 2 (Szadania2).

Рис. 4. Общая структура всех фаззи-систем

Рис. 5. Моделирование системы в MatLab

На выходе получаем требуемый сигнал — расстояние (S).

Разработка системы велась с применением платформы MATLAB — мощным инструментом проектирования фаззи-систем. Чтобы связать входные функции принадлежности с выходной, необходимо записать «правила принадлежности» (рис. 6).

Следует отметить, что логические фаззи-правила были составлены так, чтобы обеспечить сведение максимальной ошибки к нулю за минимально возможное время, то есть для обеспечения оптимальных параметров переходных процессов по скорости [14].

Разделение входных переменных на диапазоны показано на рис. 7.

Выходная переменная, разделенная на диапазоны, представлена на рис. 8. В то же время система предусматривает машинное обучение. Основное различие между машинным обучением и традиционно программируемыми алгоритмами заключается в способности обрабатывать данные без явного программирования. Это фактически означает, что инженер не обязан предо-

ставлять подробные инструкции для машины о том, как обрабатывать каждый тип записи данных. Вместо этого машина сама определяет эти правила, полагаясь на входные данные. Независимо от конкретного приложения машинного обучения общий рабочий процесс остается тем же и повторяется многократно, как только результаты становятся устаревшими или нуждаются в более высокой точности.

Далее в целях анализа адекватного функционирования рассматриваемой системы необходимо выполнить моделирование при помощи инструментария MATLAB с вводом начальных параметров. После этого платформа MATLAB в автоматическом режиме сгенерирует соответствующую документацию относительно проекта. Из анализируемой выборки наиболее оптимальные результаты продемонстрировала реализация нечеткой нейронной сети (ННС) на базе алгоритма Мамдани с применением функции принадлежности — *psigmf*. и конфигурации для входных термов.

В дальнейшем были проведены исследования влияния на точность реализуемого процесса:

Рис. 6. Правила принадлежности разрабатываемой системы

Рис. 7. Входные данные: а — угол отклонения; б — координата точки 1; в — координата точки 2

- факторов составления предварительной обучающей выборки;
- факторов выбора функции принадлежности входных термов в ходе формирования архитектуры ввода данных в рамках ННС;
- факторов варьирования структуры нейронной сети и числа периодов машинного обучения.

На рис. 9 приведен общий вид интерфейса с настройками входных термов принадлежности в случае psigmf.

По составленной модели метода определения и прогнозирования расстояния между транспортными средствами по фотографиям и видеосъемкам для экспертизы по реконструкции ДТП была построена поверхность управления (рис. 10). Исходя из анализа поверхности управления можно с достаточной точностью подобрать поправочный коэффициент определения и прогнозирования расстояния между транспортными средствами по фотографиям и видеосъемкам при реконструкции ДТП — абсолютный максимум и абсолютный минимум [15].

Отсутствие недочетов и грубых ошибок, допущенных на фазе проектирования системы, подтверждается отсутствием резких переходов и относительной гладкостью поверхности. Анализ функционирования модели метода определения и прогнозирования расстояния между транспортными средствами по фотографиям и видеосъемкам для экспертизы по реконструкции ДТП, а также реализации машинного обучения,

Рис. 8. Выходная переменная, разделенная на диапазоны

Рис. 9. Вид входных термов параметра модели (тип входного терма — psigmf)

построенной на основе описанной нечеткой нейронной сети, позволяет говорить о ее высоких точностных характеристиках, значительно превосходящих точность существующих классических реализаций (до 0,5 %).

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный метод определения и прогнозирования расстояний между транспортными средствами по фотографиям и видеосъемкам будет способствовать повышению точности исследований ДТП, что значительно оптимизирует

Рис. 10. Поверхность определения и прогнозирования расстояния между транспортными средствами по фотографиям и видеосъемкам для реконструкции ДТП

этот процесс для экспертов. Усовершенствованный метод будет способствовать значительному снижению погрешностей при расчетах и, как следствие, более точному определению причин возникновения ДТП, что в дальнейшем повысит безопасность дорожного движения на территории Санкт-Петербурга.

Библиографический список

1. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах. СПб.: Издательский дом Петрополис, 2012. 323 с.
2. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Экспертиза ДТП: методы и технологии. СПб.: СПбГАСУ. 2012. 310 с.
3. Кисляков С. В. Использование информации с камер видеонаблюдения на первоначальном этапе расследования дорожно-транспортного преступления // Академическая мысль. 2018. № 2 (3). С. 72–74.
4. Пинчук Л. В. К вопросу о возможностях судебных экспертиз при расследовании дорожно-транспортных происшествий // Вестник Московского университета МВД России. 2019. № 4. С. 196–202.
5. Сухарева Д. В. Определение сигнала светофора на серии изображений с использованием программного продукта MATLAB // Теория и практика судебной экспертизы. 2015. № 1 (37). С. 69–73.
6. Волков В. С., Кастырин Д. Ю. Совершенствование экспертизы дорожно-транспортных происшествий с применением квадрокоптеров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. № 4. С. 271–276.
7. Бублик Г. П., Дороватовский Н. В. Возможность графического построения плана места происшествия по фотоснимку // Экспертная практика и новые методы исследования. ВНИИСЭ, 1988. Вып. 9. С. 4–7.
8. Жарких С. С. Использование графического редактора coreldraw в транспортно-трасологической экспертизе // Теория и практика судебной экспертизы. 2016. № 1 (41). С. 106–107.
9. Морозов А. А. Распознавание трехмерных объектов по стереоскопическим наблюдениям // Радиотехника. 2012. № 9. С. 72–75.
10. Петров С. М., Бояров А. Г. Определение по видеозаписям, фиксирующим событие дорожно-транспортного происшествия, положения и параметров движения его участников. М.: ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России, 2016. 87 с.
11. Петров С. М. Исследование материалов видеозаписи с целью установления обстоятельств дорожно-транспортного происшествия // Теория и практика судебной экспертизы. 2013. № 4. С. 62–82.

12. Блюмин С. Л., Шуйкова И. А. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности. Липецк: ЛЭГИ, 2001.

13. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. URL: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/>

14. Тэрано Т., Асаи К., Сугено М. Прикладные нечеткие системы; пер. с японского. М.: Мир, 1993. 368 с.

15. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.

References

1. Evtyukov S.A., Vasil'ev Ya.V. *Rekonstruktsiya i ekspertiza DTP v primerakh* [Reconstruction and examination of road traffic accidents in examples]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2012, 323 p.
2. Evtyukov S.A., Vasil'ev Ya.V. *Ekspertiza DTP: metody i tekhnologii* [Examination of road traffic accidents: methods and technologies]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2012, 310 p.
3. Kislyakov S. V. *Ispol'zovanie informatsii s kamer videonablyudeniya na pervonachal'nom etape rassledovaniya dorozhno-transportnogo prestupleniya* [The use of information from video surveillance cameras at the initial stage of the investigation of a road traffic crime]. *Akademicheskaya mysl' – Academic Thought*, 2018, no. 2 (3), pp. 72–74.
4. Pinchuk L. V. *K voprosu o vozmozhnostyakh sudebnykh ekspertiz pri rassledovanii dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [On the issue of the possibilities of forensic examinations in the investigation of road traffic accidents]. *Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii – Bulletin of the Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia*, 2019, no. 4, pp. 196–202.
5. Sukhareva D. V. *Opredelenie signala svetofora na serii izobrazheniy s ispol'zovaniem programmnogo produkta MATLAB* [Determination of a traffic light signal on a series of images using the MATLAB software product]. *Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy – Theory and Practice of Forensic Expertise*, 2015, no. 1 (37), pp. 69–73.
6. Volkov V. S., Kastyurin D. Yu. *Sovershenstvovanie ekspertizy dorozhno-transportnykh proissheshtviy s primeneniem kvadrokoptero* [Improving the examination of road accidents with the use of quadcopters]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika – Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2015, no. 4, pp. 271–276.
7. Bublik G. P., Dorovatovskiy N. V. *Vozmozhnost' graficheskogo postroeniya plana mesta proisshestiya po fotosnimku* [Possibility of graphical representation of the plan of the road accident using the photograph]. *Ekspertnaya praktika i novye metody issledovaniya* [Expert

practice and new research methods]. VNIISE Publ., 1988, iss. 9, pp. 4–7.

8. Zharkikh S. S. *Ispol'zovanie graficheskogo redaktora CorelDRAW v transportno-trasologicheskoy ekspertize* [Application of CorelDRAW graphical editor in the transport and technical examination]. *Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy – Theory and Practice of Forensic Examination*, 2016, no. 1 (41), pp. 106–107.

9. Morozov A. A. *Raspoznavanie trekhmernykh ob'ektov po stereoskopicheskim nablyudeniya* [Three-dimensional object identification by stereoscopic observations]. *Radiotekhnika – Radio Engineering*, 2012, no. 9, pp. 72–75.

10. Petrov S. M., Boyarov A. G. *Opredelenie po videozapisyam, fiksiruyushchim sobytie dorozhno-transportnogo proisshestiya, polozheniya i parametrov dvizheniya ego uchastnikov* [Determination of the position and movement parameters of participants of the road traffic accident based on video recording the event]. Moscow, FBU RFTsSE pri Minyuste Rossii Publ., 2016, 87 p.

11. Petrov S. M. *Issledovanie materialov videozapisi s tselyu ustanovleniya obstoystel'stv dorozhno-transportnogo proisshestiya* [Investigation of video recording materials

in order to establish the circumstances of a road traffic accident]. *Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy – Theory and practice of forensic examination*, 2013, no. 4, pp. 62–82.

12. Blyumin S. L., Shuykova I. A. *Modeli i metody prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelennosti* [Models and methods of decision-making in conditions of uncertainty]. Lipetsk, LEGI Publ., 2001.

13. Shtovba S. D. *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku* [Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic]. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/>

14. Terano T., Asai K., Sugeno M. *Prikladnye nechetkie sistemy* [Applied fuzzy systems]. Transl. from Japanese. Moscow, Mir Publ., 1993, 368 p.

15. Shtovba S. D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Designing fuzzy systems by means of MATLAB]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2007, 288 p.