

# ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОГНОЗИРОВАНИИ УСТАЛОГО ПОВЕДЕНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ ПРИ ВОЖДЕНИИ АВТОТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

**Фэн Кэцзя**

Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)  
723882109@qq.com

**Афанасьев Геннадий Иванович**

К.т.н., доцент, Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)  
gaipcs@bmstu.ru

**Нестеров Юрий Григорьевич**

К.т.н., доцент, Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)  
ugn@bmstu.ru

## APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PREDICTION OF TIRED BEHAVIOR OF DRIVERS WHEN DRIVING BY VEHICLES

**K. Fen  
G. Afanasyev  
Yu. Nesterov**

*Summary.* Driving fatigue has become one of the main threats to the safety of drivers and others and has gradually become a global problem that needs to be addressed urgently. The current method for evaluating fatigue driving is generally based on the metrics returned by a combination of software and hardware. For different drivers, the difference between fatigue driving and non-fatigue driving is not obvious, which makes the detection effect of fatigue driving difficult to achieve. This article discusses the application of artificial intelligence to predict fatigue while driving motor vehicles and analyzes its prospects.

*Keywords:* artificial intelligence, fatigue driving, neural network, deep learning.

*Аннотация.* Усталость от вождения стала одним из основных элементов, угрожающих безопасности водителям и других лиц, и постепенно превратилась в глобальную проблему, требующую безотлагательного решения. Для разных водителей разница между усталостным вождением и вождением без усталости не очевидна, что делает эффект усталостного вождения обнаружение труднодостижимым. В этой статье рассматриваются вопросы по применению искусственного интеллекта для прогнозирования усталости при вождении автотранспортными средствами и анализируются его перспективы.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, усталостное вождение, нейронная сеть, глубокое обучение.

## Введение

С развитием общества потребление людей постоянно увеличивается, а также увеличивается время людей на транспорте. Резкий рост количества автомобилей привел к значительному увеличению частоты дорожно-транспортных происшествий, а безопасность дорожного движения стала центром внимания во всем мире. Согласно авторитетным данным, ежегодно в дорожно-транспортных происшествиях погибает в среднем 1,35 млн. человек во всем мире, а экономический ущерб превышает 2,4 трлн. долларов США. После сравнения статистических данных из различных стран было установлено, что вождение в условиях усталости стало основной причиной дорожно-транспортных происшествий.

Усталостное вождение, как правило, означает, что продолжительность управления транспортным средством превышает допустимое значение, и в то же время недостаточно времени для отдыха, что приводит к невозможности концентрации внимания в процессе вождения, и что так же приводит к снижению различных функций в организме: физических и психологических.

Существует много факторов, вызывающих утомляемость вождения, например, слишком долгое вождение, слишком далекое место назначения, недостаток сна или плохое качество сна, слишком монотонный пейзаж, длительное вождение на высокой скорости и другие факторы, которые приводят водителя в состоянии усталости. Например, шум, создаваемый снаружи автомобиля, неподходящий угол сиденья, неправильная

поза сидя и другие факторы приводят водителя в утомленное состояние в процессе вождения. Реакция водителя на усталость также сильно различается по разным причинам. Есть много факторов, которые мешают обнаружению усталости.

В настоящее время технология обнаружения вождения в нетрезвом виде относительно зрелая, а технология обнаружения вождения в состоянии усталости относительно слабая, но существует большая разница между вождением в состоянии усталости и вождением в состоянии алкогольного опьянения.

Есть четкие медицинские индикаторы и химические экспресс-методы. Это все методы обнаружения, которые недоступны для усталостного вождения. Из-за различий между водителями невозможно определить точный критерий осмотра и нет никаких быстрых физических и химических инструментов для прямой проверки умственной и физической работоспособности водителя.

#### Метод определения усталостного поведения при вождении

В настоящее время методы обнаружения усталостного поведения за рулем в основном делятся на два типа, стандартом которых является необходимость контакта с водителем:

Первый — это метод, требующий контакта, который в совокупности называется контактным обнаружением, а другой — это метод обнаружения, не требующий контакта с водителем, который в совокупности называется бесконтактным обнаружением.

#### Метод определения усталости на основе физиологического сигнала от водителя

Ранние исследователи усталостного вождения изучали механизмы и характеристики усталости. С биомедицинской точки зрения, когда водитель утомлен, различные физиологические и химические показатели будут меняться в разной степени. Существует три основных типа:

1. Применение электроэнцефалограмм (ЭЭГ): В 1998 году Keskklund и др. обнаружили, что ЭЭГ будет значительно меняться от бодрствующего состояния к утомленному состоянию, а волна Them постоянно увеличивается, что является основой для обнаружения утомления по сигналам ЭЭГ. Поскольку сигналы ЭЭГ напрямую отражают изменения состояния головного мозга, ЭЭГ считается одним из наиболее эффективных

и надежных физиологических индикаторов человека [5].

2. Применение электрокардиографического сигнала (ЭКГ): ЭКГ может использоваться для измерения формы волны каждого цикла сердца. Когда водитель утомлен, степень утомления водителя можно оценить, анализируя изменения вариабельности сердечного ритма (BCP).
3. Применение миоэлектрического сигнала (ЭМГ): после длительного вождения водителя часто сопровождает скованность мышц или боль в спине из-за высокого напряжения нервов, а сила сокращения мышц уменьшается при утомлении. При расслабленном состоянии разумно судить о том, находится ли водитель в утомленном состоянии, наблюдая за активностью мышц и нервов водителя. Таким образом, ЭМГ реализует обнаружение вождения в состоянии усталости.

Физиологический сигнал от водителя на самом деле может лучше всего отражать его собственное реальное состояние. Этот метод обнаружения обладает сильной защитой от помех, высокой точностью и хорошими характеристиками в реальном времени, но недостатком является то, что при сборе сигналов необходимо контактировать с телом и кожей водителя. Субъективное ощущение от этой схемы отрицательное. Водители считают, что процесс ношения обременительный, контакт с прибором для сбора данных будет вызывать дискомфорт, а длительный контакт с электродами нанесет определенный вред организму. Для исследователей стоимость исследования является высокой. Важным моментом является то, что контактный метод обнаружения усталости может легко мешать нормальному вождению водителя, что может приводить к аварийным ситуациям.

#### Метод определения усталости на основе траектории движения автомобиля

Когда водитель чувствует усталость во время вождения, окружающая среда становится размытой в его глазах, а расслабление мышц ослабляет способность управлять транспортным средством, что приводит к несоответствию части данных данного транспортного средства с данными обычного автомобиля — будет большое отклонение, поэтому исследователи могут использовать траекторию поведения транспортного средства в качестве цели обнаружения для определения состояния усталости водителя. В настоящее время метод обнаружения усталости, основанный на траектории поведения транспортного средства, в основном использует камеры и датчики для отслеживания изменений некоторых данных о траектории поведения

транспортного средства во время вождения, таких как отклонение рулевого колеса, скорость движения и угол съезда с полосы движения [6].

По сравнению с предыдущим методом, этот метод не требует контакта с водителем, поэтому он не будет мешать нормальному вождению водителя. Будут большие различия, так что результаты обнаружения будут необъективными, и этот метод также легко поддается влиянию от внешних условий, таких как погода, характеристики транспортного средства и дорожные условия, а надежность невелика [7]. Важнейшим недостатком является то, что при отклонении траектории движения автомобиля он может уже находиться в опасном состоянии, эффект своевременного напоминания водителю данным методом не достигается, точность обнаружения средняя, а стоимость высокая, в общем случае можно использовать для усталости вспомогательные индикаторы для обнаружения [8].

#### Метод определения усталости на основе характеристик поведения водителя

Когда водитель входит в утомленное состояние из бодрствующего состояния, черты лица и поведенческие характеристики головы значительно изменяются, поэтому целесообразно собирать данные о чертах лица и головы водителя и анализировать их с помощью технологии компьютерного зрения. Метод обнаружения можно разделить на три категории в зависимости от частей тела: обнаружение усталости по признакам глаз, признакам рта и признакам головы.

1. Обнаружение особенностей глаз. Глаз является не только каналом для получения информации извне, но и окном, отражающим психическое состояние человека. Когда водитель не сонный или не полностью без сознания, он обычно бодрствует, быстро моргая, что приводит к увеличению количества морганий. По мере углубления степени утомления сознание водителя постепенно затуманивается, и соответственно уменьшается количество морганий, при переходе в состояние сна количество морганий становится равным нулю.
2. Функция обнаружения рта: когда люди устают, они зевают. Есть много состояний рта, и степень открывания рта в каждом состоянии различна, поэтому зевоту можно отличить от других состояний рта по размеру открывания рта и продолжительности открывания, а затем, вычислив частоту зевоты, определить судить, является ли это усталостью вождения. Тем не менее, функция зевоты варьируется от человека к человеку. Если вы не находитесь в состоянии усталости, вы

должны сопровождаться зеванием. Кроме того, функция обнаружения усталости по рту, как правило, в режиме реального времени и не может использоваться как единственная параметр для оценки усталости [9].

3. Обнаружение особенностей головы: положение головы может указывать на ориентацию лица и направление взгляда человеческих глаз. Когда водитель ведет машину в состоянии бодрствования, его глаза всегда смотрят прямо вперед, поэтому голова в основном поддерживается на определенный угол в пределах диапазона. При проверке окружающих дорожных условий голова может поворачиваться влево и вправо менее чем на 1 секунду, а угол поворота составляет менее 45 градусов [10], или смотреть вверх в зеркало заднего вида, чтобы проверить дорожные условия. При утомлении способность мозга управлять телом ослабевает, и будут частые кивки, но не будет масштабных поворотов головы, тряски и других движений. Следовательно, также целесообразно использовать частоту кивающих движений, вызванных усталостью, для изучения усталостного вождения.

Метод обнаружения также не контактирует с водителем, обладает сильной защитой от помех, высокой точностью, хорошей производительностью в реальном времени и средней стоимостью.

#### Статус и достижения исследований

Поведение водителя за рулем отражает находится ли водитель в опасном состоянии вождения. Сбор данных и извлечение характеристик поведения при вождении является ключевым этапом в обнаружении небезопасного поведения при вождении, поэтому также были разработаны различные методы распознавания. В первые дни некоторые физиологические характеристики, такие как электрокардиограмма (ЭКГ) [11] и электроэнцефалограмма (ЭЭГ) [12], обычно использовались для обнаружения небезопасного поведения водителя, а затем информация анализировалась и оценивалась для определения состояния вождения водителя [13]. Это обычно требует, чтобы водитель носил сенсорное устройство или сборщик сигналов, что серьезно повлияет на впечатления от вождения, поэтому метод обнаружения, основанный на физиологических и психологических источниках информации, трудно применить к реальным сценариям. В последние годы все большее внимание уделяется бесконтактным методам с использованием компьютерного зрения в качестве источника информации. Метод обнаружения небезопасного поведения при вождении с использованием компьютерного зрения в качестве источника информации успешно решает проблему по-

мех водителям, вызванных ношением навязчивого оборудования для сбора сигналов, и в то же время упрощает определение местоположения целевой области, что значительно снижает внешние помехи. Поэтому сбор данных о небезопасном поведении за рулем с помощью метода компьютерного зрения считается наиболее эффективным и прямым методом. В соответствии с различными методами, используемыми в процессе извлечения признаков, его можно разделить на традиционные алгоритмы обнаружения небезопасного поведения при вождении и алгоритмы обнаружения небезопасного поведения на основе глубокого обучения. Результаты исследования, полученные при использовании двух алгоритмов, описаны ниже.

### Традиционный алгоритм обнаружения небезопасного вождения

Традиционные алгоритмы обнаружения небезопасного поведения при вождении в основном обнаруживают и классифицируют небезопасное поведение при вождении, извлекая такие функции, как функции гистограммы или изменения пикселей.

В 2018 году авторы работы [14] предложили обнаруживать лица с помощью сегментации по цвету кожи, и затем использовать адаптивный алгоритм масштабирования для отслеживания лиц и, наконец, обнаружил небезопасное поведение при вождении, например совершение звонков, с помощью пороговой сегментации по цвету кожи. Была достигнута точность 86%.

В 2019 году авторы работы [15] предложили метод слияния для извлечения PCA-HOG и Relief-PZM из руки, который оценивал движения руки водителя в различных условиях освещения и достигал точности обнаружения небезопасного вождения 94,5%.

### Алгоритм обнаружения небезопасного вождения на основе глубокого обучения

В последние годы, с ростом вычислительной мощности компьютерного оборудования, глубокое обучение постепенно становится основным направлением исследований в области компьютерного зрения. Методы глубокого обучения могут извлекать глубокие черты изображений и обладают высокой надежностью, поэтому они постепенно становятся предметом исследований.

В 2015 году были применены алгоритмы обнаружения цели авторами работы [16], основанный на сверточной нейронной сети, для обнаружения небезопасного поведения при вождении. Алгоритм Faster-RCNN исполь-

зовался для определения положения руки. Он достиг 86% точности при обнаружении мобильного телефона. Точность обнаружения 90% при обнаружении ручного рулевого колеса, а средняя скорость обнаружения достигла 0,06 кадров в секунду.

В 2016 году был предложен алгоритм обнаружения небезопасного поведения при вождении, основанный на глубоком обучении [17]. Сначала область кожи была извлечена с помощью смешанной модели Гаусса, а затем она была передана в сетевую модель RCNN, чтобы выбрать наиболее репрезентативную область для различения поведения за рулем, и, наконец, достигнута средняя точность обнаружения 97,76% для обнаружения небезопасного поведения при вождении, такого как использование мобильных телефонов.

В 2018 году была осуществлена классификация позиционирования и действий руки водителя с помощью методов глубокого обучения и достигли точности обнаружения 89% и скорости обнаружения 35 кадров в секунду при обнаружении руля, удерживаемого одной рукой [18].

В 2019 году, после определения лица и рук с помощью алгоритма YOLO, в работе [19] использовали сеть AlexNet для извлечения признаков и добились 90% точности обнаружения при распознавании различных типов небезопасного поведения за рулем, таких как например — питье воды.

### Набор данных водителя

В работе [20] предложили каскадную нейронную сеть для эффективного обнаружения поведения вождения. Во-первых, чтобы уменьшить вычислительную нагрузку, исходные данные были первоначально проверены в сети первого уровня, а затем в модели VGG с глубоким переносом обучения. был использован во втором уровне классификации, и, наконец, точность обнаружения небезопасного поведения при вождении составила 91,3%.

В работе [21] предложили алгоритм обнаружения небезопасного поведения при вождении, основанный на глубоком обучении, который определяет ключевые точки человеческого тела через глубокую сеть отношений и дополнительно оценивает поведение водителя посредством извлечения информации о ключевых точках.

Поскольку скорость работы компьютерного оборудования становится все быстрее и быстрее, метод обнаружения небезопасного поведения при вождении с использованием компьютерного зрения в качестве источника данных постепенно становится предметом

исследований. Хотя традиционный алгоритм обнаружения небезопасного поведения при вождении может обеспечить эффективное обнаружение небезопасного поведения при вождении, на эффект обнаружения легко влияет освещение и смена сцены, а искусственно извлеченные признаки небезопасного поведения при вождении часто выводятся из опыта, что приводит к нарушению эффекта обнаружения. Ограничения конкретных сценариев и низкая скорость обнаружения затрудняют практическое применение. Согласно статистике по литературе, опубликованной CNKI за последние три года, алгоритм обнаружения небезопасного поведения при вождении, использующий компьютерное зрение в качестве источника данных, более склонен к использованию метода глубокого обучения. Метод глубокого обучения может извлекать глубокие функции изображения и может адаптивно изучать основные функции в различных сценариях приложений, а также обладает характеристиками высокой точности обнаружения и высокой надежности [22].

## Заключение

Определенную основу для исследований в этой области заложило большое количество результатов исследований [1–22]. Что касается сбора данных, ранние исследователи извлекли данные о различных поведенческих особенностях, которые могут существовать во время вождения, что удобно для будущих поколений, чтобы они могли выбирать и устанавливать свои собственные наборы данных. Понимая состояние и результаты исследований, можно сделать вывод, что общая тенденция исследований, связанных с обнаружением усталостного вождения, сместилась от первоначального метода контактного к бесконтактному методу обнаружения. Хотя метод контактного обнаружения может напрямую отражать состояние активности мозга, он принесет больше вреда чем пользы из-за проблем с водителями, поэтому будущие исследования усталостного вождения будут больше сосредоточены на методе бесконтактного обнаружения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аладин Д.В. и др. Подход к разработке модели цифрового двойника водителя высокоавтоматизированного транспортного средства на основе гибридной интеллектуальной информационной системы / Аладин Д.В., Горячкин Б.С., Варламов О.О., Афанасьев Г.И., Тимофеев В.Б. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 2–2. С. 34–40.
2. Крутов Т.Ю., Афанасьев Г.И., Нестеров Ю.Г. Оптимизационные методы нейронных сетей для решения задачи бинарной классификации изображений // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 5–2. С. 68–76.
3. Галичий Д.А., Афанасьев Г.И., Нестеров Ю.Г. Распознавание эмоций человека при помощи современных методов глубокого обучения // E-Scio. 2021. № 5 (56). С. 316–329.
4. Афанасьев Г.И., Абулкасимов М.М., Сурикова О.В. Алгоритмы оптимизации, используемые в нейронных сетях, и градиентный спуск // Аспирант и соискатель. 2019. № 6 (114). С. 81–86.
5. G. Kecklund, T. Akerstedt. Sleepiness in long distance truck driving: an ambulatory EEG study of night driving. // Ergonomics. 1998. 36. P. 1007–1017
6. Zhang Xibo, Cheng Bo, Feng Ruijia. Real-time detection method of driver's fatigue state based on steering wheel operation. // Journal of Tsinghua University (Natural Science Edition). 2010. 50(7). P. 23–36.
7. Shi SS. Y. Shi, W.Z. Tang, Y.Y. Wang. A Review on Fatigue Driving Detection // ITM Web of Conferences. 2017. 12. P. 14–21.
8. J.Y. Zhang, W.W. Qiu, H.J. Fu, et al. Review of Techniques for Driver Fatigue Detection. // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vols (433–435). P. 928–931.
9. Wu Yaxuan, Li Wenxuan, Shi Guosheng, et al. Research Review of Fatigue Driving Detection Technology // Industrial Control Computer. 2011. 24(8). P. 44–46.
10. Huang Xiuqing. Research on Driver Fatigue Detection Based on Machine Vision and Learning // Wuhan: Wuhan Engineering University. 2014. P. 5–14.
11. Simon M., Schmidt E.A., Kincses W.E. EEG alpha spindle measures as indicators of driver fatigue under real traffic conditions // Clinical Neurophysiology. 2011, 122(6). P. 1168–1178.
12. Lee S.J., Jo J., Jung H.G. Real-Time gaze estimator based on driver's head orientation for forward collision warning system. // IEEE Transactions on Intelligent Systems. 2011. 12(1). P. 254–267.
13. Xu Wenxiang, Zhao Xiaohua, Du Hongji. Research on distracted driving psychological response based on sample entropy. // Traffic Engineering. 2019. 19(S1). P. 59–64.
14. Luo Wenjie. Research on Unsafe Driving Behavior Detection Algorithm Based on Machine Vision // Changsha: Hunan University. 2018. 100 p.
15. Cheng Wendong, Ma Yong, Wei Qingyang. Gesture recognition method based on image feature decision fusion in driver's mobile phone conversation behavior. // Chinese Journal of Transportation Engineering. 2019. 19(04). P. 171–181.
16. T. Hoang, Ngan Le, Y. Zheng. Multiple Scale Faster-RCNN Approach to Driver's Cell-Phone Usage and Hands on Steering Wheel Detection. // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. IEEE: Piscataway. 2015. P. 35–43.
17. Yan S., Teng Y., Smith J.S. Driver behavior recognition based on deep convolutional neural networks. // Changsha: International Conference on Natural Computation. IEEE: Piscataway. 2016. P. 636–641.
18. Siddharth, Rangesh A., Ohn-Bar E., Trivedi M.M. Driver Hand Localization and Grasp Analysis: A Vision-based Real-time Approach. // International Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE. Piscataway. 2018. P. 2545–2550.

19. Eraqi H.M., Abouelnaga Y., Saad M.H., et al. Driver Distraction Identification with an Ensemble of Convolutional Neural Networks. // Journal of advanced transportation. 2019(06). P. 1–12.
20. Chen Jun, Zhang Li, Zhou Bo. Detection of Driver Distracted Driving Behavior Based on Cascaded Convolutional Neural Networks. // Science Technology and Engineering. 2020. 20(14). P. 5702–5708.
21. Jiang Yukai, Zhou Kang, Li Zhiwei. Identification method of driver violations based on deep neural network // Computer Knowledge and Technology. 2020. 16(12). P. 198–200.
22. Zeng Yiming, Hu Yu, Han Yinhe, Li Xiaowei. Semi-supervised monocular image depth estimation using partial order relation of sparse point cloud. // Journal of Computer-Aided Design and Graphics. 2019. 31(11). P. 2038–2046.

© Фэн Кэцзя ( 723882109@qq.com ), Афанасьев Геннадий Иванович ( gaipcs@bmstu.ru ),

Нестеров Юрий Григорьевич ( ugn@bmstu.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана