

УДК 621.391.26

## АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ СИСТЕМ CAMERA VISION

**А.Р. Тер-Мартirosян, А.К. Карапетян, О.А. Гомцян**

*Национальный политехнический университет Армении*

Интерес к системам самоориентации в пространстве, принятия решений и автоматического контроля с каждым днем растет. В наибольшей степени этот интерес объясняется желанием проектировать самоуправляемые системы в машиностроении. Благодаря большим вложениям в этом направлении сделано и продолжает делаться много работ. Среди этих работ следует отметить достижения таких гигантов, как американская компания Tesla, уже известная своими инновационными и революционными технологиями, и ведущая немецкая автомобильная компания BMW, которые уже придумали концептуальные модели самоуправляемых автомобилей с хорошими результатами. В свою очередь, компания Uber, предлагающая самые распространенные в мире транспортные услуги, уже выпустила около 1000 автомобилей без водителя с системами принятия решений и автоматического управления. Эти машины успешно преодолевают проблемы, с которыми они сталкиваются, бесперебойно перевозят пассажиров и грузы. Помимо автомобилей, указанные системы автоматизации также использовались в беспилотных летательных аппаратах, а американская армия придумала новую программу, согласно которой эти аппараты, самостоятельно идентифицирующие, распознающие и отслеживающие противников, должны быть введены в массовое производство и будут иметь возможность уничтожать врага в случае получения заказа. В тестовой версии было выпущено несколько тысяч беспилотных летательных аппаратов, и во время организованного тестирования они без каких-либо трудностей обнаружили и уничтожили пункты назначения.

В работе подробно рассматриваются и обсуждаются наиболее широко используемые системы обнаружения и распознавания Camera Vision, а также преимущества и недостатки предлагаемых решений.

**Ключевые слова:** системы обнаружения объектов, LiDAR, RADAR, Camera Vision, системы распознавания.

**Введение.** На сегодняшний день интенсивно развиваются различные системы самоориентации в пространстве, принятия решений и автоматического управления подвижными объектами. Это объясняется массовым производством “умных” автомобилей и дронов. Уже предложены различные варианты решения проблемы, некоторые из которых применяются в опытных образцах машиностроительных гигантов.

**Наиболее распространенные системы решения задачи.** На сегодняшний день уже существует около десятков систем, приспособленных для обнаружения объектов в машиностроении. Среди них наиболее распространенными являются системы типа LiDAR (LIght Detection And Ranging), RADAR (RAdio Detection And Ranging) и Camera Vision [1].

Каждая из этих систем обладает достоинствами и недостатками, наиболее примечательные из которых следующие [2]:

- *Системы типа LiDAR.* Преимуществом этих систем является то, что они могут легко получать и отображать 3D модель пространства, не зависят от освещения и обладают достаточной стойкостью к интерференционным явлениям.

К недостаткам данных систем относятся: высокая цена; зависимость от погодных условий; наличие подвижных частей; генерация в процессе работы огромного количества информации, подлежащей обработке; требование к отсутствию отражающих барьеров и ограниченное рабочее расстояние.

- *Системы типа RADAR.* Эти системы, в отличие от остальных систем обнаружения, были разработаны и получили широкое распространение несколько десятилетий назад и сейчас также широко используются в автомобилях. Преимуществом этих систем является то, что они отличаются относительно низкой ценой, независимостью от погодных и световых условий и, что самое главное, способностью к определению скорости и направления движения объекта.

К недостаткам данных систем, из-за которых ограничено их использование в машиностроении, относятся: относительно большие габаритные размеры, вероятность принятия ошибочных решений и, что самое главное, опасное излучение для окружающего пространства.

- *Системы Camera Vision.* На сегодняшний день эти системы уже являются признанными лидерами области. Преимущества: несмотря на свою низкую цену, подобные системы обеспечивают высокое качество изображения, способны идентифицировать и различать цвета, объекты и дорожные знаки. Кроме того, у этих систем достаточно широкий ассортимент.

К недостаткам данных систем можно отнести тот факт, что они зависят от погодных и световых условий, что может привести к принятию ошибочных решений. Кроме того, подобные системы в процессе работы генерируют огромное количество информации, для обработки которой требуется достаточная вычислительная мощность.

Несмотря на имеющиеся недостатки, системы Camera Vision широко используются практически во всех дронах и в новых концептуальных моделях

автомобилей. В связи с этим предпринимается множество попыток по исправлению существующих недостатков. Основным критерием оптимизации системы является быстродействие вычислительного алгоритма, так как он влияет и на количество полученной информации, и на достоверность принятого решения.

**Наиболее распространенные методы работы систем Camera Vision.** В данной области проведены многочисленные исследования, результаты которых отражены во многих научных работах. Ниже приведены наиболее распространенные методы со своими достоинствами и недостатками.

На рис.1 приведен один из алгоритмов работы системы Camera Vision [3].

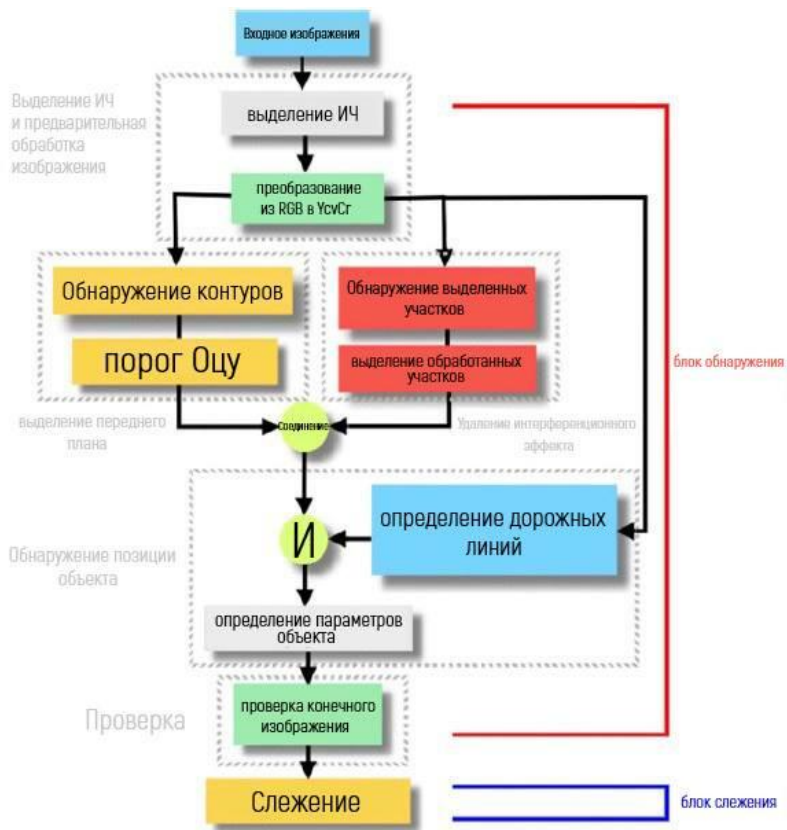


Рис. 1. Принцип работы системы Camera Vision методом Нобуюки Оцу

Как видно из рисунка, структура алгоритма состоит из нескольких этапов. Изначально система получает изображение камеры, выделяет интересующую часть (ИЧ - та часть изображения, на которой более вероятно нахождение объекта). Далее изображение из стандарта RGB преобразуется в стандарт YcvCr (для сокращения объема изображения). Так как изображение, кроме

интересующей части, может содержать рекламные щиты, дорожные знаки, тени и другие мешающие объекты, которые создают интерференционный эффект (см. рис.2), осуществляется обнаружение и фильтрация паразитных элементов.

Следующий шаг состоит в обнаружении и выделении методом Нобуюки Оцу контуров объекта из ИЧ. Следует отметить, что метод Оцу [4] - это вычислительный алгоритм для обнаружения двоичного порога многотонального изображения.

Далее идентифицируется маршрут объекта. Входное изображение содержит информацию о маршруте, для обнаружения которого необходимо определить дорожные линии. Именно между этими дорожными линиями наиболее вероятно обнаружение встречного транспортного средства. После обнаружения контуров вычисляются высота и ширина объекта.

Так как возможно, что контуры изображения могут являться не контурами реального изображения, а тенями или следами колес автомобиля, с целью понижения вероятности погрешности следует произвести дополнительную проверку по формуле [3]

$$S(j) = \sum_{i=V_B}^{V_B+H} \sum_{\Delta x=1}^{W/2} \sum_{j=V_L-\Delta k}^{V_R+\Delta k} |p(j + \Delta x, i) - p(j - \Delta x, i)|, \quad (1)$$

где  $S(j)$  – мера симметрии;  $p(j, i)$  – элемент изображения объекта;  $V_B, V_L, V_R$  – соответственно нижние, левые и правые границы объекта;  $W$  – ширина изображения объекта;  $H$  – высота изображения объекта.

Объект достоверно обнаружен, если мера симметрии удовлетворяет требованию

$$\min S(j) < S_{th}, \quad (2)$$

где  $S_{th}$  – граничная мера симметрии.



Рис. 2. Выделение интересующей части изображения

После успешного завершения перечисленных шагов система начинает слежение за встречным объектом и вычисляет расстояние до него.

Преимущества метода:

- ✓ из-за выделения полезной части изображения дальнейшая обработка требует меньших вычислительных затрат;
- ✓ обнаружение объекта занимает около 0,16 с;
- ✓ обработка обнаруженного изображения и осуществление вычислений занимают около 0,0058 с.

Недостатки метода:

- ✓ изучается только текущий маршрут;
- ✓ если слева или справа перестраивается машина, то она обнаружится только после перестроения;
- ✓ система может следить только за одним объектом;
- ✓ предполагается существование контуров маршрута.

Другой, широко используемый алгоритм работы системы Camera Vision, который может применяться для обнаружения любых объектов, приведен на рис.3 [5].

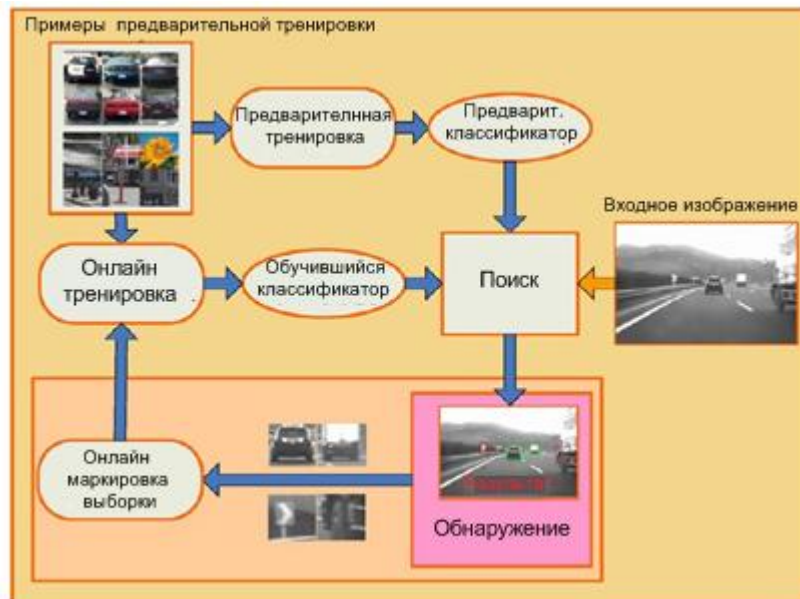


Рис. 3. Принцип работы системы Camera Vision на основе искусственного интеллекта

В основе работы данного метода лежит искусственный интеллект, поэтому подобным системам для тренировки необходимо заранее предоставить различные изображения интересующего объекта. Следует отметить, что для

предварительной тренировки желательно иметь снимки около 100000 объектов, так как именно от количества этих образцов зависит достоверность принятия решений искусственным интеллектом.

Основное достоинство данного метода состоит в том, что подобные системы способны к онлайн обучению, т.е. в процессе работы системы возможны ситуации, когда могут приниматься ошибочные или частично ошибочные решения, как показано на рис. 3. При таких ситуациях изображения отправляются на сервер, где уже работниками принимаются правильные решения задач, которые передаются на все системы в сети, и в дальнейшем в аналогичных ситуациях не только текущая, но и остальные системы примут правильное решение.

К достоинствам метода относятся:

- отслеживаются все объекты в поле зрения камеры;
- на основе онлайн обучения со временем можно достичь 100% достоверности принятия правильных решений.

Однако описанный метод не лишен определенных недостатков:

- требуются относительно ресурсоемкие вычислительные затраты;
- на раннем этапе функционирования сети возможно большое количество спорных решений, которые должны обрабатываться в серверной части.

В реальных испытаниях данного метода были получены следующие результаты [5]:

- из 1279 случаев присутствия объекта в поле зрения камеры система в 1278 случаях принимала правильное решение, не заметив встречный автомобиль только один раз. Достоверность системы составляет 99,92% и вычисляется по формуле

$$TPR = (True\ Positive / All\ Positive) * 100\%, \quad (3)$$

где *True Positive* - количество правильно обнаруженных объектов; *All Positive* - количество объектов, присутствующих на самом деле;

- Из 2186 случаев отсутствия объекта в поле зрения камеры система принимала правильное решение в 2183 случаях, обнаруживая несуществующий встречный автомобиль 3 раза. Достоверность системы составляет 99,86% и вычисляется по формуле

$$FDR = (False\ Positive / (True\ Positive + False\ Positive)) * 100\%, \quad (4)$$

где *False Positive* - количество ошибочно обнаруженных объектов.

**Заключение.** Проведенные исследования показывают, что системы Camera Vision, будучи вне конкуренции благодаря своей низкой себестоимости, предлагают возможности обнаружения объектов и дальнейшего слежения за ними. На сегодняшний день данные системы, в зависимости от предложенной

задачи, обеспечивают вплоть до 99,8% достоверности принятия решений, и по мере развития искусственного интеллекта увеличится также вероятность принятия достоверных решений системы.

Так как описанные системы влекут за собой возрастание случаев нарушения целостности границ и прав человека, необходимо разработать программные приложения для обнаружения позиции и дальнейшего поражения объектов.

### Литература

1. **Osman Ors**, <https://blog.nxp.com/automotive/radar-camera-and-lidar-for-autonomous-cars>
2. **Daive Santo**, [https://www.eetimes.com/author.asp?section\\_id=36&doc\\_id=1330069](https://www.eetimes.com/author.asp?section_id=36&doc_id=1330069)
3. **Ying-Che Kuo, Neng-Sheng Pai, Yen-Feng Li**. Vision-based vehicle detection for a driver assistance system // Computers & Mathematics with Applications.-April, 2011.- P. 2096-2100.
4. **N. Otsu**. A threshold selection method from gray-level histograms IEEE Trans. // Syst. Man Cybern, 1979.- P. 62-66.
5. **Hai Wang, Chaochun Yuan, Yingfeng Cai**. Smart road vehicle sensing system based on monocular vision // International Journal for Light and Electron Optics.- February, 2015.-P. 386-390.

*Поступила в редакцию 23.04.2018.  
Принята к опубликованию 05.06.2018.*

### CAMERA VISION ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՍԿՁԲՈՒՆՔՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

**Ա.Ր. Տեր-Մարտիրոսյան, Ա.Կ. Կարապետյան, Հ.Ա. Գոմցյան**

Օրեցօր աճում է հետաքրքրությունը տարածության մեջ ինքնակողմնորոշման, ինքնուրույն որոշումների կայացման և ավտոմատ կառավարման համակարգերի նկատմամբ: Այդ հետաքրքրությունը բացատրվում է մեքենաշինությունում զանազան ինքնակառավարվող համակարգեր ստեղծելու ձգտմամբ: Խոշոր ներդրումների շնորհիվ այս ոլորտում կատարվել և շարունակում են կատարվել բազմաթիվ աշխատանքներ: Այստեղ հարկ է նշել այնպիսի հսկաների ձեռքբերումները, ինչպիսիք են իր նորարարական ու հեղափոխական տեխնոլոգիաներով հայտնի դարձած ամերիկյան Tesla և գերմանական ավտոարտադրության առաջատար հանդիսացող BMW ընկերությունը, որոնք արդեն իսկ հանդես են եկել իրենց բավականին լավ արդյունքներ ցույց տվող, ինքնակառավարվող մեքենաների հայեցակարգային մոդելներով: Իսկ աշխարհում ամենաշատ տարածում գտած տեղափոխման ծառայություններ առաջարկող Uber ընկերությունը արդեն իսկ գործարկել է առանց վարորդի, լիովին ավտոմատ կառավարվող և որոշումներ կայացնող մոտ 1000 մեքենա, որոնք բարեհաջող հաղթահարում են իրենց առջև դրված խնդիրները, անխափան

կատարելով ուղևորների և բեռների տեղափոխումներ: Բացի ավտոմեքենաներից, այդ ավտոմատացման համակարգերը սկսել են նաև կիրառվել դրոններում, իսկ ամերիկյան բանակը հանդես է եկել իր նոր նախագծով, ըստ որի զանգվածային արտադրության պետք է դրվեն հակառակորդներին ինքնուրույն հայտնաբերող, ճանաչող և հետևող դրոններ, որոնք ունենալու են նաև հնարավորություն՝ համապատասխան հրաման ստանալու դեպքում վերացնել թշնամուն: Թեստային տարբերակով արտադրվել է մի քանի հազար այդպիսի դրոն, և կազմակերպված փորձարկման ընթացքում դրանք, առանց որևիցե դժվարության, հայտնաբերել ու խոցել են նպատակակետերը:

Աշխատանքում մանրակրկիտ քննարկվել են առավել լայն տարածում գտած Camera Vision հայտնաբերման և ճանաչման համակարգերը: Դիտարկված են առաջարկվող համակարգերի աշխատանքային սկզբունքների առավելությունները և թերությունները:

**Առանցքային բաներ.** օբյեկտների հայտնաբերման համակարգեր, LiDAR, RADAR, Camera Vision, ճանաչման համակարգեր:

## **ANALYZING THE OPERATION PRINCIPLES OF CAMERA VISION SYSTEMS**

**A.R. Ter-Martirosyan, A.K. Karapetyan, H.A. Gomtsyan**

Interest in the self-determination in the territory, decision-making and automatic control systems is increasing day by day. This interest is mostly explained by the desire to build self-controlled systems in machine building. Due to large investments, a lot of work has been done in this area. Here, the achievements of such giants as the American company Tesla already known for its innovative and revolutionary technologies, and the German leading carmaker company BMW should be noted which have already come up with conceptual models of self-governing vehicles with good results. And Uber, the company offering the most widespread transportation services in the world, has already put into operation over 1,000 cars without a driver, with thorough decision-making and automatic control systems which successfully overcome the problems they are facing, transporting passengers and cargo uninterruptedly. In addition to automobiles, these automation systems have also been used in the drones, and the American army has come up with its new program, according to which the drones that self-identify, recognize and track the opponents must be put into mass production which will also have the opportunity to eliminate the enemy in case of receiving an order. The test version produced several thousand drones and during the organized testing, they detected and destroyed the destinations without any difficulty.

The work lists and comprehensively discusses the most widely used Camera vision detection and recognition systems. It contains a thorough observation of advantages and disadvantages of the proposed solutions.

**Keywords:** object detection systems, LiDAR, RADAR, Camera Vision, recognition systems.