

**ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ  
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԴՈՒԽՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

**Գուրգեն Հովհաննեսի Հակոբյան**

**ԹՎԱՅՆԱՑՎԱԾ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ  
ՍՏԵՂԾՈՒՄԸ ՃԱՆԱՊԱՐՀԱՅԻՆ ԾԱԾԿՈՒՅԹՆԵՐԻ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ  
ՀԱՄԱՐ**

Ե. 13.02 «Ավտոմատացման համակարգեր» մասնագիտությամբ տեխնիկական  
գիտությունների թեկնածուի զիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

**Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր**

ԵՐԵՎԱՆ 2016

---

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ**

**Акопян Гурген Оганесович**

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ  
КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ  
ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.13.02 - "Системы автоматизации"

ЕРЕВАН 2016

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանում (Պոլիտեխնիկ):

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ. Դ.Գ. Ասատրյան  
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տ.գ.դ. Ռ.Ռ. Վարդանյան  
տ.գ.թ. Ա.Լ. Մխիթարյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և  
ավտոմատացման պրոբլեմների  
ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2016 թ. հունիսի 24-ին, ժամը 14<sup>00</sup>-ին Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում գործող ՀՀ ԲՈՀ-ի 032 «Կառավարման, ավտոմատացման և էլեկտրոնիկայի» մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17-րդ մասնաշենք):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ գրադարանում:  
Սեղմագիրն առաքված է 2016 թ. մայիսի 24-ին:

032 մասնագիտական խորհրդի  
գիտական քարտուղար, տ.գ.դ.՝ Ա.Գ. Ավետիսյան

---

Тема диссертации утверждена в Государственном инженерном университете Армении (Политехник).

Научный руководитель: д.т.н. Д.Г. Асатрян

Официальные оппоненты: д.т.н. Р.Р. Варданян  
к.т.н. А.Л. Мхитарян

Ведущая организация: Институт проблем информатики и  
автоматизации НАН РА

Защита диссертации состоится 24-го июня 2016 г. в 14<sup>00</sup> на заседании Специализированного совета 032 - “Управления, автоматизации и электроники” ВАК РА, действующего при Национальном политехническом университете Армении (НПУА), по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.  
Автореферат разослан 24-го мая, 2016 г.

Ученый секретарь  
Специализированного совета 032, д.т.н. А.Г. Аветисян

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Контроль и мониторинг состояния дорожного покрытия (ДП) являются необходимыми действиями, которые регулярно выполняются соответствующими службами для обеспечения требуемого качества и безопасности автомобильных дорог.

Для планирования ремонтных и превентивных работ необходимо иметь точные и обновлённые сведения о качестве покрытий. Качество ДП характеризуется многими факторами, охватывающими как степень отклонения поверхности покрытия дороги от предписанных норм, так и разнообразные типы дефектов (трещины, отверстия, шероховатость и т.д.), неизбежно возникающих в результате эксплуатации дороги. В зависимости от категории дороги и наблюдаемой степени качества ДП применяются различные подходы, начиная от визуального анализа с ручной обработкой данных, кончая разработкой и применением автоматизированных систем, оснащённых специальными датчиками и приспособлениями. Разработка и реализация любого из этих подходов применительно к огромной сети и большой протяжённости существующих дорог требуют много времени и средств (в том числе финансовых), поэтому в научной литературе с давних пор большое внимание уделялось соответствующим вопросам автоматизированного мониторинга ДП.

Наиболее эффективными и дешёвыми методами автоматизированного сбора данных ДП являются сборы посредством видеокамер с последующей обработкой собранных данных соответствующими алгоритмами обработки изображений. Основными операциями обработки изображений, применяемыми практически во всех задачах исследования ДП, являются операции бинаризации, сегментации, определения краёв и границ и некоторые другие операции структурного анализа. Выбор методов обработки обусловлен требованиями решаемой задачи и становится особенно критичным при автоматической обработке изображений ДП.

В Армении общая длина дорожных сетей составляет 7568 км, включая 1803 км межгосударственных, 1964 км государственных и 3801 км местных дорог. По статистическим данным, две трети межгосударственных дорог находятся в удовлетворительном или хорошем состоянии, а около 60% государственных дорог нуждаются в ремонте. Следовательно, в управлении дорожных сетей Армении, автоматизированный контроль качества покрытий автомобильных дорог тоже является актуальной задачей и представляет большой научный и практический интерес.

**Цель и основные задачи исследования.** Целью диссертационной работы является разработка автоматизированной системы анализа и оценивания качества ДП, основанной на использовании современных методов компьютерного зрения и обработки цифровых изображений.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- разработка алгоритмов и программных средств для выявления и оценивания параметров дефектов ДП с использованием современных методов обработки изображений и компьютерного зрения;

- создание автоматизированной системы сбора, обработки, оценивания качества ДП, хранения и адекватной визуализации результатов;
- создание действующей мобильной модели автоматизированной системы для тестирования разработанных методов и выдачи результатов в онлайн-режиме.

**Методы исследования.** В работе использованы алгоритмические и программные методы машинного зрения и цифровые методы обработки изображений.

**Научная новизна работы.**

1. Разработана методология автоматизированного оценивания качества на основе анализа структуры изображений поверхности ДП.
2. Совершенствованы подходы к применению ряда алгоритмов и процедур структурного анализа изображений в задаче оценивания качества ДП.
3. Разработан метод автоматизированного анализа и классификации кадров видеоизображений ДП по качеству.
4. Предложены инженерный критерий и соответствующая эмпирическая формула оценивания качества ДП.

**Практическая ценность:**

- создана автоматизированная система анализа и оценивания качества, которую можно использовать как в офлайн-, так и в онлайн-режимах мониторинга ДП;
- создана действующая мобильная модель автоматизированной системы оценивания качества ДП с использованием робота и смартфона;
- разработаны подход и техническое решение для оценивания качества ДП, которые позволяют определять степень его соответствия установленным нормам.

**Внедрение результатов исследования.** Разработанная автоматизированная система была внедрена в ЗАО “Вайкский ДСЭ” .

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Автоматизированная система оценивания качества ДП и её действующая мобильная модель.
2. Комбинированные методы структурного анализа цифровых изображений в задаче оценивания качества ДП.
3. Процедура автоматизированного анализа и классификации кадров видеоизображений ДП по качеству.

**Апробация результатов работы.** Основные положения и научные результаты диссертации докладывались и обсуждались на

- научных семинарах и заседаниях кафедры ИТ и А НПУА (Ереван, 2015-2016 гг.);
- десятой годичной научной конференции Российско-Армянского (Славянского) университета (Ереван, 2015 г.).

**Публикации.** Основные положения и результаты диссертации опубликованы в трёх научных работах, список которых представлен в конце автореферата.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка использованной литературы из 84 наименований. Общий объем диссертации составляет 112 страниц, включая 45 рисунков и 8 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и основные задачи исследования, представлены научная новизна, практическая ценность, основные научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** рассмотрены основные типы дефектов ДП, сопоставлены ручной и автоматизированный методы оценивания качества. Проведён обзор литературы, посвящённой проблеме оценки качества с использованием методов цифровой обработки изображений. Отмечено, что при управлении и мониторинге дорожных сетей целесообразнее устранять трещины на ранних стадиях появления дефектов, чем ремонтировать уже полностью непригодную дорогу. Следовательно, процедура выявления и оценивания дефектов является одной из важнейших задач автоматизированного контроля качества ДП. Как известно, наиболее распространённым типом дефектов ДП является трещина. На рис.1 показаны примеры основных типов трещин ДП.

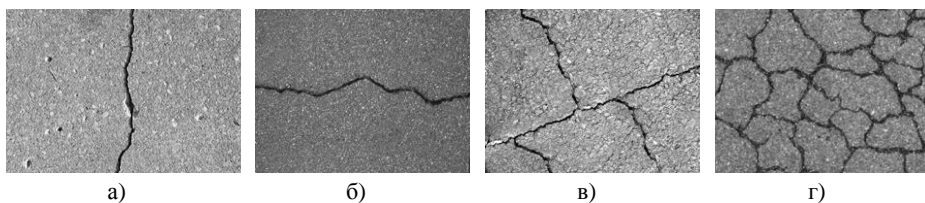


Рис 1. Основные типы трещин ДП

*а - продольная, б - поперечная, в - блочная, г - аллигаторная*

В научной литературе отмечается ряд трудностей автоматизированного обнаружения трещин, связанных с небольшим различием яркости трещины от окружающего фона, неоднородностью интенсивности в области самой трещины, наличием затенений, загрязнений и других помех. Автоматизированная обработка данных является наиболее эффективной формой мониторинга качества ДП.

В литературе издавна уделяется большое внимание соответствующим вопросам автоматизированного анализа и классификации различных типов ДП. В последние десятилетия возрос интерес к методам анализа и оценивания качества ДП, основанным на применении техники компьютерного зрения и обработки изображений. Однако, как показывает анализ литературы, универсальных методов, пригодных для анализа и

оценивания произвольных параметров ДП, не существует. Поэтому методы, предложенные в научной литературе для решения этой задачи, ограничиваются определенными, вполне конкретными ситуациями.

За последние десятилетия во всём мире был создан целый ряд автоматизированных систем, основанных на обработке изображений, получаемых при помощи автомобильных систем сбора данных. В большинстве из них, основными составными частями являются: видеочкамера, которая смонтирована на кузов автомобиля; система искусственного освещения для исследования в ночное время суток; GPS навигаторы для определения местоположений дефектов; система обработки, хранения и визуализации данных исследования. На рис. 2 для примера показана действующая система контроля качества ДП – ARAN, которая состоит из камер и датчиков выявления дефектов (трещин, отверстий и т.д.), анализатора текстуры, оборудований для вычисления местоположения и расстояний.



Рис. 2. Пример существующей автоматизированной системы контроля качества ДП (ARAN)

Отметим, что алгоритмы и методы существующих реальных автоматизированных систем сбора и обработки данных ДП недоступны ввиду их коммерческого типа. Поэтому возникла необходимость разработки автоматизированной системы анализа и оценивания качества ДП с использованием современных методов обработки, основанных на использовании структурных свойств изображений.

**Вторая глава** посвящена обоснованию применения математических моделей и методов структурного анализа изображений, а также их модификаций к задаче оценивания качества ДП. Рассмотрены основные операции обработки изображений, используемые в диссертации. Отмечается возросший в последние два десятилетия интерес специалистов по теории и технике обработки изображений к эффективному использованию структурных свойств изображений. К свойствам, характеризующим

структуру, относятся элементы изображения, определяемые путём сегментации, бинаризации, анализа градиентного поля и др.

Напомним, что сегментация - это процедура обработки изображений, используемая при структурном анализе, которая разбивает изображение на отрезки (сегменты) с определёнными свойствами. Такими свойствами могут быть интенсивность и цвет пикселей, текстура и т.д. Сегменты не могут пересекаться друг с другом, а соседние сегменты должны быть гетерогенными. По масштабу сегментация может быть локальной или глобальной. Глобальная сегментация производится для всего изображения с фиксированными параметрами сегментации. В отличие от глобальной, локальная сегментация производится на небольшом участке изображения с параметрами, рассчитанными специально для этого участка.

В основе многих опубликованных работ посвящённых выделению трещин, лежит операция бинаризации. Бинаризация – процедура квантования полутонового изображения с 256 оттенками серого цвета на изображение с двумя уровнями квантования, содержащее только черные или белые пиксели. Конечной целью бинаризации является разделение объектов, видимых на изображении от фона. В данном случае объектами считаются трещины, а фоном – текстура покрытия дороги.

Основная трудность применения процедуры бинаризации связана с подбором порога бинаризации. Как показали исследования, универсального метода автоматической бинаризации, при котором на изображении четко разделяются трещины от фона, не существует. Однако в последующих главах показано, что специальная процедура совместного применения нами алгоритмов бинаризации и сегментации позволяет обойти эту трудность.

Другим важным вопросом является последовательный анализ кадров видео-изображений и их классификация на изображения с трещинами и без них. В диссертационной работе используется метод классификации, который основан на использовании структурных свойств изображения, связанных с различным поведением градиентного поля двух рассматриваемых типов изображений. Основанием для этого может послужить возможность рассмотрения изображений ДП в качестве текстуры. При решении задачи классификации необходимо задать (или найти подходящее) описание (дескриптор) и меру близости изображений, соответствующую этому описанию.

Большинство процедур, работающих со структурами подобного типа, используют дескрипторы, использующие определённые свойства градиентного поля изображения. В данной работе используется известная мера сходства двух изображений:

$$W^2 = \frac{\min(\eta_1, \eta_2) \min(\sigma_1, \sigma_2)}{\max(\eta_1, \eta_2) \max(\sigma_1, \sigma_2)}, \quad 0 < W^2 \leq 1, \quad (1)$$

где параметры  $\eta_i$  и  $\sigma_i$  являются статистическими оценками параметров распределения Вейбулла  $f(x; \eta, \sigma)$ , описывающего магнитуду градиента рассматриваемых изображений.

Процедура классификации основана на методе сравнения с эталонами, вычислением внутрикласовой меры сходства из изображений рассматриваемых типов.

Предлагаемая процедура классификации изображений ДП применяется на бинаризованных изображениях и включает следующие шаги:

1. Для каждого изображения из рассматриваемых классов оцениваются параметры распределения Вейбулла  $\eta$  и  $\sigma$ ;

2. Определяются средние значения  $\bar{\eta}_i$  и  $\bar{\sigma}_i$  оценок параметров  $\hat{\eta}_i$  и  $\hat{\sigma}_i$  для классов. Эти значения запоминаются в качестве эталонных для последующего сравнения с ними тестовых образцов. Определяются также среднее значение  $\bar{W}^2$  и среднеквадратическое отклонение (СКО)  $S_i$  меры близости  $W^2$  по всем парам образцов каждого класса. Эти значения используются при оценке степени сходства изображений внутри классов из обучающей выборки.

3. Для каждого тестируемого образца по формуле (1) рассчитывается мера его близости с каждым эталоном. Принадлежность образца к одному из двух классов определяется по максимальному значению меры близости.

***В третьей главе*** описана методика обработки изображений, с помощью которой производятся классификация кадра, обнаружение и оценивание параметров трещин на изображениях ДП.

Отмечено, что после бинаризации на изображении всегда появляются различные артефакты, связанные с неоднородностью материала покрытия. Поэтому при выделении трещин на фоне множества таких артефактов приходится анализировать структуру полученного изображения в целом. Следовательно, задача эффективного обнаружения трещин по изображению ДП сводится к комбинированному подходу, основанному на анализе и использовании локальных свойств ДП с одновременным применением алгоритмов бинаризации и сегментации. Предварительные исследования на многочисленных примерах изображений, описанных в литературе, а также полученных собственными съёмками, показали, что для успешного различения образа трещин от артефактов большое значение имеет информация о возможном соотношении их размеров.

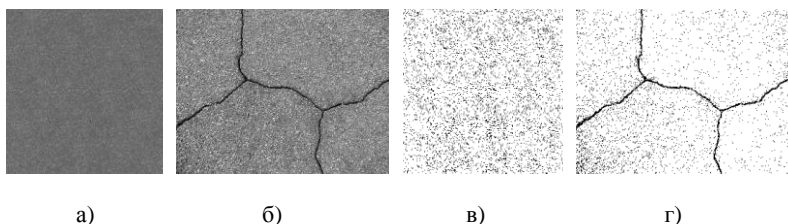


Рис. 3. Бинаризация дорожного покрытия. а - покрытие хорошего качества, б - покрытие с трещиной; в, г - бинаризованные изображения а и б

На рис. 3 приведены примеры покрытий хорошего качества (т.е. без трещин) и ДП, имеющего трещины. Можно заметить, что после бинаризации на покрытии



хорошего качества видны многочисленные сегменты небольшого размера, среди которых нет явно больших сегментов (мы их считаем артефактами). А на покрытии с трещинами после бинаризации на фоне также многочисленных мелких сегментов отчётливо выделяется конфигурация трещины.

Из приведённых примеров видно, что в алгоритм обнаружения трещин и их различения от артефактов необходимо включить операции, учитывающие распределение размеров сегментов, получаемых после надлежащей бинаризации. При этом нужно учитывать также существующие нормы, устанавливающие вполне определённые требования к качеству ДП, в частности - нормы на удельную площадь трещин и выбоин на покрытии.

В диссертационной работе для последовательного обнаружения и оценивания параметров дефектов ДП в каждом кадре видеосъёмки предназначена процедура, состоящая из следующих шагов.

*Шаг 1. Бинаризация изображения.* Анализ и сопоставление существующих норм не входят в задачу настоящей работы. Однако для удовлетворения фиксированного требования нормы качества конкретного типа ДП нами введен *обобщённый параметр*  $\alpha_b$ , обозначающий долю всех обнаруживаемых после бинаризации "чёрных" пикселей в общем количестве пикселей рассматриваемого изображения. Смысл параметра  $\alpha_b$  состоит в том, что предварительно фиксируется множество тех пикселей, которые, будучи связанными между собой, образуют все "чёрные" сегменты изображения. Ясно, что для различных типов ДП значения  $\alpha_b$  также будут различными.

Бинаризация изображения производится с порогом  $t_b$ , который определяется по гистограмме изображения ДП так, чтобы доля "чёрных" пикселей не превышала  $\alpha_b$ .

*Шаг 2. Классификация изображения.* В автоматизированных системах контроля качества ДП, которые анализируют поверхность с помощью обработки изображений, производятся продолжительные видеосъёмки. Следовательно, получаются снимки как с трещинами ДП, так и без них. Для выполнения следующих шагов по анализу характеристик трещин ДП целесообразно автоматически классифицировать каждый кадр видеосъёмки, а именно - определить, имеются ли в нём трещины или нет. Для этого необходимо провести предварительные исследования определённого участка ДП с разделением кадров на классы изображений, содержащих и не содержащих трещины. Классификация производится описанным выше методом с применением формулы (1).

На экспериментальном материале показано, что предложенная процедура классификации ДП даёт приемлемые результаты (ошибка классификации в среднем составляет около 26%).

*Шаг 3. Сегментация и фильтрация изображения.* После классификации необходимо выделить трещины от изображения и произвести оценку качества ДП. На рис. 4 видно, что после бинаризации на изображении кроме трещин ДП, остаются еще и сегменты, характеризующие текстуру ДП. Для последующих вычислений необходимо

отфильтровать изображение от этих "малых" сегментов и оставить на изображении только сегменты трещин.

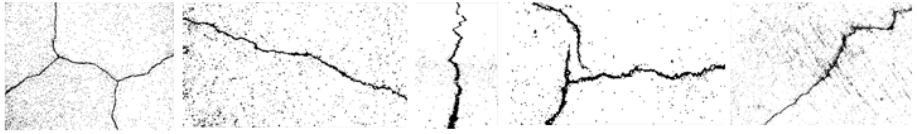


Рис. 4. Бинаризованные изображения с трещинами ДП

Для разделения сегментов нужно иметь данные о распределении размеров сегментов в изображении. Сегментация производится пороговым значением  $T_s$ , которое может быть рассчитано несколькими способами, в зависимости от различных условий задачи. В работе предлагается рассчитать порог  $T_s$  при конфигурации и калибровке данной системы. Производятся съёмки участков покрытия, на которых не содержатся трещины, и рассматриваются распределения сегментов на изображениях (табл.1).

Таблица 1

Пример распределения размеров сегментов на изображении без трещин

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$h_i$	7222	1832	790	321	187	93	28	28	10	7	2	1

Порог  $T_s$  рассчитывается по данным табл. 1 из следующей системы неравенств:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{T_s} p_i \leq 1 - \delta, \\ \sum_{i=1}^{T_s+1} p_i > 1 - \delta, \end{cases} \quad (2)$$

где  $p_i = h_i/n$ ,  $n$  - общее количество сегментов;  $\delta$  - уровень значимости.

Сегментом будем считать любое связанное множество "чёрных" пикселей, т.е. таких, что каждый имеет хотя бы одного соседнего пикселя из того же множества. В данной работе используется метод когерентной иерархической сегментации. Сегменты, количество пикселей которых меньше  $T_s$ , в совокупности характеризуют поверхность ДП, на которой нет трещин, а остальные сегменты характеризуют существующие на ДП трещины. Процедура фильтрации показана на рис. 5.

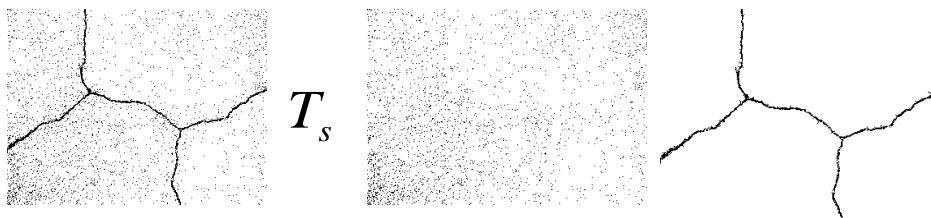


Рис. 5. Фильтрация бинаризованного изображения ДП

Шаг 4 – Оценка качества. Далее оцениваются доля площади изображения занимаемой трещинами, по формуле

$$D\% = \frac{K_{seg}}{N} * 100 \quad (3)$$

и условный показатель качества ДП  $Q\% = 100 - D\%$  где  $K_{seg}$  - общее количество пикселей выделенных сегментов;  $N$  - количество пикселей обрабатываемого изображения.

В четвертой главе описаны предлагаемая автоматизированная система оценивания качества ДП (рис. 6) и разработанная нами действующая мобильная модель системы. Система состоит из специальной машины, высокоскоростной камеры, системы искусственного освещения и компьютера, на котором установлена разработанная нами программа оценивания качества ДП - Crack Detection.

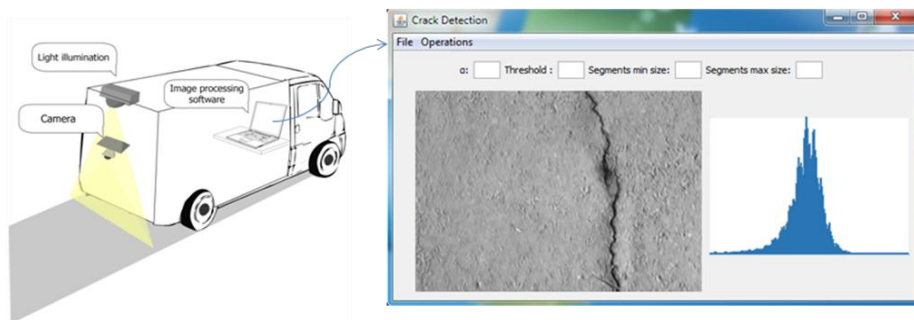


Рис. 6. Предлагаемая автоматизированная система и интерфейс программы

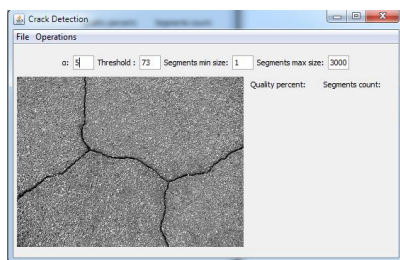
Разработанная программа предназначена для работы в двух основных режимах - неподвижных кадров и видеосъёмки.

В режиме обработки неподвижных кадров (рис. 7а) программа дает возможность установить следующие параметры:

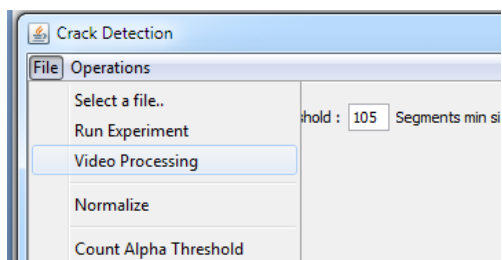
- значение  $\alpha_b$  ;
- порог бинаризации  $t_b$  ;
- допустимые минимальные и максимальные значения количеств пикселей сегментов при сегментации изображения.

Отметим, что из этих параметров обязательным считается только параметр  $\alpha_b$  , остальные могут автоматически рассчитываться с помощью упомянутых в предыдущих главах процедур. После обработки изображения всеми процедурами программа выдает изображение, которое содержит только трещины ДП, и рассчитанный процент дефекта, определяемый по формуле (2).

В режиме обработки с видеосъемкой (рис. 7б) устанавливается только параметр  $\alpha_b$  , и для каждого кадра автоматически рассчитываются все другие значения (порог бинаризации, порог различения сегментов и артефактов).



а)



б)

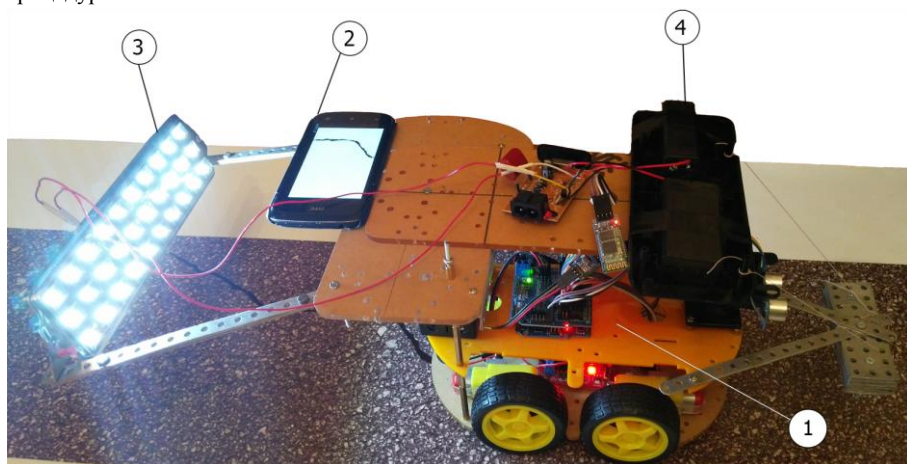
Рис. 7. Интерфейс программы обработки данных.

В диссертационной работе также была разработана мобильная модель предлагаемой автоматизированной системы (рис. 8), которая представляет собой совокупность работы движущегося робота, построенного на основе контроллера Arduino UNO, и смартфона с системой Android. Движение робота контролируется при помощи компьютера или другого гаджета посредством связи Bluetooth. Для этого на роботе используется приёмный Bluetooth модуль HC-06. На роботе смонтирована система искусственного света с лампами LED, которая при видеосъемках позволяет получать однородные изображения.

Главной частью подсистемы сбора и обработки данных является мобильный гаджет (в данном случае смартфон) с операционной системой Android, на которой установлена разработанная нами мобильная программа Pavement Analyzer.

Программа работает как в реальном времени с помощью видеосъемок, так и с неподвижными кадрами с фотосъемкой или с возможностью выбора изображения из

жёсткого диска. При нажатии кнопки Start программа производит видеосъёмку и в реальном времени обрабатывает каждый полученный кадр описанными выше процедурами.



*Рис. 8. Мобильная модель сбора и обработки данных:*

*1 - робот Arduino, 2 - Android смартфон, 3 - система искусственного освещения, 4 - аккумуляторы*

После обработки каждого кадра на удалённый сервер отправляются и сохраняются в базе данных следующие результаты:

- номер кадра;
- GPS данные исследуемого участка (широта, долгота);
- найдены ли трещины (True / False);
- площадь, занимаемая трещиной;
- количество сегментов в трещине;
- количество пикселей в трещине.

*Программа визуализации и хранения полученных результатов.* Вторая часть системы представляет собой веб-программу, которая находится на удалённом VPS сервере. Система сбора и обработки данных (робот) и программа презентации и хранения полученных результатов (сервер) находятся в прямом подключении между собой с помощью интернет связи. Результаты обработки каждого кадра отправляются на сервер и сохраняются в базе данных MySQL. Одновременно пользователь может наблюдать за процессом оценки качества ДП на странице веб-приложения. Таким образом, пользователям предоставляется возможность, находясь в другом месте, с помощью интернет-связи в реальном времени наблюдать за работой автоматизированной системы.

Работу модели автоматизированной системы целиком можно представить в виде блок-схемы, показанной на рис. 9.

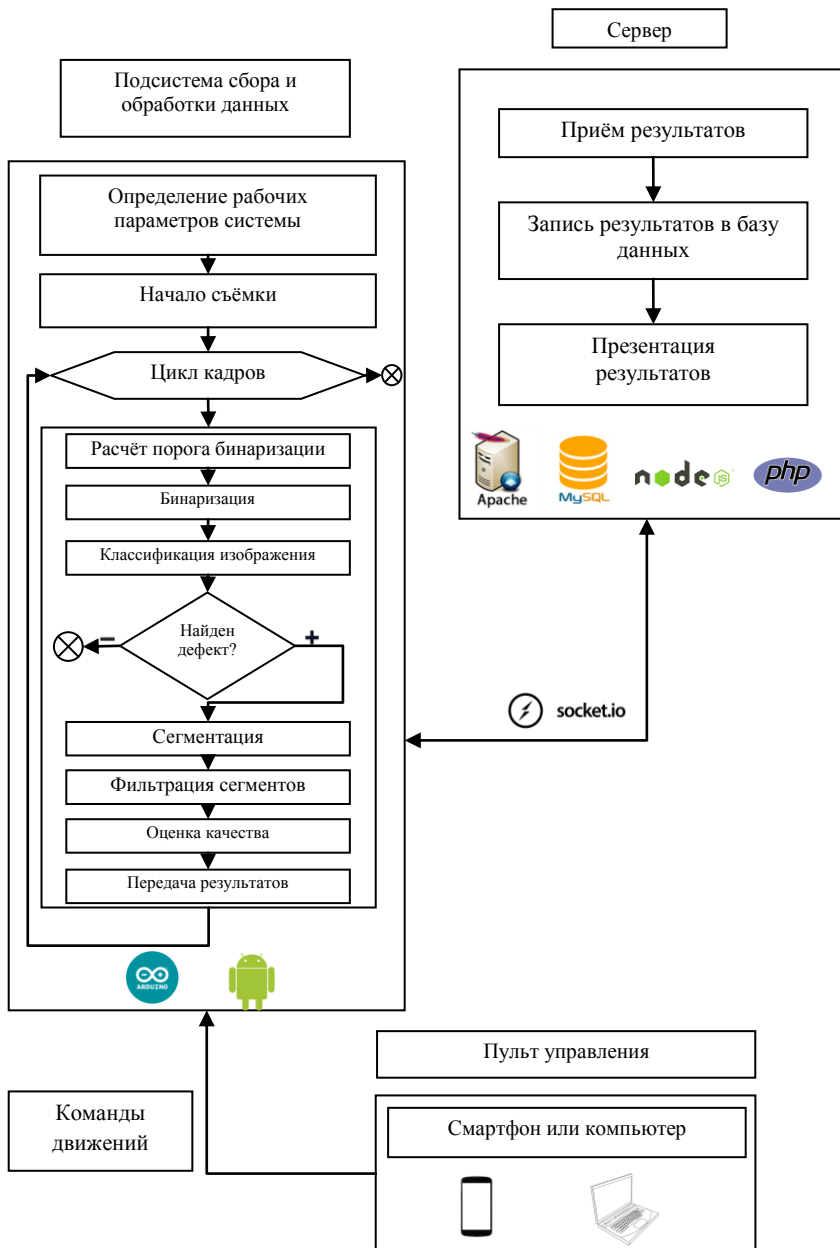


Рис. 9. Блок-схема работы разработанной модели

В пятой главе приведены экспериментальные результаты, полученные с помощью автоматизированной системы. Для иллюстрации предложенных процедур и представления результатов на собранном материале были проведены множество экспериментов. Кадры были выбраны с почти одинаковыми условиями освещения и однородностью участка ДП.

*Классификация изображений.* Для проверки эффективности предлагаемого метода классификации двух типов ДП были проведены эксперименты. Классификация выполнена для классов, содержащих изображения только с артефактами или только с трещинами. Эти изображения отбирались вручную путем визуального анализа кадров из видеопоследовательности, полученной на реальной дороге с невысоким качеством ДП. В каждый из классов было включено по 40 объектов, причем по 21 объекту из них было отобрано случайным правилом для обучения, а остальные - для тестирования.

В класс изображений с трещинами включены изображения с разнообразными видами трещин, такими, как продольные, поперечные, блочные, аллигаторные и т.д., а в класс без трещин – изображения, не содержащие явных дефектов.

Описанная методика была применена к соответствующим образцам изображений с результатами бинаризации и сегментации. Оценивание параметров распределения Вейбулла  $\eta$  и  $\sigma$  выполнено методом моментов по данным магнитуды градиента каждого образца, рассчитанным при помощи оператора Собела.

На рис.10 приведен график распределения параметров  $\eta$  и  $\sigma$  обучающих выборок обоих классов. Видно, что классы с трещинами и без трещин достаточно чётко отличаются друг от друга.

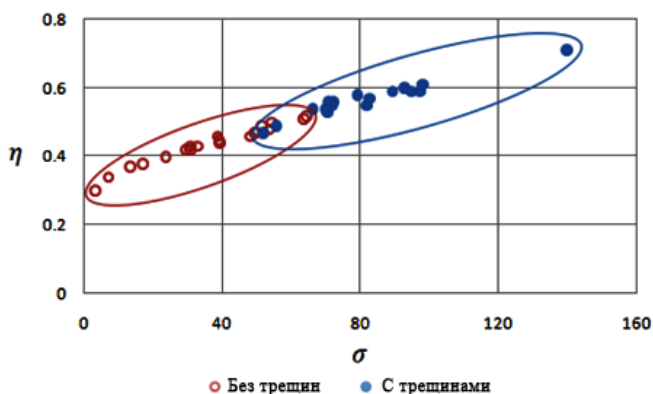


Рис. 10. Распределение параметров обучающих выборок

По описанной методике была произведена классификация тестовой выборки, состоящей из половинок классов. Результаты приведены в табл. 2. В строке с названием класса расположены данные о количестве тестируемых изображений,

отнесённых описанной процедурой классификации к каждому из двух классов. Как видно, классификация произведена достаточно хорошо, о чём свидетельствуют проценты ошибок в табл. 2 (в среднем 26%).

Таблица 2



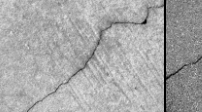
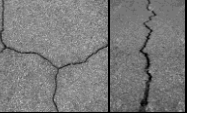

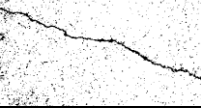
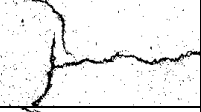
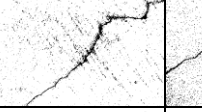



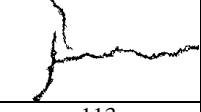
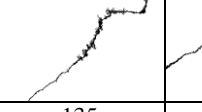
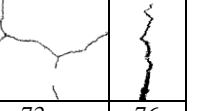

Распределение ошибок классификации по классам

Классы	Без трещин	С трещинами	Процент ошибок
Без трещин	15	4	21,0
С трещинами	6	13	31,6

Оценка качества ДП. В табл. 3 приведены использованные материалы и соответствующие результаты обработки с помощью описанной выше методики при  $\alpha_b = 0,05$ . В первой строке матрицы показаны изображения с трещинами. Вторая строка представляет результаты сегментации бинаризованного изображения при пороговом значении  $t_b$  (соответствующие пороговые значения приведены в строке таблицы, обозначенной  $t_b$ ). На изображениях отчётливо видны конфигурации трещин. Об этом свидетельствуют также значения выборочных среднего  $\hat{\mu}_b$  и СКО  $\hat{\sigma}_b$  размеров сегментов, приведённых в соответствующих строках таблицы.

Таблица 3

Результаты обработки изображений ДП с трещинами

1					
2					
3					
$t_b$	94	113	135	73	76
$\hat{\mu}_b$	3,7	7,96	3,75	1,97	10,96
$\hat{\sigma}_b$	44,14	83,5	68,1	23,18	105,8
$T_s$	136	258	208	72	329
$D\%$	1,7	3,95	1,9	1,6	3,7
$\hat{\mu}_{seg}$	1510	831	3177	411,3	1291



Пороговые значения  $T_s$  для размеров сегментов рассматриваемых изображений приведены в строке, обозначенной  $T_s$ . Средний размер выделенных сегментов (т.е. сегментов с размерами, превышающими порог  $T_s$ ) приведён в строке, обозначенной  $\hat{\mu}_{seg}$ . Далее в строке  $D\%$  приведены относительные значения площади, занимаемой трещинами.

Результаты обработки видеосъёмки. Метод оценивания качества использовался также при экспериментах видеосъёмкой. Каждый кадр видеопоследовательности обрабатывался процедурами бинаризации, сегментации, фильтрации и результаты передавались в базу данных. В табл. 4 приведены результаты видеосъёмки автоматизированной системы, а на рис. 11 график мониторинга, который строится в реальном времени. Пики графика характеризуют соответственно малые и большие трещины ДП.

Таблица 4

Результаты видеосъёмки ДП.

Н кадра	1	20	40	60	82	90	100	110	120
Расстояние (м)	0	2,5	5	7,5	10,25	11,25	12,5	13,5	15
Кадр									
Обработка									
D(%)	0,03	0,2	0,02	0,04	0,2	0,9	1	0,7	0,3

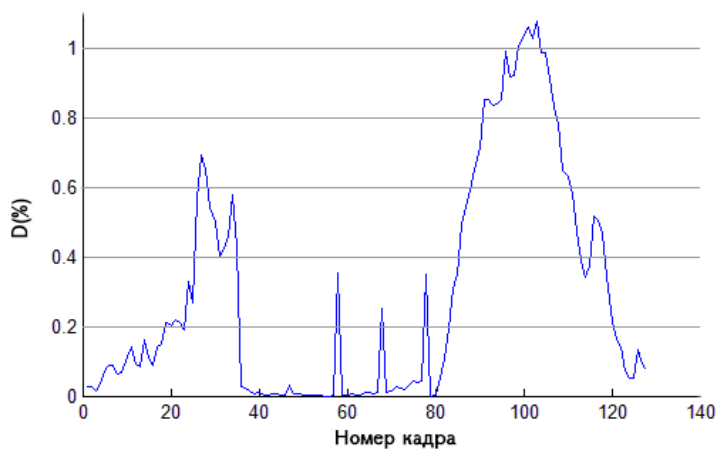


Рис. 11. График мониторинга качества ДП

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Создана автоматизированная система анализа и оценивания качества ДП, функционирующая как в оффлайн-, так и в онлайн-режимах [2].
2. Разработана методология автоматизированного анализа и оценивания качества ДП, основанная на современных методах обработки изображений и компьютерного зрения [1].
3. Разработаны алгоритмы и программные средства для выявления и определения параметров дефектов ДП [1, 2].
4. Совершенствованы подходы к применению ряда методов структурного анализа изображений к задаче оценивания качества ДП [1].
5. Разработан метод автоматизированной классификации изображений ДП по качеству, который основан на использовании статистических характеристик данных [3].
6. Предложены инженерный критерий и соответствующая эмпирическая формула оценки качества ДП [1].
7. Создана мобильная модель автоматизированной системы оценивания качества с использованием робота и смартфона [2].

### **Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Асатрян Д.Г., Акопян Г.О. Методика морфологического анализа изображения и оценивания качества дорожного покрытия // Вестник Российско-Армянского (Славянского) университета. - 2015. - №1. - С. 36-44.
2. Hakobyan G.H. Video-Based Automated System for Pavement Surface Quality Monitoring // Transactions of IIAP of the NAS RA, Mathematical Problems of Computer Science. - 2015 - Vol. 44. - P. 59-66.
3. Asatryan D.G., Hakobyan G.H. Method for analysis and classification of pavement based on quality // Transactions of IIAP of the NAS RA, Mathematical Problems of Computer Science. - 2016. - Vol. 45. - P. 53-58.

## ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Ճանապարհային ցանցի կառավարման համար անհրաժեշտ է ունենալ արատների վերաբերյալ ճշգրիտ և թարմացված ինֆորմացիա, որպեսզի իրականացվեն անհրաժեշտ աշխատանքների պլանավորման գործողություններ: Ճանապարհային ծածկույթների (ՃԾ) վիճակի մասին տվյալների պարբերական հավաքագրումը թույլ է տալիս ժամանակին իրականացնել կանխարգելիչ և վերականգնողական աշխատանքներ, ինչպես նաև մշակել ռազմավարություն ՃԾ որակի հետագա ապահովման համար:

ՃԾ որակի անկումը բնութագրվում է տարբեր գործոններով, օրինակ՝ համապատասխան նորմերից շեղում, բազմապիսի արատների առկայություն (ճեղքեր, փոսեր, անհարթություններ և այլն), որոնք անխուսափելիորեն ի հայտ են գալիս ճանապարհների շահագործման ընթացքում:

Որակի գնահատման ընթացքում անհրաժեշտ է իրականացնել բավարար տվյալների հավաքագրում: Ամենաքիչ աշխատատար և մատչելի մեթոդը տեսանկարահանման միջոցով իրականացվող հավաքագրումն է, որին հաջորդում են ստացված տվյալների համապատասխան վերլուծություններ՝ կիրառելով պատկերների մշակման տարբեր ալգորիթմներ: Տվյալների ավտոմատացված հավաքագրումը և մշակումը հնարավորություն են տալիս խնայել ժամանակ, ֆինանսներ, ինչպես նաև ստանալ ավելի օբյեկտիվ արդյունքներ և հավաքագրումն իրականացնել ավելի անվտանգ պայմաններում:

Ավտոմատացված համակարգի կիրառումը թույլ է տալիս հեշտացնել որակի գնահատման ընթացակարգերը, ինչը կօգնի արագացնել ՃԾ որակի վերականգնողական, ինչպես նաև կանխարգելիչ գործողությունների իրականացումը:

Գիտական գրականության մեջ նկարագրված ՃԾ որակի գնահատման համար օգտագործվող պատկերների մշակման մեթոդներն ունեն լրկալ նշանակություն և դրանց կիրառման համար հետազոտություններ են հարկավոր: Բացի դրանից, գոյություն ունեցող ավտոմատացված համակարգերում կիրառվող գիտական մոտեցումներն ու մաթեմատիկական մեթոդներն անհասանելի են գիտական հանրությանը, քանի որ ունեն կոմերցիոն բնույթ և, որպես կանոն, չեն հրապարակվում: Մինչդեռ, պատկերների թվային մշակման բնագավառում հայտնի են մի շարք մեթոդներ, որոնց օգտագործումը կարող է էապես բարձրացնել ՃԾ մակերևույթի մշակման և որակի գնահատման արդյունավետությունը: Հետևաբար անհրաժեշտություն է առաջանում մշակել վերը նշված բնութագրերով, արդյունավետ ավտոմատացված համակարգ, որը

պիտանի կլինի կիրառել ՀՀ ճանապարհային ցանցերի ծածկույթների որակի գնահատման համար:

Ատենախոսության նպատակն է մշակել թվային պատկերներից ճՕ ճեղքերի հայտնաբերման և գնահատման նոր մեթոդաբանություն և ճՕ որակի հսկման աշխատանքների համար նախատեսված ավտոմատացված համակարգ: Համակարգի պարբերական աշխատանքի միջոցով հայտնաբերվում են ճՕ արատները՝ դրանց առաջացման նախնական փուլերում, ինչը թույլ է տալիս նվազեցնել վերականգնողական աշխատանքների ծախսերը 6-10 անգամ:

Ատենախոսության հիմնական տեսական և կիրառական արդյունքները բերված են ստորև:

1. Ստեղծվել է ճՕ որակի վերլուծության և գնահատման ավտոմատացված համակարգ, որը գործում է ինչպես offline, այնպես էլ online ռեժիմներում [2]:

2. Մշակվել է պատկերների ավտոմատացված վերլուծության և ճՕ որակի գնահատման մեթոդաբանություն, որը հիմնված է պատկերների մշակման ժամանակակից մեթոդների կիրառման վրա [1]:

3. Մշակվել են ճՕ արատների հայտնաբերման և դրանց պարամետրերի որոշման ալգորիթմներ և ծրագրային միջոցներ [1, 2]:

4. Կատարելագործվել են պատկերի կառուցվածքային վերլուծության մեթոդների մի շարք մոտեցումներ, որոնք կիրառվում են ճՕ որակի գնահատման խնդրում [1]:

5. Մշակվել է ըստ որակի ճՕ պատկերների ավտոմատացված դասակարգման ալգորիթմ, որը հիմնված է տվյալների վիճակագրական բնութագրերի կիրառման վրա [3]:

6. Առաջարկվել է ճՕ որակի գնահատման ինժեներական չափանիշ և համապատասխան էմպիրիկ բանաձև [1]:

7. Ստեղծվել է ճՕ որակի գնահատման ավտոմատացված համակարգի շարժական մոդել՝ ռոբոտի և սմարթֆոնի կիրառմամբ [2]:

# **GURGEN HOVHANNES HAKOBYAN**

## **DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM FOR PAVEMENT QUALITY ASSESMENT BASED ON DIGITAL IMAGE PROCESSING**

### **SUMMARY**

In the management of pavement networks, in order to plan the required works of quality recovering, it is necessary to have accurate and updated information about pavement condition. The regular data collection allows to do preventive and recovering works on time, as well as to develop a strategy for future quality assurance.

A bad pavement quality may be related to many factors, for example, deviation from predefined norms, existence of various defects (such as cracks, potholes, rutting, etc.), which unavoidably appear during pavement exploitation.

During pavement quality assessment it is necessary to do enough data collection. The most efficient and cheap method is the collection with video capturing, followed by corresponding examination of data by using various image processing algorithms. Automated data collection and processing allows to save time and reduce costs, as well as, achieve much more objective results and perform the data collection in safer conditions.

The development of an automated system will allow to facilitate the procedures of pavement quality control, which will accelerate the recovering as well as preventive working procedures.

The automated image processing methods for pavement defect detection described in the literature have local signification and examinations and analyzes are needed for their use. Besides, the imaging and mathematical methods of the existing automated systems are not available for scientific examinations, due to their commercial use. Whereas, in the sphere of digital image processing a number of methods are known, the use of which may significantly increase the efficiency of pavement surface quality assessment. Therefore, there is a demand to develop an automated quality control system, which will have mentioned characteristics and will be suitable for use in pavement quality assessment works in the road networks of Armenia.

The goal of the dissertation is to develop a new methodology for pavement crack detection and analysis and an automated system for pavement quality monitoring. By periodic use of the automated system defects of the pavement will be detected in the early stages of their occurrence, which will allow to plan and perform preventive types of works on time and to reduce financial expanses up to 6-10 times.

The main theoretical and practical results of dissertation are shown below.

1. An automated system for pavement quality analysis and assessment is developed which is able to operate both in offline and in online modes[2].
2. A methodology for automated image processing and pavement quality assessment is developed, which relies on the use of modern image processing and computer vision methods [1].
3. New algorithms and software for pavement defect detection and parameter estimation are developed [1, 2].
4. Improvements in some methods of image morphological analysis are proposed, which are used on the problem of pavement quality control [1].
5. A method for automated pavement image classification is proposed, which is based on the use of statistical characteristics of the data [3].
6. An engineering criterion for pavement quality assessment and an empiric formula are proposed [1].
7. A mobile model of the proposed automated system for pavement quality assessment is created by the use of a robot and a smartphone[2].