

## Применение нейросетей с целью совершенствования методики мониторинга зданий и сооружений

*Т. Ю. Бугакова<sup>1</sup>, А. А. Шарпов<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: sharapov\_artem@mail.ru

**Аннотация.** Развитие технологий строительства способствовало возведению сложных и уникальных зданий и инженерных сооружений: промышленных комплексов, высотных зданий, торгово-развлекательных центров, спортивных сооружений, рассчитанных на большое количество людей, что делает эти объекты потенциально опасными в условиях эксплуатации. Преимуществом современных автоматизированных систем мониторинга зданий и инженерных сооружений является возможность получения данных в режиме реального времени, что позволяет оперативно передавать актуальную информацию о состоянии объекта для принятия управленческих решений по предотвращению аварийных ситуаций. Для выявления дополнительных дефектов конструкций, которые по каким-либо причинам невозможно установить только при помощи автоматизированных систем мониторинга, авторами предлагается совершенствование методики автоматизированного мониторинга состояний объектов путем внедрения технологий компьютерного зрения и интеллектуальной обработки данных средствами нейронных сетей. Авторами разработана полезная модель визуального мониторинга состояния объекта на основе компьютерного зрения и интеллектуальных технологий, выполнена оценка точности определения объектов мониторинга средствами технологии компьютерного зрения.

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, интеллектуальный мониторинг, система мониторинга, нейронная сеть, деформация, деформационный процесс, искусственный интеллект

## The use of neural networks to improve the methodology for monitoring buildings and structures

*T. Yu. Bugakova<sup>1</sup>, A. A. Sharapov<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: sharapov\_artem@mail.ru

**Abstract.** The development of building technologies has contributed to the construction of complex and unique buildings and engineering structures: industrial complexes, high-rise buildings, shopping and entertainment centers, sports facilities designed for a large number of people, which makes these objects potentially dangerous under operating conditions. The advantage of modern automated monitoring systems for buildings and engineering structures is the ability to receive data in real time, which allows you to quickly transfer up-to-date information about the state of the facility for making management decisions to prevent emergencies. In order to identify additional structural defects that for some reason cannot be established only with the help of automated monitoring systems, the authors propose to improve the methodology of automated monitoring of the states of objects by introducing computer vision technologies and intellectual data processing by means of neural networks. As a result, a useful model of visual monitoring of the state of an object based on computer vision and intelligent technologies was developed, an assessment of the accuracy of determining monitoring objects by means of computer vision technology was carried out.

**Keywords:** intelligent system, intelligent monitoring, monitoring system, neural network, deformation, deformation process, artificial intelligence

### *Введение*

При возведении и дальнейшей эксплуатации зданий и сооружений (объектов) требуется осуществлять контроль за их состоянием как при помощи методов визуального осмотра, так и с помощью различных технологий и технических средств накопления и интерпретации геопространственных данных. На сегодняшний день, согласно ГОСТ Р 22.1.12-2005, объекты подлежат оснащению структурированными системами мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИК), с целью проведения своевременного мониторинга и выявления критических состояний объектов. Каждая система должна обеспечивать: выполнение периодических наблюдений за объектом, выполнять анализ полученных данных; предоставлять оценку состояния объекта, выполнять прогнозирование состояния объекта для своевременного принятия управленческих решений [1, 2]. Периодических наблюдений за объектом выполняется различными аппаратными и программными средствами. Например, система автоматизированного мониторинга Leica GeoMoS позволяет осуществлять непрерывный сбор данных в режиме реального времени от большого количества приборов и датчиков (рис. 1).



Рис. 1. Система мониторинга Leica GeoMoS

Система автоматизированного мониторинга позволяет получать статистические данные о деформациях объекта и производить расчет критических и прогнозных показателей. Одним из недостатков этой системы является то, что она оперирует только данными, получаемыми с различных датчиков, установленных на объекте, но не учитывает внешних факторов, влияющих на состояние объекта [3–5].

Еще одним из примеров автоматизированных систем мониторинга является система мониторинга инженерных конструкций Бугринского моста города Новосибирска (рис. 2).

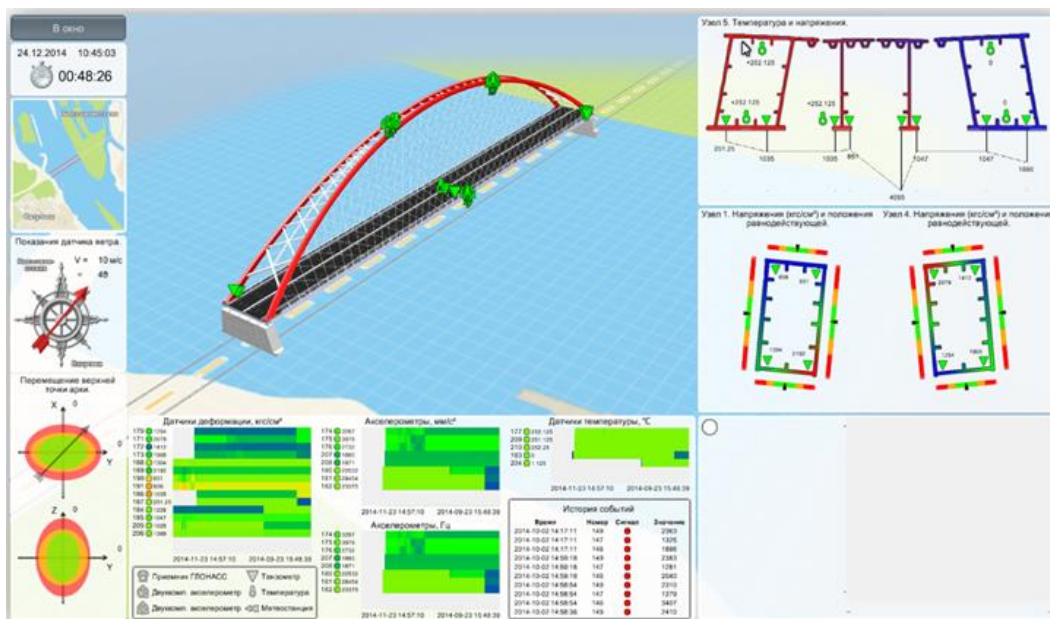


Рис. 2. Система мониторинга инженерных конструкций Бугринского моста города Новосибирска

Данная автоматизированная система оснащена оборудованием для проведения измерений, датчиками, которые установлены на объекте. После получения показаний с датчиков данные проходят обработку средствами программного обеспечения для последующих вычислений отклонений от заданных пороговых значений и предупреждения о тревожном событии. Основным преимуществом системы является получение данных в режиме реального времени, что дает возможность оперативно получать актуальную информацию об изменении положения элементов конструкций объекта. Однако, основным недостатком этой системы является то, что она основана на методах и алгоритмах, при помощи которых невозможно решать нестандартные, сложные задачи определения состояния сооружения, выявлять причинно-следственные связи между изменением его состояния и влиянием внешних факторов, прогнозировать дальнейшее развитие событий.

На сегодняшний день разработано множество автоматизированных систем мониторинга состояний зданий и инженерных сооружений. Однако, анализ функционирования различных СМИК позволил сделать вывод, что основным общим недостатком автоматизированных систем мониторинга является отсутствие технологических решений, позволяющих выявить, выполнить анализ и прогноз процессов, являющихся причиной изменения состояний объектов. Устранение этого недостатка возможно с помощью технологических решений, основанных на применении компьютерного зрения и систем искусственного интеллекта для обработки потоков видеоизображений [6].

Применение компьютерного зрения и систем искусственного интеллекта совместно со СМИК позволила бы в автоматизированном режиме идентифицировать нарушения целостности конструкций объекта на основе технологий глу-

бокого обучения нейронных сетей с целью повышения качества прогнозирования и предупреждения аварийных ситуаций на объекте.

### ***Методы и материалы***

Целью работы авторов является исследование характеристик точности определения объектов с применением нейронных сетей для использования при мониторинге зданий и сооружений. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: исследованы методы анализа данных в существующих СМИК, разработана полезная модель визуального мониторинга состояния объекта на основе компьютерного зрения и интеллектуальных технологий, выполнена оценка точности определения объектов мониторинга средствами технологии компьютерного зрения.

На основе обзора и анализа отечественных и зарубежных публикаций авторами было установлено, что на данный момент мониторинг зданий и инженерных сооружений проводится техническими средствами, которые не используют технологии, основанные на искусственном интеллекте. На сегодняшний день уже существует и успешно используется в ряде других отраслей экономики технологии искусственного интеллекта, позволяющие производить обнаружение, отслеживание и классификацию объектов по поступающему от камеры изображению или видеопотоку с использованием нейронных сетей. Например, автономные транспортные средства, включая подводные, наземные (роботы, машины), воздушные. Уровень автономности систем изменяется от полностью автономных (беспилотных) систем до транспортных средств, где системы, основанные на обученных нейронных сетях, поддерживают водителя или пилота в различных ситуациях.

Полностью автономные транспортные средства используют нейронные сети для навигации, то есть для получения информации о месте своего нахождения, для создания карты окружающей обстановки, для обнаружения препятствий. Они также могут быть использованы для определенных задач, например, для обнаружения лесных пожаров. Однако, в СМИК для определения и фиксации развития деформационных процессов технологии компьютерного зрения и системы искусственного интеллекта в настоящее время практически не применяются.

### ***Результаты***

Для исследования точности определения объектов средствами компьютерного зрения, а также для разработки технологических решений применения компьютерного зрения совместно со СМИК в процессе исследования была создана полезная модель «Лабораторный стенд интеллектуального мониторинга геометрических параметров исследуемого объекта средствами систем машинного зрения» (регистрационный номер №197310 от 21.04.2020).

Для определения точности использовались марки «ArUco» и библиотека компьютерного зрения OpenCV. Сначала были подобраны все нужные библиотеки и написан программный модуль, с помощью которого определены марки на

изображении. Подготовлен словарь, содержащий все номера марок «ArUco», подлежащих определению с целью их дальнейшей идентификации. После загрузки входного изображения в программный модуль выполнен поиск марок в соответствии с подготовленным словарем. Если марка определяется на изображении и находится в словаре, то на выходном изображении она выделяется рамкой и обозначается номером, который присвоен марке в словаре. Результат работы программного модуля представлен на рис. 3.

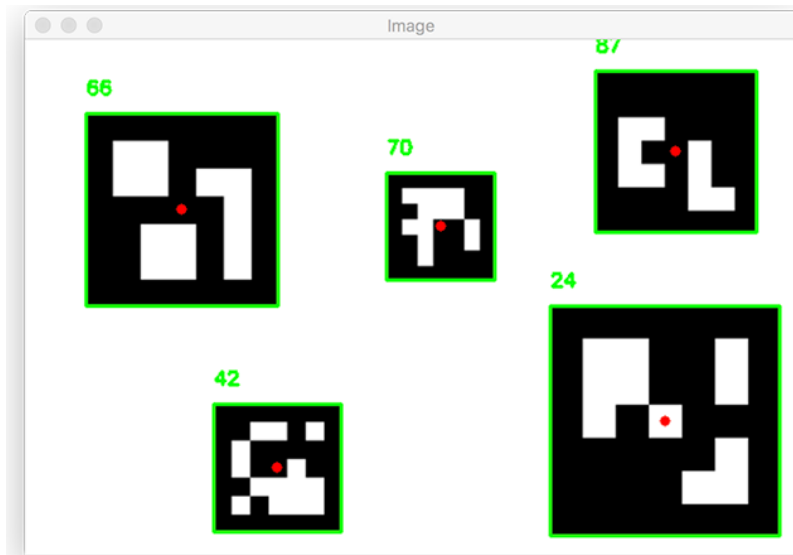


Рис. 3. Результат работы программного модуля

После того, как марка найдена на изображении, появляется возможность определить координаты ее границы и центра и (рис. 4).

```
1254 1112
0.2242152466367713 ширина одного пикселя
0.22675736961451248 длина одного пикселя
223
222
49.77578475336323 координата X в мм
50.56689342403628 координата Y в мм
```

Рис. 4. Определение координаты центра марки

Исходя из анализа результатов работы программного модуля, можно отметить, что точность определения центра марки зависит от разрешения камеры и удаленности от объекта. В данном случае точность определения равна 0,22 мм в условной системе координат. Благодаря функции, позволяющей получить

изображение напрямую с веб-камеры, появляется возможность в режиме реального времени определять изменение координат объектов.

### *Обсуждение*

Основные результаты работы обсуждались и нашли положительный отклик на различных конференциях: Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Молодежь. Наука. Технологии» (Россия, г. Новосибирск), национальной научно-практической конференции: «Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения» (Россия, г. Новосибирск), Международном Форуме «Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2021» (Россия, г. Новосибирск).

### *Заключение*

В результате исследований установлено, что, применяя компьютерное зрение и нейронные сети для обработки изображений, возможно выявить деформации (трещины), любые изменения поверхности объекта, границы объекта, изменение геометрических параметров конструкции, что позволит дополнить информацию, полученную СМИК для своевременного принятия управленческих решений. Компьютерное зрение может применяться для непрерывного мониторинга обвала здания, разрушения конструкций как снаружи здания, так и внутри. Дополнительно требуется проведение экспериментов, для повышения точности и определения внешних факторов, влияющих на обработку изображения.

В целом, применение компьютерного зрения и нейронных сетей повышают объективность выводов о состоянии зданий или инженерных сооружений, полученных СМИК и позволяют выявить важные дефекты конструкций, которые по каким-либо причинам невозможно установить только при помощи автоматизированных систем мониторинга.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Бугакова Т. Ю., Шарапов А. А. Применение интеллектуальных систем для решения задач в области геопространственных технологий и дистанционного зондирования. Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – 2021. – № 1. – С. 163-168. – DOI 10.33764/2687-041X-2021-1-163-168.

2. Bugakova T. Y. Development of a conceptual model and methods for multi-Agent state assessment of technogenic systems / T. Y. Bugakova // Journal of Physics: Conference Series : 2020 International Conference on Information Technology in Business and Industry, ITBI 2020, Novosibirsk, 06–08 апреля 2020 года. – BRISTOL, ENGLAND: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012024. – DOI 10.1088/1742-6596/1661/1/012024.

3. Бугакова Т. Ю., Кноль И. А., Шарапов А. А. Разработка аппаратно-программного комплекса для прогнозирования и определения оптимального варианта изменения пространственно-временного состояния техногенных объектов. Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – 2018. – Т. 2. – С. 183-190.

4. Бугакова Т. Ю., Шарапов А. А., Алгоритмы функционирования мультиагентной системы определения пространственно-временных состояний объекта. Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 7. – С. 3-7.

5. Бугакова Т. Ю. К вопросу оценки риска геотехнических систем по геодезическим данным // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 151–157.

6. Бугакова Т. Ю. Моделирование изменения пространственно-временного состояния инженерных сооружений и природных объектов по геодезическим данным // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 34–42.

© Т. Ю. Бугакова, А. А. Шарапов, 2022