

Совместное применение нейронных сетей и псевдоградиентной привязки изображений при оценке дефектов мостовых конструкций

М.Н. Суетин
ФНПЦ АО «Научно-производственное объединение «Марс»
Ульяновск, Россия
source81@yandex.ru

Р.Г. Магдеев
Ульяновский государственный
технический университет
Ульяновск, Россия
radiktkd2@yandex.ru

А.Г. Ташлинский
Ульяновский государственный
технический университет
Ульяновск, Россия
tag@ulstu.ru

Аннотация—Работа посвящена исследованию, направленному на оценку динамики роста дефектов, выявленных на видеоизображениях металлических мостовых конструкций. Для оценки динамики дефектов использовано совместное применение нейронной сети и адаптивной псевдоградиентной привязки изображений. Приведены примеры полученных результатов.

Ключевые слова— дефект, псевдоградиент, совмещение, привязка, обработка изображений, нейросеть.

1. ВВЕДЕНИЕ

Мосты, переправы, эстакады имеют большое стратегическое и экономическое значение. При этом при воздействии железнодорожных составов или крупного автотранспорта на эти сооружения они подвергаются существенным динамическим нагрузкам, которые приводят к появлению тех или иных повреждений и дефектов. Развитие таких дефектов может привести к разрушению самой конструкции, причём с высокой вероятностью такие разрушения могут произойти в моменты прохождения железнодорожных составов или автотранспорта, что потенциально может привести к жертвам среди персонала и пассажиров и значительным финансовым потерям. Поэтому одной из важных проблем, стоящих в настоящее время перед организациями, обслуживающими такие конструкции, является мониторинг состояния целостности их основных элементов [1, 2].

Мониторинг предполагает, в том числе, проведение периодического осмотра элементов конструкции. При этом проведение такого осмотра требует привлечения высококвалифицированного персонала, что влечет за собой значительные временные и финансовые затраты. Выходом в этой ситуации является использование перспективных систем неинвазивного мониторинга, предполагающих минимальное участие человека. В настоящей работе рассматривается часть подобной системы [3], предполагающая возможность автоматизированной оценки динамики роста дефекта конструкции на основе сопоставления фотоизображений данного дефекта в разные периоды времени.

2. МЕТОДИКА И СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Базовым компонентом системы неинвазивного мониторинга является регистрирующий комплекс, расположенный на борту компактного беспилотного

летательного аппарата (БЛА) и снабженный бортовой видеокамерой высокого разрешения, размещенной на гироподвесе. БЛА опоясан легкой, прочной защитной решеткой, что позволяет ему перемещаться в непосредственной близости от элементов конструкции, не опасаясь столкновений с ними. Бортовой навигационный комплекс, состоящий из спутниковой и инерциальной навигационных систем, позволяет определять координаты аппарата и выполнять его многократное перемещение по заданной траектории. В результате формируются одновременные видеокadres одних и тех же элементов конструкции для текущей и постобработки [4].

При первичном обследовании диагностируемой конструкции оператор БЛА задает траекторию её облёта с учетом видеорегистрации всех потенциальных зон интереса. Затем полученный видеоматериал анализируется с помощью нейронной сети U-Net [5, 6], например, как это описано в [4, 6]. Выделяются места с дефектами, которые при постобработке фиксируются оператором на некоторой условной карте объекта, а также в базе данных запоминаются несколько изображений видеоряда с областью дефекта.

При повторном обследовании той же конструкции, проводимом с заданным диагностическим интервалом, требуется обнаружить не только новые дефекты, но и оценить динамику изменения обнаруженных ранее. В базу данных также запоминаются ряд изображений месторасположения вновь обнаруженных и «старых» дефектов. По собранному новым видеоданным и данным предыдущих исследований оценивается динамика изменения дефектов.

Для решения задачи оценивания изменения геометрических параметров дефектов применена привязка (совмещение) одновременных изображений этих дефектов. Необходимость этой операции обусловлена тем, что координаты съемки и направления оптической оси камеры при получении одновременных изображений отличаются, что приводит к различным геометрическим деформациям этих изображений. Кроме того, съемка может вестись также разными камерами. Для привязки изображений в работе используются адаптивные безыдентификационные псевдоградиентные процедуры привязки [7], которые имеют высокую скорость сходимости оценок параметров взаимных пространственных деформаций, устойчивы в условиях априорной неопределённости и обеспечивают субпиксельную точность привязки изображений при приемлемых вычислительных затратах. Отметим, что в

процедурах этого класса могут быть заданы различные модели взаимных геометрических трансформаций, включая проективную [8]. Анализ показал, что в решаемой задаче целесообразно использовать релейные псевдоградиентные процедуры [7, 9] и достаточно применения аффинной модели деформаций. Эта модель требует меньше вычислительных ресурсов как для прямого, так и для обратного преобразований.

Однако недостатком псевдоградиентных процедур является небольшой диапазон оцениваемых параметров [10], что накладывает некоторые ограничения на рассогласование привязываемых изображений. Для нивелирования этого недостатка как предобработка изображений применялась гауссова фильтрация, эквализация яркостей и компенсация неравномерности освещённости. Критерием выполнения процедуры привязки служило превышение некоторого порога по коэффициенту корреляции привязываемых изображений.

3. ПРИМЕР ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Примеры результатов работы нейронной сети и процедуры привязки разновременных (интервал 6 месяцев) видеопоследовательностей приведены на рис. 1. Видно (рис. 1а,г – изображения из видеопоследовательности первого пролета БЛА, рис. 1б,д – второго), что нейронная сеть выделяет прямоугольниками заданные объекты интереса: типовые элементы конструкции (зеленый цвет), маркеры (желтый) и собственно трещины (красный). Но, несмотря на успешное выделение области расположения трещин, сделать корректный вывод о динамике их изменения сложно, поскольку в силу дестабилизирующих факторов (ветер, погрешность навигации и пр.) БЛА летит по заданной траектории вдоль мостового перехода с существенной пространственной погрешностью. Это приводит к тому, что изображения имеют разный ракурс и масштаб. Пространственное рассогласование устраняется процедурой псевдоградиентной привязки изображений, результатом которой для первой пары изображений приведен на рис. 1в, для второй – рис. 1е.

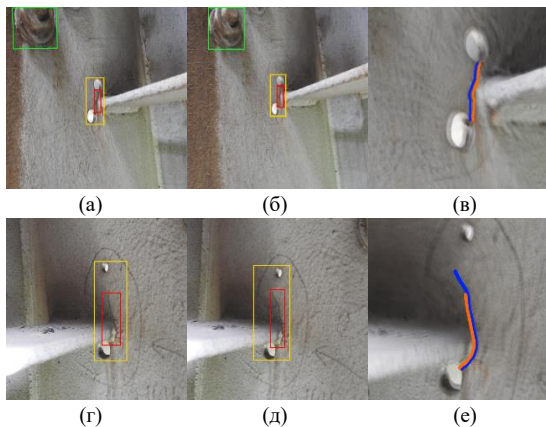


Рис. 1. Примеры дефектов, выявленных нейронной сетью на изображениях, и результат привязки разновременных снимков

Анализ приведенных в единую систему координат и пространственно-совмещенных изображений показал, что дефект (трещина в мостовой опоре), за время между съемками на изображениях рис. 1а и рис. 1б, практически не изменился. На рис. 1в в полупрозрачном режиме показаны совмещенные изображения в увеличенном

масштабе, при этом скелет трещины выделен цветом. Трещина же на изображении рис. 1д по сравнению с изображением рис. 1г увеличилась по размерам более, чем на 20%, что может служить сигналом соответствующим службам, для принятия мер по локализации или устранения данного дефекта.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, совместное использование нейронных сетей и псевдоградиентной привязки изображений для оценки динамики дефектов мостовых конструкций показало высокую эффективность и может служить основой автоматизированной системы диагностики и отслеживания динамики развития дефектов мостовых и других конструкций по разновременным видеопоследовательностям, полученным с промышленных БЛА.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научных проектов № 19-29-09048 и № 19-47-730004.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений: СП 13-102 – 2003. Введ. 2014-01-01. – М.: Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (ГОССТРОЙ России), 2003. – 27 с.
- [2] ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2014. – 55 с.
- [3] Dementiev, V.E. Detecting anomalies in temporal image sequences based on object identification by the stochastic gradient adaptation / V.E. Dementiev, R.G. Magdeev, A.G. Tashlinskii // IEEE Xplore. International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT). – 2021. – P. 1-5. DOI: 10.1109/ITNT52450.2021.9649175.
- [4] Dementiev, V. Improving The Quality of Detecting and Recognizing Defects in Images of Steel Structures / V. Dementiev, M. Suetin, M. Gaponova // IEEE Xplore. International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT). – 2021. – P. 1-5. DOI: 10.1109/ITNT52450.2021.9649166.
- [5] Nikitin, F. U-Net Based Architectures for Document Text Detection and Binarization / F. Nikitin, V. Dokholyan, I. Zharikov, V. Strijov // Lecture Notes in Computer Science. – 2019. – Vol. 11845 LNCS. – P. 79-88. DOI: 10.1007/978-3-030-33723-0_7.
- [6] Брагин, А.В. Распознавание дислокационной структуры эпитаксиальных слоев карбида кремния с использованием нейронной сети / А.В. Брагин, Д.В. Пьянзин, Р.И. Сидоров, Д.А. Скворцов // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 4. – С. 653-659. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-660.
- [7] Tashlinskii, A.G. Pseudogradient Estimation of Digital Images Interframe Geometrical Deformations / A.G. Tashlinskii // Vision Systems: Segmentation & Pattern Recognition. – Vienna, Austria: "I Tech Education and Publishing", 2007. – P. 465-494. DOI: 10.5772/4975.
- [8] Ташлинский, А.Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей / А.Г. Ташлинский. – Ульяновск: Издательство УлГТУ, 2000. – 139 с.
- [9] Magdeev, R.G. Efficiency of object identification for binary images / R.G. Magdeev, A.G. Tashlinskii // Computer Optics. – 2019. – Vol. 43(2). – P. 277-281. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-2-277-281.
- [10] Magdeev, R. Efficiency of Stochastic Gradient Identification of Similar Shape Objects in Binary and Grayscale Images / R. Magdeev, A. Tashlinskii, G. Safina // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – Vol. 2665. – P. 25-28.