

Official Review of the Doctoral Thesis

Reviewer: Mohammad Jahanshahi, Purdue University, West Lafayette, IN, USA

Title: *Marker-free optical-flow-based automatic fatigue crack assessment in metallic structures under periodic excitation*

Author: Adam Machynia

The submitted dissertation addresses an important and timely problem in structural health monitoring and nondestructive testing, namely the non-contact assessment of fatigue cracks in metallic structures using computer-vision-based methods. The topic is scientifically relevant and practically significant, especially for fatigue-sensitive engineering structures and aeronautical applications.

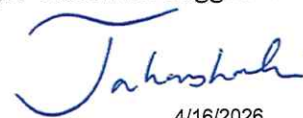
The dissertation is well organized, clearly written, and logically structured. The research objective is stated clearly and pursued consistently throughout the thesis. The author demonstrates good knowledge of the relevant literature and a solid understanding of the physical and computational aspects of the problem.

The main scientific contribution of the dissertation is the development of a marker-free methodology for fatigue crack assessment based on dense optical flow and frequency-domain analysis. In particular, the author proposes the construction of amplitude maps derived from optical-flow time series and uses them for automated crack-tip localization. This is an original and valuable contribution. An additional contribution is the introduction of the Local Orientation Inconsistency metric, which serves as a practical indicator of motion-estimation consistency and supports the selection of reliable analysis regions. The validation on different experimental setups, including smartphone recordings, further strengthens the practical relevance of the work.

A major strength of the dissertation is its physical interpretability. The proposed method is not a black-box solution, but one grounded in the crack-breathing phenomenon under periodic excitation. This makes the results understandable from an engineering point of view and enhances the practical usefulness of the approach. Another important strength is the staged experimental design, in which different datasets are used for different methodological purposes. The smartphone-based results are especially noteworthy, as they demonstrate the potential feasibility of the method with consumer-grade hardware.

The methodology is scientifically sound and technically coherent. The sequence from video stabilization, through dense optical flow, to pixelwise spectral analysis and crack-tip localization is well motivated and consistently presented. The conclusion that directional optical-flow components are more informative than optical-flow magnitude is convincing and well supported.

Despite its many strengths, the dissertation has several weaknesses that deserve explicit comment. The first and most important concerns the quality of the reference standard used for crack-tip localization. The thesis evaluates the method against manually assessed crack-tip positions. Since the manual reference has limited spatial resolution, very small numerical errors reported in millimeters should not be interpreted as evidence of true sub-millimeter physical accuracy. Rather, such values should be understood as agreement within the uncertainty of the manual reference. This issue is important because the wording of some conclusions might otherwise suggest a stronger metrological precision than the validation standard can support.


4/16/2026

The second weakness is the limited size of the quantitative validation set. The main localization results are based on a very small number of crack-growth stages from a single specimen. This is acceptable at the doctoral level as a proof of concept, but it limits the strength of any broader claim about robustness or general applicability.

The third weakness is the absence of direct benchmarking against alternative methods. The thesis is well-positioned against the literature conceptually, but it does not compare the proposed approach experimentally with representative alternatives such as digital image correlation or other crack-breathing-based vision methods. As a result, the thesis establishes internal validity, but not a clear comparative advantage.

The fourth weakness concerns certain heuristic design choices. In particular, the threshold formulation used for automatic crack-tip detection is introduced without sufficient empirical or theoretical justification. The selected multiplier may well be reasonable, but the reader is not shown why this value should be preferred over other plausible choices. A similar remark applies to certain configuration parameters of the LOI metric. These issues do not invalidate the method, but they reduce the rigor of its quantitative justification.

The fifth weakness is the limited statistical treatment of uncertainty. The dissertation reports useful performance indicators, especially mean absolute error, but does not provide repeatability analysis, confidence intervals, inter-annotator variability, or explicit uncertainty propagation. Given the small sample size, extensive formal statistics may not be feasible, but the inferential limitations should be stated more strongly.

The sixth weakness is that the term “automatic” should be interpreted with some caution. The proposed method clearly reduces operator input compared with many traditional approaches, but it still depends on user choices such as region selection, stabilization reference definition, knowledge of the excitation frequency, and approximate understanding of crack orientation. For this reason, the method might more precisely be described as semi-automatic or as having reduced operator dependence.

The seventh weakness is the absence of computational-performance information. Since the work is motivated partly by eventual integration into SHM or NDT workflows, the lack of reported processing times or hardware requirements limits the reader’s ability to judge its practical deployment feasibility.

These criticisms are important, but they do not undermine the value of the thesis as a whole. Rather, they define the limits within which its conclusions should be accepted.

Despite the above points, the overall scientific value of the dissertation is clear. It presents an original, technically competent, and practically meaningful contribution to the field of vision-based structural diagnostics. The author demonstrates the ability to formulate a relevant research problem, develop an original methodological solution, carry out meaningful experiments, and discuss the results critically.

In conclusion, I evaluate the dissertation positively. In my opinion, it satisfies the requirements for a doctoral thesis in the relevant field. I therefore support its acceptance and the admission of the candidate to the further stages of the doctoral procedure, including the public defense.


4/16/2026

Oficjalna recenzja rozprawy doktorskiej

Recenzent: Mohammad Jahanshahi, Uniwersytet Purdue, West Lafayette, Indiana, USA

Tytuł: *Automatyczna, oparta na przepływach optycznych ocena bez markerów pęknięć zmęczeniowych w konstrukcjach metalowych poddawanych okresowemu wzbudzeniu*

Autor: Adam Machynia

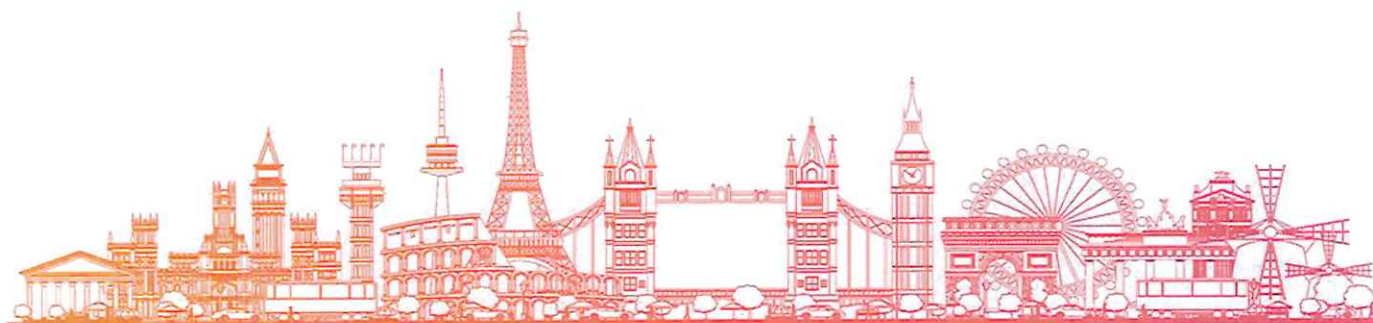
Przedłożona rozprawa doktorska dotyczy ważnego i aktualnego problemu w zakresie monitorowania stanu konstrukcji i badań nieniszczących, a mianowicie bezkontaktowej oceny pęknięć zmęczeniowych w konstrukcjach metalowych przy użyciu metod opartych na wizji komputerowej. Ten temat ma znaczenie z punktu widzenia naukowego i praktycznego, zwłaszcza dla wrażliwych na zmęczenie konstrukcji inżynierskich i na potrzeby zastosowań w lotnictwie.

Rozprawa jest dobrze zorganizowana, napisana w sposób jasny i ma logiczną konstrukcję. Cel badawczy jest jasno określony i konsekwentnie realizowany w całej pracy. Autor wykazuje się dobrą znajomością literatury przedmiotowej oraz dogłębnym zrozumieniem fizycznych i obliczeniowych aspektów problemu.

Pod kątem naukowym, główny wkład, jaki wnosi ta rozprawa, to opracowanie nieposługującej się markerami metody oceny pęknięć zmęczeniowych w oparciu o gęsty przepływ optyczny i analizę w dziedzinie częstotliwości. W szczególności autor proponuje stworzenie map amplitudy pochodzących z szeregów czasowych przepływu optycznego i wykorzystuje je do automatycznej lokalizacji końcówek pęknięć. To wniesienie czegoś oryginalnego i wartościowego w dziedzinę. Dodatkowym wkładem, jaki wnosi praca autora, jest wprowadzenie miary lokalnej niespójności orientacji, która służy jako praktyczny wskaźnik spójności estymacji ruchu i wspiera wybór wiarygodnych obszarów analizy. Walidacja z wykorzystaniem różnych konfiguracji eksperymentalnych, w tym z użyciem nagrań wykonanych z użyciem smartfonów, dodatkowo wzmacnia praktyczne znaczenie tej pracy.

Główną zaletą rozprawy jest jej fizyczna interpretowalność. Zaproponowana metoda nie jest rozwiązaniem w rodzaju czarnej skrzynki, ale czymś, co opiera się na zjawisku oddychania pęknięć przy okresowym wzbudzeniu. Dzięki temu wyniki są zrozumiałe z punktu widzenia inżynierii i zwiększa to praktyczną przydatność tego podejścia. Kolejną ważną zaletą jest etapowość projektowanego eksperymentu, w którym różne zbiory danych wykorzystuje się do różnych celów metodologicznych. Szczególnie interesujące są wyniki oparte na smartfonach, ponieważ pokazują one potencjalną wykonalność metody na sprzęcie klasy konsumenckiej.

Metodologia ta ma uzasadnienie naukowe i jest spójna pod kątem technicznym. Spójnie prezentowana jest sekwencja od stabilizacji wideo poprzez gęsty przepływ optyczny, po pikselową analizę spektralną i lokalizację końcówek pęknięć, dla której przedstawiane jest dobre uzasadnienie. Wniosek, że kierunkowe komponenty przepływu optycznego dają więcej informacji niż wielkość przepływu optycznego, jest przekonujący i poparty dobrą argumentacją.



Pomimo wielu zalet, rozprawa ta nie jest wolna od kilku słabych punktów, które wymagają wyraźnego komentarza. Najważniejszy dotyczy jakości wzorca referencyjnego używanego do lokalizacji końcówki pęknięcia. W pracy metoda poddawana jest ocenie w porównaniu do manualnie ocenianych pozycji końcówek pęknięć. Ponieważ ręczne odniesienie cechuje się ograniczonym rozmieszczeniem przestrzennym, bardzo małej liczby błędów liczbowych w milimetrach nie należy interpretować jako dowodu prawdziwej dokładności fizycznej na poziomie poniżej milimetra. Takie wartości należy raczej rozumieć jako zgodność w ramach niepewności ręcznego odniesienia. Jest to istotna kwestia, ponieważ sformułowanie niektórych wniosków może sugerować większą precyzję metrologiczną niż może to wynikać ze standardu walidacji.

16.04.2026 r.

Drugą słabą stroną jest ograniczony rozmiar zbioru walidacji ilościowej. Główne wyniki lokalizacji opierają się na bardzo małej liczbie etapów wzrostu pęknięć z pojedynczej próbki. Jest to dopuszczalne na poziomie pracy doktorskiej jako dowód słuszności koncepcji, ale ogranicza to siłę wszelkich szerszych twierdzeń dotyczących solidności lub ogólnego zastosowania.

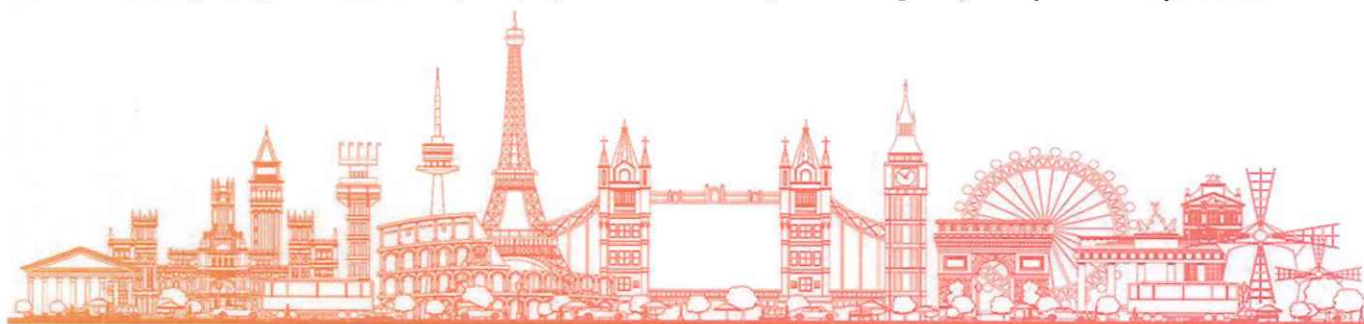
Trzecia słaba strona to brak bezpośredniej analizy porównawczej z metodami alternatywnymi. Praca jest dobrze umiejscowiona koncepcyjnie w literaturze, ale nie porównuje proponowanego podejścia eksperymentalnie z reprezentatywnymi alternatywami, takimi jak korelacja cyfrowego obrazu czy inne metody wizualizacji opierające się na oddychaniu pęknięć. W rezultacie wzmacnia to wewnętrzne znaczenie rozprawy, ale nie pokazuje wyraźnej przewagi porównawczej.

Czwarta słabość dotyczy pewnych heurystycznych wyborów w zakresie projektu. W szczególności wzór progowy stosowany do automatycznego wykrywania pęknięć zostaje wprowadzony bez wystarczającego uzasadnienia empirycznego lub teoretycznego. Wybrany mnożnik może być zasadny, ale czytelnik nie dowiadyuje się, dlaczego tę wartość należałoby uznać za preferowaną bardziej niż inne możliwe wybory. Podobna uwaga dotyczy niektórych parametrów konfiguracyjnych miary lokalnej niespójności orientacji. Kwestie te nie unieważniają metody, ale sprawiają, że jej ilościowe uzasadnienie jest mniej ścisłe.

Piątym słabym punktem jest ograniczone statystyczne traktowanie niepewności. Rozprawa przedstawia użyteczne wskaźniki wydajności, zwłaszcza średni błąd bezwzględny, ale nie zapewnia analizy powtarzalności, przedziałów ufności, zmienności między anotatorami ani wyraźnej propagacji niepewności. Biorąc pod uwagę niewielki rozmiar próby, rozbudowana statystyka formalna może być niewykonalna, ale ograniczenia wnioskowania powinny zostać określone w sposób bardziej zdecydowany.

Szósta słabość polega na tym, że termin „automatyczny” należy interpretować z pewną dozą ostrożności. Proponowana metoda wyraźnie zmniejsza wkład operatora w porównaniu do wielu tradycyjnych podejść, ale nadal zależy od wyborów dokonywanych przez użytkownika, np. wyboru obszaru, definicji odniesienia stabilizacji, znajomości częstotliwości wzbudzenia i orientacyjnego rozumienia orientacji pęknięcia. Z tego powodu metodę tę można bardziej precyzyjnie opisać jako półautomatyczną lub o ograniczonej zależności od operatora.

Siódmą wadą jest brak informacji o wydajności obliczeniowej. Ponieważ praca jest częściowo motywowana



ewentualną integracją z przepływami pracy w ramach monitoringu strukturalnego lub w badaniach nieniszczących, fakt, że nie są raportowane czasy przetwarzania lub wymagania sprzętowe ogranicza czytelnikowi możliwość oceny praktycznej wykonalności wdrożenia.

Te krytyczne uwagi są istotne, ale nie podważają wartości całej rozprawy. Określają one raczej, w jakich granicach należy przyjmować wnioski w niej zawarte.

Pomimo powyższych uwag, ogólna wartość naukowa rozprawy jest jasna. Stanowi ona oryginalny wkład w dziedzinę diagnostyki strukturalnej w oparciu o wizję, wskazujący na techniczne kompetencje i znaczący z praktycznego punktu widzenia. Autor wykazuje się umiejętnością formułowania odpowiedniego problemu badawczego, stworzenia oryginalnego rozwiązania metodologicznego, przeprowadzenia znaczących eksperymentów i omawiania wyników w sposób krytyczny.

Podsumowując, oceniam rozprawę pozytywnie. W mojej ocenie spełnia ona wymogi stawiane pracom doktorskim z tej dziedziny. W związku z tym popieram jej przyjęcie oraz dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów postępowania doktorskiego, w tym do publicznej obrony pracy.

16.04.2026 r.

Tłumaczenie: Dorota Plutecka

