

Δυναμική ανάλυση και ανίχνευση απλών και διπλών βλαβών σε δοκό από σύνθετα υλικά ουραίου διπλής ατράκτου μη επανδρωμένου αεροσκάφους

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΒΛΑΧΟΠΟΥΛΟΣ

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η δυναμική ανάλυση και η ανίχνευση απλών και διπλών βλαβών σε δοκό, από σύνθετα υλικά πραγματικής κλίμακας, η οποία αποτελεί μέρος του ουραίου τμήματος ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους, μέσω στοχαστικών σημάτων ταλάντωσης και στατιστικών μεθόδων χρονοσειρών. Οι μελετώμενες βλάβες είναι πρώιμου σταδίου και προσομοιώνονται με την χρήση μικρών μαζών λίγων γραμμαρίων οι οποίες προσκολλώνται σε δύο επιφάνειες της δοκού δημιουργώντας τοπικές δυσκαμψίες. Αρχικά τοποθετούνται κατά μήκος κάθε επιφάνειας της δοκού μονές μάζες και στη συνέχεια όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί ζευγαριών των μαζών αυτών. Η δυναμική ανάλυση της κατασκευής βασίζεται αρχικά σε μη παραμετρικά μοντέλα, όπως το Φάσμα Ισχύος (PSD) και η Συνάρτηση Μετάδοσης (TF), ενώ στη συνέχεια εκτιμάται ένα παραμετρικό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης με εξωγενή ψευδό-είσοδο της συνάρτησης μετάδοσης (TF-ARX). Η ανίχνευση βλαβών της πραγματοποιείται μέσω δύο μεθόδων που βασίζονται στο Φάσμα Ισχύος και στη Συνάρτηση Μετάδοσης αναφερόμενες ως PSD και TF, και τεσσάρων μεθόδων που βασίζονται στο παραμετρικό μοντέλο TF-ARX ονομαζόμενες ως μέθοδος των παραμέτρων του μοντέλου (parameter based method), μέθοδος της διασποράς των υπολοίπων (residual variance), μέθοδος της συνάρτησης πιθανοφάνειας των υπολοίπων (residual likelihood function based method) και μέθοδος της αυτοσυμμεταβλητότητας των υπολοίπων (residual uncorrelatedness based method) του εκτιμηθέντος παραμετρικού μοντέλου. Τελικά προσδιορίζονται κατάλληλες θέσεις των τριών αισθητηρίων και επιτυγχάνεται η ανίχνευση όλων των βλαβών, απλών και διπλών. Η μη παραμετρική μέθοδος με τα καλύτερα αποτελέσματα είναι η μέθοδος της συνάρτησης μετάδοσης (98.2% ανίχνευση βλαβών για ένα ζεύγος αισθητηρίων). Οι παραμετρικές μέθοδοι που επιτυγχάνουν τα καλύτερα αποτελέσματα είναι η μέθοδος των παραμέτρων του μοντέλου (100% ανίχνευση βλαβών για όλα τα ζεύγη αισθητηρίων) και η μέθοδος της διακύμανσης των υπολοίπων (99.83% ανίχνευση βλαβών για ένα ζεύγος αισθητηρίων). Φαίνεται ότι δύο μόνο αισθητήρια αρκούν για την δυναμική αναγνώριση της κατασκευής και την ανίχνευση όλων των άγνωστων σεναρίων, επιθεώρησης. Τέλος επιλέγεται το ζεύγος αισθητηρίων που είχε την καλύτερη απόδοση κατά την διάρκεια της παρούσας διερεύνησης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελλοντική έρευνα, όπως για τον προσδιορισμό της ακριβούς τοποθεσίας των βλαβών.

Λέξεις-κλειδιά

[Δυναμική αναγνώριση και παρακολούθηση της δομικής ακεραιότητας κατασκευών, ανάλυση ταλαντώσεων, δυναμική ανάλυση, ανίχνευση πολλαπλών βλαβών, δοκός από σύνθετα υλικά, μη επανδρωμένο αεροσκάφος, μη-παραμετρική και παραμετρική ανάλυση δεδομένων, συνάρτηση μετάδοσης, μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης, ανάλυση με στατιστικές μεθόδους χρονοσειρών].

Dynamic analysis and detection of single and double-site damages to the composite girder of a twin-boom unmanned aerial vehicle

PANAGIOTIS VLACHOPOULOS

Abstract

The objective of the present study is the dynamic analysis and detection of single- and double-site damages to the composite, real scale, girder of an unmanned aerial vehicle twin-boom, via Stochastic Vibration Signals and Statistical Time Series Analysis. Early stage damages are simulated, using small masses which are placed on two surfaces of the beam causing local stiffness to emerge. Initially, single site damages are placed along the two surfaces of the beam and secondly multi-site damages (double). For dynamic analysis, non-parametric methods such as the Power Spectral Density (PSD) and the Transmittance Function (TF) are employed and a parametric Transmittance Function AutoRegressive model with eXogenous excitation (TF-ARX) is estimated. Damage detection is achieved based on two methods based the Power Spectral Density and the Transmittance Function, designated as PSD and TF, and on four methods based on the parametric TF-ARX model such as the parameter-based method, the residual variance based method, the residual likelihood function based method and the residual uncorrelatedness based method. Finally proper sites, for three sensors, are identified and damage detection is achieved for all single- and multi-site damages. The non-parametric method showing the best results is the Transmittance Function method (98.2% damage detection for a pair of sensors). The parametric methods with the best results are the parameter-based method (100% damage detection for all pairs of sensors) and the residual variance method (99.83% damage detection for a pair of sensors). It appears that just one pair of sensors is sufficient for dynamic analysis and damage detection of all unknown, inspection, damage scenarios. Last the pair of sensors that demonstrated the best performance throughout the present inquiry, is determined and may be used for future investigation of problems such as precise damage localization.

Keywords

[Structural Health Monitoring, Vibration-based analysis, Dynamic analysis, Multi-site damage detection, composite beam, Unmanned Aerial Vehicle, non-parametric and parametric data analysis, transmittance function, AutoRegressive models, time-series analysis].