

Condition monitoring and advanced fault detection techniques for engineering systems

Abstract (English)

The technological developments are unavoidable paths to ensure the reliability and efficiency of industrial assets, which are requirements for living standard and stable economy both in constant demand. In this context, detecting eventual defect is crucial for ensuring the maximal performance of all the machines within the asset and avoiding their failure and even a complete breakdown. In most of industrial installation nowadays, the strategy is changing from preventive to condition monitoring. The idea consists of scheduling interventions on equipment based on the technical condition of machines, while they are operating. The strategy has tremendous technical and economic advantages. On the other hand, condition monitoring has to be built such that, it gives both the current condition of the machine and an indication on its remaining useful life. The wide community of researchers in condition monitoring concluded that, for signals such as vibrations, they can be modeled as cyclostationary and non-stationary signals, and several mathematical approaches have been developed. Signal processing for a wide class of industrial application is still a subject of serious disagreement both in scientific and industrial community. Indeed, feature extraction and classification are a delicate task, because an error at this step can lead to huge consequences in detection of a potential faulty component and obviously the subsequent failure machine. Another drawback of the signal processing methods currently used in condition monitoring is that they are designed for stationary signals, whereas in real industrial applications, in most of the scenarios, machines operate at varying speed and load, leading in lack of feature extraction performance. The main contributions of this research can inevitably be in methodological development, particularly in the data manipulation in order to improve the results at the detection and diagnosis level, while opening a prognostic window. Applications such as spectral analysis were evaluated, where the development in this thesis suggested an enhancement of the traditional techniques applied to detect electric machines faults. From this enhancement, a particular analysis is done on cascade methods. An advanced spectral analysis is suggested as well where techniques such as spectral negentropy or spectral correlation are used to extract fault information on bearings. In addition, thesis proposed an experimental study using data mining approaches and the use of digital twins for critical industrial processes monitoring.

Abstract (Italiano)

Gli sviluppi tecnologici sono percorsi inevitabili per garantire l'affidabilità e l'efficienza degli asset industriali, che sono requisiti per un tenore di vita e un'economia stabile, entrambi costantemente richiesti. In questo contesto, l'individuazione di eventuali difetti è fondamentale per garantire le massime prestazioni di tutte le macchine all'interno dell'asset ed evitare il loro malfunzionamento e persino un guasto completo. Nella maggior parte delle installazioni industriali oggi la strategia si sta trasformando da preventiva in monitoraggio delle condizioni. L'idea consiste nel

programmare gli interventi sulle apparecchiature in base alle condizioni tecniche delle macchine, mentre sono in funzione. Questa strategia presenta enormi vantaggi tecnici ed economici. D'altra parte, il monitoraggio delle condizioni deve essere costruito in modo da fornire sia le condizioni attuali della macchina sia un'indicazione sulla sua vita utile residua. L'ampia comunità di ricercatori nel campo del monitoraggio delle condizioni ha concluso che, per segnali come le vibrazioni, essi possono essere modellati come segnali ciclostazionari e non stazionari, e sono stati sviluppati diversi approcci matematici. L'elaborazione dei segnali per un'ampia classe di applicazioni industriali è ancora oggetto di gravi disaccordi sia nella comunità scientifica che in quella industriale. In effetti, l'estrazione delle caratteristiche e la classificazione sono un compito delicato, perché un errore in questa fase può portare a enormi conseguenze nel rilevamento di un potenziale componente difettoso e, ovviamente, della successiva macchina guasta. Un altro inconveniente dei metodi di elaborazione del segnale attualmente utilizzati nel monitoraggio delle condizioni è che sono stati progettati per segnali stazionari, mentre nelle applicazioni industriali reali, nella maggior parte degli scenari, le macchine funzionano a velocità e carico variabili, con conseguente mancanza di prestazioni nell'estrazione delle caratteristiche. I principali contributi di questa ricerca possono inevitabilmente riguardare lo sviluppo metodologico, in particolare la manipolazione dei dati al fine di migliorare i risultati a livello di rilevamento e diagnosi, aprendo al contempo una finestra prognostica. Sono state valutate applicazioni come l'analisi spettrale, dove lo sviluppo di questa tesi ha suggerito un miglioramento delle tecniche tradizionali applicate per rilevare i guasti delle macchine elettriche. A partire da questo potenziamento, viene effettuata un'analisi particolare sui metodi a cascata. È stata proposta anche un'analisi spettrale avanzata, in cui tecniche come l'entropia negativa spettrale o la correlazione spettrale sono utilizzate per estrarre informazioni sui guasti dei cuscinetti. Inoltre, la tesi propone uno studio sperimentale che utilizza approcci di data mining e l'uso di gemelli digitali per il monitoraggio di processi industriali critici.