希爾伯特-黃變換於旋轉機械振動訊號分析與診斷

Vibration Analysis and Fault Diagnosis of Rotating Machinery via Hilbert-Huang Transform

陳仁傑
國立中央大學
機械工程研究所

楊智宇
國立中央大學
機械工程研究所

吳天堯
國立中央大學
數據分析方法研究中心

鐘裕亮
工研院機械所
智慧系統工程技術組
綠能智慧化系統部
經理

王俊傑
工研院機械所
智慧系統工程技術組
綠能智慧化系統部
研究員

關鍵詞

- 希爾伯特-黃變換 Hilbert-Huang Transform
- 故障診斷 Fault Diagnosis
- 經驗模態分解 Empirical Mode Decomposition

摘要

旋轉機械之故障診斷一直是機械、航太與核能工業不可或缺的重要技術。由於一般之旋轉機械系統過於複雜與龐大，或是環境限制下，檢視人員通常無法直接檢視系統之受損元件，因此，故障診斷的方法主要從分析系統產生的振動訊號著手。傳統的振動訊號分析方法，主要基於傅立葉變換之頻譜分析，然而，該傳統方法主要侷限於分析線性且穩態的訊號，但是旋轉機械因為元件故障而產生的振動訊號可能為非線性且非穩態之狀況，因此，新發展的希爾伯特-黃變換方法，成為近年受到全世界矚目的訊號分析方法，由於該方法的自適應性，可以針對非線性與非穩態的複雜訊號進行分析，提供全新符合物理意義的見解洞察。

Fault diagnosis is an important task in the fields of mechanical, aerospace and nuclear engineering. Due to the system size, complexity and environmental limitations, it is generally difficult to directly inspect the components of the system. Therefore, the vibration analysis is the major technique for diagnosing the faulty devices. In the traditional vibration analysis, the Fourier transform-based spectral analysis is the well-known and well-developed method in machine fault diagnosis. However, this approach can be only applied to linear and stationary signals. The vibration signals caused by machine faults may be nonlinear and nonstationary. Because of the limitations, the novel Hilbert-Huang Transform has attracted considerable attention in the field of data analysis and signal

processing. Since this new method can decompose the complicated signals adaptively, it can be applied to any nonlinear and nonstationary signals, and can provide meaningful physical insight.

簡介

傳統的機械故障診斷技術是從時域或頻域上的故障振動訊號波形來建立標準的架構，以利於往後辨識機械系統的工作情形，但在一般的機械工作情況下得到的訊號往往是非線性的訊號，非線性因素對振動訊號有明顯的影響，如負荷、間隙、摩擦、剛度…等，由於複雜的旋轉機械關鍵組件的工作情形是很難透過時域上或頻域上的分析做出準確的評估。因此小波分析方法因其可提供在時域上及頻域上訊號的局部特徵，所以被廣泛的應用在旋轉機械上的故障診斷，但是小波分析不是一個自適應的訊號處理方法，使用上亦有其侷限性。而 Huang 所提出的希爾伯特-黃變換 (Hilbert-Huang Transform ,HHT) 裡的經驗模態分解法 (Empirical Mode Decomposition , EMD)，是根據訊號的時間尺度的局部特徵，可以自適應性地分解複雜的訊號成多個內稟模態函數(Intrinsic Mode Function ,IMF)。

希爾伯特黃變換方法

在訊號處理中，觀察訊號的瞬時頻率是很重要的課題。訊號可分爲單一分量和多分量兩類。單一分量訊號只有一個瞬時頻率，而多分量訊號在某個時刻有各自的瞬時頻率，假設一解析訊號爲

$$Z_j(t) = C_j(t) + j\hat{C}_j = a_j(t)\, e^{j\phi_j(t)}$$

定義瞬時頻率

$$\omega_j = \frac{d\phi_j}{dt}$$

爲了計算瞬時頻率，定義內稟模態函數，它是在每個時刻只有單一成分的訊號，因此具有了物理意義。IMF 必須滿足以下兩條件：

(1) 在整段訊號中，極值點的數目和跨零點的數目相等或相差最多不超過一個。

(2) 在任何時刻，由局部極大值點形成的上包絡線和局部極小值點形成的下包絡線的平均值爲零，即上、下包絡線對時間軸局部對稱。

滿足以上條件，可用 EMD 透過以下步驟對任何訊號 x(t)進行分解：

(1) 確定訊號所有的局部極值點，利用三次樣條線將所有局部極大值點連接起來行成上包絡線。再將所有局部極小值點連結起來形成下包絡線。

(2) 上、下包絡線平均值爲 m_1，則

$$x(t) - m_1 = h_1$$

若 h_1 滿足 IMF 定義，那 h_1 就是 x(t)的第一個 IMF 分量。

(3) 如果 h_1 不滿足 IMF 定義，h_1 當作原始數據，重複步驟(1)~(3)，得到上、下包絡線平均值 m_{11}，再判斷 $h_{11}=h_1-m_{11}$ 是否滿足 IMF 條件，若否，則重複循環 k 次，可得到 $h_{1(k-1)}- m_{1k}= h_{1k}$，使得 h_{1k} 滿足 IMF 的條件。將 h_{1k} 記做 c_1，則 c_1 爲訊號 x(t)的第 1 個 IMF 分量。

(4) 將 c_1 從 x(t)分離出來

$$r_1 = x(t) - c_1$$

將 r_1 做爲原始數據重複步驟(1)~(4)，得到 x(t)的第 2

更完整的內容
請參考【機械工業雜誌】328 期・99 年 7 月號
每期 220 元・一年 12 期 2200 元
劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所
訂書專線：03-591-9342
傳真訂購：03-582-2011