

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

具非線性阻尼力矩之對稱重陀螺儀的非線性 動力分析與渾沌控制

Nonlinear Dynamic Analysis and Chaos Control of a Symmetric Heavy Gyroscope with Nonlinear Damping Torque

計畫編號：NSC 89-2212-E-164-003

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：陳猷庚
共同主持人：陳恒輝
參與人員：鄭鴻文
黃振誠

修平技術學院工管系 助理教授
修平技術學院機械系 助理教授
修平技術學院工管系 講師
修平技術學院工管系 講師

一、中文摘要

陀螺儀的主要用途之一為現代太空載體、火箭、飛彈及戰艦等的導航儀器。本報告對一裝置於振動載體上具非線性阻尼力矩之對稱陀螺儀作詳細的動力分析。此外，假設外來干擾體現為支點的垂直簡諧振動。本報告首先以李雅普諾夫直接法研究系統的穩定性。接著利用數值方法研究當參數變化時系統的分歧行為，另外也以數值方法繪出此非線性系統的相軌跡、龐加萊映射圖來探討系統的規則與渾沌行為，並以李雅普諾夫指數與李雅普諾夫維度來確認系統渾沌行為。

最後，將重點集中在渾沌的控制上。延遲回授控制、外加固定力矩控制、外加週期力矩控制、適應控制等將系統之渾沌行為得以有效控制。本報告不僅提供日後陀螺儀設計時之依據，而其研究本身也具有相當的學術價值。

關鍵詞：對稱重陀螺儀，非線性阻尼，李雅普諾夫直接法，李雅普諾夫指數，渾沌控制，適應控制

Abstract :

One of the major applications of gyroscope is the guidance of modern space vehicles, rockets, missiles, warships etc. This report has provided the nonlinear dynamic analysis of a symmetric heavy gyroscope with nonlinear damping torque. The gyroscope is mounted in a vibrating space vehicle. The external disturbance appears as the vertical harmonic of the supporting point. The stability of the fixed point of the non-autonomous system has been studied by Liapunov direct method. In this report, the time evolutions of the nonlinear dynamic system response have been also described in phase portraits via the Poincaré map technique. The bifurcation of the parameter dependent system have been studied numerically. The occurrence and the nature of chaotic attractors are verified by evaluating Liapunov exponents and Liapunov dimensions.

Finally, attention is shifted to the controlling chaos. For this purpose, the delayed feedback control, the addition of

constant torque, the addition periodic force and adaptive control algorithm (ACA) are used to control chaos. Besides we must point out this project give not only a theoretical basis for practical design but also present academic interest by itself.

Keywords : symmetric heavy gyroscope, nonlinear damping, Liapunov direct method, Liapunov exponent , Controlling Chaos, adaptive control

二、緣由與目的

非線性動力學近年來取得突破性之進展，確定性非線性動力系統的渾沌運動之發現，揭示了一個全新世界，被視為與相對論、量子力學並論的二十世紀理論科學三大偉大成就之一。近年來在廣度與深度方面皆以空前的速度發展。

渾沌動力學在 1970 年代才開始萌芽發展，而到目前受到科學家之重視，主要係在科學之各領域中皆存在渾沌現象，甚至造成神秘猝死的主要原因都可由人類心臟所產生的渾沌找到令人訝異不已的秩序。渾沌運動是確定性系統中出現類似隨機的過程，這種過程對初值的微小擾動極為敏感，初值即使只有很小的差別，經過一段時間後，兩條軌線已沒有任何相關性可言。這是當前國際科技界非常活躍的研究領域。本報告針對一裝置於振動載體上*具非線性阻尼力矩*之對稱陀螺儀作詳細的動力分析。研究本身具有相當學術價值也具有獨特意義，更期許國內的動力學之研究在較短期間能進入國際先進水準之行列。

陀螺儀是一種既古老而又很有生命力的儀器，直到現在，陀螺仍在吸引著人們對它進行研究，這是由於它本身具有的特性所決定的。陀螺儀的最基本特性是它的穩定性與進動性。陀螺儀器最早是用於航

海導航，但隨著科學技術的發展，它在航空事業中也得到廣泛的應用。陀螺儀器不僅可以做為指示儀表，而更重要的是它可以做為自動控制系統中的一個敏感元件，即可作為信號傳感器。根據需要，陀螺儀器能提供準確的方位、水平、位置、速度和加速度等信號，以便駕駛員或用自動導航儀來控制飛機、船艦或太空飛機等航行體按一定的航線飛行，而在導彈、衛星運載器、太空探測船等航行體的制導中，則直接利用這些信號完成航行體的姿態控制與軌道控制。作為穩定器，陀螺儀器能使列車在單軌上行駛，能減少船舶在風浪中的搖擺，能使安裝在飛機或衛星上照相機相對地面穩定等等。作為精密測試儀器，陀螺儀器能夠為地面設施、礦山隧道、地下鐵路、石油鑽探等提供準確的方位基準。由此可見，陀螺儀器的應用範圍是相當廣泛的，它在國防建設和經濟建設中均佔重要地位。由於生產陀螺儀器的技術要求很高，而且隨著科學技術的不斷發展，會對陀螺儀器提出愈來愈高的要求。因此，我們必須繼續在理論研究上努力，為能夠正確選用所設計陀螺儀器的主要參數作好理論基礎研究。

陀螺的研究已有相當的成果，國內張家歐、周傳心[1-3]及戈正銘，國外 Alfriend [4, 5]等皆有專精的研究。渾沌動力學的其基本行為及背景理論在各領域已有許多專書。Guckenheimer[6]，Moon[7]，Wiggins[8]，Nayfeh[9]，Hilborn[10] 曾做了比較完整的回顧總結。另外，國內董必正等[11-13]也有輝煌的研究成果。目前國內外對於陀螺系統的渾沌行為討論並不多見。Leipnik 與 Newton 曾研究過具有線性反饋控制之剛體運動的渾沌現象[15]，但 Leipnik 與 Newton 的研究僅指出其存在的兩個怪吸引子。近年，戈正銘等[16-20]對這方面之研究已有許多豐碩成果，將陀螺的研究從傳統動力分析推展到渾沌世界。為了分析方便，上述之研究均假設阻尼為線性的，但事實阻尼是非線性，因此有必要進行進一步之研究與討論。本報告針對

一裝置於振動載體上具非線性阻尼力矩之對稱陀螺儀作詳細的動力分析，探討非線性阻尼對系統行為之影響。

進入 90 年代以來，有關動力系統中渾沌運動的抑制和控制問題受到了廣泛關注 [21-25]。在非線性動力系統中當產渾沌運動時，吾人期望去避免或是抑制以改善系統的可行性。有時渾沌反而是有用的，例如混和過程或熱傳等，但對一般機械系統是不受歡迎的。本報告除了對系統作全局動力分析外，更在系統發生渾沌運動時抑制和控制它，其結果作為設計時的根據將較傳統動力分析更為可靠。

三、結果與討論：

本報告對系統的運動作數值模擬，利用向平面圖、龐加萊截面圖、功頻圖、李雅普諾夫指數、李雅普諾夫維度等得到當系統參數變化時的規則與渾沌行為。在全面瞭解系統渾沌行為後，利用定值馬達力矩連續反饋控制、週期激振力與自適應控制來抑制渾沌運動，以符合吾人之需求。

四、計畫成果自評：

摘要中所列研究重點皆獲得預期結果。所得結果可對陀螺儀的設計提供理論的依據。所得的結果具本身的學術價值。培育力學新領域(如計劃中之渾沌 非線性力學...等)的研究人力。期使更多的優秀人才投入這方面的研究。提昇我國在此領域的學術地位，使我們也能夠跟得上新時代的腳步。計畫成果已投稿 *Journal of Sound & Vibration*.[26]

五、參考文獻：

1. Chang, C. O. and Chou, C. S., "Dynamic Analysis and Optimal Design of the Viscous Ring Nutation Damper for a Freely Processing Gyroscopic," Proceedings of the 29th AIAA/ASME/ASCE/AHS Structures,

- Structural Dynamics, and Materials Conference, AIAA, Washington, DC, pp. 411-419, 1988.
2. Chang, C. O. and Chou, C. S., "Partially Filled Nutation Damper for Freely Processing Gyroscope," AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 14, No. 5, pp. 1046-1055, 1989.
3. Chang, C. O. and Liu, L. Z., "Dynamics and stability of a Freely Precessing Spacecraft Containing a Nutation Damper," Journal of Guidance, Control and Dynamics, Vol. 19, No. 2, 1996.
4. Alfriend, K. T. and Spancer, T. M., "Comparison of Filled and Partially Filled Nutation Damper," Journal of Astronautical Sciences, Vol. 31, No. 2, pp. 198-202, 1983.
5. Alfriend, K. T., "Magnetic Attitude Control System for Dnal-Spin Satellites," Am. Inst. Aeronaut. Astronaut. J., Vol. 13(6), pp. 817-822, 1975.
6. Guckenheimer, J. and Holmes, P., Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vectors Fields, New York, Springer-Verlag, 1983.
7. Moon, F. C., Chaotic and Fractal Dynamics, New York, John Wiley & Sons, 1992.
8. Wiggins, S., Introductions to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos, New York, Springer-Verlag, 1990.
9. Nayfeh, A. H. and Balactandran B., Applied Nonlinear Dynamics, New York, John Wiley & Sons, 1995.
10. Hilbron, R. C., Chaos and Nonlinear Dynamics, Oxford University press, Inc. New York, 1994.
11. Tung, P. C. and Shaw, S. W., "A Method for Improvement of Impact Printer Performance," Trans. ASME, Vol. 110, pp. 528-532, 1988.
12. Tung, P. C., "Dynamics of a Nonharmonically Forced Impact Oscillator," JSME Int. J., Series III 35, PP.378-385, 1992.
13. Tseng, C. Y. and Tung, P. C.,

- “Dynamics of Nonlinear Structure with Magnetic Actuator,” Japanese Journal of Applied Physical, Vol. 34, pp. 374-382, 1995.
14. Tseng, C. Y. and Tung, P. C., “Stability, Bifurcation, and Chaos of a Structure with a Nonlinear Actuator,” Japanese Journal of Applied Physical, 1995.
 15. Leipink, R. B. and Newton, T. A., “Double Attractors in Rigid Body Motion with Linear Feedback Control,” Physics Letter, November, pp.63-67, 1981.
 16. Ge, Z. M., Chen, H. H., “Bifurcations and Chaos in a Rate Gyro with Harmonic Excitation,” Journal of Sound & Vibration, Vol. 194, No. 1, pp.107-117, 1996.
 17. Ge, Z. M., Chen, H. K. and Chen, H. H., “The Regular and Chaotic Motion of a Symmetric Heavy Gyroscope with Harmonic Excitation,” Journal of Sound & Vibration, Vol. 198, No. 2, pp.131-147, 1996.
 18. Ge, Z. M., and Chen, H. K., “Stability and Chaotic Motions of a Symmetric Heavy Gyroscope,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 35, No. 3, pp.1954-1965, 1996.
 19. Ge, Z. M. and Chen, H. H., “Bifurcations and Chaos in Rate Gyro with Harmonic Excitation,” Journal of Sound & Vibration, Vol. 194, No. 1, pp.107-117, 1996.
 20. Ge, Z. M. and Chen, H. K., “The Dynamic Analysis of a Two-Degree-of-Freedom Dissipative Gyroscope,” accepted by Journal of Sound & Vibration, 1999.
 21. Sinha, S., Ramaswamy, R. and Roa, J. S., “Adaptive Control in Nonlinear Dynamics,” Physica D Vol. 43, pp.118-128, 1991.
 22. Braiman, Y. and Goldhirsh, I., “Taming Chaotic Dynamics with Weak Periodic Perturbations,” Phys. Rev. Lett., Vol. 66, No. 20, pp.2545-2548, 1991.
 23. Murali, K., Lakshmanan, M. and Chua, L. O., “Controlling and Synchronization of Chaos in the Simplest Dissipative Non-Autonomous Circuit,” International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 5, pp.563-571, 1995.
 24. Ott, E., Grebogi, C. and Yorke, J. A., “Controlling Chaos,” Phys. Rev. Lett., Vol. 64, No. 11, pp. 1196-1199, 1990.
 25. Huberman, B. A. and Lumer, E., “Dynamic of Adaptive Systems,” IEEE Transaction on Circuits and Systems, Vol. 37, No. 37, No. 4, pp.547-550, 1990.
 26. Chen, H. K.,” Chaos and Chaos Synchronization of a Symmetric Gyro With Linear-Plus-Cubic Damping,” Submitted to Journal of Sound & Vibration, Manuscript Reference Number: JSV01/376, 2001.