

# 平面精密定位系統研製

## Study and Implement of Planar Precision Positioning System

計畫編號: NSC 87-2212-E-009-016

執行期限: 86 年 8 月 - 87 年 7 月

主持人: 成維華 交通大學機械系 教授

一、中文摘要(關鍵詞: 壓電致動器、衝量致動機構、精密定位、微動機構、光學解碼器)

本計畫為期一年, 目的為延續前期計畫對衝量致動機構之研究及結合以光碟機光學讀取頭所構成之次微米級解析度之光學位置編碼器以組成線性及平面之精密定位系統。本計畫所使用之衝量致動機構為利用壓電致動器之快速變形所產生之加速度克服滑塊與滑軌間之靜摩擦, 而使滑塊產生小位移之步進式微動機構。而光碟機光學讀取頭所構成之位置編碼器為利用光學讀取頭於目標碟片反射光束之循跡誤差訊號及射頻訊號構成一般編碼器之 A、B 相訊號。

本年度計畫執行之成果為: (1) 衝量致動機構之模型建立與數值分析; (2) 衝量致動機構之系統鑑別實驗; (3) 以衝量致動機構及光學讀頭位置編碼器所構成之精密定位系統之研製。

英文摘要(Keyword: Piezoactuator, Impact Drive Mechanism, Precision Positioning, Micro-Actuation Mechanism, Optical Encoder)

This is an one-year NSC project. This projection attempts to develop a new precision positioning system based on our previous researches on Impact Drive Mechanism and Optical Encoder with sub-micro resolution. The impact drive mechanism proposed on our previous research was a micro-actuation mechanism constructed by piezoactuators. Acceleration produced by the rapid deformation of piezo-

actuators overcome the static friction between slider and base, and thus, resulted in small displacement of slider. The sub-micro resolution optical pickup was constructed by a commercial optical pickup. The tracking error (TE) signal and radio frequency (RF) signal obtain from the reflection beams form target disk of optical pickup system were used to be the A, B phase signal of optical encoder.

The research performed during the past one year includes: (1) The modeling and numerical analysis of impact drive mechanism; (2) The system identification of our impact drive mechanism; (3) The design and implement of precision position system based on impact drive mechanism and optical pickup encoder.

二、計畫緣由與目的

精密定位技術之發展在許多工業及科學之領域中為重要之關鍵, 以伺服馬達及精密之位置回饋元件所組成之精密伺服機構為現今運用之主流。但其為保證所能達到之定位精度而所需之機械元件加工精度、複雜之控制演算及昂貴之回饋元件(如雷射干涉儀)使得系統之架設所費不貲。以微動機構作為精密定位之用途有操作、控制單純之優點, 但亦有機構行程太小之限制。T. Higuchi [1] 等人所提出之衝量致動機構, 因其具次微米步進能力, 機構行程無限制且結構簡易製造容易, 以衍生各式改良與應用, 如電子顯微鏡之探針移動[2][3][4][5]。

其次, 以前期計畫所發展之光學讀

頭所構成之廉價位置編碼器取代一般精密伺服機構所使用之雷射干涉儀或精密光學尺等昂貴位置回饋元件，整合於衝量致動機構便可完成一連價之精密定位系統。

### 三、研究方法與成果

關於本年度計畫之研究方法與成果可分為下列數項：

#### (一) 衝量致動機構模型建立、數值分析與實驗

如圖一(a)所示，衝量致動機構為利用利用滑塊與配重塊間之壓電致動器之快速變形所產生克服滑塊與軌道間之最大靜摩擦之加速度而移動滑塊之裝置。根據其行為可以二階 MCK 模型建模如圖一(a)之線型衝量致動機構，及圖二之平面三自由度衝量致動機構。其中  $M$  與  $m$  為滑塊及配重塊質量， $k$  與  $c$  為壓電致動器與其與滑塊即配重塊間之連結之剛性及阻尼。圖一所示為壓電致動器之輸出波形。

根據衝量致動機構之 MCK 模型及庫倫摩差模型，可解出壓電致動器單一變形階段中所造成滑塊位移之近似解為：

$x_i = x_{iL} + x_{iLn} + x_{iLb} + x_{i\mu}$ ，其中，

$$x_{iLn} = \frac{mL_{\max} \sin \omega_d t \cdot e^{-\xi \omega_n t}}{\beta T n M + m n \omega_d} - \frac{mL_{\max}}{M+m} \frac{t}{\beta T},$$

$$x_{iLb} = \frac{mX_p(0)}{(M+m)\omega_d} \cdot \sin \omega_d t \cdot e^{-\xi \omega_n t} + \frac{MX_p(0)t}{M+m},$$

$$x_{i\mu} = \frac{mX_{\mu}''''''}{M+m\omega_d} \cdot \sin \omega_d t \cdot e^{-\xi \omega_n t} + \frac{mX_{\mu}'''''' t}{M+m},$$

$$x_{iL} = x_{iL2} + \frac{\mu g t^2}{2} \operatorname{sgn}(l).$$

其中  $l$  為壓電致動器之變形量， $L_{\max}/(\beta T)$  為壓電致動器之變形速度。關於庫倫摩擦對系統暫態之效應， $x_{i\mu}$ ，為每半個週期間對系統振幅之一非線性衰減與

此二效應皆與系統之彈性係數  $k$  成反比，故在  $k$  大時之近似解可忽略其效應。在低頻率操作時可將滑塊位移解近似為，

$$x_g = \frac{-m}{M+m} \dot{l} t - \operatorname{sgn}(X_g) \frac{\mu g t^2}{g} + \frac{MX_g g + mX_g g}{M+m} t.$$

圖三所示為以圖一(a)之 MCK 模型之數值模擬。圖四所示為衝量致動機構之滑塊步進實驗量測及步進距離隨操作頻率改變之關係。

#### (二) 衝量致動機構之系統鑑別實驗

根據衝量致動機構之 MCK 二階模型及庫倫摩擦模型，可構建如圖五所示之衝量致動機構系統鑑別實驗，其中所參數估測之系統包含系統二階模型之  $k$  與  $c$  之最小平方估測及以摩擦估測器估測滑塊與軌道間之摩擦係數。其中摩差估測器之使用為根據 Yazdizadeh 等所提出之方法[6]。

#### (三) 系統整合、精密定位系統之設計與原型機構製造

對於以衝量致動機構之步進動作達成精密定位之目的，本計畫亦設計一適應機構以根據迴授元件所測得之步進大小調整壓電材料之操作波形，以使衝量致動機構能在如負載改變時儘量為時維持機構步進之大小。而之在本計畫之實驗與模擬中發現單純地根據迴授之位移與設定之參考模型之位移誤差之比例與積分調整壓電致動器操作之最大振幅即可滿足適應機構之要求，如圖五所示。

本計畫所研製之精密定位系統雛形即為利用衝量致動機構之微米步進能力與前期計畫所發展之次微米解析度光學位置編碼器做為位置迴授元件。如圖六所示。其組成部分可分為機構主體、學讀頭、用已產生 PZT 輸入波形之單晶片 PC 實驗板端之程式。其

對平衡點位置之偏移，而

碼器為利用光學讀取頭於目標碟片反射光束之循跡誤差訊號及射頻訊號構成一般編碼器之 A、B 相訊號，目標碟片為前期計畫中以半導體製程所製成。

#### 四、結論與討論

在本計畫之執行成果包含：完成利用衝量致動機構之定位系統之初步研製；利用衝量致動器之 MCK 模型所完成之近似理論分析與屬直模擬，經由實驗與模擬結果可得出進一步設計此類步進系統之依據。

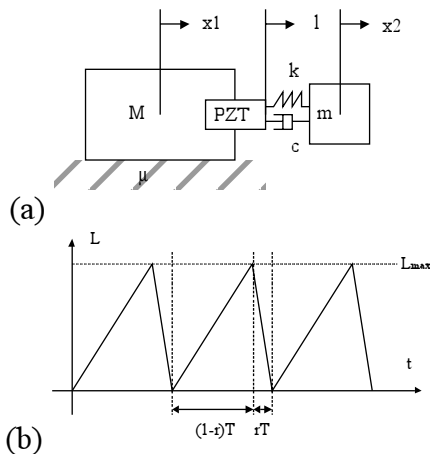
#### 五、參考文獻

- [1] T. Higuchi, Y. Yamagata, K. Furutani, K. Kudoh, "Precise Positioning Mechanism Utilizing Rapid Deformations of Piezoelectric Element," The Proceedings of the IEEE MEMS Workshop, 1990, pp222-226.
- [2] Koji Ikuta, Satoshi Aritomi, Takefumi Kabashim, "Tiny Silent Linear Cybernetic Actuator Driven by Piezoelectric Device with Electromagnetic Clamp," Micro Electro Mechanical Systems '92, February 4-7, 1992, pp232-237.
- [3] Yutaka Yamagata, etc., "A Micro Mobile Mechanism Using Thermal Expansion and Its Theoretical Analysis," IEEE, 1994, pp147.
- [4] Takaharu Idogaki, etc., "Characteristics of Piezoelectric Locomotive Mechanism for an In-Pipe Micro Inspection Machine," 6<sup>th</sup> Int. Sym. On Micro Machine and

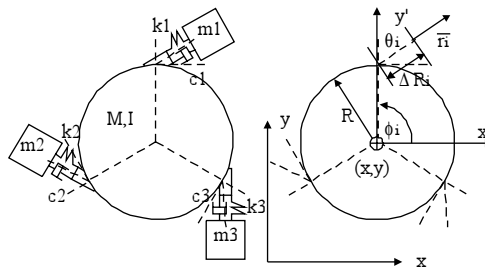
中光碟機光學讀取頭所構成之位置編

Human Science, 1995, pp193-197.

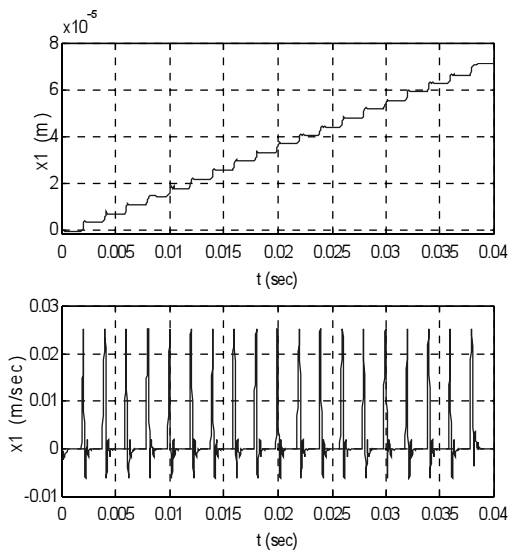
- [5] Guangyi Shang, etc., "Piezoelectric push-pull micropositioner for ballistic electron emission microscope," Rev. Sci. Instrum. 68(10), Oct. 1997, pp3803-3805.
- [6] Yazdizadeh A., etc., "Adaptive Friction Compensation Based on The Lyapunov Scheme," Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Control Application Dearborn, MI, September 15-18, 1996, pp1060-1065.



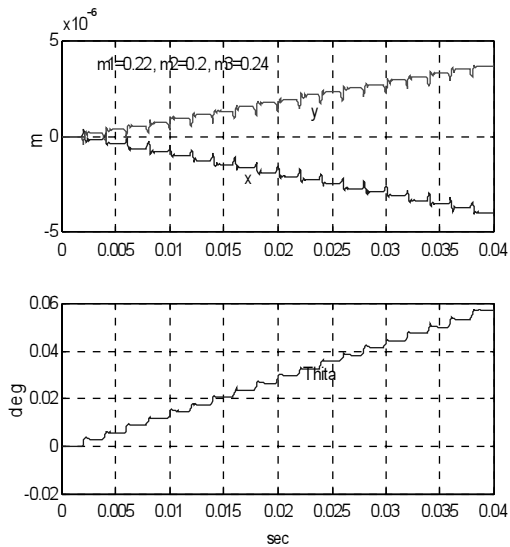
圖一(a)、線型衝量致動機構之 MCK 模型。(b)、壓電致動器之輸入波形。



圖二、三自由度(x, y,  $\theta$ )衝量致動機構之 MCK 模型。

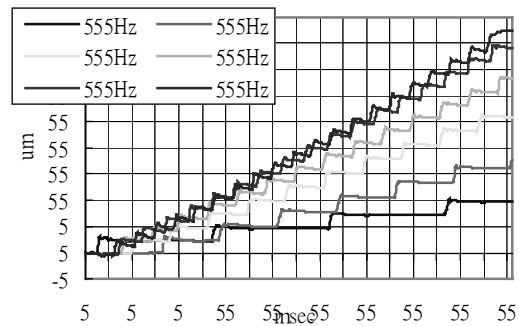
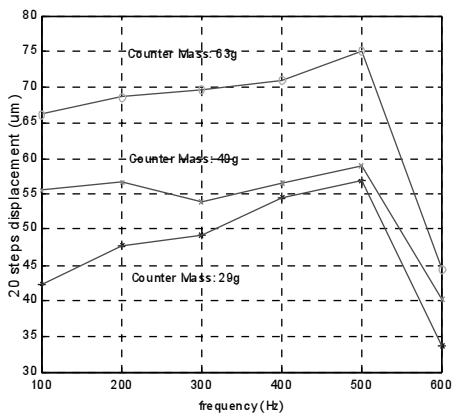


(a)線型。

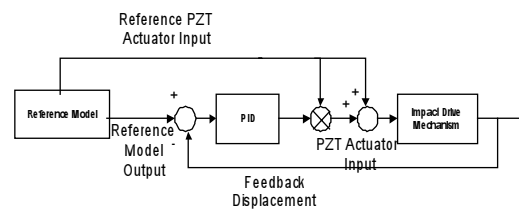


(b)平面三自由度。

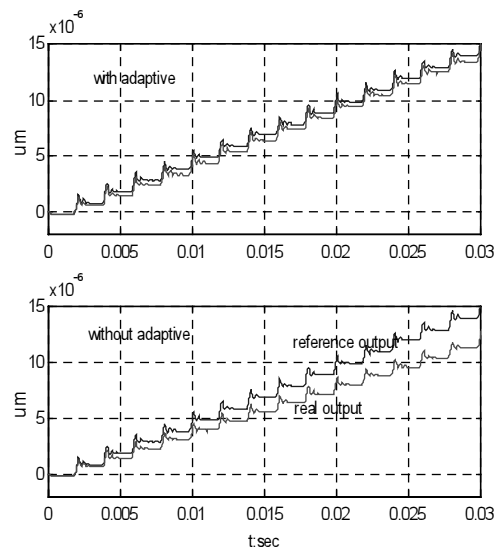
圖三、衝量致動機構之數值模擬。



圖四(b)、衝量致動機構實驗量測。

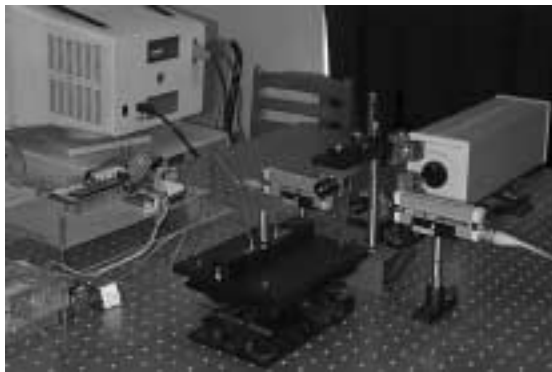


圖五(a)、控制衝量致動機構步進經度之適應性回路。

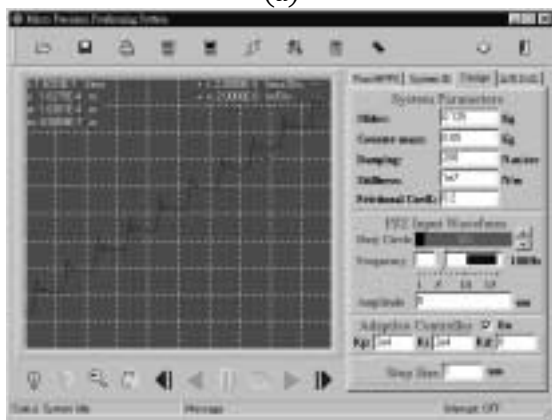


圖五(b)、在 2 相當於 5% 滑塊質量負載改變下含適應性回路，與不含適應性回路之衝量致動機構位移。

圖四(a)步進距離與頻率關係。



(a)



(b)

圖六(a)衝量致動機構實驗：衝量致動機構，雷射干涉儀，單晶片實驗卡。

(b)衝量致動機構實驗：PC 端程式。