

四、實驗結果

本章從步伐軌跡演算法在 NC-F4 上的各角度直行步伐的軌跡規劃成果開始，並以 NC-F4 四足機器人進行的實際行走測試，與步伐規劃的結果進行驗證。最後針對運動程式的輸出進行誤差分析。

4.1 步伐軌跡模擬

步伐軌跡演算法實驗利用 Matlab 強大的數值運算功能，以撰寫 m-file 的方式，將 Hirose 步伐篩選法的過程程式化，程式設計概念是將工作範圍上等間距取無數個點，步伐值的準確度根據取樣點的密度來做判斷。之後以本研究之四足機器人進行幾種不同條件的步伐值計算。

4.1.1 90 度最大步伐軌跡

首先以行進角度 $\theta=90^\circ$ ，工作係數 $\beta=0.75$ 的情況進行模擬實驗，由於步伐 $\theta=90^\circ$ 為標準的 Y 型直行步伐(若為 X 型，則右前足及左後足無可用的工作範圍)，所以有代表性的意義。以 Hirose 演算法求得之步伐等高線圖如圖 52 所示。相對腳最大步伐值 $\lambda_{14}=\lambda_{23}=117.412\text{ mm}$ ，最大步伐值 $\lambda_{\max}=117.412\text{ mm}$ 。而將最大步伐值代入後求得適合之 DTE 點位置如圖 53。每隻腳的 DTE 位置恰好各只有一點，且依重心相互對稱，分別是右前足 $(109.42, 62.8378)$ ，左前足 $(-109.42, 62.8378)$ ，右後足 $(109.42, -62.8378)$ ，左後足 $(-109.42, -62.8378)$ 。

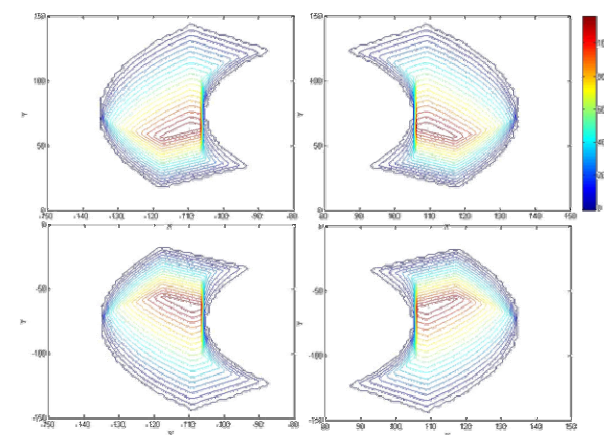


圖 52 步伐等高線圖 $\theta=90^\circ$ 。 $\beta=0.75$ 。 Y 型

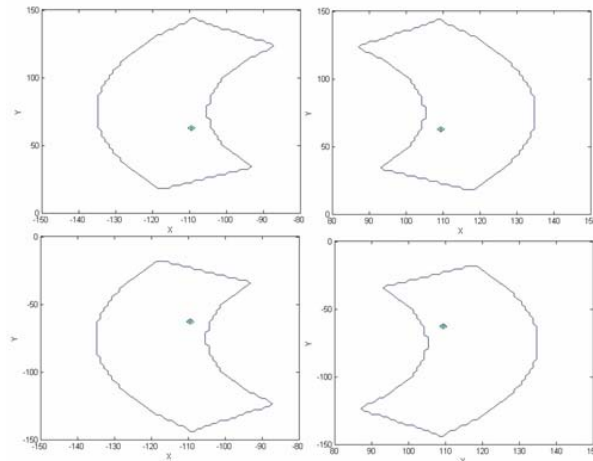


圖 53 步伐 DTE 點。 $\theta=90^\circ$ 。 $\beta=0.75$ 。 Y 型

4.1.2 0 度最大步伐軌跡模擬

當行進角度 $\theta=0^\circ$ ，工作係數 $\beta=0.75$ ，步伐為 X 型。以 Hirose 演算法求得之步伐等高線圖如圖 54 所示，其中相對腳最大步伐值皆為 $\lambda_{14}=\lambda_{23}=34.3977$ mm，而最大之步伐值 $\lambda_{\max}=34.3977$ mm，求得適合之 DTE 位置如圖 55。每隻腳的 DTE 位置同樣各是為一點，且依重心相互對稱，分別為：右前足 (100.29, 121.622)，左前足 (-100.29, 121.622)，右後足(100.29, -121.622)，左後足 (-100.29, -121.622)。

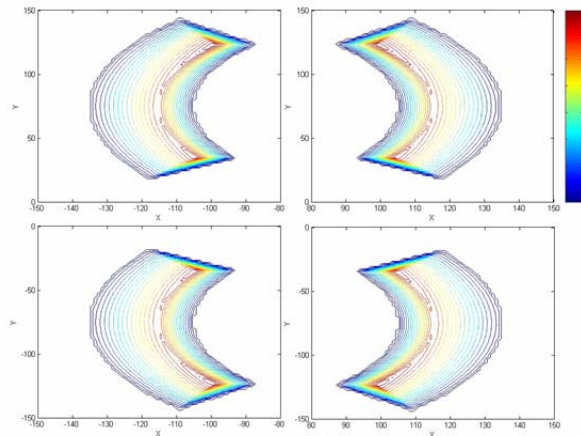


圖 54 步伐等高線圖 $\theta=0^\circ$ 。 $\beta=0.75$ 。 X 型

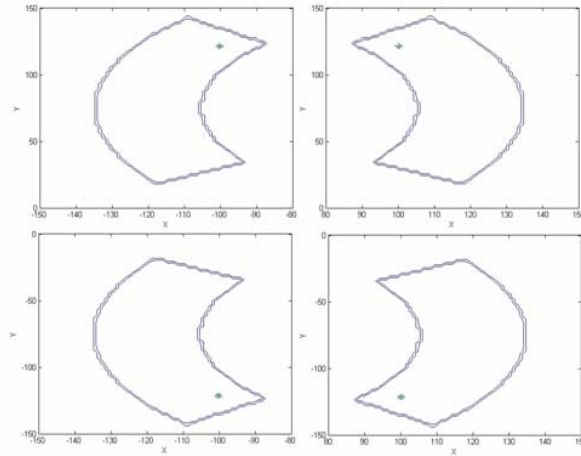


圖 55 步伐 DTE 點 $\theta=0^\circ$ 。 $\beta=0.75$ 。 X 型

4.1.3 60 度最大步伐軌跡模擬

直行步行進角度 $\theta=60^\circ$ ，duty factor $\beta=0.75$ 。步伐為 X 型。以 Hirose 演算法求得之步伐等高線圖如圖 56，其中相對腳最大步伐值 $\lambda_{14} = 74.9944$ mm， $\lambda_{23} = 84.1664$ mm，而最大步伐值 $\lambda_{\max} = 74.9944$ mm。適合之 DTE 位置如圖 57。DTE 點在右前足與左後足上恰為一點。位置為右前足(106.377, 56.7568)，左後足(-106.377, -56.7568)。左前足與右後足，因其可行步伐長度 λ_{23} 比另一組的 λ_{14} 最大值還高，符合之 DTE 點不必要是最大值，一小塊區域皆可用，為無限多解。

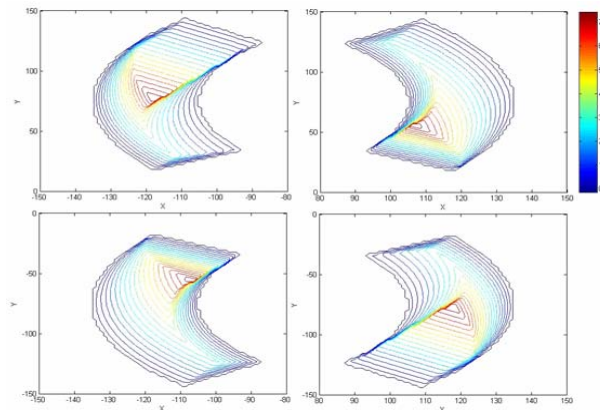


圖 56 步伐等高線圖 $\theta=60^\circ$ 。 $\beta=0.75$ 。 Y 型

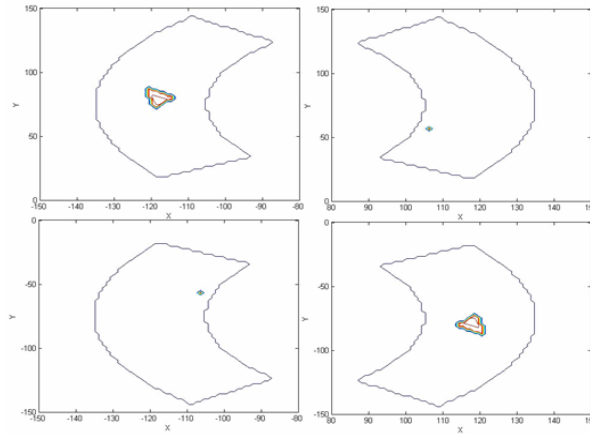


圖 57 步伐 DTE 點 $\theta=60^\circ$ 。 $\beta=0.75$ 。 Y 型

4.2 機器人直行實驗

NC-F4 的直行步伐，是採用 4.1 節所得出的 90 度 Y 型直行步長度 117mm 之標準步伐，在這節以實際的動作進行實驗。如圖 58 所示，機器人依著右後足、右前足、左後足、左前足的標準步伐順序行走。行走沿著桌面邊緣，為一直線。而圖 59 為一般未經步伐規劃過的實驗。行走的方式相同，步伐長度較短的對照組。可以在同樣的步伐數下，看出整體重心位移明顯小於最大值軌跡。圖 60 為機器人行走時的步長變換，從最大直行步長縮短為原來一半的短步行走，之後再轉回最大步長。

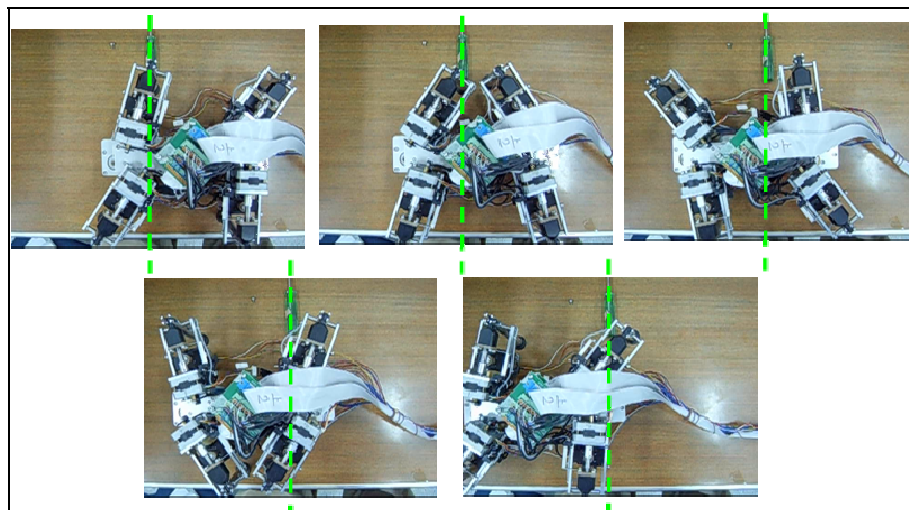


圖 58 機器人最大步長直行實驗

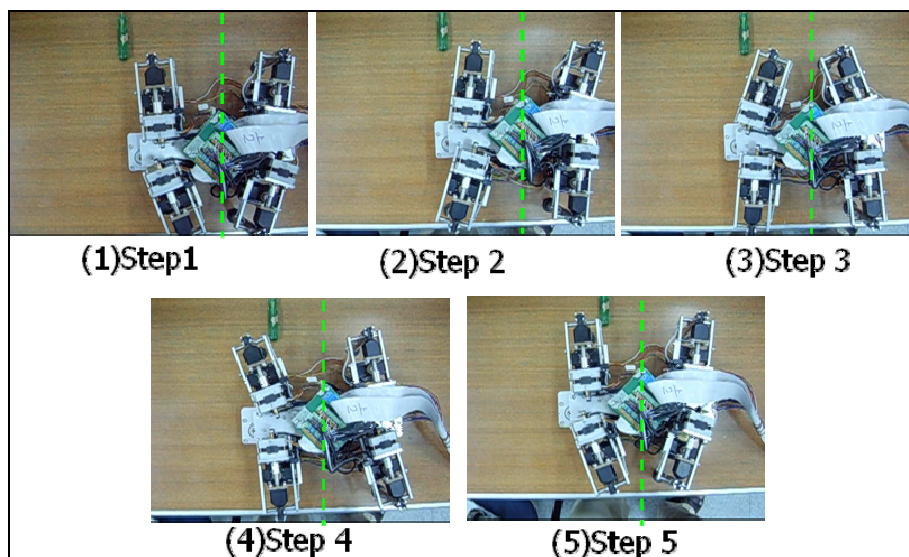


圖 59 機器人未經規劃步長直行實驗

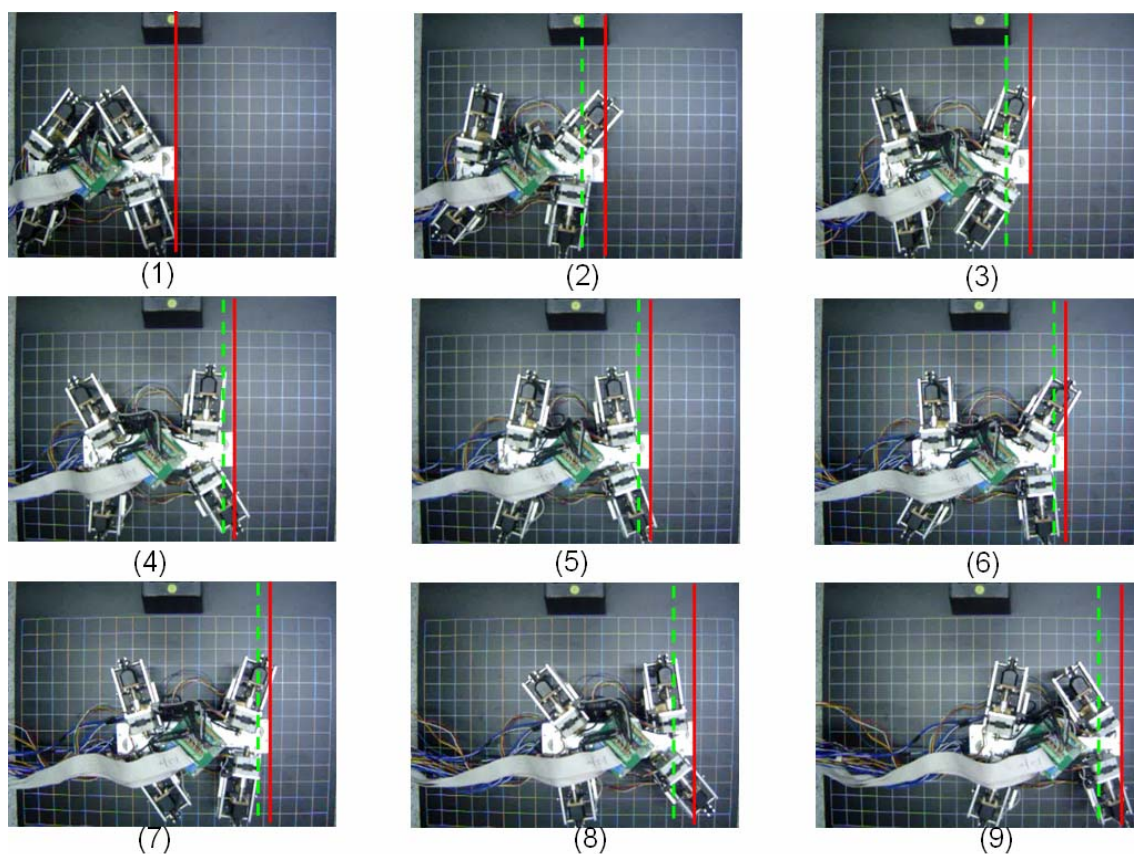


圖 60 機器人步長變換實驗

4.3 步伐轉換實驗

直行步與旋轉步間的步伐轉換，是從直行步變為左或右轉，和從旋轉步變為直行步。其中直行步的後退不計算在內，共有四種組合。而每種組合