

## 第五章

### 實驗設計與實驗結果

在本章節中，我們將透過電腦模擬實驗來演化各種人群移動的行為，並且透過實驗設計來探討本研究所演化出來的虛擬力參數組合，是否能產生出預期的移動行為。目前在本研究中，我們列舉了三種典型環境，藉由不同的環境差別來觀察我們所演化出來的特定人群移動行為，並探討在不同環境下對人群移動行為的影響。在本章節中，我們將分別在 5.1 節及 5.2 節，說明在系統中所討論的情境與移動行為，並在 5.2 節中說明實驗設計與列出目前實驗的結果。

#### 5.1 情境環境的說明

目前其他相關研究，都是以模擬群體運動中的情境事件為主，藉由模擬一些特定的情境來說明人群移動的行為。本研究提出以下不同典型的移動樣式與環境，來模擬人群移動。本研究對於環境的設計，設計了三個代表性環境，分別是空曠場地(圖 5.1)、狹隘通道(圖 5.2)、多障礙物環境(圖 5.3)。

- 空曠場地：此為無障礙物空間，可視為基本的實驗空間。未來可以延伸應用在廣場等情境設計。

- 狹隘通道：此環境中，對於人群移動的環境比空曠場地更為複雜，其通道狹隘的另一特色在於出入口只可允許至多兩位順利通過的移動空間，因此可以觀察出人群在此環境中，如何流暢通過。
- 多障礙物環境：其環境中設計許多不規則狀的障礙物，使得人群移動路線亦為不規則路徑，此環境可以觀察人群在行徑路線的移動過程中與障礙物的交互影響。

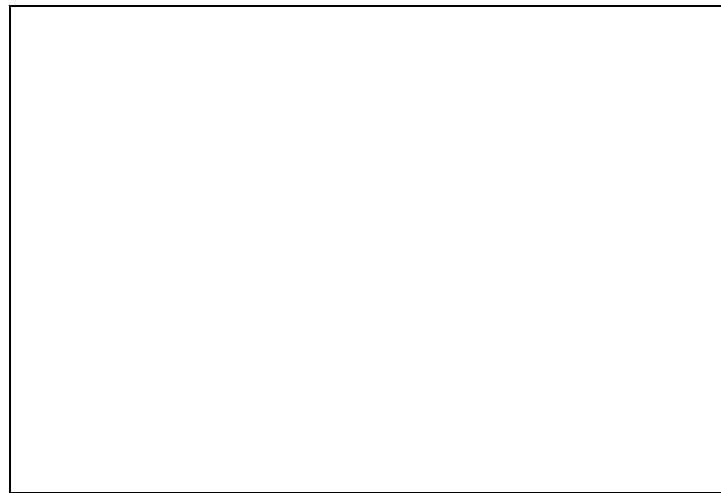


圖 5.1 空曠環境

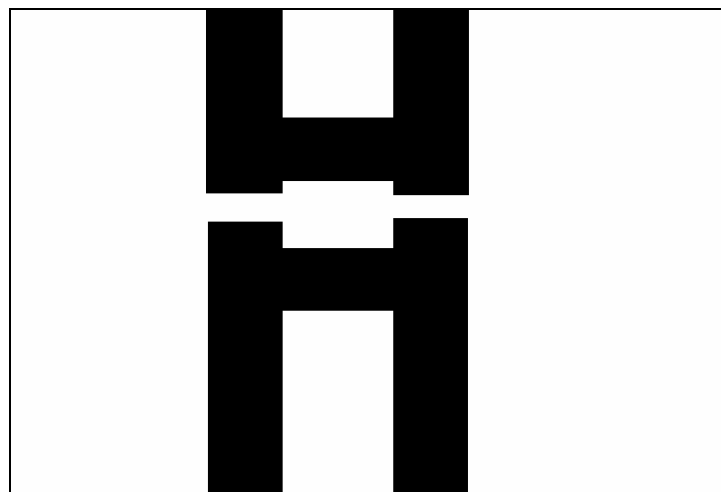


圖 5.2 狹隘環境

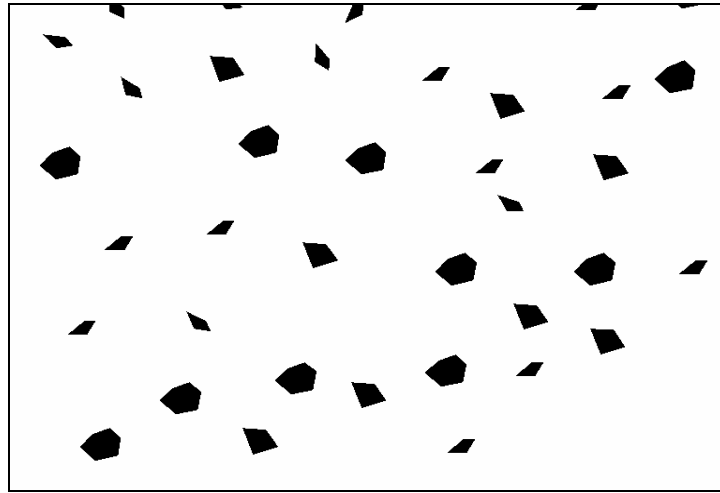


圖 5.3 多障礙物環境

人群的移動行為在文獻中，尚未有嚴謹的定義與系統化的分類。因此我們透過日常生活經驗的觀察，整理出人群移動的特色，做為本研究的代表性人群移動行為種類，我們目前總共定義了 5 種行為，分別來說明移動行為的特色如下。

- 群聚移動行為：此移動行為的理想狀態為人群之間的相對距離為使用者指定的距離，同時又能將碰撞的次數減少到最低。
- 鬆散移動行為：此移動行為同樣是以人群彼此之間的相對距離來設定，與群聚移動行為的差別在於使用者對於人群之間的相對距離的期待設定較大。
- 追隨移動：此行為是用在人群移動過程中，與所追隨的領導者之間保持緊密的跟隨關係。這樣的移動特性可以看出領導者身後的人群，如何能保持跟上領導者的相對距離與方向性。
- 包圍移動行為：以領導者為目標中心，人群包圍移動中的領導者，在移動過程中能夠圍繞領導者，進而表現出包圍移動效果。
- 移動一致行為：人群在移動過程中，隨時保持彼此的相對距離，並且遵守群體的一致性方向。

表 5.1 不同移動行為所需適應函數權重列表

	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
群聚移動行為	2	1	0	1	0
鬆散移動行為	2	1	0	1	0
追隨移動行為	1	2	0	1	0
包圍移動行為	1	2	1	1	0
移動一致行為	2	1	1	1	3

$W_1$ ：群眾之間所保持的相對距離

$W_2$ ：群眾與目標物的相對距離

$W_3$ ：人群面向角度的一致性

$W_4$ ：模擬過程中人群移動所發生的碰撞次數

$W_5$ ：人群相對距離的恆常性

## 5.2 實驗設計與實驗結果

在基因演算法中，我們利用適應性函數對於每一次的模擬結果做表現評估。對於各項適應函數的設計，請參考第四章節，我們是以人群移動的特徵為目標做設定。因此，我們利用上述章節的說明所制定之適應函數的線性組合(如(4.20)式所示)定義整體的適應函數，應用於對應的情境中。針對人群移動時候，使用者所設定的終點可視為同一群人有意圖前往終點；而系統所規劃出來的路徑，可視為有相同意圖的同一群人所欲前往的路徑。在表 5.1 中列出不同的移動行為所選用的適應函數及其所設定權重。在我們目前的演化實驗下，對於人群移動行為的演化結果，我們目前所採取的演化終止要件分別是演化到我們實驗所設定的最大代數後，最好的表現便是我們所演化出來的，另外則是連續五代中最好的表現都是同樣一組的基因編碼，則視為提前收斂便可終止演化。目前我們對於演化實驗的討論是對於特定移動行為重複三次的演化實驗，觀察是否都在相同適應值表現範圍之內，並且由實驗結果知道演化最終收斂的代數約在 17 代與 19 代之間。

本研究的實驗設計流程是將空白場地視為控制組，找出最佳的虛擬力權重組合，然

後再分別套用至另外兩個環境中，來討論環境與移動行為的相互作用。我們之後便在不同環境的控制下，分別來進行演化我們所討論的移動行為。目前我們主要以群聚移動行為來討論移動行為與環境的相互關係。首先，我們以群聚移動行為在空白場地演化出來的虛擬力參數組合(參考表 5.5 實驗 1A)，套用到狹隘通道場景中，得出表 5.2 中實驗 1B-1 的適應函數表現。另外我們再針對狹隘通道場景進行群聚移動行為的演化，所得出的適應函數表現如表 5.2 的實驗 1B-2 所示。透過實驗 1B-1 與實驗 1B-2 比較，可知道在狹隘通道環境與移動行為之間確有影響，因此我們必須針對狹隘通道環境進行演化，才能找出更為適當的虛擬力組合。另外我們在實驗 2-1 與實驗 2-2 則是討論在多障礙物的路徑下是否也有環境與移動行為的影響，從表 5.2 的實驗 1C-1 與實驗 1C-2 的比較可以知道，環境對移動行為的確有影響。

表 5.2 移動行為與環境之間演化結果討論

	$W_1 * G_A$	$W_2 * G_B$	$W_3 * G_C$	$W_4 * G_D$	$W_5 * G_E$	$G_{sum}$
實驗 1B-1	35	5	0	75	0	150
實驗 1B-2	68	78	0	57	0	271
實驗 1C-1	66	65	0	65	0	262
實驗 1C-2	71	82	0	60	0	284

經由上面的實驗結果，我們可以知道人群移動不僅對應於適當的虛擬力參數設定，同時也對於環境有所影響。因此我們在實驗 1A 中所討論的群聚移動行為套用到不同的兩個環境下，所表現出來的分數並不如實驗 1A 好。使得我們需要思考針對環境與移動行為兩者之間影響性來設計實驗。我們接下來的實驗設計便是針對 5 種移動行為與 3 種不同環境，分別透過演化方式演化出最適合的虛擬力組合。在表 5.3 中我們整理出一份移動行為與典型環境的矩陣列表。在表中我們將行為與典型的環境以代號方式來命名，方便我們在下一節實驗結果的描述。因此我們在後續的實驗設計便是設計了不同環境下與移動行為的實驗討論(參考表 5.3)，並把相關所演化出來的虛擬力組合與適應函數

表現列表於表 5.4 及表 5.5。

表 5.3 不同移動行為對環境的實驗設計

環境 \ 移動樣式	空曠場地(A)	狹隘的通(B)	多障礙物環(C)
群聚移動行為(1)	1A	1B	1C
鬆散移動行為(2)	2A	2B	2C
追隨移動行為(3)	3A	3B	3C
包圍移動行為(4)	4A	4B	4C
移動一致性行為(5)	5A	5B	5C

### 5.2.1 群聚移動行為

我們對於群聚移動行為，主要是以群眾之間所保持的相對距離( $G_A$ )為主，設定人群相對平均距離為 2 個單位。如圖 5.4 所示，在此實驗中人群移動的路線為圖中虛線圈軌道所表示，由左至右移動至最終的目的地，我們對於此目的地是以終點(圖中紅圈所示)為中心。

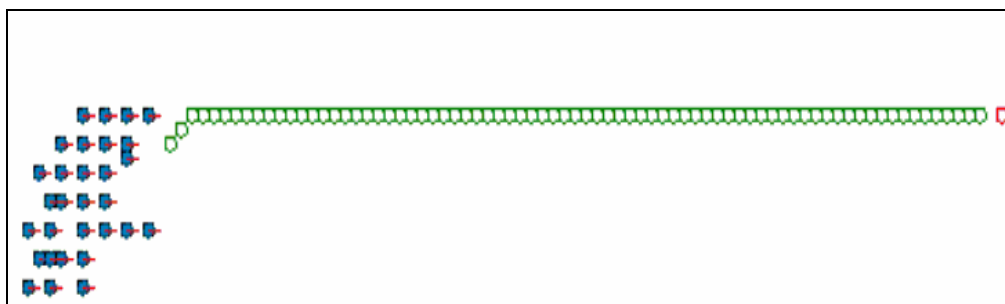


圖 5.4 空白場地

我們按照表 5.1 中實驗 1A 所設定的權重設定，演化得出的最佳解的適應函數值如表 5.4 所示。表 5.5 中實驗 1A 是我們所演化出來所討論的人群密集移動行為的最佳虛擬力參數組合。我們按照此虛擬力權重的設定，便會得到圖 5.5 動畫所示。

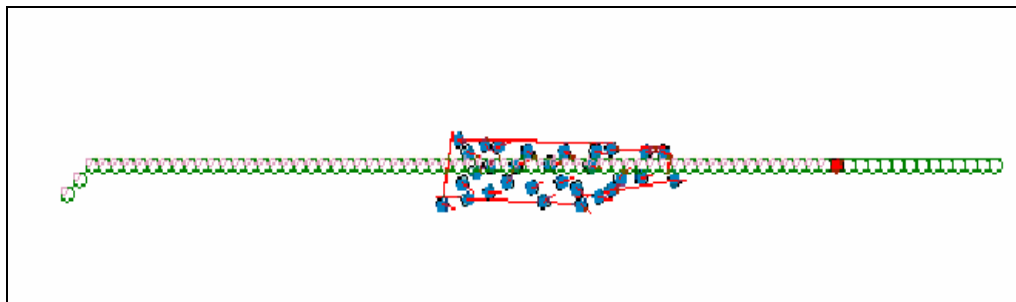
表 5.4 在各項實驗下適應函數的表現總表

實驗名稱	$W_1 * G_A$	$W_2 * G_B$	$W_3 * G_C$	$W_4 * G_D$	$W_5 * G_E$	$G_{sum}$
1A	162	63	0	70	0	295
1B	136	78	0	57	0	271
1C	144	82	0	60	0	286
2A	140	76	0	99	0	315
2B	92	43	0	87	0	222
2C	102	78	0	95	0	275
3A	94	200	0	100	0	394
3B	13	168	0	97	0	278
3C	69	166	0	89	0	324
4A	77	154	91	98	0	420
4B	59	112	89	89	0	349
4C	35	154	78	92	0	359
5A	142	47	96	98	66	449
5B	142	63	94	91	60	452
5C	148	75	89	94	38	463

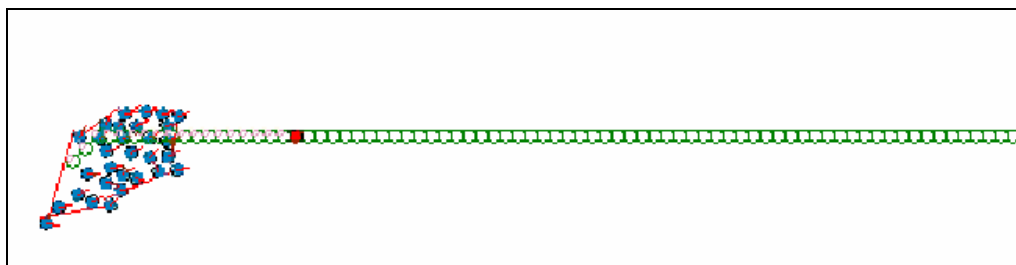
表 5.5 在各項實驗下虛擬力權重總表

實驗名稱	追隨力	分離力	內聚力	調準力	障礙物排斥力
1A	0.42	0.03	0.15	0.84	0.44
1B	0.87	0.31	0.99	0.49	0.16
1C	0.65	0.12	0.19	0.01	0.12
2A	0.80	0.92	0.64	0.28	0.37
2B	0.70	0.98	0.89	0.66	0.63
2C	0.89	0.58	0.29	0.04	0.89

實驗名稱	追隨力	分離力	內聚力	調準力	障礙物排斥力
3A	0.53	0.15	0.77	0.36	0.62
3B	0.90	0.39	0.80	0.06	0.16
3C	0.95	0.21	0.93	0.07	0.04
4A	0.94	0.42	0.90	0.14	0.59
4B	0.98	0.43	0.95	0.75	0.71
4C	0.97	0.32	0.63	0.09	0.27
5A	0.49	0.17	0.57	0.71	0.59
5B	0.24	0.20	0.88	0.51	0.71
5C	0.23	0.16	0.63	0.18	0.05

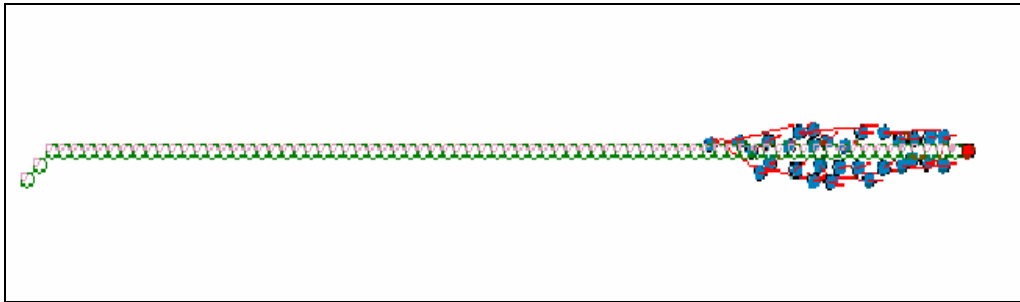


(a)



(b)

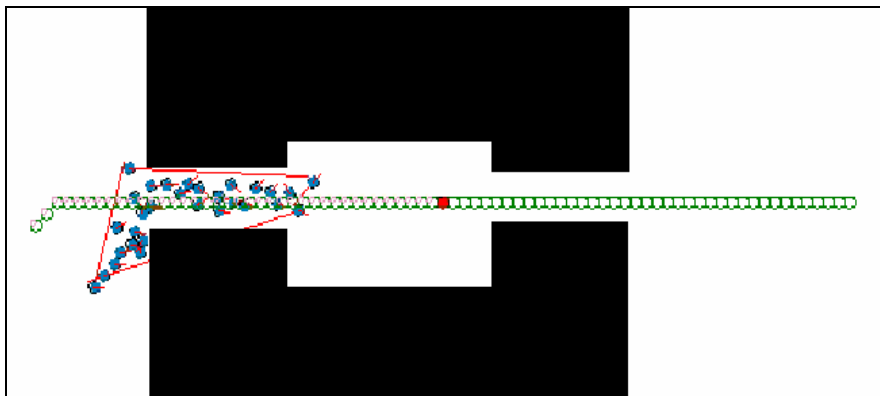




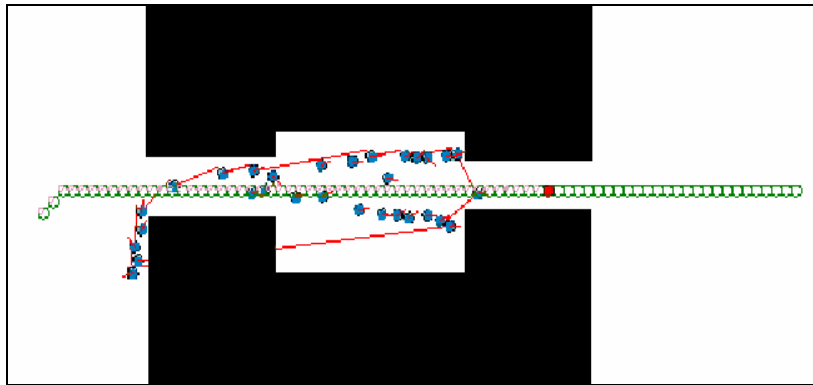
(c)

圖 5.5 群聚密集移動行為在空白場地的表現

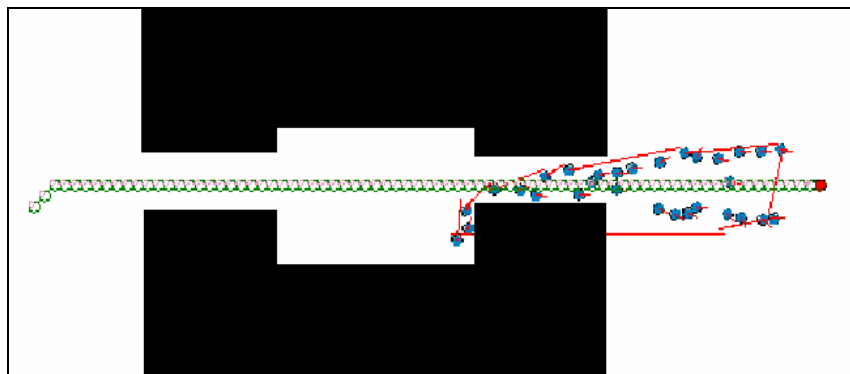
在實驗 1A 中我們演化出來的虛擬力，可使得人群以群聚移動行為朝向目的地移動。因此我們在接下來的實驗中便來討論環境與移動行為。我們以實驗 1A 所得出的適應函數權重組合做為本實驗 1B 的初始設定。在人群移動的腳本設定與實驗 1A 相同，一樣設定人群之間的平均距離為 2 個單位。表 5.4, 表 5.5 的實驗 1B 是我們以演化方式所得出的結果。在表 5.4 實驗 1B 中可以知道，由於地形的限制使得人群在移動過程中無法像在空白場地一樣只要注重人群之間相對距離的表現，在狹隘通道的特色下，人群為了通過通道需要依序進入通道，但通道無法同時間滿足所有人通過，所以一部份人就需要在通道處等待，直到人群依序進入後才有適當移動空間進入通道，所以人群之間相對距離被拉開見圖 5.6(b)，因此  $G_A$  在實驗 1B 的適應值就沒有實驗 1A 來得好。



(a)



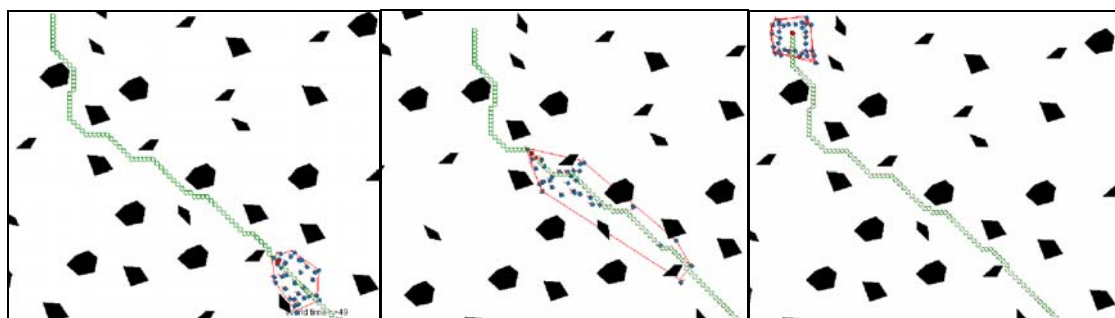
(b)



(c)

圖 5.6 群聚移動行為在狹隘通道的表現

在實驗 1C 中我們則是考慮在多障礙物環境下，人群群聚移動行為的演化結果。在這地形的特色下，我們主要討論人群由圖的右下角往左上角的目的地移動。此路徑有別於其他兩個環境有更多不規則的障礙物。我們將結果呈現在表 5.4 及表 5.5 的實驗 1C。



(a)

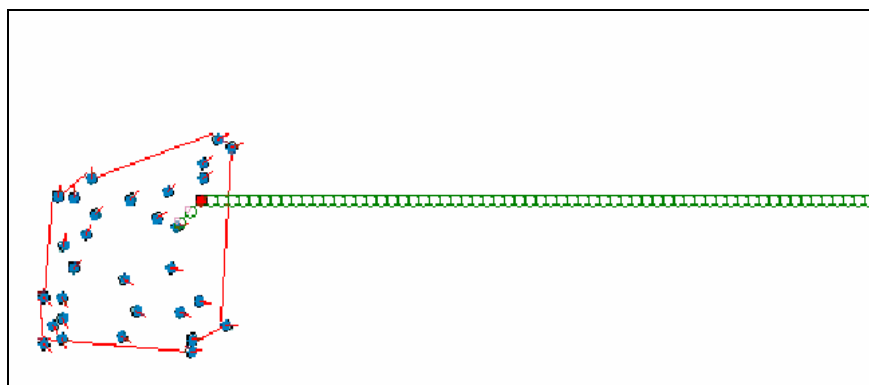
(b)

(c)

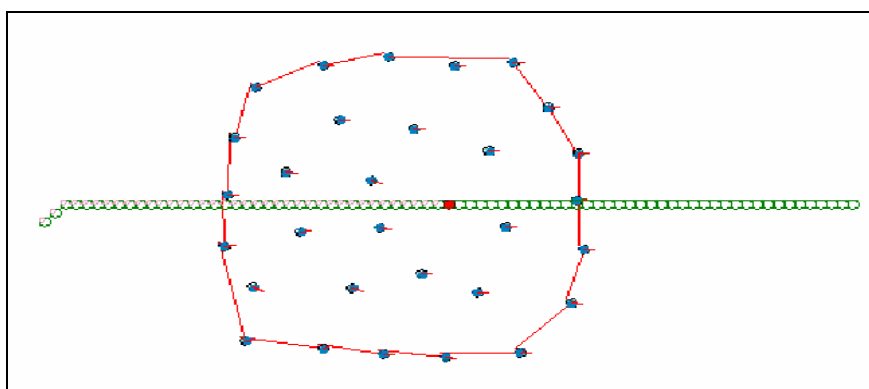
圖 5.7 群聚移動行為在多障礙物路徑的表現

### 5.2.2 鬆散移動行為

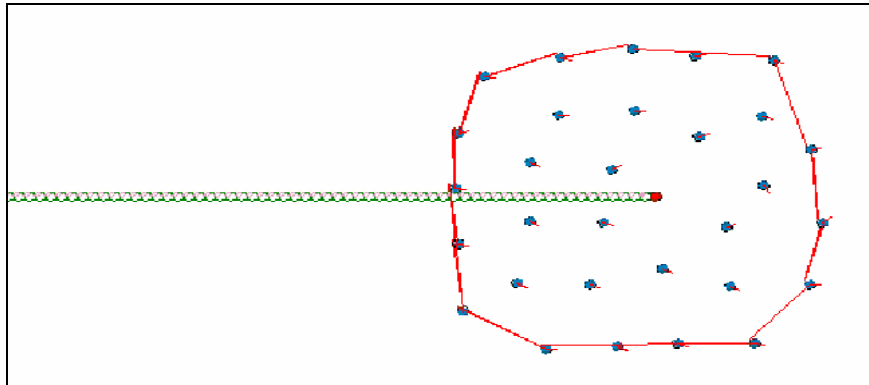
對於鬆散移動行為的設定，我們主要參考 5.2.1 節中有關群聚移動行為的實驗設計，以群眾之間所保持的相對距離( $G_A$ )為主。主要不同的地方在於將人群相對平均距離設定為 10 個單位。我們將其演化所得出的結果列表在表 5.4 及表 5.5 的實驗 2B 中。在圖 5.8(a) 中一開始人群便向外散開，這時分離力與內聚力的強弱比例便是主要的影響關鍵。在圖 5.8(a) 中一開始人群便向外散開，這時分離力(0.92)與內聚力(0.68)的強弱比例便是主要的影響關鍵。



(a)



(b)

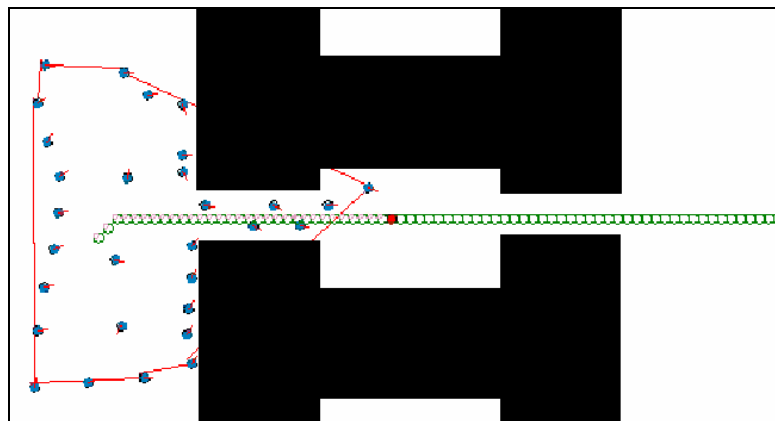


(c)

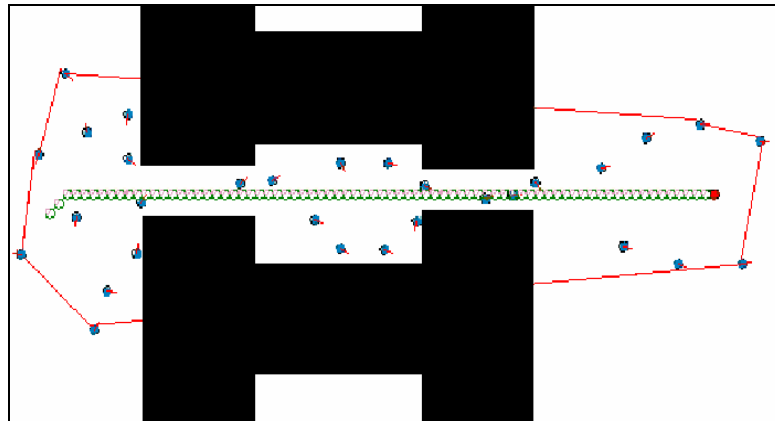
圖 5.8 鬆散移動行為在空白場地的表現

我們可以將實驗 2B 與實驗 2A 做比較。在這實驗中我們也以群眾之間所保持的相對距離 ( $G_A$ ) 為主要評估的目標，設定皆與實驗 2A 相同。由於地形的特色為狹隘通道，使得人群在通過通道時候便無法滿足我們所期待的人群相對距離，所以在實驗 2B 的群眾之間所保持的相對距離 ( $G_A$ ) 表現並不如實驗 2A 好。

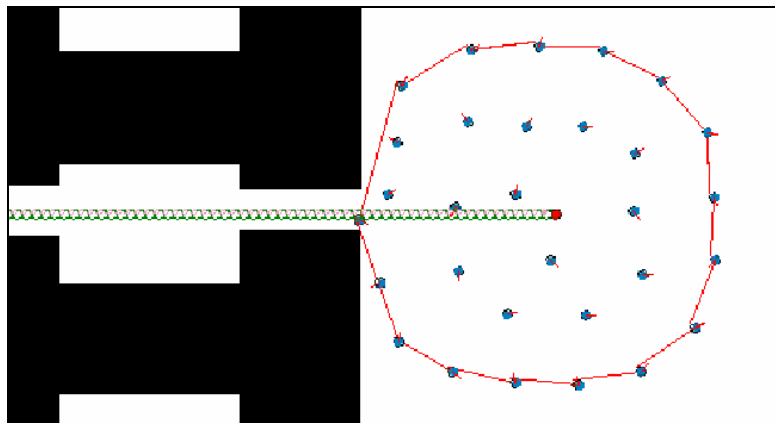
我們也只能在進入通道前與出通道後才有適合活動空間來表現我們所設定的鬆散行為。



(a)



(b)



(c)

圖 5.9 鬆散移動行為在狹隘通道的表現

實驗 2C 中的適應函數設定仍與實驗 2A 相同。但由於地形的特色所以在實驗 2C 的表現並不如實驗 2A 好。參考表 5.5 中關於實驗 2C 的虛擬力可以觀察出分離力(0.58)與內聚力(0.29)的強弱比例。在圖 5.10 中可以看到人群在多障礙路徑中，維持鬆散狀況的移動過程的確比實驗 2B 更容易表現出來。

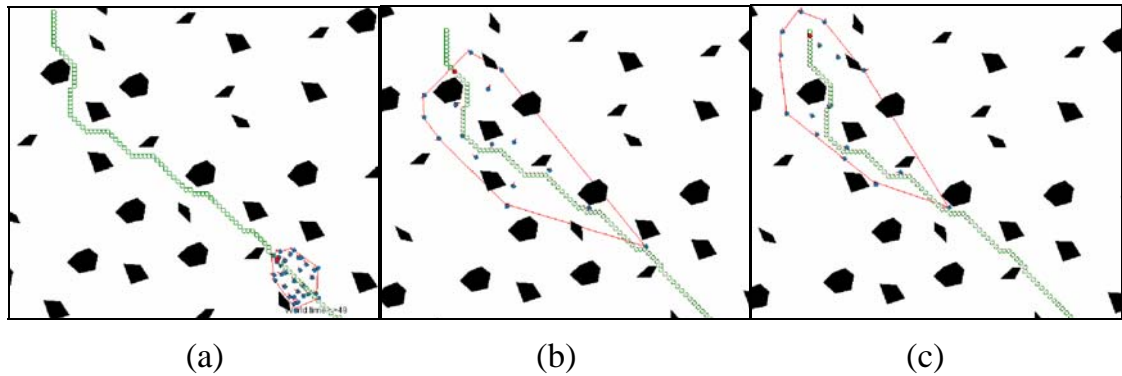


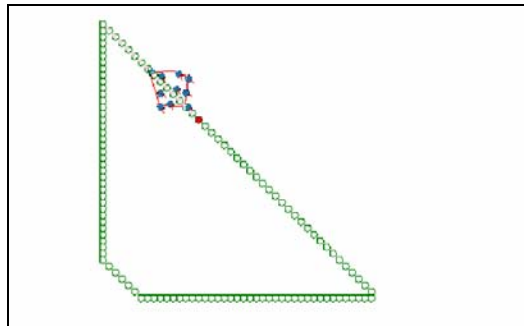
圖 5.10 鬆散移動行為在多障礙物路徑的表現

在鬆散移動行為的實驗中，我們可以跟緊密移動行為的實驗設計來比較。目前在實驗設計下，這兩種行為之間的差別主要便是人群相對距離的設定。群聚行為設定的距離為群眾之間所保持的相對距離 2 個單位，鬆散行為所設定的群眾之間所保持的相對距離 10 個單位，這樣的設定便可產生出不同的移動行為。透過表 5.5 的觀察，我們可以知道這兩種行為的產生在虛擬力的設定下主要便是分離力與內聚力強弱的比例關係。另外環境因素的確會對於我們演化出來的移動行為有所影響。以鬆散行為通過狹隘通道的過程中，便無法如預期的表現出我們所設定的距離大小。

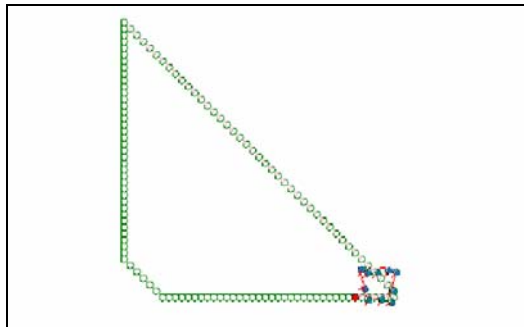
### 5.2.3 追隨移動行為

我們在追隨移動行為的實驗設計中，採取了有別於之前的實驗設計。我們在空白場地主要是透過路線的轉折，來觀察人群是否可以保持我們所期望的追隨行為。我們設定追隨人群與領導者的相對距離為 0，同時對於人群之間的距離設定為 3。在追隨行為的實驗中，人群便是追隨圖中的紅色點並且保持相對距離為 0；演化出來的動畫結果如下圖 5.11 所示。在圖 5.11 中我們可以觀察出，人群的確可以追隨移動中的領導者，不會因為路徑的轉折而無法保持相對距離。在這實驗中我們目前設定追隨者群與領導者的相對距離 ( $G_B$ ) 適應函數表現為 94.41。我們可以將這樣的保持距離延伸到不同追隨距離的討論。我們接下來討論當在狹隘通道時候，人群是否能夠追上移動中的領導者，呈現我所期待的追隨移動行為。由於多人數的表現必然在追隨方面的適應函數表現會較差，因此我們在追隨移動行為的實驗將人數設定為 10 人來做討論。透過演化我們得出以下動畫結果，

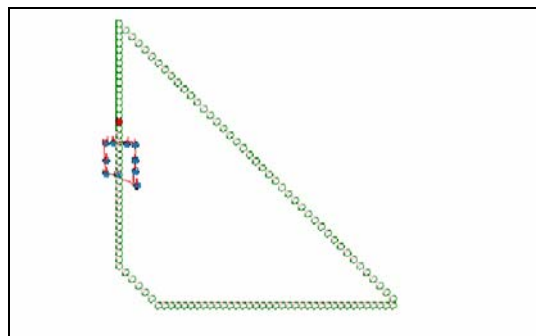
如圖 5.12 所示。



(a)

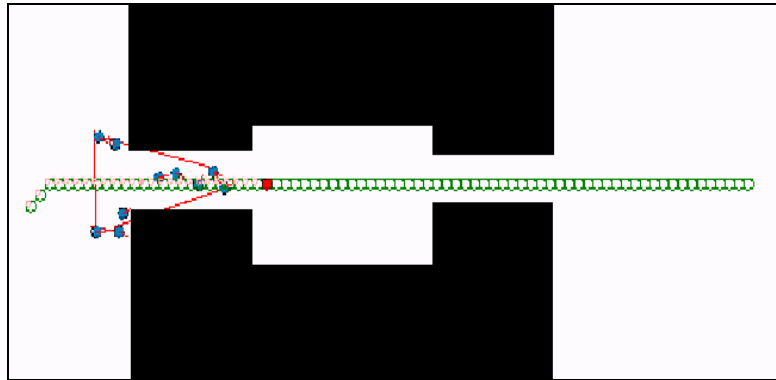


(b)

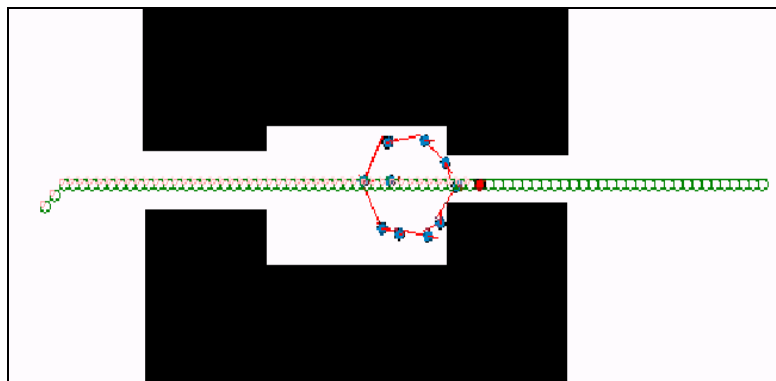


(c)

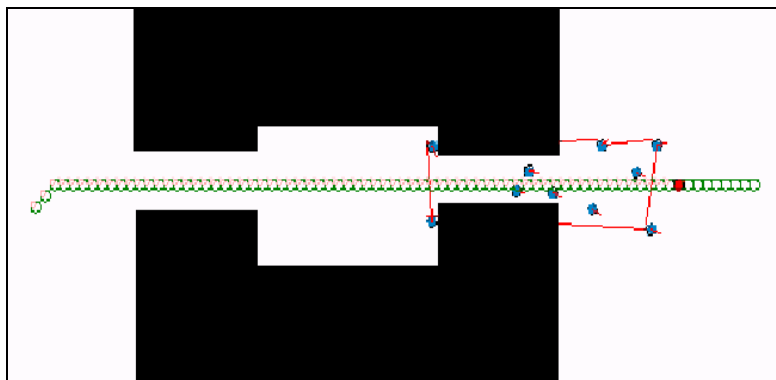
圖 5.11 追隨移動行為在空白場地的表現



(a)



(b)



(c)

圖 5.12 追隨移動行為在狹隘通道的表現

在表 5.4 中我們可以知道實驗 3B 為了要保持與領導者相對距離為 0 的要求，便無法顧及到人群之間的距離。另外，我們從表 5.5 的虛擬力權重可以知道當追隨領導者為最重要的要求時，會反應在追隨力的設定(0.9)，同時對於障礙物的排斥力(0.16)是較弱的，如此可以使人群會不顧一切地追向追隨者。



在實驗 3C 中我們如同上面兩個實驗來設定人數，其他的設定遵照實驗 3A 的設定來演化。多障礙物環境中追隨行為的實驗結果，如圖 5.13 所示。在實驗 3C 中人群追隨的 ( $G_B$ ) 表現為 83.19 參考表 5.4 中，但因為障礙物在追隨路徑上，使人群在追隨過程面臨障礙物碰撞的可能，所以追隨領導者移動的表現就不比空白環境來的好，( $G_B$ ) 與 ( $G_D$ ) 的適應函數表現就不比實驗 3A 的分數好。

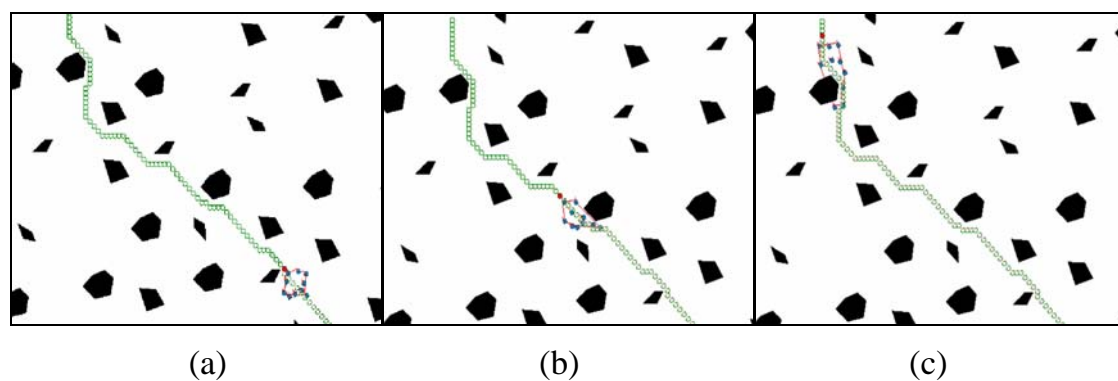
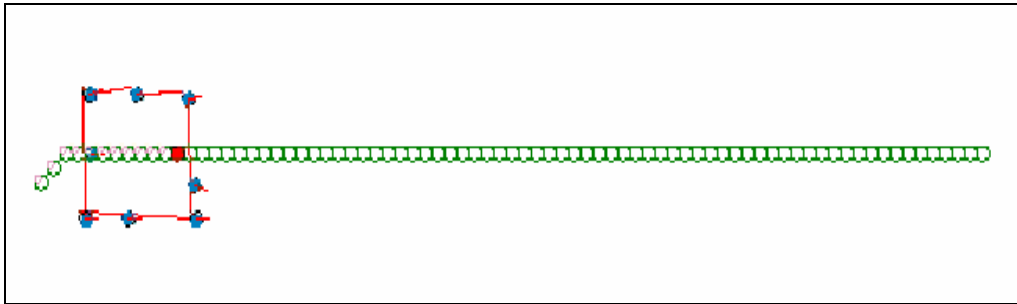


圖 5.13 追隨移動行為在多障礙路徑的表現

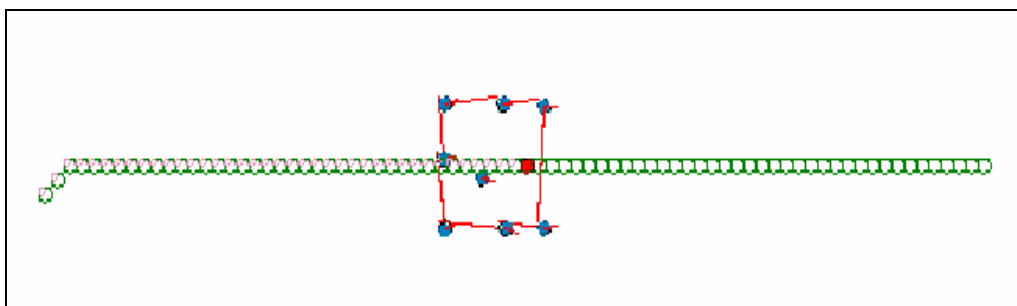
在追隨行為的實驗結果中，參考表 5.4 與表 5.5 的實驗數據，我們可以發現在實驗 3C 的環境下，人群所移動的路徑因有環境障礙物影響，使得再追隨目標物的表現略差於實驗 3A，但追隨力的權重仍相較於其他 4 個虛擬力來得重要。

#### 5.2.4 包圍移動行為

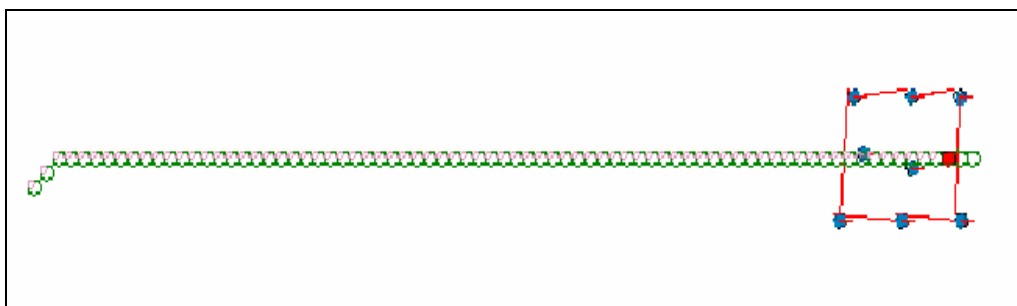
我們對於此行為的設計，主要是討論人群是否可以對重要人物以包圍方式來進行移動。有別於追隨行為，我們增設了在人群相對距離 ( $G_B$ ) 的權重較其他適應函數的權重來得大。我們在包圍移動行為的設定上人群與領導者相對距離 ( $G_B$ ) 是設定為 0，以希望領導者身後的追隨者都可以保持最近的相對距離。另外，人群之間的距離 ( $G_A$ ) 設定為 8 個單位，以具有較大的包圍空間。我們期待看到領導者可以被包圍在追隨者中。如圖 5.14 所示，在空白場地針對包圍移動行為所演化得出的動畫效果。



(a)



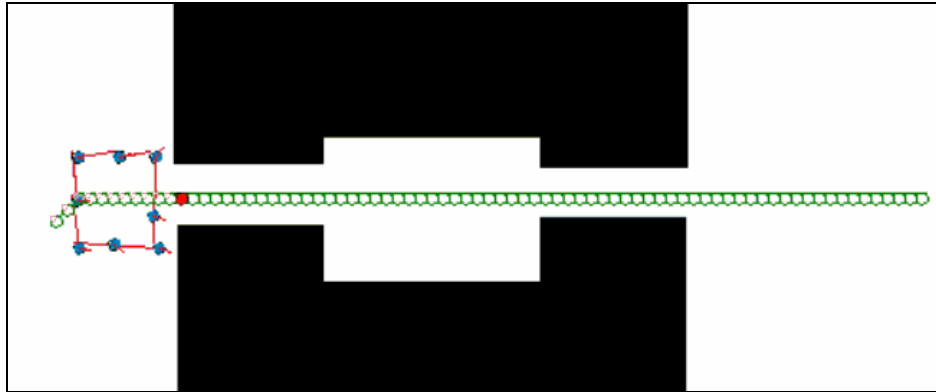
(b)



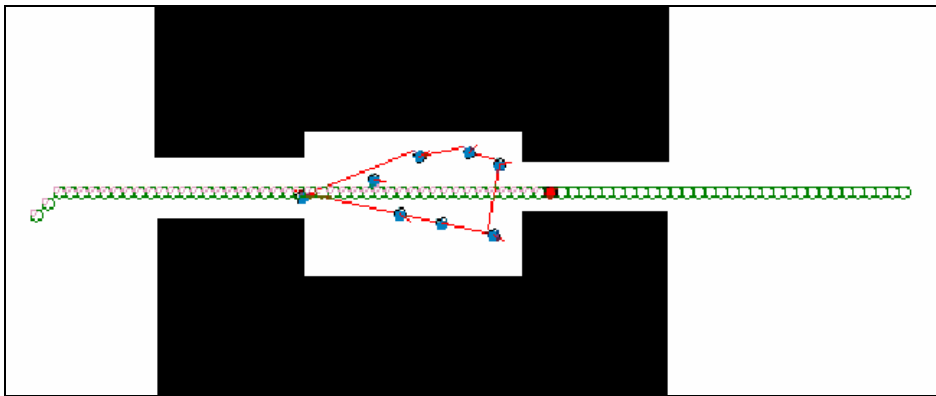
(c)

圖 5.14 包圍移動行為在空白場地的表現

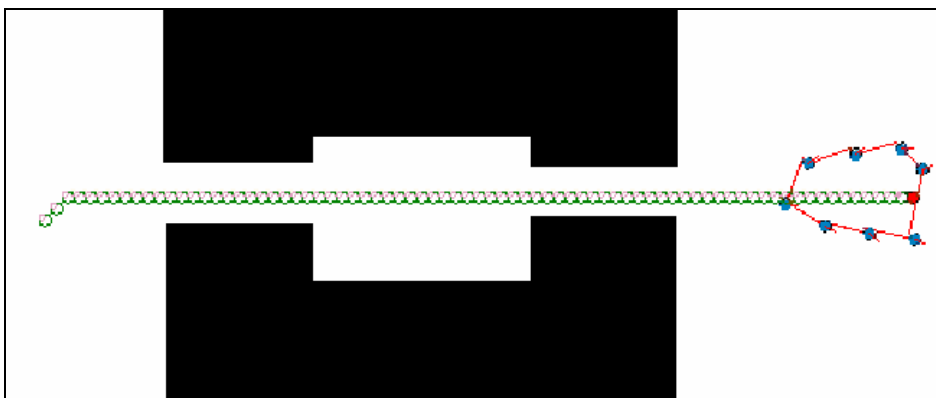
在圖 5.15 中我們可以觀察出，人群尚未進入通道前的確可以呈現包圍的狀態，但為了要保持這樣狀態下通過通道便無法追上移動中的領導者如圖 5.14(b)所示。在這實驗中我們目前設定追隨者群與領導者的相對距離( $G_B$ )為 0，直到出了通道口才有活動空間進行包圍移動，如圖 5.14(c)所示。



(a)



(b)



(c)

圖 5.15 包圍移動行為在狹隘通道的表現

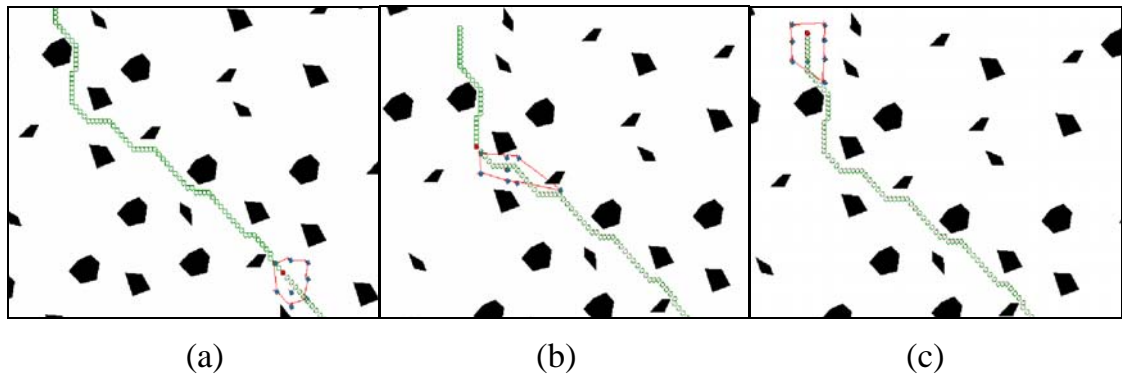
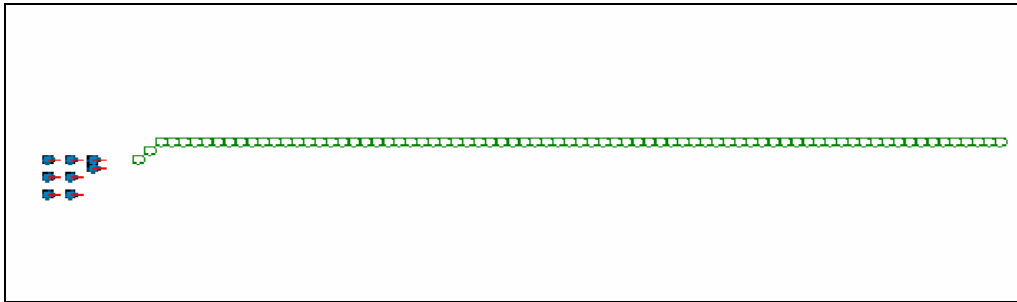


圖 5.16 包圍移動行為在多障礙物路徑的表現

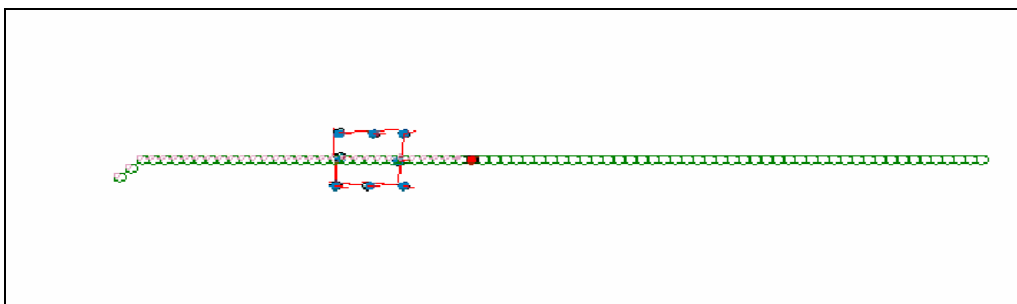
實驗 4C 的實驗結果如圖 5.16 所示，多障礙物的路徑下，同時跟上領導者與維持包圍性空間是不容易的。在這障礙物多的環境下，我們需要強勢的追隨力(0.96)以及低調準力(0.06)使得人群保有高度自主性。因此在包圍移動行為的實驗中，如何保持包圍性與追隨性是包圍行為有別之前追隨行為與相對距離行為的差異。在包圍移動行為中我們對於於追隨者保持最近的移動距離是相當重要的，同時又需要維持包圍的特性，在實驗 4C 中我們設定了人與人平均距離為 8 個單位，來達成空間包圍的效果。另外在實驗 4B 及實驗 4C 中我們可知道由於地形的特色，使得多人數的人群難以維持跟移動中領導者的相對距離。因此多人數的表現並不理想，所以我們在目前實驗 4B 及實驗 4C 中劇本設計是以較少人數的方式來進行包圍移動。

### 5.2.5 移動一致性行為

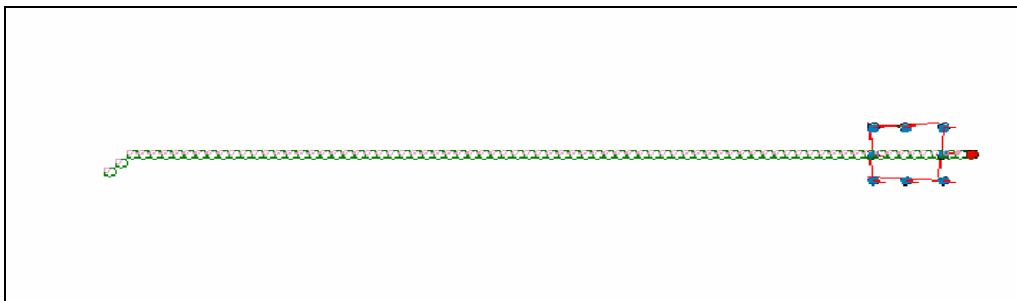
我們對於此行為的設計，主要是放在人群之間相對距離的維持與移動面向的一致性。相較於群聚移動行為與鬆散移動行為的特色，在於滿足使用者對於人群彼此之間的平均距離設定，而追隨與包圍移動行為是與目標物之間保持最近距離。因此我們在移動一致行為的特色則是在人群相對距離的恆常性的權重，相較於其他適應函數的設定會來得更大大。我們首先在空白場地以多人數的設定來進行實驗討論，實驗結果如圖 5.17 所示。在圖 5.17(b)及 5.17(c)中顯示人群在移動過程中會維持較一致的距離與方向性。我們對於人群之間的距離設定為 8 個單位，人群與領導者相對距離( $G_B$ )是設定為 1。



(a)



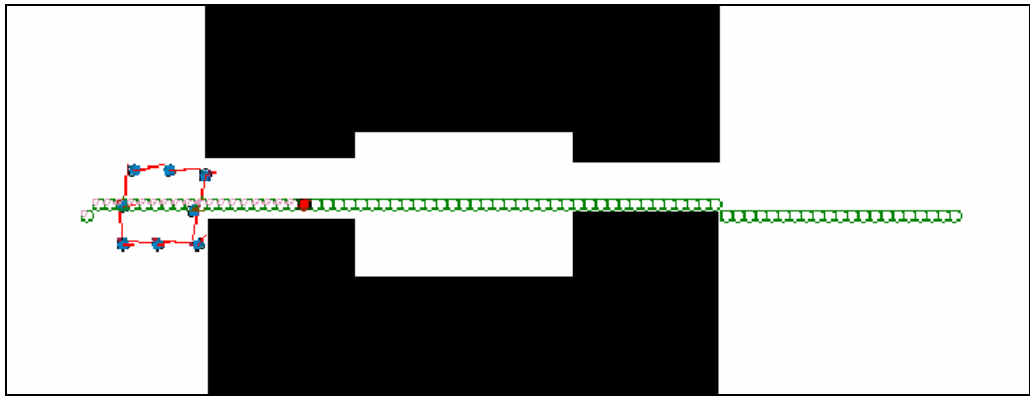
(b)



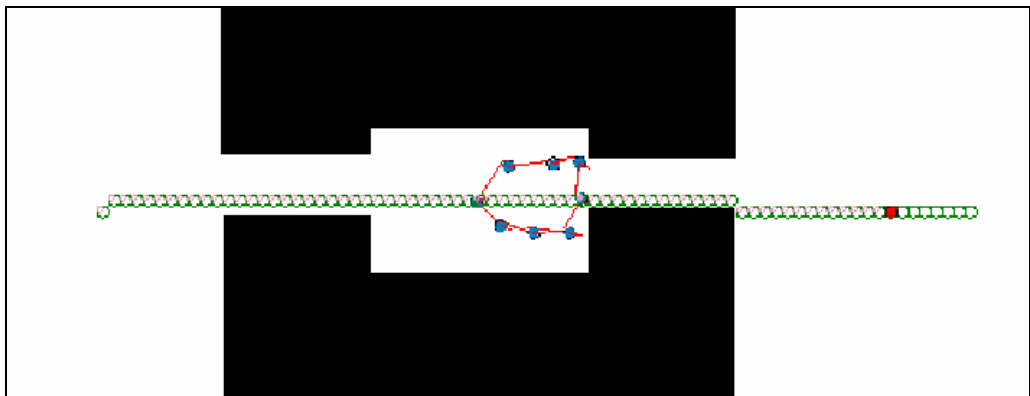
(c)

圖 5.17 移動一致性行為在空白場地的表現

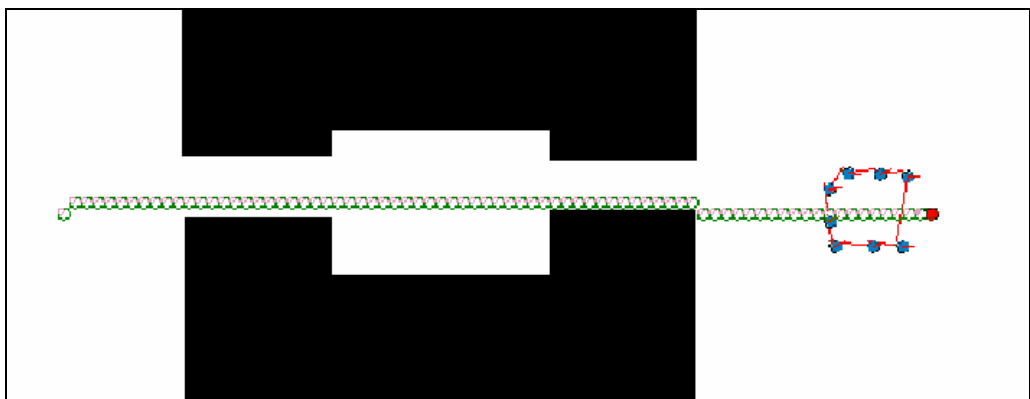
實驗 5A 的結果顯示人群具方向與距離一致的行為(圖 5.17)。由於實驗 5A 的人數對於狹隘通道過多，所以我們在實驗 5B 中我們設計設定人數為 8 人的人群，觀察這群人來通過狹隘通道。在圖 5.18(a)尚未進入通道前人群能呈現我們所預期的行為，隨後開始進入通道之後，我們可以觀察出來在通道中較大空間地方仍有表現的可能(圖 5.18(b))，最後出了通道口後便可呈現出我們所期待看到的移動行為如圖 5.18(c)所示。



(a)



(b)



(c)

圖 5.18 移動一致性行為在狹隘通道的表現

最後在實驗 5C 的設計中，我們以人數為 8 的較少人群數來討論多障礙物路徑的移動行為。人群在一開始進入路徑前會形成我們期待的移動組態(圖 5.19(a))，但開始進入

障礙物路徑之後，一方面要通過，同時又要維持一致行為，所以在追隨力的部分自然弱化(參考表 5.5 實驗 5C 中的追隨力為 0.23)，最後我們在圖 5.19(c)中可以看到我們仍以移動一致性到達目的地。

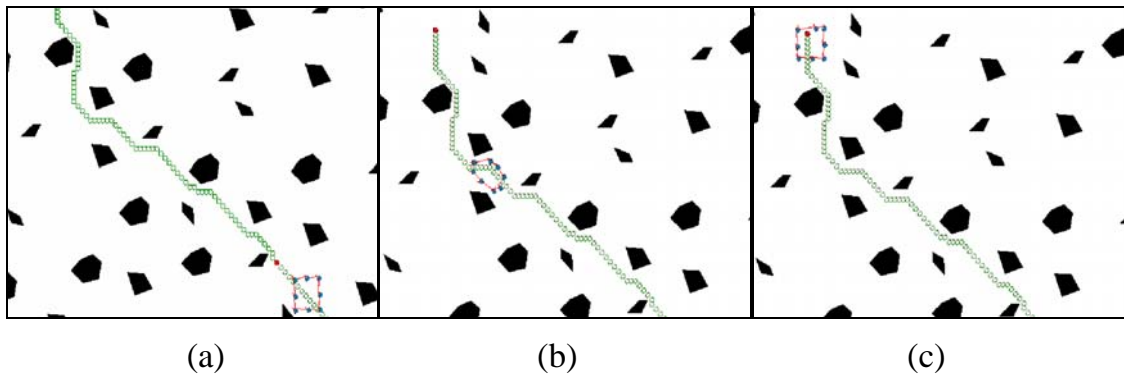


圖 5.19 移動一致性行為在多障礙物路徑的表現

移動一致性行為的實驗，是我們目前討論移動行為中最為複雜的行為表現。在目前實驗的結果中，我們發現以實驗 5A 單純環境表現的效果最好。在大樣本人數放入實驗 5B 及實驗 5C 的效果，受限於地形因素表現並不好。因此我們目前所討論的對象便是以小樣本人數為主。從目前實驗數據看來，追隨力在此行為中的影響性就不是主導因素。這點有別於追隨移動行為或是包圍移動行為，此兩種移動行為皆為追上領導者為主要目標，因此在追隨力的影響性是相對另外四個虛擬力來得重要。但在移動一致性行為的實驗中如何維持自身結構的特性將使得追隨力的影響性減少，我們可以在表中看到實驗 5B 及實驗 5C 中的追隨力表現不比其他力來得重要。

綜合上面對於環境與特定移動行為的實驗結果，我們可以知道環境對行為的影響，使得我們需要針對典型環境來進行不同移動行為的演化討論。但這樣所演化出來的參數是不是可以套用在不同人群數目的規模上面，以下我們便進行行為與不同人群數目的實驗討論。

我們首先以實驗 1A 所得出的虛擬力權重組合套用到不同人群數目規模，來討論人

數規模是否會有差異，我們分別設計了兩種人群數目見圖 5.20(a)為設定 50 人；圖 5.20(b)為 100 人，此兩組人群都設定在空白場地中由左向右移動。透過與原先實驗 1A 中人群數目為 30 人所演化出來的參數，套用到不同人數上面得到適應函數表現參考表 5.6 中的實驗 1A-50 與 1A-100。

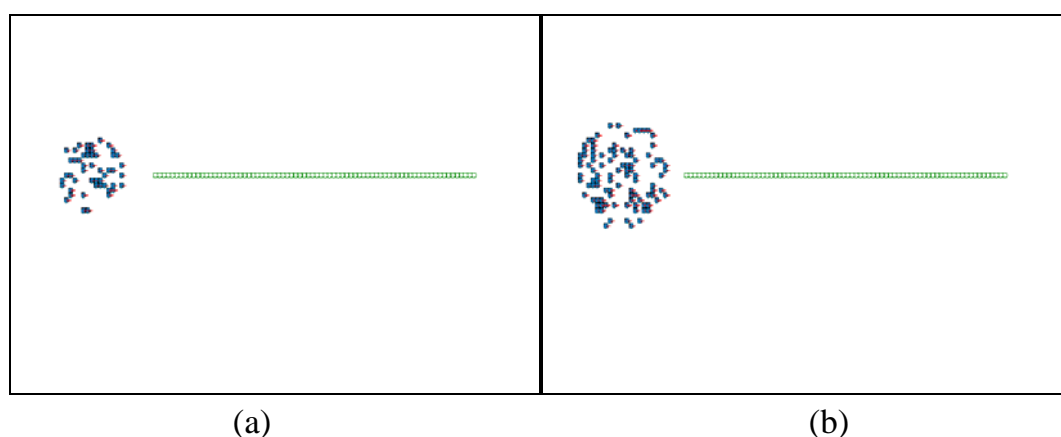


圖 5.20 關於人群數目的初始化設定

表 5.6 以群聚移動行為在不同人群數目的演化結果討論

	$W_1 * G_A$	$W_2 * G_B$	$W_3 * G_C$	$W_4 * G_D$	$W_5 * G_E$	$F_{sum}$
實驗 1A	162	63	0	70	0	295
實驗 1A-50	150	47	0	62	0	259
實驗 1A-100	186	44	0	50	0	280
實驗 1A-50*	166	85	0	50	0	301
實驗 1A-100*	164	79	0	56	0	299

從表 5.6 的實驗結果可以知道，套用在實驗 1A 中所設定的虛擬力參數，在原本較少人數的情況下所找到的虛擬力參數套用在更大規模的人數是可被接受的。另外，從碰撞次數的表現也反應出人群數目的不同，當數目越大時候發生碰撞的次數越多。這點對於日後大量人群數目的討論是相當重要，畢竟當人群數目越多時候，我們就可以先在小樣本的模擬實驗下得出表現不錯的虛擬力組合，做為其他規模度套用的依據。另外我們以此兩組不同的人群數目，分別在實驗 1A-50\* 進行人數 50 人的演化與實驗 1A-100\* 下進行



人數 100 人的表現。我們在觀察演化之後的表現後，以實驗 1A-50 與實驗 1A-50\* 相比較後發現演化後的表現的確優於實驗 1A-50，但在平均距離為 2 個單位的表現看來並未是比實驗 1A-50 高，但仍有相較於鬆散行為呈現出群聚移動的效果。我們將這兩組的表現摘要以圖 5.21 所示。實驗 1A-100 與實驗 1A-100\* 則是討論當人群數目為 100 人時候，套用實驗 1A 的虛擬參數權重(圖 5.22(a))與經由演化所得出的虛擬力權重(圖 5.22(b))兩者之間的比較。

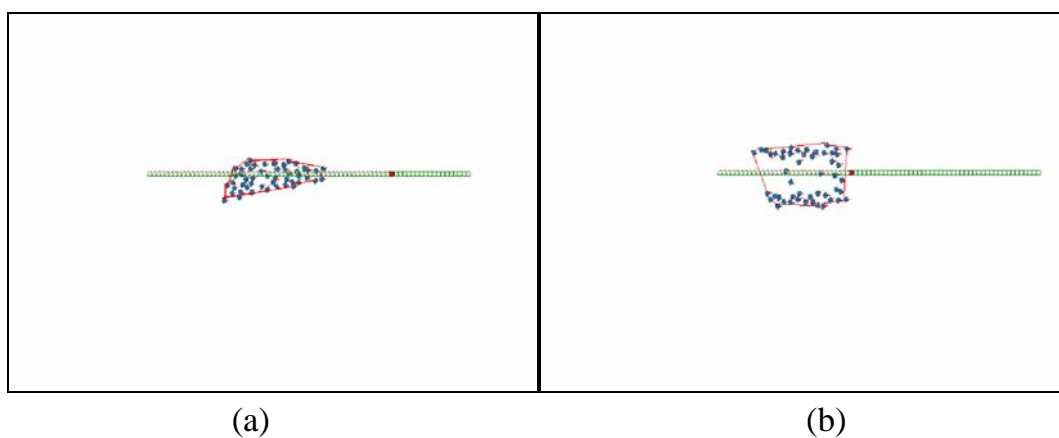


圖 5.21 實驗 1A-50 與實驗 1A-50\* 比較

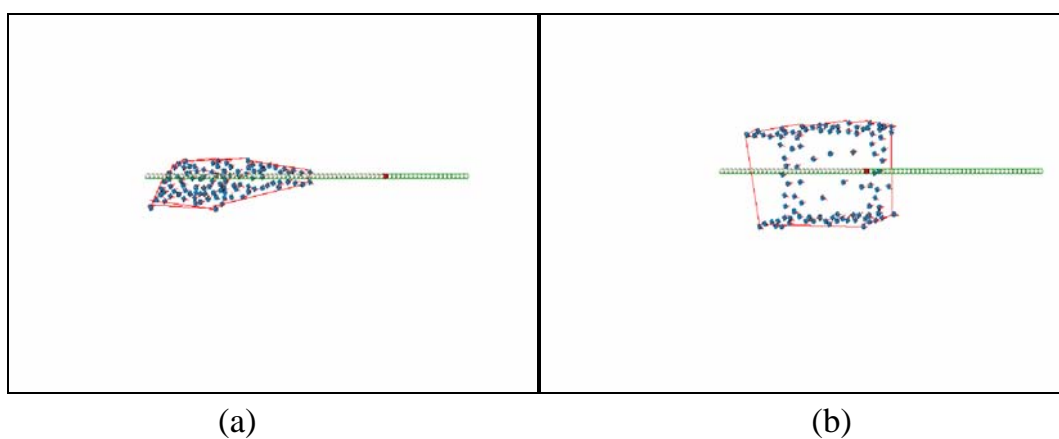


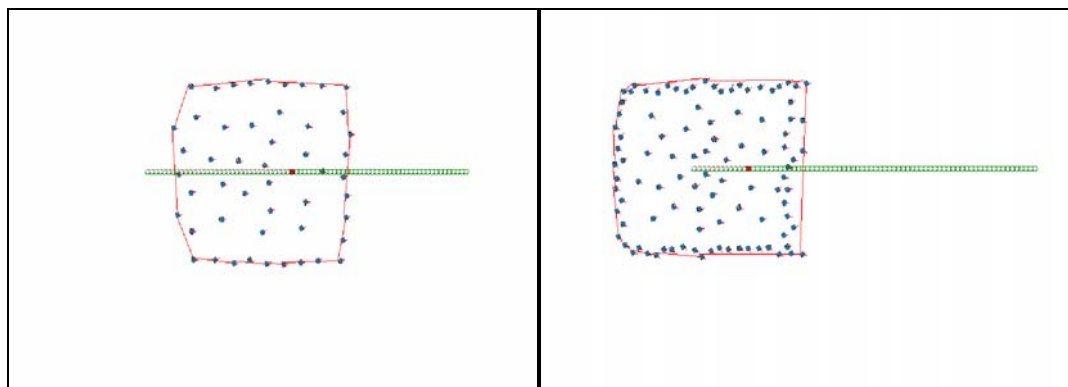
圖 5.22 實驗 1A-100 與實驗 1A-100\* 比較

從圖 5.22 看到實驗 1A-100 與實驗 1A-100\* 皆表現出來當人數為 100 人時候，人與人平均距離為 2 的效果，不過在實驗 1A-100\* 所演化出來的參數在追隨目標物的表現更好。使得演化所得出的整體效果優於實驗 1A-50\*。總結來看，我們是可以先透過小樣本的人群數目找出不錯的虛擬力組合，應用在不同人群數目上面。

另外我們針對鬆散行為也做了相同的實驗，按照實驗 2A 的設定與虛擬力參數設定，來看不同的人群數目套用至人群數目為 50 人的實驗 2A-50 與 100 人的實驗 2A-100，所得出的適應函數表現參考表 5.7。在原本實驗 2A 的人群為 30 人，套用相同虛擬力權重在 50 人與 100 人的實驗下，所表現的適應函數值並不如實驗 2A 中的表現。此表現與人數成反比。也就是說我們在實驗 2A 中 30 人的設定演化出來的虛擬力對於人數越來越多的情況下，效果遞減。若與群聚移動行為比較，這樣表現雖不好，但從畫面呈現來看，仍是有相對於群聚行為的鬆散表現。表現不好的原因在於人數多時，一方面為了要維持鬆散行為，同時又要兼顧朝向往相同目的地移動，本來就是件不容易事情。因此當人數變多時候，就算是透過演化所得到的參數，也不是很好。因此在鬆散移動行為的表現中，本身就不容易有好的適應函數值的表現，如圖 5.23(a)與 5.23(b)分別表示 50 人與 100 人的動畫呈現，以圖 5.23(b)100 人為例，在最外圍的人群便無法跟前後鄰近者保持相對距離為 10 個單位。

表 5.7 以鬆散移動行為在不同人群數目的演化結果討論

	$W_{1*} G_A$	$W_{2*} G_B$	$W_{3*} G_C$	$W_{4*} G_D$	$W_{5*} G_E$	$G_{sum}$
實驗 2A	140	76	0	99	0	315
實驗 2A-50	62	72	0	99	0	233
實驗 2A-100	28	69	0	98	0	195
實驗 2A-50*	106	68	0	95	0	269
實驗 2A-100*	122	41	0	95	0	258

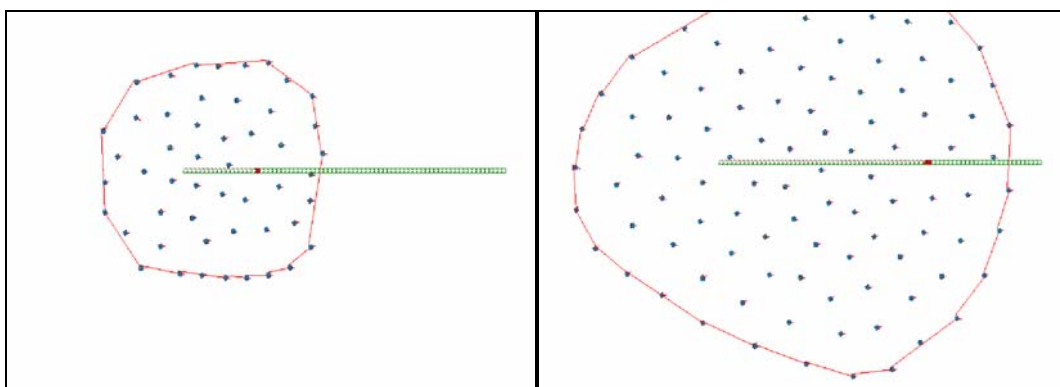


(b)

(b)

圖 5.23 實驗 2A-50 與實驗 2A-100 實驗結果

我們另外針對 50 人與 100 人分別演化出來最好的虛擬力，並得出相關適應函數表現參考表 5.7 中實驗 2A-50\* (圖 5.24(a)) 與實驗 2A-100\* (圖 5.24(b))。在透過演化之後所得出的表現的確優於實驗 2A-50 與實驗 2A-100 中關於人與人之間平均距離的表現。以圖 5.23 與 5.24 知道在實驗 2A-50 與實驗 2A-100 中人數之間的分佈並不平均，過多的人數圍繞在人群的最外圍，使得表現不如演化後的移動表現。在鬆散行為與不同人群人數的討論中我們發現無法套用小樣本人數所產的虛擬力權重，是因為人數過多對於疏散行為本身就不易表現，這時候我們便需要透過演化方式來演化出所需的虛擬力權重。



(c)

(b)

圖 5.24 實驗 2A-50\* 與實驗 2A-100\* 實驗結果

綜合上面所討論的 5 種人群移動行為，我們可以觀察到行為與行為之間不同的特性可以反映在虛擬參數權重上面，就演化出來在群聚移動與鬆散移動行為的實驗結果來說，分離力與內聚力的比例是反比。在群聚移動的行為與鬆散行為的表現中，我們可以觀察出來內聚力與分離力在群聚移動行為上以內聚力的權重為大，在鬆散行為中則以分離力權重為重，參考表 5.4 中群聚移動行為實驗的分離力與內聚力表現。在追隨行為的實驗討論，我們可以觀察出來追隨力的權重的確可以反映在追隨行為上面。另外，在包圍移動行為上由於我們要求追隨者要能以最接近移動中的領導者，所以這部分會反映在追隨力的權重上面，因此包圍移動便是同時達成對於追隨行為的實現與人群之間距離的設定的兩項要求。對於移動一致性行為的表現，我們主要是觀察人群是否能透過虛擬力權重設定，表現出在移動過程中人群是否能夠維持一致的方向性與距離相對之間的一致性。從實驗結果知道，人群在移動一致性行為中對於追隨力的權重是比追隨與包圍行為來得低，一旦追隨力權重變大，就會導致人群不顧一切往目標物移動而無法維持人群彼此之間的距離一致性。

我們在本章中對於人群移動的模擬實驗設計了五種移動行為與三個環境，透過演化方式得出移動行為所對應的虛擬力組合。從實驗的結果知道，我們對於移動行為所需的適應函數種類與權重的確可以評估出我們討論的不同移動行為。我們知道日後若有不同環境的考量設計，我們可以藉由目前實驗所設定的適應函數組合來演化出適合的虛擬力。