


第三章

虛擬人個體運動模型

在本研究中，我們對於人群的設計是以虛擬人的個體設計為出發點，設計擬人的運動模型與碰撞策略。我們將在 3.1 節中說明虛擬人的移動特質，在 3.2 節中說明產生移動行為所需的虛擬力是如何設計，以及在 3.3 節中說明在移動過程中，處理不同碰撞事件的方式。

3.1 群眾的個體設計架構



首先，我們參考[30][31]的虛擬力法則來設計人群中虛擬人物的移動機制，並針對人移動的特性設計適切的虛擬力法則。個體虛擬人受虛擬力的驅動，產生下一步的方向與位移長度。由於人的生理限制，因此我們將單位時間內虛擬人在轉體運動的最大轉動角度設定在 22.5 度角。另外我們設定人的可視角度範圍為 330 度角，而視野距離長度是以單人所佔用空間直徑的 20 倍長(如圖 3.1 所示)。我們將在可視範圍內的其他虛擬人物定義為鄰近者。在圖 3.1 中編號 1 為目前活動的虛擬人，此虛擬人的前方有一實心線向量，表示此虛擬人目前的速度。由於在視野範圍內可看到編號 2 的虛擬人，使得兩虛擬人之間產生影響關係。例如在本圖所產生的虛擬力(分離力)是為雙方欲保持一定之相對距離而設計的，這種關係在圖中以虛線來表示，對於視野範圍外的虛擬人，由於是在編號 1 的視野範圍以外，所以不會對它產生影響。對於虛擬力的種類與產生方式，我們將在下

一節中分別來討論。

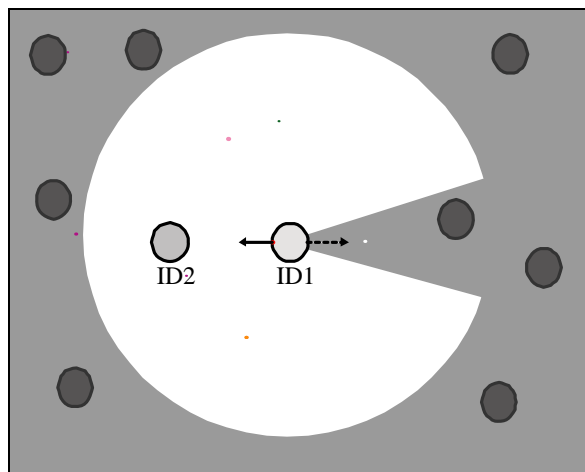


圖 3.1 視野範圍圖

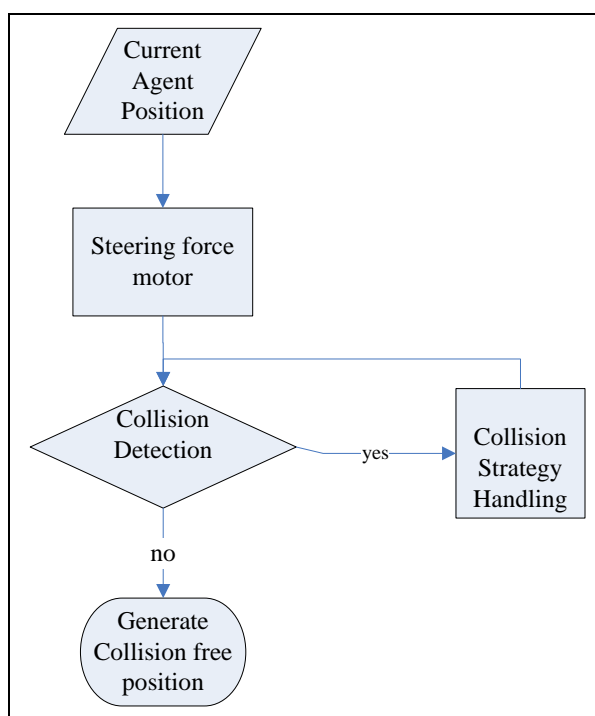


圖 3.2 運動產生流程圖

圖 3.2 是群眾的個體設計架構圖。虛擬人會先透過虛擬力模組(steering force module)計算各種力的影響，再利用各虛擬力的總和，求出經由力影響後速度上的變化。在本系

統中，移動的方式是在目前的位置上，加上目前速度乘上時間單位所得位移，計算下一步位置。此位置若發生碰撞，則因碰撞的種類不同，進行相對的碰撞處理機制，最後產生出安全的下一步移動位置。關於碰撞機制的說明，在 3.3 節有更為詳盡的說明。

3.2 虛擬力的設計

虛擬力是決定虛擬人移動方向與距離的主要依據。在目前的系統中，有下列 5 種力：分離力(separation)、調準力(alignment)、內聚力(cohesion)、追隨力(following)、及對障礙物的排斥力(repulsion)。藉由力相互的影響，可表現出不同的人群移動現象。而 5 種力的適用範圍，是由個體的視野範圍來決定。虛擬人分別針對鄰近者計算出不同的虛擬力，再合成最後的影響力。下面我們分別說明 5 種虛擬力的設計方式。

分離力(F_{sep})：針對同一群體中的鄰近者，計算其兩者之間的距離，並利用此距離的長短來計算排斥力強度。兩者距離越近，則分離力就較大。此力用來讓群體之間維持一個安全的距離，在圖 3.3 中虛擬人前方有一實心線向量，表示此虛擬人目前速度的快慢與方向性。由於在視野範圍內可看到兩位虛擬人，使得虛擬人之間產生影響關係，在圖中以淺色虛線連接。在本圖所產生的虛擬力(分離力)為雙方欲保持彼此相對距離的關係，這種關係在圖中以深色虛線箭頭來表示虛擬力的方向與強度。

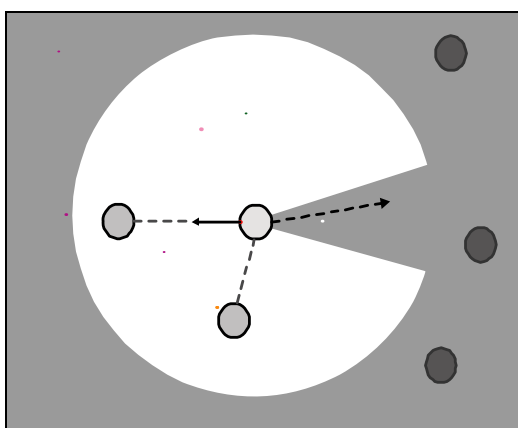


圖 3.3 分離力

在方程式 3.1 我們首先計算自身所處位置(P_i)與鄰近群位置(P_j)的相對距離($d_{(i,j)}$)，參考方程式 3.2 求出兩者之間的分離力(f^j)，我們定義了 Q_{sep} 為了做為正規化用途，使得分離力(f_{sep}^j)表現在[-1,1]之間，並代入方程式 3.3 正規化後得出兩者之間的分離力(f_{sep}^j)，按照此方式分別求出自身與鄰近者群的分離力，最後加總得到分離力(F_{sep})參考方程式 3.4。

$$d_{(i,j)} = \sqrt{(P_x^i - P_x^j)^2 + (P_y^i - P_y^j)^2}, \quad P_i \neq P_j \quad (3.1)$$

$$f^j = \frac{1}{d_{(i,j)}} \quad (3.2)$$

$$f_{sep}^j = \frac{f^j}{Q_{sep}}, \quad f_{\min} \leq f_{sep}^j \leq f_{\max} \quad (3.2)$$

$$F_{sep} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} f_{sep}^j}{n-1}, \quad i \neq j \quad (3.4)$$

調準力(F_{align})：針對同群體的鄰近者計算群體的平均速度，再計算出自身的速度與群體平均速度的差異。此速度差異的向量，可作為個體要調整至群體一致方向所需的調整量，以作為調準力的計算依據。如圖 3.4 中，虛擬人前方有一實心線向量，表示此虛擬人目前的速度。根據視野範圍內其他虛擬人群目前的速度(實心線箭頭表示)，可以求出此群虛擬人的平均速度，再求出與自身目前速度差異的向量，以本圖所產生的虛擬力(調準力)，經由調準力的加入後，所改變的新速度在圖中以深色虛線箭頭來表示速度的方向與強度。

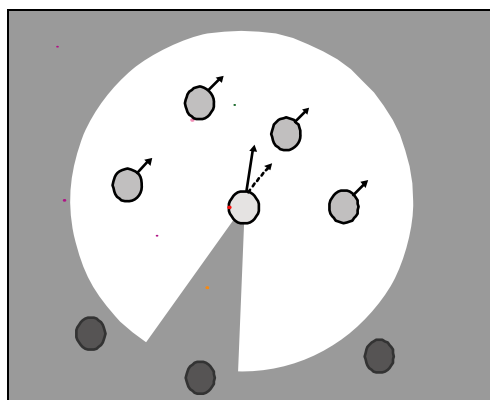


圖 3.4 調準力

我們首先計算鄰近群的平均速度(V_{avg})參考方程式 3.5，求出自身速度與鄰近群平均速度的差異作為調準力(f_{ali})的依據參考方程式 3.6，我們定義了 Q_{ali} 為了做為正規化用途，使得調準力(F_{ali})表現在[-1,1]之間，代入方程式 3.7 正規化後得出自身與鄰近者群的調準力(F_{ali})。

$$V_{avg} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} (v_j)}{n-1}, \quad i \neq j \quad (3.5)$$

$$f_{ali} = V_{avg} - v_i \quad (3.6)$$

$$F_{ali} = \frac{f_{ali}}{Q_{ali}}, \quad F_{min} \leq F_{ali} \leq F_{max} \quad (3.7)$$

內聚力(F_{coh})：針對同一群體的鄰近者求出此個別相對距離的移動分量並求其平均。此平均可視為群體中心，再根據此中心與個體自身移動分量的差異量，便是可計算個體的內聚力。在圖 3.5 中虛擬人前方有一實心線向量，即表示此虛擬人目前速度。視野範圍內的群體中心在圖中是以虛線交會處表示。以此群體中心與自身移動分量的差異量做為個體內聚力的計算根據，在圖中以深色虛線箭頭來表示。

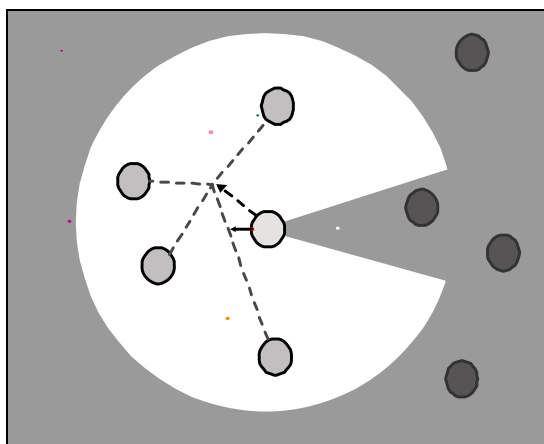


圖 3.5 內聚力

我們首先計算鄰近群的中心位置(*center*)參考方程式 3.8，求出自身位置與鄰近群中心位置的差異作為內聚力(f_{coh})的依據參考方程式 3.9，我們定義了 Q_{coh} 為了做為正規化用途，使得內聚力(F_{coh})表現在[-1,1]之間，代入方程式 3.10 正規化後得出自身與鄰近者群之間的內聚力(F_{coh})。

$$center = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} P_j}{n-1}, \quad i \neq j \quad (3.8)$$

$$f_{coh} = center - p_i \quad (3.9)$$

$$F_{coh} = \frac{f_{coh}}{Q_{coh}}, \quad F_{min} \leq F_{coh} \leq F_{max} \quad (3.10)$$

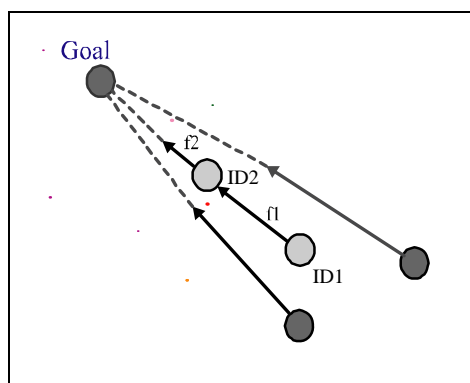


圖 3.6 追隨力

追隨力(F_{att})：針對目標所在位置，計算虛擬人目前位置與目標位置(Goal)的距離長度，此力與相對距離的長度成正比。當兩者相對距離越遠，其追隨力也就越大，如圖 3.6 所示。例如當虛擬人 ID1 與 ID2 分別距離目的地(Goal)的距離不同。id1 離目的地較遠使得所產生出來的追隨力 f_1 (在圖中以深色虛線箭頭表示)也較大。id2 與目的地的距離較短，id2 因此所產生的追隨力 f_2 (在圖中以深色虛線箭頭表示)會比 f_1 小許多。由於場景中障礙物的存在，使得虛擬人與目標間可能有障礙物的阻隔。本研究採用[20]所提出的方法，利用虛擬人與目標兩者間的相對位置，檢查相對位置中是否無障礙物影響。若有障礙物阻隔，利用此軌跡提供虛擬人找尋無障礙物阻隔的位置，如圖 3.7 所示。

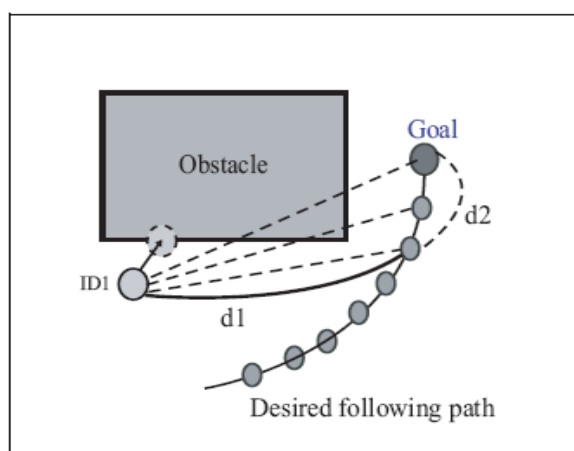


圖 3.7 群體路徑圖

在方程式 3.11 我們首先計算自身所處位置(P_i)與上述方式所找到的目的位置(P_g)的相對距離($D_{(g,i)}$)，以自身的視野範圍長度作為與目的位置的相對距離所需的加速倍數(d_v)參考方程式 3.12，代入方程式 3.13 與方程式 3.14 計算自身速度與所需要到達目的位置兩者之間所需的速度差異作為追隨力的參考(f_{att})，我們定義了 Q_{att} 為了做為正規化用途，使得追隨力(F_{att})表現在[-1,1]之間，正規化後得出追隨力(F_{att})。

$$D_{(g,i)} = \sqrt{(P_g - P_i)^2} \quad (3.11)$$

$$d_v = \frac{D_{(g,i)}}{E_r} \quad (3.12)$$

$$D_v = d_v \times S_{\max} \quad (3.13)$$

$$f_{att} = D_v - v_i \quad (3.14)$$

$$F_{att} = \frac{f_{att}}{Q_{att}}, \quad F_{\min} \leq F_{att} \leq F_{\max} \quad (3.15)$$

障礙物的排斥力(F_{rep})：障礙物的排斥力是虛擬人對於場景中的障礙物或邊界，所產生的排斥力，如圖 3.8 中實線箭頭所示。我們以虛擬人目前的速度 V_1 ，預測在 Δt 時間之後，在不改變自身速度的情況下，所應的到達的位置。若此位置與障礙物或邊界發生碰撞，則以自身目前位置與障礙物之間的相對距離產生障礙物排斥力。排斥力的方向性與自身目前速度方向是反向。

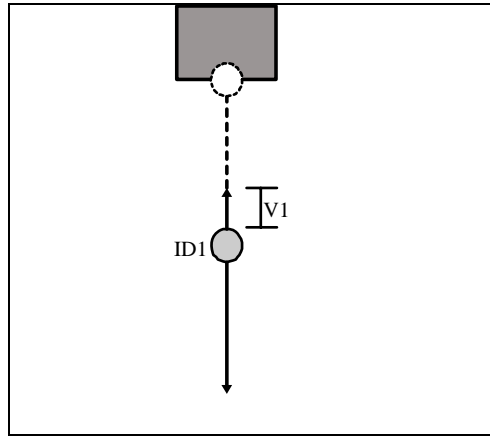


圖 3.8 障礙物的排斥力

在方程式 3.16 我們首先計算虛擬人自身所處位置(P_i) 配合自身目前的速度(v_i)，預測在 Δt 時間之後，在不改變自身速度的情況下所應的到達的位置(P_{obs})，當此位置會發生障礙物碰撞時，便以兩者相對距離作為障礙物排斥力的依據參考方程式 3.17，在方程式 3.18 中我們計算出障礙物的排斥力(f_{obs})，我們定義了 Q_{obs} 為了做為正規化用途，使得追隨力(F_{obs})表現在[-1,1]之間，正規化後得出兩者之間的分離力(F_{obs})參考方程式 3.19。

$$P_{obs} = P_i + v_i \times \Delta t \quad (3.16)$$

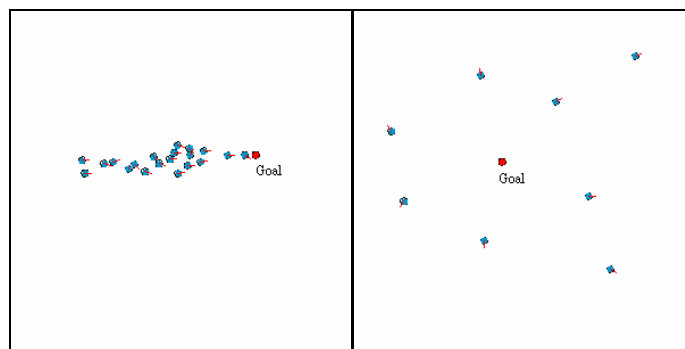
$$d_{obs} = \sqrt{(P_{obs} - P_i)^2} \quad (3.17)$$

$$f_{obs} = \frac{1}{d_{obs}} \quad (3.18)$$

$$F_{obs} = \frac{f_{obs}}{Q_{obs}}, \quad F_{min} \leq F_{obs} \leq F_{max} \quad (3.19)$$

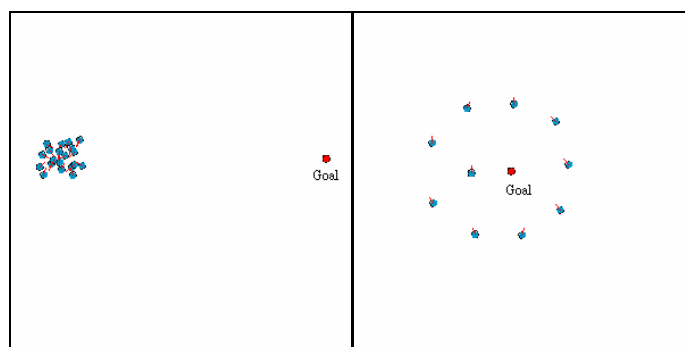
當上述的五項虛擬力產生之後，由於每項虛擬力的設計皆為不同，透過正規化方式來取得正規化之後的虛擬力。本研究中所採用的正規化方式為按照各項虛擬力本身的變化範圍取起合理的上下限區間範圍，以轉換為相同的尺度，使得虛擬力之間可以相互比

較。系統以不同的加權係數(S_1, S_2, S_3, S_4, S_5)，計算其總合力(F)((如方程式(3.20))，此便是驅動虛擬人運動的合力。我們可以透過圖 3.14 等看出不同的加權指數組合，的確對於人群移動行為有不同的作用。在圖 3.9(a)中我們設定 $S_1=1$ ，其餘 S_2, S_3, S_4, S_5 皆為 0 的情況下，可以看出只有追隨力的影響下，人群都往圖中目的地集中(見圖中紅色圈點表示為人群所欲前往的目的地)。在圖 3.9(b)中我們則是設定了 $S_2=1$ ，其餘 S_1, S_3, S_4, S_5 皆為 0，在只有分離力影響性下，人群彼此間的相對距離變大。在圖 3.9(c)中，我們設定了 $S_3=1$ ，其餘 S_1, S_2, S_4, S_5 皆為 0，我們可以看到人群在移動過程中其內聚力的影響。圖 3.9(d)中我們可以觀察到設定 $S_4=1$ ，其餘 $S_1=0.1, S_2=0.1, S_3=0.1, S_5=0$ 的組合裡，在調準力的主要作用下，人群在移動過程中對於周遭鄰近者群的方向性相當敏感。雖然可以保持群體移動方向的一致性，但若有其中一位虛擬人改變方向，則相當容易改變群體的方向。



(a)追隨力作用

(b)分離力作用



(c)內聚力作用

(d)調準力作用

圖 3.9 虛擬力作用效果圖

在本研究中運動機制的設計為以方程式(3.20)所得到總合力(F)，透過牛頓第二運動定律方程式求出加速度如方程式(3.21)，便可以決定虛擬人因虛擬力作用後。所改變的移動分量，得出經由虛擬力影響後的速度變化如方程式(3.22)。有了更新過後的自身速度，便可以求出下一步的位置如方程式(3.23)。

$$F = S_1 * F_{Att} + S_2 * F_{Sep} + S_3 * F_{Align} + S_4 * F_{Coh} + S_5 * F_{rep} \quad (3.20)$$

$$A = \frac{F}{M} \quad (3.21)$$

$$\vec{V}_i = \vec{V}_{i-1} + \vec{A} * \Delta t \quad \text{if } V > V_{max}, V = V_{max} \quad (3.22)$$

$$P_i = P_{i-1} + V_i * \Delta t \quad (3.23)$$

3.3 碰撞機制設計

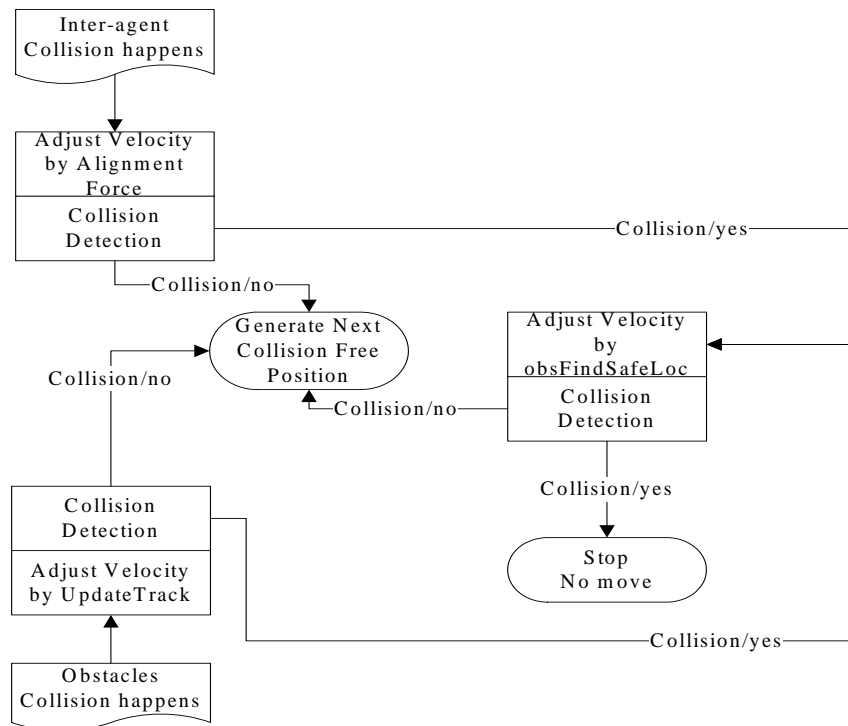


圖 3.10 碰撞偵測與處理流程說明

表 3.1 碰撞處理策略執行順序

處理策略 碰撞事件	策略一	策略二	策略三
行人	調準力	4 方向搜尋	停止, 留在原地
邊界或障礙物	參考群體軌 道	7 方向搜尋	停止, 留在原地

在 3.2 節虛擬力影響下所產生出的下一步位置，未能保證不會有碰撞發生。因此若碰撞偵測結果傳回發生碰撞的情況，則依不同碰撞情況交由不同的碰撞機制處理。如圖 3.10 所示，碰撞處理主要是利用調整虛擬人自身的速度，使得經由調整之後的速度，所產生的下一步，不再發生任何碰撞。本研究將邊界或是障礙物視為相同的處理機制來處理，虛擬人也按此相同流程來處理。以下我們將這些策略整理在表一中說明，當策略一無法解決碰撞發生時，就執行策略二。一但策略一、二皆無法得出無碰撞的下一步時，則使用策略三就是停止在原地不動。因此經由圖 3.10 的碰撞處理流程後，必會產生無碰撞(Collision Free)的下一步。針對表 3.1 中碰撞處理策略執行順序，以下分別說明各項碰撞策略。

3.3.1 調準力(Adjusting Velocity by Aligment Force)策略

調準力以目前自身的速度作減速的動作，避免發生碰撞。如圖 3.11(a)所示，當編號 1 的虛擬人以 V_1 速度產生的下一步位置，與編號 ID2 的虛擬人發生碰撞時，我們採用的是以編號 ID1 目前自身的調準力做為調整自身速度的依據，這樣的調整可使得自身的速度與鄰近人群保持一致的速度(圖 3.11(b)中的 V_2)，進而維持相對性的距離位置。以改變後的速度 V_2 可以求出出下一步位置如圖中 3.11(b)虛線圈所示。

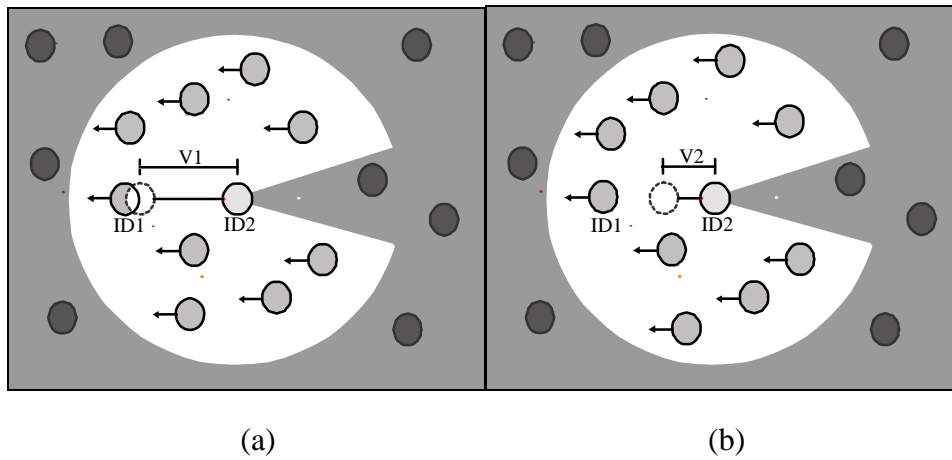


圖 3.11 調準力策略

3.3.2 四方向(Adjusting Velocity by FindSafeLoc)策略

目前本系統以虛擬人本身行進的速度方向定義為移動面向。在一般情況下，人移動中的方向性不會隨時更動，因此在我們的設計中，我們將此定義為「慣性面向」，依其此慣性面向的4個方向性(1,2,3,4)，配合自身目前的速度，所產生的4個位置，如圖 3.12 中虛線圈所示，我們透過碰撞偵測來檢驗此4個位置是否與其他虛擬人發生碰撞。在無發生碰撞的位置中，挑選其距離與自身所前往目的地的最近的無碰撞位置，便是所選擇的無發生碰撞的位置。有此位置後，便可透過方程式(3.22),(3.23)反推求出所需要調整的速度。

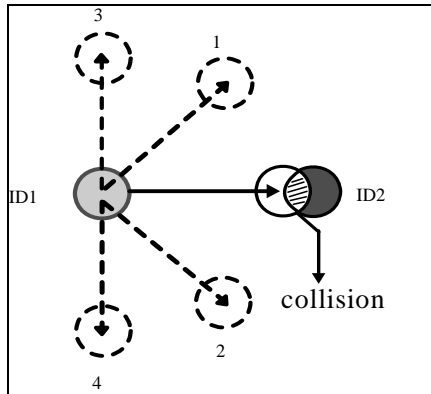


圖 3.12 四方向策略

3.3.3 群體軌道參考(Adjusting Velocity to Trace)策略

本策略我們主要是參考[20]的方式，在運動路徑規劃之後保留此路徑作為為群體移動路徑，並利用此路徑提供虛擬人找尋無碰撞的位置選項，如圖 3.13 中虛線圈所示。利用此路徑中的位置做為目前虛擬人未來欲到達的目的地，有此位置後便可透過方程式(3.22)及(3.23)求出所需要調整的速度，使得調整過後的速度可往此位置移動。

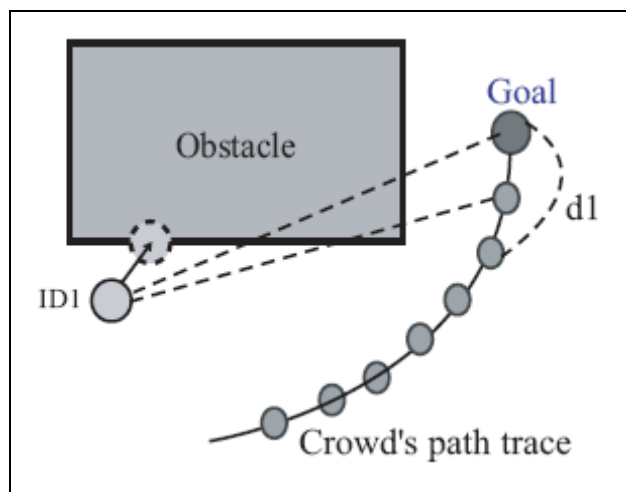


圖 3.13 群體軌道參考策略

3.3.4 七方向(Adjusting Velocity by FindALLSafeLoc)策略

當群體軌道參考策略失敗或是無群體路徑可以參考時候，我們採用策略 2(如圖 3.14 中虛線圈所示)，根據虛擬人自身的位置做 7 方向搜尋，找其一無碰撞的下一步位置。系統利用此位置做為目前虛擬人下一步的位置，再透過方程式(3.22)及(3.23)反推求出所需要調整的速度，使得下一步可至此無碰撞發生的地點。

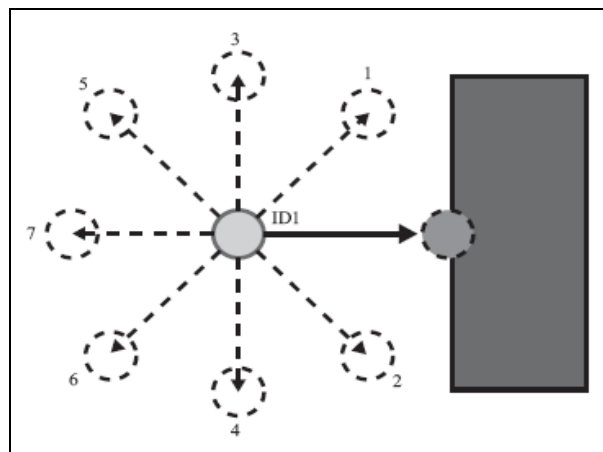


圖 3.14 七方向尋找策略

在本章中，我們對於虛擬人的設計機制作了說明。虛擬人透過不同虛擬力權重的設定，產生了不同的人群移動行為。我們所提出的設計是由個體與個體之間的相互作用，進而產生了不同的群體移動行為。有別於以往先決定好群體的移動行為後，分別求出每一個體應該配合的移動設定，這方式使得動畫設計的複雜度大為降低。從 3.2 節中我們可以知道，設定不同的虛擬力權重組合，可使得人群移動行為不同。因此如何產生出我們所期待的移動行為，其關鍵在於虛擬力權重組合的設定，但如何設定移動行為與對應的虛擬力權重組合，在目前文獻上仍無深入的研究；因此，在下一章中我們將進一步討論，如何以演化方式產生出不同的移動行為所對應的虛擬力權重組合。