

# 生態系統的生存和發展智慧 —演化計算簡介

產業研發碩士專班課程

陳慶瀚

機器智慧與自動化技術(MIAT)實驗室

義守大學電機系

[pierre@isu.edu.tw](mailto:pierre@isu.edu.tw)

2005年11月22日



# 本週主題

1. 人工演化概念
2. 演化與搜尋
3. 演化計算與最佳化



# 人工演化概念



## 何謂演化計算？

一種模仿自然演化機制並朝向族群最佳化的計算方法。有不同的演化計算範式(paradigms)：

- 遺傳演算(Genetic Algorithm)
- 演化策略(Evolution Strategy)
- 演化程式(Genetic Programming)



# 自然演化



生物族群適應環境的機制，如競爭(如食物等資源)、天擇(在特定條件的環境中存活夠久以便複製新個體)、突變(基因的隨機性變異)和複製(如交配得以產生具有大致相同基因的個體)。



# 遺傳演算(GA)

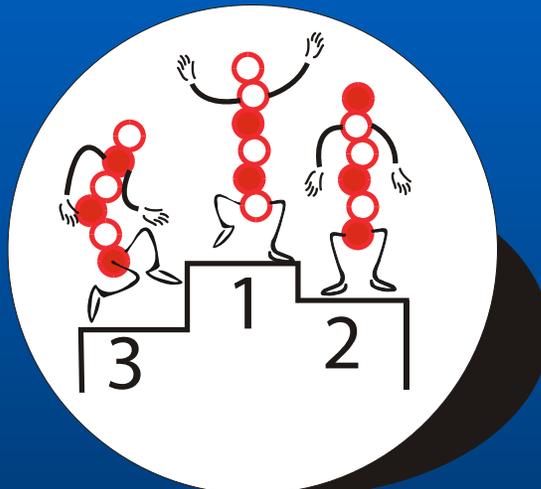
- 一種模仿生物演化的隨機搜尋方法。
- 其搜尋策略需依照事前定義的結束條件(termination criteria)和評估函式(fitness function)。
- 搜尋空間中的每一個節點都視為一個染色體(chromosome)，每一個染色體可以表示為一個二元字串(binary string)，字串中的每一個元素稱為基因(gene)。



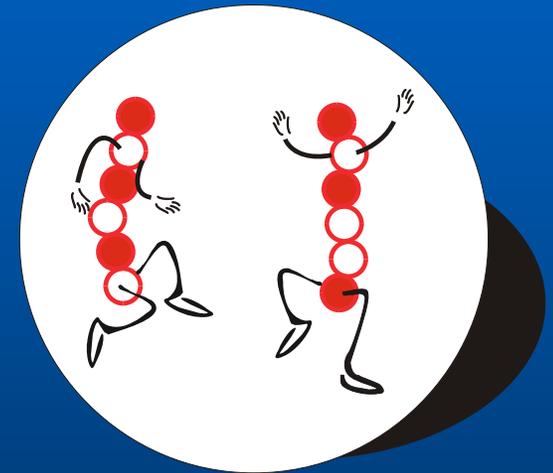
# 適者生存



染色體族群



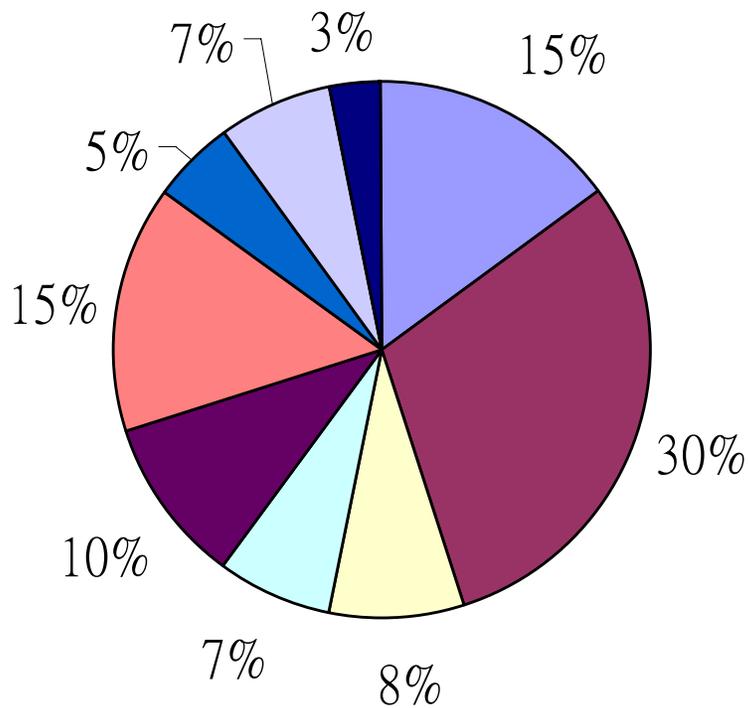
評估fitness



適者生存

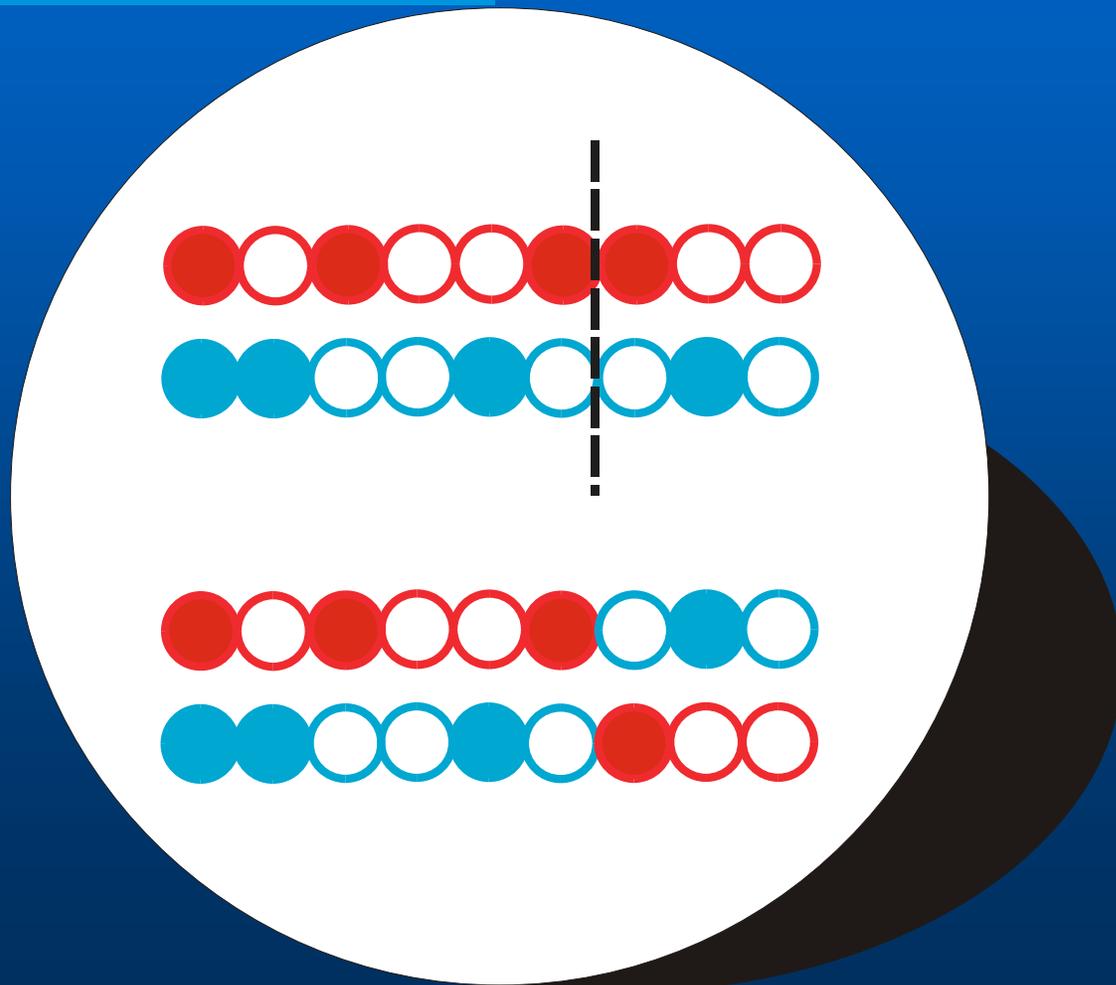


# 適者生存的輪盤



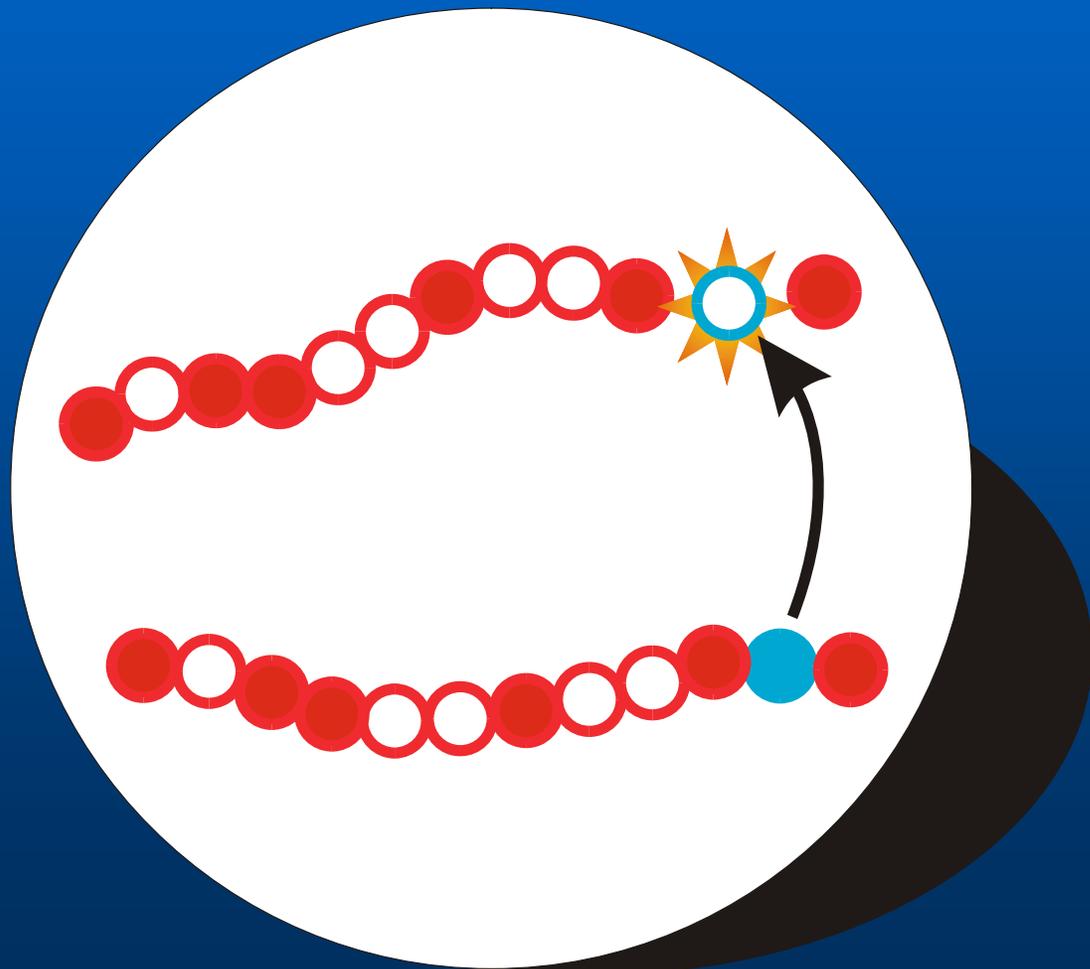


# 交配



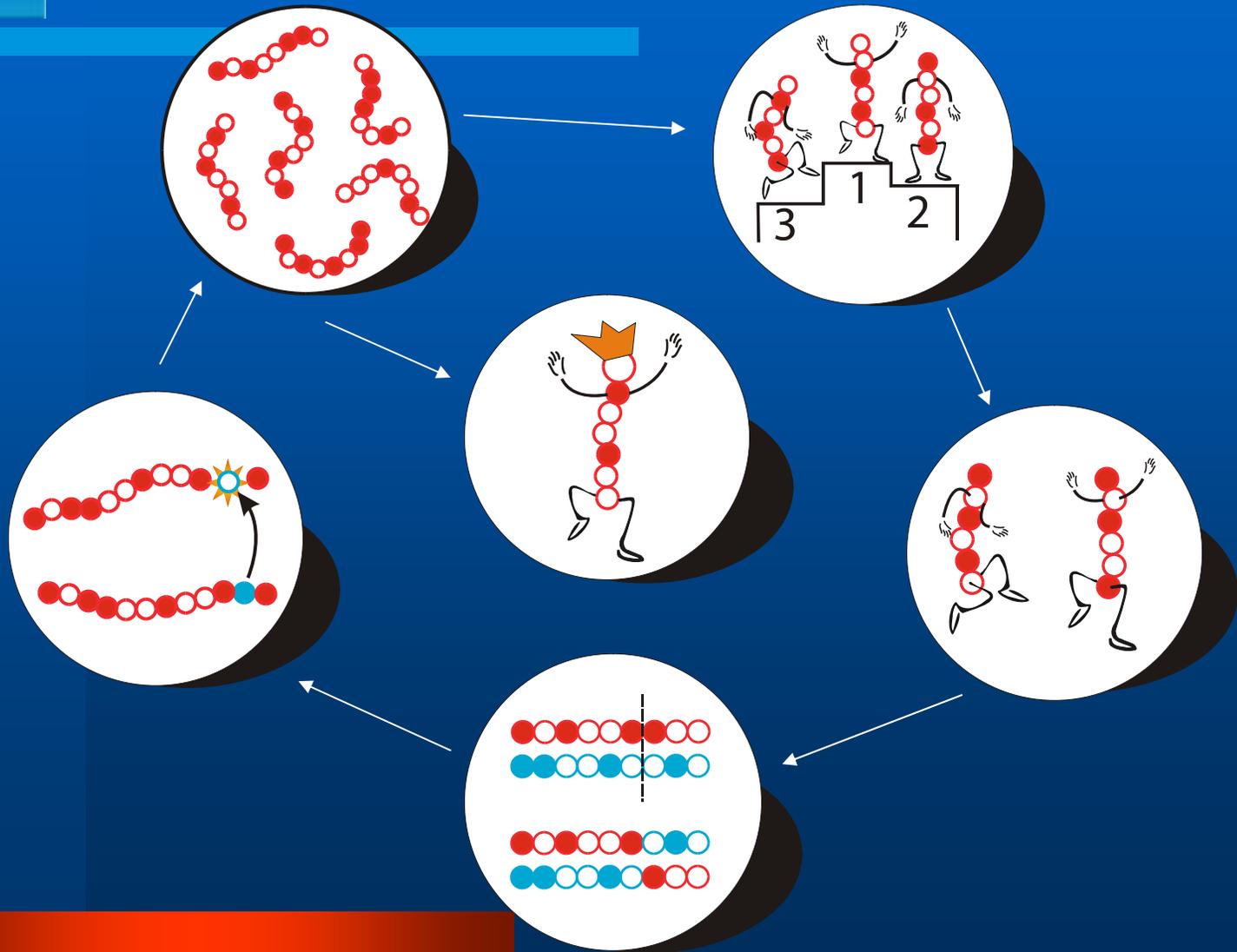


# 突變





# 演化循環





# 演化與搜尋



## GA範例

演化目標：找到一個具有最多位元為1的長度為6的二元字串(binary string)。

定義評估函數：

$f(s)$  = 1在二元字串 $s$ 的個數

當字串 $s = 000000$ ，我們得到 $f(000000) = 0$ ，而對於 $s = 010010$ ， $f(010010) = 2$ 。



# GA範例：問題的形式化

將待解問題進行遺傳編碼。設有 $n$ 個個體的族群 $P$ ， $n$ 是一個固定的整數。族群的所有個體必須先以隨機的方式初值化，接著以 $f(s)$ 分別評估其品質。



# GA範例：問題的形式化

假設個體數目 $n=5$ ，以隨機的方式產生5個長度為6位元的二元字串後，分別得到評估函數值如下：

$P(1)$	
$s$	$f(s)$
011011	4
100101	3
001010	2
001101	3
110100	3



# GA搜尋最佳解

P(1)表示第一代族群，我們將用它來產生品質更為優良的第二代族群P(2)。在遺傳演算中，任一代族群P(t+1)總是從前一代族群P(t)演化而來，此一原則得以使得新一代的可能的解總是立足在前一代業已存在的解，GA應用三種遺傳機制來探索新的、可能更佳的解：天擇(selection)、交配(crossover)和突變(mutation)，因此決定兩代之間的遺傳可以表示成

$$P(t) \longrightarrow \text{天擇} \longrightarrow P_s(t) \longrightarrow \text{交配} \longrightarrow P_c(t) \longrightarrow \text{突變} \longrightarrow P(t+1)$$



## 天擇(Selection)

$P_s(t)$  是從  $P(t)$  的個體中隨機地選出  $n$  個作為新的個體，每個個體被選中的機率並不相同，而是與其評估函數值成正比：

$$P_{select}(s_i) = \frac{f(s_i)}{\sum_{i=1}^n f(s_i)}$$



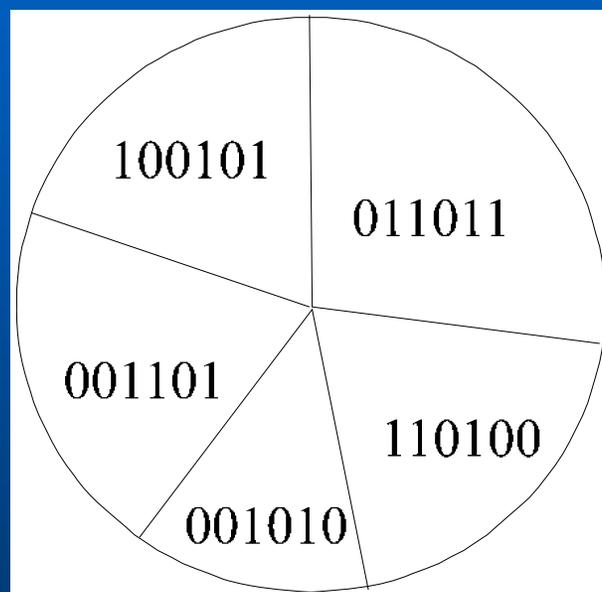
## 天擇(cont.)

計算第一代所有個體被選中的機率：

$P(1)$		
$s$	$f(s)$	$p_{select}$
011011	4	$4 / (4+3+2+3+3) = 0.27$
100101	3	0.20
001010	2	0.13
001101	3	0.20
110100	3	0.20



## 輪盤式天擇(cont.)



每一個個體在輪盤上佔有一個正比於 $p_{select}$ 的區間，一旦轉動輪盤，則目標落在任一個體的機率將與其所佔有的區間大小成正比。



## 輪盤式天擇(cont.)

轉動輪盤5次，可以得到5個經由天擇的個體。  
這5個個體形成 $P_s(1)$ 族群：

$P(1)$			$P_s(1)$	
$s$	$f(s)$		$s$	$f(s)$
011011	4	—> 天擇	011011	4
100101	3		100101	3
001010	2		011011	4
001101	3		001101	3
110100	3		110100	3



# 交配(Crossover)

交配在於從 $P_s(1)$ 族群中任意兩個個體交換其內容或重新組合，以形成新的個體。每一個個體都有 $p_{cross}$ 的機率被選出來配對。每一對(兩個)個體以隨機的方式決定一個位置將個體切開成兩部分，並將其中一部分與另一個體對換，如此形成兩個新的個體，例如：

0110   11	→	0110   01
1001   01		1001   11
01   1011	→	01   0100
11   0100		11   1011



# 交配(Crossover)

經過4個體兩兩交配後，產生新的個體並取代它的父代個體，所形成的 $P_c(1)$ 族群：

$P_s(1)$			$P_c(1)$	
$s$	$f(s)$		$s$	$f(s)$
011011	4	—> 交配	011001	?
100101	3		100111	?
011011	4		010100	?
001101	3		001101	3
110100	3		111011	?



# 突變 (Mutation)

根據突變機率  $p_{mut}$  對族群  $P_c(1)$  的所有位元進行隨機式選取，被選取的位元將逆轉其值 (0 變 1，1 變 0)。假使  $p_{mut} = 0.05$ ，意味平均每 100 個位元就有 5 個位元接受突變。

突變後的族群：

$P_c(1)$			$P(2)$	
$s$	$f(s)$		$s$	$f(s)$
011001	?	—> 交配	<u>1</u> 11001	?
100111	?		1001 <u>0</u> 1	?
010100	?		01010 <u>1</u>	?
001101	3		001101	3
111011	?		111011	?



# 第二代染色體

最後得到第二代族群 $P(2)$ 。以評估函數計算此一族群：

$P(2)$	
$s$	$f(s)$
111001	4
100101	3
010101	3
001101	3
111011	5

比較第一代族群 $P(1)$



## 結語

- 演化計算可以解決問題蘊含著非凸集、非連續以及不可微分的最佳化問題。
- 在集體平行搜尋的策略下，演化計算可以多方向的搜尋問題領域的全域最佳解，得以避開局部性最佳解。
- 演化計算是一種仿自然的計算，如同類神經網路一般，它模仿自然界生物演化解決生存問題的方式。可實現自我組織、自我修復、自我改善的系統目標。