

Índice general

Prólogo

XIII

I	Algoritmos evolutivos	1
1	Introducción a la computación evolutiva	3
1.1	Inspiración en la biología	3
1.1.1	Teoría de la evolución	4
1.1.2	Del ADN a las proteínas	5
1.1.3	Reproducción	7
1.1.4	Mutación	7
1.2	Historia de la computación evolutiva	9
1.3	Algoritmo evolutivo canónico	10
1.3.1	Representación de individuos	12
1.3.2	Función de adaptación	13
1.3.3	Población	13
1.3.4	Inicialización de la población	14
1.3.5	Selección de padres	14
1.3.6	Operadores de variación	14
1.3.7	Selección de supervivientes	15
1.3.8	Condición de terminación	15
1.4	Algoritmos evolutivos como métodos de búsqueda	16
1.5	Campos de aplicación de la computación evolutiva	17
1.5.1	Aplicaciones en clasificación	18
1.5.2	Aplicaciones en control	18
1.5.3	Aplicaciones en diseño	18
1.5.4	Aplicaciones en planificación	19
1.5.5	Aplicaciones en simulación	19
2	Algoritmos genéticos	21
2.1	Ejemplo introductorio: el problema del viajante	21
2.2	Representación de individuos	26
2.2.1	Representación binaria	28
2.2.2	Representación entera	28
2.2.3	Representación real	29
2.2.4	Representación mediante permutaciones	29

2.3	Inicialización de la población	30
2.4	Selección de padres	31
2.4.1	Selección proporcional al valor de adaptación	32
2.4.2	Selección por ordenación	33
2.4.3	Selección por torneo	34
2.4.4	Muestreo de distribuciones de probabilidad	35
2.5	Recombinación	37
2.5.1	Operadores de recombinación para representación binaria	37
2.5.1.1	Cruce por un punto	38
2.5.1.2	Cruce por n puntos	38
2.5.1.3	Cruce uniforme	38
2.5.2	Operadores de recombinación para representación entera	38
2.5.3	Operadores de recombinación para representación real	39
2.5.3.1	Recombinación discreta	39
2.5.3.2	Recombinación aritmética	39
2.5.4	Operadores de recombinación para representación mediante permutaciones	40
2.5.4.1	Cruce por orden	41
2.5.4.2	Cruce por ciclos	41
2.5.4.3	Cruce parcialmente mapeado	42
2.5.4.4	Cruce por enlaces	43
2.6	Mutación	45
2.6.1	Operadores de mutación para representación binaria	45
2.6.2	Operadores de mutación para representación entera	46
2.6.3	Operadores de mutación para representación real	46
2.6.4	Operadores de mutación para representación mediante permutaciones	46
2.6.4.1	Mutación por intercambio	47
2.6.4.2	Mutación por inserción	47
2.6.4.3	Mutación por mezcla	47
2.6.4.4	Mutación por inversión	47
2.7	Selección de supervivientes	48
2.8	Algoritmos de estimación de distribuciones	49
2.9	Ejemplo de aplicación: el problema del viajante	49
3	Estrategias evolutivas	53
3.1	Introducción: algoritmo EE-(1+1)	53
3.2	Estrategia evolutiva estándar	56
3.3	Representación de individuos	57
3.4	Inicialización de la población	59
3.5	Selección de padres	59
3.6	Recombinación	59
3.7	Mutación	62
3.7.1	Interpretación geométrica	64
3.7.2	Mutación no correlacionada de 1-tamaño de paso	66
3.7.3	Mutación no correlacionada de n -tamaños de paso	67
3.7.4	Mutación correlacionada	68
3.8	Selección de supervivientes	70

3.9	Variantes de estrategias evolutivas	72
3.9.1	CMA-ES: Estrategia evolutiva basada en la adaptación de la matriz de covarianza	72
3.10	Ejemplo de aplicación: problema de resolución de ecuaciones diferenciales	76
4	Programación evolutiva	83
4.1	Ejemplo introductorio: el problema de la hormiga artificial	83
4.2	Representación de individuos	87
4.3	Inicialización, selección de padres y recombinación	89
4.4	Mutación	90
4.5	Selección de supervivientes	92
4.6	Ejemplo de aplicación: diseño de redes neuronales artificiales	92
4.6.1	Introducción a las redes neuronales artificiales	93
4.6.2	Redes neuronales artificiales evolutivas	94
4.6.2.1	Evolución de los pesos de las conexiones	94
4.6.2.2	Evolución de la topología	95
4.6.2.3	Evolución conjunta de pesos y topología: EPNet	96
5	Evolución diferencial	99
5.1	Ejemplo introductorio	100
5.2	Evolución diferencial canónica	101
5.3	Representación de individuos	104
5.4	Algoritmo clásico en ED: “ <i>DE/rand/1/bin</i> ”	105
5.5	Inicialización de la población	105
5.6	Selección de padres	107
5.7	Operadores de variación	107
5.7.1	Mutación	108
5.7.2	Recombinación (discreta o binomial)	108
5.8	Selección de supervivientes	109
5.9	Otras variantes en evolución diferencial	109
5.9.1	Formas de seleccionar el vector base	110
5.9.2	Incremento del número de diferenciales	111
5.9.3	Otros tipos de recombinación	112
5.9.4	Otras variantes usadas en entornos complejos	113
5.10	Aspectos prácticos en evolución diferencial	114
5.10.1	Inicialización de la población	114
5.10.2	Restringir la búsqueda al espacio de búsqueda	114
5.10.3	Acerca del valor de F	115
5.10.4	Acerca del valor de CR	116
5.10.5	Recomendaciones generales	117
5.11	Aplicaciones	117
5.12	Ejemplo de aplicación: optimización de una función multimodal	118
6	Programación genética	125
6.1	Ejemplo introductorio: regresión simbólica	126
6.2	Algoritmo estándar en programación genética	130
6.3	Representación de individuos	131
6.4	Inicialización de la población	134

6.4.1	Método de crecimiento uniforme	135
6.4.2	Método de crecimiento no uniforme	135
6.4.3	Método de crecimiento mixto	135
6.5	Selección de padres	136
6.6	Operadores de variación	137
6.6.1	Reproducción	137
6.6.2	Recombinación	137
6.6.3	Mutación	138
6.6.4	Mutación <i>vs.</i> recombinación	139
6.7	Selección de supervivientes	140
6.8	Funciones definidas automáticamente	140
6.9	El efecto engorde	141
6.10	Variantes	143
6.10.1	Evolución gramatical	143
6.10.2	Programación de expresiones de genes	146
6.11	Ejemplo de aplicación: diseño de circuitos electrónicos analógicos	149
6.11.1	Definición del problema	149
6.11.2	Diseño de circuitos analógicos basado en EG	149
7	Sistemas clasificadores evolutivos	157
7.1	Ejemplo introductorio: el multiplexor	158
7.2	Sistema clasificador evolutivo genérico	160
7.3	Sistema clasificador evolutivo basado en fuerza: ZCS	162
7.4	Sistema clasificador evolutivo basado en exactitud: XCS	164
7.5	Enfoque tipo Pittsburgh	166
7.6	Representaciones alternativas de reglas	167
7.6.1	Representación basada en intervalos	167
7.6.2	Representación basada en hiperelipsoides	167
7.6.3	Representación basada en envolturas convexas	168
7.6.4	Representación basada en redes neuronales	169
7.6.5	Representación desordenada	169
7.6.6	Representación basada en expresiones S	170
7.6.7	Representación basada en expresiones de genes	170
7.6.8	Representación basada en lógica difusa	171
7.7	Ejemplo de aplicación: diagnóstico de cáncer	172
8	Algoritmos meméticos	175
8.1	Introducción	176
8.2	Características de un algoritmo memético	177
8.2.1	Heurísticas y metaheurísticas	178
8.2.2	Algoritmo memético canónico	178
8.3	Búsqueda local	181
8.3.1	Espacios de búsqueda combinatorios	182
8.3.2	Espacios de búsqueda continuos	184
8.4	Algoritmos meméticos basados en la hibridación de un algoritmo evolutivo	188
8.4.1	Representación	188
8.4.2	Inicialización de la población	189

8.4.3	Operadores de variación basados en conocimiento	193
8.4.4	Operadores de selección basados en conocimiento	196
8.5	Aspectos prácticos de implementación en algoritmos meméticos	197
8.5.1	Elección del algoritmo de búsqueda local	198
8.5.2	Frecuencia de la búsqueda local	199
8.5.3	Probabilidad de la búsqueda local	200
8.5.4	Intensidad de la búsqueda local	201
8.5.5	Coste de la función de adaptación	202
8.5.6	Manejo de la pérdida de diversidad	202
8.6	Algoritmos meméticos avanzados	203
8.7	Aplicaciones de los algoritmos meméticos	205
9	Evaluación de algoritmos evolutivos	207
9.1	Qué evaluar en un algoritmo evolutivo	208
9.2	Índices promedio de prestaciones	209
9.2.1	Tasa de éxito	209
9.2.2	Valor de adaptación medio del mejor individuo	209
9.2.3	Tiempo medio para alcanzar el éxito	211
9.3	Medidas de robustez	213
9.3.1	Robustez a cambios del valor de un parámetro	213
9.3.2	Robustez a cambios de la instancia de un problema	215
9.3.3	Robustez frente a las diferentes ejecuciones realizadas	216
9.4	Estudio del comportamiento estadístico	216
9.4.1	Margen de error e intervalo de confianza	217
9.4.2	Test de hipótesis	219
9.5	Visualización de resultados	222
9.5.1	Curva de progreso	222
9.5.2	Comportamiento frente al cambio de escala del problema	224
9.5.3	Otras formas de visualizar resultados	225
9.6	Uso de problemas de referencia para evaluar AEs	227
II	Técnicas avanzadas en computación evolutiva	233
10	Manejo de restricciones	235
10.1	Región factible	235
10.2	Tipos de problemas que manejan restricciones	236
10.2.1	Problemas de optimización libre de restricciones	237
10.2.2	Problemas de optimización con restricciones	238
10.2.3	Problemas de satisfacción de restricciones	238
10.3	Manejo de restricciones en algoritmos evolutivos	239
10.3.1	Funciones de penalización	240
10.3.1.1	Penalización estática	242
10.3.1.2	Penalización dinámica	243
10.3.1.3	Penalización adaptativa	244
10.3.2	Funciones decodificadoras	245
10.3.3	Separación de función objetivo y restricciones	248
10.3.3.1	Memoria conductual	248

10.3.3.2	Reglas de factibilidad	249
10.3.3.3	Ordenación estocástica	251
10.3.3.4	Método ε -restringido	253
10.3.4	Operadores especiales que garantizan la factibilidad	254
10.3.4.1	Operadores que preservan la factibilidad	254
10.3.4.2	Operadores de reparación	256
11	Mantenimiento de la diversidad	261
11.1	Algoritmos evolutivos paralelos de grano grueso	262
11.2	Algoritmos evolutivos paralelos de grano fino	263
11.3	Reparto de adaptación	264
11.4	Restricción del emparejamiento	266
11.4.1	Métodos tradicionales de restricción del emparejamiento	266
11.4.2	Generalización del método de restricción del emparejamiento	268
11.5	Agrupamiento	271
11.5.1	Variantes del método original de agrupamiento	272
11.5.2	Generalización del método de agrupamiento	274
11.5.2.1	Agrupamiento generalizado adaptativo basado en diversidad	276
11.5.2.2	Agrupamiento generalizado autoadaptativo	277
12	Configuración de parámetros	279
12.1	Sintonización de parámetros	279
12.1.1	Inconvenientes de la sintonización manual	280
12.1.2	Definición del problema y nomenclatura	281
12.1.3	Taxonomía de métodos de sintonización	282
12.1.4	Ejemplos de métodos de sintonización de parámetros	284
12.1.4.1	Métodos de competición	284
12.1.4.2	Meta-optimizadores	286
12.1.4.3	Métodos basados en modelo	287
12.1.4.4	El método LUS	288
12.1.4.5	Consideraciones finales	291
12.2	Control de parámetros	292
12.2.1	Introducción al control de parámetros	292
12.2.2	Taxonomía de métodos de control de parámetros	294
12.2.3	Ejemplos de control de parámetros	297
12.2.3.1	Tamaño de la población	297
12.2.3.2	Función de adaptación	299
12.2.3.3	Cruce	300
12.2.3.4	Mutación	300
12.2.3.5	Selección de supervivientes	301
12.2.3.6	Modificación de varios parámetros simultáneamente	302
12.2.3.7	Consideraciones finales	303
13	Problemas multiobjetivo	305
13.1	Dominancia y frente de Pareto	306
13.2	Tipos de algoritmo evolutivo multiobjetivo	308
13.2.1	Técnicas “a priori”	308
13.2.2	Técnicas progresivas	310

13.2.3	Técnicas “a posteriori”	310
13.2.3.1	Muestreo independiente	311
13.2.3.2	Selección por criterio	311
13.2.3.3	Función de adaptación mediante dominancia	312
13.3	Técnicas avanzadas en algoritmos evolutivos multiobjetivo	315
13.3.1	AEMOs basados en descomposición	315
13.3.2	AEMOs meméticos	315
13.3.3	Tratamiento de restricciones mediante AEMOs	316
13.3.4	Aplicación de AEMOs a problemas multimodales	317
13.3.5	Aplicación de AEMOs a problemas dinámicos	317
13.3.5.1	Mantenimiento de la diversidad	318
13.3.5.2	Introducción de diversidad tras un cambio en la función de adaptación	318
13.3.5.3	Predicción de cambios en la función de adaptación	318
13.3.5.4	Uso de memoria	319
13.3.5.5	Poblaciones múltiples	320
13.4	Ejemplo de aplicación: asignación de horarios de clase	320
14	Modelos matemáticos de algoritmos evolutivos	323
14.1	Teorema del esquema	323
14.2	Cadenas de Markov	326
14.2.1	Modelo de Markov para selección uniforme	327
14.2.2	Modelo de Markov para un algoritmo genético estándar	327
14.2.3	Modelo de Markov para estados agrupados	328
14.3	Sistemas dinámicos	328
14.3.1	Sistema dinámico para un algoritmo genético estándar	330
14.4	Métodos reduccionistas	331
14.5	Mecánica estadística	333
14.6	Espacios de búsqueda continuos	334
Anexo A:	Traducción de términos relevantes del libro	337
Bibliografía		347
Índice alfabético		397