

Inteligencia Artificial I - CI5437

Profesor: Carlos Infante

Integrantes:

Daniela Caballero 14-10140

Emmanuel Bandres 14-10071

Fernando Gonzalez, 08-10464

Proyecto II: Connect 4

Especificaciones del entorno de prueba:

- **Memoria:** 12 GB RAM
- **Procesamiento:** Google Colab

Introducción

Con el presente trabajo se desea llevar a cabo el estudio de la búsqueda de soluciones óptimas para árboles de juego de Connect 4. Se implementaron los algoritmos Monte Carlo Tree Search y Negamax con poda alfa-beta y tablas de transposición.

Representación del juego

Para representar el juego se implementó una clase *state_t* en donde se almacena el tablero, la cantidad de espacios libres en cada columna, la cantidad de movimientos hechos para llegar a ese estado y un mapa de bits explicado más a fondo en el siguiente enlace: <http://blog.gamesolver.org/solving-connect-four/06-bitboard/>

La tabla de transposición utilizada para el algoritmo Negamax es la sugerida en este solver.

Sobre objetos de esta clase se pueden realizar varias operaciones, como hacer un movimiento, comprobar si un posible movimiento es válido, comprobar si es un estado terminal y obtener el ganador si lo hay.

Para el algoritmo de Monte Carlo Tree Search se implementó además una clase *Node*. En ésta se guarda la cantidad de visitas al nodo, un modificador del costo para tomar ese nodo, el estado *state_t* del nodo, un apuntador a su padre al igual como una lista de apuntadores a los nodos hijos y una lista que almacena el número de la columna que representan los movimientos para llegar a los nodos hijos.

Cómo ejecutarlo

Primero simplemente compilar el programa con el comando *make*. Luego ejecutar el programa con el comando *./connect4 <opción> <secuencia>*

Se tienen 5 opciones posibles:

1. MCTS vs Negamax
2. MCTS vs MCTS
3. Negamax vs Jugador
4. MCTS vs Jugador
5. Negamax vs Negamax

El campo *<secuencia>* indica la configuración inicial desde donde se comenzará el juego. Si se deja en blanco se puede comenzar desde un tablero vacío, pero esto no se recomienda en caso de escoger alguna opción con Negamax ya que puede tomar mucho tiempo.

Resultados

Para probar los algoritmos se tomaron estados iniciales de dificultad media, con varios movimientos tomados para poder llegar a una solución en un tiempo razonable utilizando el algoritmo Negamax.

En la siguiente tabla tenemos el tiempo que tardan los algoritmos en realizar el primer movimiento del juego.

Estado inicial	Tiempo MCTS	Tiempo Negamax
274552224131661	0.231851	47.1581
5455174361263362	0.218753	7.59044
2531276566711153	0.293355	156.559
37313333717124171162542	0.20787	0.0300476
6614446666373154	0.270649	0.0802665
24617524315172127	0.263709	2.2291
6242432155656447531617622	0.239755	0.162417
4642332434166445	0.235664	1.02942
165713352355467777	0.276409	24.907
7441746225252552	0.24247	2.32199

7225753363613131156611	0.268769	2.96956
246767232112661771721576	0.210519	0.0181084
1767235667232175621774455	0.16587	0.0475783
6323454652623215	0.271935	0.274688
1113222154334225	0.308166	6.45409
214644735611711	0.211789	0.289573
555317266147361	0.317613	608.46
52446155614451175	0.130111	0.122181
444712564755311374	0.224996	1.9555
27222774542216557563711	0.202184	0.0129492
71324677554451437653	0.130416	0.230001
25734476675755361223	0.210966	0.170958
11175617456367267331	0.20828	1.28483
11163142533736577	0.193905	1.83198
16633611716233262	0.245078	1.49349

Podemos ver que MCTS se ejecutó consistentemente en menos de medio segundo, con un promedio de 0.23124328 segundos, mientras que con Negamax se obtuvieron tiempos mucho más variados, algunos casos con duración similar a MCTS, con un tiempo mínimo de 0.0129492 segundos, un máximo de 608.46 segundos y un tiempo promedio de 34.7 segundos.

Utilizando estos mismos casos, se ejecutaron también los otros modos del programa:

MCTS vs Negamax

Estado inicial	Ganador	Tiempo
274552224131661	NEGAMAX O	70.5862
5455174361263362	NEGAMAX O	14.8945
2531276566711153	NEGAMAX O	215.005
37313333717124171162542	NEGAMAX O	1.50968
6614446666373154	NEGAMAX O	2.82911
24617524315172127	NEGAMAX O	5.43837
6242432155656447531617622	NEGAMAX O	2.33133
4642332434166445	NEGAMAX O	8.41139
165713352355467777	NEGAMAX O	40.2655
7441746225252552	NEGAMAX O	5.097
7225753363613131156611	NEGAMAX O	7.56388
246767232112661771721576	NEGAMAX O	1.45126
1767235667232175621774455	NEGAMAX O	1.38545
6323454652623215	NEGAMAX O	14.0269
1113222154334225	NEGAMAX O	9.14583
214644735611711	NEGAMAX O	24.4342
555317266147361	NEGAMAX O	788.831
52446155614451175	NEGAMAX O	7.43937
444712564755311374	NEGAMAX O	8.66861
27222774542216557563711	NEGAMAX O	0.752278
71324677554451437653	NEGAMAX O	3.34521

25734476675755361223	NEGAMAX O	2.32731
11175617456367267331	NEGAMAX O	5.5534
11163142533736577	NEGAMAX O	10.0429
16633611716233262	NEGAMAX O	11.5423

Podemos ver que el segundo jugador, usando Negamax, ganó todos los juegos que se probaron. Los tiempos obtenidos variaron de manera similar a los resultados anteriores, con un mínimo de 0.75 segundos, un máximo de 788.83 segundos y un promedio de 50.51 segundos.

MCTS vs MCTS

Estado inicial	Ganador	Tiempo
274552224131661	MCTS 2 O	8.6958
5455174361263362	MCTS 2 O	7.13661
2531276566711153	MCTS 2 O	2.08569
37313333717124171162542	MCTS 2 O	1.63016
6614446666373154	MCTS 2 O	2.66128
24617524315172127	MCTS 2 O	2.62979
6242432155656447531617622	MCTS 2 O	3.71095
4642332434166445	MCTS 2 O	2.12468
165713352355467777	DRAW	7.23718
7441746225252552	MCTS 2 O	4.73004
7225753363613131156611	MCTS 2 O	4.3756
246767232112661771721576	MCTS 2 O	3.52538
1767235667232175621774455	MCTS 1 X	2.17921
6323454652623215	MCTS 1 X	4.51579
1113222154334225	MCTS 2 O	6.96284
214644735611711	MCTS 1 X	5.76451
555317266147361	MCTS 2 O	2.89732
52446155614451175	MCTS 2 O	1.07392
444712564755311374	MCTS 1 X	1.80073
27222774542216557563711	MCTS 2 O	1.00306
71324677554451437653	DRAW	6.06586
25734476675755361223	MCTS 2 O	3.17899
11175617456367267331	MCTS 1 X	1.42328
11163142533736577	MCTS 2 O	1.74971
16633611716233262	MCTS 1 X	5.49832

En estos casos podemos ver como los tiempos son mucho más consistentes, con un promedio de 3.78 segundos. Por otro lado, el ganador no siempre es el mismo, con dos empates y solo 6 de 25 juegos ganados por el primer jugador.

Negamax vs Negamax

Estado inicial	Ganador	Tiempo
274552224131661	DRAW	123.134
5455174361263362	NEGAMAX 2 O	31.1324
2531276566711153	NEGAMAX 1 X	229.386
37313333717124171162542	NEGAMAX 2 O	0.424653
6614446666373154	NEGAMAX 2 O	4.89602
24617524315172127	NEGAMAX 2 O	8.19368
6242432155656447531617622	DRAW	0.628614
4642332434166445	NEGAMAX 2 O	11.1377
165713352355467777	NEGAMAX 1 X	78.9849
7441746225252552	NEGAMAX 1 X	9.78741
7225753363613131156611	NEGAMAX 2 O	11.2786
246767232112661771721576	NEGAMAX 1 X	0.472934
1767235667232175621774455	NEGAMAX 2 O	0.378212
6323454652623215	NEGAMAX 2 O	34.2016
1113222154334225	DRAW	9.44163
214644735611711	NEGAMAX 2 O	30.0564
555317266147361	NEGAMAX 1 X	967.027
52446155614451175	NEGAMAX 1 X	2.67733
444712564755311374	NEGAMAX 1 X	13.9763
27222774542216557563711	NEGAMAX 1 X	0.269642
71324677554451437653	DRAW	1.17095
25734476675755361223	NEGAMAX 2 O	1.41134
11175617456367267331	DRAW	7.01267
11163142533736577	NEGAMAX 2 O	12.6392
16633611716233262	NEGAMAX 1 X	9.93666

Con Negamax vs Negamax podemos ver resultados un poco mas variados, con 5 empates y 9 de 25 partidas ganadas por el primer jugador. Como se esperaba, los tiempos obtenidos también presentaron la misma característica que en otros casos de Negamax, con un tiempo mínimo de 0.269 segundos, un máximo de 967 segundos y un promedio de 63.98 segundos.

Conclusión

De los resultados obtenidos, se puede concluir que el algoritmo Monte Carlo Tree Search es mucho más rápido que Negamax con poda alfa-beta y tablas de transposición, pero al ponerlos uno contra otro Negamax va a ser el ganador. Esto se puede deber a que el método de Monte Carlo solo proporciona soluciones aproximadas obtenidas por un muestreo aleatorio durante la etapa de *simulación* del algoritmo, en donde se toman decisiones aleatorias hasta llegar a un nodo terminal para después usar el resultado para actualizar los costos de los nodos en ese camino.