Inteligencia Artificial

Estado del Arte: Problema Time Relaxed Traveling Tournament Problem (TRTTP)

Paulo Tarud C. 2523034-5.

23 de mayo de 2011

Evaluación

Resumen (5 %):	___________
Introducción (5 %):	___________
Definición del Problema (10 %):	___________
Estado del Arte (35 %):	___________
Modelo Matemático (20 %):	___________
Conclusiones (20 %):	___________
Bibliografía (5 %):	___________
Nota Final (100):	___________

Resumen

En este trabajo, se estudiará el Traveling Tournament Problem (TTP), para luego analizar el nuevo problema Time Relaxed Tournament Problem (TRTTP). Además de ésto se verá lo que se ha hecho hasta ahora, los mejores resultados y qué técnicas se usaron para resolver dichos problemas.

1. Introducción

En muchos países, los deportes proveen muchos ingresos además de entretenimiento. Maximizar los ingresos de una liga deportiva es el interés mas grande, no sólo para los equipos, si no también para las comunidades locales. Hay muchos factores que afectan los ingresos de las ligas deportivas, uno de éstos es la programación horaria.

La mayor parte de las ligas profesionales dejan que las oficinas de administración central hagan la programación. Hay algunas características importantes de una programación. La más importante es la estructura. Actualmente la mayoría de las ligas usan un formato de programación de *torneos round robin*, lo cual significa que cada equipo jugará un número definido de veces en un período de tiempo denominado ronda. La programación de *torneos round robin* puede ser dividido en dos tipos, *programación con tiempo restringido* y *programación con tiempo relajado*. En las primeras, el número de rondas disponibles es igual al número de rondas necesarias. Éste tipo de programación es usado en muchas ligas, en la mayoría de los torneos universitarios de balóncesto, en ligas profesionales de fútbol en Europa y Sudamérica. En las segundas, el número de rondas disponibles es mayor que el número de rondas necesarias. Éste último tipo de programación es usado en algunas ligas, en la asociación nacional de baloncesto (NBA) y en la liga nacional de hockey (NHL) en Estados Unidos.

El Traveling Tournament Problem (TTP) fue propuesto por [K . Easton, 2001b] es un problema típico de calendarización de ligas deportivas que se resume en las características más destacadas de la Major League Baseball (MLB) en los Estados Unidos y se creó para estimular la investigación en la calendarización de las ligas deportivas. El problema consiste en minimizar la distancia total recorrida por todos los equipos.

Como se vió anteriormente, existen torneos en los que el número de rondas disponibles es mayor que el número de rondas necesarios. Es por ésta razón que [Trick and Bao, 2011] proponen una nueva versión del TTP llamada Time Relaxed Tournament Problem, en ésta versión los equipos tienen rondas libres entre los juegos, éste número de rondas libres es controlado por un parámetro K, para el caso particular $K = 0$ corresponde al problema TTP.

En el presente trabajo, definiré lo que es TTP, para luego introducir la variante TRTTP que es la que me centraré en resolver. Definiré de maneras mas detallada el TRTTP y veré los mejores resultados conocidos a la fecha en la literatura.

2. Definición del Problema

2.1. Traveling Tournament Problem (TTP)

Dado n equipos, un *torneo doble round robin* es un conjunto de juegos en el cuál cada equipo debe jugar con los $n-1$ equipos restantes sólo una vez como local y una como visita.

Un juego es especificado por un par ordenado de los oponentes. Exactamente $2(n-1)$ rondas son requeridas para jugar un *torneo doble round robin*, ya que deben jugar como visita y como local contra los $n-1$ equipos restantes ($2(n-1)$). Las distancias entre los lugares de los equipos viene dada por una matriz de distancia D de orden nxn. El costo de una programación para un equipo es la distancia total que éste debe viajar para jugar con los $n-1$ oponentes como visita y como local, para finalmente volver a su lugar inicial (casa).

Juegos consecutivos como visita para un equipo constituyen un *road trip*, juegos consecutivos constituyen un *home stand*. La longitud de un *road trip* o de un *home stand* es el número de oponentes jugados (no la distancia viajada).

El problema consiste en minimizar la distancia total recorrida por todos los equipos, sujeto a algunas restricciones.

2.1.1. Definición

El TTP se define de la siguiente forma:

Input:

- n : número de equipos.
- D : matriz simétrica de orden nxn que contiene las distancias.
- L, U : parámetros enteros.

Output:
Un *torneo doble round robin* con n equipos en donde:

- La longitud de cada *home stand* y *road trip* están en el rango $[L, U]$.
- La distancia total viajada por cada equipo es minimizada.

Los parámetros L y U definen el equilibrio entre las consideraciones de distancia y de patrón. Para $L = 1$ y $U = n-1$, un equipo puede tener un viaje equivalente a una gira (muchos viajes). Para pequeños U, los equipos deben volver a casa seguido, por lo que la distancia recorrida se incrementará.

Además de las restricciones principales (duras), el programa debe tener dos restricciones adicionales:

1. *Mirrored:* a programación del *torneo doble round robin* debe tener los primeros $n-1$ juegos en el mismo orden con los $n-1$ juegos restantes, pero invirtiendo los roles de local y visitante.
2. *No Repeaters:* Una programación no pude tener dos juegos consecutivos entre los mismos equipos.

Con éstas últimas dos restricciones me refiero a dos variantes del TTP, con la primera a *TTP / Mirrored* y con la segunda al *TTP / No repeat.*

2.2. Time Relaxed Traveling Tournament Problem (TRTTP)

Time Relaxed Traveling Tournament Problem es una variante del ya explicado TTP y es propuesto por [Bao, 2006].

Las distancias viajadas son una preocupación importante en los problemas de programación de torneos. Cada equipo quiere minimizar lo mas que se pueda las distancias que éstos recorren. Viajes de grandes distancias tienen resultados no deseados, tales como fatiga en los jugadores, costos altos de transporte, etc.

El organismo administrativo del torneo debe asegurarse que la distancia de viaje sea justa para todos los equipos, ademas de minimizarlas.

2.2.1. Definición

El *TRTTP* se define de la siguiente forma:

Input:

- n : número de equipos.
- D : matriz simétrica de orden nxn que contiene las distancias.
- L, U, B, O : parámetros enteros.

Output:

Un *torneo doble round robin* con n equipos en donde:

- La longitud de cada *home stand* y *road trip* están en el rango $[L, U]$.
- El número de juegos consecutivos sin días libres es menor que B.
- El número de días libres consecutivos son menores que O

- El número total de rondas es $4(n-1)$
- La distancia total viajada por cada equipo es minimizada.

Cabe destacar que en esta variante se agregan tres nuevas restricciones. Si un equipo juega en dos días consecutivos, tiene desventaja en el segundo juego. Normalmente los equipos quieren evitar tal situación, es por esto que es introducido el nuevo parámetro B descrito anteriorente. Análogamente, se ha restringido el número de días libres consecutivos. La tercera nueva restricción es el número total de rondas. Se define el total de rondas al doble de el número de juegos que debe realizar cada equipo, porque cada equipo debe jugar $2(n-1)$ juegos en un *torneo doble round robin*, por lo tanto el total de rondas disponibles asciende a $4(n-1)$.

3. Estado del Arte

Exiten dos clases de problemas de programación deportiva en la literatura. La primera clase minimiza el número de días libres y es aplicado a las ligas Europeas, porque cada equipo vuelve a su casa después de cada partido como visita. [Schreuder, 1980] y [de Werra, 1981] [de Werra, 1988] discuten las aplicaciones de la teoría de grafos y sus métodos para resolverlo.

La segunda clase, minimiza la distancia viajada por los equipos y es aplicado a las ligas Americanas. [Campbell and Chen, 1976] consideran el problema como una programación de una liga de basketball. Para resolver el problema ellos usaron un enfoce de dos fases. [Bean and Birge, 1980] consideran un problema similiar para programar la liga NBA. Ellos construyen un modelo de programación entera que fue muy largo para resolver por algoritmos exactos. En su lugar, se aplicó una versión revisada del método de dos fases de [Campbell and Chen, 1976]. [Fleurent and lA. Ferland, 1993] estudiaron el problema de programación para la liga de hokey (NHL) que fue dividido en dos conferencias.

[Costa, 1995] fue el primer investigador quien aplicó una solución por métodos metaheurísticos para resolver problemas de programacion de ligas deportivas el cual pretendía minimizar la distancia recorrida por los equipos. El programó el NHL con una combinación de *Tabú Search* [Glover, 1989] y *Algoritmos Genéticos*. Además, [Wright, 2006] presenta Simulated Annealing [Vecchi, 1983] para resolver la programación de la liga nacional de basketball de Nueva Zelanda.

[K . Easton, 2001b] introducen el problema Traveling Tournament Problem (TTP) motivados por la liga major de baseball (MLB). La solución del problema debe satisfacer restricciones de difícil viabilidad, como además minimizar la distancia recorrida por los equipos.

Algunos métodos han sido ofrecidos para resolver el TTP. [K . Easton, 2001b] introdujo un algoritmo basado en un límite inferior *(lower bound)*, la cuál es la suma de la distancia mínima viajada por cada equipo. [T. Benoist and Rottembourg, 2001] usa una combinación entre la Relajación de Lagrange y Programación con Restricciones. Luego [K . Easton, 2001a] presenta un algoritmo híbrido IP/CP (Programación entera/Programación con restricciones). Además, [A. Anagnostopoulos and Vergados, 2003], desarrollaron un algoritmo *Simulated Annealing*, ellos separaron las restricciones en restricciones duras y restricciones blandas.
[J.H. Lee and Lee, 2006] para complementar el modelo de programación entera para el TTP con restricciones de *no-repeater*, introduce un algoritmo *Tabu Search* para resolver ese problema. [Henz, 2004] propone la hibridación de búsqueda por vecindarios largos y programación con restricciones. [Urrutia and Ribeiro, 2004] consideran una clase específia del TTP y demuestran que este caso corresponde a maximizar el número de días libres. [A. Lim and Zhang, 2006] propone un híbrido *SA-Hill* que combina los métodos *Simulated Annealing* y *Hill Climbing*.

Para instancias más grandes, los métodos con mejores resultados son los basados en metaheurísticas con post-procesamiento de búsqueda local [A. Anagnostopoulos and Vergados, 2003], [Gaspero and Schaerf, 2007], [Hentenryck and Vergados, 2007], [Kendall and Berghe, 2007].

3.1. Mejores resultados en la literatura

Luego de hacer una revisión de lo que se ha investigado hasta ahora, haré una tabla comparativa con los mejores resultados conocidos hasta ahora con algunas instancias [Trick and Bao, 2011] [K . Easton, 2001b] de los algoritmos para cada uno de los problemas (TTP y TRTTP).

3.1.1. TTP

Paper	**NL8**	**NL10**	**NL12**	**NL14**	**NL16**
[Hentenryck and Vergados, 2007]	-	-	110729	188728	261687
[A. Anagnostopoulos and Vergados, 2003]	39721	59583	111248	188728	263772
[Gaspero and Schaerf, 2007]	-	59583	111483	190174	270063
[A. Lim and Zhang, 2006]	39721	59821	115089	196363	274673
Mejor conocido	**39721**	**59436**	**110729**	**188728**	**261687**

3.1.2. TRTTP

Bao and Trick, August, 2010	**NL4**
$K = 1$	8160
$K = 2$	8160
$K = 3$	8044

Brandão, October, 2010	**NL6**	**NL8**
$K = 1$	23791	39128
$K = 2$	-	38761
$K \geq 2$	22557	-
$K \geq 3$	-	38670

4. Modelo Matemático

4.1. Representación

El siguiente modelo fue inspirado en el desarrollado por [A. Anagnostopoulos and Vergados, 2003] para resolver el TTP.

Dado un conjunto $T = \{T_1, T_2, \ldots, T_n\}$ de n equipos, un conjunto $R = \{R_1, R_2, \ldots, R_m\}$ de m rondas y k rondas libres. En una programación de un *torneo round robin* definimos la representación de la matriz MT (Matriz de torneo) como $n \times (m + k)$, donde el valor de cada elemento $|aij|$ indica el oponente del equipo T_i en una ronda R_j.

- $|a_{ij}| \in \{0, \ldots, N\}$ con $|a_{ij}| \neq i$
- $a_{ij} > 0$, cuando el equipo T_i juega de local.
- $a_{ij} < 0$, cuando el equipo T_i juega de visita.
- $a_{ij} = 0$, cuando el equipo T_i no juega.

En la siguiente tabla se muestra una instancia para NL6 con la representación descrita anteriormente.

T\R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6	-2	4	3	-5	-4	-3	5	2	-6
2	5	1	-3	-6	4	3	6	-4	-1	-5
3	-4	5	2	-1	6	-2	1	-6	-5	4
4	3	6	-1	-5	-2	1	5	2	-6	-3
5	-2	-3	6	4	1	-6	-4	-1	3	2
6	-1	-4	-5	2	-3	5	-2	3	4	1

La programación muestra que el equipo 1 (T_1) juega contra: T_6 como local, T_2 como visita, T_4 como local, T_3 como local, T_5 como visita, T_4 como visita, T_3 como visita,T_5 como local, T_2 como local y T_6 como visita, por lo que la distancia total recorrida para el T_1 es:

$\phi_1 = d_{12} + d_{21} + d_{15} + d_{54} + d_{43} + d_{31} + d_{16} + d_{61}$

4.2. Restricciones

Para manejar las restricciones las he dividido en dos tipos: *restricciones duras* y *restricciones blandas*. Las restricciones duras se definen como las restricciones del TTP, luego las restricciones blandas se definen como las restricciones que se añaden al TTP en el TRTTP.

4.2.1. Restricciones Duras

- La longitud de cada *home stand* y *road trip* están en el rango $[L, U]$.
- Cada equipo debe jugar con los restantes equipos dos veces, una vez en calidad de local y la otra en calidad de visita.

4.2.2. Restricciones Blandas

- El número de juegos consecutivos sin días libres es menor que B.
- El número de días libres consecutivos son menores que O
- El número total de rondas es $2(n-1)+k$

Si bien, el modelo presentado por [Bao, 2006] utiliza como número total de rondas igual a $4(n-1)$, en este trabajo se utilizará como $2(n-1)+k$, ya que cada equipo debe jugar con los $n-1$ equipos restantes dos veces, una como local y la otra como visita, además en el TRTTP se agregan k rondas libre, es por eso que se le suma k.

4.3. Función Objetivo y Fitness

4.3.1. Función Objetivo F_o

El objetivo del problema es minimizar la distancia total recorrida por los n equipos, respetando las restricciones duras mencionadas anteriormente.

$$F_o = min \sum_{j=1}^{n} \phi_j \tag{1}$$

4.3.2. Funcion Fitness F_f

Con el fin de manejar las restricciones blandas, se introduce una función *fitness*, para penalizar el incumplimiento de alguna restricción agregándole por cada vez que se viole un peso o costo δ_i asociado a la restricción blanda i. Dichos pesos serán definidos por importancia de las restricciones, a mayor importancia, mayor peso.

La *Función Fitness* queda definida de la siguiente manera:

Sea n el número de equipos, v_i el número de veces que la restricción i es violada $\forall i \in [1, 3]$ y ϕ_j la distancia total recorrida por el equipo j $\forall j \in [1, n]$

$$F_f = min(\sum_{i=1}^{3} v_l \times \delta_i + \sum_{j=1}^{n} \phi_j) \tag{2}$$

5. Conclusiones

El Tournament Traveling Problem es un problema muy importante a nivel mundial, ya que hace que las ligas deportivas ahorren mucho dinero y además disminuyen la fatiga de los jugadores, por lo que las hace más atractivas para los espectadores. También fomenta la investigación en la programación de ligas deportivas.

El Time Relaxed Traveling Tournament Problem es una variante del TTP que agrega un número definido de rondas libres, por lo que éste tipo de problema se puede aplicar a todas las ligas deportivas de Estados Unidos, a diferencia del TTP que se pude aplicar sólo a algunas.

Existe otro tipo de problema de programación deportiva que minimiza el número de días libres, que es aplicado a las ligas deportivas europeas, por lo que si la investigación de estos tipos de problemas se podrían mejorar todas las ligas deportivas a nivel mundial.

Los mejores resultados conocidos en la literatura son los que utilizan métodos con postprocesamiento en la búsqueda local (movimientos) y usan métodos incompletos para resolverlo, como *Tabu Search*, *Hill Climbing* y *Simulated Annealing* o una combinación de éstos.

Referencias

[A. Anagnostopoulos and Vergados, 2003] A. Anagnostopoulos, L. Michel, P. V. H. and Vergados, Y. (2003). A simulated annealing approach to the traveling tournament problem. *International Workshop on Integration of AI and OR Techniques, Montreal.*

[A. Lim and Zhang, 2006] A. Lim, B. R. and Zhang, X. (2006). A simulated annealing and hill-climbing algorithm for the traveling tournament problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, pages 1459–1478.

[Bao, 2006] Bao, R. (2006). Time relaxed round robin tournament and the nba scheduling problem. *Dissertions*, pages 1–138.

[Bean and Birge, 1980] Bean, J. and Birge, J. (1980). Reducing travelling costs and player fatigue in the national basketball association. *Interfaces*, pages 98–102.

[Campbell and Chen, 1976] Campbell, R. and Chen, D. (1976). A minimum distance basketball scheduling problem. *Management Science in Sports, Studies in the Management Sciences*, pages 15–26.

[Costa, 1995] Costa, D. (1995). An evolutionary tabu search algorithm and the nhl scheduling problem. *Information Systems and Operational Research*, pages 161–178.

[de Werra, 1981] de Werra, D. (1981). Scheduling in sports. *Studies on Graphs and Discrete Programming*, pages 381–395.

[de Werra, 1988] de Werra, D. (1988). Some models of graphs forscheduling sports competitions. *Discrete Applied Mathematics*, pages 47–65.

[Fleurent and lA. Ferland, 1993] Fleurent, C. and lA. Ferland (1993). Allocating games for the nhl using integer programming. *Operations Research*, pages 649–654.

[Gaspero and Schaerf, 2007] Gaspero, L. D. and Schaerf, A. (2007). A composite-neighborhood tabu search approach to the traveling tournament problem. *Journal of Heuristics volume 13 pages 189-207, Kluwer Academic Publishers.*

[Glover, 1989] Glover, F. (1989). Tabu search. part i. *ORSA Journal on Computing*, pages 190–206.

[Hentenryck and Vergados, 2007] Hentenryck, P. V. and Vergados, Y. (2007). Population-based simulated annealing for traveling tournaments. *Proceedings of the 22nd national conference on Artificial intelligence*, pages 267–272.

[Henz, 2004] Henz, M. (2004). Playing with constraint programming and large neighborhood search for traveling tournaments. *The International Series of Conferences on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, pages 23–32.

[J.H. Lee and Lee, 2006] J.H. Lee, Y. L. and Lee, Y. (2006). Mathematical modeling and tabu search heuristic for the traveling tournament problem. *Lecture Notes in ComputerScknce*, pages 875–884.

[K . Easton, 2001a] K . Easton, G.L. Nemhauser, M. T. (2001a). Solving the traveling tournament problem: a combined integer programming and constraint programming approach. *Lecture Notes in Computer Science*, pages 580–585.

[K . Easton, 2001b] K . Easton, G.L. Nemhauser, M. T. (2001b). The traveling tournament problem descriptions and benchmarks from http://mat.gsia.cmu.edu/tourn. *Lecture Notes in Computer Science*, pages 580–585.

[Kendall and Berghe, 2007] Kendall, G. and Berghe, V. (2007). An ant based hyper-heuristic for the traveling tournament. *In proceedings of IEEE Symposium of Computational Intelligence in Scheduling*, pages 19–26.

[Schreuder, 1980] Schreuder, J. (1980). Constructing timetables for sport competitions. *Mathematical Programming Study*, pages 58–67.

[T. Benoist and Rottembourg, 2001] T. Benoist, F. L. and Rottembourg, B. (2001). Lagrange relaxation and constraint programming collaborative schemes for traveling tournament problems. *International Workshop on Integration of AI and OR Techniques, Ashford, Kent UK*, pages 580–585.

[Trick and Bao, 2011] Trick and Bao (January 17, 2011). Challenge traveling tournament instances (relaxed) from http://mat.gsia.cmu.edu/tourn/relaxed/.

[Urrutia and Ribeiro, 2004] Urrutia, S. and Ribeiro, C. (2004). Minimizing travels by maximizing breaks in round robin tournament schedules. *European Journal ofOperational Research,*, pages 227–233.

[Vecchi, 1983] Vecchi, S. K. C. D. G. M. P. (May 13, 1983). Optimization by simulated annealing. *Science, New Series, Vol. 220, No. 4598*, pages 671–680.

[Wright, 2006] Wright, M. (2006). Scheduling fixtures for basketball new zealand. *Computers & Operations Research*, pages 1875–1893.