



EPS

Escola Politècnica

UdG Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Eng. Tècn. Informàtica de Sistemes. Pla 2001

Títol: Desenvolupament d'un agent intel·ligent dins el marc de la competició TAC SCM.

Document: Memòria

Alumne: Ramon Costa Falgàs

Director/Tutor: M. Beatriz López Ibañez

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: Enginyeria de Sistemes i Automàtica

Convocatòria (mes/any): 06/2009

Índex

1	Introducció	6
1.1	Descripció i Motivació	6
1.2	Objectius i Abast	7
1.3	Planificació	8
1.4	Estructura de la memòria	9
2	Antecedents	10
2.1	Trading Agent Competition (TAC)	10
2.1.1	TAC-Classic	10
2.1.2	TAC Supply Chain Management (TAC-SCM)	12
2.1.3	TAC Market Design (TAC-CAT)	15
2.1.4	TAC-SCM Challenges	16
2.1.5	TAC Ad Auction (TAC/AA)	17
2.2	TAC-SCM: Eines	17
2.2.1	MinnieTAC SCM Server	18
2.2.2	CMieux logtool	20
2.2.3	MinnieTAC logtool	23
3	Estratègies en la TAC-SCM	28
3.1	Història de la TAC-SCM: Motivació	28
3.2	Edició 2003	28
3.2.1	DeepMaize	29
3.2.2	RedAgent	30
3.2.3	Conclusions	30
3.3	Edició 2004	30

3.3.1	FreeAgent	32
3.3.2	Conclusions	33
3.4	Edició 2005	33
3.4.1	TacTex05	34
3.4.2	Conclusions	36
3.5	Edició 2006	37
3.5.1	TacTex06	37
3.5.2	Conclusions	37
3.6	Edicions 2007-2008-2009	38
3.7	Teoria de Jocs	39
3.7.1	Raonament estratègic	40
3.7.2	Dilema del Presoner	40
3.7.3	Classificació de Jocs: TAC-SCM	41
3.7.4	Equilibri de Nash	43
3.8	Heurística	44
3.8.1	Cerques avars	44
3.8.2	Cerques A*	46
3.9	TAC-SCM: Teoria de Jocs i Heurística?	46
4	Desenvolupament d'un Agent per la TAC SCM: UdGTAC	48
4.1	Introducció	48
4.2	Agents Dummy	48
4.2.1	Conclusions	50
4.3	AgentWare	50
4.3.1	Resultats	51
4.3.2	Conclusions	51
4.4	UdGTAC0: Filtres d'Oferta + Inventari	51
4.4.1	Disseny	51
4.4.2	Desenvolupament	52
4.4.3	Resultats	55
4.5	UdGTAC1: Heurística d'Oferta + Inventari	55
4.5.1	Disseny	55

4.5.2	Desenvolupament	56
4.5.3	Resultats	57
4.6	UdGTAC2: Heurística de Proveïdors + Inventari	57
4.6.1	Disseny	57
4.6.2	Desenvolupament	57
4.6.3	Resultats	61
4.7	UdGTAC3: Heurística d’Oferta + Heurística de Proveïdors + Inventari . .	61
4.7.1	Disseny i Desenvolupament	61
4.7.2	Resultats	61
4.8	Conclusions	65
4.9	Extra: Repositori d’Agents	65
5	Conclusions	69
	Bibliografia	71

Índex de figures

1.1	Esquema de les tasques a realitzar per un agent a la TAC-SCM.	7
2.1	Esquema del TAC-Classic.	11
2.2	Bill-Of-Material, les 16 combinacions possibles de PCs de la TAC-SCM.	12
2.3	Catleg de components, els 10 components disponibles, de 4 tipus diferents.	13
2.4	Il·lustració de les activitats d'un dia TAC-SCM.	14
2.5	Esquema del TAC/AA.	18
2.6	Captura de pantalla de l'eina de visualització en directe d'una partida TAC-SCM.	19
2.7	Resultat d'una simulació TAC-SCM.	20
2.8	Comportament de la compta bancaria d'un agent donades unes condicions de mercat determinades o aleatòries.	21
2.9	Pantalla principal de la logtool presentada per la Carnegie Mellon University.	22
2.10	Exemple de les evolucions de la reputació d'un agent envers els proveïdors.	22
2.11	Gràfic de l'evolució dels preus de venda d'un component.	24
2.12	Gràfic de l'evolució dels preus guanyadors per la venda d'un PC.	24
2.13	Gràfic de l'evolució dels preus perdedors per la venda d'un PC.	25
2.14	Gràfics sobre la quota de mercat abarcada al final d'una partida TAC-SCM.	25
2.15	Pantalla principal de la MinnieTAC logtool.	26
2.16	Evolució d'un agent utilitzant la MinnieTAC logtool.	27
3.1	Percentatge d'encàrrecs intentats i aconseguits de la final del TAC-SCM 2003.	31
3.2	Percentatges dels components comprats els dies 0, 1 i 2+, respecte el total de cada agent.	32

3.3	Diferència mitjana acumulada entre components a l'inventari i capacitat de manufacturar-los.	33
3.4	Quota de mercat a la final de la TAC-04/SCM.	34
3.5	Gràfic del percentatge de beneficis respecte el preu base dels agents de la final TAC-SCM 2005.	35
3.6	Gràfic del percentatge d'utilització de la fàbrica dels agents de la final TAC-SCM 2005.	36
3.7	Edició commemorativa del 60é aniversari de la publicació del llibre considerat precursor de la Teoria de Jocs.	39
3.8	Esquema d'un graf simple per explicar l'algorisme de Dijkstra.	45
4.1	Evolució del compte bancari de l'AgentWare.	52
4.2	Resum de una partida disputada per l'AgentWare.	53
4.3	Resum de una partida disputada per l'UdGTAC0.	54
4.4	Resum de una partida típica disputada per l'UdGTAC0.	55
4.5	Gràfic de la quota de mercat d'una partida típica disputada per l'UdGTAC0.	58
4.6	Resum de una partida típica disputada per l'UdGTAC1.	58
4.7	Estat de l'stock típic al final d'una partida de l'UdGTAC1.	59
4.8	Comparativa d'utilització de la fàbrica del UdGTAC0 i l'UdGTAC1.	60
4.9	Evolució del balanç del compte bancari en una partida de l'UdGTAC1.	60
4.10	Exemple de compra d'un component en particular en una partida de l'UdGTAC2.	62
4.11	Evolució del balanç del compte bancari en una partida de l'UdGTAC3.	63
4.12	Evolució del referent a la fàbrica en una partida de l'UdGTAC3.	63
4.13	Exemple de compra d'un component en particular en una partida de l'UdGTAC3.	64
4.14	Resultat de la partida TACTEX vs. UdGTAC3.	66
4.15	Gràfic dels comptes bancaris de la partida TACTEX vs. UdGTAC3.	66
4.16	Quota de mercat de la partida TACTEX vs. UdGTAC3.	66
4.17	Comportament de la fàbrica del TACTEX de la partida TACTEX vs. UdGTAC3.	67
4.18	Comportament de la fàbrica del UdGTAC3 de la partida TACTEX vs. UdGTAC3.	68

Capítol 1

Introducció

1.1 Descripció i Motivació

Aquest projecte està emmarcat dins el grup eXiT d'Intel·ligència Artificial del Departament d'Electrònica i Automàtica (EIA) de la Universitat de Girona. Pertany a l'àmbit de la Intel·ligència Artificial i, concretament, en l'apartat d'agents intel·ligents. En el nostre cas, tractarem el desenvolupament d'un agent intel·ligent en un entorn determinat, el de la gestió d'una cadena de producció.

La gestió de cadenes de producció engloba el planejament i la coordinació de les activitats relacionades en tot procés de producció, des del proveïment de matèries primeres fins als productes manufacturats i la seva entrega al client. En els darrers anys, aquest procés ha esdevingut molt dinàmic i només la gestió efectiva permet l'adaptació de les companyies al ritme del nous models econòmics. L'impacte potencial de qualsevol millora en aquest aspecte, degut al gran volum de mercat, és espectacular.

Amb l'objectiu de proporcionar un marc experimental on provar diferents tecnologies de suport a la gestió de la cadena de producció, la comunitat d'investigadors va proposar una competició internacional: la Trading Agent Competition (TAC). En aquesta competició existeixen diferents modalitats. En particular, la Swedish Institution of Computer Science (SICS), juntament amb la Carnegie Mellon University de Pittsburg, Minnesota, van proposar al 2003 un escenari de muntatge de PC's basat en el proveïment de recursos, l'embalatge de PC's i les ventes a clients. Aquesta modalitat és coneguda com a TAC-SCM (Supply Chain Management).

En una partida de TAC-SCM, els agents participants competeixen per les peticions dels clients, procurant obtenir les matèries necessàries d'uns proveïdors per tal de manufacturar els PCs i entregar-los al client. El guanyador és l'agent que al cap d'un any TAC-SCM té el major nombre de diners al banc.

La gestió de quines ofertes realitzar als clients, a quin proveïdor demanar matèries primeres i com organitzar la cadena de producció i el magatzem propis són les tasques

principals que ha de resoldre l'agent que desenvolupin els participants. Podem veure'n un esquema a la figura 1.1.

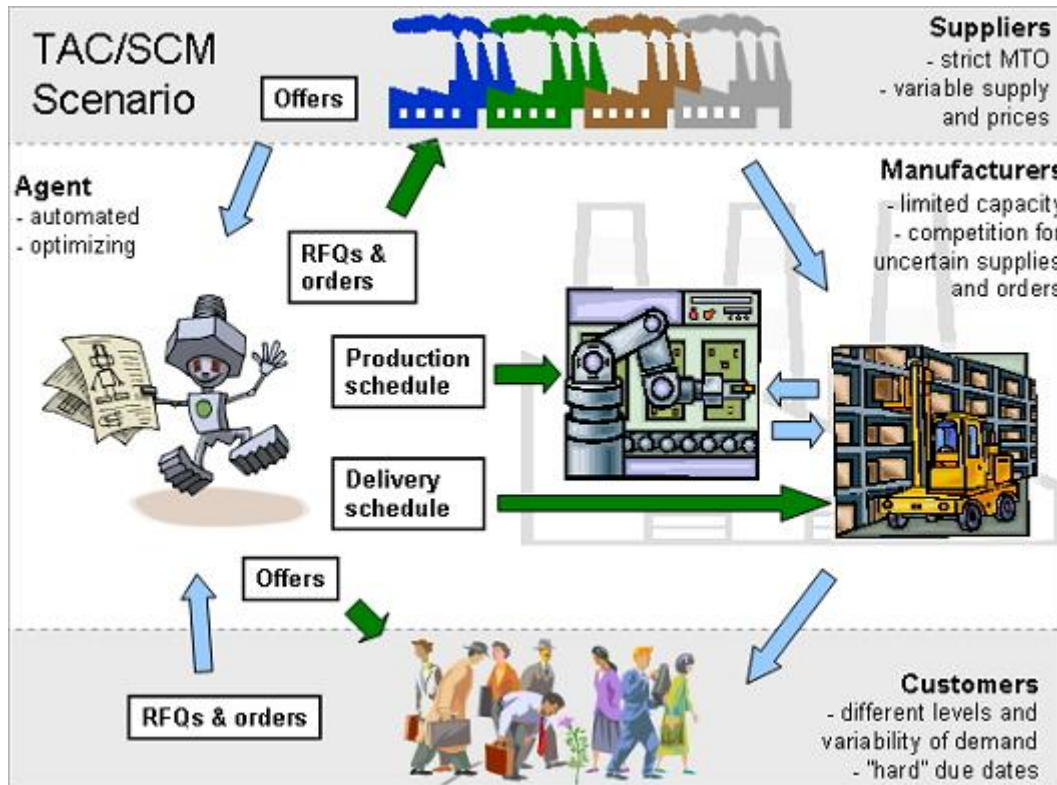


Figura 1.1: Esquema de les tasques a realitzar per un agent a la TAC-SCM.

1.2 Objectius i Abast

La TAC-SCM és una competició en marxa des del 2003, i com comentarem al següent capítol, hi ha equips sencers d'investigadors dedicats a la planificació d'estratègies guanyadores des de l'inici de la competició. Per tant, no entra dins l'abast d'aquest projecte de final de carrera el desenvolupar un agent guanyador a curt termini. Més aviat, l'objectiu principal del projecte és fer un treball de recerca sobre la competició, saber què s'ha realitzat fins ara i ser capaç d'identificar les àrees que quedin per explorar, en cas que l'estudi documentació disponible ens proporcioni aquesta informació.

Familiaritzar-se amb les eines disponibles per al a programació d'un agent per aquesta competició és també una clau del projecte. Les llibreries creades per la SICS, el codi bàsic d'un agent (AgentWare), el funcionament del servidor actual i l'utilitat de les eines de visualització *post-mortem* seran conceptes imprescindibles per aquest treball.

D'aquesta manera, amb el coneixement adquirit per la documentació disponible i les eines de la xarxa, es proposaran possibles millores i es programaran nous agents amb

les millores proposades, i s'avaluarà el resultat de forma directa, mitjançant l'utilització del servidor del joc TAC-SCM, que ha posat a disposició dels investigadors la SICS i la Carnegie Mellon University, a més de les ja esmentades eines de visualització *post-mortem*. El funcionament de totes aquestes eines serà explicat en el corresponent apartat.

Pel què fa a l'identificació dels apartats de millora d'un agent bàsic i proposta d'estratègies, es tindrà en consideració les aproximacions realitzades pels agents victoriosos en les passades edicions del TAC-SCM, que resumirem a mesura que les anem tractant, a més de noves solucions relacionades amb la Teoria de Jocs, que exposarem més endavant, segons l'establert en el moment de decidir la realització d'aquest projecte de recerca.

Per tant, podríem desglossar els objectius del projecte en els següents punts:

- Estudi de les llibreries de la competició TAC-SCM.
- Familiarització amb les eines disponibles a la xarxa per a la programació i avaluació d'un agent de la competició TAC-SCM.
- Assimilació de la normativa actual de la competició TAC-SCM.
- Estudi de les estratègies dels principals agents guanyadors de la competició.
- Identificació d'àrees on sigui aplicable la Teoria de Jocs, i programació de les millores aplicables.
- Avaluació dels resultats obtinguts en les millores programades mitjançant la simulació sobre el servidor disponible de la competició TAC SCM.

1.3 Planificació

El coneixement potencialment adquirible mitjançant la lectura de la literatura escrita sobre el TAC-SCM, a més de l'adquisició dels conceptes generals de l'Intel·ligència Artificial, és quelcom totalment necessari abans de la programació de qualsevol agent amb mínimes probabilitats d'èxit. Malgrat l'importància de familiaritzar-se amb les múltiples eines disponibles, conèixer les estratègies utilitzades pels participants del TAC-SCM al llarg de la seva història, marcarà la diferència al moment de programar, ja que pot donar-nos pistes per com atacar els diferents reptes que es plantegen a la TAC-SCM.

Degut a la falta de coneixement sobre l'abast de la documentació disponible, la tria de la mateixa constituirà part essencial dels inicis del projecte i, com a tal, es prendran decisions d'on és raonable establir els límits d'investigació i desenvolupament d'un agent sobre la marxa, a mesura que aquesta informació resulti evident pels progressos realitzats.

El següent pas serà pensar estratègies lògiques en funció de l'aprens, amb l'objectiu inicial d'aplicar conceptes que es puguin aprendre de la Teoria de Jocs, però amb la incertesa de saber si aquesta aproximació serà la correcta o necessitarà de complements per les peculiaritats d'aquesta competició.

Avaluar els resultats obtinguts ajudarà a polir les particularitats de les estratègies proposades, i és possible que pugui aclarir el camí a seguir en cas de voler desenvolupar un agent guanyador en futures edicions de la TAC-SCM. Proposar les següents vies de millora és quelcom molt important per un projecte d'aquestes característiques, ja que el desconeixament de les particularitats d'aquesta competició per part del grup de recerca és el motiu principal del treball, i ha de ser concloent respecte la possibilitat de millora i progrés pel grup, facilitant així la decisió envers la possibilitat de dedicar-hi més recursos en el futur.

1.4 Estructura de la memòria

Aquest primer capítol procura introduir al lector a les característiques principals del projecte, explicant les bases de la competició TAC-SCM dins el marc de la Trading Agent Competition.

En el segon capítol parlarem de les diferents modalitats de la TAC, dels orígens de la competició i ampliarem l'informació sobre la TAC-SCM. També presentarem les eines que la comunitat ha posat a lliure disposició pel desenvolupament d'un agent dins el marc de la competició.

El tercer capítol serà el dedicat a l'explicació, per una banda, de l'història de la TAC-SCM, desglossant les estratègies guanyadores proposades pels agents de cada any, fent incís en aquelles que puguin resultar especialment rellevants per al desenvolupament del treball. D'altra banda, s'introduiran els conceptes bàsics sobre la Teoria de Jocs, i el perquè la fa adequada, a priori, per a la TAC-SCM. En cas de descobrir algun tema addicional d'especial rellevància abans de començar el disseny dels agents, també serà desglossat en aquest tercer capítol.

El quart capítol desenvoluparà el procés seguit al programar els diferents prototips d'agents, que resultaran en un agent final, l'*UdGTAC*, que hauria d'englobar la suma del millor de les estratègies proposades pels prototips, posant les bases d'un possible agent guanyador per la competició. La presentació dels resultats obtinguts, utilitzant les eines exposades al segon capítol, també es realitzarà aquí.

Per últim el cinqué capítol conclourà l'après en aquest projecte, i proposarà les noves vies de desenvolupament. La proposició de treballs futurs s'inclourà dins d'aquest apartat.

Capítol 2

Antecedents

2.1 Trading Agent Competition (TAC)

La Trading Agent Competition (TAC) és una competició internacional dissenyada a promoure la recerca sobre els agents relacionats amb el comerç. El prof. Michael P. Wellman de la University of Michigan liderava l'equip que va organitzar els primers anys de competició, basant-se en el conegut problema *Traveling Salesman Problem*, o problema del venedor de viatges.

En l'edició del 2002, la Swedish Institution of Computer Science (SICS) va col·laborar amb la comunitat existent de la TAC per organitzar la primera competició.

Com veurem a continuació, del TAC-Classic original es va evolucionar al TAC-SCM, el problema que tractarem en aquest treball, que va introduir nous reptes a la comunitat investigadora i ha evolucionat a noves línies de treball, com la TAC-CAT o la recent TAC/AA.

2.1.1 TAC-Classic

Oficialment, la comunitat d'investigadors, juntament amb la SICS, va iniciar la Trading Agent Competition (TAC) l'any 2002 amb la actualment anomenada TAC-Classic o TAC-Travel. La idea era trobar un marc competitiu que promogués la recerca del problema matemàtic del venedor de viatges on, donada una serie de ciutats i el cost de viatjar entre elles, trobar la manera més econòmica de visitar-les totes i tornar al punt de sortida. Malgrat la senzillesa de l'enunciat, en realitat es tracta d'un conegut problema que, de trobar-ne una solució, també donaria resposta al problema P-NP, a més d'aconseguir una prima d'un milió de dòlars del Clay Mathematics Institute.¹

¹per a més informació, <http://www.tsp.gatech.edu>

Deixant de banda els orígens, la TAC-Classic és una competició on cada agent representa una agència de viatges, amb l'objectiu de preparar viatges organitzats. Cada agent treballa per 8 clients propis, que expressen les seves preferències per diversos aspectes del viatge. L'objectiu és intentar maximitzar la satisfacció dels clients aconseguint el vol, la reserva d'hotel i les entrades als esdeveniments d'entreteniment que ells desitgin. Podem veure un esquema del joc a la imatge 2.1.

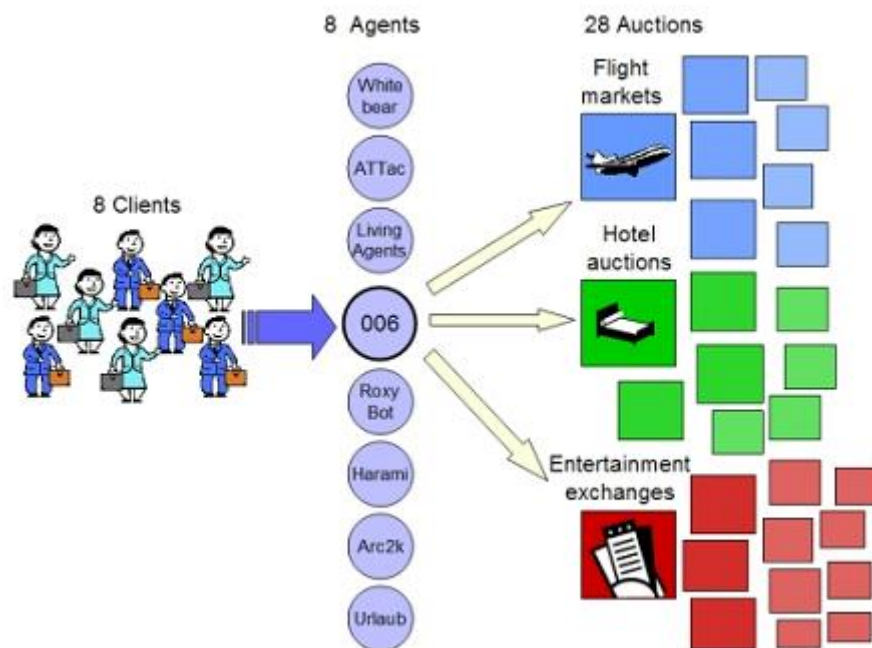


Figura 2.1: Esquema del TAC-Classic.

Haurem de competir amb 7 agents més per aconseguir els millors preus pel viatge en avió, per les millors habitacions d'hotel en els dos hotels disponibles, i per les entrades als tres esdeveniments d'entreteniment disponibles. Es podran vendre i comprar les entrades dels entreteniments disponibles als altres agents que competeixin amb nosaltres, mentre que pel viatge en avió i les reserves d'hotels haurem de negociar amb un agent incorporat al servidor del joc.

Al final de la simulació, com a agència de viatges tindrem un seguit de reserves realitzades, i la nostra puntuació final dependrà de ho bé que haguem gestionat la felicitat dels nostres clients. El servidor s'encarregarà de distribuir els béns adquirits entre els clients, i calcularà la nostra puntuació en funció d'això, restant del resultat final les penalitzacions per les entrades sobrades, en cas que n'haguéssim comprat per negociar i no les haguéssim pogut tornar a revendre.

La TAC-Classic Competition no ha variat les seves regles des del 2004, i per l'interès creixent en el TAC-SCM i les altres competicions proposades per la comunitat TAC, de les quals parlarem més endavant en aquest mateix capítol, la TAC-Classic o TAC-Travel

competition va deixar de formar part de les competicions oficials de les fases finals a partir del 2006.

2.1.2 TAC Supply Chain Management (TAC-SCM)

La competició que ens ocupa, la TAC-SCM, va començar la seva participació en les fases finals TAC en la seva edició del 2003, despertant un important interès per la complexitat dels problemes que presentava.

Cada partida TAC-SCM és disputada per 6 agents, cadascun d'ells representant un fabricant d'ordinadors (PCs). Cada fabricant competeix amb els altres cinc per vendre els seus ordinadors als clients, mitjançant el proveïment eficient dels béns necessaris per fabricar aquests ordinadors d'uns proveïdors. Fins a 16 són les diferents configuracions possibles de PCs, com podem consultar a la Bill-Of-Material (BOM) de la figura 2.2.

Table 5: Bill of Materials

SKU	Components	Cycles	Market segment
1	100, 200, 300, 400	4	Low range
2	100, 200, 300, 401	5	Low range
3	100, 200, 301, 400	5	Mid range
4	100, 200, 301, 401	6	Mid range
5	101, 200, 300, 400	5	Mid range
6	101, 200, 300, 401	6	High range
7	101, 200, 301, 400	6	High range
8	101, 200, 301, 401	7	High range
9	110, 210, 300, 400	4	Low range
10	110, 210, 300, 401	5	Low range
11	110, 210, 301, 400	5	Low range
12	110, 210, 301, 401	6	Mid range
13	111, 210, 300, 400	5	Mid range
14	111, 210, 300, 401	6	Mid range
15	111, 210, 301, 400	6	High range
16	111, 210, 301, 401	7	High range

Figura 2.2: Bill-Of-Material, les 16 combinacions possibles de PCs de la TAC-SCM.

La BOM especifica el tipus de processador, la capacitat del disc dur, la quantitat de memòria, per a cada tipus d'ordinador disponible. Els agents reben requests-for-quotes (RFQs), que podríem definir com a peticions d'ordinadors, dels clients a cadascun dels 220 dies de simulació del joc, per un total de 55 min de temps real per a cada partida. Aquestes RFQs especifiquen el tipus de PC, la quantitat, la data d'entrega, el preu de reserva i la penalització. Per maximitzar el benefici total, cada agent ha d'escollir a quines RFQs respondre, basat en l'estratègia adoptada i les limitacions, com ara tenir cicles disponibles per a fabricar aquests ordinadors o tenir els components necessaris per a fer-ho. Els diferents tipus de components disponibles al joc els podem veure a la figura 2.3.

Table 6: Component Catalog

Component	Base price	Supplier	Description
100	1000	Pintel	Pintel CPU, 2.0 GHz
101	1500	Pintel	Pintel CPU, 5.0 GHz
110	1000	IMD	IMD CPU, 2.0 GHz
111	1500	IMD	IMD CPU, 5.0 GHz
200	250	Basus, Macrostar	Pintel motherboard
210	250	Basus, Macrostar	IMD motherboard
300	100	MEC, Queenmax	Memory, 1 GB
301	200	MEC, Queenmax	Memory, 2 GB
400	300	Watergate, Mintor	Hard disk, 300 GB
401	400	Watergate, Mintor	Hard disk, 500 GB

Figura 2.3: Catalog de components, els 10 components disponibles, de 4 tipus diferents.

Així, enviem una RFQ de resposta als clients que desitgem, quelcom que també fan els nostres 5 competidors, i qui presenti la oferta més baixa en el preu dels ordinadors serà el qui guanyi la oferta i rebi una RFQ que encarregui aquests PCs. Els agents no poden veure els preus d'oferta de la resta, però sí que reben un resum diari del servidor, que especifica el preu màxim i mínim que han acceptat els clients per cada PC al dia anterior.

Llavors, els agents envien RFQs als proveïdors per a sol·licitar els béns necessaris per a la manufactura d'aquests encàrrecs, que hauran de ser fabricats a temps per a la seva entrega abans de la data establerta.

Així doncs, a la figura 2.4 veiem un exemple del què passa a un dia TAC-SCM. L'agent negocia amb els clients, els proveïdors, a més de fabricar i entregar els PCs encarregats. La figura il·lustra les transaccions habituals de cada agent en aquest escenari.

Els agents reben tot el seu benefici de la venda de PCs, però entregués més enllà del dia estipulat resulten en penalitzacions predeterminades a les RFQs. A més, els agents han de pagar uns costos d'emmagatzematge per el seu stock actual, tan de PCs finalitzats com de components disponibles, i han de pagar un interès en cas de tenir un balanç bancari negatiu. L'agent amb més diners al final de la competició és declarat vencedor.

Així doncs, la TAC-SCM presenta tres reptes principals per qui volgués desenvolupar un agent guanyador:

- Quines RFQs de clients respondre?
- Quines RFQs enviar als proveïdors i quines ofertes acceptar?
- Com organitzar la producció i manufactura de PCs?

Aquests problemes plantegen individualment una complexitat NP-Hard com podem veure demostrat a [12]. De la mateixa font sabem que el problema és més complicat degut la incertesa en l'oferta i la demanda, a més de l'estratègia dels agents rivals.

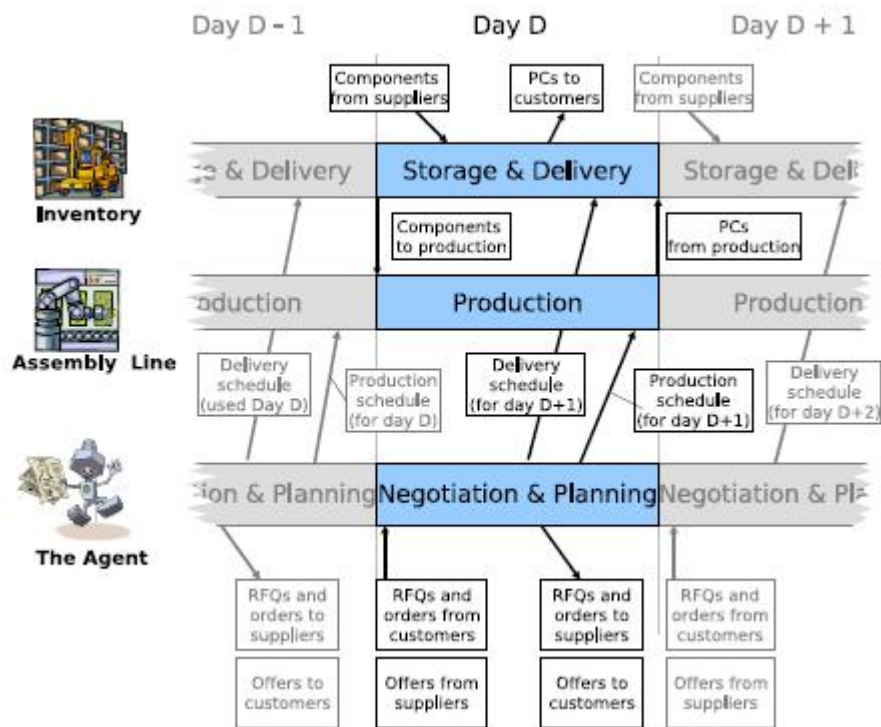


Figura 2.4: Il·lustració de les activitats d'un dia TAC-SCM.

Pel que fa a les estratègies, es poden treure algunes conclusions només d'estudiar la normativa, com per exemple que els agents que optessin per una estratègia agressiva podrien ser capaços de guanyar més encàrrecs dels clients baixant els preus i compromentent la capacitat de producció. Però amb això, cauen en el risc de no poder satisfer les obligacions concertades i patir les conseqüències en altes penalitzacions. D'altra banda, agents menys agressius podrien perdre la possibilitat d'aconseguir encàrrecs i infrautilitzar la seva capacitat de producció, conseqüentment reduint els potencials beneficis.

Una situació semblant apareix al assegurar proveïdors. Una estratègia agressiva o a llarg termini requeriria de la compra d'una gran quantitat de productes a un determinat proveïdor, havent-los de mantenir a l'inventari pagant la corresponent quota de manteniment. D'altra banda, una estratègia conservadora o a curt termini consistiria en comprar béns únicament quan estem segurs que seran necessaris, caient en el risc de comprar-los a preus elevats o de no ser capaç de trobar-ne degut a l'alta reserva d'un agent més agressiu.

Per tant, deduïm que és necessari definir l'estratègia a seguir en funció de les estratègies dels adversaris. Per exemple, si detectéssim que hi ha molts agents conservadors en una partida TAC-SCM, una resposta efectiva seria una estratègia a llarg termini. Hauríem de procurar comprar béns a preus baixos degut a la baixa competència i tindríem la possibilitat de monopolitzar els clients que requerrissin d'aquells béns.

És a dir, es complia l'objectiu que buscava la comunitat investigadora, oferint un joc en el que no hi hagués una estratègia dominant *per se*, i que per tant, plantegés la majoria

dels problemes actuals al gestionar cadenes de producció. Així, a mesura que va avançant el joc i varien les condicions de mercat, un agent ha de ser capaç de revisar les seves estratègies, quelcom sens dubte interessant i que planteja un repte als participants i a la comunitat en general.

La TAC-SCM va tenir dos importants canvis estructurals en les seves edicions del 2004 i del 2005, dels quals parlarem més endavant, principalment degudes a les estratègies extremes desenvolupades pels participants de la competició, però des del 2005 els canvis han minvat de forma considerable i com a tal, s'han consolidat algunes estratègies i s'han generat nous reptes, sobretot a partir del 2007, amb l'aparició de la TAC-CAT i les TAC-SCM Challenges.

Degut a l'extensa història de la competició que ocupa l'agent que desenvoluparem, amb la gran quantitat i varietat d'estratègies proposades pels participants de totes les edicions, no podíem passar per alt un estudi exhaustiu d'aquests aspectes. Per això, arribats a aquest punt varem decidir que era necessari que aquest treball incorporés un capítol sencer dedicat exclusivament a aquest estudi, per tal d'extreure'n tota la informació possible i descartar o incorporar nous punts de vista al desenvolupament de l'agent.

2.1.3 TAC Market Design (TAC-CAT)

Tan la TAC-Classic com la TAC-SCM surten de la motivació de desenvolupar estratègies automatitzades per un agent negociador en uns entorns de mercat determinats. Les regles dels mercats són fixades pels organitzadors de cada competició, i els participants competeixen els uns contra els altres, utilitzant agents que busquen negociar dins aquestes regles fixades.

Per altra banda, la CAT Competition planteja la situació contrària: els agents competidors són creats pels organitzadors de la competició, i els participants competeixen definint les regles de mercat. Establir comissions per relacionar compradors amb venedors, de manera adequada per atraure'ls en detriment de la resta de participants, és l'objectiu de la TAC-CAT.

La motivació de la competició és encoratjar la recerca en el disseny i la aplicació de mecanismes computacionals de mercat, particularment mecanismes robustes i capaços d'adaptar-se automàticament als canvis de l'ambient. L'objectiu dels participants, anomenats especialistes, són:

- Dissenyar les regles de mercat per atraure de manera efectiva venedors i compradors, donat un conjunt dinàmic de negociants.
- Competir contra els altres especialistes atraient negociants al mercat propi.
- Maximitzar els beneficis amb comissions apropiades.

El campió de la competició es decideix per una combinació de beneficis, quota de mercat i efectivitat de les transaccions.

La similitud a la realitat d'aquest escenari es trobaria en la competició dels mercats bursàtils, o com la borsa de Tokio competeix amb la de Nova York tan pel negoci de la compra-venda d'accions.

L'inici d'aquesta competició fou en l'edició del 2007 de la TAC, i ha sofert pocs canvis en les regles en l'edició del 2008, com tampoc en la pròxima del 2009. Per a més informació, consultar la pàgina oficial [2].

2.1.4 TAC-SCM Challenges

Les celebracions anuals de la competició TAC-SCM van trobar-se, en l'edició del 2007, l'aparició de dos nous reptes per als agents dissenyats per a la TAC-SCM, el Procurement Challenge, o repte d'aprovisionament, i el Prediction Challenge, o repte de predicció.

Procurement Challenge

El què proposa el repte d'aprovisionament és reflectir l'importància dels contractes de procurament a llarg termini, de quantitat variable, en les cadenes de producció actuals. Complementa la TAC-SCM afegint una nova opció en quant a les ofertes a enviar als proveïdors, permetent el negoci de contractes a llarg termini, a més dels habituals a un sol dia. D'aquesta manera, es representa millor el comportament dels proveïdors al món real.

Així doncs, al Procurement Challenge del TAC-SCM, hi ha disponibles aquests nous contractes a llarg termini, però de quantitat flexible, en els què s'especifica un mínim de components a comprar setmanalment per l'agent al proveïdor, amb la possibilitat d'incrementar aquestes quantitats en un cert percentatge, sense variació del preu.

Aquesta nova disponibilitat introdueix una nova dimensió a la competició, on ajustar-se a la demanda del moment és possible mantenint els preus dels components baixos, en cas d'haver negociat un bon contracte a llarg termini, o malgrat estar lligat a uns preus de components més elevats del què el mercat actual ofereix.

La primera aparició del repte d'aprovisionament en la TAC resideix de l'any 2007, i per aquesta edició del 2009 encara manté la seva aparició a les fases finals de la competició. Més informació es pot trobar a [3].

Prediction Challenge

El repte de predicció del TAC-SCM, serveix per avaluar les eines que utilitzen els agents de la competició al ser capaços de determinar, d'una banda, els preus tan de PCs com de components, com també, els preus del dia actual i dels dies futurs.

Ara bé, en la Prediction Challenge, els agents faran prediccions sobre partides ja disputades de la TAC-SCM, utilitzant per a aquest propòsit la informació acumulada als logfiles.

Per tant, és necessària una re-programació de les estratègies en el nou àmbit, quelcom que ens pot portar força benefici per avaluar-les si fem l'esforç, ja que serem capaços de determinar amb exactitud l'error comès en les nostres prediccions, quelcom que ens pot ajudar a ajustar les estratègies emprades.

La primera aparició d'aquest repte de predicció va coincidir amb l'altre TAC-SCM Challenge en l'edició del 2007, i també s'en disputarà una edició aquest 2009. Més informació a [4].

2.1.5 TAC Ad Auction (TAC/AA)

La publicitat d'internet genera bilions de dòlars anualment, i les cerques esponsoritzades s'han convertit en una forma popular de publicitat localitzada. Els anuncis es col·

La posició dins la web, a més del cost a l'anunciant per cada click realitzat, es determina per un procés de subhasta. Els anunciants que vulguin col·locar els seus anuncis han de decidir estratègicament quines paraules claus són les adequades, i quins preus per click oferir.

La TAC Ad Auction (TAC/AA) presenta un escenari realístic per la simulació d'aquest escenari. Els anunciants representen a empreses minoristes, i fan ofertes per col·locar els seus anuncis abans que els usuaris cerquin certes paraules clau. Els participants han de dissenyar i implementar les estratègies per realitzar les ofertes dels anunciants, mentre que el comportament del motor de cerca i els usuaris són simulats pel servidor. El guanyador és aquell que al final de la competició obté el màxim de benefici respecte els costos d'anunciar-se.

Podem veure'n un esquema a la figura 2.5, i per a més informació podem consultar-la a [5].

Encara no s'ha disputat cap edició de la TAC Ad Auction, i resulta novedosa en l'edició d'enguany de la TAC.

2.2 TAC-SCM: Eines

Aquest apartat serveix d'introductor a les eines disponibles a la xarxa, evidentment les relacionades amb la programació d'un agent de la TAC-SCM. Hem considerat pertinent presentar el servidor actual i les dues eines de visualització *post-mortem* que farem servir, i deixar l'explicació de l'AgentWare, que és el codi bàsic per ajudar a l'implementació d'un nou agent, pel capítol on l'utilitzarem.

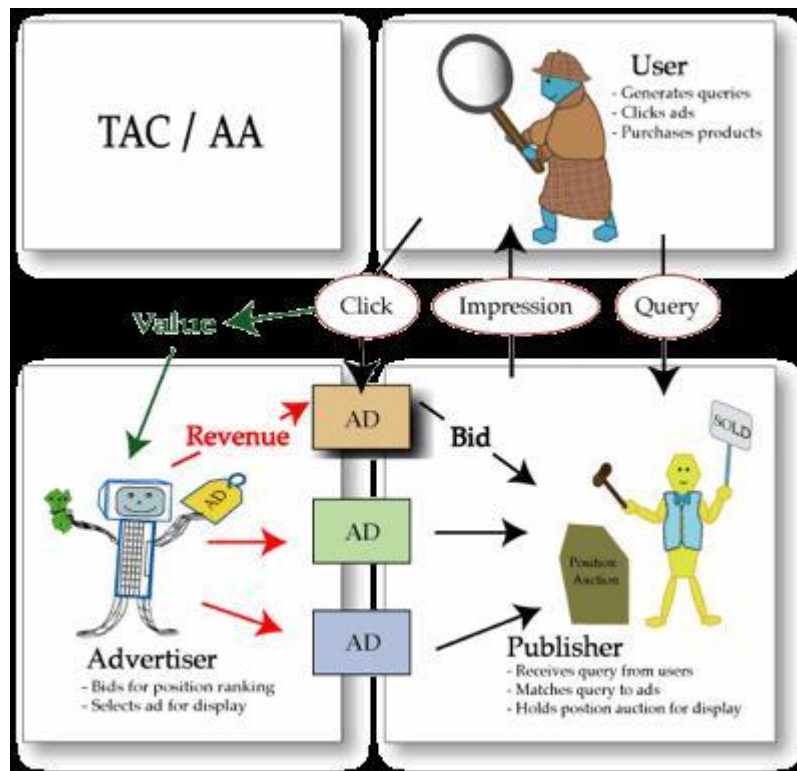


Figura 2.5: Esquema del TAC/AA.

2.2.1 MinnieTAC SCM Server

Un servidor TAC-SCM ofereix el marc on 6 agents poden competir entre sí en una partida TAC-SCM. Qualsevol servidor TAC-SCM ha d'incorporar la generació d'Agents Dummies, o agents estúpids, per a emplenar els espais buits en cas de no haver-hi sis participants humans. També, des de el primer servidor, s'ofereix una eina per a la visualització en directe de la competició, que presenta aquest aspecte (figura 2.6). Al finalitzar una partida TAC-SCM, el servidor ofereix un resum dels resultats de la partida, en podem veure un exemple a la figura 2.7. Els primers servidors del joc van ser programats per la SICS, fins que el treball dels investigadors de la Universitat de Minnesota va resultar en el desenvolupament del MinnieTAC SCM Server, el servidor actual de la competició.

Per una evolució del servidor de la SICS, la Universitat de Minnesota, amb el seu treball sobre l'eficiència dels mètodes estadístics per avaluar els agents de la TAC-SCM [6], va proposar un nou servidor alternatiu. Aprofitant la falta d'interès (o de recursos) de la SICS en continuar mantenint la competició, el servidor programat per aquesta universitat, el MinnieTAC SCM Server, s'utilitza en les competicions oficials des de l'edició del 2007.ta, amb el seu treball sobre l'eficiència dels mètodes estadístics per avaluar els agents de la TAC-SCM [6], va proposar un nou servidor alternatiu. Aprofitant la falta d'interès (o de recursos) de la SICS en continuar mantenint la competició, el servidor programat per

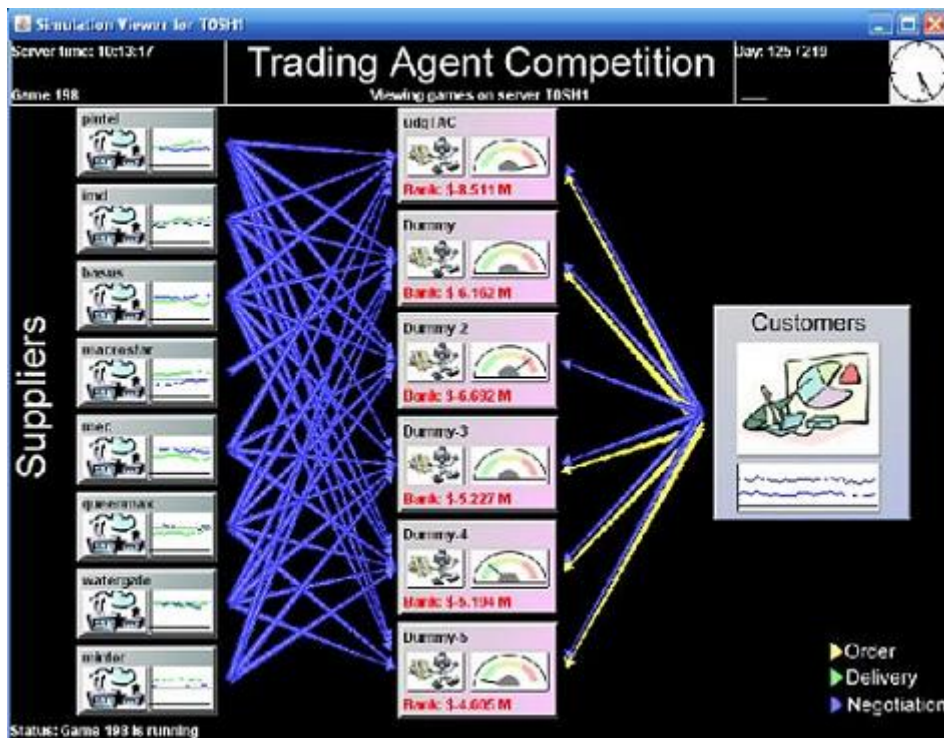


Figura 2.6: Captura de pantalla de l'eina de visualització en directe d'una partida TAC-SCM.

aquesta universitat, el MinnieTAC SCM Server, s'utilitza en les competicions oficials des de l'edició del 2007.

En essència, les funcions que ofereix són molt semblants a les de l'antic servidor, amb la particularitat de poder fixar les condicions de mercat i reduir així la variabilitat al avaluar, estadísticament, el nivell del nostre agent.

És a dir, suposem que volem avaluar la millora d'un agent A' respecte el seu original A. Escollim un nombre N de condicions de mercat diferents. Llavors realitzem N simulacions amb l'agent A i N simulacions amb l'agent A'. Les N condicions de mercat de un agent i l'altre poden ser les mateixes, amb algunes restriccions, en el MinnieTAC SCM Server.

Un exemple de la potència d'aquesta definició la trobem a la figura 2.8, on podem observar un gràfic del comportament de la compta bancària de l'agent *TacTex06*, guanyador de l'edició del 2006. Als dos gràfics cada línia representa una simulació diferent. Al gràfic superior veiem el comportament, amb poca variabilitat, de l'agent, donades unes condicions de mercat fixades. Al gràfic inferior, per contra, podem veure l'enorme variabilitat que presenten unes condicions de mercat variables.

Result for game 193@T0SH1 played at 2009-06-16 01:54:00

Player	Revenue	Interest	Costs			Margin 1	Margin 2	Result
			Material	Storage	Penalty			
wdgTAC	134 066 066	-133 019	132 909 404	1 302 083	256 066	0%	0%	-534 506
Dummy-3	55 643 459	-141 976	58 439 434	407 342	264 087	0%	-5%	-3 609 380
Dummy	55 977 485	-165 757	59 044 011	412 945	714 708	1%	-5%	-4 359 936
Dummy-2	61 315 056	-165 319	64 851 227	451 951	463 390	1%	-6%	-4 616 831
Dummy-5	59 274 297	-175 779	62 851 560	438 874	435 321	1%	-6%	-4 627 237
Dummy-4	58 902 666	-196 288	62 765 608	430 455	588 379	1%	-6%	-5 078 064

Download game data [here](#)







Player	Orders	Utilization	Deliveries (on time/late/missed)	DPerf
wdgTAC	5952	76%	 5881 / 65 / 6	99%
Dummy-3	2644	33%	 2558 / 86 / 0	97%
Dummy	2669	34%	 2457 / 203 / 9	92%
Dummy-2	2841	37%	 2736 / 93 / 12	96%
Dummy-5	2787	35%	 2675 / 104 / 8	96%
Dummy-4	2822	35%	 2656 / 161 / 5	94%

Figura 2.7: Resultat d'una simulació TAC-SCM.

La potència que presenta aquesta eina, sobretot combinada amb la MinnieTAC logtool que presentarem a continuació, és molt extensa i molt útil per a l'avaluació d'agents TAC-SCM.

2.2.2 CMieux logtool

L'eina presentada per la Carnegie Mellon University [7], fou una revolució al 2005, ja que era la primera eina per a realitzar anàlisi de les partides TAC-SCM. L'eina permetia als usuaris analitzar els preus dels components, les reputacions dels proveïdors, la quota de mercat i les vendes de cada agent participant en una simulació de TAC-SCM.

L'anomenada Analysis and Instrumentation Toolkit (AIT) parseja les dades pel seu anàlisi, centrant els gràfics en un agent en particular per evitar l'acumulació de dades en els mateixos. És cert que l'eina ha quedat en part obsoleta per l'aparició de la MinnieTAC logtool, desenvolupada pels mateixos programadors de l'actual servidor de la competició, el MinnieTAC SCM Server, però la CMieux logtool encara conserva eines útils, com la visualització de la quota de mercat, malgrat l'anàlisi dels preus i les vendes sigui més complet en la nova eina.

L'aspecte de la pantalla principal de l'eina és el que podem veure a la figura 2.9, on la captura de l'esquerra representa el menú principal abans de parsejar les dades d'un dels jocs, i la de la dreta el mateix menú amb les dades parsejades i disponibles per a la seva consulta.

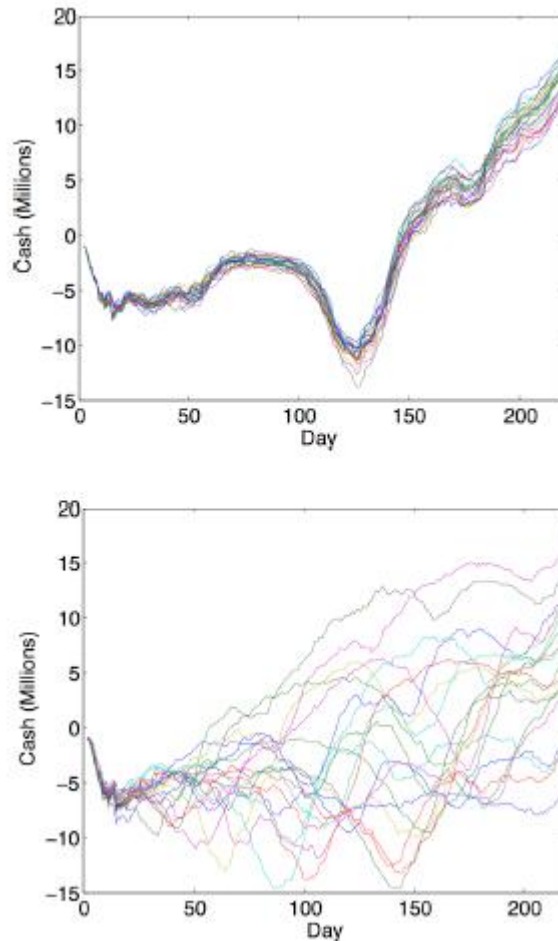


Figura 2.8: Comportament de la compta bancària d'un agent donades unes condicions de mercat determinades o aleatòries.

Al menú principal hem d'escollir el número d'identificació de la partida TAC-SCM que vulguem analitzar, el seu àmbit i quin agent ressaltar als gràfiques resultants. En el nostre cas, totes les simulacions són locals i el nostre agent s'anomena UdGTAC, així que ho mantindrem com a opcions per defecte. En aquest menú principal, es distingeix entre tot el referent als negocis de l'agent amb els proveïdors (Bussines to Bussines, o B2B), i les relacions de l'agent amb els client (Bussines to Client, o B2C).

Per la presentació de les eines de visualització de la CMieux logtool utilitzarem una simulació d'un dels nostres agents UdGTAC.

De les B2B, l'apartat de les Reputacions (figura 2.10) ens informa de l'efecte que tenen, durant el transcurs del joc, les interaccions que haguem tingut amb els proveïdors. En aquest cas veiem com la reputació es manté a 1 durant tot el joc, significat que no ha sofert cap penalització. Pel què fa a les vendes de components, a la figura 2.11 podem

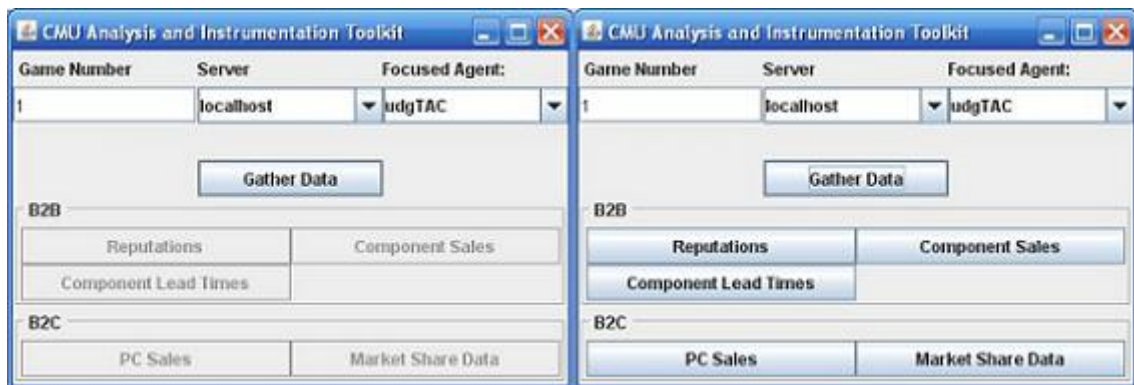


Figura 2.9: Pantalla principal de la logtool presentada per la Carnegie Mellon University.

veure un exemple de l'evolució dels preus de venda de les plaques bases Basus, el seu model per CPUs Pintel, durant la nostra partida TAC-SCM. A més a més, hi podem veure la mitjana dels preus pagats per aquests components, en relació al seu preu base. En aquest cas, hem pagat per aquests components un 0.92 del seu preu inicial, per un total de 10562 compres, intuïnt que hem tingut una activitat superior als nostres rivals. Per acabar, l'última eina disponible a l'apartat de B2B ens ajuda a visualitzar les compres diàries de components, tan preus com quantitats, però la poderositat en aquest camp de l'alternativa programada a la MinnieTAC logtool, ens desaconsellen del seu ús.

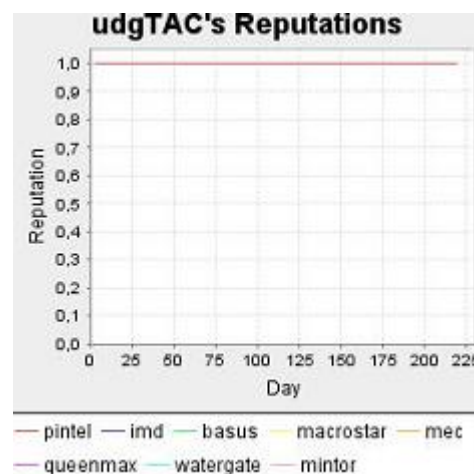


Figura 2.10: Exemple de les evolucions de la reputació d'un agent envers els proveïdors.

Per la seva banda, les eines disponibles a l'apartat de B2C són, primer, un visualitzador dels preus guanyadors i perdedors de les ofertes presentades als clients. Podem veure un exemple dels preus guanyadors d'un tipus d'ordinador en concret a la figura 2.12, i també els preus perdedors del mateix tipus d'ordinador a la figura 2.13. Aquesta informació pot resultar útil per avaluar la nostra capacitat per predir preus, si realment estem realitzant les ofertes adequades pel benefici desitjat. Ofertes a preus massa baixos resultarien en

moltes ofertes guanyadores, però potser a costa d'un curt benefici, mentre que les ofertes massa restrictives en poden portar a no tenir cap encàrrec que satisfer.

L'altra eina disponible a l'apartat de B2C és la que, a priori, pot resultar més útil per avaluar el resultat final. Ser conscient de la quota de mercat abarcada per l'agent propi i el rival, com es pot veure a l'exemple de la figura 2.14, ens pot proporcionar molta informació sobre l'èxit de les nostres estratègies en front dels competidors. La possibilitat de reduir l'àmbit de visualització dels gràfics, fins a qualsevol límit que ens pugui resultar interessant, és una capacitat molt positiva de l'eina, i aquesta personalització possible, en aquest apartat, ens pot portar a un interessant anàlisi envers les estratègies proposades i la seva efectivitat, tan a llarg, com a curt termini, durant qualsevol moment del joc i sobre qualsevol segment d'ofertes dels clients, ja siguin els ordinadors més cars o les ofertes amb requeriments d'entrega a 3 dies vista.

2.2.3 MinnieTAC logtool

Els desenvolupadors de l'actual servidor de la competició, el MinnieTAC SCM Server, varen desenvolupar una nova eina que aprofitava al màxim les noves capacitats del mateix. De fet, van realitzar un estudi [6] per demostrar la necessitat de canviar el servidor, com ja hem exposat a l'apartat corresponent, i aquesta eina de visualització *post-mortem*, especificacions de la qual trobem a [8], era la complementació necessària del servidor proposat.

A diferència amb la CMieux logtool, la MinnieTAC logtool no té una pantalla principal en sí mateixa, d'on seleccionar quina partida visualitzar, sinó que parseja directament el logfile que l'hi indiquem i ens presenta un menú interactiu, on és possible clicar als gràfics que veiem en pantalla per visualitzar les particularitats que ens puguin resultar interessants. L'aspecte de la pantalla principal d'un joc simulat la veiem a la figura 2.15.

En aquesta pantalla principal hi podem observar un resum de les condicions de mercat de la simulació actual, una barra de desplaçament per escollir el dia de simulació que volem veure en concret, un resum de l'evolució de les comptes bancàries dels participants de la competició, la situació actual del joc pel dia escollit i la monitorització d'algunes característiques, com el ranking final o els errors de comunicació que hi hagin pogut haver durant la partida, útil en el cas de partides on-line a un servidor remot.

Fent doble click a qualsevol dels agents obre una finestra, que consta de sis pestanyes, on podem veure diferents característiques sobre l'evolució del compte bancari, l'utilització de la fàbrica i l'inventari del dia seleccionat, informació B2C, detalls dels encàrrecs d'aquell dia en particular, informació B2B i detalls sobre les demandes que hem realitzat als proveïdors el dia que haguem seleccionat. Una vista d'aquestes pantalles la trobem a la figura 2.16.

Informació més detallada sobre el disseny d'aquesta eina la podem trobar a [8].

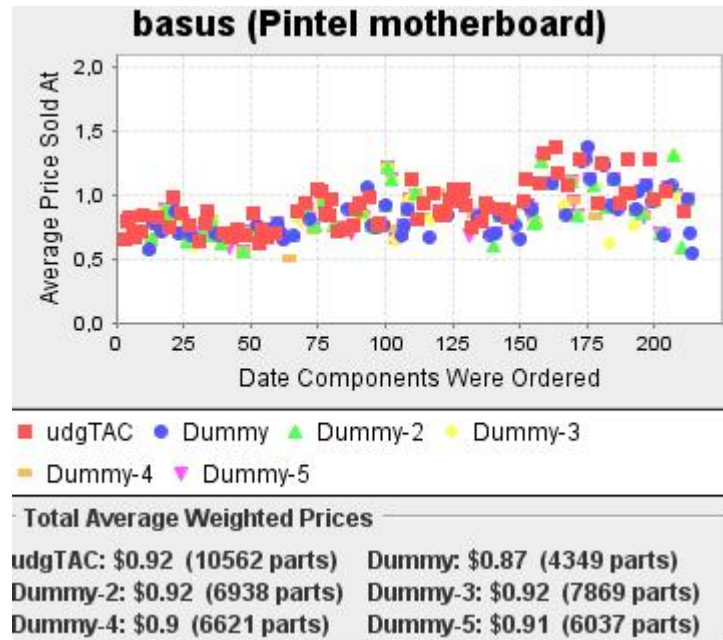


Figura 2.11: Gràfic de l'evolució dels preus de venda d'un component.

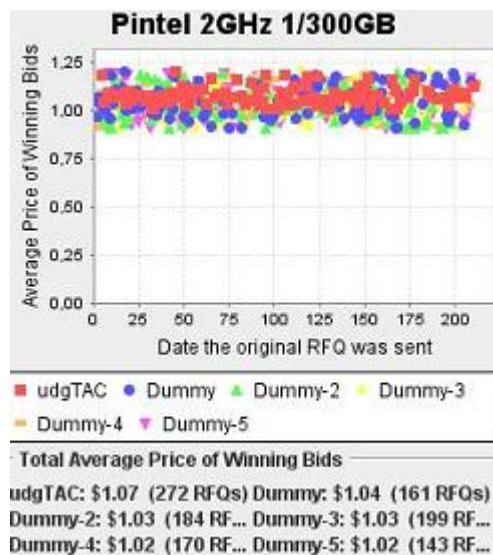


Figura 2.12: Gràfic de l'evolució dels preus guanyadors per la venda d'un PC.

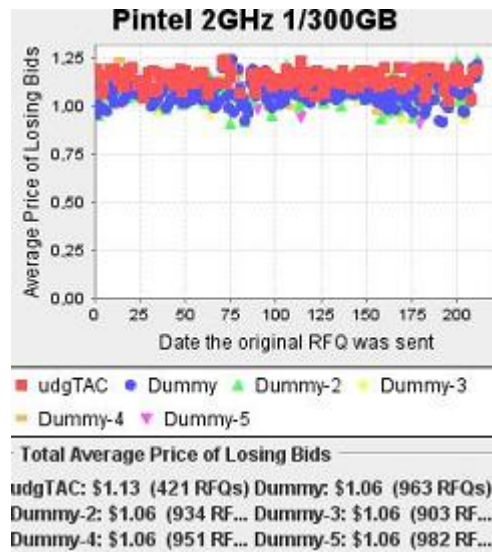


Figura 2.13: Gràfic de l'evolució dels preus perdedors per la venda d'un PC.

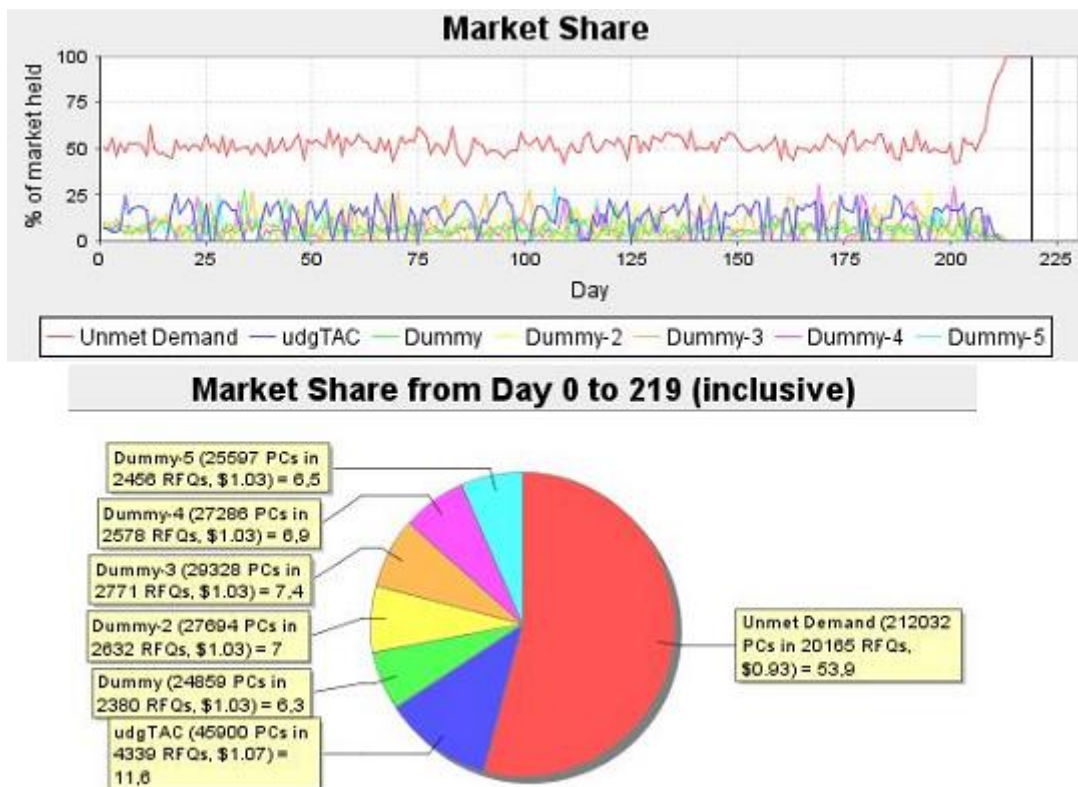


Figura 2.14: Gràfics sobre la quota de mercat abarcada al final d'una partida TAC-SCM.

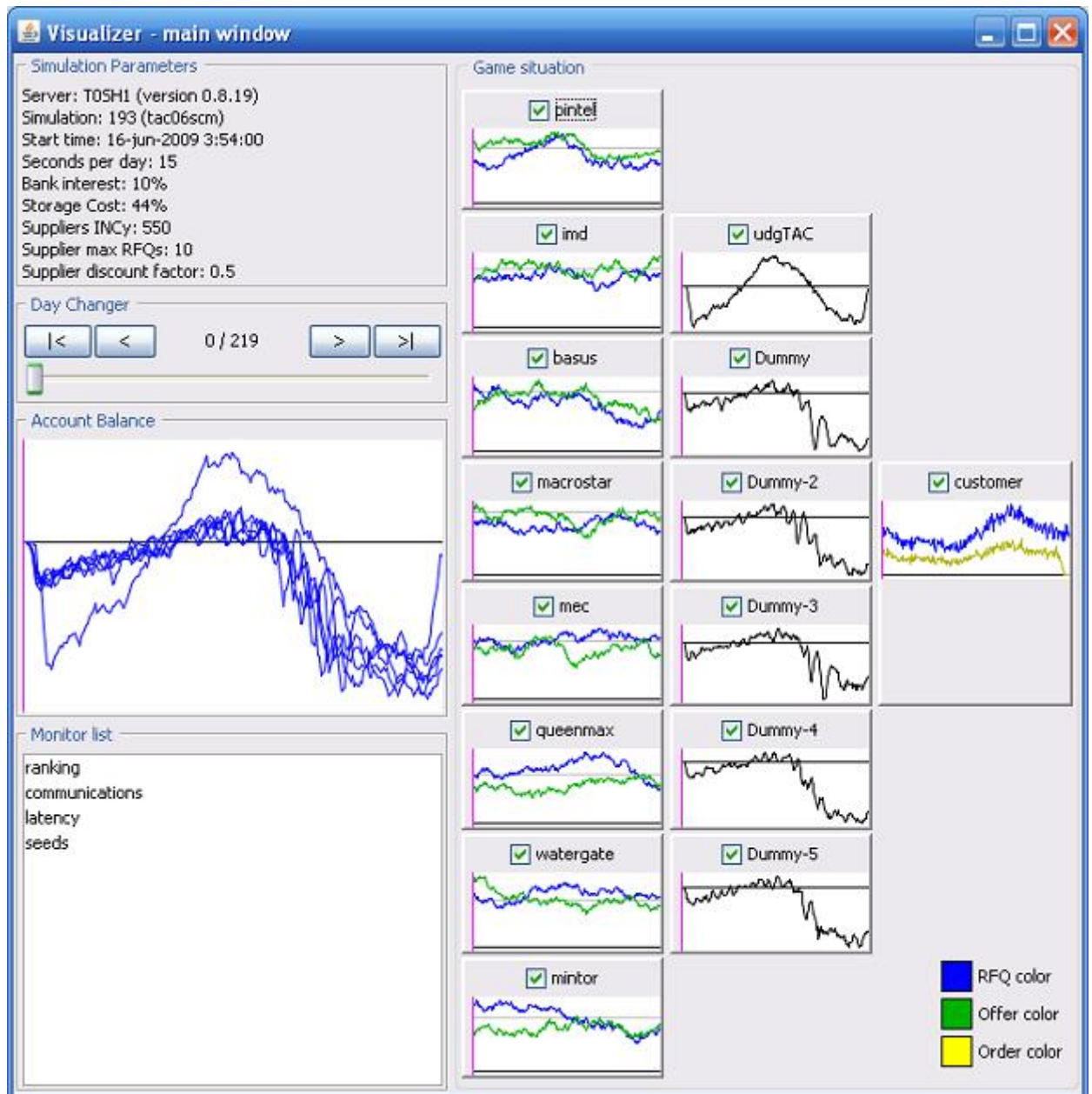


Figura 2.15: Pantalla principal de la MinnieTAC logtool.

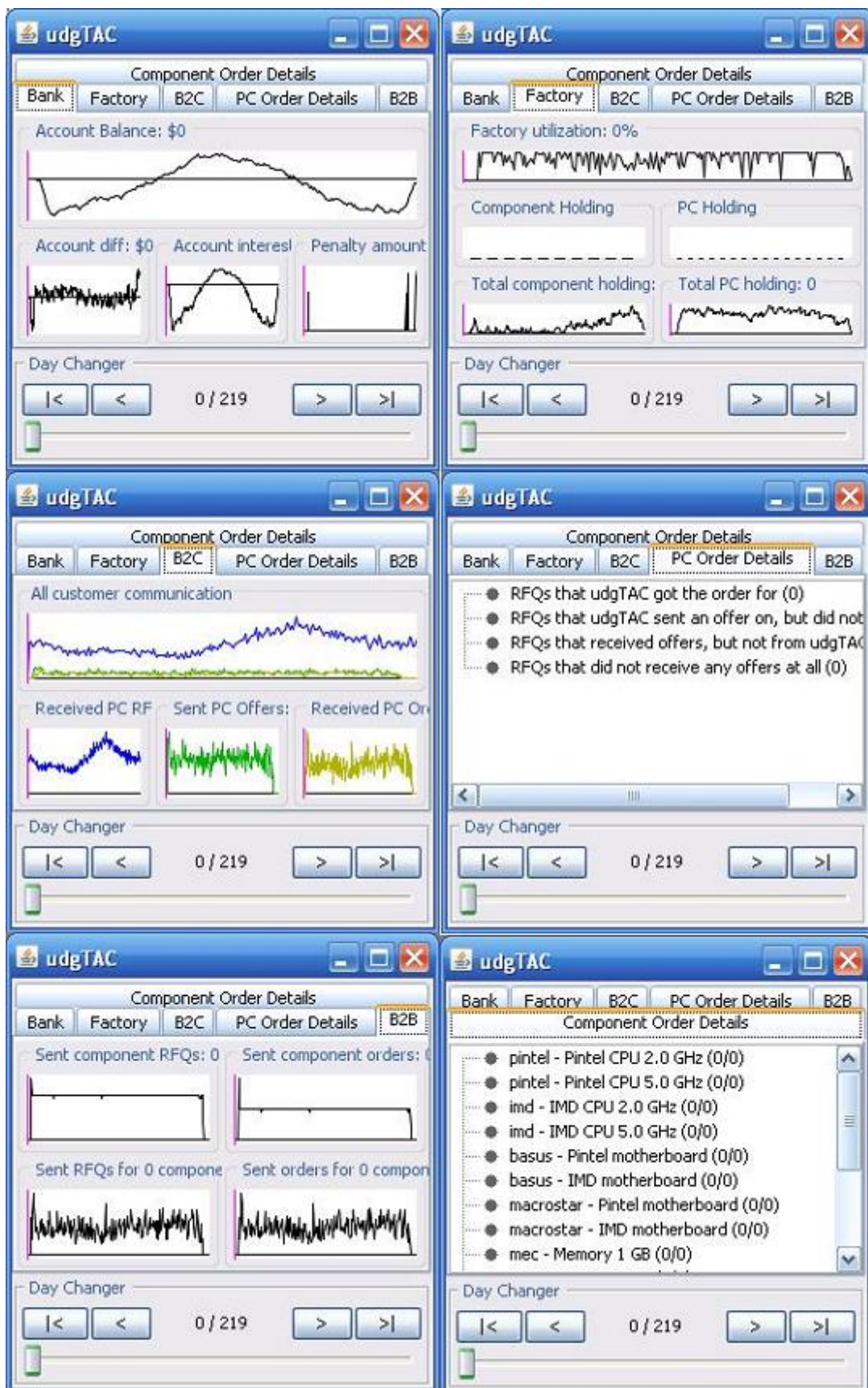


Figura 2.16: Evolució d'un agent utilitzant la MinnieTAC logtool. Visualització de totes les pestanyes.

Capítol 3

Estratègies en la TAC-SCM

3.1 Història de la TAC-SCM: Motivació

Tal i com hem comentat al capítol anterior, era necessari un estudi exhaustiu de les estratègies exposades pels agents participants de la competició que ens ocupa, la TAC-SCM, durant tots els anys en què la competició s'ha disputat.

Ordenats de forma cronològica, en aquest capítol explicarem els principals trets de les estratègies dels agents més rellevants, i conclourem com afecta aquest coneixement al desenvolupament del nostre propi agent.

3.2 Edició 2003

L'edició inicial¹ de la TAC-SCM va estar marcada per l'anomenada *estratègia del dia 0*, que consistia en la compra massiva de productes el primer dia de competició aprofitant els baixos preus dels béns, degut a l'erràtica funció d'avaluació dels proveïdors, que era directament proporcional a la demanda i, al ser mínima el primer dia de competició, oferien uns preus excessivament reduïts. Malgrat els costos d'inventari i el fet de comprometre la demanda a la qual l'agent podria atendre en un futur, l'estratègia va resultar sorpresivament efectiva.

Que un sol agent adoptés l'*estratègia del dia 0* no resultava significatiu pel desenvolupament d'una partida, però el fet que hi hagués una majoria d'agents que adoptés aquesta estratègia va resultar en un impacte important al joc, ja que el convertia en una cursa ferotge per comprar el primer dia, on comprar o no comprar marcava la diferència ja que els darrers tenien poques possibilitat d'èxit al dies següents, per estar compromesa la capacitat de producció dels proveïdors a un agent en particular.

¹La normativa la podem trobar a [11], a més d'informació ampliada sobre el disseny [10] i la idea [9] originals.

Per això, hi va haver dos agents capaços de contrarestar la influència de l'*estratègia del dia-0*, *RedAgent* i *DeepMaize*, utilitzant dues aproximacions molt diferents. *RedAgent*, l'agent de la McGill University canadenca, es concentrava en una aproximació robusta, adaptativa i compensada que al final el va dur a la victòria, mentre que *DeepMaize*, desenvolupat per la University of Michigan, adoptava una aproximació molt més estratègica i particular.

3.2.1 DeepMaize

DeepMaize va incorporar una aproximació empírica utilitzant una anàlisi orientada a la Teoria de Jocs. Degut a la seva aproximació basada en l'esmentada teoria, l'estratègia plantejada per aquest agent resulta d'extrema utilitat per entendre fins a quin punt la podem aplicar, ja que era un dels objectius plantejats a l'inici del treball. De totes maneres, [13] és el treball més aproximat a la Teoria de Jocs de *DeepMaize*, i data de la competició del 2005, on ja es posaven les bases de la versió estable actual de la TAC-SCM, així que en farem un anàlisi complet més endavant.

El disseny de l'agent del 2003 ignorava les singularitats del principi del joc i excel·lia quan aquest evolucionava a un estat més estable. Això era degut a què la majoria d'esforços dels programadors es centraven en una predicció efectiva de la demanda del mercat. Així doncs, *DeepMaize* no aconseguia resultats destacables a les primeres rondes del joc, però si suficients per mantenir-lo en la competició, ja que la fama de l'*estratègia del dia 0* perjudicava l'estabilització de les partides. Això era degut a què la majoria d'esforços dels programadors es centraven en una predicció efectiva de la demanda del mercat. Així doncs, *DeepMaize* no aconseguia resultats destacables a les primeres rondes del joc, però si suficients per mantenir-lo en la competició, ja que la fama de l'*estratègia del dia 0* perjudicava l'estabilització de les partides.

Per contrarestar aquest fet, els desenvolupadors de *DeepMaize* varen dissenyar una estratègia radical per reduir l'efectivitat de l'*estratègia del dia 0*. La seva estratègia consistia en fer demandes elevadíssimes de components a tots els proveïdors, per l'entrega dels mateixos a partir del dia 30 de competició, i la demanda era suficientment elevada com per comprometre la capacitat completa dels proveïdors durant 170 dies. Al dia 1, *DeepMaize* acceptava només els components que podien ésser entregats el dia 30 (una fracció de la demanda original). Com que els proveïdors havien reservat la capacitat a *DeepMaize* al dia 0, no hi havia béns disponibles per la resta d'agents el dia 0, i com que ningú comprovava la disponibilitat del dia 1, on haguessin pogut comprar a preus raonables al veure que *DeepMaize* no havia comprat tota la demanda original, *DeepMaize* va obtenir la segona plaça, essent superat únicament pel campió, el *RedAgent*.

3.2.2 RedAgent

L'estratègia d'aquest agent pensava en el problema de prendre decisions simultànies en el procurament, producció i realització d'ofertes en un entorn d'incertesa desenvolupant una arquitectura multi-agent orientada al mercat. L'arquitectura del *RedAgent* [14, 15] incorporava mercats interns on micro-agents locals competien per béns, capacitat de producció i els encàrrecs dels clients. Heurística² simple era utilitzada pels micro-agents per fer avaluacions sobre el camí a seguir. Les heurístiques utilitzades eren guiades per una combinació d'aprenentatge sobre les dades en altres simulacions fins a adaptacions a events recents, com per exemple el preu acceptat sobre un PC el dia anterior.

Amb una cuidada interconnexió dels agents, els micro-mercats permetien al *RedAgent* prendre decisions externes que reflectien la realitat del mercat actual de la partida, i asseguraven el procurament tan de nous encàrrecs dels clients com dels components necessaris per a satisfer-los. A 3.1 podem veure com això portà al *RedAgent* a aconseguir un 44% del total d'ofertes presentades pels clients, i també podem veure com *DeepMaize* aconseguia un 34% del mercat amb la seva estratègia, ambdós èxits explicats, només en part, per la seva aproximació responsable al problema, tot i que cadascú ho aconseguia de manes radicalment diferents. En aquesta estadística també podem observar com *WhiteBear*, un agent que feia servir una estratègia pràcticament idèntica a l'*estratègia del dia 0*, patia les conseqüències de l'estratègia de *DeepMaize*, passant-se la majoria del joc esperant el procurament de béns.

3.2.3 Conclusions

L'èxit del *RedAgent* va tenir molta importància en la primera edició del TAC-SCM, ja que el fet que aprofités l'incertesa del mercat amb una aproximació mixta entre una estratègia a llarg i a curt termini, per sobre d'una estratègia simple i pre-definida com la d'encarregar un gran nombre de béns de cop, suggeria que la competició podia ser útil per oferir un marc on els estudiosos de la teoria de jocs, els sistemes basats en agents o l'aprenentatge intel·ligent desenvolupessin solucions comunes per intentar trobar una solució dinàmica al problema de la gestió de cadenes de producció. Convèncer a l'indústria de l'ús potencial de tecnologies basades en agents era l'objectiu inicial de la TAC-SCM, i els resultats donaven esperances als creadors del joc.

3.3 Edició 2004

Amb l'experiència de l'edició del 2003, la normativa [17] de l'edició del 2004 modificava la polèmica funció d'avaluació de preus per reflectir millor la demanda, implementava

²Primera vegada que utilitzem el terme. Com veurem a les conclusions d'aquest capítol, l'heurística predomina en la TAC-SCM, i ha marcat la diferència al moment de prendre una decisió per quin camí seguir en el desenvolupament del nostre agent.

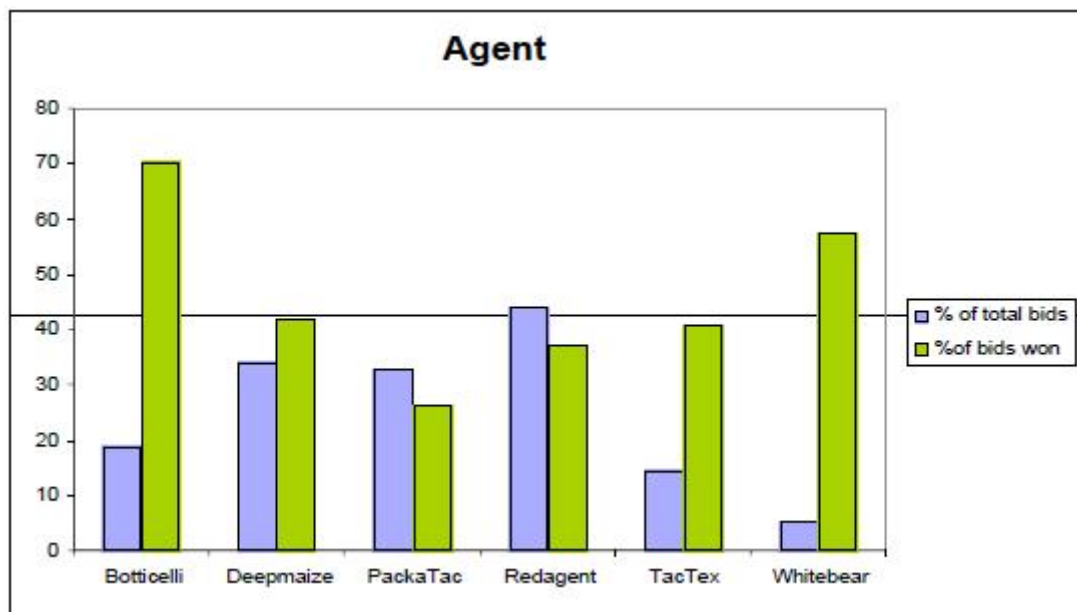


Figura 3.1: Percentatge d'encàrrecs intentats i aconseguits de la final del TAC-SCM 2003.

les despeses d'emmagatzematge i introduïa la demanda de clients dividida en diversos sectors de mercat, on es requerien diferents components per ensamblar diferents tipus d'ordinadors en funció de les peticions dels clients. De totes maneres, aquest intent de reduir l'impacte de l'*estratègia del dia 0* no va fructificar.

Un estudi post-competició dels desenvolupadors de *DeepMaize*³ demostrava que, malgrat els canvis incorporats, que impactaven en cert punt al desenvolupament del joc, no eren tan eficients com s'esperava. Afins a la Teoria de Jocs, la gent de *DeepMaize* utilitzaven una aproximació a l'equilibri de Nash per a demostrar-ho, i del mateix estudi també treuen la conclusió que el TAC-SCM és tan complex que és molt complicat estimar l'efecte de canvis en la normativa del joc, d'on podem deduir que és intrínseca a la competició la racionalitat en certa mesura, i per tant, dissuadeix l'aplicació de teories de forma pura i directa, requerint així certa creativitat per trobar fórmules guanyadores.

Per empitjorar les coses, l'estratègia de l'agent campió, el *FreeAgent* desenvolupat per l'University of Essex, es basava en bloquejar les estratègies rivals, quelcom que ja va sorprendre als quarts de final quan no tan sols va aconseguir eliminar al campió de l'any anterior, el *RedAgent*, sinó que ho va fer amb autoritat fent-lo caure fins a l'última posició. El fet que fossin exitosos agents amb aquest tipus d'estratègies tan concretitzades a l'escenari del TAC-SCM, desplaçades de l'intenció original de la competició, feien perdre part de l'interès que havia despertat la TAC-SCM, com demostra el fet de la poca documentació generada sobre els resultats de l'edició 2004.

³Apartat 4.2 *Early Procurement in TAC-04/SCM* a [18]

3.3.1 FreeAgent

Malgrat que no va ser l'únic agent en intentar una estratègia de blocatge, el *FreeAgent* va destacar per sobre de la resta gràcies a la compra escalonada en el temps de components clau, per reduir així els costos d'inventari, compensant d'aquesta manera els alts preus que havia de pagar per aquests esmentats components.

Per posar-nos en situació, cal esmentar que la tàctica específica utilitzada per *DeepMaize* el 2003 deixava de ser útil, degut als canvis en la funció d'avaluació de preus dels proveïdors. Aquesta tàctica es centrava en acceptar parcialment les comandes fetes a preus baixos el dia 0, que amb les regles del 2004, resultava en preus molt elevats. Un agent que volgués blocar als altres al 2004 havia d'acceptar pagar a alt cost els components comprats al dia 0, o per contra especular envers ser capaç d'aconseguir components més tard durant el joc malgrat tenir mala reputació amb els proveïdors.

FreeAgent va decidir acceptar pagar a preus cars sobre els béns menys costosos. Mentre comprava al dia 0 el més car dels quatre components necessaris per fabricar un ordinador, la CPU, com la resta dels agents, utilitzava la resta de RFQs que tenia disponibles per blocar les comandes dels competidors en la resta de béns. A la 3.2 podem veure com la compra de CPUs pels agents el dia 0 es distribueix de manera força equilibrada, mentre que l'estratègia de bloc del *FreeAgent* limita la compra de la resta de components als seus oponents sobretot al dia 0. Com a conseqüència, a la figura 3.3 veiem com *DeepMaize*, *SouthamptonSCM* i *Mr. UMBC* es passen la majoria del joc pagant costos d'inventari sense possibilitat d'utilitzar la fàbrica per falta d'algun dels components. *Botticelli* entra massa tard a competir al rebutjar totes les ofertes dels proveïdors al dia 0, mentre que *UMTac-04* venia els seus PCs a preus massa baixos.

Agent	CPU 0	CPU 1	CPU 2+	Other 0	Other 1	Other 2+
FreeAgent	0.61	0.05	0.34	0	0.05	0.95
Mr.UMBC	0.57	0.16	0.27	0.29	0.47	0.24
UMTac-04	0.85	0.15	0.00	0.39	0.60	0.01
Botticelli	0	0	1	0	0	1
Deep Maize	0.90	0.01	0.09	0.46	0.02	0.52
SouthamptonSCM	0.81	0	0.19	0.54	0.38	0.07

Figura 3.2: Percentatges dels components comprats els dies 0, 1 i 2+, respecte el total de cada agent.

La última clau per explicar la victòria del *FreeAgent* és els seus baixos inventaris respecte els seus més propers competidors, malgrat compartir quotes de mercat comparables (Figura 3.4). Això és el resultat d'haver comprat béns no-CPU durant el transcurs de la competició, que permetia a l'agent, com ja hem compensat, distribuir les quantitats de manera més escalonada en el temps. N'obtenia un avantatge en costos d'inventari per sobre dels dos immediats perseguidors, i compensava els preus elevats pagats per els components no-CPU.

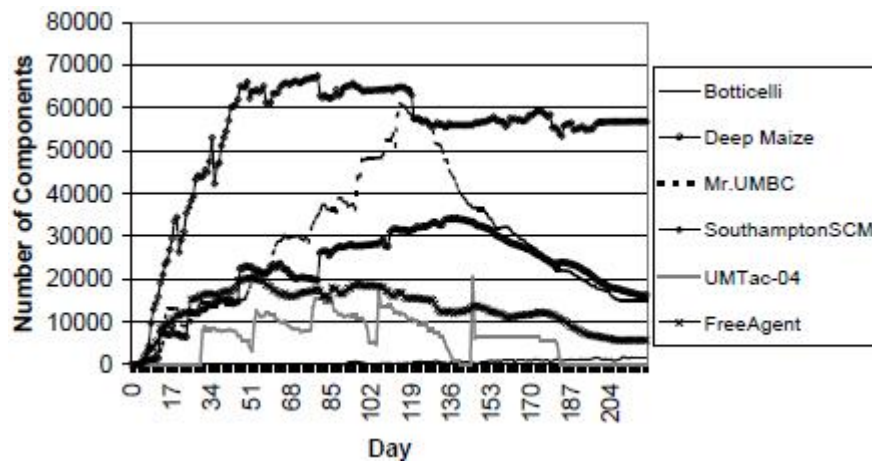


Figura 3.3: Diferència mitjana acumulada entre components a l'inventari i capacitat de manufacturar-los.

Valors elevats indiquen que a l'agent li manquen un o més components complementaris per fabricar PCs.

3.3.2 Conclusions

Com que l'objectiu principal de la TAC-SCM era l'impacte potencial a l'indústria de les estratègies desenvolupades al joc, el 2004 va ser un any molt decepcionant en aquest aspecte. Els agents es concentraven més en aprofitar els buits que deixaven les regles de la competició, enlloc de la desitjable aproximació generalista que havia triomfat l'any anterior. Malgrat el mal regust dels resultats, aquests van servir per re-revaluar les normes i tornar a fer canvis importants per la competició del següent any, quelcom que va ser molt positiu per la salut de la TAC-SCM, ja que el 2005 és l'any clau en el què va mostrar-se, per fi, tot el potencial d'una competició d'aquestes característiques.

3.4 Edició 2005

L'edició del 2005 va suposar l'últim canvi radical a la normativa, que podem consultar a [19], centrant la majoria de millores sobre el model de servidors. Així doncs, els nous servidors reservarien una part de la seva capacitat a llarg termini per a futurs requeriments, i requerien el pagament per avançat dels requeriments fets pels agents. A més, els agents es consideraven en total, calculant els preus per la demanda total de components, i no per la demanda representada per un agent en particular. A més, la reputació envers els proveïdors es convertia ara en un factor significatiu, gràcies al canvi de normativa.

Aquesta edició és la que més literatura va generar, ja que era la primera edició de la TAC-SCM on les estratègies extremes no hi tenien sentit, el què ajudava a centrar la

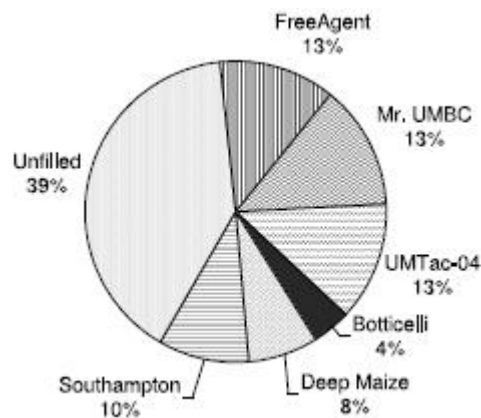


Figura 3.4: Quota de mercat a la final de la TAC-04/SCM.

competició en la recerca d'aplicatius, tan pròxims a la realitat com fos possible, sempre dins el marc de la competició.

Utilitzant l'anàlisi de la final realitzat a [20] veiem com, definitivament, els monopolis que s'establien a l'edició del 2003 i del 2004 ja no eren un problema. Així, el campió de l'edició, el *TacTex05*, utilitzava una estratègia consistent en la predicció i la optimització, quelcom desitjable pels organitzadors i que recuperava la salut de la competició.

3.4.1 TacTex05

L'estratègia del TacTex, de la que podem trobar una ampliació a [20, 21], es basava en orientar la optimització de l'agent als servidors. És a dir, va aconseguir obtenir els preus més baixos en la compra de components i, sumat a la seva capacitat per mantenir la producció de la fàbrica a nivells elevats, es va endur la victòria.

Per a l'optimització de la fàbrica, *TacTex05* controlava la seva producció a 10 dies vista, utilitzant un algorisme de cerca avara, una part de l'heurística que ens pot resultar profitosa per al desenvolupament de l'UdGTAC.

TacTex05 utilitzava un algorisme per determinar la producció [22] a 10 dies vista ja que, segons raonaven els desenvolupadors, la data màxima d'entrega possible d'una oferta rebuda a dia d'avui és a 12 dies vista, i com que són necessaris com a mínim dos dies per a procurar-nos els components que necessitem per a satisfer aquesta oferta (un dia per a demanar els productes al proveïdor, el següent per a rebre'ls), hauríem d'enviar l'ordre de fabricació en els 10 dies següents a la data de rebuda dels components.

Per tant, l'algorisme utilitzava la informació del nombre de cicles determinat, el nombre total de components a l'inventari, el nombre i data dels components que esperem rebre i els PCs llestos per a la seva entrega, per a determinar, amb l'esmentada cerca avara, la mes òptima manera d'organitzar la producció de la fàbrica.

Aquesta cerca avara consistia en ordenar els productes pel seu benefici (màxim benefici primers, menys beneficiosos després), i fabricar tots els encàrrecs possibles utilitzant cicles i components el més pròxims possible a la data d'entrega. D'aquesta manera, no es comprometia la fabricació a curt termini de la fàbrica, i donava lloc a poder utilitzar els components i els cicles per a altres ofertes amb dates d'entrega més pròximes.

Tot això es complementava amb un algorisme de predicció dels preus dels components molt efectiu, que com ja hem comentat, assolia el propòsit de comprar als preus més baixos possibles, contribuint així a maximitzar el benefici per a cada venda de PCs.

D'aquesta manera, el *TacTex05* aconseguia unes plusvalies molt significatives respecte la dels seus competidors, com podem veure al gràfic de la figura 3.5, on hi veiem gairebé un 0.01% de diferència entre el *TacTex05* i els seus immediats competidors, el *Mertacor*⁴ i el *DeepMaize*. Malgrat tenir un bon sistema de predicció de preus, *Mertacor* no era capaç de mantenir un percentatge elevat d'utilització de la fàbrica, com podem veure a la figura 3.6, el què l'hi otorgava la tercera posició. *DeepMaize* si que aconseguia unes bones xifres en utilització de la fàbrica i benefici per venda, però els seus problemes de connexió el van deixar fora d'alguns dels jocs disputats a la final, el què el va impedir d'aconseguir la segona posició que es mereixia. Cal comentar també la segona posició del *SouthamptonSCM*⁵, que també maximitzava l'utilització de la fàbrica, i aconseguia unes xifres només lleugerament inferiors en beneficis a les que aconseguia *DeepMaize*.

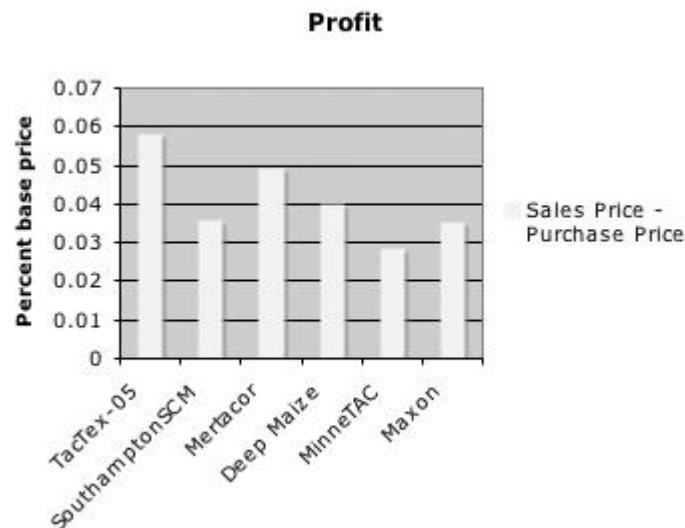


Figura 3.5: Gràfic del percentatge de beneficis respecte el preu base dels agents de la final TAC-SCM 2005.

⁴més informació sobre aquest agent la podem trobar a [23]

⁵més informació sobre aquest agent la podem trobar a [24]

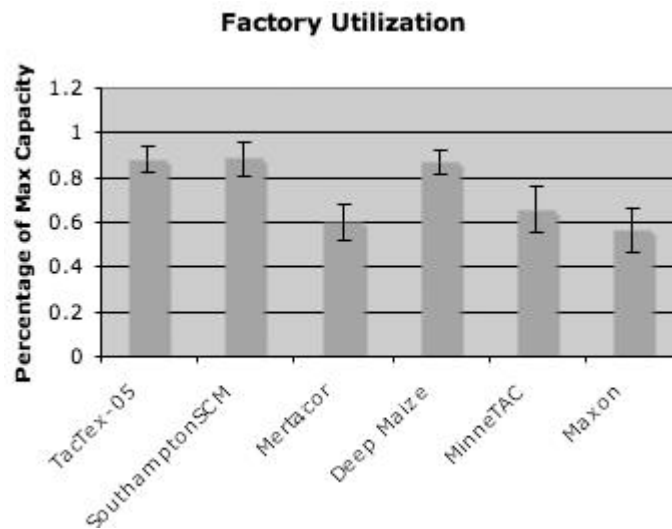


Figura 3.6: Gràfic del percentatge d'utilització de la fàbrica dels agents de la final TAC-SCM 2005.

3.4.2 Conclusions

De l'anàlisi [20] extraiem algunes conclusions molt significatives pel desenvolupament del treball. El fet que les regles hagin variat molt poc des de l'edició del 2005, dóna molta legitimitat a la validesa dels raonaments extrets d'aquest anàlisi.

Així doncs, d'aquest anàlisi extrèiem la idea que l'utilització de la fàbrica és el coll d'ampolla més important, el què significa que, per regla general, és convenient mantenir-lo tan alt com sigui possible. Degut a la limitació en cicles de la nostra cadena de producció, mantenir un percentatge elevat d'utilització de fàbrica és quelcom no tan sol molt desitjable, sinó també quelcom totalment controlable per l'usuari. L'únic cas en què ens podem plantejar limitar aquest percentatge és en el supòsit que vendre computadores no sigui rentable, ja sigui perquè els preus dels components són massa elevats, o perquè el requeriment de preus dels clients és massa baix pel valor dels components necessaris per a la fabricació dels PCs.

Les conclusions directes d'aquesta afirmació són les que ens donen idees pels desenvolupament de l'UdGTAC. Els prototips programats buscaran la manera d'optimitzar al màxim aquest percentatge d'utilització de la fàbrica, mentre que a la vegada, intentem maximitzar els beneficis per a obtenir el millor resultat possible a la competició. Per a obtenir aquest resultat, el primer que tindrem en compte és com reduir els preus de compra dels components, ja que hem vist que és un dels atributs més significatius pel resultat final.

3.5 Edició 2006

En l'edició del 2006 de la TAC-SCM, es van introduir pocs canvis respecte la normativa de l'edició del 2005, degut a l'experiència positiva d'aquesta. Els petits canvis servien per encoratjar la manera de funcionar dels agents victoriosos de l'edició passada, i per tant, a la normativa [27] s'hi introdueixen només dos novetats: la capacitat de conèixer les identitats dels rivals al principi de la competició, per tal d'afavorir l'ús del disseny basat en les estratègies dels oponents; a més de la relaxació del ratio de reputació negativa dels proveïdors envers els agents, en el supòsit d'encàrrecs rebutjats.

3.5.1 TacTex06

El campió de l'any anterior va repetir victòria el 2006 [28], mitjançant una estratègia molt semblant a l'emprada en el passat. Les proves realitzades utilitzant els binaris disponibles dels altres agents a la web de la SICS, juntament amb un complet sistema d'estudi propi (ja que encara no s'havia donat a conèixer el servidor MinnieTAC, ni la seva logtool), van ser les claus de la seva victòria.

El *TacTex06* modificava una mica els thresholds de l'any anterior gràcies als seus estudis estadístics, però la clau principal va ser la modificació de l'agent enmig de les fases classificatòries, mitjançant una aproximació basada en tècniques d'aprenentatge que aprofitava les dades generades de les partides disputades. Tot i que els desenvolupadors del *TacTex06* són conscients que aquest feedback i experiència és possible de manera molt reduïda al món real, o potser fins i tot impossible, i que la capacitat d'aprendre donada una experiència limitada, era el pas de millora lògic per a la pròxima edició.

Molts participants, de la mateixa com ho feia *TacTex05* i ho fa la nova edició del *TacTex06*, utilitzen alguna greedy-search, o cerca avara, per a la planificació de la fàbrica. Així doncs, aquesta tècnica heurística serà considerada com a la primera opció al desenvolupar l'UdGTAC.

També han intentat els participants millorar la seva manera d'aprovisionar-se, utilitzant tècniques de predicció de les necessitats de components en un futur. Segons els desenvolupadors del *TacTex*, aquestes aproximacions són, en la majoria dels casos, heurístiques per naturalesa, una confirmació més del paper important que juguen aquestes tècniques en la TAC-SCM.

3.5.2 Conclusions

Utilitzar l'heurística per a programar un agent per la TAC-SCM sembla quelcom indispensable després d'aquestes recerques. Ja amb l'edició del 2005 intuïem el seu èxit, i s'ha confirmat en l'edició del 2006.

Per tant, arribats a aquest punt sembla força evident la necessitat d'obtenir coneixement de la matèria, per a poder aplicar-ho després en la programació de l'agent UdGTAC.

3.6 Edicions 2007-2008-2009

L'aparició de les noves TAC-SCM Challenges, a més de la nova modalitat TAC-CAT, van allunyar la TAC-SCM del principal focus d'atenció a partir del 2007. Així doncs, la documentació relacionada amb la TAC-SCM no és abundant a partir d'aquest any, ja que la comunitat es va bolcar en el desenvolupament dels nous reptes.

L'edició d'aquest any 2009, amb l'aparició de la nova TAC/AA fa pensar que la documentació d'enguany, almenys la referent a la TAC-SCM, també és possible que brilli per la seva absència. Així doncs, pel futur progrés de l'agent en la competició, serà necessari desenvolupar cert coneixement dels nous reptes, principalment de les TAC-SCM Challenges, ja que influeixen directament en l'avaluació d'estratègies emprades en la TAC-SCM original, i poden resultar eines complementàries a les logtools.

3.7 Teoria de Jocs

La majoria d'informació de la secció sobre la Teoria de Jocs està basada en els dos primers capítols de [36].

Tots els jocs són models de situacions conflictives i cooperatives en les que podem reconèixer situacions i pautes que es repeteixen amb freqüència al món real. L'estudi dels joc sempre ha despertat interès en la comunitat científica de totes les èpoques pel desenvolupament de teories i models matemàtics.

Tot i això, no és l'objectiu de la Teoria de Jocs analitzar l'atzar o l'aleatorietat, sinó els comportaments estratègics dels jugadors. Considerarem un comportament estratègic quan s'adopta tenint en compte la influència conjunta sobre el resultat propi i dels demés tant de les decisions pròpies com les dels altres.

La tècnica per l'anàlisi d'aquestes situacions fou presentada en primer lloc pel matemàtic John von Neuman i l'economista Oskar Morgenstern, quan el 1944 van publicar "*Theory of Games and Economic Behavior*", que va obrir de manera inesperada tot un nou camp d'estudi en el qual, actualment, hi treballen milers d'especialistes arreu del món.

La Teoria de Jocs intenta estudiar les accions humanes en societat, i per tant, les seves aplicacions abarquen camps tan distints com l'economia, els negocis, la biologia evolucionista, les relacions internacionals o les ciències polítiques, per citar alguns exemples.

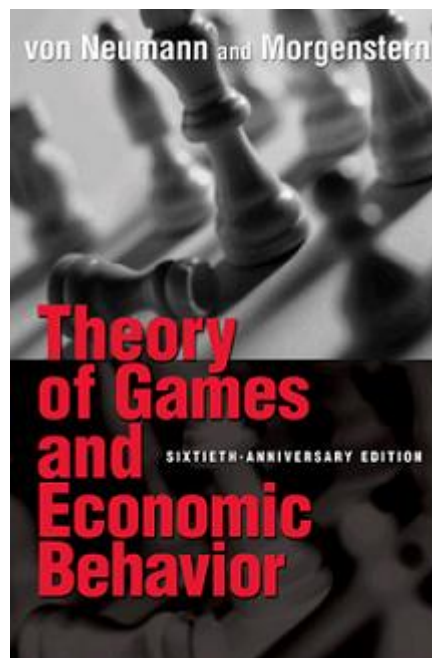


Figura 3.7: Edició commemorativa del 60é aniversari de la publicació del llibre considerat precursor de la Teoria de Jocs.

3.7.1 Raonament estratègic

En la Teoria de Jocs s'intenten explicar les particularitats dels jocs d'estratègia, que cal diferenciar d'aquells jocs que depenen exclusivament de la sort, com escollir cara o creu pel llançament d'una moneda a l'aire, o de l'habilitat pura, com una cursa de 100 metres lliures, on el més important és el físic i la tècnica del corredor, i no hi ha lloc per l'estratègia per la curta durada de la competició. Això no vol dir que no es puguin trobar components mesclats. En una maratón, per exemple, no només importen les nostres condicions físiques, sinó que també com utilitzar-les. Decidir si liderar la cursa i establir el ritme, o quan començar a esprintar en els últims metres de la cursa, poden ser exemples d'estratègia.

El raonament estratègic parla sobre les teves interaccions amb els demés: algú està fent un raonament similar al mateix moment i en aproximadament, la mateixa situació. Tornant a l'exemple de la maratón, els teus oponents podrien decidir frustrar o facilitar els teus intents per liderar la cursa, en funció el què pensin que satisfà millor els seus interessos propis. La Teoria de Jocs es podria considerar la ciència o l'anàlisi d'aquestes decisions dinàmiques.

Quan ets conscient dels teus objectius o preferències i de les possibles limitacions o conseqüències de les teves accions, i esculls les teves accions de manera calculada per obtenir el millor resultat seguint el teu criteri, estàs actuant de manera racional. La Teoria de Jocs és la ciència del comportament racional en situacions interactives.

Amb tot això no volem dir que la Teoria de Jocs descobreix els secrets del comportament perfecte, sinó que dóna certs coneixements generals per pensar sobre interaccions estratègiques. Aquestes interaccions han de ser complementades amb detalls específics de la situació en concret, abans de ser capaç d'obtenir-ne una estratègia guanyadora. Així doncs, els bons estrategues mesclen la ciència de la Teoria de Jocs amb l'experiència pròpia, ja que, segons es diu, jugar és tan artístic com científic.

3.7.2 Dilema del Presoner

El Dilema del Presoner és un dels dilemes clàssics de la Teoria de Jocs, que planteja un dels considerats exemples més bàsics d'estratègia.

Hi ha moltes versions semblants del Dilema del Presoner, i un exemple podria ser el que dos subjectes són detinguts acusats d'haver infringit la llei de manera conjunta. Al arribar a comissaria, els col·loquen en habitacions diferents, aïllats l'un de l'altre i els hi diuen el següent, per separat:

- Si un d'ells es confessa culpable i l'altre no, el primer rebrà una condemna de un any i l'altre serà castigat a deu anys de presó.
- Si tots dos es declaren culpables, s'els castigarà a tots dos, pero de manera menor, cinc anys de condemna.

- Si cap d'ells confessa, sortiran en llibertat.

Per tant, hi ha dues opcions, confessar o no fer-ho. Cooperar o no. Definir quina estratègia és la més correcte no només depèn de nosaltres, ja que el resultat de la nostra decisió també depèn de què respongui el nostre company.

Així, a priori, traicionar el teu company és la millor opció, ja que la condemna possible va de 1 a 5 anys, per cap o 10 en cas de no fer-ho, el què potencialment pot dur a un cas molt pitjor que els dos anteriors. Si jo sóc l'únic que confessa, només m'hauré d'estar un any a la presó. Si els dos confessem, ens col·locarem en una posició on a cap dels dos, per separat, en convé canviar la nostra postura, ja que ens perjudicaria. Aquest estat en què a cap dels dos ens tempta canviar la nostra postura, ja que sempre en sortiríem perjudicats, constitueix un punt d'equilibri de Nash, quelcom que desenvoluparem més endavant en aquesta mateixa secció.

3.7.3 Classificació de Jocs: TAC-SCM

Pel desenvolupament de tècniques de la Teoria de Jocs ens és necessari classificar el nostre joc en particular segons les seves característiques, per tal d'oferir solucions adequades: quelcom que ens doni els suficients recursos per afrontar el joc amb un mínim de garantia d'èxit a algun nivell.

A mesura que anem veient les característiques a valorar, intentarem classificar la TAC-SCM dins aquests paràmetres.

Seqüencial o Simultani?

Els escacs són un exemple de joc seqüencial. Primer mouen blanques, després negres, responen blanques, etc. D'altra banda, les ofertes a clients dins la TAC-SCM constitueix un exemple de joc simultani, ja que realitzem les fem a la vegada amb els nostres rivals, ignorant les que ells presenten. Ara bé, és possible programar variants en funció del què siguem capaços de detectar pel progrés dels competidors, el que converteix el procés d'oferir en una mescla entre seqüencial i simultani.

Per tant, si ens preocuparem per les futures conseqüències de les nostres accions i les del rival, estarem parlant d'un joc seqüencial, mentre que si hem de prendre una decisió del què fer i què faran els nostres rivals ara mateix, ens trobarem en el marc d'un joc simultani. Com ja hem intuït, la TAC-SCM introdueix tots dos tipus de reptes, ja que les estratègies a curt i a llarg termini determinaran el nostre èxit en la competició. Ser capaços de predir efectivament què succeirà i respondre a aquestes previsions, serà clau pel nostre èxit.

De suma zero o de suma no zero?

En un partit de bàsquet sempre hi ha un vencedor i un perdedor. El benefici d'uns és la pèrdua dels altres. Així, diem que els interessos dels participants d'una competició d'aquestes característiques estan en permanent conflicte, i que el resultat de sumar els guanys i les pèrdues totals dels participants és zero, d'aquí el nom de jocs de suma zero.

D'altra banda, el comerç en general és un exemple de joc de suma no zero, ja que la cooperació de tots els participants, per exemple, podria dur a magnificar els beneficis de cadascun d'ells, malgrat fossin incapaços de repartir-se equitativament aquest pastís més gros de manera equitativa. Així, com hem vist a l'història del TAC-SCM, tenim exemples de cooperació i conflicte a les primeres edicions, on el *DeepMaize* del 2003 bloquejava les *estratègies del dia zero* per a benefici comú global [18], mentre que *FreeAgent*, al 2004, utilitzava una estratègia de bloqueig per empitjorar les condicions del mercat per a tothom i obtenir un benefici propi predient aquests canvis induïts per ell mateix.

Jocs d'una sola partida o de múltiples partides? Amb els mateixos o diferents oponents?

Als jocs d'una sola partida, un participant pot participar sense preocupar-se de les repercussions que es juguin al futur contra el mateix rival. Per la seva banda, el jocs amb relacions més duradores ofereixen un raonament diferent. Conèixer més informació sobre l'oponent resulta útil en aquests casos, ja que aquest coneixement ens pot portar a modificar les nostres accions en un futur.

El TAC-SCM es pot considerar un joc de múltiples partides amb els mateixos oponents, essent cada dia TAC-SCM un petit joc d'una sola partida, que a llarg termini es converteix en el de múltiples. L'informació que puguem aprendre dels rivals pot resultar clau pel resultat final del joc.

De coneixement complet o parcial?

Als escacs, els jugadors coneixen exactament la situació actual i tots els moviments que hi han dut. Aquest coneixement complet no es repeteix gaire freqüentment en la majoria de jocs, com a la TAC-SCM, on només coneixem parcialment certa informació. Disposem d'informació comuna, com la Bill Of Materials, i d'informació particular, com la que cada agent recopili per a fer les seves prediccions.

En el joc de l'informació hi entren conceptes generals com les senyals, que ens poden indicar quelcom en particular, assegurant-nos la veracitat sobre un fet en concret. Les senyals s'han de distingir de les pantalles de fum, quelcom que utilitzarem per a crear situacions on forcem a algú a revelar alguna informació i que aquesta sigui totalment confiable. A la TAC-SCM podem apreciar senyals que ens puguin indicar la tendència actual del mercat, per posar un exemple, al demanar uns o altres PCs. Similarment, podem uti-

litzar RFQs de quantitat zero com a pantalles de fum perquè els proveïdors ens informin, per separat, dels preus que fan pagar pels seus productes, i així poder comprar al mínim cost possible.

Regles fixades o manipulables?

A qualsevol joc de cartes, als escacs o als esports, les regles són donades i tots els jugadors les han de complir. D'altra banda, en la política o els negocis, els jugadors poden crear les seves pròpies regles a més o menys nivell, com per exemple les argücies per arreglar els balanços fiscals d'una empresa.

Al TAC-SCM, les regles fixades vigents les trobem a [29], però sabem que l'acció directa dels agents pot influir en la demanda dels clients, per posar un exemple, o amb l'anomenada *estratègia del dia zero*, on l'acció de comprar un gran nombre de béns al principi del joc produïa un canvi significatiu en la normativa de la partida, i era necessari adaptar-s'hi si es volia succeir.

Cooperatiu o no-cooperatiu?

Hem vist que la TAC-SCM és una mescla d'interès comú i conflicte constant. Per tant, és lògic pensar en acordar negligir estratègies extremes pel benefici comú, i centrar-se en guanyar la competició en un estat més estable. Ara bé, la falta de control respecte què faran els rivals durant la partida fan que la programació de controls, per evitar estratègies extremes, sigui necessari, o potser ens pot interessar aplicar alguna estratègia en concret que perjudicaria a tots els rivals.

3.7.4 Equilibri de Nash

El resultat de l'interacció de jugadors amb estratègies racionals ens duu a un equilibri. Això significa que cada jugador està utilitzant una estratègia que és la millor resposta a les estratègies dels altres, almenys sota el seu punt de vista.

L'equilibri de Nash deu el seu nom al matemàtic, economista i guanyador del premi Nobel John Nash, que va establir aquesta solució pels jocs no-cooperatius amb el seu treball a principis dels anys 1950. Nash va descriure l'equilibri d'un joc no-cooperatiu general com la configuració d'estratègies, una per a cada jugador, tals que constitueixen la millor solució, donat que els rivals competeixen en equilibri. A l'equilibri de Nash, cada jugador ha d'estar satisfet amb l'estratègia que ha escollit, i no ha de voler canviar-la quan sàpiga les estratègies rivals.

Estratègies relacionades amb l'equilibri de Nash per jugadors en jocs simultanis poden ser tan pures com mixtes. Les estratègies pures especifiquen una sèrie d'accions no aleatòries, on cada moviment s'especifica sense cap tipus d'incertesa. Les estratègies mixtes

especifiquen que el pròxim moviment serà escollit d'un conjunt d'estratègies pures amb probabilitats específiques associades. Per exemple, en el joc de pedra-paper-tisora, els jugadors tenen tres estratègies pures (Pedra, Paper o Tisora), mentre que una estratègia mixta podria consistir en quelcom com "jugar cada estratègia pura un terç".

Enfocats al TAC-SCM, la complexitat de la competició fa que ens costi identificar una estratègia relacionada amb l'equilibri de Nash a simple vista, i que haguem de reduir a la mínima expressió possible els problemes o solucions que volguem plantejar, quan programem el nostre agent, en cas de buscar una estratègia relacionada amb l'equilibri de Nash.

3.8 Heurística

La majoria d'informació sobre heurística l'hem extret de [35].

La motivació d'incloure l'heurística dins les solucions possibles ve donada per l'experiència adquirida en la lectura, on el terme es repeteix freqüentment. La documentació de diversos agents, com per exemple el vencedor del 2005 i el 2006 a [21], ens indica que utilitza, entre d'altres, una cerca avara per a determinar el millor ús de la fàbrica a 10 dies vista, de manera ràpida i eficient en el temps. Altres exemples d'aplicacions de conceptes heurístics a la TAC SCM [25, 23, 26], on hi podem veure múltiples aplicacions.

En general, veiem que l'heurística pot ser útil per a fer cerques quasi-perfectes de la millor solució sobre algun aspecte en temps limitat, ja que els 15 segons d'un dia TAC-SCM són els ens limiten. Això és el què fa atractives les solucions heurístiques per a la nostra competició, i combinat amb conceptes de la Teoria de Jocs, ens pot donar idees per a procediments a seguir al planificar les estratègies futures del nostre UdGTAC.

Per definir l'heurística i els conceptes relacionats és necessari introduir casos pràctics, començant per la més senzilla de les aplicacions, les greedy-search o cerques avares.

3.8.1 Cerques avares

Així doncs, en la cerca de la millor solució d'un problema, intentant reduir al mínim el cost per trobar una solució trobem les cerques avares.

En particular, podem considerar la cerca de la millor ruta d'un missatge per anar d'un ordinador a un altre utilitzant la xarxa d'Internet. La decisió sobre quins nodes expandir-se és necessari que tingui una resolució ràpida, i més que la solució òptima, es busca trobar una solució ràpida, així que és probable que s'apliqui un algorisme de cerca avara per a tal propòsit.

Els coneguts algorismes de la matemàtica discreta són exemples de cerques avares: els algorismes de Kruskal i Prim per trobar camins expansius mínims, que recorrin tots els

vèrtexs d'un graf connex, no dirigit i amb pes a les arestes, o l'algorisme de Dijkstra per a trobar camins mínims entre dos vèrtexs d'un graf amb les mateixes característiques.

Per la dificultat de calcular amb precisió el cost d'arribar a la meta en qualsevol estat, utilitzem les funcions heurístiques per fer-ne una estimació. Una funció heurística pot ser qualsevol funció, amb l'únic requisit que el resultat sigui zero en arribar a la meta. Per exemple, en l'algorisme de Dijkstra, marquem tots els nodes d'un graf com a no-visitats, i partint d'un node inicial, els anirem visitant tots mentre guardem informació del cost mínim per a visitar-los. Considerem un triangle, amb tres vèrtexs A, B i C i tres arestes de costos 12 -¿ AB, 15 -¿ AC i 6 -¿ BC. En podem veure un esquema a 3.8. Volem mirar el cost mínim per anar de A a C, i marcarem A com a node inicial. Així, marcaríem A com a node visitat, i guardaríem els costos mínims per a visitar B i C, essent 12 i 15 respectivament. A continuació, visitaríem B, ja que té el cost mínim des de A, i veuríem que el cost per anar a C des de B és $12+6 = 18$. Com que aquesta informació no aporta res de nou, i el mínim per anar de A a C segueix essent 18, descartaríem la opció d'expandir a B i ens quedaríem amb l'aresta inicial, la AC, de cost 15.

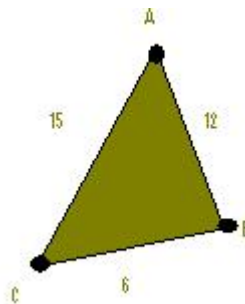


Figura 3.8: Esquema d'un graf simple per explicar l'algorisme de Dijkstra.

Les peculiaritats dels algorisme de cerca avara són que pot retornar-nos o no una solució, i que en cas que ens la retorni, aquesta no té cap garantia de ser la més òptima. Que l'algorisme ens retorni una solució o no dependrà de la qualitat de la funció heurística que avaluï els costos del problema en particular, podent ser aquesta funció heurística qualsevol funció que tingui sentit dins el seu cas específic. Per tant, és important saber pensar de forma estratègica per a seleccionar les funcions heurístiques més adequades en cada cas.

En el context del TAC-SCM, ja hem comentat que les cerques avares poden resultar útils per a la predicció, ja que podrien donar una solució força òptima en poc temps. En particular, és possible que siguin molt útils per a la planificació de l'utilització de la nostra cadena de producció, així que considerarem la possibilitat d'utilitzar un algorisme d'aquest tipus per als nostres prototips.

3.8.2 Cerques A*

Les cerques avars permeten reduir al mínim el cost d'arribar a la meta segons una funció heurística, amb el què també es redueix de manera considerable el cost de la cerca. Desafortunadament, aquest tipus de cerques no són òptimes ni tampoc completes. Així doncs, combinant una funció heurística que estimi el cost fins a arribar a la meta, més la suma d'una altra funció, heurística o no, que ens doni la distància acumulada del node inicial al node actual, tenim una nova funció que ens indica el cost estimat de la solució més barata, passant pel node actual.

Això si, per a succeir, necessitem una funció heurística admissible, és a dir, que no sobreestimi el cost que implica arribar a la meta. Aquestes cerques en les què combinem una funció heurística admissible i una altra funció s'anomenen cerques A*.

Dit d'altra manera, considerem un graf amb les ciutats d'Espanya com a vèrtexs i per arestes la distància en línia recta entre les ciutats. Determinar el cost d'anar de Barcelona a Sevilla utilitzant una cerca A*, utilitzant com a funció heurística aquesta distància i com a funció alternativa la distància acumulada fins al node actual. És senzill determinar que la heurística és acceptable, ja que el cost real d'anar d'una ciutat a una altra no és sobreestimat, perquè les carreteres que comuniquen les ciutats no van en línia recta, al haver de rodejar els diversos accidents de la península Ibèrica. El desenvolupament de l'algorisme ens donaria una solució, en cas que existeixi, per anar de Barcelona a Sevilla amb cost mínim a priori. Suposéssim que els nodes connectats amb Barcelona són Girona, Tarragona i Lleida, amb distàncies 100, 120 i 115 respectivament. Si de Barcelona a Sevilla, en línia recta, hi ha 1000, la funció a Barcelona val $1000 + 0 = 1000$. De Girona, Tarragona i Lleida, en línia recta cap a Sevilla hi han 1140, 950 i 1000, respectivament, tenim que els resultats de la primera expansió de nodes son 1240 si anem a Girona, 1070 a Tarragona i 1115 a Lleida. Per tant, la millor decisió ara mateix és expandir a Tarragona i continuar per allà, malgrat que potser la solució òptima és passant per Lleida, però si A* troba un camí passant per Tarragona de cost inferior, serà la solució que proposarà.

El límit de les cerques A* recau en la profunditat màxima possible en l'arbre de cerca, i guardar tots els nodes visitats pot suposar un problema de memòria per grafs amb massa nombre de vèrtexs.

3.9 TAC-SCM: Teoria de Jocs i Heurística?

Pel treball de [30] deduïm que fer aproximacions pures de Teoria de Jocs i les seves estratègies no és quelcom factible en la TAC-SCM, ja que es presenta una incapacitat d'obtenir la millor solució en un temps limitat als 15 segons d'un dia TAC-SCM. Per contra, es suggereix fer una mescla entra tècniques heurístiques de cost més baix i trobar l'equilibri de Nash més proper a la solució òptima.

Citant els propis investigadors del TAC-SCM, podríem dir que la TAC-SCM és un joc no cooperatiu amb molta informació incompleta [32]. De fet, consideren que la Teoria de Jocs, en particular, pot jugar un paper molt important en el context de la presa de decisions i el planejament en un entorn com el de la TAC-SCM, però que les complicacions del joc (tres reptes individualment NP-Hard, més l'incertesa de l'oferta i la demanda, per exemple) fan que la majoria de tècniques i conceptes de la Teoria de Jocs siguin inaplicables sense una aproximació creativa.

L'únic equip que aplica conceptes de la Teoria de Jocs de forma més directa, el *DeepMaize*, utilitza un anàlisi empíric orientat a la Teoria per a desenvolupar les seves estratègies[33], i per tant, dedicant la majoria d'atencions a minimitzar l'incertesa a base d'acumular dades en simulacions prèvies. És a dir, proposen una solució particular i creativa, basant-se en part en coneixement obtingut per la Teoria de Jocs.

Pel què fa la heurística, per la necessitat de trobar una solució ràpida i eficient en el temps degut a les limitacions de temps d'un dia TAC-SCM, es posa directament en el punt de mira a l'hora d'escollir com desenvolupar un agent. El fet que els guanyadors dels últims anys l'utilitzin com a base dels seus algorismes [22] també anima al seu ús, veient com demostren que un algorisme avar és molt pròxim a la solució òptima en la planificació de l'ús de la cadena de producció, o com argumenten que la naturalesa de les aproximacions al procurament de productes a baix preu, és sense dubte heurística.

Degut a la naturalesa de recerca d'aquest treball, es va considerar que, vist l'èxit de l'heurística en la TAC-SCM, era interessant començar a posar les bases d'un agent amb possibilitats de victòria tenint-la present, quan definíem les primeres estratègies de l'UdG-TAC, tenint sempre al cap la Teoria de Jocs per a possibles millores, però no com a objectiu primari com havíem pensat en un principi, ja que la dificultat de la TAC-SCM i l'opinió de la comunitat TAC, ens dissuadeix de l'èxit o del progrés d'una estratègia únicament basada en la Teoria.

Capítol 4

Desenvolupament d'un Agent per la TAC SCM: UdGTAC

4.1 Introducció

En aquest capítol desglossarem el treball de programació realitzat, després de tot el coneixement adquirit, per el desenvolupament d'un agent capaç de competir sota la normativa de la TAC-SCM actual. Presentarem el pseudo-codi de la AgentWare, el codi bàsic de programació que posa l'estructura a l'agent, i també dels Agents Dummy, o agents estúpids, que competiran amb nosaltres en les simulacions dels prototipus.

En el cos del capítol veurem el disseny, desenvolupament i resultats dels quatre prototips d'agents programats, explicant els mètodes emprats i els motius que ens han portat a prendre la decisió que quines estratègies seguir en cada cas.

4.2 Agents Dummy

Els Agents Dummy, o agents estúpids, són els agents que s'afegeixen automàticament en una partida TAC-SCM quan no hi ha suficients jugadors humans. El màxim de participants en una partida TAC-SCM és de 6 i, en el nostre cas, al ser els únics participants de les nostres partides, 5 Agents Dummy competiran amb nosaltres.

Dels Agents Dummy, malauradament, no en disposem el codi, pero si que sabem quines són les estratègies simples que segueixen, gràcies a l'informació consultada a la pàgina oficial de la TAC [1].

Si dividim el comportament d'aquests agents en els tres problemes principals de la TAC-SCM, controlar les ofertes dels clients, la cadena de producció, i la compra de pro-

CAPÍTOL 4. DESENVOLUPAMENT D'UN AGENT PER LA TAC SCM: UDG TAC49

ductes als proveïdors, veiem que l'agent presenta un aspecte semblant al què exposarem a continuació¹.

En quant al control de les RFQs dels clients:

- Comprovar que hi ha temps suficient per demanar components, manufacturar PCs i entregar-los el client ($dueDate \geq 6$).
- Ignorar RFQs amb un Preu de Reserva massa baix (al menys 90% del preu base del PCs).
- Per la resta de RFQs, enviar una oferta del tipus:

$$PreuReserva - FactorDescompte * Marginal * Random$$

On:

Marginal és el Preu de Reserva - 90% del Preu Base del PC

Random és un nombre aleatori entre 0.0 - 1.0, i

FactorDescompte és entre 0.05 i 0.3 depenent del

nivell d'utilització de la fàbrica (productivitat alta -¿ petit descompte).

Respecte la demanda de components als proveïdors:

- Pels encàrrecs confirmats pels clients, enviar RFQs pels components necessaris, sempre que no hi hagi components lliures d'encàrrecs cancel·lats, a un dels proveïdors disponibles escollit per Random.
- Acceptar totes les ofertes dels proveïdors.

I en quant a la gestió de la producció i l'entrega de PCs manufacturats:

- Per tots els encàrrecs dels quals ens ha passat la data d'entrega i no podem entregar abans que ens el revoquin - esborrar la comanda i alliberar els components.
- Per tots els encàrrecs que no puguem satisfer amb els PCs disponibles a l'inventari, produir els PCs sempre que hi hagi components disponibles i capacitat de treball lliure.
- Entregar els encàrrecs (tan tard com sigui possible, evitant penalitzacions) que poden ser satisfets pels PCs que tinguem a l'inventari.

¹Per entendre aquesta part és necessari haver assolit els conceptes presentats al capítol 2, l'apartat corresponent a la TAC-SCM

4.2.1 Conclusions

D'aquest estudi de les estratègies dels Agents Dummy en traiem algunes conclusions importants. Contra aquests agents, qualsevol proposta de millora respecte als preus de compra dels béns ens pot donar un avantatge significatiu, degut a la incapacitat d'aquests per a negociar, o en el seu defecte, adaptar-se als canvis de mercat. A més a més, veiem que el seu únic control de la sobreproducció de la fàbrica és una pujada mínima dels preus ofertats als clients. Totes aquestes pistes poden ser utilitzades en la programació dels prototips per al seu èxit.

4.3 AgentWare

La Swedish Institution of Computer Science (SICS), organitzadora de les primeres edicions de la TAC-SCM, va posar a disposició de la comunitat un AgentWare, o el codi necessari per tenir l'esquelet principal d'un agent, amb l'intenció d'atraure la programació de noves solucions i estratègies per a la competició, facilitant així la comprensió de les llibreries i la programació dels agents. El 2003 es va presentar la versió 1.0 de l'AgentWare, coincidint amb la primera edició del TAC-SCM, i l'última revisió, la 1.13 que utilitzarem al treball, data del 2005 i per tant, segueix la normativa actual de la competició.

El codi bàsic aplica una estratègia simple de fabricar només per encàrrec rebut, i només oferta per els casos òptims que pot abarcar, que són aquells amb una data d'entrega a 6 dies vista, seguint la següent seqüència:

1. Rebre la RFQ del client i enviar la oferta corresponent.
2. Rebre l'encàrrec del client i enviar la RFQ als proveïdors.
3. Rebre les ofertes dels proveïdors i enviar els encàrrecs per a rebre els béns.
4. Els proveïdors produeixen a la seva fàbrica l'encàrrec demanat.
5. Rebem el producte del proveïdor.
6. Manufacturar els PCs a la nostra fàbrica.
7. Entregar els PCs al client.

El què significa que l'AgentWare mai farà ofertes d'entrega a curt termini. A més, cal saber que s'ignoren les limitacions de capacitat de la fàbrica quan realitzem ofertes a clients, el què pot portar a una sobreproducció no abaricable quan la demanda sigui massa elevada. Les ofertes que presenta als clients l'AgentWare tenen un descompte, respecte al preu de reserva que hagi proposat el client. Aquest descompte es calcula amb una mescla d'un component random i un nombre fixat, per defecte, 0.2.

En quant al proveïment de productes, l'AgentWare escull aleatòriament un dels dos fabricants que produeix el bé que requerim, i accepta qualsevol preu que el fabricant ens indiqui, assumint que serà capaç d'entregar els productes a temps.

Per últim, l'AgentWare fabrica els ordinadors tan aviat com pugui, segons l'ordre en què es van rebent els encàrrecs, i entregant només en els dies d'entrega, mai abans. Aquells encàrrecs que passin més enllà dels cinc dies estipulats a la normativa, com que ja no seran abonats, deixen de ser produïts, alliberant els productes o PCs per altres encàrrecs.

4.3.1 Resultats

Així doncs, a mode de test, vam creure convenient de realitzar les primeres proves de simulació amb l'AgentWare, sense tocar cap línia de codi, per veure si podíem extreure conclusions dels resultats que visualitzéssim, i també per familiaritzar-nos amb el servidor i les logtools que utilitzaríem en tot el treball.

L'aspecte de l'evolució del compte bancari, en una simulació en aquests paràmetres, és tan desolador com podem veure a la figura 4.1, on ja s'intueix, sense massa coneixement previ, que hi havia feina per convertir aquest AgentWare en un agent guanyador.

Així doncs, com podem veure en un dels resums característics d'aquest agent a la figura 4.2, ja en podem treure les primeres conclusions. El nostre treball a la fàbrica sempre ronda valors superiors al 95%, i malgrat tenir la quota més alta de mercat, veiem que som incapaços d'entregar a temps la majoria dels encàrrecs, amb el resultat de perdre més de la meitat dels mateixos, el què resulta amb unes penalitzacions salvatges.

4.3.2 Conclusions

Veiem que la necessitat de posar un límit, a les ofertes que acceptem, és la més bàsica de totes, i un cop l'haguem solucionat, podem començar a analitzar les noves millores possibles, en funció dels resultats obtinguts.

4.4 UdGTAC0: Filtres d'Oferta + Inventari

4.4.1 Disseny

El disseny del nostre primer prototip perseguia la cerca del threshold adequat per a rebre una quantitat d'encàrrecs acceptable. Així, el canvi de la funció d'oferta era la primera prioritat. A més, vàrem considerar convenient la millora de la gestió de l'inventari, incorporant un control sobre la gestió de la cadena de producció, que relacionat amb les



Figura 4.1: Evolució del compte bancari de l'AgentWare.

funció d'ofertes realitzades el client, aconseguís disminuir la càrrega de producció. D'aquesta manera potser es negligien encàrrecs lucratius per ofertar a preus massa elevats, i potser no aprofitàvem al màxim la nostra cadena de producció, però asseguràvem reduir la enorme quantitat d'encàrrecs perduts de l'Agent Ware.

4.4.2 Desenvolupament

Per començar, varem substituir la funció que decidia quins preus ofertar als clients per una de més directe, que oferia un 90% del preu de les seves ofertes als clients, però seguïem obtenint uns resultats molt semblants als de l'AgentWare, així que vam anar ajustant al threshold de descompte fins a establir-lo a un 97% del preu de reserva que, malgrat assegurar-nos una molt petita quota de mercat, aconseguia reduir considerablement la quantitat d'ofertes rebudes, i la mantenia a nivells acceptables. Un resum dels resultats d'aquests agents el podem trobar a la figura 4.3, on veiem clarament la reducció de la producció a la fàbrica, quelcom que en alguns casos, com el de la figura, ens ha proporcionat les primeres victòries contra agents dummy.

CAPÍTOL 4. DESENVOLUPAMENT D'UN AGENT PER LA TAC SCM: UDG TAC53

Result for game 1@TOSH1 played at 2009-05-23 16:57:00

Player	Revenue	Interest	Costs			Margin 1	Margin 2	Result	
			Material	Storage	Penalty				
Dummy-2	14 315 719	56 393	10 406 257	72 327	78 345	1%	27%	27%	3 815 183
Dummy-4	13 473 208	60 113	9 623 048	71 419	36 171	0%	28%	28%	3 802 683
Dummy-5	13 297 728	54 969	9 605 623	70 613	15 495	0%	27%	28%	3 660 966
Dummy-3	13 225 391	51 237	9 582 999	70 027	46 046	0%	27%	27%	3 577 556
Dummy	13 681 765	45 001	10 123 332	71 869	87 599	1%	25%	25%	3 443 966
udgTAC	133 398 239	-13 390 201	155 574 526	5 370 373	200 920 407	56%	-20%	-180%	-241 857 268

Download game data [here](#)







Player	Orders	Utilization	Deliveries (on time/late/missed)	DPerf
Dummy-2	643	8%	 623 / 20 / 0	97%
Dummy-4	586	7%	 580 / 6 / 0	99%
Dummy-5	589	7%	 583 / 6 / 0	99%
Dummy-3	594	7%	 586 / 8 / 0	99%
Dummy	613	7%	 604 / 7 / 2	99%
udgTAC	20936	96%	 27 / 7617 / 13292	0%

Figura 4.2: Resum de una partida disputada per l'AgentWare.

Sense posar en joc, encara, les logtools disponibles per a l'anàlisi dels resultats, més orientades al poliment d'estratègies molt més profundes, vàrem intuir dos controls més que podien millorar de forma considerable els resultats d'aquest agent bàsic, i ens podien donar algunes pistes de com treballar a continuació.

En essència, consideràvem oportú consultar a la Bill of Materials (BOM) els preus base dels ordinadors que ens demanaven a cada oferta, per optar tan sols a aquelles ofertes que poguessin resultar, per a nosaltres, en algun benefici, i negligir totes aquelles en què s'ens oferien preus per sota del cost dels materials. A més a més, hi afegíem un control sobre la producció, consultant a la fàbrica els cicles lliures del dia anterior, aplicant un algorisme d'aquest estil:

```

si ciclesLliuresFabrica > 250 llavors
    el preu d'oferta = preu de reserva * threshold
altrament
    el preu d'oferta = preu de reserva
fsi

si el preu d'oferta >= preu base llavors
    enviar RFQ d'oferta al client
altrament
    res
fsi

```

Així doncs, podíem ser més agressius amb el threshold, i oferir preus més baixos, ja que controlàvem molt millor les pujades en la demanda, i d'aquesta manera maximitzaríem

CAPÍTOL 4. DESENVOLUPAMENT D'UN AGENT PER LA TAC SCM: UDG TAC54

Result for game 48@T0SH1 played at 2009-06-04 19:21:00

Player	Revenue	Interest	Costs			Margin 1	Margin 2	Result	
			Material	Storage	Penalty				
udgTAC	27 192 332	-99 386	27 870 916	262 922	603 943	2%	-2%	-5%	-1 644 835
Dummy-3	72 786 268	-243 837	73 420 821	468 210	1 784 753	2%	-1%	-3%	-3 131 353
Dummy-2	73 581 960	-256 649	74 731 268	452 012	1 980 396	3%	-1%	-4%	-3 838 365
Dummy-5	74 768 211	-315 741	76 199 905	663 290	1 594 378	2%	-2%	-4%	-4 005 103
Dummy-4	71 970 079	-277 794	73 471 940	523 432	1 737 108	2%	-2%	-5%	-4 040 195
Dummy	73 283 438	-307 919	75 118 005	626 323	1 767 269	2%	-2%	-5%	-4 536 078

Download game data [here](#)







Player	Orders	Utilization	Deliveries (on time/late/missed)	DPerf
udgTAC	1278	15%	 1209 / 28 / 41	95%
Dummy-3	3453	43%	 3215 / 176 / 62	93%
Dummy-2	3484	44%	 3249 / 160 / 75	93%
Dummy-5	3517	44%	 3316 / 126 / 75	94%
Dummy-4	3387	42%	 3172 / 150 / 65	94%
Dummy	3399	43%	 3171 / 138 / 90	93%

Figura 4.3: Resum de una partida disputada per l'UdGTAC0.

l'utilització de la fàbrica en moments baixos de demanda. No prou contents amb això, per reduir un dels altres problemes de l'agent, en concret, l'alt cost de les penalitzacions, vam creure molt important organitzar l'inventari de forma molt més eficient.

Per a aquest propòsit, varem dissenyar un sistema de propòsits heurístics per a organitzar l'ordre en el què fabriquem els PCs, i el vam programar de manera que obrís la possibilitat de sobreesciure-hi algunes millores en el futur. El què fèiem era organitzar primer els encàrrecs pendents per ordre de prioritat, on els que tinguessin una entrega més propera sempre anirien al capdavant. Per fer-ho, varem programar el nostre propi algorisme de quicksort aplicat a aquest cas. Amb els encàrrecs organitzats, varem canviar lleugerament l'algorisme de programació de la fàbrica, resultant en quelcom així:

```

mentre hi hagi cicles disponibles i quedin encàrrecs fer
    quicksort(encarrecs)
    entregaEncarrecsFinalitzats
    cancelaEncarrecsNoFinalitzables
    organitzaCadenaProducció i resta cicles utilitzats
fmentre
    
```

Programar-ho així obria la porta a afegir codi després, per aprofitar la capacitat de la fàbrica, en cas d'haver-hi cicles disponibles, i aprofitar per avançar la producció de més ordinadors, i accedir així a aquell mercat desatès de les ofertes a 3, 4 i 5 dies vista, en cas de considerar-ho oportú per a aquest treball o el futur. Esperonats pel sistema *TacTex*, també pensem que la millor solució per a resoldre la gestió de la cadena de producció

és fer-ho a 10 dies vista, i també deixàvem oberta la possibilitat d'organitzar un mòdul d'aquestes característiques.

4.4.3 Resultats

L'èxit de les mesures aplicades, ja a l'UdGTAC0, ens resulta sorprenent. La producció de la fàbrica augmenta en percentatge de forma considerable, pujant fins al 55% de mitjana en les simulacions realitzades. De mitja, obtenim unes 4500 ordres per partida, aproximadament el doble que el nostre més aproximat perseguidor. Podem veure l'exemple d'una partida típica, és a dir, pròxima a la mitjana, de l'agent final UdGTAC0 a la figura 4.4, i una gràfic de la quota de mercat abarcada en aquesta partida a la figura 4.5.

Result for game 116@T0sh1 played at 2009-06-11 13:59:00

Player	Revenue	Interest	Costs			Margin 1	Margin 2	Result	
			Material	Storage	Penalty				
udgTAC	99 797 370	34 498	89 577 075	456 180	2 053 299	2%	10%	8%	7 745 314
Dummy-5	46 319 663	931	42 685 595	239 796	16 988	0%	7%	7%	3 378 215
Dummy-4	52 722 062	-6 467	49 327 234	268 876	20 928	0%	6%	6%	3 098 557
Dummy-2	51 863 290	-4 169	48 517 196	269 138	33 738	0%	6%	6%	3 039 049
Dummy	51 165 788	-493	47 901 234	262 772	32 708	0%	6%	6%	2 968 581
Dummy-3	49 479 807	-5 451	46 179 868	260 762	116 237	0%	6%	6%	2 917 489

Download game data [here](#)







Player	Orders	Utilization	Deliveries (on time/late/missed)	DPerf
udgTAC	4465	58%	 3927 / 494 / 44	88%
Dummy-5	2110	28%	 2101 / 9 / 0	100%
Dummy-4	2414	32%	 2409 / 5 / 0	100%
Dummy-2	2347	31%	 2336 / 11 / 0	100%
Dummy	2361	30%	 2349 / 12 / 0	99%
Dummy-3	2306	30%	 2291 / 9 / 6	99%

Figura 4.4: Resum de una partida típica disputada per l'UdGTAC0.

4.5 UdGTAC1: Heurística d'Oferta + Inventari

4.5.1 Disseny

Aquest agent es construïa utilitzant el codi de l'UdGTAC0 i per tant, ja incorporava les millores als filtres d'oferta i a l'inventari que aquest duia programades. A més a més, al prototip 1 de l'UdGTAC s'hi incorpora un nou sistema de selecció d'ofertes que té en compte la producció prevista al futur. El què buscarem és limitar les ofertes proposades als clients, per ordre d'arribada i amb un benefici raonable, en funció de la previsió d'utilització de la cadena de producció.

En altres paraules, el què proposem és enviar les ofertes que ens puguem permetre de produir, de manera escalonada en el temps, en funció dels cicles lliures previstos a la fàbrica. Així, si la oferta que ens proposen és per un dia determinat D , el què consultarem és els cicles compromesos per les ofertes ja enviades pel dia D , i en cas de quedar-ne els suficients lliures per a realitzar la comanda, enviar la oferta.

Aquest mètode necessita de molta agressivitat en el threshold d'oferta, ja que ha de garantir que la majoria d'ofertes enviades seran acceptades, així que, basat en l'experiència acumulada, la nova funció oferia el 95% del preu proposat pel client a la comanda, garantint un alt grau d'èxit en el marc experimental actual.

4.5.2 Desenvolupament

Així doncs, l'implementació d'un algorisme de cerca avara era el pas lògic per l'experiència acumulada, i és el què es va realitzar. El què fèiem era guardar l'informació sobre els cicles utilitzats fins al moment en una variable global, per a consultar-la i modificar-la a cada dia TAC-SCM, afegint-hi les noves ofertes enviades. A molt alt nivell seria quelcom semblant a:

```
per a cada oferta rebuda
  si tenim temps de fabricar-la llavors
    si tenim cicles disponibles
      del dia d'entrega de l'oferta llavors
        realitzar oferta
        actualitzar cicles disponibles
    fsi
  fsi
fper
```

Aquest algorisme es tracte d'una cerca avara ja que busca una solució a una funció heurística, concretament la funció heurística de: nombre de cicles necessaris per arribar a la producció màxima possible, en el supòsit d'acceptació de totes les ofertes realitzades. Així doncs, aquesta no és la millor solució al problema plantejat, però si som capaços de trobar-ne una en poc temps, i que ens segueix resultant profitosa.

A més a més, es va decidir incorporar una petita compra de productes, per intentar mantenir sempre un stock que vam establir a 50 components. Malgrat no programar cap sortida a aquests components, i acumular-los al final de la competició sense haver-los venut, l'experiència de les simulacions suggeria que aquest mòdul ajudava a mantenir més alta la producció de la fàbrica, i reduïa la possibilitat d'entregues passada la data límit. Som conscients de la poca adequació d'aquesta estratègia en un futur, però ens ha resultat útil per a la consideració d'una estratègia previsora per a següents implementacions.

4.5.3 Resultats

Els resultats superen les expectatives una vegada més. La utilització de la fàbrica puja del 50% de l'UdGTAC0 a un 80% en una partida típica de UdGTAC1 (Figura 4.6). Els 50 components comprats per mantenir un stock encara hi segueixen al final de la competició (Figura 4.7), però, en la comparativa de la figura 4.8 veiem com la fàbrica redueix força la seva variabilitat, i deixem de tenir pics d'un 0% de producció, que tan afectaven a la nostra economia al final de la partida, que, com podem observar a la figura ??, presenta un aspecte molt saludable, destacat respecte als dummies.

4.6 UdGTAC2: Heurística de Proveïdors + Inventari

4.6.1 Disseny

Programat a partir del disseny de l'UdGTAC0, separat de les millores introduïdes a l'UdGTAC1, l'UdGTAC2 intenta millorar els preus de compra dels components, canviant el random programat a l'AgentWare per una nova estratègia, que utilitza RFQs de quantitat zero per a conèixer el preu de cada proveïdor, i així determinar quin té els preus més baixos i per tant, ens interessa més comprar-hi. Com que acceptem totes les ofertes que ens facin, no hem de considerar problemes de reputació, i seguir obviant el proveïment de tots aquells recursos que demanem.

4.6.2 Desenvolupament

L'algorisme utilitza una variable global per a guardar els millors proveïdors en cada moment de la partida. Aquests proveïdors es determinen durant el transcurs de la competició, en funció de les respostes que donen a les nostres RFQs de quantitat zero, seguint un procediment, a molt alt nivell, d'aquest tipus:

```
per a cada component
enviarRFQsonda()
fper

rebreResposta()
compararPreusProveïdors()
escollirMillorProveïdor()
```

Així, quan haguem de fer els nostres requeriments de components, escollirem el millor proveïdor del moment, i l'hi enviarem la oferta, intentant aconseguir, d'aquesta manera un cost més baix en els preus de fabricació dels components, per així aconseguir aquest benefici extra que busquem amb aquesta estratègia.

CAPÍTOL 4. DESENVOLUPAMENT D'UN AGENT PER LA TAC SCM: UDG TAC58

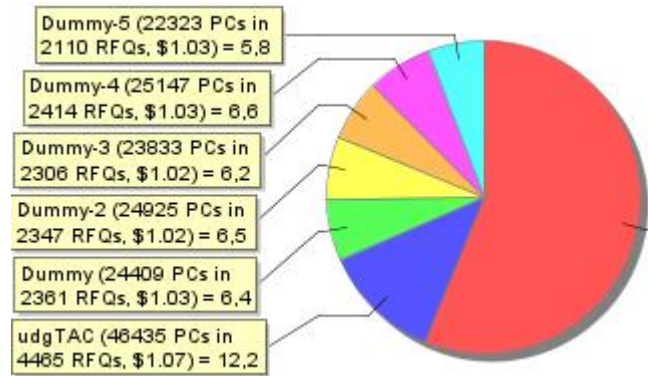


Figura 4.5: Gràfic de la quota de mercat d'una partida típica disputada per l'UdGTAC0.

Result for game 177@T0SH1 played at 2009-06-14 22:36:00

Player	Revenue	Interest	Costs			Margin 1	Margin 2	Result	
			Material	Storage	Penalty				
udgTAC	136 961 024	33 357	124 789 659	948 725	0	0%	8%	8%	11 255 997
Dummy-4	51 122 985	-30 708	49 467 341	273 235	18 882	0%	3%	3%	1 332 819
Dummy-5	51 860 206	-44 151	50 247 148	274 127	25 100	0%	3%	2%	1 269 680
Dummy-3	53 501 082	-45 070	52 179 252	283 708	10 504	0%	2%	2%	982 548
Dummy	52 171 797	-56 971	51 100 962	277 713	46 524	0%	2%	1%	689 627
Dummy-2	51 504 853	-76 914	50 826 826	281 842	32 806	0%	1%	1%	286 465

Download game data [here](#)

Player	Orders	Utilization	Deliveries (on time/late/missed)	DPerf
udgTAC	5974	79%	5974 / 0 / 0	100%
Dummy-4	2338	31%	2335 / 3 / 0	100%
Dummy-5	2341	31%	2332 / 9 / 0	100%
Dummy-3	2434	32%	2429 / 5 / 0	100%
Dummy	2437	32%	2423 / 14 / 0	99%
Dummy-2	2363	31%	2348 / 15 / 0	99%

Figura 4.6: Resum de una partida típica disputada per l'UdGTAC1.

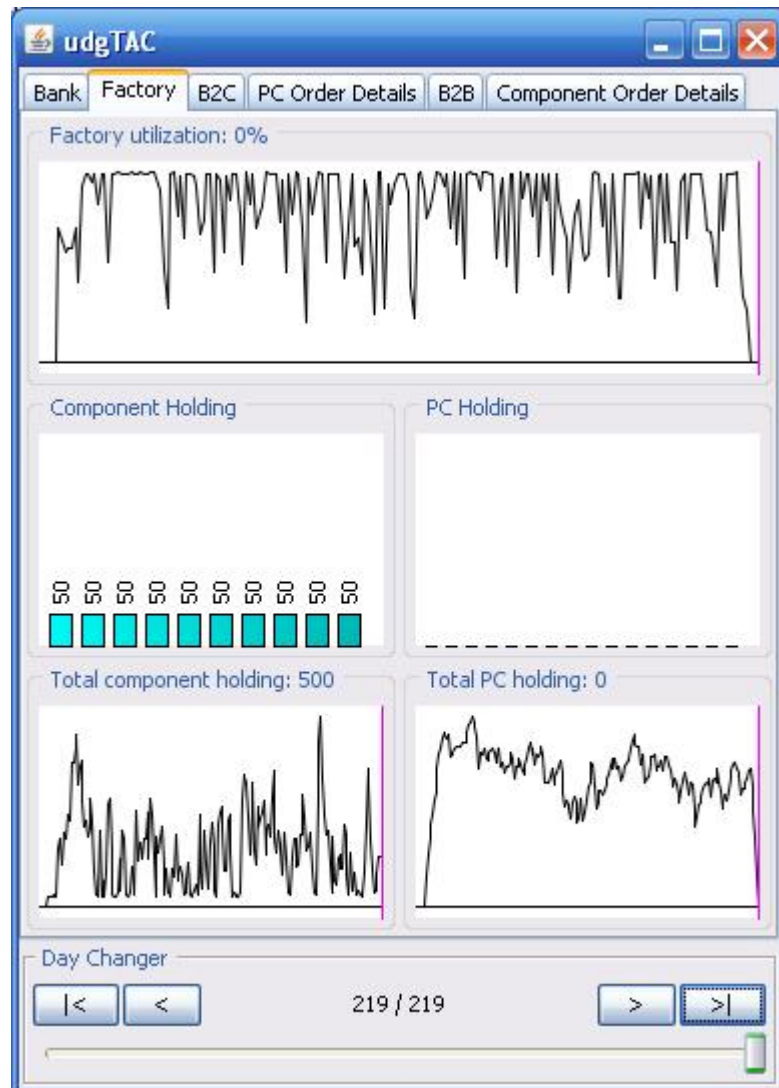


Figura 4.7: Estat de l'stock típic al final d'una partida de l'UdGTAC1.

CAPÍTOL 4. DESENVOLUPAMENT D'UN AGENT PER LA TAC SCM: UDG TAC60



Figura 4.8: Comparativa d'utilització de la fàbrica del UdGTAC0 i l'UdGTAC1.

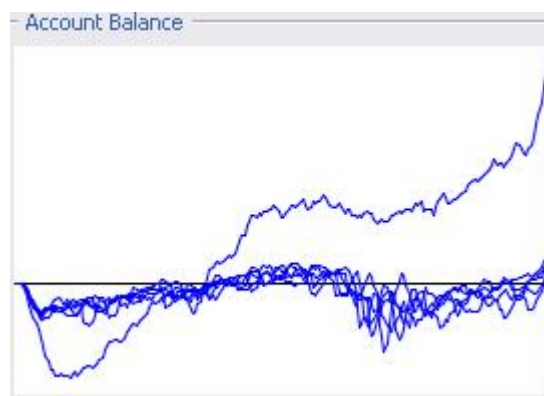


Figura 4.9: Evolució del balanç del compte bancari en una partida de l'UdGTAC1.

4.6.3 Resultats

Els valors aconseguits en termes percentuals d'utilització de fàbrica i quota de mercat, tal com era esperable, ronden els mateixos que l'UdGTAC0, de qui hereta el sistema d'ofertes. Ara bé, pel què fa a un increment del benefici, la millora que notem és molt inferior a l'esperable.

Estudiant aquest efecte amb l'eina que ens proporciona la CMieux logtool, per a controlar els preus de compra dels components, veiem que, com es pot apreciar a la figura 4.10, el sistema d'aprovisionament de productes al preu més reduït possible no funciona, i que serà necessària una investigació profunda del motiu, ja que no som capaços d'identificar cap error en el codi proposat.

4.7 UdGTAC3: Heurística d'Oferta + Heurística de Proveïdors + Inventari

4.7.1 Disseny i Desenvolupament

Ajuntant les heurístiques dels agents UdGTAC1 i UdGTAC2 varem desenvolupar l'UdGTAC3. Després d'haver avaluat els beneficis, per separat, de les dues estratègies, posar-les juntes pel treball comú

4.7.2 Resultats

L'aspecte del compte bancari de una simulació UdGTAC3 típica, com veiem a la figura 4.11, guarda certa semblança amb el vist a l'UdGTAC1. Pel què fa als valors d'utilització de la fàbrica, a la figura 4.12, veiem que conservar una salut òptima en la competició contra agents Dummy, evitant els pics a zero i controlant amb força èxit una alta utilització de la fàbrica.

I també, similar al comportament de l'UdGTAC02, els controls de components no segueixen cap lògica aparent, segons el què hem programat, ja que malgrat veiem la clara influència que fa que, el nostre agent, descarti un dels proveïdors pràcticament per a la totalitat del joc, cosa que veiem que no és la millor opció, simplement comparant-ho amb els resultats dels rivals. A priori no veiem la solució a aquest conflicte, així que faria falta un anàlisi molt més complet, estadísticament parlant, per a trobar la solució. A la figura 4.13 podem trobar un exemple del què expliquem.

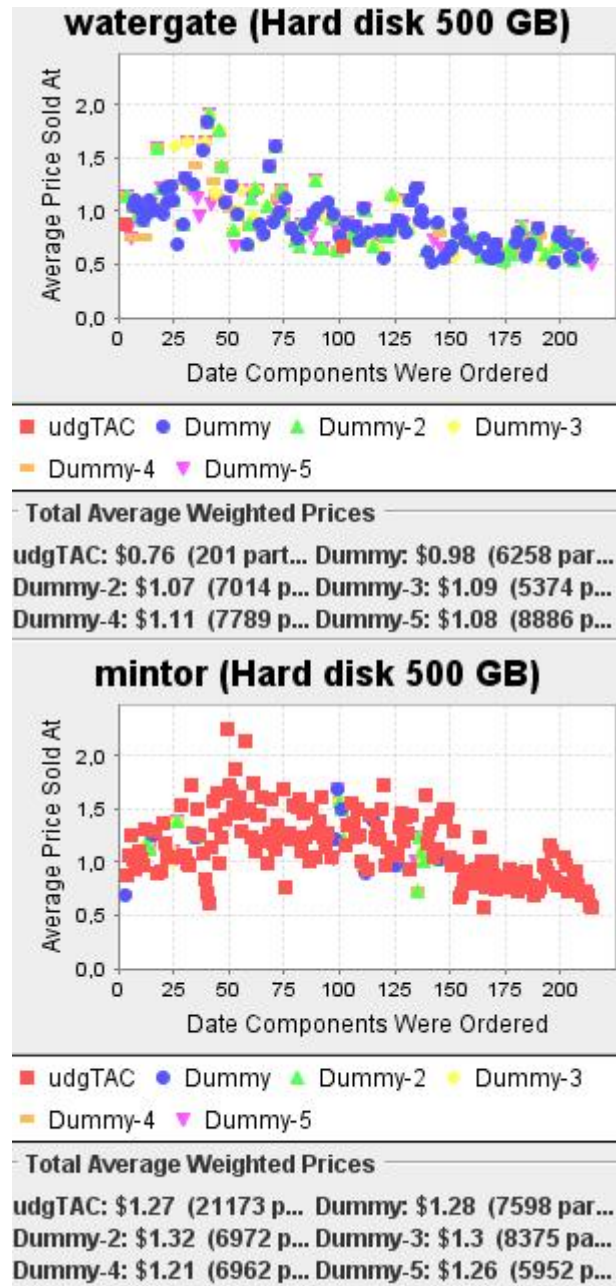


Figura 4.10: Exemple de compra d'un component en particular en una partida de l'UdG-TAC2.

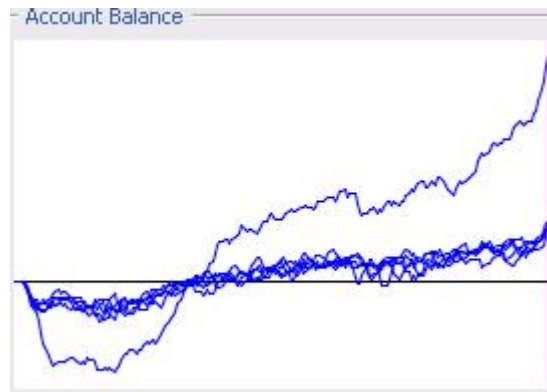


Figura 4.11: Evolució del balanç del compte bancari en una partida de l'UdGTAC3.

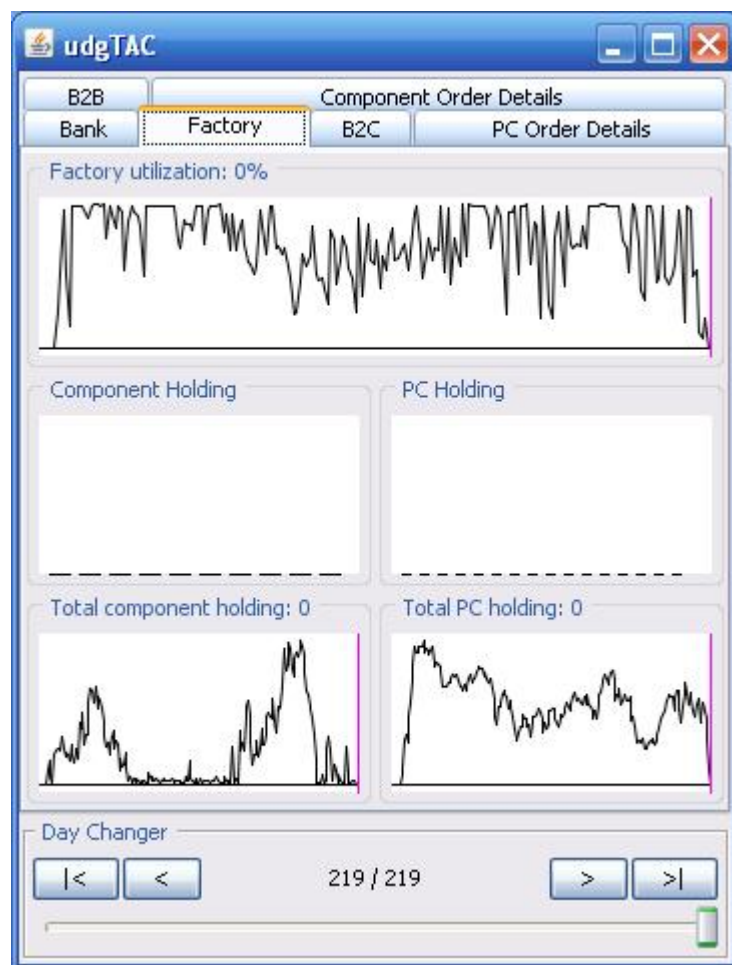


Figura 4.12: Evolució del referent a la fàbrica en una partida de l'UdGTAC3.

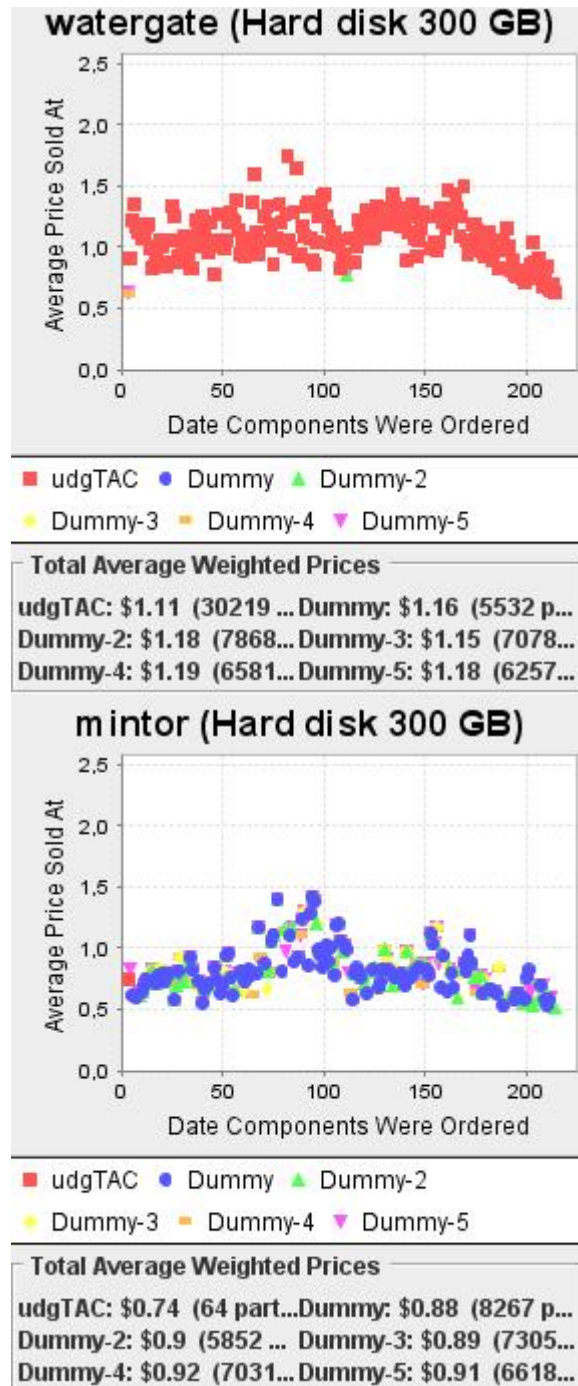


Figura 4.13: Exemple de compra d'un component en particular en una partida de l'UdG-TAC3.

4.8 Conclusions

Ajustar les heurístiques, ampliar el seu abast i utilitzar l'estadística per a determinar thresholds més precisos, és quelcom a tenir en compte per a futures edicions de l'UdGTAC. L'experiència de la simulació ha estat molt positiva, i hem vist que vam prendre la decisió encertada, al pensar en acumular una mica de coneixement abans d'atacar el problema de la TAC-SCM. No tan sols ens ha donat una visió global, sinó que també ens ha suggerit algunes idees per als desenvolupaments proposats.

L'utilització de les logtools ha ajudat a la comprensió dels efectes de les estratègies, i han servit de debug per a aquest programa de condicions tan peculiars. Haver d'esperar la conclusió de tota una partida TAC-SCM, durant 55 minuts, abans de poder veure l'efecte del més petit dels canvis, fa que les estratègies hagin de ser programades amb cura, i pensades per endavant. Creiem que hem utilitzat la metodologia adequada per aproximar-nos a la competició a aquest nivell, i que hem sigut capaços d'assolir unes bases sòlides que poden ajudar a fer progressar l'agent en un futur, en cas de continuar amb aquest projecte.

D'altra banda, progressar en el coneixement de la teoria de jocs i les tècniques heurístiques, a més d'incorporar tècniques de predicció de l'oferta i la demanda, és quelcom que veiem que pot resultar francament necessari pel futur de l'UdGTAC.

Per tant, malgrat la dura curva d'aprenentatge, un cop assolits els conceptes necessaris, utilitzar les eines disponibles ha suposat tot un repte, i ser capaç de programar estratègies en aquest entorn, una fita assolida. Veure com aquestes estratègies progressaven, fins al punt de ser capaces de sortir victorioses en la competició, encara que fos contra agents més simples, ha sigut quelcom reconfortant.

4.9 Extra: Repositori d'Agents

A mode de test final, totalment fora de l'abast d'aquest projecte, ens ha semblat quelcom interessant provar l'actuació del nostre millor prototip, l'UdGTAC3, contra el campió de l'edició del 2006, el TACTEX06, que va posar el binari del seu agent a disposició lliure de la comunitat. El resultat, com era d'esperar, són totalment favorables al campió, que ens deixa en segona posició de manera descarada. Una mica més d'agressivitat en els nostres thresholds d'oferta, sembla que podria ajudar a la nostra causa, i augmentar la producció de la fàbrica. Però, de qualsevol manera, és un bon indicador que encara ens queda molt camí per recórrer per a plantejarnos competir per la victòria en la competició. Resums de la simulació els podem trobar a les figures 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 i 4.18

CAPÍTOL 4. DESENVOLUPAMENT D'UN AGENT PER LA TAC SCM: UDG TAC66

Result for game 214@T0SH1 played at 2009-06-17 00:14:00

Player	Revenue	Interest	Costs			Margin 1	Margin 2	Result	
			Material	Storage	Penalty				
TACTEX	174 035 628	1 285 255	98 815 118	1 059 404	595 705	1%	43%	43%	74 850 656
udgTAC	73 091 866	225 176	56 735 663	508 938	22 715	0%	22%	22%	16 049 726
Dummy-4	60 906 913	172 632	50 128 661	365 650	196 184	0%	17%	17%	10 389 050
Dummy-3	61 192 404	177 789	50 415 850	368 503	533 528	1%	17%	16%	10 052 312
Dummy-2	60 927 493	162 256	50 615 481	363 660	464 047	1%	16%	16%	9 646 561
Dummy	59 387 437	164 086	49 054 835	358 847	805 740	2%	17%	16%	9 332 101

Download game data [here](#)







Player	Orders	Utilization	Deliveries (on time/late/missed)	DPerf
TACTEX	7934	97%	 7877 / 0 / 57	99%
udgTAC	3307	44%	 3301 / 6 / 0	100%
Dummy-4	2854	38%	 2804 / 50 / 0	98%
Dummy-3	2911	38%	 2779 / 131 / 1	95%
Dummy-2	2917	38%	 2792 / 125 / 0	96%
Dummy	2849	37%	 2672 / 175 / 2	94%

Figura 4.14: Resultat de la partida TACTEX vs. UdGTAC3.

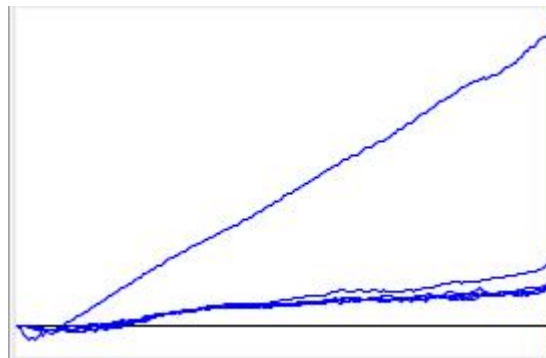


Figura 4.15: Gràfic dels comptes bancaris de la partida TACTEX vs. UdGTAC3.

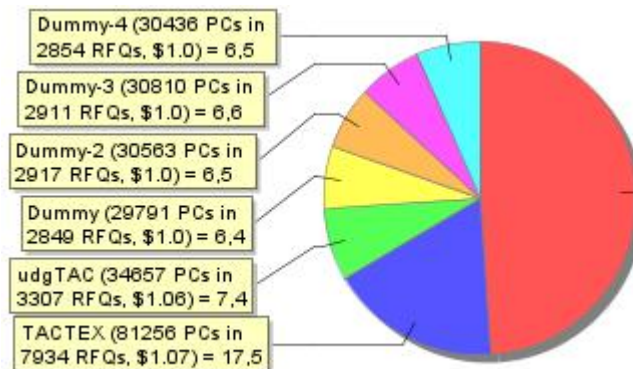


Figura 4.16: Quota de mercat de la partida TACTEX vs. UdGTAC3.

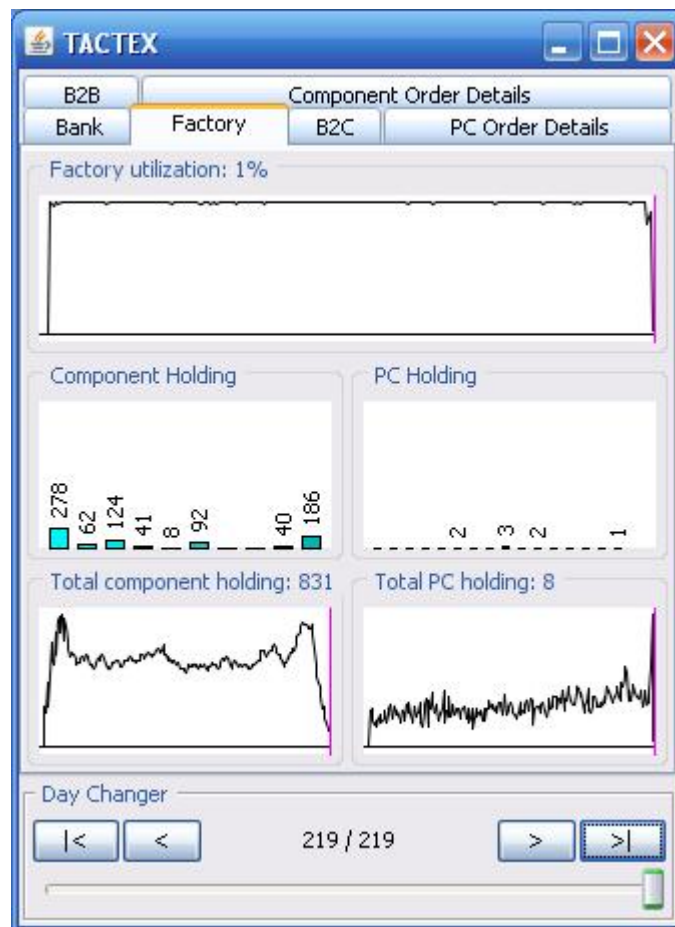


Figura 4.17: Comportament de la fàbrica del TACTEX de la partida TACTEX vs. UdG-TAC3.

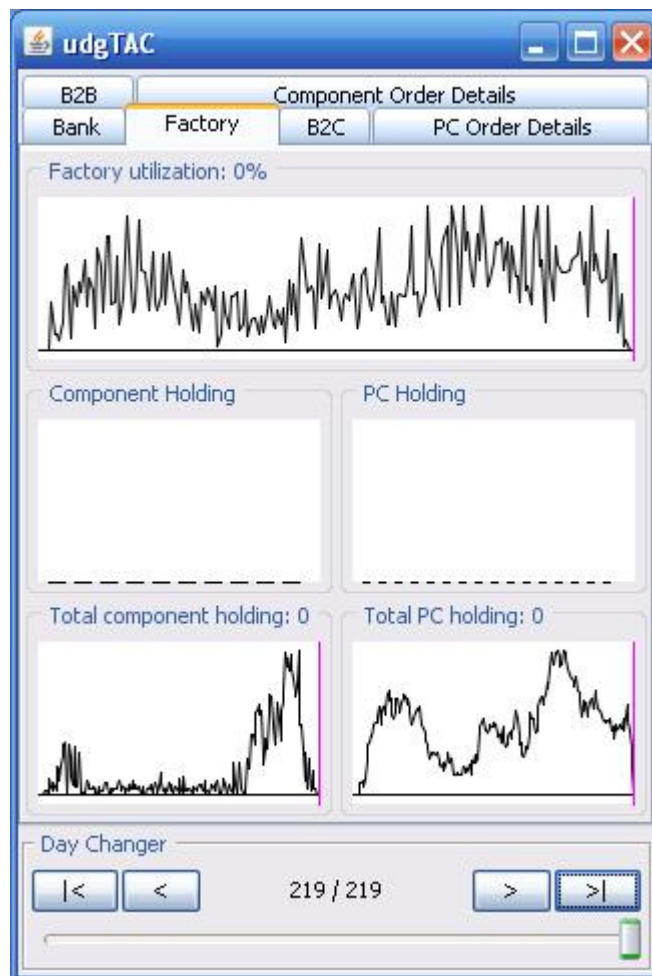


Figura 4.18: Comportament de la fàbrica del UdGTAC3 de la partida TACTEX vs. UdGTAC3.

Capítol 5

Conclusions

L'objectiu del projecte, introduir-se al món dels trading agents, concretament a la Trading Agent Competition, modalitat Supply Chain Management, s'ha completat amb èxit. L'incertesa inicial al voltant del projecte s'ha anat dissipant, tal i com havíem predit, al mateix ritme que s'adquiria coneixement sobre la història de la competició, les estratègies ja proposades i les estratègies victorioses.

Aquest treball previ ha presentat la possibilitat de conèixer una branca de la intel·ligència artificial que, inicialment, no pensàvem que podria resultar rellevant. Però l'experiència pròpia, amb el desenvolupament dels agents UdGTAC, ens ha demostrat que l'heurística juga un paper important en la presa de decisions durant un dia TAC-SCM.

D'altra banda, i com ja havíem previst, les estratègies bàsiques programades resulten insuficients per a la competició amb agents victoriosos de les passades edicions, com ha demostrat l'enfrontament del nostre millor agent contra el campió de l'edició del 2006. Això suggereix que el marge de millora de l'agent encara és gran, i que hi ha diverses línies de continuació d'aquest projecte.

Un dels possibles treballs futurs, com a conseqüència de l'aprens en aquest projecte, podria ser la revisió d'algunes de les estratègies descartades al programar els prototips UdGTAC, i accedir a quotes de mercat encara inaccessibles, reduir encara més els preus de compra dels productes, ajustar de forma més efectiva els preus de venda dels PCs que manufacturem i gestionar més efectivament la cadena de producció, tot i que, aquest últim punt, amb les solucions proposades, s'acosta molt a la solució òptima, pel què hem après de la documentació.

Sobre aquestes estratègies descartades, de les que seria necessari comprovar-ne la utilitat, es pretenia accedir a les ofertes a curt termini utilitzant els cicles lliures de la fàbrica, mantenir un stock de components per accelerar la fabricació de PCs, entregar els PCs tan bon punt els haguem fabricat, entre moltes d'altres idees. L'elecció final és deguda a la literatura llegida, que ens fa pensar que la solució de l'UdGTAC3 pot posar les bases per, en un futur, desenvolupar algunes d'aquestes altres propostes, o d'altres, com a complement de la base programada. Començar a practicar amb els binaris d'agents reals

que participen en el joc, un cop superada la competició contra els agents dummies, és quelcom a tenir en compte per a aquest propòsit.

Aprendre a utilitzar la potència de les eines MinnieTAC és un altre punt de millora. Ser capaç d'extreure les dades de les partides TAC-SCM, proposant estadístiques i desenvolupant les funcions necessàries per a la consulta efectiva d'aquestes dades, amb la capacitat de poder-les afegir com a eina complementària dins el codi d'un agent principal, podria ser quelcom desenvolupat en un projecte de final de carrera.

A més a més, essent la TAC-SCM la precursora de les novedoses TAC-CAT, els TAC-SCM Challenges i la TAC/AA, aquest treball suggereix unes bases que poden donar idees a futurs participants d'aquestes competicions, ajudant a comprendre els orígens i la motivació de la comunitat TAC.

Bibliografia

- [1] Pàgina oficial de TAC. <http://www.sics.se/tac/>
- [2] Pàgina oficial de la TAC-CAT. http://www.marketbasedcontrol.com/blog/index.php?page_id=5
- [3] Pàgina oficial de la TAC-SCM Procurement Challenge http://www.escm.cs.cmu.edu/scm_pc/
- [4] Pàgina oficial de la TAC-SCM Prediction Challenge <http://www.cs.utexas.edu/~TacTex/PredictionChallenge/>
- [5] Pàgina oficial de la TAC/Ad Auctions <http://aa.tradingagents.org/>
- [6] Eric Sodomka - John Collins - Maria Gini. Efficient Statistical Methods for Evaluating Trading Agent Performance. Dept. of Computer Science and Engineering, University of Minnesota.
- [7] M. Benisch - J. Andrews - T. Kirchner - N. Sadeh - B. Tasi - D. Bangerter. CMi-eux Supply Chain Trading Analysis and Instrumentation Toolkit. Septembre 2005, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburg, PA 15213.
- [8] Anders Sundman. TAC SCM tool for postmortem visualization and analysis. Septembre 2003, Dept. of Computer Science and Engineering, University of Minnesota.
- [9] R. Arunachalam - N.Sadeh - J. Eriksson - N. Finne - S. Janson. TAC'03: A Supply Chain Trading Competition. Primavera 2003, AI Magazine.
- [10] R. Arunachalam - N.Sadeh - J. Eriksson - N. Finne - S. Janson. Design of the Supply Chain Trading Competition. Agosta 2003, IJCAI-03, Workshop on "Trading Agent Design and Analysis", Mexico.
- [11] R. Arunachalam - N.Sadeh - J. Eriksson - N. Finne - S. Janson. The TAC Supply Chain Management Game. 2003 CMU-CS-03-184 tech. report.
- [12] Raghu Arunachalam - Norman Sadeh. The 2003 Supply Chain Management Trading Agent Competition. School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA.

- [13] Michael P. Wellman - Patrick R. Jordan - Christopher Kiekintveld - Jason Miller - Daniel M. Reeves. Empirical Game-Theoretic Analysis of the TAC Market Games. Computer Science and Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2121, USA.
- [14] Philipp W. Keller - Felix-Olivier Duguay - Doina Precup. Red Agent - Winner of TAC SCM 2003. School of Computer Science, McGill University, Montreal, Canada.
- [15] Philipp W. Keller - Felix-Olivier Duguay - Doina Precup. Redagent-2003: An autonomous, market-based supply-chain management agent. Computer Science and Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2121, USA.
- [16] Erik Zawadzki. An Analysis of RedAgent's Market-based Approach to Supply Chain Management. December 4, 2005.
- [17] R. Arunachalam - N.Sadeh - J. Eriksson - N. Finne - S. Janson. The Supply Chain Management Game for the Trading Agent Competition 2004. 2004 CMU-CS-04-107 tech. report.
- [18] Christopher Kiekintveld - Yevgeniy Vorobeychik - Michael P. Wellman. An Analysis of the 2004 Supply Chain Management Trading Agent Competition. Artificial Intelligence Laboratory, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2110, USA.
- [19] J. Collins - R. Arunachalam - N.Sadeh - J. Eriksson - N. Finne - S. Janson. The Supply Chain Management Game for the 2005 Trading Agent Competition. Desembre 2004, CMU-ISRI-04-139 tech. report.
- [20] Jan Ulrich. An Analysis of the 2005 TAC SCM Finals. Department of Computer Science, University of Texas at Austin, Austin TX 78712, USA.
- [21] David Pardoe - Peter Stone. TacTex-05: A Champion Supply Chain Management Agent. Department of Computer Science, University of Texas at Austin, Austin TX 78712, USA.
- [22] David Pardoe - Peter Stone Predictive Planning for Supply Chain Management Juny 2006, Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS 06), Cumbria, UK.
- [23] I. Kontogounis - K. Chatzidimitriou - A. Symeonidis - P. Mitkas. A Robust Agent Design for Dynamic SCM Environments. Intelligent Systems and Software Engineering Laboratory, Thessaloniki, Greece.
- [24] Minghua He - Alex Rogers - Xudong Luo - Nicholas R. Jennings. Designing a Successful Trading Agent for Supply Chain Management. School of Electronics and Computer Science, University of Southampton, UK.

- [25] Daniel Macías - Darnes Vilariño - Fabiola López. Agents Development for a Supply Chain Management Game. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.
- [26] M. Benisch - J. Andrews - A. Sardinha - N. Sadeh. CMieux: Adaptive Strategies for Competitive Supply Chain Trading. School of Computer Science, Carnegie Mellon University.
- [27] J. Collins - R. Arunachalam - N.Sadeh - J. Eriksson - N. Finne - S. Janson. The Supply Chain Management Game for the 2006 Trading Agent Competition. Noviembre 2005, CMU-ISRI-05-132 tech. report.
- [28] David Pardoe - Peter Stone. An Autonomous Agent for Supply Chain Management. Department of Computer Sciences, The University of Texas at Austin, TX, USA.
- [29] J. Collins - R. Arunachalam - N.Sadeh - J. Eriksson - N. Finne - S. Janson. The Supply Chain Management Game for the 2007 Trading Agent Competition. Diciembre 2006, CMU-ISRI-07-100 tech. report.
- [30] William E. Walsh - David C. Parker - Rajarshi Choosing Samples to Compute Heuristic-Strategy Nash Equilibrium. AAMAS-03, Workshop on Agent-Mediated Electronic Commerce V, 2003, Melbourne, Australia.
- [31] C. Menger. Problems in Economics and Sociology (1947). Urbana, IL: University of Illinois Press, USA.
- [32] I. Dogan - J.W. Yoo - R.B. Chinnam - Y. Jia - G. Vanteddu. Design and Analysis of Agent for Supply Chain Management: Experiences from the Trading Agent Competition. 2008, International Journal of Modelling and Simulation, Vol 28, No. 4.
- [33] Michael P. Wellman - Patrick R. Jordan - Christopher Kiekintveld - Jason Miller - Daniel M. Reeves. Empirical Game-Theoretic Analysis of the TAC Market Games. Computer Science and Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2121, USA.
- [34] Eric Sodomka - John Collins - Maria Gini. Efficient Statistical Methods for Evaluating Trading Agent Performance. Dept. of Computer Science and Engineering, University of Minnesota.
- [35] Stuart Russell - Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Traducción de Prentice Hall Hispanoamericana, ISBN 968-880-682-X, ed. 1995.
- [36] Avinash Dixit - Susan Skeath. Games of Strategy. ed. W. W. Norton & Company, 1999, ISBN 0-393-97421-9.
- [37] Proyecto L^AT_EX. <http://www.latex-project.org/>

[38] The Apache Ant Project. <http://ant.apache.org/>