

JOC D'ESTRUCTURES DE DADES I ALGORISMES

PDI responsable de la bona pràctica
Amalia Duch Brown

Membres de l'equip
que l'ha desenvolupat i aplicat

Jordi Petit i Silvestre
Salvador Roura Ferret

Enric Rodríguez Carbonell

Titulació o titulacions en què
s'ha realitzat la bona pràctica, i nivell (1r curs, ...)

Enginyeria Informàtica – 2n curs
Enginyeria Tècnica en Informàtica de Gestió – 2n curs
Grau en Enginyeria Informàtica – 2n curs
Grau en Matemàtiques – 2n curs

Assignatura o assignatures
i tipologia (obligatòria, optativa, ...)

Anàlisi i Disseny d'Algorismes -
Obligatòria
Estructures de Dades i Algorismes -
Obligatòria

Algorísmia - Obligatòria

Àmbit de coneixement UPC
Enginyeria Informàtica

Alumnat implicat i grups
De l'ordre de 1100 estudiants de 35 grups

Trajectòria/recorregut
5 anys acadèmics

Resum

L'activitat consisteix en la implementació d'un jugador per a un joc d'ordinador. L'objectiu és que els estudiants hi apliquin els algorismes i estructures de dades explicats en el curs.

Un joc consisteix en un tauler on es mouen agents controlats pels jugadors. Segons les seves accions, cada jugador rep una puntuació, que en finalitzar la partida en determina la classificació.

En el joc no hi ha interacció humana: els programes dels estudiants estan escrits abans de cada partida. Per programar un jugador, els estudiants disposen d'informació completa sobre l'estat del tauler i de tots els jugadors. La documentació del joc explica la interfície que el programa de l'estudiant o estudianta ha d'usar per comunicar-se amb el programa principal.

Els estudiants disposen d'un servidor web al qual envien els seus jugadors. A més, se'ls proporciona el codi font del joc per poder-ne desenvolupar localment la implementació.

L'activitat consta de dues fases. A la primera, els estudiants han de vèncer un jugador de prova, el "beneit", implementat pel professorat i que segueix una estratègia simple. A la segona fase, els estudiants que han superat la primera participen en una eliminatòria per determinar el millor jugador del quadrimestre.

Paraules clau

Ludificació
(*gamification*)

Aprenentatge basat en
problemes/projectes
(ABP o PBL)

Programació

Presentació

Definició de l'experiència

L'activitat consisteix en la implementació d'un jugador per a un joc d'ordinador d'estratègia preparat pel professorat, com a pràctica de laboratori dels cursos d'algorísmica i programació. L'objectiu és que en la programació d'aquest jugador l'estudiant o estudianta apliqui els algorismes i estructures de dades explicats a classe. La pràctica és individual, és a dir, cada estudiant programa el propi jugador, que s'enfrontarà contra els programes dels altres alumnes.

Més en detall, un joc consisteix en un tauler en què els agents controlats pels jugadors (habitualment, quatre) es mouen per torns durant un cert nombre de rondes. En funció de l'estratègia seguida i de les accions realitzades, cada jugador rep una puntuació, que en finalitzar la partida en determina la classificació. A diferència de la majoria d'altres activitats (exercicis, etc.) de les assignatures que hi estan involucrades, aquesta pràctica és oberta: no es tracta de resoldre un problema, sinó de preparar una estratègia, estudiar les estratègies dels jugadors rivals i adaptar o reprogramar la pròpia estratègia.

En el joc no hi ha interacció humana: el programa d'un estudiant o estudianta per controlar el seu jugador està escrit abans de cada partida. Aquest programa consisteix en un procediment que crida cada ronda el programa principal que gestiona el joc i que genera com a sortida la llista d'accions i moviments que es volen dur a terme en la ronda d'aquell moment. Per fer aquest programa, els estudiants disposen d'informació completa sobre l'estat del tauler i de tots els jugadors en cada ronda. La documentació del joc explica la interfície que el programa de l'estudiant ha d'usar per comunicar-se amb el programa principal.

Aquesta pràctica promou, doncs, entre altres habilitats, la programació de caire algorísmic (implementar la pròpia estratègia) i la programació relacionada amb la intel·ligència artificial (controlar els agents que apareixen en el joc). A més, fomenta bons hàbits de programació, atès que s'espera que els programes dels jugadors canviïn al llarg de la pràctica per adaptar-los a les noves estratègies dels companys, de manera que surten beneficiats els alumnes que fan el codi més flexible i modificable.

Els estudiants disposen d'un servidor web (el "jutge" del joc) al qual envien els seus jugadors. A més, se'ls proporciona el codi font del joc per poder-ne desenvolupar localment la implementació, cosa que facilita el treball autònom.

L'activitat consta de dues fases. A la primera, els estudiants han de vèncer un jugador de prova, el "beneit", implementat pel professorat i que segueix una estratègia simple. Concretament, quan un estudiant o estudianta envia un nou programa al servidor web, es juguen quatre partides contra tres clons del "beneit". El programa és acceptat si queda en primer lloc a les quatre partides. D'aquesta

manera, la probabilitat que un mal jugador passi la primera fase gràcies a l'atzar queda molt reduïda. Els estudiants tenen un termini d'aproximadament tres setmanes des del moment en què es publica el joc per aconseguir tenir un jugador acceptat.

A la segona fase, els estudiants que han superat la primera participen en una eliminatòria per trobar el millor jugador del quadrimestre. Els estudiants són eliminats progressivament de la manera següent. Cada dia de la segona fase, s'agrupen els programes dels alumnes de quatre en quatre i es realitzen partides que serveixen per atorgar una classificació de tots els jugadors encara vius. El darrer estudiant en aquesta classificació és eliminat. El procés es repeteix fins que només resta un grup reduït d'estudiants. Amb aquests se celebra la "gran final" del joc, en la qual es disputen les últimes partides que determinen el campió del joc, que se celebren a la fi del quadrimestre en un acte públic a la sala d'actes de la Facultat d'Informàtica de Barcelona (FIB).

Recorregut i context

La pràctica del joc està molt consolidada: es va iniciar el quadrimestre de primavera del curs 09-10 i des d'aleshores fins al curs actual, 13-14, s'ha anat aplicant cada quadrimestre a les següents assignatures de programació i algorísmica (per canvis de pla d'estudis i diferents períodes d'impartició, les assignatures involucrades van canviant segons el quadrimestre):

- Q2 09-10: ADA
- Q1 10-11: EDA, ADA, ALG
- Q2 10-11: EDA, ADA
- Q1 11-12: EDA, ADA, ALG
- Q2 11-12: EDA
- Q1 12-13: EDA, ALG
- Q2 12-13: EDA
- Q1 13-14: EDA, ALG

Els acrònims signifiquen:

- **ADA:** Anàlisi i Disseny d'Algorismes (assignatura obligatòria de segon curs de les desaparegudes Enginyeria Informàtica i Enginyeria Tècnica en Informàtica de Gestió)
- **EDA:** Estructures de Dades i Algorismes (assignatura obligatòria de segon curs del grau en Enginyeria Informàtica)
- **ALG:** Algorísmica (assignatura obligatòria de segon curs del grau en Matemàtiques)

En total, doncs, el recorregut d'aquesta activitat és de cinc anys acadèmics, comptant el quadrimestre en curs.

Respecte al nombre d'estudiants, s'avisava tots els alumnes de les assignatures involucrades perquè facin l'activitat. La participació sempre elevada, tal com palesen les xifres següents:

- **Q1 10-11:** 98/146 alumnes d'ADA, 101/122 alumnes d'EDA i 33/33 alumnes d'ALG
- **Q2 11-12:** 67/112 alumnes d'ADA i 103/122 alumnes d'EDA

En total, al llarg del seu recorregut han participat en el joc més de 1.000 alumnes, corresponents a més de 30 grups (habitualment, el d'ADA/EDA consten de quatre grups d'unes 30 persones, mentre que el d'ALG només en té un, d'unes 40 persones).

Respecte a les competències, cal distingir entre EDA i ALG. Entre les competències tècniques d'EDA, el joc treballa les següents en el nivell avançat:

- **CT4:** Demostrar coneixement i capacitat d'aplicació dels procediments algorísmics bàsics de les tecnologies informàtiques per dissenyar solucions a problemes, analitzant la idoneïtat i la complexitat dels algorismes.
- **CT5:** Analitzar, dissenyar, construir i mantenir aplicacions de forma robusta, segura i eficient, triant el paradigma i els llenguatges de programació més adequats.

Respecte a ALG, el joc treballa en el nivell avançat les competències tècniques següents:

- **CT4:** Desenvolupar programes informàtics que resolguin problemes matemàtics, tot fent servir per a cada cas l'entorn computacional escaient.

I treballa les competències transversals següents:

- **CB2:** Saber aplicar d'una forma professional els coneixements matemàtics al seu treball i posseir les capacitats que, a l'àrea de les Matemàtiques i en les seves aplicacions a la ciència i a la tecnologia, s'acostumen a demostrar mitjançant l'elaboració i defensa d'arguments i la resolució de problemes.
- **CG6:** Detectar mancances en el propi coneixement i superar-les mitjançant la reflexió crítica i l'elecció de la millor actuació per ampliar aquest coneixement.

L'avaluació de la pràctica depèn de l'assignatura que cursa l'estudiant. En el cas d'EDA (i la seva bessona en el pla d'estudis anterior, ADA), els estudiants que aconseguen superar la primera fase tenen tota la nota de la pràctica (1 punt sobre la nota final). Addicionalment, poden arribar a aconseguir fins a 1 punt extra sobre la nota final, proporcionalment segons el temps que triguin a ser eliminats (0 si són eliminats a la primera volta, 1 si arriben a la final). En el cas d'ALG, la nota (1 punt sobre la nota final) és proporcional al temps abans de ser eliminat.

Pel que fa a la coordinació entre assignatures, aquesta és en el nostre cas especialment important. Tot i que cada assignatura involucrada desenvolupa una eliminatòria de forma paral·lela i independent, mitjançant la sincronització dels calendaris fem possible que a la gran final competeixin estudiants de tot arreu, cosa que fa que l'esdeveniment tingui molt més ressò i interès per als estudiants.

Respecte als recursos necessaris per al desenvolupament d'aquesta activitat, el més destacable és el jutge del joc, això és, el servidor web que s'encarrega de recollir els enviaments dels estudiants i avaluar-los, i mantenir la gestió del joc en general.

Finalment, pel que fa al pes de l'activitat en l'assignatura, en termes de temps el joc comprèn, des que es publica fins a la gran final, pràcticament la meitat del quadrimestre. Pel que fa a la qualificació, en el cas d'EDA/ADA val 1 punt sobre la nota final, més 1 punt extra com s'ha esmentat anteriorment; en el cas d'ALG, val 1 punt sobre la nota final.

Situació de partida

Abans d'implantar el joc, com a professorat d'assignatures algorísmiques ens trobàvem que, sovint, els nostres alumnes estaven molt poc motivats per la matèria, no només per les parts més teòriques, sinó fins i tot també pels aspectes més pràctics de la programació. Això era particularment preocupant en el cas de les enginyeries informàtiques. Tanmateix, vam observar que molts dels estudiants mostraven un gran entusiasme pels videojocs. Per aquest motiu vam decidir introduir la programació d'estratègies de jocs d'ordinador com a treballs pràctics als nostres cursos d'estructures de dades i algorismes, inspirats pels ICPC-Challenges organitzats per l'Association for Computing Machinery (ACM) durant el seu ACM International Collegiate Programming Contest anual.

Contribucions i trets destacats

La major contribució del joc és que apropa el treball pràctic a l'ideal pedagògic de l'"aprèn divertint-te". Per altra banda, el joc té un gran impacte en l'aprenentatge i avaluació dels estudiants: molts d'ells aconsegueixen aprovar gràcies a aquest projecte, que, en ser una activitat de llarga durada, premia l'esforç continuat i la constància.

Un dels altres trets interessants del joc és el seu component transversal dins de la UPC: els quadrimestres de tardor, assignatures de diferents titulacions (actualment, EDA del grau en Informàtica i ALG del grau en Matemàtiques) hi participen alhora. Com ja s'ha dit, durant la major part de la durada del joc, l'activitat es duu a terme de forma paral·lela. No obstant això, la gran final es fa de manera conjunta. És palpable que la competició entre diferents titulacions estimula els estudiants a donar el millor de si mateixos. A més, activitats conjuntes d'aquest tipus ajuden a donar cohesió a la universitat.

Planificació de la bona pràctica i descripció de les activitats que s'han dut a terme

Objectius inicials

Els objectius docents que ens vam plantejar inicialment amb el joc són els següents:

- Proporcionar un entorn original i motivador per facilitar la integració de competències tant tècniques com genèriques.
- Planificar una activitat d'aprenentatge actiu per millorar l'aprenentatge de la programació, les estructures de dades i l'algorísmica.
- Incentivar el desenvolupament de competències com són l'anàlisi i el disseny d'estratègies eficaces, eficients, col·laboratives i/o competitives per aconseguir objectius concrets i ben definits.
- Proporcionar materials didàctics en nous formats utilitzant noves tecnologies (web, xarxes socials, fòrums, gràfics...) per promoure la pràctica de la programació i el disseny d'algorismes eficients i la integració de l'aprenentatge teòric amb el pràctic.
- Oferir eines per consolidar competències com són la millora i/o superació gradual i contínua del treball previ tant en l'àmbit personal com en l'àmbit social.
- Promoure nous mecanismes d'avaluació de les capacitats de programació i disseny d'algorismes eficients.

Planificació

Essencialment, la preparació de cada joc requereix les tasques següents:

- **Crear el joc i la interfície visual:** El joc està programat en C++ i incorpora una interfície visual (el "visor" del joc) programada amb les llibreries QT o JavaScript. Els estudiants fan servir una API en C++ descrita a la documentació per controlar els seus jugadors. A més, disposen del codi font del joc per poder compilar i executar localment, cosa que en facilita el treball autònom.
- **Redactar la documentació:** Per poder programar correctament els seus jugadors, els estudiants requereixen instruccions clares, precises i exhaustives. Aquestes s'han de redactar i revisar amb molta cura per evitar ambigüitats tant com sigui possible i facilitar la feina dels alumnes. També és important que les regles del joc (tant del joc *per se* com de l'activitat) quedin molt clares a la documentació per evitar possibles problemes (el tractament dels casos de còpia de programes, per exemple).
- **Preparar el jutge del joc:** Per fer el lliurament dels seus jugadors, els alumnes fan servir un web en PHP, també dissenyat i programat específicament per al joc, on veuen si els seus programes són o no són acceptats. També poden fer

servir el mateix web per demanar partides d'entrenament amb altres jugadors (d'aquesta manera, no serà necessari que es passin el seu codi per poder jugar partides mútuament) i poden seguir els resultats de les partides "oficials" de l'eliminatòria, amb les quals es determina la qualitat dels seus programes. Per executar les partides, el web fa servir tècniques semblants a les emprades pel jutge de PRO1. Tanmateix, en el nostre cas hi ha molts més problemes tècnics, atès que es tracta de simular 4 programes enviats per 4 alumnes diferents en paral·lel i que la partida ha de poder continuar fins i tot si un dels programes es penja o triga massa temps a respondre. Per aconseguir-ho, els quatre programes es compilen en processos independents i es comuniquen entre ells per sòcols (*sockets*), mentre un programa supervisor adicional comprova que cap no es penja.

- **Donar suport als alumnes:** Els alumnes han d'aprendre a fer un programa jugador en un termini de tres setmanes i molts d'ells demanen suport adicional en forma d'hores de consultes individuals o per grups.
- **Preparar i realitzar la gran final:** La majoria dels participants i molts dels seus companys esperen amb moltes ganes la gran final. És un acte important per a ells que s'ha de preparar amb antelació: transparències, partides, vídeos, visors especials, música, etc. A la gran final, hi assisteixen molts alumnes i tot el professorat de l'assignatura.

Crear un joc nou comporta unes 30 hores de treball, més aproximadament 10 hores per supervisar el període d'entrega, gestionar l'eliminatòria i preparar la final. Per altra banda, aquest cost en hores de professorat no es produeix cada quadrimestre, ja que els jocs (amb algunes variacions) es van repetint de tant en tant, cada 3 o 4 quadrimestres.

Recursos

El recurs material més destacable és el jutge del joc, això és, el servidor web que s'encarrega de recollir els enviaments dels estudiants i gestionar el joc en general (avaluació amb el "beneit", partides oficials classificatòries per a la gran final, partides extraoficials, etc.). Aquest servidor es troba físicament en les mateixes màquines que el jutge en línia www.jutge.org, que s'utilitza a les assignatures de programació del Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics (per exemple, PRO1, EDA, Algorísmica), i n'aprofita la infraestructura existent.

Altres recursos utilitzats són el software JPlag per a la detecció de còpies (aquest punt és important, ja que la pràctica és individual) i les instal·lacions de la FIB, que cedeix la sala d'actes per a la celebració de la gran final.

També cal esmentar la col·laboració amb el grup Video Games Association (VGA) de la Delegació d'Alumnes de la FIB (DAFIB), amb qui s'ha treballat per a la creació de visors tridimensionals per a la gran final en diverses ocasions.

Avaluació i resultats

En total, fins ara s'han creat cinc jocs diferents: ADA-Royale (rebatejat en edicions posteriors com a Battle Royale), Apocalypse-Now, Tron, PacMan i Bola de Drac. Aquests jocs han resultat molt atractius per als estudiants. En general, hem aconseguit una gran participació (fins ara, en total més de 700 estudiants). Com a exemple de la magnitud dels jocs, al web de Tron el Q2 10-11 es van acceptar 414 programes d'entre 6.400 enviaments, els quals ocupen 186 Gb del servidor web.

La gran final de cada joc sol ser un gran èxit de públic. Els vídeos de les finals, que es poden veure al catàleg FIB de MediaFIB, en són testimoni:

- Q2 09-10: ADA-Royale (1308 reproduccions)
<http://media.fib.upc.edu/fibtv/streamingmedia/view/2/209>
- Q1 10-11: Apocalypse-Now (388 reproduccions)
<http://media.fib.upc.edu/fibtv/streamingmedia/view/2/290>
- Q2 10-11: Tron (403 reproduccions)
<http://media.fib.upc.edu/fibtv/streamingmedia/view/2/350>
- Q1 11-12: Battle Royale II Requiem (326 reproduccions)
<http://media.fib.upc.edu/fibtv/streamingmedia/view/2/439>
- Q2 11-12: PacMan (186 reproduccions)
<http://media.fib.upc.edu/fibtv/streamingmedia/view/2/534>
- Q1 12-13: Bola de Drac (212 reproduccions)
<http://media.fib.upc.edu/fibtv/streamingmedia/view/2/654>
- Q2 12-13: Battle Royale (111 reproduccions)
<http://media.fib.upc.edu/fibtv/streamingmedia/view/2/763>

Les dades del nombre de reproduccions, obtingudes del web de la FIB, mostren la gran popularitat d'aquests vídeos, dels més vistos a MediaFIB (en particular, el d'ADA-Royale és el més vist). L'expectació per la gran final es manifesta també en algunes iniciatives dels estudiants, com és la "porra del joc" (<http://porra.jutge.org/>).

D'altra banda, per tal d'avaluar el nivell de satisfacció dels estudiants amb l'experiència, vam decidir conduir una enquesta als alumnes d'EDA una vegada finalitzat el Q2 11-12 (89 enquestats sobre 135 matriculats). En una puntuació d'1 (molt en desacord) a 5 (molt d'acord), les respostes a les nostres preguntes van ser les següents:

- Et va agradar el joc? 5 (55 %), 4 (29 %), 3 (11 %), altres (5 %)
- T'estimaries més estudiar teoria que programar el teu jugador? 3 (13 %), 2 (16 %), 1 (54 %), altres (17 %)
- És més motivador programar un jugador que els projectes de programació tradicionals? 4 (16 %), 5 (75 %), altres (9 %)
- Et motiva competir contra els teus companys? 4 (35 %), 5 (49 %), altres (16 %)
- Preferiries aquest curs sense el joc? 1 (84 %), altres (16 %)

Així doncs la retroacció dels estudiants és molt positiva, d'acord amb l'enquesta.

Per altra banda, el joc té un impacte important en la nota final dels estudiants. Per exemple, en el cas d'EDA, la majoria dels estudiants aconseguixen vèncer el "beneit" i, així, tota la nota obligatòria. A més, la puntuació extra obtinguda gràcies a la classificació a l'eliminatòria permet a molts d'ells aprovar l'assignatura. A continuació, a títol de mostra, es dona la proporció d'aquests alumnes sobre el total de matriculats per a alguns quadrimestres:

- Q1 10-11: 45/114
- Q2 10-11: 45/124
- Q1 11-12: 41/145
- Q2 11-12: 49/135
- Q1 12-13: 39/177

Pel que fa al professorat, tant els professors d'EDA/ADA com els d'ALG valoren molt positivament l'experiència i n'encoratgen la continuïtat.

En resum, l'experiència ha estat tan positiva que s'ha decidit consolidar-la com a forma de treball pràctic a EDA i ALG. La lliçó que hem après és, doncs, que un estudiant o estudianta, si és estimulat amb el que li agrada, pot aprendre mentre s'ho passa bé.

Plans de millora contínua

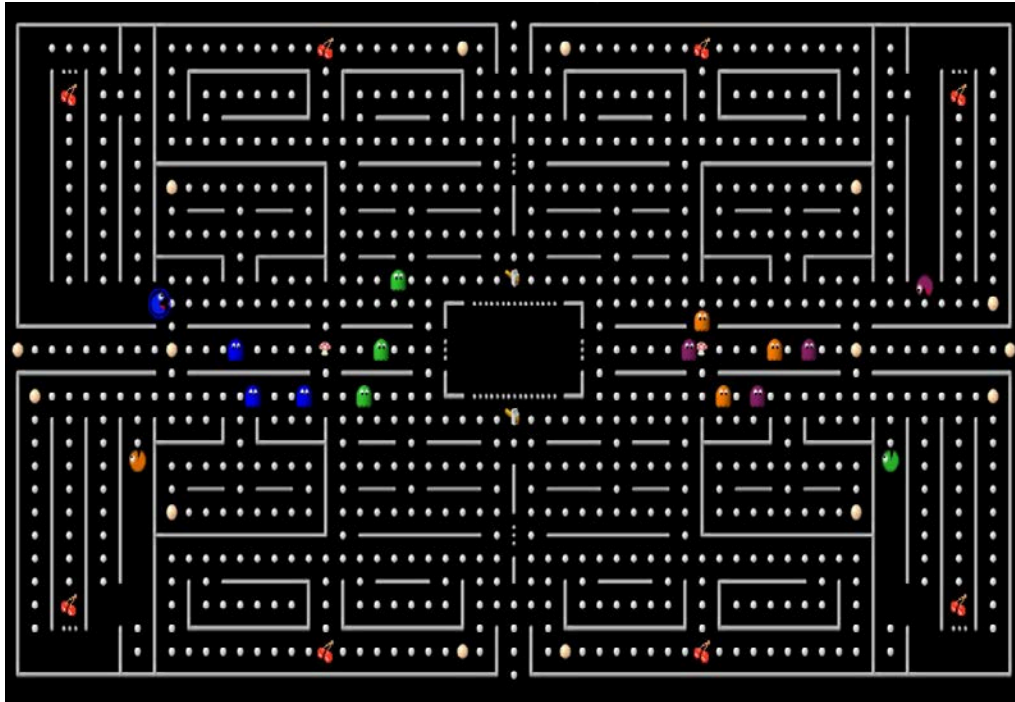
Els jocs es reciclen cada 3-4 quadrimestres i els comentaris dels estudiants recollits en una edició (per correu electrònic o per comunicació personal, canalitzats a través de la persona responsable de l'activitat) s'utilitzen per millorar-ne la següent. L'enquesta als estudiants realitzada al final del Q2 11-12 esmentada anteriorment també es va pensar com a mecanisme per obtenir retroacció dels alumnes i millorar l'activitat.

Entre els diversos canvis que s'han anat duent a terme al llarg del temps, s'ha de destacar la incorporació d'un fòrum del joc al racó de la FIB i el suport a un ventall cada vegada més gran de sistemes operatius per al desenvolupament del jugador per part dels estudiants (actualment, Linux, Windows, sistema operatiu del Mac).

Properament treballarem en la reimplementació del servidor web, per tal de fer-ne una arquitectura més modular i, així, reduir el temps necessari per preparar un joc.

Referències

Amalia Duch, Jordi Petit, Enric Rodríguez-Carbonell i Salvador Roura **Fun in CS2**. A *5th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU'13)*, maig 2013, Aachen (Alemanya). Disponible a: <http://is.gd/gZHikw>



Captura de pantalla d'una partida del joc PacMan