

INTEL·LIGÈNCIA ARTIFICIAL I MÚSICA

Josep Estrada
Facultat d'Informàtica
Universitat Politècnica de Barcelona
Barcelona (Catalunya)

RESUM

El treball presentat en aquesta comunicació té per objecte l'aplicació de mètodes d'Intel·ligència Artificial a l'harmonització de melodies, seguint el mateix procés mental que els estudiants d'un curs acadèmic d'Harmonia. Es presenta el planteig inicialment adoptat i els primers resultats obtinguts.

INTRODUCCIÓ

La creació d'una composició musical i, més en particular, l'harmonització de melodies d'acord amb els criteris acadèmics clàssics impliquen un procés mental de recerca per temptar d'una solució, entre les moltes possibles, que sigui alhora correcta (en el sentit de no infringir cap de les regles tradicionalment acceptades) i òptima (en el sentit estètic del terme).

Aquest procés pot ésser considerat com un exemple prototípic dels molts per a l'automatització dels quals la branca de la Informàtica anomenada Intel·ligència Artificial ha desenvolupat tot un conjunt de mètodes adients.

Les esmentades característiques de la creació musical, així com la seva complexitat i riquesa, ens han dut a seleccionar aquesta activitat intel·lectual com a camp d'aplicació especialment idoni dels diversos mètodes d'Intel·ligència Artificial analitzats al Departament d'Informàtica Teòrica de la Facultat d'Informàtica de la U. P. B.

El projecte els primers passos del qual presentem en aquesta comunicació té concretament per objecte l'aplicació de mètodes d'Intel·ligència Artificial a l'harmonització de melodies, seguint el mateix procés mental que els estudiants d'un curs acadèmic d'Harmonia. El pla de desenvolupament dels treballs segueix fidelment la pauta d'un curs tradicional d'Harmonia (Zamacois, 1960). En aquesta línia, per a les primeres proves que corresponen a l'estat actual del projecte, hem utilitzat el mateix tipus d'exercicis que habitualment es solen proposar als alumnes d'Harmonia (Zamacois, 1958).

A la següent secció especificarem el problema tal com ens l'hem plantejat, amb les limitacions acceptades inicialment. Exposarem a continuació, breument, el mètode de representació i l'algorisme de recerca utilitzats. Passarem llavors a la descripció de l'aplicació pròpiament dita, i presentarem els primers resultats obtinguts. Finalment, comentarem algunes de les línies futures previstes per a aquest projecte.

EL PROBLEMA

L'Harmonia, com és sabut, és la part de la tècnica musical que tracta de tot el que fa referència a la simultaneïtat dels sons. L'acord és per tant el protagonista principal, i el moviment melòdic de les veus és considerat com el resultat ocasional de la successió dels acords i està subjecte a les limitacions imposades per la recerca d'un bon engranatge entre els acords. Seguirem la concepció dita clàssica de l'Harmonia, segons la qual s'accepta plenament l'existència real dels acords, però es considera que llur successió ha d'estar regida per lleis d'encadenament i de resolució (Zamacois, 1960).

Ens restringirem, com és costum, a treballs d'Harmonia per a quatre parts reals, que associarem a les quatre veus del cor mixt (Baix, Tenor, Contralt i Soprano). Els exercicis tradicionalment proposats als alumnes d'Harmonia es poden classificar en dos grans grups: els de realització de baixos xifrats, i els d'harmonització de melodies. Per raons didàctiques, cada cop que en un curs d'Harmonia es presenten nous elements, es solen fer precedir els corresponents exercicis de realització als d'harmonització. En els treballs que fins ara hem portat a terme ens hem limitat inicialment, per raons en el fons força anàlogues a les estrictament didàctiques, als exercicis de realització de baixos xifrats. I hem acceptat també provisionalment tot un conjunt de limitacions simplificadores que especificuem a continuació, però que esperem anar eliminant progressivament a mesura que vagi avançant el projecte, tal com es faria en un curs acadèmic d'Harmonia. Les limitacions auto-imposades inicialment són:

- Realització de baixos xifrats.
- Acords triades en estat fonamental i en primera inversió.
- Només tonalitats majors.
- Sense modulacions.
- Només notes diatòniques.

La limitació actual als exercicis de realització de baixos xifrats resta evidentment una considerable complexitat al problema. En efecte, en els exercicis de realització de baixos xifrats, l'harmonia

pròpiament dita ja ve donada pel mateix baix xifrat i només es tracta d'explicitar-la. Els exercicis d'harmonització comporten en canvi la tasca prèvia addicional de creació i selecció de l'harmonia, cosa que implica una més profunda anàlisi estructural de la melodia donada.

La realització de baixos xifrats conserva, però, un respectable grau de dificultat. El baix donat i el seu xifrat ens proporcionen en efecte l'harmonia, és a dir els acords que hem de realitzar, i llur estat concret. Però no ens especifiquen com s'han de distribuir les notes entre les diverses veus, ni tampoc quines notes s'hauran de duplicar. La realització de baixos xifrats deixa encara una gran llibertat d'elecció a l'alumne, que ha d'escollir, d'entre les nombroses alternatives que se li presenten, una solució que estigui d'acord amb les especificacions donades i que al mateix temps no infringeixi cap de les regles de l'Harmonia imposades per la disciplina acadèmica. Convé, a més, que la solució elegida sigui no tan sols correcta, sinó també òptima, tant en el sentit d'oferir una màxima cohesió entre els acords, com des del punt de vista de l'estètica musical.

La gran quantitat d'alternatives que es presenten a l'hora de realitzar un baix xifrat són la causa que el factor de tempteig sigui un dels principals recursos utilitzats. L'alumne decideix, d'entre les diverses alternatives disponibles, la realització concreta del primer acord de l'exercici. Seguidament s'enfronta amb la realització del segon acord i escull aquella que millor s'encadena amb l'acord anterior, i així successivament. Sovint, però, la realització efectuada fins a un determinat moment s'encalla amb dificultats inesperades, i llavors entra en acció la goma d'esborrar (també amiga inseparable dels estudiants d'Harmonia), gràcies a la qual el procés torna enrera i es poden provar altres alternatives que permetin salvar l'escull.

Tot el procés de realització del baix xifrat és un tempteig constant d'alternatives, de detecció d'errors o d'obstacles, o simplement d'obtenció de noves solucions preferibles, que suggereixen la reconstrucció parcial o total del treball. La reproducció com més fidel millor d'aquest procés de tempteig dels estudiants d'un curs d'Harmonia és precisament el mòbil del treball presentat en aquesta comunicació.

EL MÈTODE

Representació de Problemes a l'Espai dels Estats.

El mètode utilitzat es basa en el concepte de Representació de Problemes a l'Espai dels Estats, segons el qual una gran diversitat de problemes poden ésser transformats en el problema canònic de determina-

ció, en un espai d'estats del problema, d'un camí des d'un estat inicial fins a un estat terminal. L'espai dels estats es representa per mitjà d'un graf, associant una descripció d'estat a cada nodus, i un operador de transformació d'estats a cada arc. El problema inicial queda així reduït al problema equivalent de determinació en el graf d'un camí-solució des del nodus inicial fins a un nodus terminal (Nilsson, 1971).

Algorisme de Recerca Utilitzat.

Nombroses tècniques de recerca ha estat desenvolupades a fi de resoldre eficientment aquest problema de recerca. Per a portar a terme les primeres experiències del projecte que presentem en aquesta comunicació ens hem servit d'una recerca cega per profunditat prioritària. L'algorisme utilitzat pot ésser descrit per la següent seqüència de passos (Nilsson, 1971):

- (1) Poseu el nodus inicial en una llista anomenada OBERTS.
- (2) Si OBERTS és buit, acabeu la recerca amb fracàs; altrament, continueu.
- (3) Traieu el primer nodus d'OBERTS i poseu-lo en una llista anomenada TANCATS. Sigui n el nodus tancat.
- (4) Expandiu el nodus n , generant tots els seus nodus fills. Poseu els nodus generats (amb ordenació arbitrària) al principi d'OBERTS. Associeu-los punters cap a n .
- (5) Si algun dels nodus generat és terminal, acabeu la recerca amb èxit, i obteniu el camí-solució retornant cap al nodus inicial seguint els punters; altrament, torneu a (2).

L'APLICACIÓ

Espai dels Estats.

Adoptarem la hipòtesi simplificadora de suposar que, dins de cada una de les diverses alternatives possibles del procés, la realització del baix xifrat s'efectua ordenadament, començant per la primera nota i continuant progressivament fins a completar el treball. És a dir, suposarem que no es realitza una determinada nota del baix si no han estat prèviament realitzades totes les notes anteriors. I quant als acords que materialitzaran les corresponents realitzacions de les notes del baix xifrat, els tractarem com a entitats elementals o atòmiques, generades en bloc.

Conceptualment, considerarem com a estats del problema cada una de les múltiples etapes o situacions, en les quals, dins de cada una de les

diverses alternatives possibles, es pot anar trobant progressivament el procés. És a dir, un estat estarà constituït pel baix xifrat complet, amb les n primeres notes ja realitzades (amb $0 \leq n \leq L$, essent L el nombre total de notes del baix xifrat).

L'Espai dels Estats estarà constituït per tots els estats generables a partir d'un determinat baix xifrat donat. L'estat inicial correspondrà al baix xifrat donat, encara sense cap acord realitzat. L'estat terminal serà qualsevol realització del baix completa i correcta, és a dir, amb totes les notes del baix xifrat realitzades, sense infringir cap de les regles de l'Harmonia.

Descripció Interna dels Estats.

La definició anterior dels estats, encara que conceptualment acceptable, comportaria però un arbre de recerca extremadament redundat, amb el baix xifrat repetit sistemàticament a cada estat, així com amb els acords anteriors a l'últim generat innecessàriament tornats a emmagatzemar. A fi d'evitar el considerable desaprofitament de memòria que en resultaria, internament, els estats són simplement descrits, o representats, per mitjà de les tres notes superiors de l'acord, d'un índex, i d'un punter. Les tres notes superiors de l'acord corresponen evidentment a les tres veus superiors (tenor, contralt i soprano), l'índex ens indica la posició corresponent de l'acord sobre el baix xifrat, i el punter ens assenyala l'adreça de l'acord anterior en un fitxer d'accés directe (llista TANCATS).

D'acord amb les definicions anteriors, podem doncs considerar el baix xifrat complet donat, encara sense realitzar, com a estat inicial. Els estats restants, però, seran simplement descrits per mitjà de les tres notes superiors, de l'índex i del punter, tal com ja ho hem definit. Considerarem, finalment, com a estats terminals simplement tots aquells que tinguin l'índex igual al nombre de notes del baix xifrat donat (aquest és el motiu pel qual no ha calgut incloure un control de profunditat màxima a l'algorisme utilitzat). Un cop generat un estat terminal, la seqüència de punters associats a cada estat ens permetrà de retrobar els acords anteriors, corresponents al camí-solució elegit, mentre que el conjunt d'índexs ens permetrà de col·locar cada un dels acords al seu lloc corresponent, reconstruint així sobre el baix xifrat donat la realització completa finalment seleccionada.

Amb la descripció interna adoptada per als estats, però, dos estats diferents podran ésser descrits internament per mitjà de dues descripcions idèntiques. Aquesta possibilitat no presenta, no obstant, cap conflicte si treballem, com és el cas, estrictament amb arbres,

en lloc de grafs: els dos estats seran simplement duplicats en memòria, i la possible confusió podrà ésser fàcilment resolta posteriorment pels corresponents punters.

Les limitacions de planteig acceptades inicialment ens permeten de representar internament cada nota només per mitjà de dos nombres naturals. El primer nombre, comprès entre 1 i 7, inclusivament, ens indicarà el nom de la nota ($Do=1, \dots, Si=7$). El segon ens indicarà el registre o octava de la nota i , tenint en compte les limitacions de la veu humana, el podrem suposar sempre inferior a 10 (un dígit). Les alteracions corresponents a les diverses tonalitats majors que pot tractar el procés, si acceptem de limitar-nos a les set notes diatòniques i prescindim de moment de modulacions, venen donades implícitament per l'armadura global dels exercicis i , com és costum a l'escriptura musical, no caldrà explicitar-les cada cop. Finalment, tenint en compte les longituds habituals dels exercicis d'Harmonia, establirem arbitràriament un límit superior de 100 a l'índex (dos dígits).

Amb les consideracions del paràgraf anterior, tenim que ens és possible emmagatzemar cada estat per mitjà de dues variables enteres (2×32 bits). A la primera hi desarem els sis dígits corresponents a les tres notes superiors de l'acord, i els dos dígits de l'índex. Així per exemple, l'acord Do_3, Sol_3, Mi_4 (respectivament, Tenor, Contralt i Soprano) corresponent a la vintena nota del baix xifrat, serà representat internament per mitjà del nombre natural 13533420. Quant a la segona variable entera, la reservarem simplement per al punter, el valor màxim del qual és en principi poc previsible.

Operadors.

Tal com hem representat el problema, la funció dels operadors correspon naturalment a la generació d'un nou acord. Conceptualment, l'aplicació d'un operador de transformació a un determinat estat del problema genera un nou estat que es diferencia de l'anterior pel nou acord que se li ha afegit. Amb la representació interna escollida per als estats, la funció dels operadors correspondrà estrictament, però, a la generació d'un únic nou acord, que haurà d'ésser coherent amb la nota del baix que li pertorqui i amb el seu xifrat corresponent, i que no podrà evidentment infringir cap de les regles de l'Harmonia.

Sense entrar en detalls que no ens és possible d'incloure en l'espai disponible, la generació d'acords ve governada per les següents regles (Zamacois, 1960):

- Concordança amb la nota xifrada corresponent.
- Concordança amb el possible xifrat de posició.
- Manteniment de les notes dins dels límits d'extensió de les veus.
- Prohibició d'encreuaments de veus.
- Control de la disposició dels acords.
- Control de duplicacions.
- Control d'unísons.
- Control de supressions.
- Prohibició d'octaves i d'unísons paral·lels.
- Control de quintes paral·leles.
- Control de quintes i d'octaves directes.
- Control de duplicacions per moviment directe.
- Prohibició de l'interval melòdic de quarta tritò.
- Prohibició de la falsa relació de tritò.
- Control de l'interval melòdic de quinta disminuïda.
- Control del moviment melòdic de la sensible.
- Control dels salts.
- Control de la duplicació d'un baix en primera inversió per moviment contrari.

RESULTATS

Com a il·lustració de l'estat actual del projecte, presentem un exemple de realització d'un baix xifrat. Les Figures 1 i 2 mostren, respectivament, un dels exercicis proposats (Zamacois, 1958, Exercici Nº 78-G), i la realització obtinguda. L'ordre real dels acords és l'invers del mostrat a la Figura 2 i per tant el primer acord de l'exercici acabat és Sol2, Re3, Sol3, Si3. Això és simplement degut al procés d'obtenció del camí-solució des del primer nodus terminal generat fins al nodus inicial, de manera que els acords corresponents a la realització finalment seleccionada es recuperen justament en l'ordre invers al real. A la Figura 3 presentem una transcripció en notació musical de la realització obtinguda, a fi de facilitar-ne la lectura.



Figura 1.- Baix xifrat donat.

CONCLUSIÓ

Hem especificat el problema tal com l'hem abordat en principi. Hem exposat esquemàticament el mètode de representació i l'algorisme de recerca utilitzats. Hem presentat, finalment, l'aplicació pròpiament dita, i els primers resultats obtinguts. Aquests resultats responen al que se'n podia esperar, tenint en compte la simplificació del plantejament i les limitacions inicialment auto-imposades.

Queda però evidentment un llarg camí per recórrer. D'una banda, caldrà anar eliminant progressivament les limitacions actuals, i anar enriquint el problema amb nous elements. D'altra banda, a fi de completar, en línies generals, la reproducció del procés mental dels alumnes d'Harmonia, ens queda encara per analitzar-ne un altre aspecte bàsic. En efecte, tal com hem plantejat el problema fins ara, les realitzacions obtingudes són simplement correctes. Ens queda doncs, com a proper pas a fer, l'obtenció de solucions que a més de correctes siguin òptimes.

Les línies futures d'aquest projecte, que en certa forma es poden considerar implícitament definides per les consideracions anteriors, ens portaran inexorablement cap a altres mètodes de recerca més sofisticats: els algorismes de recerca heurística.

REFERÈNCIES

- (1) Zamacois, J.
Tratado de Armonía, Libro I
Labor, Barcelona, 1960
- (2) Zamacois, J.
Ejercicios Correspondientes al Tratado de Armonía, Libro I
Boileau, Barcelona, 1958
- (3) Nilsson, N.J.
Problem-Solving Methods in Artificial Intelligence
McGraw-Hill, New York, 1971

