

ASPECTE PRIVIND UTILIZAREA SIMULĂRII BAZATE PE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ PENTRU CONDUCEREA OPERATIVĂ A PRODUCȚIEI DE TIP DISCRET

ing. Gabriel Neagu

Institutul de Cercetări în Informatică

Rezumat. Lucrarea este dedicată prezentării succinte a specificului și avantajelor oferite de simularea bazată pe metode ale inteligenței artificiale (simulare în mediu inteligent sau simulare bazată pe cunoștințe cum mai este referită în literatură), în raport cu simularea clasică. Pentru exemplificarea acestei orientări este utilizat domeniul conducerii operative a producției de tip discret, mai precis problema ordonării la nivelul atelierului de fabricație. Sînt evidențiate locul și importanța simulării în ansamblul metodelor de rezolvare a acestei probleme, este argumentată oportunitatea trecerii la sisteme de ordonare bazate pe cunoștințe, sînt prezentate pe scurt facilitățile limbajului OPS5 orientat pe reguli de producție și modul de valorificare al acestor facilități în cazul tratării problemei ordonării la nivelul unui atelier de tip "job shop".

Cuvinte cheie: simulare, reprezentare cunoștințe, OPS5, conducerea atelierelor de fabricație, ordonare.

1. Introducere

Inițial, conexiunile stabilite între cele două domenii-simulare și inteligența artificială-au avut ca suport similitudinea unor aspecte și preocupări privind modelarea sistemelor complexe. Exemplul cel mai adesea invocat îl constituie paradigma obiect, promovată în domeniul simulării prin limbajul SIMULA, considerat predecesorul limbajului Smalltalk, care a inaugurat familia limbajelor Inteligenței Artificiale orientate obiect. Ulterior, aceste conexiuni s-au dezvoltat și nuanțat, alimentate de interesul reciproc al specialiștilor din cele două domenii.

Sistemele de conducere a producției (SCP) exemplifică concludent această tendință, reprezentînd în timp un domeniu prioritar de utilizare, atît a modelelor de simulare, cit și a metodelor specifice inteligenței artificiale (IA). Conform [12], simularea este prezentă în toate fazele ciclului de viață ale unui sistem de producție: proiectare de detaliu, planificare și implementare, operare și întreținere. Avantajele oferite se referă la evaluarea cu costuri minime, în raport cu indicatori de performanță predefiniți, a alternativelor de soluții sau a modificărilor la soluțiile implementate, cu luarea în considerare a factorilor semnificativi, inclusiv a caracteristicilor de dinamică, nedeterminare și incertitudine.

La rîndul lor, metodele specifice IA vizează, în cadrul SCP, în special, activitățile de planificare și

ordonare, control și asigurarea calității, întreținere și diagnoză, controlul inteligent al utilajelor, interfața om-mașina [20]. Ca avantaje sînt evidențiate: înmagazinarea cunoștințelor tehnico-inginerești de tip expert, cu posibilitatea reutilizării pe scară largă a experienței; asistarea proceselor decizionale prin metode euristice, bazate pe experiență și intuiție; îmbunătățirea interfeței cu utilizatorul prin orientarea spre limbaj natural; furnizarea de explicații asupra soluțiilor, sensibilitate la context; eliberarea factorului uman de decizie de activități decizionale de rutină, concomitent cu creșterea obiectivității acestor activități. Toate aceste avantaje impun metodele IA ca un principal suport pentru integrarea componentelor sistemelor de fabricație integrată cu calculatorul (CIM) [1]. Se constată că problematica nivelului operativ al SCP este referită în ambele cazuri, ceea ce atestă importanța și complexitatea proceselor decizionale specifice. În acest context, cazul sistemelor de conducere la nivel de atelier de fabricație (SCAF) este considerat edificator, atît sub aspect conceptual, cît și al realizărilor practice, pentru valorificarea posibilităților oferite de cele două domenii.

Lucrarea este structurată în trei capitole principale. Capitolul 2 trece în revistă principalele modalități de influențare și potențare reciprocă a modelelor de simulare și a metodelor IA. În capitolul 3 este prezentată problematica domeniului conducerii operative a producției de tip discret și sînt detaliate principalele abordări ale funcției de ordonare, ca funcție de suport decizional în cadrul SCAF. Capitolul 4 evidențiază, pe baza evaluării rezultatelor concrete obținute în domeniu, principalele orientări în perfecționarea conceptuală și funcțională a SCAF, urmărite în cadrul Laboratorului de sisteme de informare și conducere operativă din I.C.I. Sub aspect funcțional, este detaliată soluția de simulare bazată pe IA în ordonare, utilizînd limbajul OPS 5.

2. Simularea în contextul dezvoltării metodelor IA

Interesul specialiștilor din domeniul inteligenței artificiale (IA) față de simulare s-a făcut simțit la jumătatea anilor '80 și a fost generat, în principal, de necesitatea consolidării potențialului sistemelor inteligente de a rezolva probleme concrete. Exemple în acest sens pot fi, conform [18]:

- includerea în structura motorului inferențial a unui modul de simulare;
- analizarea prin simulare a rezultatelor furnizate de un sistem inteligent.

Prin prisma subiectului abordat în lucrare, un interes mai mare îl prezintă aspectul reciproc al influenței metodelor IA asupra simulării. Lucrarea [19] identifică în acest sens 3 orientări principale:

- instrumente suport inteligente pentru simulare, orientate în principal pe modulele de interfață utilizator ale procesului de simulare (construire model și analiză rezultate), a căror funcționare este dependentă de nivelul calitativ al expertizei pe care o înglobează;
- utilizarea complementară a simulării și a metodelor IA în modele: simularea - pentru obiecte și procese fizice, metodele IA - pentru procese decizionale;
- valorificarea capacităților de simulare ale limbajelor IA, generate de logica formalismului de reprezentare a cunoștințelor de tip declarativ și/sau procedural, specifică limbajului respectiv: obiecte, frame-uri, reguli, logica predicatelor.

Așa cum s-a aratat, reprezentarea bazată pe obiecte care comunică între ele prin mesaje prezintă similitudini evidente cu modul de abordare a modelelor de simulare. Mecanismele de comunicare, încapsulare (protecție), instanțiere și moștenire, specifice acestei reprezentări, se dovedesc deosebit de puternice în modelarea sistemelor complexe, asigurând avantaje importante, cum sînt: tratarea modelului pe diverse niveluri de abstractizare, modularizarea riguroasă, facilitarea extinderilor și modificărilor modelului, Abordarea orientată obiect cunoaște în prezent o largă răspîndire, tendință susținută și confirmată în același timp de diversitatea limbajelor și mediilor de programare apărute în acest domeniu [22]: specifice (Smalltalk, Actors, Loops, Eiffel) sau hibride (extensii ale unor limbaje de programare ca LISP, C, PASCAL). Reprezentării bazate pe **frame-uri**, similară din punct de vedere al facilităților de modelare cu reprezentarea bazată pe obiecte, îi este specific mecanismul procedurilor de tip demon, atașate slot-urilor, care sînt declanșate automat în cazul accesării valorii slot-ului respectiv. Acest mecanism este util cu precădere în simularea orientată pe evenimente discrete, dar facilitează și implementarea unor funcțiuni general valabile sistemelor de simulare:colectarea datelor statistice; trasarea, prin mesaje sau jurnalizare, a derulării procesului de simulare; depanarea programelor. Un exemplu reprezentativ pentru această grupă de limbaje este SRL (Schema Representation Language). Principalele caracteristici ale limbajului includ relațiile de moștenire, declarate automat sau de către utilizator, precum și contexte multiple. Pentru fiecare frame sau schemă se pot asocia metacunoștințe referitoare la modul cum SRL, utilizează cunoștințele din domeniu. Un dialect al SRL, denumit SRL/1.5, este implementat în FRANZ LISP pe calculatoare VAX, sub UNIX, [24].

Regulile de producție sînt adecvate modelării aspectelor de tip comportamental, dependente de îndeplinirea unor condiții bazate pe fapte, de tip derulare înainte (specifică de ex. limbajului OPS 5) sau pe scopuri, de tip derulare înapoi (sistemul EMYCIN).

Avantajele acestei reprezentări constau, în principal, în simplitatea generării și înțelegerii regulilor, facilitatea modificărilor și adaptărilor, simplitatea mecanismelor de rezolvare a conflictelor.

În ceea ce privește **programarea logică**, limbajul PROLOG, bazat pe calculul predicatelor de ordinul întâi, prezintă interes pentru simulare datorită caracterului său declarativ, care facilitează descrierea obiectelor, a relațiilor și comportamentului acestora. Ca o concluzie la acest aspect privind utilizarea facilităților oferite de limbajele IA, se cuvine menționată tendința tot mai evidentă a unei abordări multiparadigmă, bazată pe tratarea fiecărei părți a modelului prin reprezentarea cea mai adecvată. În lucrarea [6], după trecerea în revistă a stilurilor de programare specifice limbajelor IA, se exemplifică orientarea spre integrarea acestora prin apariția unor sisteme de simulare, bazate pe cunoștințe, construite cu instrumente de tip sistem expert hibrid: KBS (bazat pe sistemul SRL), Simkit (bazat pe KEE). Pe exemplul modelării proceselor de fabricație a software-ului, din lucrarea [5] reiese că un limbaj eficient de modelare a proceselor ar trebui să combine paradigmele programării declarative (bazată pe reguli), ale programării imperative (sau procedurale) și ale programării orientate obiect.

Revenind la contextul general al influenței IA asupra simulării, o ilustrare sugestivă a legăturii între cele două domenii o constituie comparația între arhitectura unui sistem de simulare și cea a unui sistem expert:

- expertiza asupra domeniului modelat înglobată în sistemul de simulare corespunde bazei de cunoștințe a sistemului expert;
- datele ce caracterizează imaginea concretă a domeniului corespund memoriei de lucru;
- procedurile de derulare a procesului de simulare corespund motorului inferențial.

Bazat pe aceasta similitudine, lucrarea [18], prezintă rezultatul abordării tip sistem expert a procesului de simulare în 3 faze: (a) controlul ceasului simulării; (b) execuția evenimentului curent; (c) generarea evenimentelor viitoare. Baza de cunoștințe conține două secțiuni: demoni (corespunzător fazei (b)) și reguli de producție (corespunzător fazei (c)). Motorul inferențial corespunde logicii de derulare a celor 3 faze. Datele din memoria de lucru sînt accesate și gestionate la inițiativa motorului inferențial prin apeluri la o bibliotecă specializată.

3. Conducerea operativă a producției de tip discret

3.1. Problematika domeniului

În ansamblul conducerii producției, nivelul operativ preia sarcinile stabilite pe nivelul tactic prin funcția de

planificare necesară resurse (MRP) și asigură controlul și coordonarea sistemului de producție pentru realizarea acestora.

Activitatea specifică acestui nivel al conducerii producției este plasată, în principal, în cadrul atelierelor/secțiilor de producție și include următoarele funcții: verificarea și lansarea comenzilor de fabricație, ordonarea operațiilor și încărcarea utilajelor, urmărirea avansului producției și controlul priorităților, gestiunea capacităților, controlul calității pe flux, evaluarea rezultatelor privind realizarea programului de producție și utilizarea resurselor.

Principalele obiective ale conducerii producției la nivel operativ sînt:

- (i) respectarea termenelor de fabricație: este obiectivul cel mai important, care exprimă calitatea și eficiența activității productive;
- (ii) diminuarea stocurilor intermediare și de produse finite: se au în vedere costurile suplimentare pe care le implică și dificultățile generate privind derularea procesului de producție;
- (iii) optimizarea utilizării resurselor: încărcarea capacităților, utilizarea forței de muncă.

Dificultatea și complexitatea proceselor decizionale, subordonate realizării acestor obiective, sînt generate în principal de:

- complexitatea sistemului de producție ca structură și fluxuri materiale și informaționale;
- diversitatea tipurilor și caracteristicilor funcționale ale resurselor implicate;
- caracterul aleator al perturbațiilor care afectează derularea normală a procesului de producție;
- dificultatea estimării consecințelor reale ale deciziilor adoptate și ale acțiunilor corective pe care le generează.

În lucrare este tratat cazul sistemelor de conducere a atelierelor de fabricație (SCAF), reprezentative pentru nivelul conducerii operative prin aria de cuprindere și funcțiile realizate. Dezvoltarea SCAF reprezintă un obiectiv prioritar al fabricației integrate cu calculatorul (CIM), avînd în vedere rolul acestor sisteme în asigurarea competitivității necesare în condițiile diversificării cerințelor pieții, reducerii ciclurilor de fabricație, creșterii exigențelor de calitate, dinamizării accentuate a inovațiilor tehnologice. Indiferent de forma de organizare a procesului de producție (job shop, flow shop, mașini paralele), arhitectura SCAF include tradițional următoarele module principale: ordonarea producției, culegerea datelor de urmărire, raportarea rezultatelor, interfața cu nivelul conducerii tactice. Arhitectura este dezvoltată în jurul funcției de ordonare, ca principală funcție de suport decizional.

3.2. Abordări ale ordonării producției

Diversitatea soluțiilor adoptate pentru rezolvarea problemei ordonării, reflectată pe larg în literatura de specialitate (de ex. [11], [4], [14]) se încadrează în 3 categorii principale: metode analitice, simulare, reguli euristice.

a. Metodele analitice și-au restrîns continuu aria de utilizare în domeniu, dovedindu-se inadecvate pentru a cuprinde complexitatea problemelor, prohibitive ca resurse de calcul necesare și inefficiente ca timp de răspuns, în raport cu dinamica proceselor conduse. O analiză comparativă a principalelor tipuri de modele utilizate în domeniul proceselor de producție de tip discret (modele stocastice, algebra dioizilor, rețele Petri, modele de simulare), evidențiază limitele modelelor stocastice în studierea dinamicii procesului de producție pe perioade scurte de timp, specifice SCAF [4]. Lucrarea [11], ca o concluzie asupra rezultatelor utilizării unui model de programare neliniară în numere întregi pentru probleme de planificare a producției (inclusiv ordonare), apreciază modelul ca rezolvabil, dar prea mare pentru a reprezenta o procedură de calcul fezabilă.

b. Modelele de simulare se dovedesc mult mai adecvate necesităților asistării proceselor decizionale la nivel operativ. Posibilitatea furnizării, în timp util și cu resurse de calcul rezonabile, a unor variante de soluții suboptimale, dar fezabile, corespunde concepției moderne de realizare a sistemelor suport decizie în conducerea operativă a producției. Conform acestei concepții [10], factorul uman de decizie își păstrează autoritatea decizională, sistemul reprezentînd numai un consultant avizat în adoptarea deciziei. Prin facilitățile pe care le oferă pentru rezolvarea problemelor de ordonare, simularea reprezintă un suport direct pentru promovarea unor concepte și soluții moderne în conducerea producției: centre și celule de fabricație bazate pe tehnologia de grup (ordonarea producției orientată pe simulare pe produs), metoda de planificare a resurselor MRP II (facilități de simulare pentru modulul de conducere atelier), metoda JIT (Just-In-Time) orientată pe reducerea pierderilor generate de mișcare și stocare materiale, pregătire mașini și SDV-uri etc. (utilizarea simulării pentru analiza sincronizării fluxurilor de produse cu necesarul de fabricat) [8].

Dintre abordările specifice modelelor de simulare ([4], [23]), **simularea orientată pe evenimente** (simularea cu ceas variabil) este cea mai răspîndită în cazul ordonării, avînd în vedere caracterul determinist al procesului pe orizontul de ordonare (timpuri de pregătire și prelucrare pentru operații, timpuri de transport între centrele de prelucrare, perioade de indisponibilitate planificată a utilajelor).

În lucrarea [9] este prezentat un exemplu al unui astfel de model de simulare, implementat în sistemul CADIS pentru conducerea operativă a atelierelor de prelucrare mecanice organizate pe grupe de mașini, sistem realizat

În cadrul Laboratorului de sisteme de informare și conducere operativă din ICI. Pentru construirea modelului sînt utilizate opt tipuri de evenimente semnificative; pentru fiecare tip de eveniment au fost determinate condițiile de apariție și schimbările de stare pe care le generează, inclusiv relațiile de precedență cu alte evenimente. În procesul simulării, evenimentele sînt tratate secvențial în ordinea apariției. Ceasul simulării este incrementat la momentul corespunzător evenimentului următor, fiind posibilă imprimarea unei viteze sporite de parcurgere a intervalului de simulare. Pentru rezolvarea conflictelor de acces la resurse (alocare lucrări pe mașini) este utilizată o regulă de prioritate compusă. Pentru optimizarea soluției sînt calculate valorile coeficienților de pondere din formula de calcul a priorităților, valori care minimalizează penalitățile datorate nerespectării obiectivelor de funcționare a atelierului (devansare sau depășire termene, staționare utilaje, așteptare lucrări pe flux). Avantajele oferite pe această abordare a funcției de ordonanțare în cadrul SCAF se concretizează în principal în: adaptabilitate la specificul activității atelierului prin determinarea valorilor coeficienților de pondere; flexibilitate în stabilirea contextului de execuție a ordonanțării prin definirea interactivă a parametrilor de timp (perioadă și orizont), precum și a altor caracteristici ale procesului de producție; posibilitatea evaluării comparative a variantelor de soluții pe baza unui indicator global de performanță.

Simularea orientată pe activități (simulare cu ceas constant) este utilizată în cazul în care sînt cunoscute condițiile ce urmează a fi îndeplinite de starea sistemului la începutul și sfîrșitul fiecărei activități, dar nu și duratele acestora. Dezavantajul îl constituie necesitatea testării tuturor activităților la fiecare avans al ceasului simulării, ceea ce mărește timpul de calcul. **Simularea orientată pe procese** se bazează pe delimitarea unor secvențe de evenimente sau activități care pot fi tratate unitar în ansamblul sistemului modelat. Răspîndirea acestei abordări, inclusiv pentru probleme de ordonanțare de complexitate ridicată, este susținută de suportul tehnic oferit de rețelele de calculatoare și metodele de calcul paralel pentru simularea distribuită.

c. În ceea ce privește **metodele euristice**, acestea sînt destinate cu precădere susținerii proceselor decizionale cu nivelul de dinamică cel mai accentuat (ordonanțare, dispecerizare) și se referă, în principal, la stabilirea regurilor de prioritate cele mai adecvate, la selectarea și ordonarea activităților pe baza valorificării experienței în domeniu [25]. Conform [11], termenul "euristic" este utilizat, în general, pentru metode aproximative, care oferă o cale rapidă de obținere a unor soluții fezabile. Prin prisma acestei definiții apare evidentă filiația cu metodele specifice IA, care își propun, în principiu, un obiectiv similar: limitarea sau simplificarea căutării soluțiilor într-un domeniu dat, care este complex sau dificil de înțeles

[24]. Aceasta explică răspîndirea largă a metodelor euristice, inclusiv prestața cîștigată de acestea în ultima perioadă. Conform [2], raționamentul euristic reprezintă una din formele principale de utilizare a metodelor IA în sistemele de conducere a producției, alături de sistemele expert și de interfețele utilizator evolute.

3.3. Sisteme de ordonanțare bazate pe cunoștințe

Utilizarea metodelor IA în probleme de ordonanțare este motivată de diversitatea cunoștințelor implicate în rezolvarea acestora. Astfel, lucrarea [3], pe lîngă cunoștințele statice (referitoare la descrierea atelierului de fabricație și a obiectivelor acestuia), evidențiază importanța cunoștințelor dinamice (referitoare la metodele de rezolvare) în procesul de conducere la nivel operativ:

- expertiza teoretică, cu un grad ridicat de formalizare (metode matematice și algoritmi asociați);
- expertiza empirică, concretizată în reguli euristice de dispecerizare;
- expertiza practică, reflectînd restricțiile de natură tehnică, tehnologică sau umană care se manifestă asupra procesului de fabricație.

Pentru cazul concret al funcției de ordonanțare, cunoștințele specifice vizează [17]: modelarea sistemului condus și criteriile de selectare a algoritmilor disponibili (cunoștințe de natură teoretică și practică); controlul derulării algoritmului și al alocării resurselor (de natură empirică și practică); analiza soluției de ordonanțare (de natură preponderent practică).

Neglijarea tratării cunoștințelor dinamice, în special a celor empirice și practice, generează lipsa de flexibilitate în adaptarea sistemului de conducere la condiții concrete de implementare și diminuează eficiența suportului decizional oferit de aceste soluții [15]. Conform [10], pentru domeniul conducerii operative a producției există două motive principale de combinare a simulării și a modelelor de optimizare cu instrumente tip sistem expert: oportunitatea utilizării celei mai adecvate abordări și a instrumentelor software, specifice pentru fiecare problemă în parte; necesitatea compensării lipsei de experiență a unor factori umani de decizie prin modelarea comportamentului de tip decident expert.

Un exemplu de sistem de ordonanțare bazat pe cunoștințe este prezentat în lucrarea [13]: arhitectura sistemului KBSS (knowledge based scheduling system) include: (a) baza de cunoștințe pentru ordonanțare; (b) baza de algoritmi de ordonanțare; (c) baza de date privind caracterizarea cantitativă a sistemului condus; (d) motorul inferențial. Baza de cunoștințe se referă numai la aspecte legate de selectarea algoritmilor și

derularea generării soluției. Algoritmii de simulare sînt programați în FORTRAN, iar pentru celelalte componente (baza de cunoștințe, motorul inferențial) este utilizat Common LISP.

Un alt exemplu îl constituie proiectul SIMMEK [21], demarat în 1986 pe o perioadă de 5 ani, care are ca obiectiv furnizarea pentru industria norvegiană a unui instrument evoluat de simulare pentru conducerea producției, cu accent pe ordonanțare. Necesitatea acestui instrument este fundamentată, pe de o parte, de creșterea continuă a complexității și dinamicii proceselor de fabricație și, implicit, a deciziilor aferente, iar pe de altă parte de utilizarea foarte restrînsă a simulării în sistemele de conducere a producției, datorită cunoștințelor de programare și de tehnici specifice pe care le impun unor utilizatori neexperimentați. Prototipul sistemului (1988) este format din 3 module: modelatorul, bazat pe un front-end inteligent de simulare; nucleul de simulare, bazat pe pachetul ASIST (dezvoltat în Danemarca), analizorul de rezultate, bazat pe un pachet de analiză statistică. Se constată că, din punct de vedere al tratării cunoștințelor, accentul a fost pus pe faza de modelare, soluției fiindu-i impuse următoarele cerințe: să utilizeze abordarea orientată obiect, să nu necesite cunoștințe de programare pentru utilizator, datele de intrare să includă aspectele economice.

Ambele exemple pledează pentru importanța și oportunitatea dezvoltării unor sisteme inteligente de conducere a producției, orientate, în principal, pe funcția de ordonanțare. Din punct de vedere practic, deși reprezentative, ele constituie numai abordări și rezolvări parțiale ale problemei.

4. Simularea bazată pe IA în contextul perfecționării SCAF

4.1. Orientări în perfecționarea SCAF

Evaluarea rezultatelor obținute prin implementarea sistemelor de conducere a atelierelor de fabricație, avînd ca nucleu decizional funcția de ordonanțare, a evidențiat, pe lângă avantajele menționate anterior, necesitatea unor perfecționări ale sistemului, atît sub aspect conceptual, cît și al soluțiilor concrete de realizare, orientate spre îmbunătățirea suportului decizional oferit [16]. Sub aspect conceptual, oportunitatea acestor dezvoltări este motivată de eficiența redusă a sistemului în tratarea situațiilor neconforme cu traiectoria previzionată prin ordonanțare, deci, în cazul funcționării atelierului în regim de perturbații (dificultați în realizarea comenzilor, avarii utilaje, comenzi urgente, modificări de termene). În sistemul actual, soluția în acest caz o reprezintă refacerea ordonanțării pe următoarea perioadă la nivelul întregului atelier, ceea ce implică resurse considerabile de calcul și timp de răspuns

ridicat. Orientările avute în vedere în acest sens se referă la [17]:

- adoptarea unui model decizional ierarhizat al sistemului, bazat pe evidențierea funcției de monitorizare a producției la nivelul conducerii locale;
- definirea nucleului de suport decizional al sistemului, care include componentele de ordonanțare, monitorizare și informare operativă;
- definirea unui set extins de indicatori sintetici, care să susțină eficient efortul factorului uman de decizie în scopul evaluării stării curente și a evoluției sistemului condus;
- tratarea sistemului în abordare orientată obiect, cu evidențierea claselor de obiecte de tip informațional, cognitiv și funcțional.

Din punct de vedere al soluțiilor de realizare, se are în vedere îmbunătățirea performanțelor funcționale ale componentelor de suport decizional sub aspectul adaptabilității, flexibilității, calității interfeței cu utilizatorul, pe baza valorificării suportului tehnic și tehnologic oferit de stațiile de lucru compatibile IBM PC. Pentru funcția de ordonanțare, obiectivul îl constituie îmbunătățirea capacității de adaptare la modificări în funcționarea atelierului și, în special, a celei de reacție la situații neconforme, prin oferirea în timp util a unor soluții de compensare a efectului acestora. Suportul pentru rezolvarea acestui obiectiv îl constituie tratarea categoriei de cunoștințe referitoare la logica de modificare a stărilor sistemului în momentele de producere a evenimentelor semnificative. S-a considerat justificată în aceste condiții recurgerea la soluția simulării bazate pe IA care valorifică, așa cum s-a arătat (cf. cap. 2), facilitățile oferite de un limbaj IA.

Data fiind natura procedurală a cunoștințelor din categoria menționată, un model de reprezentare adecvat îl constituie regurile de producție. S-a optat pentru limbajul OPS5 considerat reprezentativ pentru clasa de limbaje, orientată pe acest model de reprezentare a cunoștințelor. În plus, OPS5 dispune de un mecanism inferențial de tip "înlănțuire înainte", adecvat problemelor de planificare.

4.2. Limbajul OPS5 - noțiuni introductive [24]

OPS5 a fost conceput în cadrul Universității Carnegie-Mellon (SUA) și a fost implementat în BLISS și LISP. Limbajul este larg utilizat în realizarea de sisteme expert comerciale, datorită eficienței implementării și a ușurinței în asimilare. Exemple: YES/MVS - sistem suport interactiv pentru operatorii sistemului de operare MVS/IBM; XCON - pentru configurarea sistemelor VAX- 11/780.

Structura limbajului include următoarele componente:
a) memoria de lucru reprezintă baza de date globală, în

care sînt plasate elementele descriptive ale problemei de rezolvat. Fiecare element al memoriei de lucru are structura: entitate, atribut, valoare. Entitatea reprezintă o clasă de obiecte de același tip, identificată prin nume și caracterizată prin aceleași atribute, care pot avea valori diferite. Sînt admise atribute de tip scalar și vectorial. Valorile atributelor (atomi) sînt de tip întreg, real sau șir de caractere;

b) baza de reguli (producții) reprezintă o colecție de cunoștințe descrise sub forma de construcții de tip "condiție-acțiune", care acționează asupra memoriei de lucru.

Condiția (partea stîngă a producției) are structura similară cu a unui element al memoriei de lucru. Fiecare componentă a condiției împreună cu valoarea (valorile) asociate formează un termen al condiției. Pentru a stabili dacă o producție poate fi executată, se compară valoarea fiecărui termen al condiției cu valoarea atomului corespunzător din elementul memoriei de lucru avînd denumirea identică cu cea a condiției.

Acțiunea (partea dreaptă a unei producții) constă în execuția uneia sau a mai multor operații de tipul: modificare memorie de lucru, salvare/restaurare memorie de lucru, operații cu fișiere, generare ieșiri, control ciclu de execuție, adăugare producții, apel subrutine externe;

c) mecanismul de recunoaștere și rezolvare conflicte funcționează în patru pași:

- (1) identificare producții executabile, ale căror condiții sînt satisfăcute de conținutul memoriei de lucru;
- (2) rezolvare conflict prin selectarea uneia din producțiile executabile;
- (3) execuție acțiuni specificate în producția selectată;
- (4) revenire la pasul (1).

În ceea ce privește pasul (2), OPS5 furnizează două strategii de selectare a unei producții executabile din setul de conflict, bazate pe regulile de tip refracție (repingerea producțiilor selectate și executate anterior pe parcursul execuției programului), vechime (reținerea dintre instanțierile unei producții, a celei cu momentele cele mai recente de actualizare a elementelor memoriei de lucru), specificitate (selectarea producției cu cel mai mare număr de condiții).

4.3. Exemplu de utilizare

Se consideră cazul unui atelier de fabricație de tip "job shop", organizat pe grupe de mașini.

Entitățile utilizate în construirea modelului sînt: repere, variante tehnologice reper, comenzi interne (loturi de repere), lucrări (comenzi interne lansate în execuție), operații tehnologice lucrare, mașini, grupe de mașini, fire de așteptare, indicatori sintetici (pentru caracterizarea stării curente și a traiectoriei entităților, criterii de performanță (indicatori sintetici cu

semnificație globală pentru intervalul de ordonanțare), evenimente semnificative (discontinuități în evoluția stării curente a atelierului).

Atributele ce caracterizează fiecare entitate se împart în categoriile: identificare, descriere, previzionat și urmărire. Categoriile sînt delimitate, atît prin semnificația atributelor, cît și prin caracteristicile de dinamică în raport cu orizontul de ordonanțare. Pentru funcția de ordonanțare prezintă interes în principal atributele descriptive și de previzionare.

Pentru rezolvarea situațiilor de acces concurrent la resurse (capacități) sînt utilizate reguli de prioritate generale (la nivel atelier) sau specifice capacității respective.

Memoria de lucru a sistemului cuprinde entitățile, atributele acestora și valorile corespunzătoare momentului demarării ordonanțării.

Baza de cunoștințe conține, în principal, regulile (producțiile) referitoare la logica de schimbare a stărilor sistemului, bazată pe dependențele (condiționările) între:

- starea entităților (valorile atributelor de previzionare) și fiecare tip de eveniment semnificativ (precondiții);
- tipuri diferite de evenimente (relații de precedență);
- tipuri de evenimente și modificările de stare pe care le generează (postcondiții).

La acestea se pot adăuga condiționari între:

- tipuri de capacități și reguli de prioritate;
- valori curente ale indicatorilor sintetici și reguli de prioritate.

Gestiunea separată a cunoștințelor facilitează operarea de modificări și adaptări în logica de generare a soluției de ordonanțare.

Mecanismul de rezolvare a conflictelor are rolul de driver al simulării, a cărui funcționare constă, în principal, în gestiunea listei de evenimente semnificative și a ceasului simulării. O situație specifică de conflict o constituie existența mai multor evenimente semnificative cu același moment previzionat de declanșare.

Derularea procesului de simulare constă în execuția producțiilor corespunzătoare evenimentelor semnificative pentru care sînt îndeplinite condițiile de execuție, iar valoarea previzionată a momentului de declanșare corespunde valorii curente a ceasului simulării. Execuția producției modifică starea curentă a memoriei de lucru, ceea ce creează condițiile pentru execuția unei (unor) noi producții. Procesul se încheie cînd valoarea ceasului simulării depășește perioada de ordonanțare fixată.

În cazul apariției unor perturbații în funcționarea atelierului, pentru compensarea efectului acestora este suficientă declararea unor reguli suplimentare, corespunzătoare noii situații create și execuția

imediată a simulării pe noul conținut al bazei de cunoștințe.

Facilitățile limbajului OPS5 (Savestate, Restorestate) permit generarea, de la aceeași stare a sistemului, a mai multor variante de decizie urmînd ca decidentul să o selecteze pe cea mai convenabilă.

5. Concluzii

Folosind cazul concret al sistemelor de conducere a atelierelor de fabricație, lucrarea a prezentat principalele soluții de utilizare a modelelor de simulare și a metodelor IA, ca suport pentru îmbunătățirea concepției de realizare și a performanțelor acestor sisteme. Accentul a fost pus pe funcția de ordonanțare, ca principal suport decizional la nivelul conducerii operative a producției de tip discret. Pentru rezolvarea acestei funcții corespunzător cerințelor de perfecționare a SCAF, a fost propusă soluția simulării bazate pe IA, care valorifică facilitățile oferite de limbajul OPS5, orientat pe reguli de producție. Soluția este în curs de experimentare în cadrul unui proiect dezvoltat în cadrul I.C.I. București, care are ca obiectiv evaluarea soluțiilor de realizare, într-o abordare multiparadigmă, a componentelor de suport decizional SCAF.

Diferențele semnificative între simularea clasică și simularea bazată pe IA pledează în favoarea celei de a doua soluții și se referă, în principal, la: prelucrări numerice în primul caz, față de prelucrare simbolică în cel de al doilea; caracter algoritmic bazat pe pași explițiți, față de derularea bazată pe căutarea de pattern-uri; integrarea datelor și a informației de control, față de separarea și tratarea distinctă a acestora în cazul simulării bazate pe IA.

Bibliografie

1. ARLABASSE, F.: *Knowledge-Based System for Manufacturing*. În: *Proceedings of the 3rd CIM Europe Conference*, Springer-Verlag, 1987, pp.155-168.
2. BADIRU, A.: *Artificial Intelligence Applications in Manufacturing*. În: *The Automated Factory Handbook. Technology and Management*. Tab Books, 1990, pp. 496-526.
3. BEL, G., BENSANA, E., DUBOIS, D.: *OPAL - A Multi-Knowledge based System for Industrial Job Shop Scheduling*. Rap. L.S.I. no. 287, Toulouse, 1987.
4. BEL, G., DUBOIS, D.: *Modélisation et simulation des systèmes automatisés de production*. A.P.I.I., vol. 19, pp. 3-43.
5. BENALI, K.: *L'assistance et le pilotage en production de logiciel grâce à la modélisation des procédés de fabrication*. În: *Actes du Colloques des Docteurs en Informatique*, Dijon, 1990, pp. 25-37.
6. BERNEMANN, S., HELLINGRATH, B., JOEMANN, J.: *How and where can IA contribute to simulation*. În: *Proceedings of the 2nd Int. Conference*, Chicago, 1986, pp. 35-44.
7. BROWNE, J., (Ed.): *Knowledge Based Production Management Systems*. Preprints of papers for IFIP WG 5.7 Conference, Galway, Irlanda, Aug. 1988.
8. CASTEK, D.M., LICHTFELD, R.A.: *How simulation techniques can support tactical and operational decision*. În: *Proceedings of the 2nd Int. Conference*, Chicago, 1986, pp. 169-176.
9. FILIP, F.G., NEAGU, G., DONCIULESCU, D.A.: *Job Shop Scheduling Optimisation in Real Time Production Control*; În: *Computers in Industry*, vol. 7, no.2, 1986, pp.155-167.
10. FILIP, F.G.: *System Analysis and Expert Systems Techniques for Operative Decision Making*. *Syst. Anal. Model. Simul.*, vol. 8, no. 3, 1991, pp. 203-219.
11. O'GRADY, P.J., MENON, U.: *A Concise Review of flexible Manufacturing Systems and FMS Literature*; În: *Computers in Industry*, vol. 7, no.2, 1986, pp. 155-167.
12. JOSEPH, T.K., MILES, T., SIDDELEY, H.: *Computer Simulation of Automated Manufacturing Systems*. În: *The Automated Factory Handbook. Technology and Management*, Tab Books, 1990, pp. 402- 425.
13. KUSIAK, A.: *Production Scheduling: Classical and Knowledge-Based Approach*. În: *The Automated Factory Handbook. Technology and Management*, Tab Books, 1990, pp. 652-679.
14. LENZ, M. (ed.): *Simulation in Manufacturing*. În: *Proceedings of the 2nd Int. Conference*, Chicago, 1986.
15. NEAGU, G.: *Real Time Production Control Support in a Simulation Based Job Shop Control System*. *The 9th Int. Symp. Applied Informatics*, Innsbruck, Feb. 1991.
16. NEAGU, G.: *Approaches in Production Dispatching at the Shop Floor Level*. *IFAC Workshop on discrete Event Simulation*, Shenyang, June 1991.
17. NEAGU, G.: *Abordarea orientată obiect a nucleului de suport decizional din structura SCAF. Clase de obiecte de tip informațional*. Raport de cercetare, ICI, sept. 1991.
18. PAUL, R.J.: *Artificial Intelligence and Simulation*

- Modelling*. În: *Computer Modelling for Discrete Simulation*, J. Wiley & Sons, 1989, pp. 129-147.
19. SHIVNAN, J., BROWNE, J.: *AI based simulation of advanced manufacturing systems*. În: *Proceedings of the 2nd Int. Conference*, Chicago, 1986.
20. SPECHT, D.: *Development of Manufacturing Production with Knowledge-Based Systems*. În: *Robotics and CIM*, vol.3, no.2, 1987, pp.269-272.
21. STRANDHAGEN, J.O.: *Expert Systems in Manufacturing Simulation*. În: *Preprints of papers for IFIP WG5.7 Conference*, Galway, Irlanda, aug. 1988, pp. 49-60.
22. TELLO, E.R.: *Object-oriented Programming for Artificial Intelligence. A Guide to Tools and System Design*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts 1989.
23. VĂDUVA, I.: *Modele de simulare cu calculatorul*. Ed. tehnică, București, 1977.
24. WATERMAN, A.D.: *A Guide to Expert Systems*. Ed. Mir (trad. l. rusă), Moscova, 1989.
25. WERRA, D.: *Design and operation of Flexible Manufacturing Systems: The Kingdown of heuristic Methods*. În: *R.A.I.R.O. - Operations Research*, vol.21, no.4, 1987, pp. 365-382