

Studiu de caz privind utilizarea modelelor IEC 61499 în controlul holonic de nivel înalt

Valentin VLAD, Adrian GRAUR, Cristina Elena TURCU, Calin CIUFUDEAN

Ştefan cel Mare University of Suceava
{vladv | adriang | cristina | calin}@eed.usv.ro

Abstract — În cadrul acestei lucrări sunt explorate soluţii de aplicare a specificaţiilor IEC 61499 în modelarea şi implementarea controlului de nivel înalt al holonilor. Conceptele IEC 61499 au fost utilizate ca o tehnologie suport pentru încapsularea controlului inteligent al holonilor, modelarea comunicaţiei inter-holonice şi configurarea dinamică a holonilor. Modelele şi teoriile propuse au fost validate în cadrul unui sistem de control holonic dezvoltat în jurul unei celule de asamblare.

Index Terms — function blocks, holonic control, IEC 61499, multi-agent systems.

I. INTRODUCERE

Sistemele de fabricaţie holonice îşi au originea în observaţiile scriitorului Arthur Koestler privind modul în care sunt construite sistemele biologice şi organizaţiile sociale. Koestler introduce în 1967, în cadrul lucrării „The Ghost in the Machine”, termenul de *holon*, ca o combinaţie a două cuvinte din limba greacă: ‚holos’, cu semnificaţia de *întreg*, şi ‚on’, cu semnificaţia de *particulă*, în scopul de a descrie faptul că în cadrul unui sistem complex, elementele constituente prezintă atât un comportament de *întreg*, care poate fi divizat în subcomponente, cât şi un comportament de *componentă*, care face parte dintr-un întreg mai mare. El introduce de asemenea noţiunea de ‚holarhie’, definită ca o ierarhie de holoni, constituită în mod dinamic.

Aplicabilitatea conceptelor holonice în domeniul sistemelor de fabricaţie a fost menţionată pentru prima dată de către Suda, în 1990 [7] şi avea în vedere dezvoltarea unei noi generaţii de sisteme de control a fabricaţiei, care să fie caracterizate de modularitate, autonomie, cooperare, distribuţie şi un mod de organizare similar cu cel al sistemelor din lumea vie.

Pentru implementarea controlului holonic au fost adoptate tehnologii din domeniul sistemelor multi-agent (pentru nivelul decizional al holonilor), împreună cu tehnici de programare bazate pe blocuri funcţionale (cum sunt cele definite prin IEC 61499 [9] sau IEC 61131 [4]), pentru controlul de timp real al dispozitivelor fizice. Mai mult, anumite publicaţii, cum ar fi [2], [3] propun utilizarea modelelor IEC 61499 atât pentru controlul „low-level” al holonilor, cât şi pentru încapsularea modulelor care compun controlul inteligent al acestora. O astfel de soluţie este explorată şi în cadrul acestei lucrări, prin definirea de interfeţe de blocuri funcţionale pentru controlul inteligent, dezvoltarea de soluţii de comunicaţie inter-holonice modelate prin blocuri funcţionale şi utilizarea tehnicilor de reconfigurare definite de IEC 61499 pentru crearea şi eliminarea dinamică de holoni în/din cadrul unui sistem holonic.

II. NOŢIUNI ELEMENTARE PRIVIND SPECIFICAŢIILE IEC 61499

IEC 61499 defineşte o arhitectură deschisă (eng. *open architecture*), modulară, destinată următoarei generaţii de sisteme din domeniul controlului distribuit şi automatizării. Standardul încorporează tehnologii software avansate cum ar fi încapsularea funcţionalităţii, design modular, execuţie controlată de evenimente şi distribuţie [9], şi a fost adaptat încă din faza de proiectare pentru a fi utilizat în dezvoltarea sistemelor de control holonice [1].

Elementul de bază al arhitecturii IEC 61499 îl reprezintă *blocul funcţional*, definit ca o unitate compoziţională cu o interfaţă specifică şi un set de elemente de funcţionalitate, care pot fi implementate atât prin software, cât şi prin hardware. IEC 61499 extinde conceptul de *blocuri funcţionale* definit de IEC 61131, prin integrarea acestora într-un cadru global de dezvoltare a sistemelor distribuite.

Interfaţa unui bloc funcţional IEC 61499 (Fig. 1) este definită ca o listă de intrări de evenimente, intrări de date, ieşiri de evenimente şi ieşiri de date, la care se adaugă intrări de tip „socket” şi ieşiri de tip „fişe”, pentru blocurile de tip *adaptor*. Reprezentarea grafică a unui bloc funcţional poate fi văzută ca fiind compusă din două componente, denumite „cap” (partea superioară) şi „trup” (partea inferioară). *Capul* conţine intrările şi ieşirile de evenimente, în timp ce intrările şi ieşirile de date sunt conectate la *trupul* blocului funcţional.

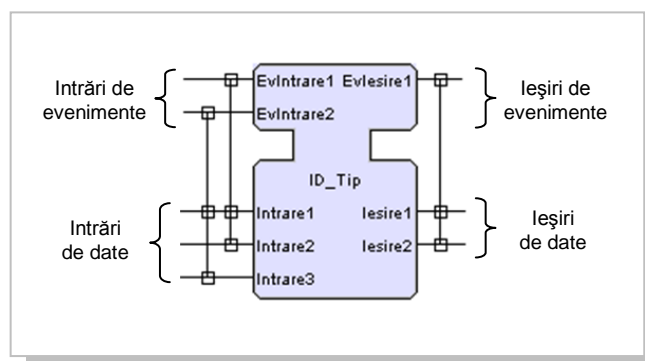


Fig. 1. Interfaţa unui bloc funcţional

Activarea unui bloc funcţional este realizată prin intermediul evenimentelor conectate la acesta, de unde şi expresia de „execuţie controlată de evenimente”, care reprezintă o caracteristică de bază a standardului. Evenimentele permit sincronizarea şi interacţiunea dintre mecanismele de control din cadrul unei reţele de blocuri funcţionale. Trimiterea datelor între două blocuri funcţionale este însoţită totdeauna de generarea unui eveniment de către blocul emiţător, care asigură sincronizarea şi citirea corectă a datelor la receptor [9].

Alte elemente cheie definite în cadrul standardului sunt *aplicaţia*, *resursa*, *dispozitivul* şi *sistemul*. O *aplicaţie* este văzută ca o reţea de blocuri funcţionale interconectate între ele, care defineşte în mod complet, dar abstract, funcţionalitatea sistemului, fără a lua în considerare modul în care va fi distribuită la nivelul dispozitivelor de procesare. Aplicaţiile pot fi structurate ierarhic prin gruparea blocurilor funcţionale care le compun în cadrul unor *subaplicaţii*. O *resursă* poate fi privită ca un container pentru o reţea de blocuri funcţionale şi corespunde unui procesor, fir de execuţie sau task (în terminologia IEC 61131-3), care execută o parte din aplicaţia distribuită. Un *dispozitiv* reprezintă o unitate de control care poate conţine zero, una sau mai multe resurse, împreună cu interfeţe de proces şi interfeţe de comunicaţie. Un *sistem* este definit ca un set de dispozitive interconectate prin reţele de comunicaţie.

Tehnologiile software deţinute de IEC 61499 permit aplicarea sa atât în dezvoltarea componentelor „low-level” ale aplicaţiilor de control, cât şi în dezvoltarea unor componente software inteligente, cum ar fi cazul unor *agenţi*. Standardul nu defineşte însă nici un protocol pentru interacţiunea dintre aceste *componente inteligente*, acest lucru rămânând subiectul unor dezvoltări ulterioare.

III. ASPECTE PRIVIND MODELAREA ŞI IMPLEMENTAREA HOLONILOR

Arhitectura PROSA [8] identifică în cadrul unui sistem de fabricaţie holonice trei tipuri de holoni de bază: holoni resursă, holoni produs şi holoni comandă. Holonii resursă gestionează echipamentele de producţie din sistem, holonii produs sunt responsabili de planificarea tehnologică a produselor, în timp ce holonii comandă coordonează execuţia diferitelor comenzi primite de la utilizatorii sistemului.

În cadrul acestei lucrări a fost considerată pentru holonii resursă o arhitectură pe trei niveluri (Fig. 2), similară celei propuse în [1]. Un holon resursă va conţine una sau mai multe *entităţi non-holonice*, reprezentate de dispozitive mecatronice simple şi logica de control asociată, care acoperă *nivelul fizic*, respectiv cel al *logicii de control*. Entităţile non-holonice sunt coordonate de o *componentă inteligentă*, aflată pe *nivelul de coordonare*, care încapsulează controlul de nivel înalt al holonului.

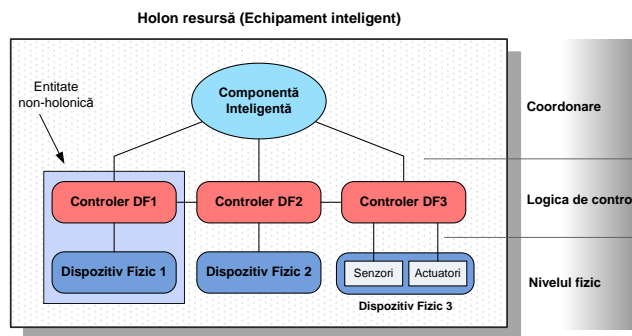


Fig. 2. Arhitectura unui holon resursă

Ca şi exemplu pentru acest tip de holon se poate considera o celulă de asamblare constituită dintr-un robot de asamblare şi un set de dispozitive de fixare şi transport, care conlucrează sub coordonarea unei componente software inteligente.

În cadrul lucrării s-a propus dezvoltarea controlului inteligent al unui holon în forma a două componente: o componentă *conştientă*, cu rol în realizarea de raţionamente complexe şi participarea în procese de negociere, şi o componentă *subconştientă*, care să asigure gestionarea conexiunilor „de lucru” (de timp real) dintre holoni, şi rezolvarea de probleme simple ridicate de controlul fizic al acestora, prin utilizarea de soluţii predefinite.

Holonii individuali pot fi grupaţi în holoni complecşi, permiţând formarea de holarhii multi-nivel. Ca şi exemplu se poate considera cazul servirii unei comenzi primite de la un client. La primirea unei comenzi este instanţiat un *holon comandă* (holon individual), care analizează specificaţiile produsului care se doreşte a fi realizat şi decide dacă acesta este un *produs simplu* sau un *produs compus*. Un produs simplu este considerat ca fiind realizabil doar prin operaţii de prelucrare (de exemplu strunjire, frezare etc.), aplicate unei singure componente semifabricat, în timp ce un produs compus este constituit din mai multe produse simple, asamblate pe diferite niveluri (Fig. 3).

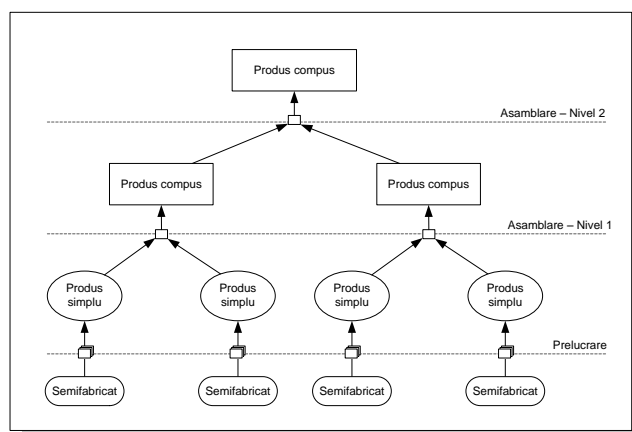


Fig. 3. Modul de realizare a produselor simple şi compuse

În cazul în care produsul comandat de client este unul simplu, holonul comandă va începe un proces de negociere cu holonii resursă din sistem, capabili să execute operaţiile produsului. Rezultatul negocierilor va consta în formarea unei „echipe” (holon complex) constituită din holonii resursă selectaţi pentru execuţia operaţiilor, şi holonul

comandă, care deține rolul de *coordonator* al echipei.

Considerând cazul unui produs compus, acesta poate fi realizat prin asamblarea mai multor componente, fie simple, fie, la rândul lor, compuse. Un prim pas în realizarea produsului ar consta în verificarea disponibilității componentelor. În cazul în care acestea există pe stoc, echipa de realizare a produsului va consta din holonul comandă, holonul corespunzător depozitului (care asigură livrarea componentelor), holonul sistemului de transport și un holon resursă selectat pentru realizarea asamblării implicată de produs. În caz contrar, holonul comandă va instanția alți holoni comandă, de nivel inferior, care se vor ocupa de realizarea componentelor. Procesul de descompunere a activităților produsului va continua până la nivelul produselor simple, sau al celor aflate pe stoc, conducând la formarea de holarhii multi-nivel (Fig. 4). În cadrul acestor holarhii, planificările de pe nivelurile superioare se vor realiza funcție de cele de pe nivelurile inferioare și pot fi influențate, în timpul execuției, de modificările acestora, datorate apariției unor perturbații. În

Fig. 4 comanda clientului, de realizare a produsului A, este preluată de holonul comandă al holonului A. Acesta constată că produsul A este compus din două componente, B și C, care nu se găsesc pe stoc, și instanțiază, pentru realizarea acestora, doi holoni comandă de ordin inferior, care vor forma holonii B și C. Produsul C este un produs simplu și, ca urmare, holonul C va avea o structură plată, fiind constituit doar din holoni cu inteligență simplă (holoni de prelucrare, holon depozit, holon transport, holon comandă). Produsul B este însă compus din componentele D și E, care nu sunt disponibile, ceea ce conduce la formarea sub-holonilor D și E. Produsul D este simplu, și ca urmare structura holonului D va avea un singur nivel (în mod similar holonului C), iar componentele produsului E (care este compus) sunt disponibile pe stoc, nefiind necesară instanțierea de noi sub-holoni.

Odată cu finalizarea unui produs, holonul comandă corespunzător acestuia va fi eliminat, iar echipa (sau holarhia) de realizare a produsului „desființată”.

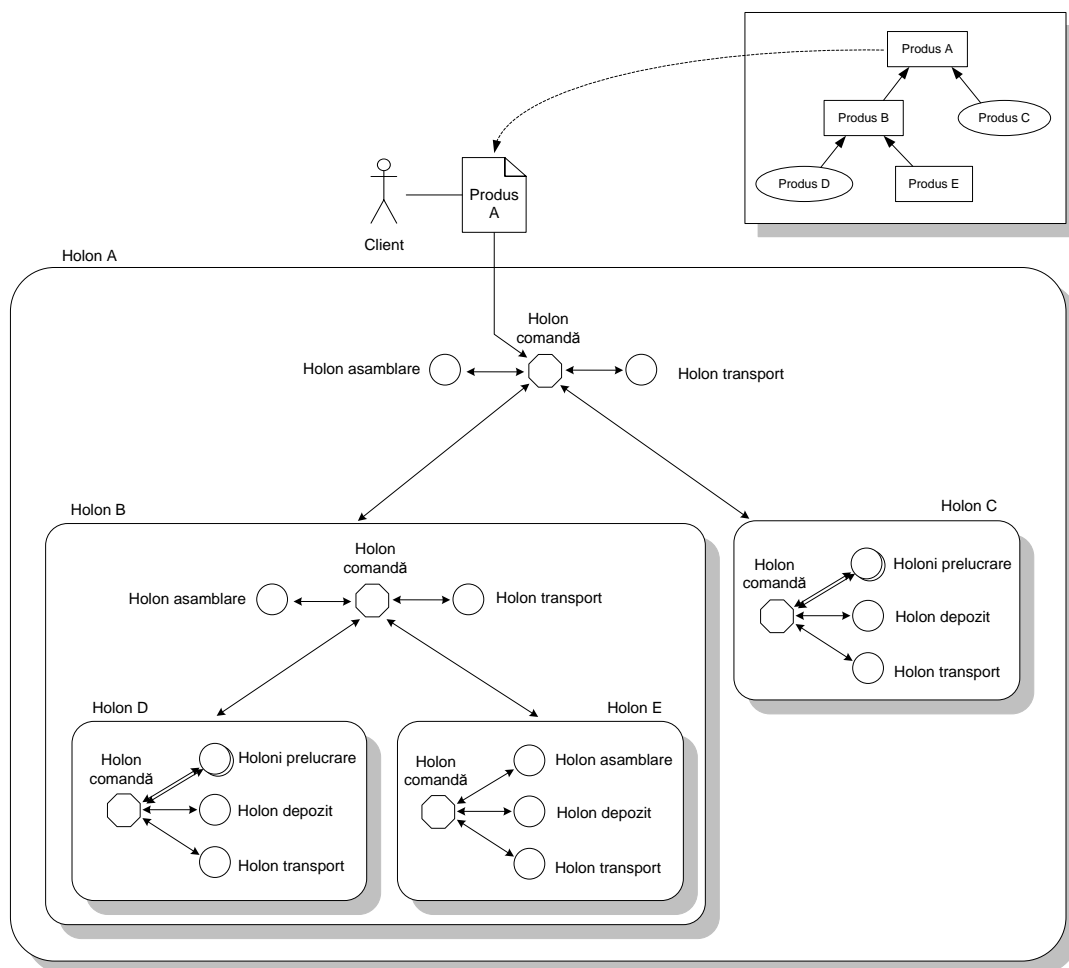


Fig. 4. Exemplu de formare a holonilor complecși în vederea execuției unei comenzi

A. Soluții de modelare și implementare a holonilor individuali prin blocuri funcționale

În cadrul acestui paragraf sunt analizate mai în detaliu structura și soluțiile de modelare/implementare propuse pentru holonii resursă individuali, avându-se în vedere în principal partea software (nivelul de coordonare și nivelul de control „low-level”) a acestora.

Pentru implementarea unui holon individual au fost considerate necesare șase tipuri de module, reprezentate de:

- Componenta conștientă a holonului;
- Componenta subconștientă a holonului;
- Interfața inter-holonică;
- Controlul fizic;
- Interfața dintre controlul inteligent și controlul fizic,

denumită *interfață independentă de hardware*;

- Interfața om-mașină (HMI) a holonului.

Modul de interacțiune dintre aceste module este prezentat în Fig. 5.

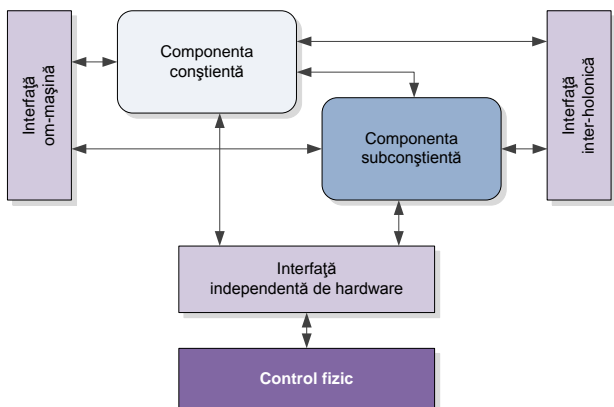


Fig. 5. Comunicația dintre modulele software ale unui holon individual

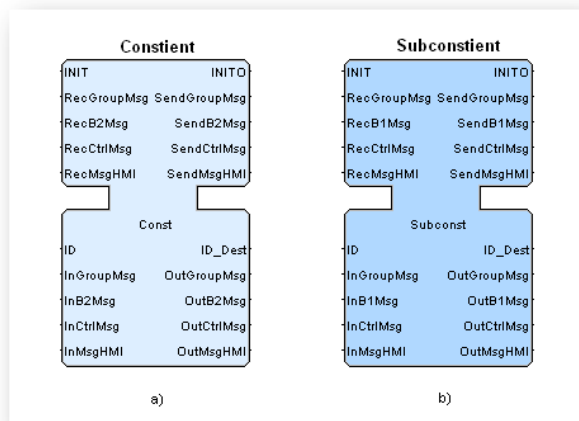
Cele două componente care asigură controlul inteligent al holonilor (componenta conștientă și cea subconștientă) au fost modelate/implementate în cadrul acestei lucrări prin blocuri funcționale IEC 61499 de interfațare a serviciilor, cu interfețe similare celor din Fig. 6. Aceste blocuri sunt încapsulate în cadrul unor blocuri funcționale compuse, împreună cu un set de blocuri de comunicație (de tipul Publish/Subscribe), care permit comunicația componentelor cu celelalte module ale holonului.

Tabelul 1 conține o descriere a interfețelor blocurilor funcționale pentru implementarea componentelor controlului inteligent. Interfețele includ intrări și ieșiri de date (asociate cu intrări și ieșiri de evenimente) pentru recepția, respectiv trimiterea de mesaje de la/către modulele holonului cu care componentele sunt conectate. Această formă a interfețelor poate fi considerată *tipică* pentru modelarea controlului inteligent, favorizând o standardizare a structurii și modului de implementare al holonilor.

Fig. 6. Interfețele blocurilor funcționale pentru modelarea componentei conștiente (a) și subconștiente (b) ale unui dispozitiv holonic

Tabelul 1. Descrierea intrărilor/ieșirilor de evenimente și date ale componentelor controlului inteligent

Intrări/ieșiri de evenimente/date	Descriere
RecGroupMsg	Eveniment care însoțește un mesaj de la un alt holon
RecB2Msg	Eveniment care însoțește un mesaj de la componenta subconștientă
RecB1Msg	Eveniment care însoțește un mesaj de la componenta conștientă
RecCtrlMsg	Eveniment care însoțește un mesaj de la logica de control
RecMsgHMI	Eveniment care însoțește un mesaj de la interfața HMI
ID	ID-ul holonului (identic pentru ambele componente)
InGroupMsg	Mesaj de la un alt holon
InB2Msg	Mesaj de la componenta subconștientă
InB1Msg	Mesaj de la componenta conștientă
InCtrlMsg	Mesaj de la logica de control
InMsgHMI	Mesaj de la interfața HMI
SendGroupMsg	Eveniment care însoțește un mesaj către un alt holon
SendB2Msg	Eveniment care însoțește un mesaj pentru componenta subconștientă
SendB1Msg	Eveniment care însoțește un mesaj pentru componenta conștientă
SendCtrlMsg	Eveniment care însoțește un mesaj pentru logica de control
SendMsgHMI	Eveniment care însoțește un mesaj pentru interfața HMI
ID_Dest	ID-ul holonului destinație
OutGroupMsg	Mesaj către un alt holon
OutB2Msg	Mesaj către componenta subconștientă
OutB1Msg	Mesaj către componenta conștientă
OutCtrlMsg	Mesaj pentru logica de control
OutMsgHMI	Mesaj pentru interfața HMI



Interfața inter-holonica permite unui holon transmiterea și recepția de mesaje către și de la ceilalți holoni din cadrul sistemului. Așa cum se poate observa și din Fig. 7, această interfață a fost dezvoltată în forma a trei blocuri funcționale, de tipul SUBSCRIBE, Dispatcher și PUBLISH. Blocul SUBSCRIBE asigură recepția de mesaje de la ceilalți holoni, și livrarea lor către blocul Dispatcher. Blocul Dispatcher va extrage antetul mesajului și, în baza informațiilor conținute de acesta, va dirija mesajul către componenta conștientă sau către componenta subconștientă a holonului. Blocul PUBLISH permite atât componentei conștiente, cât și celei subconștiente, transmiterea de mesaje către alți holoni.

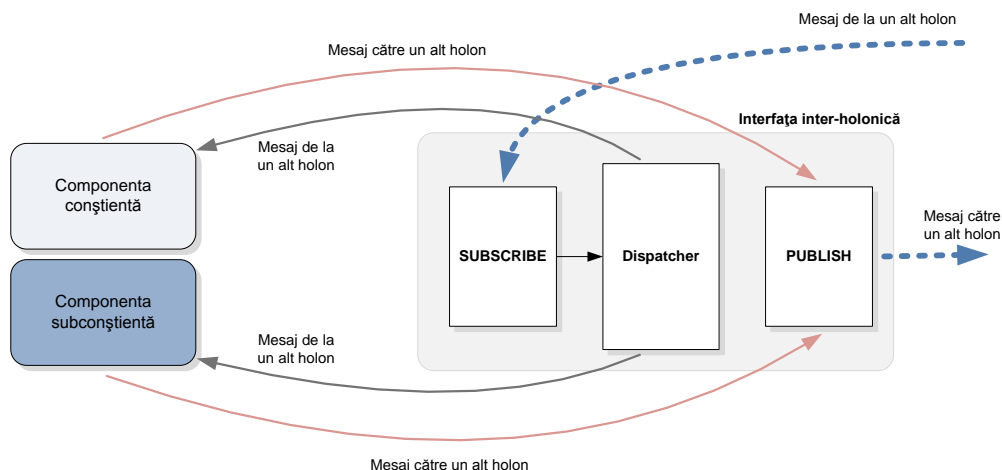


Fig. 7. Comuicația dintre componentele controlului inteligent și interfața inter-holonică

Pentru conținutul mesajelor vehiculate între agenți, a fost dezvoltat și implementat un protocol de comunicație de nivel înalt (care asigură suport pentru activități de negociere și cooperare între holoni), bazat pe limbajul XML. În cadrul acestui protocol fiecare mesaj are forma unui element XML, în care tipul mesajului este dat de numele elementului, iar datele mesajului sunt încapsulate în atributele și conținutul elementului.

Fig. 8 conține două exemple de mesaje transmise între holoni, în vederea negocierii execuției unei operații. Primul mesaj (de tipul GetBidForOp) reprezintă o cerere de ofertă pentru execuția unei operații cu codul Op_30, care poate să înceapă cel mai devreme la timpul 1308574904, (reprezentând numărul de secunde scurse de la Epoch - 1 Ianuarie 1970), echivalent cu data de 20/06/2011, ora 16:01:44. Al doilea exemplu reprezintă răspunsul unui holon resursă la un mesaj de tipul GetBidForOp, indicând faptul că execuția operației cu codul Op_30 poate să înceapă cel mai devreme la timpul 1308574950 (adică 20/06/2011 16:02:30) și durează 50 de secunde.

Accesul componentelor controlului inteligent la controlul echipamentelor fizice se realizează prin intermediul unor interfețe independente de hardware, implementate în forma unor blocuri funcționale de interfațare a serviciilor. Atunci când un holon deține dispozitive fizice controlate în formă clasică, soluția adoptată are în vedere dezvoltarea de interfețe independente de hardware pentru fiecare controler (PLC, controler CNC etc.) asociat acestor dispozitive. În acest caz interfețele independente de hardware au rolul de a

abstractiza comenzile specifice unui anumit dispozitiv, punând la dispoziția controlului inteligent un set de servicii și comenzi de nivel înalt. În cazul în care logica de control are forma unui controler (distribuit) IEC 61499, un holon va conține o singură interfață independentă de hardware, inclusă în acel controler.

```
<GetBidForOp ID="15" OpID="Op_30" MinStartTime="1298574904"
  Sender="225.0.0.1:2101" />
```

```
<RspBidForOp ID="15" OpID="Op_30" StartTime="1298574950"
  ExecTime="50" Sender="225.0.0.1:3001" />
```

Fig. 8. Exemplu de mesaje transmise între holoni

Interfața om-mașină a unui holon permite utilizatorilor umani monitorizarea stării holonului și intervenția în funcționarea acestuia. Ca și soluție de implementare, în cadrul acestei lucrări s-a ales dezvoltarea acestui modul ca o rețea de blocuri funcționale IEC 61499 de interfațare a serviciilor, dintre care unul are rolul de a asigura comunicația interfeței cu componentele controlului inteligent, iar celelalte permit afișarea a diferite controale grafice (butoane, casete text, diagrame etc.).

Ca urmare, fiecare modul din componența unui holon individual, cu excepția modulelor de control clasice, poate fi modelat/implementat prin blocuri funcționale IEC 61499, și mapat în cadrul unui dispozitiv IEC 61499, cum este ilustrat în Fig. 9.

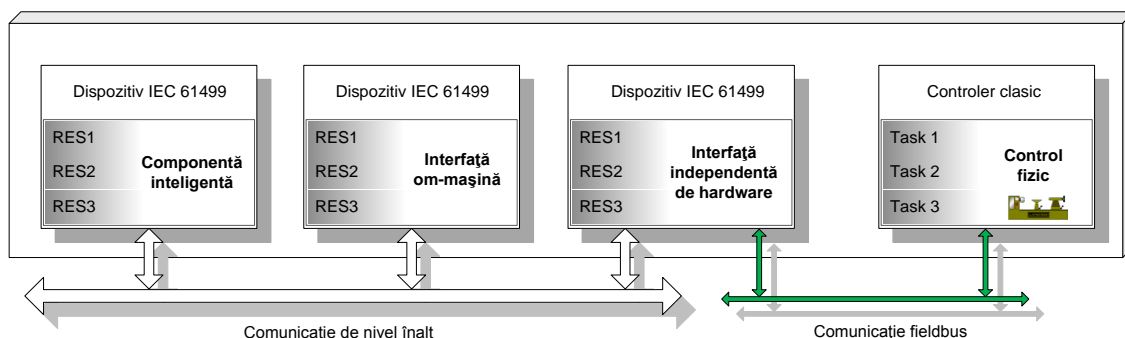


Fig. 9. Maparea componentelor unui holon individual în dispozitive IEC 61499

IV. APLICAȚIE PRACTICĂ DE IMPLEMENTARE A UNUI SISTEM DE CONTROL HOLONIC

În cadrul acestui capitol este prezentată o aplicație practică prin care au fost validate soluțiile de adoptare a conceptelor IEC 61499 în controlul holonc, prezentate în capitolul anterior. Sistemul holonc de control a fost dezvoltat în jurul unui echipament de producție controlat în formă clasică, reprezentat de o celulă de asamblare robotizată din inventarul Facultății de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava. O motivație în plus pentru alegerea celulei în cadrul acestui studiu de caz o reprezintă gradul ridicat de utilizare a unor astfel de sisteme în domeniul industrial.

A. Celula de asamblare

După cum se poate observa și din Fig. 10, celula de asamblare este constituită în principal dintr-un robot de asamblare SCARA (model Sony SRX-611) și un set de dispozitive de transport și fixare, acționate electric sau pneumatic.

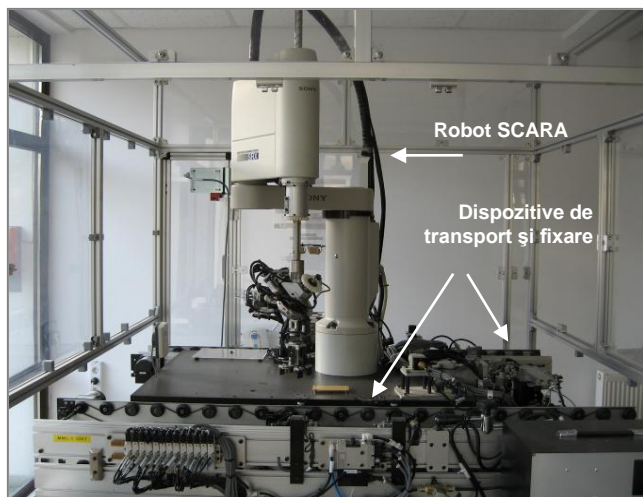


Fig. 10. Celula de asamblare

Din punct de vedere al controlului celula este echipată cu două controlere (Fig. 11), unul reprezentat de controlerul robotului (SRX-C61) și celălalt de un PLC (Omron C200HX) în care rulează o aplicație pentru controlul dispozitivelor de transport și fixare. Cele două controlere sunt conectate și comunică între ele prin intermediul unor intrări și ieșiri digitale. De asemenea, ambele controlere dispun de porturi de comunicație RS232, care le permit o comunicație punct la punct cu un dispozitiv extern celulei, pe baza unui anumit protocol.

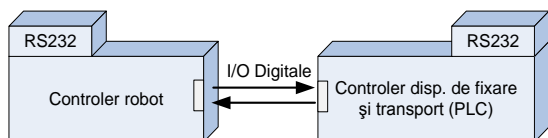


Fig. 11. Controlerele celulei de asamblare

B. Modelul holonc al celulei de asamblare

În Fig. 12 este prezentată arhitectura software a holonului corespunzător celei de asamblare. Aceasta include aplicațiile din cele două controlere ale celulei, interfețele independente de hardware ale controlului fizic și componentele controlului inteligent.

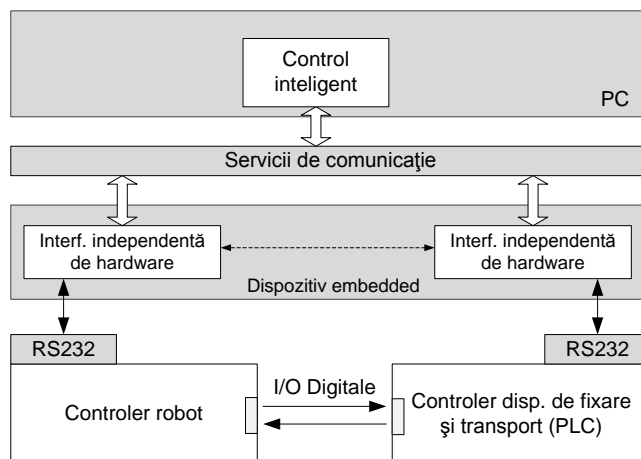


Fig. 12. Arhitectura software a holonului celulei de asamblare

În implementarea actuală cele două module pentru interfețele independente de hardware rulează pe un dispozitiv embedded, iar “controlul inteligent” rulează pe un sistem de calcul de tip PC, cu resurse de procesare superioare. Comunicația dintre controlul inteligent și interfețele independente de hardware utilizează un mecanism de tipul Publish/Subscribe bidirecțional (protocol UDP/IP), care permite ambelor capete ale comunicației să inițieze transferuri de date.

Dispozitivul embedded poate fi privit ca un controler adițional atașat celulei, care asigură atât interfațarea fizică a comunicației (RS232 - Ethernet), cât și pe cea logică, punând la dispoziția controlului inteligent un set de servicii și comenzi de nivel înalt.

C. Modelul operațional al sistemului holonc de asamblare

Fig. 13 prezintă modelul operațional simplificat al sistemului holonc dezvoltat în jurul celulei de asamblare.

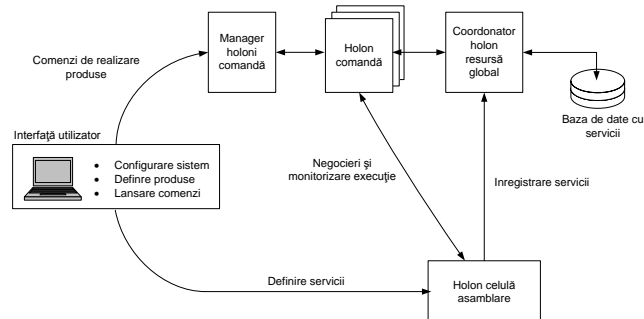


Fig. 13. Modelul operațional al sistemului holonc de asamblare

Componentele modelului sunt reprezentate de o interfață utilizator (pentru configurarea sistemului, definirea de produse și lansarea de comenzi), o bază de date cu serviciile oferite de sistem, managerul holonilor comandă,

coordonatorul holonului resursă global, holonul celulei de asamblare și holonii comandă, instanțiate funcție de comenzile primite de la utilizatori.

Interfața utilizator permite definirea de servicii pentru celula de asamblare și lansarea de comenzi pentru realizare de produse. În implementarea actuală un anumit serviciu este definit ca fiind compus dintr-un set de operații de asamblare simple, de tipul *pick and place*, care pot fi stocate în controlerul robotului.

Managerul holonilor comandă asigură crearea dinamică de holoni comandă, funcție de comenzile primite de la interfața cu utilizatorul, și eliminarea acestora, o dată cu finalizarea produselor care le-au fost atribuite.

Coordonatorul holonului resursă global asigură gestionarea bazei de date a serviciilor, prin înregistrarea de servicii în aceasta și furnizarea, către holonii comandă, a adresei holonilor responsabili pentru un anumit serviciu.

Holonii comandă interacționează, cu managerul holonilor comandă, în vederea instanțierii de holoni comandă copil, și cu *holonul celulei de asamblare*, în vederea planificării task-urilor implicate de produse și achiziției de informații privind starea curentă a execuției.

Baza de date a serviciilor (implementată în forma unei baze de date MySQL [5]) conține o asociere între serviciile din sistem și dispozitivele holonice care le pot realiza.

D. Aspecte privind modelarea IEC 61499 și implementarea sistemului holonic considerat

Soluția aleasă în cadrul acestei lucrări pentru implementarea sistemelor holonice are în vedere utilizarea specificațiilor standardului IEC 61499 atât pentru controlul „low-level” (încorporat în controlerul dispozitivelor fizice) cât și pentru implementarea componentelor inteligente din cadrul sistemului și a comunicației dintre ele.

Totuși, considerând cazul integrării unor dispozitive clasice în cadrul unui sistem holonic, controlerul acestor dispozitive nu permit rularea de aplicații conforme cu specificațiile IEC 61499, standardul predominant în prezent fiind IEC 61131. Ca urmare, aplicațiile din controlerul acestor dispozitive vor fi dezvoltate în formă clasică, rămânând ca interfețele independente de hardware împreună cu componentele inteligente din cadrul sistemului să fie dezvoltate conform IEC 61499.

Pentru implementarea aplicației de control IEC 61499 a fost folosit cu precădere mediul de dezvoltare O³neida Fbench [6]. Elementele hardware care compun sistemul de asamblare sunt ilustrate în Fig. 14 și constau în principal dintr-un sistem de calcul de tip PC, un dispozitiv embedded cu suport pentru rularea de aplicații Java (Elsist Netmaster) și celula de asamblare Sony.

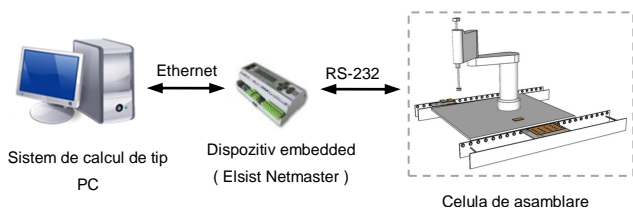


Fig. 14. Elementele hardware care compun sistemul de asamblare

Pe sistemul de calcul de tip PC rulează managerul holonilor comandă, coordonatorul holonului resursă global, holonii comandă, holonii serviciu și controlul inteligent al celulei Sony. Pe dispozitivul embedded rulează componentele pentru interfețele independente de hardware, iar în controlerul celulei (în controlerul robotului și PLC-ul Omron) rulează aplicații pentru controlul activităților robotului și ale dispozitivelor de transport și fixare.

D. Aplicația distribuită IEC 61499

Aplicația de control IEC 61499 a fost dezvoltată, pe baza modelului propus, în cadrul mediului O³neida Fbench, în forma unui *sistem* cu patru dispozitive: HMI, OrderHolons, Assembling_DEV și NETMASTER (Fig. 15).

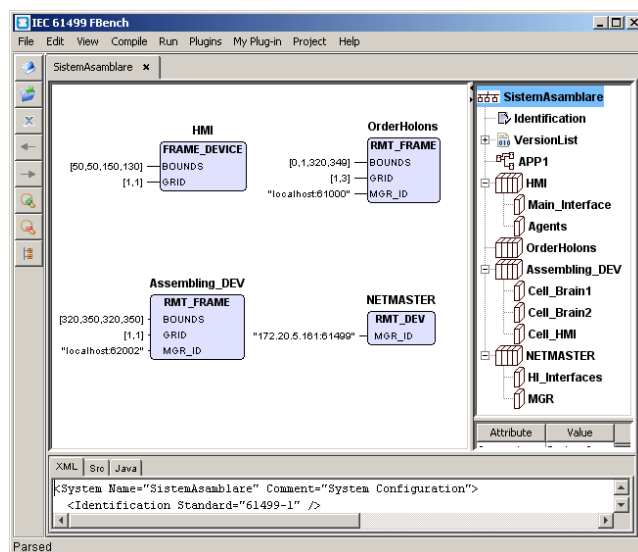


Fig. 15. Configurația sistem corespunzătoare aplicației de control IEC 61499

Dispozitivul HMI include interfața utilizator a sistemului, managerul holonilor comandă și coordonatorul holonului resursă global. Dispozitivul OrderHolons este utilizat pentru crearea/eliminarea dinamică de holoni comandă (prin comenzi de management), dispozitivul Assembling_DEV include controlul inteligent și interfața HMI a celulei de asamblare, iar dispozitivul NETMASTER conține interfețele independente de hardware ale celor două controlere ale celulei.

E. Scenariu de lucru

Scenariul de lucru a fost ales așa încât să implice utilizarea de holoni complecși, obținuți prin descompunerea task-urilor în subtask-uri. Practic, aplicația are în vedere plantarea în diferite configurații a unor componente electronice pe niște plăcuțe de test, și asamblarea acestora, două câte două, în cadrul unor produse finite compuse. Fiecare configurație de plasare a componentelor electronice, respectiv procesul de asamblare a două plăcuțe într-un singur produs, sunt privite ca *servicii* pe care celula le poate realiza.

Componentele electronice sunt preluate dintr-o *magazie*

de componente, reprezentată de o plăcuță de test cu o dimensiune mai mare, transportată de conveierul principal al celulei (Fig. 16), pe care sunt așezate în prealabil și într-o configurație predefinită un anumit număr de componente. Plăcuțele de test pe care urmează a fi plantate componentele (denumite *plăcuțe semifabricat*) sunt transportate de conveierul secundar al celulei. Ambele conveiere conțin câte un post de lucru, în care sunt blocați paleții care transportă cele două tipuri de plăcuțe, înainte de începerea procesului de asamblare.

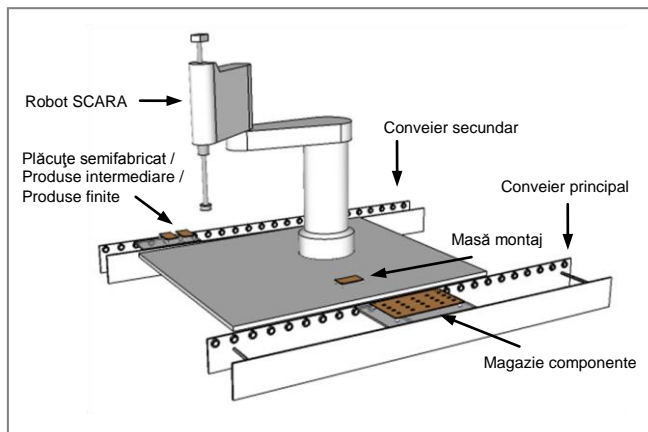


Fig. 16. Reprezentarea simplificată a celulei și procesului de asamblare

Sistemul de asamblare poate primi comenzi pentru realizarea de *produse intermediare*, constând în plăcuțe semifabricat pe care sunt plantate componente electronice în diverse configurații, sau pentru realizarea de *produse finite*, formate prin asamblarea a câte două produse intermediare.

Realizarea unui produs intermediar implică următorii pași:

- Plăcuța semifabricat este preluată de pe paletul care o transportă și așezată pe masa de montaj;
- Sunt preluate componente electronice din *magazie* și așezate pe plăcuța semifabricat, în configurația corespunzătoare serviciului cerut de holonul comandă asociat produsului;
- Produsul obținut este așezat înapoi pe conveierul secundar pentru a fi transportat mai departe sau pentru a fi folosit în realizarea unui produs finit.

Configurațiile de plasare a componentelor electronice pe plăcuțele semifabricat pot fi definite în prealabil cu ajutorul unei aplicații speciale, și stocate în fișiere. Un număr limitat de astfel de configurații pot fi stocate temporar în memoria robotului, reprezentând servicii pe care celula le poate realiza.

Realizarea unui produs finit implică existența a două produse intermediare pe paletul conveierului secundar, care vor fi preluate de robot și asamblate pe masa de montaj prin îmbinarea a două perechi de conectori, plasați la extremitățile plăcuțelor (Fig. 17).

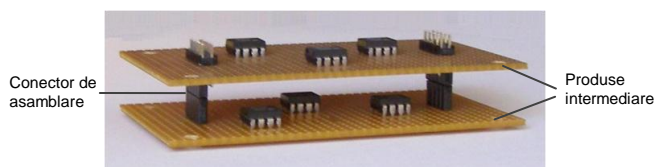


Fig. 17. Exemplu de produs finit

Alegerea unei soluții de control holonice permite planificarea individuală a fiecărui produs și, ca urmare, servirea de comenzi variate și în cantități reduse, cu costuri de reconfigurare minime a celulei.

Informațiile de procesare a produselor au fost structurate în forma unor documente XML, care conțin tipul produsului (simplu sau compus) și serviciile implicate de acesta. În cadrul acestui studiu de caz produsele intermediare au fost tratate ca și produse simple, iar produsele finite ca produse compuse. În Tabelul 2 și Tabelul 3 este exemplificat modul de descriere a fiecăruia din aceste tipuri. Produsul ilustrat în Tabelul 2, denumit P_20, este unul simplu, și necesită un singur serviciu, cu identificatorul S_20. Produsul P_10, prezentat în Tabelul 3, este compus din produsele intermediare P_20 și P_21, care pot fi asamblate împreună prin serviciul cu codul S_10.

Tabelul 2 . Exemplu de document XML cu informații de procesare a unui produs simplu

```
<Product Name="P_20" Type="Simple">
  <Service Index="1" ServID="S_20"/>
</Product>
```

Tabelul 3. Exemplu de document XML cu informații de procesare a unui produs compus

```
<Product Name="P_10" Type="Composite">
  <Service Index="1" ServID="S_10" NrCmp="2"
    Cmp1="P_20" Cmp2="P_21"/>
</Product>
```

Se presupune în continuare că un utilizator lansează o comandă de realizare a unui produs de tipul P_10, care are asociat, ca informații de procesare, documentul XML din Tabelul 3. Ca urmare, managerul holonilor comandă va crea un holon comandă, căruia îi va transmite comanda lansată. Holonul comandă va analiza documentul XML al produsului și va constata că este un produs compus, pentru care sunt necesare o componentă de tipul P_20 și una de tipul P_21. În aceste condiții holonul comandă va cere managerului holonilor comandă instanțierea a doi holoni comandă copil, care să se ocupe de realizarea componentelor. Se presupune că cele două componente au o descriere similară celei din Tabelul 2.

Considerând baza de date a serviciilor ca având forma exemplificată în Fig. 18, holonii comandă ai produselor P_20 și P_21 vor negocia cu holonul cu adresa 225.0.0.1:3002, reprezentând holonul celulei de asamblare, pentru planificarea serviciilor (S_20 și S_21) implicate de realizarea produselor. După finalizarea negocierilor, cei doi holoni își vor trimite planurile de execuție către holonul

părinte, responsabil de asamblarea produselor P_20 și P_21 într-un singur produs (P_10). Funcție de timpul de finalizare a celor două subcomponente, holonul produsului P_10 va negocia cu holonul celulei timpul pentru executarea serviciului S_10.

ID	Service	HolonAddr
1	S_20	225.0.0.1:3002
2	S_21	225.0.0.1:3002
3	S_10	225.0.0.1:3002

Fig. 18. Conținutul bazei de date a serviciilor

Holonul celulei va plasa comenzile primite într-o coadă de așteptare, și le va executa funcție de disponibilitatea

componentelor electronice și a plăcuțelor semifabricat.

În Fig. 19 sunt exemplificate interfețele om-mașină ale holonilor comandă și a holonului celulei pentru cazul unei comenzi de realizare a unui produs de tipul P_10. Interfețele holonilor comandă permit monitorizarea gradului de finalizare al produselor, în timp ce interfața holonului celulei permite vizualizarea gradului de încărcare al acesteia și a ordinii de execuție a serviciilor. Din figură se poate observa cum mai întâi au fost planificate serviciile S_20 și S_21 (notate cu „20” și „21” în cadrul diagramelor Gantt), pentru realizarea produselor intermediare, și în final serviciul S_10, pentru asamblarea acestora.

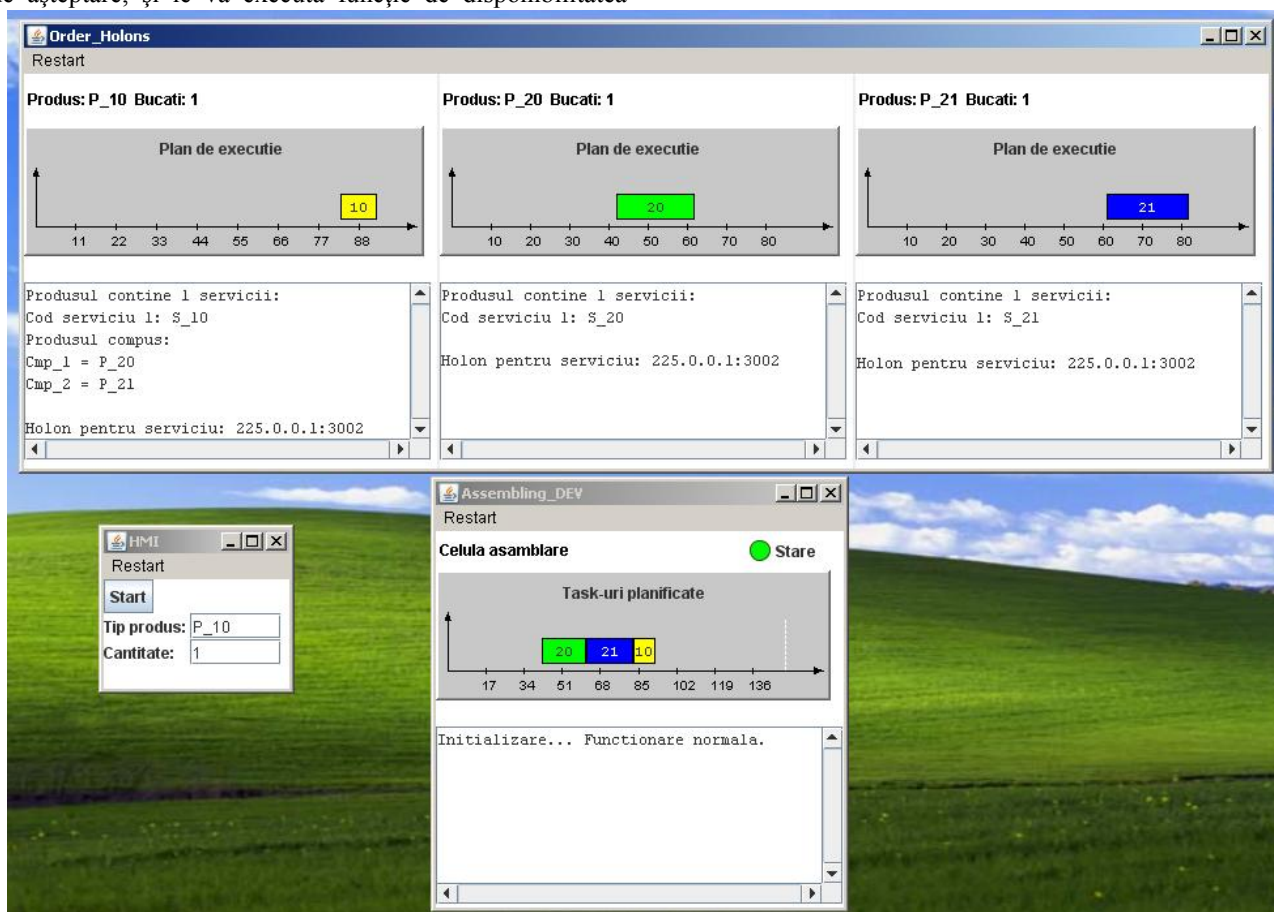


Fig. 19. Exemplificare a interfețelor om-mașină ale holonilor comandă și a holonului celulei

Comparativ cu soluția clasică, soluția de control holonică permite reducerea timpilor de reconfigurare a celulei, la schimbarea tipului de produs, și o mai bună monitorizare a activităților atribuite celulei.

În modul clasic, schimbarea tipului de produs ar necesita o configurare manuală a celulei, cu durata T_a , pentru „activarea” serviciilor noului produs. Acest timp este redus la zero în cazul soluției holonice, alegerea serviciilor care trebuie executate la un moment dat fiind realizată automat, funcție de planificările deținute de holonul celulei. Pentru serviciile care nu se găsesc în memoria robotului este necesară însă, atât în modul clasic, cât și în cel holonic, o încărcare manuală a acestora.

V. CONCLUZII

Obiectivul principal în realizarea acestui studiu de caz a constat în demonstrarea posibilității de adoptare a conceptelor IEC 61499 (alături de tehnologii multi-agent) în modelarea și implementarea sistemelor de control holonice. În acest sens au fost propuse și verificate modele și teorii privind arhitectura holonilor individuali, respectiv formarea de holoni complecși prin descompunerea task-urilor în subtask-uri.

Contribuțiile sunt în principal de ordin practic, și constau în:

- Dezvoltarea și testarea unei soluții de modelare și

implementare a holonilor cu inteligență simplă prin blocuri funcționale IEC 61499;

- Dezvoltarea unei infrastructuri software pentru comunicația dintre holoni, bazată pe modelul de comunicație PUBLISH / SUBSCRIBE;
- Dezvoltarea și testarea unei soluții de implementare a interfețelor om-mașină ale holonilor prin blocuri funcționale. Această soluție s-a dovedit greoaie în contextul instrumentelor de dezvoltare existente;
- Dezvoltarea și testarea unui protocol de comunicație de nivel înalt, pentru comunicația inter-holonice. Împreună cu infrastructura software, acest protocol a permis definirea unei platforme multi-agent, care poate fi privită ca o extindere a funcționalităților cuprinse în specificațiile standardului IEC 61499.
- Dezvoltarea unei soluții de integrare a echipamentelor de producție clasice în sisteme de control holonice;
- Implementarea și testarea unei soluții de creare și eliminare dinamică a holonilor comandă, în/din cadrul unor dispozitive IEC 61499, prin comenzi de management.

REFERENCES

- [1] Christensen, J.H. "Holonics Manufacturing Systems: initial architecture and standard directions", First European Conference on Holonic Manufacturing Systems, European HMS Consortium, Hannover, Germany, 1994, Pagini: 1-20.
- [2] Christensen, J.H. "HMS/FB architecture and its implementation", în Deen, S.M. (ed.), Agent Based Manufacturing: Advances in the Holonic Approach, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2003, Pagini: 53-87.
- [3] Fletcher, M., Garcia-Herreros, E., Christensen, J.H., Deen, S.M., Mittmann, R. "An Open Architecture for Holonic Cooperation and Autonomy", Proc. of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA'00), 6-8 Septembrie, 2000, London, UK, pp. 224-230.
- [4] John, K.H., Tiegelkamp, M. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems, Springer, 2001, 376 pagini.
- [5] MySQL. Bază de date open source. Online: www.mysql.com, 2011.
- [6] Oooneida FBench, Function Block Workbench. Online: <http://sourceforge.net/projects/oooneida-fbench>, 2010.
- [7] Suda, H. "Future factory systems formulated in Japan", Techno Japan, Vol. 23(3), 1990.
- [8] van Brussel, H., Wyns, J., Valckenaers, P., Bongaerts, L. Peeters, P. „Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA", *Computers in Industry*, Vol. 37, 1998.
- [9] Vyatkin, V. IEC 61499 Function blocks for embedded and distributed control systems design, Instrumentation Society of America, USA, 2007.