

HIERARCHICKÉ METÓDY ROZVRHOVANIA ÚLOH V DISKRÉTNÝCH VÝROBNÝCH SYSTÉMOCH

Baltazár Frankovič

Abstrakt:

Článok poukazuje na možnosť riešenia optimálneho rozvrhovania úloh diskretných systémov. Pre riešenie tohoto problému multiagentové systémy majú v súčasnosti širokú odbornú a vedeckú publicitu. Pravidlá takého systému umožnia navrhnúť efektívny postup stratégie hierarchického rozhodovania a rozvrhovania. Tento článok má za účel dať určitý pohľad na teoretické problémy a tiež na možnosti ich aplikácie v priemyselnej, počítačovej, telekomunikačnej atď. oblasti.

Kľúčové slová: rozhodovanie, rozvrhovanie, optimalizácia, diskretné systémy, multiagentové systémy

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Systémy s rozsiahlou a nehomogennou štruktúrou z hľadiska riešenia problémov rozvrhovania a riadenia vyžadujú decentralizáciu celkového problému do autonómnych častí a tiež hierarchické rozhodovacie procesy. Pre dosiahnutie optimálneho riešenia uvedených problémov je nutné splniť kritéria pre decentralizáciu, rozvrhovanie, rozhodovanie a riadenie. Hierarchický spôsob rozvrhovania predpokladá vykonávanie viacerých úloh a pozostáva z rôznych druhov vzájomne prepojených samostatných jednotiek, resp. skupiny jednotiek. Pri riešení úloh rozsiahleho systému sa musí uvažovať:

- s možnosťou dekompozície do ucelenej skupiny vykonávacích jednotiek s uvažovaním hierarchickej štruktúry,
- v štádiu plánovania s inverzným postupom t.j. s agregáciou samostatných vykonávacích jednotiek do skupín s hierarchickou štruktúrou.

V oboch prípadoch sa predpokladá znalosť charakteristík do systému zaradených jednotiek. Úlohou riadenia je zabezpečenie komplexnej flexibility a otvorenosti voči modifikáciám štruktúry systému s uvažovaním jeho robustnosti. Vhodný prístup k riešeniu uvedených problémov ponúka princíp multiagentového systému (MAS). Rôzne spôsoby riešenia takto formulovaného problému je predmetom mnohých publikácií a výskumných projektov. Prvá časť tohoto článku obsahuje definíciu a teoretickú formuláciu MAS. Druhá časť uvádza formuláciu hierarchického rozhodovacieho procesu pri uvažovaní rozsiahleho systému a tretia časť je venovaná aplikačným možnostiam MAS.

2. FORMULÁCIA MULTIAGENTOVÉHO SYSTÉMU

Definujme agent (A), ako samostatnú jednotku so vstupmi, vlastnou stratégiou (riešiacim algoritmom) a vykonávacou schopnosťou. Agenti môžu byť výkonné výrobné jednotky, resp. programové jednotky, realizujúce algoritmy. Podľa druhu, úrovne algoritmu, resp. vykonávacej schopnosti agenti môžu byť autonómne, adaptívne, inteligentné, komunikačné (ktoré sú najviac požívané) atď.

V [Collins 1998] je definovaný MAS ako „množina organizovaných agentov, ktoré vzájomne pôsobia v spoločnom agentovom prostredí“. V [Jennings 1998] MAS je definovaný ako „voľne pospájaná sieť určitého problému riešiacich jednotiek (agentov), ktoré pracujú spoločne pre vyriešenie daného problému, pričom poznajú individuálne schopnosti a znalosti každej riešiacej jednotky (agenta)“.

Vo všeobecnosti MAS je heterogenná množina agentov s konkrétnymi vzťahmi a väzbami. V tomto systéme každý agent disponuje s určitými prostriedkami, ktoré vo svojej činnosti môže používať pre dosiahnutie daného cieľa v rámci ohraničení, v ktorom sa môže pohybovať. Vlastnosti MAS sú charakterizované aj tým, že v ňom nie je nadbytočný ani nepotrebný agent. To znamená, že každý

z agentov sa snaží o najlepšie riešenie danej úlohy. Všeobecné charakteristiky multiagentového systému (MAS) je možné zhrnúť do nasledovných bodov:

- systém je decentralizovaný t.j. agenti, resp. skupiny agentov nie sú privilegované, ale sú schopné vyvolať niektoré akcie iných agentov. Systém nemá presne definovaný globálny stav,
- systém je distribuovaný t.j. správanie sa systému je podmienená správaním sa jednotlivých agentov, alebo skupiny agentov,
- systém tvoria autonómni agenti t.j. budúce stavy agenta závisia jedine na jeho predchádzajúcich akciách (aj keď interakcie s inými agentmi ovplyvňuje jeho budúce akcie je to následok autonómnej akcie tzv. „prístup k interakciám“),
- systém je asynchronný t.j. nemá špeciálny synchronizačný mechanizmus; interakcie stanovia synchronizačný element systému, ktorý pracuje jedine ako účinok autonómnych akcií a nie je to vynútené centrálné,
- systém je otvorený t.j. aktivácia nového agenta systému vyvolá zmenu spôsobu dosiahnutia finálneho stavu.
- cieľom je, aby agenti v MAS mali také stratégie r_j , pomocou ktorých sa dosiahne minimálna (maximálna) hodnota danej účelovej funkcie (kritéria) Q .

Základná relácia činnosti MAS: $F : S \times A \rightarrow S$ označuje vzťah s tromi zložkami: prípustná postupnosť stavov $s_i \in S$ (stavy, kde môžu pôsobiť akcie); postupnosť akcií $a_i \in A$ vykonané agentom v daných stavoch; nová postupnosť stavov, ktoré nastali vplyvom agentových akcií. Teda vzťah F vyjadruje možné kombinácie stavov a akcií. Realizácia ich postupnosti je účinok dynamického výberového mechanizmu agenta, ktorá je vyjadrená mapovaním $F \in A$ a udaná vzťahom:

$$s_{i+1} = f_{a(i)}(s_i) \equiv \exists (s_i, a_i, s_{i+1}) \quad (1)$$

Sú dva význačné vnútorné stavy agenta A a síce jeho začiatkový stav $s_o \in S$ a finálny stav $s_n \in S$. Správanie sa agenta A je postupnosť realizovaných akcií, ktorá vedie zo začiatkového stavu k finálnemu stavu. Vo všeobecnosti agent sa môže správať rôzne, ale v prípade daného cieľa len jedna jeho činnosť je realizovaná, čo odpovedá poňatiu trajektórii dynamického systému. Z predchádzajúceho výkladu vyplýva, že pre riešenie danej úlohy (napr. úlohy rozvrhovania) je žiaduce používať určité pravidlá MAS. Tieto pravidla sa dajú formulovať nasledovne:

Lokálne vyhodnotenie môže formulovať základ pre vznik vzťahu medzi agentmi za podmienok, že vyhodnotenie jedného agenta závisí na rozhodnutí a z toho vyplývajúcej akcie vykonanej druhým agentom.

Vzájomná koordinácia; predpokladá určitý dialóg medzi agentmi a určuje pravidlá rozdelenia činnosti agentov.

Rokovanie (negotiation); stáva sa nevyhnutným vtedy, keď sú rozdiely- konflikty v cieľoch, ktoré majú byť dosiahnuté agentmi. V tomto prípade prichádza do úvahy konkurenčnosť (súťaživosť) cieľov, resp. akcií.

3. HIERARCHICKÝ ROZHODOVACÍ PROCES PRE ROZVRHOVANIE ÚLOH

V prípade monolitického systému možno uvažovať s nasledovnými prípadmi rozhodovacej štruktúry:

- jedna úroveň – jeden objekt (cieľ)
- jedna úroveň – niekoľko objektov
- niekoľko úrovní – niekoľko objektov.

Pre viacúrovňový systém sa predpokladá:

- závislosť nižších úrovní od vyšších úrovní a riešenie konfliktov medzi rozhodovacími systémami na rovnakej úrovni, resp. na nižších úrovniach,
- vyššie úrovne neuvažujú so všetkými informáciami nižších úrovní,
- v záujme flexibility sa uvažuje s premenlivou dekompozíciou, resp. s premenlivou agregáciou.

Na základe hierarchického rozhodovacieho procesu možno používať aj hierarchickú distribúciu úloh. Principiálne sa uvažuje s dvoma triedami distribúcií:

- horizontálna distribúcia, kde systém je rozdelený do niekoľkých subsystemov a lokálnych riadiacich systémov koordinovaných vyššou úrovňou.
- Vertikálna distribúcia, ktorá môže byť rozdelená do funkcionálnej distribúcie a do temporálnej distribúcie (uvažujúc časový horizont).

Temporálne a funkcionálne distribúcie sú používané na vyššej úrovni a horizontálna distribúcia sa používa pre reálne časové rozvrhovanie a supervízorové riadenie (dohliadanie).

Pre rekurzívnu dekompozíciu a následne pre rekurzívne rozhodovanie uvažujme s nasledovnými elementami:

M_k - je model rozhodovacieho procesu na úrovni k , ktorý obsahuje algoritmus rozhodovania a spracovania informácií a tiež kritérium rozhodovania.

$$k = n, n-1, \dots, 1$$

I_k - je informačný tok z M_k do úrovne M_{k-1}

C_k - je tok rozvrhovanie úloh k výkonným zariadeniam, keď $k=1$ (t.j. najnižšia úroveň rozhodovacieho procesu)

$Sp_{k-1, k}$ - spätnoväzbový tok informácií k vyšším úrovniam

$H_{k, k}$ - informačný tok medzi rozhodovacími subsystemami (modelmi) na tej istej úrovni.

3.1 Postup procesu hierarchického rozhodovania

Uvažujme Makromodel rozhodovania (MMR), ktorý zahrňuje:

- D ; $d_{i,k} \in D$ množinu uzlov rozhodovania
- O - otvorený obvod rozhodovania (t.j. bez spätnej väzby)
- FB - uzavretý obvod rozhodovania (so spätnou väzbou)
- U - množina riadiacich zásahov (požiadavky, externé udalostí, interné udalostí)
- T_c - množina priamo riaditeľných prechodov
- T_{oc} - množina neriaditeľných prechodov
- T_o - množina pozorovaných prechodov (budený vo vnútri subsystemov, resp. inými subsystemami)
- T_{oo} - množina nepozorovateľných prechodov.

Pri uvažovaní rozhodovacích uzlov (modelov) na jednotlivých úrovniach perióda rozhodovania sa dá vyjadriť vzt'ahom:

$$Pd = \frac{\sum d_{i,k}}{\sum M_k} \quad (2)$$

ktorá je podmienkou uskutočnenia prechodov. Pre spustenie prechodov urobme nasledovné úvahy. V prípade otvoreného obvodu O a $k=n$; $Pd = 1$, informácia o rozhodovaní I_k smeruje priamo

z k úrovne do k-1 úrovne a ďalej do k-2 atď. a Pd sa vypočíta z (2) . Podmienkou neriadeneho prechodu do k-2 je prichod $I_k, H_{i,k-1}$ teda:

$$T_{oc,k-1} = f(I_k; H_{i,k-1}) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

V prípade riadeného prechodu bude platiť vzťah:

$$T_{c,k-1} = f(I_k; H_{i,k-1}; u_{k-i}; u_0) \quad (4)$$

u_0 - počiatočná hodnota riadenia

Podobne by sa postupovalo v prípade *FB*, kde pre jednotlivé prechody platí:

$$T_{oc,k-1} = f(I_k; H_{i,k-1}; Sp_{k-1}) \quad (5)$$

a

$$T_{c,k-1} = f(I_k; H_{i,k-1}; Sp_{k-1}; u_{k-1}; u_0)$$

Teda všetky prechody sa dajú vyjadriť vzťahom:

$$T = T_c \cup T_{oc} \quad \text{pri uvažovaní} \quad T_{oc} = T_o \cup T_{oo} \quad (6)$$

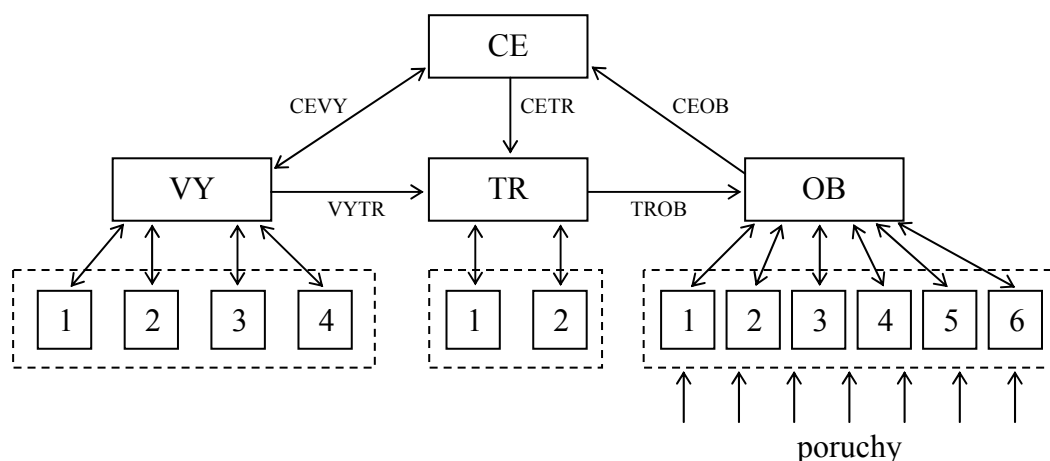
V reálnom procese uskutočnené, resp. pozorované prechody sa overia stavom subsystémov, resp. systému.. V prípade *FB* rozhodovací proces predstavuje časovo riadený graf G^*

$$G^* = (FB, I, U, H, Sp, T_c) \quad (7)$$

V prípade aplikácie MAS, M_k predstavujú agentov A s príslušnými vlastnosťami pre aplikáciu na jednotlivých úrovniach; inteligentný agent A_{in} ; adaptívny agent A_a ; autonómny agent A_{au} ; komunikačný agent A_{ko} so vstupmi u_k, H_k, Sp_k a výstupmi I_k . Potom MAS symbolický môžeme vyjadriť takto:

$$FB = A_{in} \cup A_a \cup A_{au} \cup A_{ko} = MAS \quad (8)$$

Každý z uvedených agentov disponuje s príslušnými pravidlami (lokálne vyhodnotenie, vzájomná komunikácia, negociácia) na ktorých je postavený algoritmus rozhodovania. Grafické znázornenie hierarchického rozhodovacieho procesu v prípade dvoch rozhodovacích úrovní a jednej vykonávacej úrovne je na obr. 1.



Obr. 1. Hierarchický rozhodovací postup

CE- centrálna rozhodovacia úroveň

CEVY – akcia rozhodovania pre výrobu

CETR – akcia rozhodovania pre transport

CEOB – akcia rozhodovania pre odbyt

VY – výroba

TR – transport

OB – odbyt

1, 2, ..., výkonné zariadenia

4. APLIKAČNÉ MOŽNOSTI MAS

Vytvorenie agentovej siete v prípade rozvrhovania úloh, resp výrobných zariadení v prípade flexibilných výrobných liniek vyžaduje dekompozíciu výrobného procesu na také prvky, ktoré pracujú tak ako v kap. 2 definovaní agenti. Dekompozícia môže byť vykonaná na základe technologického postupu, resp. podľa dynamiky procesu. Technologická dekompozícia uvažuje s výrobnou postupnosťou, kým dynamická dekompozícia počíta s potrebným časom trvania výrobných úkonov. Dekompozícia sa teda vykonáva podľa:

- daného poradia úkonov výrobného procesu
- trvania každého výrobného procesu
- nákladov výrobného procesu.

Dekompozícia môže byť vykonaná na viacerých úrovniach a na každej úrovni môžu byť uvažované rôzne kritéria. Rozsiahly systém s mnohými parametrami, rôznymi modulmi a technologickými úlohami je zostavený z rôznych typov individuálnych jednotiek alebo skupiny jednotiek (agentov). Pre riešenie úloh rozsiahleho systému sa uvažuje:

- možnosťou dekompozície na singulárne skupiny (výrobné linky, resp. výrobné zariadenia) pre vykonanie požadovaných úloh,
- na stupni plánovania s kombináciou singulárnych skupín.

V oboch prípadoch sa vyžaduje znalosť charakteristík daného systému, ktoré sa implementujú do individuálnych jednotiek. Pod znalosťou technologického systému sa rozumie napr. že v systéme pracujú ekvivalentné stroje rôznych typov s rôznymi parametrami. Požiadavky výroby sú napr. Finálny čas výroby, poradie výroby produktu, limitovaná kapacita,...

$$\begin{aligned} &Time_End_i < t_i ; \quad i \text{ je index produktu a } t_i \text{ je daný finálny čas pre } i\text{-tý produkt.} \\ &Time_End_1 < Time_End_2 < \dots < Time_End_n < \dots \end{aligned}$$

Globálna kritériálna funkcia môže byť vyjadrená vzt'ahom:

$$Q = T + N \quad (9)$$

kde T vyjadruje neproduktívny čas a je rovný sume všetkých neproduktívnych časov každého zariadenia a môže byť definovaný nasledovne:

$$T = \sum_k T_{idle}^k \quad (10)$$

kde T_{idle}^k je suma všetkých neproduktívnych intervalov intervalov k tých zariadení.

N je nákladová funkcia pre výrobu všetkých produktov a pozostáva z dvoch funkcií, jedna pre prípad keď zariadenie nepracuje a druhá keď pracuje:

$$N = N_{idle} + N_{work} \quad (11)$$

Uvedené teoretické závery možno používať napr. pri rozvrhovaní výroby v rôznych odvetviach priemyslu. Z hľadiska prevádzky energetického systému decentralizovaného na subsystémy a ďalej na energetické zariadenia (reaktory, kotle, turbíny, transformátory, rozvodové systémy atď.) môžeme dostať úplný a podrobný prehľad o variantoch optimálneho rozvrhovania výroby energie.

Veľmi zaujímavá aplikácia sa núka v prípade ponuky a dopytu tovaru z hľadiska výroby, rozvozu a predaja. Pre zlepšenie kvality rozhodovania možno uvažovať s používaním fuzzy logiky, predikcií porúch a neurónových sietí. Celý systém má nasledujúce funkčné závislosti. Obchody dávajú

informáciu centru o množstve výrobkov na sklade a o aktuálnej požiadavke výrobkov (množstvo, typ výrobku), ktoré na základe týchto informácií vykoná optimálne rozvrhovanie úloh pre výrobu a dopravcom. Agenti obsiahnutí vo výrobe navzájom komunikujú a vykonávajú časovú optimalizáciu (job scheduling). Výroba posielala informácie dopravcovi o čase potrebnom na dokončenie objednávky čo je podkladom pre rozvrhovanie dopravných úloh atď. ako je to znázornené na obr. 1.

Agentová technika sľubuje aj zvýšenie flexibility telekomunikačného manažmentu a servisu . Účelom výskumu v tejto oblasti je riešiť otázku aplikovateľnosti inteligentnej mobilnej agentovej techniky práve pre telekomunikačný, servisný a sieťový manažment. Prístup k riešeniu zachycuje určité špecifiká, napríklad: ako vytvárať sieťový a servisný manažmentský systém, ktorý je založený na agentovej technike, aké typy manažmentských problémov sú nastolené pre agentové riešenie, výhody agentového riešenia oproti konvenciálnemu riešeniu, ako integrovať agentovú techniku s konvenciálnou technikou. Riešenie týchto problémov nastoluje množstvo úloh, ako napríklad: komunikácia agentov, mobilita agentov, cyklus životnosti agentovej schopnosti, portabilita, bezpečnosť, inteligencia agentového systému, splnenie prijatých štandardov.

4. ZÁVER

Všeobecne sa dá konštatovať, že agentové technológie nájdu uplatnenie v inteligentných výrobných systémoch. Rastúca konkurencia a rýchlo sa meniace požiadavky trhu sú hlavné príčiny neustálych zmien jednak vo výrobných procesoch samotných (nové technologické postupy) ako aj zmien v konfigurácii výrobných liniek (pružné výrobné systémy) a zmien v organizácii výroby. Tradičné centralizované a sekvenčné plánovacie, rozvrhovacie a riadiace mechanizmy sú nedostatočne flexibilné a nezodpovedajú dynamickým zmenám požiadaviek na produkty výroby. Tieto tradičné prístupy obmedzujú najmä rozšíriteľnosť a rekonfigurovateľnosť výrobných systémov. Agentové technológie poskytujú prirodzený spôsob ako tieto problémy prekonať, navrhnúť a implementovať inteligentné výrobné prostredia. Výskum v agentových technológiách diskretných výrobných procesov sa bude sústreďovať v nasledovných oblastiach: multiagentové architektúry, učiace sa a adaptívne agentové technológie vo výrobných systémoch, dynamické distribuované plánovanie a rozvrhovanie výrobných procesov pomocou agentového prístupu, riadiace architektúry reálneho času pre distribuované výrobné systémy.

LITERATÚRA

COLLINS, P. ; SHEPHERSON, J.: Processual management using intelligent workflow systems.

Internet.

JENNINGS, N. and all.: Roadmap of agent research and development. *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 1 (1) 7-38,1998

FRANKOVIČ, B.; BUDINSKÁ, I.: Single and multi machine scheduling of jobs in production systems. *In Advances in manufacturing decision, control and information technology*. Ed. Tzafestas, S., SPRINGER VERLAG 1999, p.25-36

SYCARA, K. and all.: Distributed intelligent agents. *IEEE Expert Dec.* 1986. P. 36-45

HAMMAMI, I. and all.: Approche multi-agent pour la conception de la commande-surveillance systems flexibles de production. *In: Proc. CIMAT 96, 1996, Grenoble*, p. 84-89

Autor

Prof. Ing. Baltazár Frankovič, DrSc.

Ústav teórie riadenia a robotiky, Slovenská Akadémia Vied

Dúbravská c. 9, 84237 Bratislava

Tel: 421 7 54773461 ; Fax: 421 7 54776045

e-mail: utrrfran@savba.sk