

Mr. HRVOJE GOLD
Fakultet prometnih znanosti
Zagreb, Vukelićeva 4

Informatika u prometu
Pregled
UDK:681.3:656
Primljeno: 25.01.1991.
Prihvaćeno: 25.01.1991.

KONEKCIJONIZAM KAO SREDSTVO MODELIRANJA INFORMACIJSKIH SUSTAVA U PROMETU

SAŽETAK

Konekcijonizam predstavlja mogući pristup rješavanju problema nepotpuno opisanih prometnih sustava. Sustav za vođenje informacija o transportnim kapacitetima voznog parka modeliran je mrežom procesnih jedinica. Izlaz pojedine jedinice određen je zbrojem umnožaka intenziteta ulaznih atributa i jakosti njihovih asocijativnih veza. Predloženi model je implementiran za vozila voznog parka opisana s osam klasa podataka. Verifikacija primjene konekcijonističkog modela u domeni ažurnog praćenja djelovanja prometnih sredstava obavljena je za pronalaženje značajki vozila prema matematičkim podacima o vozilu, identifikacije vozila na temelju nepotpunog opisa njegovih značajki te za spontanu generalizaciju značajki vozila.

1. UVOD

Dinamičko ponašanje prometnih sustava često ne pruža dovoljno kvalitetnih informacija za njihov potpuni opis. Postupak modeliranja nepotpuno opisanih prometnih sustava zahtijeva realizaciju spoznajnih procesa u modelu, s ciljem uporabe implicitno pohranjenih raspoloživih informacija.

Konvencionalnim kompjutorskim sustavima uz primjenu odgovarajuće programske podrške moguće je realizirati neke spoznajne procese, npr. zaključivanje na temelju nepotpunih podataka, prepoznavanje oblika i sl. Suvremeni interdisciplinarni pristup toj problematici pretpostavlja uz programsku podršku visoke razine, i promjenu osnovne arhitekture kompjutorskih sustava. Inspiraciju za promjenu fizičke podloge kompjutorskog sustava predstavlja ljudski mozak u kojemu se po pretpostavci odvijaju spoznajne aktivnosti.

Analogija s arhitekturom mozga slijedi iz velikog broja međusobno povezanih elemenata, neurona, koji izmjenjuju jednostavne ekscitacijske i inhibicijske poruke te time obnavljaju pobuđenost mozga. Neuralna podloga uz istodobnu obradu velikog broja elementarnih informacija omogućuje i promjenu jakosti veza između neurona. Premda veze mogu biti nepotpuno određene ili dvosmislene, svaka od njih potencijalno sudjeluje u određivanju rezultata obrade.

Distribucija informacija i njihova istodobna i paralelna obrada predstavljaju temelj

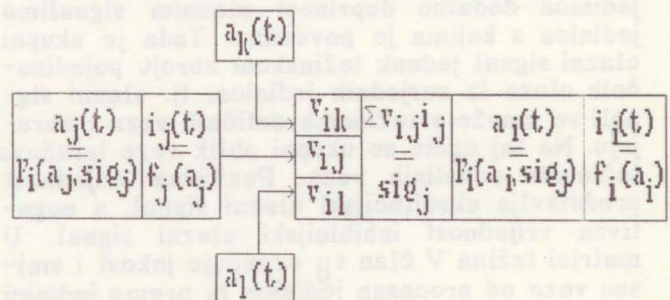
izrade modela spoznajnih procesa. Modeli temeljeni na analogiji rada mozga nazivaju se modeli paralelno distribuirane obrade (mreže), neuralne mreže ili konekcijonistički modeli.

2. MODEL PARALELNO DISTRIBUIRANE OBRADNE

Osnovne komponente modela paralelno distribuirane obrade [1] čine:

- skup procesnih jedinica,
- stanje aktivacije procesne jedinice,
- izlazna funkcija procesne jedinice,
- oblik veza između jedinica,
- pravilo propagacije aktivnosti kroz mrežu,
- pravilo aktivacije procesne jedinice s pomoću kojega se na temelju ulazne pobude i trenutnog stanja jedinice određuje novo stanje aktivacije,
- pravilo učenja kojim se mijenja oblik veze između jedinica na temelju iskustva,
- okolica unutar koje sustav radi.

Strukturu sustava prikazuje slika 1. Procesnoj jedinici p_i pridružena je u svakom trenutku određena aktivacijska vrijednost $a_i(t)$. Funkcija f_i preslikava aktivacijsku vrijednost i -te procesne jedinice u njezinu izlaznu vrijednost $i_i(t)$. Izlazne vrijednosti se prenose preko usmjerenih veza do drugih procesnih jedinica u sustavu. Ulaz procesne jedinice opterećen je realnim brojem, težinom ili jakošću veze v_{ij} , koja određuje veličinu utjecaja prve procesne jedinice na drugu. Nova aktivacijska vrijednost procesne jedinice slijedi preslikavanjem, funkcijom F , kombinacije svih ulaza u procesnu jedinicu s tekućom vrijednošću aktivacije. Oblik veza sustava nije stalan, već se jakost veza mijenja na temelju iskustva. Na taj način sustav evoluirao u vremenu. Evolucijom veza između



Slika 1. Osnovne komponente konekcijonističkog modela informacijskog sustava

procesnih jedinica mijenja se i ponašanje sustava.

Skup procesnih jedinica (neurona) predstavlja temelj modela paralelno distribuirane obrade, odnosno aktivacije. Procesne jedinice prikazuju konceptualne entitete, npr. značajke nekog vozila, ili jednostavne apstraktne elemente koji u totalitetu imaju smisleni oblik. Ako je N broj jedinica, svih N jedinica se proizvoljno raspoređuje, a i -ta procesna jedinica se označuje s p_i . Obradu izvode jedinice koje primaju signale od susjednih jedinica i na temelju primljenih signala izračunavaju izlazne signale koje predaju susjednim jedinicama. Unutar bilo kojeg sustava koji se modelira moguće je identificirati tri vrste jedinica: ulazne i izlazne (vidljive) te skrivene (nevidljive) jedinice. *Ulazne jedinice* primaju signale iz izvora što se nalaze izvan sustava koji se modelira. Ulazni signali mogu biti informacije iz vanjskih osjetila ili drugih izvora sustava u koji je model ugrađen. *Izlazne jedinice* predaju signale u okolicu sustava. Izlazni signali djeluju na efektivni, motorni sustav ili na sustave u okolici modela. Ulazi i izlazi skrivenih jedinica nalaze se unutar modela.

Stanje aktivacije nad skupom N procesnih jedinica predstavlja stanje sustava u vremenskom trenutku t i označuje se vektorom N realnih brojeva $a(t)$. Aktivnost procesne jedinice p_i u vremenskom trenutku t označuje se s $a_i(t)$. Budući da iznosi aktivnosti predstavljaju trenutno stanje sustava koji se modelira, rad sustava možemo promatrati kao evoluciju aktivnosti nad skupom procesnih jedinica. Aktivacijske vrijednosti mogu biti kontinuirane ili diskretne. *Izlazna funkcija*. Međusobna interakcija procesnih jedinica dovodi do prijenosa signala između susjednih jedinica. Intenzitet signala, odnosno stupanj međusobnog utjecaja, određen je stupnjem aktivacije. Svakoj jedinici p_i pridružena je izlazna funkcija $f_i(a_i(t))$ koja stanju aktivacije $a_i(t)$ pridružuje izlazni signal $i_i(t)$, tj. $i_i(t) = f_i(a_i(t))$. U vektorskoj notaciji trenutno stanje skupa izlaznih vrijednosti glasi $i(t)$. U jednostavnih modela razina izlaznog signala je jednaka iznosu aktivacije procesne jedinice, tj. $i_i(t) = a_i(t)$.

Veze između jedinica oblikuju znanje sustava i određuju njegov odziv na ulazne signale. U općem slučaju pretpostavlja se da svaka jedinica dodatno doprinosi ulaznim signalima jedinica s kojima je povezana. Tada je ukupni ulazni signal jednak težinskom zbroju pojedinačnih ulaza iz susjednih jedinica, tj. ulazni signali se množe s težinama dotičnih veza i zbrajaju. Na taj način se ukupni oblik veze izražava težinama pojedinih veza. Pozitivna vrijednost predstavlja ekscitacijski ulazni signal, a negativna vrijednost inhibicijski ulazni signal. U matrici težina V član v_{ij} označuje jakost i smisao veze od procesne jedinice p_j prema jedinici p_i . Ako jedinica p_j pobuđuje jedinicu p_i , težina v_{ij} je pozitivan broj, a ako jedinica p_j inhibira jedinicu p_i , težina je negativan broj. Ako ne po-

stoji izravna veza između jedinice p_j i jedinice p_i , vrijednost težine je jednaka ničiti.

Pravilo propagacije kombinira vektor izlaznih vrijednosti $i(t)$ s matricom veza što rezultira čistim ulaznim signalom sig_{ij} , odnosno u vektorskoj notaciji za sve jedinice sig_{ij} . Indeks i označuje vrst veze, a indeks j -tu procesnu jedinicu. Uz postojanje ekscitacijske i inhibicijske veze čisti signali su određeni u ekscitacijskoj vezi vektorskim proizvodom $\text{sig}_e = v \times i(t)$, a u ekscitacijskoj vezi $\text{sig}_i = V \times i(t)$.

Pravilo aktivacije predstavljeno funkcijom F kombinira čiste ulazne signale svih vrsti i trenutno stanje procesne jedinice te rezultira novim stanjem aktivacije. U najjednostavnijem slučaju, kada je F funkcija identiteta i kada su sve veze iste vrsti, $a(t+1) = V \times i(t) = \text{sig}(t)$.

Modifikacija veza kao funkcija iskustva. Promjena procesiranja ili strukture znanja zahijeva modifikaciju veza između procesnih jedinica. Pritom je moguće razvoj novih veza, gubitak postojećih veza te modifikacija intenziteta postojećih veza. Promjena intenziteta veza u pozitivnom ili negativnom smislu te postavljanje vrijednosti na ničticu u krajnjem slučaju aproksimira navedene slučajeve promjena veza. Posebno značenje modeliranja paralelno distribuiranim mrežama predstavlja njihova sposobnost učenja, tj. promjene intenziteta veza na temelju iskustva. Tako, npr., Hebbovo pravilo učenja glasi: Ako procesna jedinica p_j prima ulazni signal iz jedinice p_i , tada u slučaju istodobne visoke aktivnosti obje jedinice težinu v_{ij} treba pojačati.

Prikaz okolice. Pri modeliranju sustava paralelnom mrežom okolica se u općem slučaju predstavlja vremenski promjenljivom stohastičkom funkcijom nad prostorom ulaznih signala.

2. KONEKCIJONISTIČKI MODEL INFORMACIJSKOG SUSTAVA

Informacijski sustav se u sklopu konekcijonizma realizira primjenom komponenata modela paralelno distribuirane obrade. Rad sustava temelji se na međusobnom utjecaju i konkurenciji procesnih jedinica. Procesnim jedinicama pridružuju se atributi promatranog sustava. Području vrijednosti atributa realnog sustava odgovaraju iznosi aktivnosti pridružene procesne jedinice. Nezavisnost atributa promatranog sustava postiže se višerazinskom organizacijom veza između jedinica. Procesne jedinice unutar pojedine razine povezane su ekscitacijskim vezama sa svim konzistentnim jedinicama ostalih razina. Procesne jedinice unutar pojedine razine povezane su inhibicijskim vezama sa svim nekonzistentnim procesnim jedinicama ostalih razina. Nekonzistentne procesne jedinice pojedine razine međusobno su povezane inhibicijskim vezama.

Za navedenu organizaciju paralelne mreže pravilo propagacije glasi: $\text{sig}_i = \sum v_{ij} a_j$. Nova aktivacijska vrijednost određena je sljedećim pravilom aktivacije:

$$a_j(t+1) = a_j(t)(1-0) + \begin{matrix} \text{sig}_j(\max - a_j(t)) \text{ ako je } \text{sig}_j < 0 \\ \text{sig}_j(a_j(t) - \min) \text{ ako je } \text{sig}_j > 0 \end{matrix}$$

pri čemu činitelj relaksacije 0 označuje brzinu povratka aktivnosti jedinice u stanje mirovanja kada ne postoji vanjska pobuda. Ovisno o veličini čistog ulaznog signala nova aktivacijska vrijednost približuje se najvećoj ili najmanjoj aktivacijskoj vrijednosti promatrane procesne jedinice.

Konekcijonistički model informacijskog sustava proširuje mogućnosti konvencionalnih sustava za upravljanje bazama podataka. Za razliku od konvencionalnog adresiranja entiteta sadržajem, koje zahtijeva indeksiranje svih atributa, što u velikih baza može dovesti do problema kombinatorne eksplozije, adresiranje sadržajem u konekcijonističkom modelu informacijskog sustava omogućuje pristup preko bilo kojeg atributa. Pritom je dohvat željenog entiteta na temelju atributa teži, ako istu vrijednost atributa dijeli više entiteta. Konjunkcijom više atributa postiže se točniji odgovor. Konekcijonistički model informacijskog sustava osigurava pristup informacijama i onda kada su nepotpuni ili djelomice postavljeni zahtjevi na bazu podataka. U procesu međusobne aktivacije i konkurencije popunjavaju se nepoznate vrijednosti atributa pojedinih entiteta na temelju poznavanja vrijednosti atributa sličnih entiteta. Model paralelne mreže realizira i postupak spontane generalizacije, tj. djelomično aktiviranje svih procesnih jedinica pridruženih atributima određene razine.

3. SUSTAV ZA VOĐENJE INFORMACIJA O TRANSPORTNIM KAPACITETIMA

Navedeni konekcijonistički model informacijskog sustava implementiran je s ciljem da se proširi postojeći model sustava za upravljanje bazom podataka u domeni ažurnog praćenja djelovanja prijevoznih sredstava.

Proširenje se odnosi na mogućnost pronalaženja pohranjenih podataka na temelju naziva i sadržaja, dohvat podataka sa "šumom", pronalaženje nepotpuno opisanih entiteta, te na generalizaciju nad skupom zajedničkih atributa.

Bazu podataka čini baza voznog parka [2], prikazana na slici 2. Baza sadrži podatke važne za upravljanje transportnim kapacitetima.

Garažni br.	Marka vozila	Tip vozila	Marka TPP	Nosivost m ³	Nosivost t	Godina nabavke	Klasa vozila
001	Mercedes	1313	KUKA	10,00	0,00	1970	K
006	Mercedes	1010	KUKA	10,00	8,00	1985	F
008	TAM	314	RIKO	10,00	6,00	1983	F
655	TAM	130T10	SPEC	5,00	0,00	1983	F
659	TAM	130T10	SPEC	5,00	0,00	1983	F

Slika 2. Baza podataka o voznom parku

Modeliranje baze u formalizmu paralelno distribuirane mreže zahtijeva preslikavanje atributa vozila i njihovih međusobnih odnosa u matricu veza procesnih jedinica. Matricu veza procesnih jedinica prikazuje slika 3.

Procesne jedinice su klasificirane u devet klasa: klasu jedinica pridruženih markama vozila (00-01), klasu jedinica pridruženih tipovima vozila (02-05), klasu jedinica pridruženih marki tpp vozila (06-08), klasu jedinica pridruženih nosivostima vozila u kubičnim metrima (09-10), klasu jedinica pridruženih nosivostima vozila u tonama (11-13), klasu jedinica pridruženih godinama nabavke vozila (14-16), klasu jedinica pridruženih klasama interne podjele vozila (17-18), klasu jedinica pridruženih garažnim brojevima vozila (19-23), te klasu matičnih jedinica (24-28).

	0	1	2
	01234567890123456789012345678		
Merced 00	i		ee
TAM 1	i		eee
1313 2	iii		e
1010 3	i ii		e
314 4	ii i		e
130T10 5	iii		ee
KUKA 6		ii	ee
RIKO 7		i i	e
SPEC 8		ii	ee
5.00 9		ii	e ee
10.00 10		ii	e
0.00 1		ii	e
6.00 2		i	ee
8.00 3		i	eee
1970 4			e
1983 5		i i	eee
1985 6		ii	e
K 7			i e
F 8			i eeee
001 9			iiii
006 20			i iii e
008 1			ii ii e
655 2			iii i e
G59 3			iiii e
-001 4	ee e e ee ee	ee	iiii
-006 5	e e e ee eee	eee	i iii
-008 6	e e e ee e e e	e e	ii ii
-655 7	e e ee e e e e	e	iii i
-G59 8	e e ee e e e e	e	iiii

Slika 3. Matrica veza procesnih jedinica baze voznog parka

Klasa garažnih brojeva sadrži posebnu jedinicu za svako vozilo (garažni broj) u voznom parku, a klasa jedinica pridruženih markama vozila sadrži posebnu jedinicu za svaku marku vozila u voznom parku itd. Svakom vozilu u voznom parku odgovara jedna jedinica iz klase matičnih jedinica. Jedinice u prvih osam klasa nazivaju se vidljivim jedinicama budući da se nalaze na periferiji mreže te im je moguće pristupiti iz okolice. Osim u klasi garažnog broja vozila, procesne jedinice u svim ostalim

klasama odgovaraju atributima vozila. Matične jedinice predstavljaju skrivene jedinice budući da do njih ne postoji pristup iz okolice mreže.

Ekscitacijske veze između procesnih jedinica označene su slovom e, a inhibicijske veze slovom i. Jedinice unutar iste klase povezane su inhibicijskim vezama. Između jedinica u klasi matičnih jedinica i jedinica koje odgovaraju atributima pojedinog vozila postoji dvosmjerna ekscitacijska veza.

Početno stanje mreže prikazuje slika 4. Prikaz procesnih jedinica organiziran je u stupce pri čemu podaci u prva dva stupca odgovaraju atributima vozila, dok podaci u sljedeća dva stupca odgovaraju procesnim jedinicama garažnih brojeva vozila odnosno matičnih jedinica vozila. Brojevi s lijeve strane procesnih jedinica označuju vrijednost vanjske pobude jedinice. Brojevi s desne strane procesnih jedinica označuju njihovu trenutnu aktivacijsku vrijednost, koja na početku simulacije odgovara aktivacijskoj razini u mirovanju. Budući da u početnom stanju ne postoji vanjska pobuda, vrijednost lijeve strane svih stupaca je ničtica. Početna aktivacijska vrijednost svih procesnih jedinica jednaka je aktivacijskoj razini u mirovanju koja iznosi -0.10.

0 Mercedes	-10 0	5.00	-10 0	001	-10 0	001	-10
0 TAM	-10 0	10.00	-10 0	006	-10 0	006	-10
				008	-10 0	008	-10
0 1313	-10 0	0.00	-10 0	655	-10 0	655	-10
0 1010	-10 0	6.00	-10 0	G59	-10 0	G59	-10
0 314	-10 0	8.00	-10				
0 130T10	-10						
0 KUKA	-10 0	1980	-10 0	K	-10		
0 RIKO	-10 0	1983	-10 0	F	-10		
0 SPEC	-10 0	1985	-10				

Slika 4. Početno stanje konekcionističkog modela sustava za vođenje informacija o transportnim kapacitetima .

Rezultat određivanja atributa zadanog entiteta nakon stotinu iteracija prikazuje slika 5. Vozilu sa zadanim garažnim brojem, označenim dvjema zvjezdicama, nakon stotinu iteracija, pridružene su jedinice s najvećim iznosom aktivacije.

0 Mercedes	-13 0	5.00	56	0	001	-14 0	001	-15
0 TAM	57 0	10.00	-13	0	006	-14 0	006	-15
					008	-14 0	008	10
0 1313	-13 0	0.00	56	0	655	-10 0	655	73
0 1010	-13 0	6.00	-13	**	G59	80 0	G59	77
0 314	-13 0	8.00	-13					
0 130T10	56							
0 KUKA	-13 0	1970	-13	0	K	-13		
0 RIKO	-13 0	1983	57	0	F	57		
0 SPEC	56 0	1985	-13					

Slika 5. Pronalaženje značajki vozila s garažnim brojem G59. Stanje mreže nakon stotinu iteracija

Rezultat traženja na temelju nepotpuno opisanih zahtjeva uz zadanu marku vozila i klasi interne podjele vozila, označenih dvjema zvjezdicama nakon stotinu iteracija prikazuje slika 6.

** Merced	82 0	5.00	-13 0	001	37 0	001	76
0 TAM	-14 0	10.00	50 0	006	0 0	006	46
				008	-12 0	008	-14
0 1313	37 0	0.00	37 0	655	-12 0	655	-14
0 1010	0 0	6.00	-12 0	G59	-12 0	G59	-14
0 314	-12 0	8.00	0				
0 130T10	-12						
0 KUKA	50 0	1970	37	** K	80		
0 RIKO	-13 0	1983	-12 0	F	-12		
0 SPEC	-13 0	1985	0				

Slika 6. Pronalaženje na temelju nepotpunog opisa. Stanje mreže nakon stotinu iteracija

Primjer spontane generalizacije paralelne mreže nad podacima voznog parka prikazuje slika 7. Ako se, npr., žele saznati značajke vozila nabavljenih određene godine, početno se aktivira željena godina nabavke. Nakon stotinu iteracija procesne jedinice s maksimalnim iznosom aktivnosti signaliziraju značajke te godine nabavljenih vozila.

0 Mercedes	-13 0	5.00	56 0	001	-13 0	001	-15
0 TAM	60 0	10.00	-12 0	006	-13 0	006	-15
				008	-11 0	008	28
0 1313	-13 0	0.00	56 0	655	26 0	655	75
0 1010	-13 0	6.00	-12 0	G59	26 0	G59	75
0 314	-12 0	8.00	-13				
0 130T10	56						
0 KUKA	-13 0	1970	-14 0	K	-13		
0 RIKO	-12**	1983	83 0	F	60		
0 SPEC	56 0	1985	-14				

Slika 7. Spontana generalizacija. Stanje mreže nakon stotinu iteracija

Simulacija rada modela izvedena je primjenom modificiranog programa interaktivne aktivacije i konkurencije IAC (Interactive Activation and Competition) [3] na računaru IBM PC/AT.

4. ZAKLJUČAK

Brzina i preciznost obrade suvremenih kompjutorskih sustava veće su od ljudskih. Međutim, pri obradama koje zahtijevaju primjenu prirodnih spoznajnih aktivnosti, čovjekove sposobnosti su superiornije od stroja. U prometu se sve više pojavljuju tehnički sustavi koji u pojedinim standardnim, rutinskim situacijama zamjenjuju čovjeka. Složenost prometnih sustava sve češće zahtijeva primjenu čovjekovih prirodnih spoznajnih aktivnosti, npr., prepoznavanje objekata i uočavanje njihovih odnosa, razumijevanje jezika i uzimanje kontekstno priklad-

nih informacija iz memorije, generiranje plana i izvođenje odgovarajućih smislenih akcija i sl. Implementacija prirodnih spoznajnih procesa u inteligentnim informacijskim sustavima, mobilnim adaptabilnim robotskim sustavima i sl., povećava efikasnost i sigurnost prometa.

Konekcijonistički model informacijskog sustava u prometu proširuje primjenu informacijskih sustava na situacije kada se pri modeliranju prometnog sustava ne raspolaže svim relevantnim podacima ili kada su raspoloživi podaci nepotpuni.

Modeliranje sustava za vođenje osnovnih informacija o transportnim kapacitetima paralelnom distribuiranom mrežom predstavlja primjer primjene konekcijonizma u jednom od segmenata razvoja i primjene informacijskih sustava u prometu.

SUMMARY

CONNECTIONISM AS A MEANS OF STRUCTURING THE INFORMATION SYSTEMS IN TRAFFIC

Connectionism represents a possible approach to the resolution of the issues of insufficiently described traffic systems. The system for keeping records on transport capacities of the fleet has been structured by a system of processing units. The output of an individual unit has been

determined by the number of products of multiplication of the incidence of input attributes and the strength of their association links. The proposed model has been implemented for vehicles of the fleet described with eight groups (classes) of information. Verification of the application of the connectionism model within the scope of expedite monitoring (follow-up) of performance of transportation means has been completed in an effort of searching for the characteristics of the vehicle according to the data from the records (register) on individual vehicles, identification of the vehicle according to an insufficient description of its characteristics and in cases of spontaneous generalization of characteristics of a vehicle.

LITERATURA

- [1] D. E. RUMELHART, J. L. McCLELLAND: PDP Research Group. Parallel Distributed Processing. Explorations in the Microstructure of Cognition. Volume 1: Foundations. MIT Press/Bradford Books, 1986.
- [2] H. GOLD, J. KOVAČ-STRIKO, S. SKOK, I. ŽUPANOVIĆ: Elementi racionalizacije procesa pružanja specifičnih transportnih usluga. I. metodološki pristup, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti, 1985.
- [3] D. E. RUMELHART, J. L. McCLELLAND: PDP Research Group. Parallel Distributed Processing. A Handbook of Models, Programs and Exercises. MIT Press/Bradford Books, 1988.