

Milan Soklič, Matjaž Zwitter, Vladimir Žakelj  
 Onkološki inštitut, Ljubljana  
 Klinični center, Ljubljana

REFERAT

## RAČUNALNIŠKO PODPRTO ADAPTIVNI SISTEM ZA POSTAVLJANJE ODLOČITEV.

### COMPUTER ASSISTED ADAPTIVE SYSTEM FOR DECISION MAKING.

**VSEBINA** - Prikazan je nov računalniško podprt adaptivni sistem za postavljanje odločitev. Sistem ima sposobnost, da situaciji, ki jo ponazorimo z določenim zaporedjem numeričnih vrednosti parametrov, določi enega od več možnih odgovorov. Adaptacija sistema se vrši v fazi učenja, kjer se sistem adaptira na podlagi situacij in njim pripadajočimi odgovori. V fazi postavljanja odločitev določi odgovor situaciji na podlagi izkušenj pridobljenih v fazi učenja. Praktično uporabnost razvitega sistema smo preiskovali na dveh medicinskih problematikah: v prognozi akutnega pankreatitisa in v diagnozi karcinoma neznanega izvora. Eksperimentalne študije so pokazale, da je adaptivni sistem zelo uspešen pri postavljanju medicinskih odločitev.

**CONTENT** - A new computer assisted adaptive system for decision making is discussed. For a given situation, which is represented as a definite set of numerical values of parameters, the adaptive system is capable to define an answer from the set of possible answers. The system adapts in the learning phase upon parameters of a given situation and the belonging answer. In the decision making phase the system defines an answer to a situation on the basis of past experiences obtained in the learning phase. Practical use of the developed system was examined on two medical areas: prognosis of acute pancreatitis and diagnosis of disseminated cancer of origin. Experimental results showed that the adaptive system was very successful in medical decision making.

#### 1. UVOD

Računalniško podprti sistemi za postavljanje odločitev se danes vse bolj uveljavljajo na raznih področjih človekove dejavnosti. Odločitve postavljamo, če imamo na razpolago več možnih alternativ. Način postavljanja odločitev je odvisen od problematike, ki jo obravnavamo. Mi bomo obravnavali postavljanje odločitev za sledečo problematiko: imamo množico situacij  $S = \{X^1, X^2, \dots, X^m\}$  in množico odgovorov  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ . V vsaki situaciji  $X^i$ ,  $i=1, \dots, m$  je potrebno najti odgovor  $c_l$ ,  $l=1, \dots, k$ , ki tej

situaciji pripada. Pri določitvi odgovora dani situaciji uporabljamo kriterije po katerih se odločimo za najustreznejši odgovor - eno od alternativ.

Če imamo sistem za postavljanje odločitev, ki je računalniško podprt, mora imeti takšen sistem poleg kriterijev za odločanje še informacijo - znanje o problemu, ki ga obravnavamo. To znanje posredujemo računalniku v obliki modela. Vernejšo sliko dejanskih razmer predstavlja model, boljše odločitve lahko pričakujemo. Dani situaciji  $X^i$  postavi računalniški sistem najustreznejši odgovor s pomočjo modela in odločitvenih kriterijev.

Poznanih je več vrst modelov, od teh naj omenimo le statistične in adaptivne modele. Statistični modeli so grajeni na podlagi statistike ponašanja obravnavane problematike. Bolje je poznana statistika, boljši je model. Adaptivni modeli, z razliko od statističnih modelov niso grajeni na podlagi statistike in imajo sposobnost adaptiranja na podlagi informacije o obravnavani problematiki. Adaptacija modela ima posledico vernejšega opisa realnih razmer. Zaradi sposobnosti prilagajanja imenujemo takšne modele tudi učeče modele. Simulacija modelov na digitalnem računalniku je primerna, kjer je zapis algoritmov, ki predstavljajo model enostaven.

V tem delu želimo prikazati nov adaptivni model, ki smo ga preizkusili na področju medicine pri postavljanju medicinskih odločitev.

## 2. PONAZORITEV SITUACIJE IN DOLOČITEV ODGOVORA

V naši obravnavi situacijo  $X^i$  ponazorimo z nekim določenim zaporedjem numeričnih vrednosti parametrov;  $x_j^i$ ,  $j=1, \dots, n$ . To lahko zapišemo kot vektor  $X^i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i)$ , kjer vsak parameter predstavlja vrednost meritve ali zapažanja določenega stanja. Če poznamo odgovor  $k$  dani situaciji pravimo, da je taka situacija znana, sicer je situacija neznana. Situacijo, ki ima določene vse vrednosti parametrov imenujemo popolno situacijo, sicer govorimo o nepopolni situaciji. Popolno situacijo opisano z  $n$  parametri ponazorimo kot točko v  $n$ -dimenzionalnem kartezičnem koordinatnem sistemu  $R^n$ , kjer koordinatne smeri predstavljajo parametre situacije. Vrednosti parametrov so koordinate točke  $X^i$ . Točko  $X^i$  imenujemo točko situacije.

Dele prostora, kjer se nahajajo točke situacije poznamo, če jih lahko pokrijemo z lupinami. Lupina je del prostora  $R^n$  poljubne oblike in dimenzije. Del prostora je pokrit, če pokritje zaja-

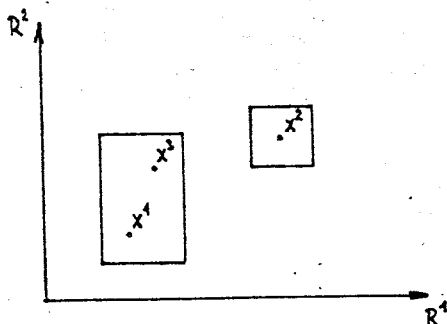
me vse točke situacij, ki se nahajajo v tem prostoru. Vzemimo, da eksistira tako pokritje, kjer vsaka njegova lupina vsebuje točke situacij, ki pripadajo istemu odgovoru. Pri teh pokritjih tudi vsaki lupini predpišemo odgovor - tisti, kateremu pripadajo točke situacij, ki jih lupina pokriva. Če lahko za vsako točko situacije ugotovimo v kateri lupini leži, potem lahko za vsako takšno točko povemo, kateri odgovor tej situaciji pripada. Namesto, da poznamo vse možne situacije obravnavanega problema, to je točke situacij, je dovolj, da poznamo lupine, ki vse te točke pokrivajo. Če poznamo lupine lahko vsaki situaciji določimo odgovor.

### 3. UČENJE ADAPTIVNEGA MODELA

Adaptivni model, ki ga opisujemo se lahko nahaja v fazi učenja ali v fazi postavljanja odločitev. V fazi učenja formira lupine enostavne oblike. Lupine imajo obliko hiperkvadra, to je  $n$ -dimenzionalnega telesa s stranicami, ki so paralelne koordinatnim smerem. Model se uči na znanih situacijah. Znano situacijo ponazori s točko situacije in delom prostora okoli te točke. Ta del prostora pokrije z novo lupino ali pa z že obstoječo lupino, ki pripada istemu odgovoru kot ta situacija tako, da to lupino poveča. Opisani način učenja temelji na hipotezi, da pripadata točka situacije in prostor okoli nje istemu odgovoru, kar pomeni, naj bi sorodne situacije imele enak odgovor.

Točke popolnih situacij pokriva z lupinami katerih lega je določena v vseh smereh. Lega lupine je določena s koordinatami njenega središča, ki je določeno s težiščem točk, ki jih lupina pokriva. Če pokriva lupina samo eno točko situacije predstavlja ta točka tudi lego - središče lupine. Model nepopolne situacije ne more ponazoriti s tako določeno točko v prostoru  $R^n$ . Nepopolno situacijo ponazori kot "točko", ki se giblje v vseh tistih koordinatnih smereh, katerih parametri situacije niso znani. Takšno točko situacije pokrije z lupino na enak način kot točko popolne situacije z razliko, da je lega lupine določena le v smeri tistih koordinat, ki ustrezajo znanim parametrom nepopolne situacije. Velikost lupine pa je možno predpisati v vseh koordinatnih smereh.

Slika 1. prikazuje primer pokritja dela prostora  $R^2$  z lupinama, kjer večja lupina (pravokotnik) pokriva točki situacije  $X^1$  in  $X^2$ , manjša lupina (kvadrat) pa točko situacije  $X^2$ .



Slika 1. Primer pokritje dela prostora  $R^2$  z lupinama.

Opisan način pokrivanja prostora ne izključuje možnosti, da dve lupini pokrivata isti del prostora - se prekrivata. Če lupini pripadata različnima odgovoroma, adaptivni model sporni del prostora predpiše odgovoru, ki mu pripada lupina z manjšim volumnom.

Pri pokrivanju točke situacije mora adaptivni model upoštevati že obstoječe lupine, ki pripadajo drugim odgovorom zato, da jim s pokritjem nove točke situacije ne vzame preveč informacije - prostora, ki ga pokrivajo. V ta namen se pri učenju modela uporabljajo adaptacijska pravila, ki določajo velikost nove lupine ali povečanje že obstoječe lupine. Adaptacijska pravila vsebujejo adaptacijske parametre, katerih vrednost določa učitelj - človek. Ti parametri predpisujejo: maksimalno povečanje obstoječe lupine, dovoljeno prekrivanje lupin, ki pripadajo različnim odgovorom, začetno velikost prve lupine in spreminjanje začetnih velikosti nadaljnjih novih lupin. Začetna velikost lupine je velikost lupine ob njenem nastanku.

Formiranje lupin poteka po korakih. Vsak korak predstavlja pokritje točke znane situacije. Na prvem koraku, adaptivni model formira novo lupino, nadaljnje točke situacije pa najprej skuša prekriti z že obstoječimi lupinami. Če adaptacijska pravila povečanja ne dovolijo, model formira novo lupino.

#### 4. POSTAVLJANJE ODLOČITEV

Adaptivni model postavi odgovor neki situaciji v fazi postavljanja odločitev. Popolnim situacijam določi odgovor tako, da išče lupine v katerih leže njihove točke situacije. Če točka situacije

leži v eni sami lupini ali v več lupinah, ki pripadajo istemu odgovoru, določi ta odgovor kot odgovor za popolno situacijo. V primeru, da leži točka situacije v več lupinah, ki pripadajo različnim odgovorom, navede adaptivni model več odgovorov. Vrstni red odgovorov je naveden glede na naraščajoči volumen lupin. Pri tem je prvi od navedenih odgovorov najbolj verjeten.

Prekrivanju lupin, ki pripadajo različnim odgovorom se v veliki meri izognemo, če imamo strožje (manjše) adaptacijske parametre. Pojav več odgovorov lahko razložimo na več načinov. Na mestih, kjer meje med odgovori obravnavane problematike niso jasne, tako imenovani mehki odgovori, je smotrnejše navesti več odgovorov. Neznanim točkam situacij, ki so daleč od znanih točk, je prav tako upravičeno navesti več možnih odgovorov. Po drugi strani pa pride do več odgovorov zato, ker meje med prostori, ki pripadajo posameznim odgovorom, niso takšne, da jih lahko natančno pokrijemo s hiperkvadri. Mejna področja odgovorov običajno pokrivajo lupine sorodnih odgovorov.

V kolikor adaptivni model ne najde lupine, ki točki situacije pripada, kar pomeni, da adaptivni model v fazi učenja ni dobil dovolj primerov - informacije, določi situaciji suspekten odgovor. Suspekten odgovor je odgovor, ki situaciji verjetno pripada. Tega določi tako, da točki situacije poišče najbližje ležečo lupino.

Adaptivni model določi odgovor nepopolni situaciji na podoben način kot popolni situaciji z razliko, da pri lupinah upošteva le tiste koordinatne smeri, kjer ima nepopolna situacija navedene vrednosti parametrov. Ta način postavljanja odgovorov za nepopolne situacije temelji na hipotezi, da se da situacijo na podlagi teh parametrov pravilno oceniti. Po hipotezi nedoločeni parametri situacije niso bistveni za določitev njenega odgovora.

## 5. EKSPERIMENTALNE ŠTUDIJE

Opisani adaptivni model za postavljanje odločitev smo simulirali na procesnem računalniku Hewlett Packard HP-2100. Proučevali smo sposobnost postavljanja odločitev adaptivnega sistema na dveh medicinskih področjih: v prognozi akutnega pankreatitisa in diagnostiki karcinoma neznanega izvora. Parametri, ki smo jih uporabili za spremljanje obeh boleznih, so prikazani v sliki 2. in sliki 3.

Situacijo o akutnem pankreatitisu popisuje sedem parametrov. Primer zapisa situacije prikazuje slika 2. Vrednosti parametrov so izražene v običajnih standardnih enotah. Vsaki situaciji akut-

Stov. oznake	Sifra	pozna	Stov. oznake	Sifra	pozna		
1	otvorit (v lesih)	1	10-19	12	Možn.		
		2	20-29	režišče	1	da	
		3	30-39	13 - 17	Možn. vnetj	1	ne
		4	40-49	13	na vnetu	1	da
		5	50-59	14	supraklavik.	1	da
		6	60-69	15	pasuha	1	ne
		7	70-79	15	pasuha	1	da
		8	80-89	15	rediacinova	1	ne
		9	nad 90	17	pod kreteno	1	da
2	spol	1	roški	1	da		
		2	ženska	1	ne		
3	histološki tip karcinoma	1	plano	odgovori jara metastaza različni			
		2	sedno	Sifra			
		3	nekro	1	pljuča		
		4	mikro	2	CPi trakt (brez vlez)		
		5	brez opred.	3	sklepnica		
4	stopnja diferenciacije	1	dobro	4	polimorfik		
		2	srednje	5	leicija		
		3	slabo	6	dvinejstnik 1 tanke grevo		
		4	brez opred.	7	debelo grevo		
5 - 15: lokalizacije metastaz				8	rektum		
				9	anus		
				10	žilne slinavke		
				11	pankreas		
				12	jetra		
				13	kolonik 1 koljni vodi		
				14	ledvice		
				15	tebur		
				16	testis		
				17	prostat		
				18	ovarij, tuba		
				19	tele maternice		
				20	vrat maternice		
				21	vagina 1 vulva		
				22	dojka		
5	kosti	1	da				
6	kostni mozeg	1	ne				
7	pljuča	1	da				
8	plevra	1	da				
9	peritonej	1	ne				
10	jetra	1	da				
11	možgani	1	ne				

Slika 3. Prikaz situacije za metastatični karcinom neznanega izvora.

SITUACIJA DA ANEMIE PANCREATITIS

Meritve:

1. LEVOCITNI	4650	st/mm <sup>3</sup>
2. GLOBULI	104	mg%
3. UREA	56	mg/100 ml
4. KALCIJ	8.8	mg%
5. ALBUMIN	2.5	g%
6. GOT	10	enote/l
7. GPT	8	enote/l

Primeri: ① Riv  
2 uri

Slika 2. Prikaz situacije za akutni pankreatitis.

nega pankreatitisa pripada en od dveh možnih odgovorov, ki v tem primeru predstavlja prognozo. Obkrožena številka pri prognozi je kodirana prognoza dane situacije. Sposobnost prognoziranja smo študirali na 300 različnih znanih situacijah o akutnem pankreatitisu. Adaptivni sistem smo učili na 200 znanih situacijah. Ostalih 100 situacij akutnega pankreatitisa smo uporabili v fazi postavljanja odločitev. Te situacije smo adaptivnemu sistemu prikazali kot neznane situacije. S primerjavo med računalniško postavljenjo prognozo in prognozo, ki je bila nam znana, smo ocenili uspešnost prognoziranja. Računalniški adaptivni sistem je na primeru 100 situacij o akutnem pankreatitisu v 85 % postavil pravilno prognozo. V 6 % primerov je ugotovil, da je prognoza lahko tudi drugačna, napačno prognozo pa je postavil v 9 % primerov. Naslednji poskus se je od prejšnjega razlikoval le v tem, da smo na mesto vseh 7 parametrov upoštevali le prve štiri parametre. Pri tem poskusu je adaptivni sistem postavil pravilno prognozo v 89 % in postavil napačno prognozo v 11 % primerov. Ta poskus kaže, da imamo za to mero prognostične sposobnosti situacijo akutnega pankreatitisa dovolj dobro opisano s prvimi štirimi parametri slike 2. To ugotovitev potrjujejo tudi medicinska spoznanja.

Sposobnost adaptivnega sistema pri ugotavljanju lege primarnega tumorja - pri klinični obdelavi metastatičnega karcinoma neznanega izvora, smo proučevali na 337 znanih situacijah. Posamezno situacijo tega diagnostičnega področja popisuje 17 parametrov in en od 22 možnih odgovorov - diagnoz. Slika 3. prikazuje primer kodiranja situacije karcinoma neznanega izvora. Obkrožene številke pri parametrih predstavljajo njihove znane in kodirane vrednosti. Vrednost parametra je neznana, če nobena od njegovih kodiranih vrednosti ni obkrožena. Obkrožena vrednost pri odgovoru "lega primarnega tumorja" pa je kodirana vrednost diagnoze. Diagnostično sposobnost adaptivnega sistema smo pri tej medicinski problematiki testirali na enak način kot pri prejšnjem primeru. Adaptivni sistem smo učili na 222 situacijah. Ostalim 115 situacijam je adaptivni sistem postavil diagnoze. V 51.5% primerov je postavil pravilno diagnozo, v 12 % primerov je ugotovil diagnozo kot eno od treh možnih diagnoz in v 35.5 % primerov postavil napačno diagnozo. Pri naslednjem poskusu smo od vseh 337 situacij izbrali 82 situacij za postavljanje diagnoz, za katere se smatra, da je z medicinskega vidika določitev pravilne diagnoze zahtevna. Pri tem testu smo vsem 337 situacijam odstranili prvi parameter -

starost, ker smo smatrali, da je ta podatek za tako malo število situacij irelevanten. Sklepanja so bila pravilna, saj je test pokazal povečano sposobnost diagnosticiranja. Adaptivni sistem je v 47 % primerov postavil pravilno diagnozo, v 8 % primerov je ugotovil pravilno diagnozo kot eno od treh možnih diagnoz in je bil neuspešen v 45 % primerov. Z namenom, da ugotovimo kaj ti procenti dejansko pomenijo, smo naredili primerjalno študijo. V tej študiji smo primerjali uspeh računalniškega adaptivnega sistema z diagnostičnim uspehom zdravnikov specialistov. 82 situacij o karcinomu neznanega izvora na katerih smo testirali adaptivni sistem smo dali v diagnosticiranje tudi trem zdravnikom specialistom onkologom in trem specialistom internistom. Rezultat diagnostične sposobnosti onkologov (specialist A, B in C) in internistov (specialist D, E in F) so podani v tabeli 1.

Tabela 1: Testi na situacijah karcinoma neznanega izvora (zdravniki specialisti)

Rezultat (%)	specialist onkolog			specialist internist		
	A	B	C	D	E	F
pravilna diagnoza	39	32	32	24	28	20
ugotovljena diagnoza	18	14	24	22	23	3
zgrešena diagnoza	43	54	44	54	49	77

Povprečni neuspeh (srednja vrednost) specialista onkologa je 47 %. Če primerjamo povprečen neuspeh specialista onkologa z neuspehom računalniškega adaptivnega sistema, ugotovimo, da ni bistvenih razlik. Adaptivni računalniški sistem je v konkretnem primeru dosegel diagnostično sposobnost specialista tega diagnostičnega področja. Povprečni diagnostični neuspeh specialistov internistov pa je 60 %. V primerjavi z diagnostičnim uspehom specialistov internistov je torej računalniški adaptivni sistem uspešnejši.

## 6. ZAKLJUČEK

Eksperimentalne študije, kjer smo proučevali sposobnost postavljanja odgovorov adaptivnega računalniškega sistema kažejo, da je sistem na obravnavanima medicinskima področjema uspešen. Sposobnost postavljanja pravilnih odločitev je sicer različna. Ta raznolikost sposobnosti se kaže v več vzrokih. Tako se smatra,



da je pri diagnozi karcinoma neznanega izvora zdravnikova diagnoza dobra, če v povprečju postavi napačno diagnozo v manj kot 45 % primerov. Pri prognozi akutnega pankreatitisa pa lahko pričakuje mo pravilno zdravnikovo prognozo v 80 do 85 % primerov.

Adaptivni računalniški sistem smo učili na znanih popolnih in nepopolnih situacijah. V fazi postavljanja odločitev pa je postavljajal odgovore popolnim in nepopolnim situacijam. Pri tem se predpostavlja, da so te situacije verna slika nekega stanja. Od vseh znanih situacij, ki smo jih dobili za eksperimentalne študije, pa so bili preverjeni odgovori in parametri le pri situacijah akutnega pankreatitisa. Parametri teh situacij so izmerjeni z dovolj zanesljivimi metodami, njihova prognoza pa je resnična, saj preživetje pacienta ni težko ugotoviti. Lahko rečemo, da je pri določevanju teh situacij izključen subjektivni moment zdravnika. Pri karcinomu neznanega izvora imamo nekatere parametre, ki so podvrženi subjektivni oceni zdravnika. Zaradi te subjektivnosti je verjetno, da so vrednosti tako določenih parametrov približne. Prav tako lahko računamo na napake pri njihovih odgovorih, ker niso bili preverjeni. Če se adaptivni računalniški sistem uči na slabo ponazorjenih situacijah je jasno, da je njegova diagnostična sposobnost manjša kot pa bi bila v primeru, če bi se učil na dobro ponazorjenih situacijah s preverjenimi odgovori.

Za obe obravnavani medicinski področji je skupno, da smo pri učenju adaptivnega sistema imeli razmeroma malo situacij. Dobre rezultate smo dosegli pri prognozi akutnega pankreatitisa. Pri diagnostiki karcinoma neznanega izvora pa so bile nekatere diagnoze zastopane z manj, druge pa z neprimerno več situaciji kot je bilo povprečno število situacij na odgovor.

## 6. LITERATURA

- /1/ Soklič M.: "Adaptivni postopek za sintezo razporejevalca vzorcev". Univerza v Ljubljani, 1978, doktorska disertacija.
- /2/ Soklič M., L.Gyergyek: " A new adaptive method for medical decision making". Radiol. Jugosl., 14, pp.101-118, 1980.
- /3/ Soklič M., G.Klanjšček, M.Erjavac, M.Zwitter, V.Žakelj: "Računalniška diagnostika". Onkološki inštitut, Ljubljana. (Raziskovalna naloga, financirana na osnovi pogodb št. M-302/1189-79 in št. M-302/3381-80), 1980.