V. Kudrjavcev, Ž.Knap

PRIMER NAPOVEDOVANJA RAZVOJA DISKRETNEGA PROCESA

AN EXAMPLE OF PREDICTION OF THE DISCRETE PROCESS DEVELOPMENT. A discrete process with a finite series (word or matrix) is described and an algorithm its of prediction proposed. The algorithm is based on pattern recognition methods. Possible applications in planning, projecting and forecasting could be found.

0. Uvod

Ob študiju planske prakse imamo opravka z nasledmjo situacijo: Na razpolago so podatki o preteklih planih in njihovi realizaciji. Zanima nas napoved realizacije nekega plana, če imamo na razpolago podatke o predhodnih realizacijah (končno predzgodovino) v obliki matrike ali niza. Prispevek daje odgovor na to vprašanje znotraj določenega razreda rešitev. Predlagani postopek je osnovan na metodah prepoznavanja vzorcev za napovedovanje razvoja diskretnega procesa, ki je podan s končnim nizom stanj sistema. Procese takšnega tipa je možno najti na področju planiranja, projektiranja, itd.

1. Formulacija problema napovedovanja

Denimo, da je podan objekt A, ki ga v vsakem časovnem trenutku t opišemo s parametrom $a(t)$, ki ga imenujemo stanje objekta, kjer $a(t)$ zavzema vrednosti iz množice E z elementi $e_1, \ldots, e_k$, čas t je diskreten in naj zavzema vrednosti 1,2,3,... .Podana naj je hipoteza spreminjanja stanj objekta A od nekega časa t+1 do t+s. Studiramo torej končen niz stanj, namreč $a(t+1), \ldots, a(t+s)$. Dejanska stanja, ki so lahko različna od hipoteze, pa naj bodo $a'(t+1),\dots,a'(t+s)$. Oba končna niza označimo z A^s in A'^s. Predpostavimo, da imamo podano r takšnih parov nizov A_i^s in A'^s_i, $i=1, 2, \dots, r$, prav tako pa tudi niz A_{r+1}^s. Našo nalogo lahko zdaj formuliramo kot problem določitve niza A'^s_{r+1}. Imenujmo to nalogo napovedovanje stanj objekta A na intervalu dolžine s pri podani predzgodovini, določeni z nizi A_i^s in A'^s_i, $i=1, 2, \dots, r$ in pri hipotetičnem nizu A_{r+1}^s. Predzgodovina ima vlogo učenja. Realne primere, ki nas pripeljejo na ta model, lahko najdemo na najrazličnejših področjih: napovedovanje realizacije plana v ekonomiji, ocena dela eksperta, ki načrtuje spremembe stanj kakšnega tehničnega ali fizičnega objekta, napoved obnašanja kolektivov (ljudi) ali posameznikov, ki izpolnjujejo določeno nalogo itn. Ta problem lahko proučujemo tudi v primeru, ko je A določen s sistemom podobnih parametrov, tedaj je parameter večrazsežna količina, torej vektor. Nalogo pa lahko razširimo tudi na primere, ko v predzgodovini niso poznane vse vrednosti parametrov in skušamo napovedati ne samo niz A'^s_{r+1} ampak tudi A_{r+1}^s.

2. Pristopi k reševanju problema napovedovanja

Zberimo naše podatke v obliki naslednje matrike T:

$$T=\left\|\begin{matrix} A_1^s,\ A'^s_1 \\ \dots\dots \\ \dots\ \dots \\ \dots\dots \\ A_r^s,\ A'^s_r \end{matrix}\right\| = \left\|\begin{matrix} a_{11}, & a_{12}, & \dots, & a_{1s}, & a'_{11}, & \dots, & a'_{1s} \\ \dots & \dots & & \dots & & & \dots \\ \\ \dots & \dots & & & & & \dots \\ a_{r1}, & & \dots, & a_{rs}, & a'_{r1}, & \dots, & a'_{rs} \end{matrix}\right\|$$

Naj bo m naravno število, ki zadošča pogoju $s+1 \le m \le 2s$. Označimo s

T_m matriko, ki jo dobimo iz T tako, da izberemo prvih m stolpcev. Stolpce te matrike oštevilčimo z leve proti desni od 1 do m. (Pod)množico k števil iz tego oštevilčenja imenujmo test $S=(i_1, . i_k)$, če je podmatrika matrike T_m sestavljena iz stolpcev, ki so označeni s temi števili, tako da je iz samih med seboj različnih vrstic. Množico vseh testov za matriko T_m označimo s $S(T_m)$.

Naj bo A^m iz E^m. Najprej opišimo postopek, ki določa "podobnost" niza A^m neko vrstico iz T_m. Izberimo S iz $S(T_m)$ in poiščimo temu testu odgovarjajočo podmatriko iz T_m, ki ima očitno vse vrstice paroma različne. Konstruirajmo glede na test S podvrstico iz vrst A^m. Za tako podvrstico sta možni dve izključujoči se možnosti: (1 podvrstica sovpada z eno od podvrstic matrike T_m (označimo to podvrstico z i), ali (2) podvrstica je različna od vseh vrstic te podmatrike. V prvem primeru štejemo, da je test S kot "ekspert" opredelil podobnost niza A_m z i-to vrstico matrike T_m, v drugem primeru pa se je "ekspert" S odpovedal vsaki odločitvi. Ta postope naredimo za vsak test S. Rezultat postopka je vektor $p=(p_1, p_2, .. p_r, q)$, kjer je p_j število "glasov", ki jih je dobil niz A_m za podobnost z j-to vrstico iz T_m, pri tem pa je q celotno število situacij, ko ni bila sprejeta nobena odločitev o podobnosti niza kakšni vrstici. Ugodno je, če se odločimo za normiran vektor p', k ga dobimo iz p z deljenjem vsake njegove komponente s številom vse testov in da delamo z vektorjem $p'=(p'_1, \ldots, p'_r, q')$. Seveda je vsota vseh koordinat tega vektorja enaka 1. Vrednosti njegovih koordinat lahko interpretiramo kot porazdelitev verjetnosti sovpadanja z odgovarjajočo vrstico iz T_m ali z verjetnostjo q', da sovpada z nobeno vrstico iz T_m.

Naslednji korak postopka je podaljšanje besede (niza) A^m na A^{m+1}. Ogledamo si m+1 stolpec matrike T, v kateri se nahajajo naslednje vrednosti e_{i1}, ... ,e_{iw}. Pripišemo vsaki od teh vrednosti utež, ki je dobljena takole: za vsak e_{ij} vzamemo vse tiste vrstice iz T_m, ki se nadaljujejo v T_{m+1} z elementom e_{ij} in seštejemo iz vektorja p' tiste količine, ki ustrezajo indeksom vrstic. S tistim elementom, ki je dobil največjo utež podaljšamo besedo A^m. Tako dobimo besedo A^{m+1}. Neformalno lahko rečemo, da smo izbrali najbolj verjetno nadaljevanje besede A^m. Kaj pa, če je najbolj verjetnih primerov več? Tedaj izberemo poljubnega iz teh najbolj verjetnih podaljšanj. S tem je opisan makrokorak podaljševanja esede A^m do besede A^{m+1}, ko smo začeli z m=s. Z nadaljevanjem tega postopka dobimo na kraju besedo A^{2s}. Za to, da bi ocenili verodostojnost našega napovedovanja, je potrebno seveda študirati vse variante dopolnitve besede A^s o besede A^{s+1}, če je seveda več variant. Potem je potrebnov nasledjih korakih dopolnjevati te variante z ustreznimi variantami itn. Potem je šele možno oceniti verodostojnost vsake variante posebej. To nam daje splošno predstavo o možnih izhodih. V primeru, ko matrika T_m ni velika (red matrike je 15 vrstic in 15 stolpcev), lahko uporabljamo za iskanja testov in izračunavanja podobnosti vektorja A^s posameznim vrsticam matrike T_m postopke, ki preberejo vse variante. Postopki so opisani v Konstantinov, Koroleva, Kudrjavcev (1976). V primerih, ko je red matrike T_m pomembno večji od omenjenega, je možno ali zožiti izbor testov na račun omejitve glede na dolžino testov (npr. na $2.\log_k r$), ali pa realizirati izbor testov s pomočjo generatorja slučajnih števil. S tem pa pridemo k stohastični "podobnosti" besede A^m vrsticam matrike T_m.Do prve rešitve pridemo s pomočjo manjše modifikacije zgoraj opisanega determinističnega postopka iskanja testov, do druge variante pa s pomočjo sheme, ki je opisana v članku Andreeva (1980).

Pripomnimo končno, da je osnova postopka, ki v našem primeru določa podobnost - test. Sam postopek pa je naravnan na situacijo, ko lahko črkam v besedah (vektorjih) pripisujemo bolj kvalitativen pomen, ne da bi nas posebej zanimala intenziteta te kvalitete in ni potrebno vedeti nič o povezavah med posameznimi črkami. Po domače povedano, treba je vedeti zelo malo o naravi teh črk in njihovih povezavah.

V opisani situaciji je možna zamenjava testnega postopka z drugimi funkcionali vzetimi iz zakladnice prepoznavanja vzorcev. Shemo algoritma, ki realizira naš pristop k napovedovanju, lahko opišemo takole: Izhajajmo iz dane matrike T in vektorja A^s. Znan je osnovni parameter m, ki preteče vrednost od s do 2s. Bazični operator O1 kontrolira parameter m in začne delo, ko je parameter m=s, predaja delo operatorjema O2 in O3, in poveča parameter m za 1. Delo je zaključeno, ko je parameter m=2s in kot sumarni rezultat izda zadnji rezultat operatorja O3 (glej blok shemo na koncu teksta). Operator O2 konstruira vektor p, operator O3 pa na osnovi vektorja p izbere simbol s katerim podaljšamo vektor A^m. Operator O2 dela takole: naj bo na števcu operatorja O1 vrednost m. V svojem delu operator O2 izrablja generator slučajnih števil D, ki generira boolevski vektor $b=(b_1, \ldots, b_m)$. Če je v b več enic kot $2.\log_k r$, tedaj se ponovno obrača h generatorju. Če pa je enic manj od tega števila, tedaj preverja podvektor vektorja b, ki je sestavljen samo iz enic, ali je test za odgovarjajočo podmatriko stolpcev iz matrike T_m. Če ta podvektor ni test, se spet vračamo h generatorju D, če pa je test, potem izberemo v skladu z njim podvektor iz A^m in ga primerjamo z vrsticami podmatrike, ki jo izrežemo iz T_m s pomočjo testa. Če ugotovimo sovpadanje z vrstico, ki je oštevilčena z i, prištejemo v i-to celico r+1 celičnega registra enico, če pa ni sovpadanja z nobeno vrstico, prištejemo enico v celico r+1 (konstrukcija vektorja p). Operator O2 ima prav tako števec in ko je opisani postopek izpolnjen, se vrne spet h generatorju D, pri tem pa poveča vrednost na števcu za 1. Cikel se zaključi po $t=(2^m)^{1/2}$ takšnih korakih. Po tem izvedemo normiranje vrednosti v posameznih celicah registra z deljenjem s t. Kot rezultat dobimo vektor p', ki je približek vektorja p. Operator O3 poišče v p' največjo koordinato, označimo jo z j, potem pa na osnovi te koordinate poišče v T_m pri $m \leq 2s$ j-to vrstico in podaljša A^m na desno z vrednostjo m+1 simbola iz j-te vrstice.

LITERATURA

Konstantinov P.M., Koroleva Z.E., Kudrjavcev V.B.(1976):
O kombinatorno-logičeskom podhode k zadačam prognoza rudonosnosti. Problemy kibernetiki, št. 31, Moskva.
Andreev A.E. (1980):
Nekotorye voprosy testovogo raspoznavanija obrazov. DAN SSSR, zvezek 255, št. 4, str. 781-784.