

Fuzzy logika v Inverznej kontinuálnej metóde

Edita Lazarová, Ludmila Ušalová a Vít'azoslav Krúpa¹

Fuzzy Logic in Inverse Continuous Method

In the field of geotechnics, certain vagueness and ambiguity appears. We might not be able to design a mathematically accurate description of rock, whose properties change during the excavation (rock strength, discontinuities direction, dislocations, rock type). Furthermore, the excavation regime (thrust, revolutions, torque) changes too, as well as the edge angle of cutting tools (due to wear) and working ability of cutterhead as result of sequential exchanges of worn-out cutterhead discs. All of these facts cause that the cutterhead operates using the discs with different wear stage. The above mentioned problems led us to the decision to use the fuzzy logic and fuzzy sets, e.g. techniques operating with vagueness and ambiguity.

Key words: fuzzy logick, fuzzy expert system, knowledge base

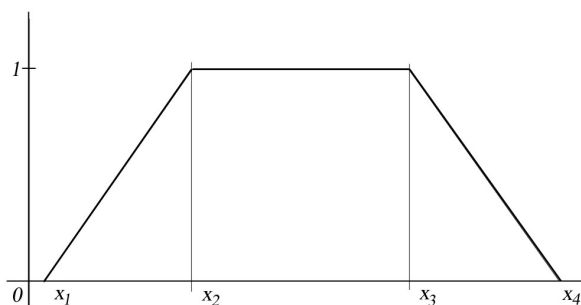
Úvod

Fuzzy logika vychádza z teórie fuzzy množín, ktorej základy položil prof. L.A. Zadeh v roku 1965. Slovo fuzzy znamená neostý, matný, neurčitý, vágny. Odpovedá tomu aj fuzzy teória, ktorá sa snaží pokryť realitu v jej nepresnosti a neurčitosti.

V klasickej teórii množín prvok do množiny alebo patrí (úplné členstvo v množine), alebo nepatrí (žiadne členstvo v množine). Fuzzy množina pripúšťa aj čiastočné členstvo v množine. Fuzzy množina A na univerze U je funkcia

$$A: U \rightarrow \langle 0;1 \rangle .$$

Funkcia A sa zvyčajne nazýva funkcia príslušnosti fuzzy množiny A. Každému prvku $x \in U$ je priradený prvok $Ax \in \langle 0;1 \rangle$, ktorý sa nazýva stupeň príslušnosti prvku x do fuzzy množiny A. Ak je $Ax=0$, potom x nepatrí do A, ak je $Ax=1$, potom x patrí do A. Ak $Ax \neq 0,1$, potom x čiastočne patrí do fuzzy množiny A (Navara, 2001). V klasickej matematike sa pri dvojhodnotovom vnímaní musíme rozhodnúť, kam daný stav patrí. Často dochádza k silnému a nepresnému zaokrúhľovaniu, čo vedie k chybám. Vo fuzzy logike vzniká zdanlivý paradox, keď sa zvýši presnosť pri akceptovaní práce s neurčitou (Novák, 1986).



Obr. 1 Grafické zobrazenie fuzzy množiny
Fig. 1. Graphic illustration of the fuzzy aggregate

Základnou prednosťou fuzzy logiky je jej schopnosť matematicky podchytiť informácie vyjadrené slovne. Umožňuje pracovať s nejednoznačnými pojmami často používanými v ľudskej reči. Na riešenie problému využíva znalosti expertov uložené v počítači vo forme dat alebo pravidiel. Vzájomnú transformáciu medzi symbolickou a číselnou formou reprezentácie

popisovaného javu umožňuje lingvistická premenná. Je schopná vytvárať množinu viacerých navzájom súvisiacich fuzzy množín.

Vlastnosti fuzzy expertného systému

Na základe matematického aparátu teórie fuzzy množín a fuzzy logiky bol vyvinutý fuzzy expertný systém. Tento systém má mimoriadnu výhodu v tom, že umožňuje prácu s číselnými i verbálnymi informáciami, priamu komunikáciu s odborníkmi z danej problematiky, použitie obvyklej odbornej terminológie, pričom odpoveď expertného systému môže byť prezentovaná aj slovne. Najzávažnejšou časťou expertného systému je báza znalostí. Tá rozhoduje o celkovej kvalite expertného systému a predovšetkým o kvalite odpovede. Z praktických

¹ Ing. Edita Lazarová, PhD., Ing. Ludmila Ušalová, host' Prof. Ing. Vít'azoslav Krúpa, DrSc., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, lazarova@saske.sk, usalova@saske.sk, krupa@saske.sk,
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 8. 12. 2004)

dôvodov je dôležité, aby jej vytváranie bolo pomerne jednoduché a zrozumiteľné aj po dlhšom časovom odstupe, pre jej prípadné doplnenie. Postup jej tvorby môžeme rozdeliť do niekoľkých základných krokov (Imrich, 1994):

- jednoznačné stanovenie cieľa,
- rozbor úlohy (stanovenie tých faktorov, ktoré ovplyvňujú sledovaný dej),
- vytvorenie zoznamu premenných veličín,
- zostavenie lingvistických hodnôt pre každú premennú,
- definovanie ekvivalentných fuzzy množín,
- formulovanie znalostí do tvaru podmienených výrokov,
- ocenenie výrokov váhou.

Stupeň naplnenia bázy znalostí je závislý na dostupných znalostiach a skúsenostiach.

Báza znalostí

Štúdiom procesu rozpojovania hornín a jeho monitorovaním sa na Ústave geotechniky zaoberáme už dlhé roky. Poslednými aplikáciami v praxi bolo monitorovanie procesu razenia východnej časti prieskumnej štólne Branisko raziacim strojom WIRTH TB-II-330H/M a prieskumnej štólne Višňové – Dubná skala strojom VOEST ALPINE ATB 35HA. Monitoring nám umožnil získať rádovo väčší počet informácií v porovnaní s klasickými metódami inžiniersko-geologického prieskumu. Interval vzorkovania základných veličín razenia na oboch raziaciach strojoch bol približne 2 s. Môžeme teda hovoriť o kvázi kontinuálnom zázname snímaných veličín.

Proces razenia sa monitoroval počítačovým systémom, ktorý vypočítal z nameraných údajov optimálny režim razenia. Systém zabezpečujúci tento výpočet sa nazýva WORS (w-optimalizátor raziaceho stroja). Rozsiahly súbor dát získaný z monitorovania procesu strojného razenia prieskumných štôlní diaľničných tunelov Branisko a Dubná skala slúži pre ďalší výskum procesu rozpojovania hornín diskovými dlátami. Zisťuje sa vplyv horninového prostredia, parametrov režimu razenia, zmeny geometrických charakteristík rozpojovacieho nástroja na hodnoty skúmaných veličín procesu rozpojovania. Je možná tiež spätná simulácia razenia v kvázi reálnom čase. Bola vypracovaná metóda IKONA (Inverzná kontinuálna metóda hodnotenia vlastností horninového masívu), ktorá umožňuje transformovať veličiny charakterizujúce proces razenia, na veličiny charakterizujúce vlastnosti horninového masívu. Výsledky získané systémom IKONA boli porovnané s výsledkami získanými pri štandardných metódach inžinierskogeologických meraní (Krúpa, 1998).

Zložitosť systému hornina – nástroj, poznatky z analýzy údajov získaných z monitorovania procesu razenia a dlhoročné skúsenosti zo štúdia procesu rozpojovania hornín nás priviedli k myšlienke použiť Fuzzy expertný systém, ako ďalšiu metodiku pre spracovanie databázy údajov získanej z razenia.

Návrh štruktúry a vlastností fuzzy expertného systému v Matlabe

Návrh expertného systému bol realizovaný použitím programu Fuzzy Logic Toolbox. Je to kolekcia funkcií v rámci výpočtového prostredia MATLABu. Ponúka nástroje pre tvorbu a úpravu fuzzy inferenčných systémov. Zároveň umožňuje zabudovanie vlastných samostatných fuzzy programov, ktoré môžu pracovať s fuzzy systémom v Matlabe. Dátová a znalostná báza bola zadávaná pomocou interaktívneho grafického prostredia (Graphical User Interface GUI), ktorý obsahuje nástroje pre vytvorenie a editáciu (FIS, MF, Rule editor) ako aj zobrazenie fuzzy inferenčného systému (Rule a Surface Viewer).

FIS (Fuzzy Inference System) editor – slúži pre zadenovanie počtu a mien (v podobe jazykových premenných) vstupných a výstupných parametrov.

MF (Membership Function) editor – kde definujeme pre všetky vstupné a výstupné premenné rozsah univerza, počet funkcií príslušnosti, ich tvary a mená.

Rule editor – vkladáme doň znalostnú bázu v tvare fuzzy inferenčných pravidiel, vrátane hodnôt váh jednotlivých pravidiel.

Výstupný blok v rámci grafického rozhrania Fuzzy Logic Toolbox nezodpovedal našim požiadavkám, preto sme prišli k zostaveniu vlastného programu. Program bez medzikrokov charakteristických pre nástroj Rule Viewer zahŕňa inferenčný proces, pozostávajúci z 5 častí:

- fuzzyfikácia vstupných premenných tzn. určenie stupňa príslušnosti fuzzy množiny v závislosti na funkcii príslušnosti,
- aplikácia fuzzy operátora AND v antecedente (predpokladovej časti),
- implikácia, tzn. tvarovanie konsekventa (dôsledkovej časti) na základe hodnoty antecedenta použitím implikačných metód (v súčasnosti je známych približne 40 metód),
- zlučovanie (agregácia) konsekventov pre prípad ak výstupnú fuzzy množinu ovplyvňuje viac než jedno pravidlo,
- defuzzyfikácia, prostredníctvom jej metód získavame z výstupnej fuzzy množiny ostrú hodnotu sledovanej veličiny.

Grafické zobrazovanie výstupu procesu inferencie je závislé na vstupných premenných, ktoré užívateľ môže zadávať v editovacích riadkoch prislúchajúcim jednotlivým premenným. Výstup je vyobrazený plochou, predstavujúcou pravdepodobnostné určenie výstupnej veličiny v rámci jednotlivých termov (lingvistických hodnôt premennej), ako aj vo forme jednej ostrej hodnoty. Program ponúka možnosť priamo meniť metódy aplikácie operátorov, implikácie, agregácie, defuzifikácie štandardne naprogramovaných v prostredí Matlab. Nakoľko program je stále vo vývoji, jeho funkcie nie sú ešte ucelené.

Aplikácia fuzzy expertného systému

Nami vytvorená báza znalostí obsahuje 5 premenných veličín. Nezávislými premennými sú prítlak hlavy raziaceho stroja – F [kN], hĺbka zatlačenia disku do horniny – h [mm], krútiaci moment hlavy raziaceho stroja – Mk [kN.m] a RQD koeficient. Závislou premennou, ktorá zároveň predstavuje výstupnú premennú je pevnosť horniny v prostom tlaku σ_{tH} [MPa].

Báza znalostí obsahuje ako hlavné režimové parametre prítlak, krútiaci moment a hĺbku zatlačenia disku do horniny. Parameter prítlaku sme rozdelili do piatich lingvistických hodnôt, krútiaceho momentu do štyroch a hĺbky zatlačenia tiež do štyroch lingvistických hodnôt. Pri voľbe týchto hodnôt sme vychádzali z veľmi presných údajov získaných z monitorovania procesu strojného razenia diaľničného tunela Branisko. Pre každú lingvistickú hodnotu sme definovali príslušnú fuzzy množinu štvoricou čísiel a, b, c, d. Intervaly a-b, c-d sú intervaly fuzzy príslušnosti prvku k množine. Interval b-c vyjadruje interval istej príslušnosti prvku k množine. Ďalším vstupným parametrom, ktorý charakterizuje vlastnosť horniny je RQD koeficient. Výstupným parametrom je pevnosť horniny v tlaku σ_{tH} . Pre stanovenie lingvistických hodnôt sme použili klasifikáciu pevnosti podľa Protodjakonova.

Na obr.2 je lingvistická prezentácia premenných databázy a na obr.3 je lingvistická prezentácia prítlaku vo fuzzy expertnom systéme.

F				
	a	b	c	d
Velmi Male	400	600	800	1000
Male	900	1000	1200	1300
Stredne	1200	1300	1400	1500
Velke	1400	1500	1600	1700
Velmi Velke	1600	1800	2100	2400

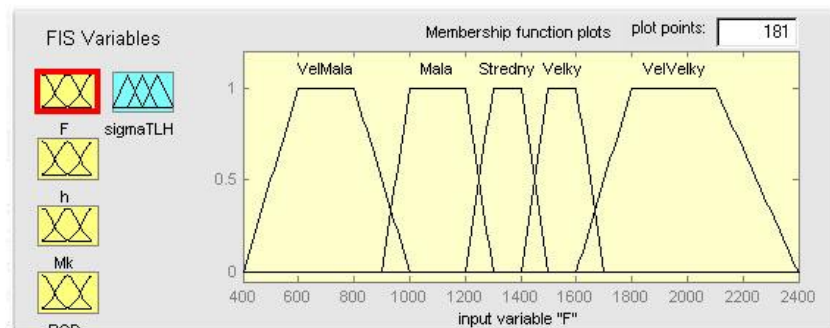
RQD				
	a	b	c	d
Velmi Zla	0	10	23	26,5
Zla	18	25	48	51,5
Stredna	40	50	74	76,5
Dobra	60	75	89	91,5
Excelentna	85	90	100	120

Mk				
	a	b	c	d
Male	20	40	40	60
Stredne	50	70	70	90
Stredne Velke	80	100	100	110
Velke	100	120	130	140

h				
	a	b	c	d
Mala	1	1,5	2	2,3
Stredna	2	2,3	3	3,3
Velka	3	3,3	3,7	4
Extrem	3,7	4	4,5	6

σ_{tH}				
	a	b	c	d
Makke	3	10	20	30
StrednePevna	25	30	40	55
DostPevna	45	50	60	80
Pevna	60	80	100	120
VelmiPevna	115	150	200	350

Obr. 2. Lingvistická prezentácia premenných databázy
Fig. 2. Linguistic presentation of database variables



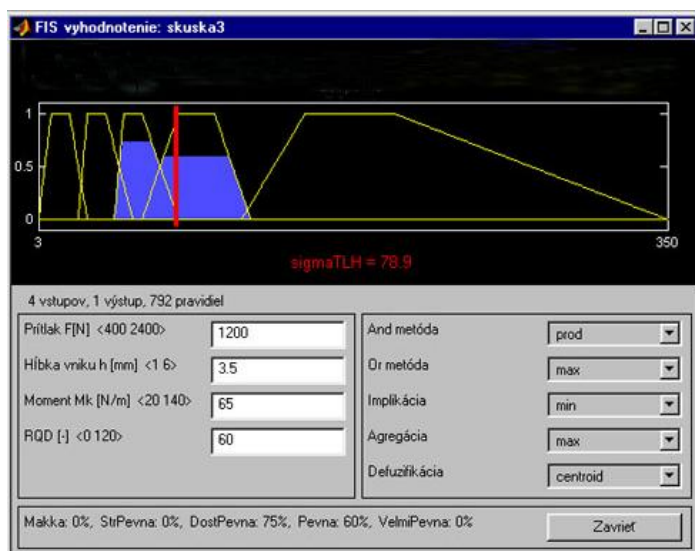
Obr. 3. Lingvistická prezentácia prítlaku vo fuzzy expertnom systéme
Fig. 3. Linguistic presentation of thrust in the expert system

Vytvorená báza znalostí obsahuje 792 pravidiel typu IF-THEN. Každý výrok sme ohodnotili váhou na základe našich poznatkov získaných z dlhoročného štúdia procesu rozpojovania a z analýzy dát získaných z monitorovania strojného razenia. Na obr.4 je prezentovaná tvorba pravidiel a ich ocenení váhou.

Obr. 4 Podmienené výroky a ich ocenenie váhou

Fig. 4. Conditional statements and their balance pricing

Samotná práca fuzzy expertného systému spočíva v hľadaní adekvátnej odpovedi na položenú otázku. Odpoveď je vyhľadávaná v báze znalostí na princípe maximálnej podobnosti medzi otázkou a odpoveďou. Na obr. 5 je grafické riešenie odpovedí fuzzy expertného systému.



Obr. 5. Grafický výstup expertného systému

Fig. 5. Graphical output of the expert system

Záver

Táto úloha je v štádiu rozpracovania a je súčasťou grantovej úlohy G-3209. Jej cieľom je verifikovať funkčnosť vytvorenej bázy znalostí a v budúcnosti sa zameráme na prechod z úlohy analyzátora k jej aktívnej účasti na riadení a rozhodovaní.

Literatúra - References

- Imrich, P.: Možnosti využitia bázy pre hodnotenie impregnovaných diamantových nástrojov., *KDP, Košice, 1994.*
- Krúpa, V.: Hypotézy, modely, teórie a ich verifikácie pri plnoprofilovom razení. [*Doktorská dizertačná práca*], *Košice ÚGt SAV, 1998, 251 s.*
- Navara, M., Olšák, P.: Základy fuzzy množín., *Praha 2001-2002*, <http://math.feld.cvut.cz/pub/olsak/fuzzy/>.
- Novák, V.: Fuzzy množiny a jejich aplikace., *Praha 1986, SNTL, s. 280.*