Статистический метод анализа нечетких классов для построения модели прогноза

Ирина Хуцишвили
Тбилисский Государственный Университет им. Ив. Джавахишвили
Email: cyber@viam.hepi.edu.ge

Аннотация:

В настоящей статье предложена математическая модель прогноза, основанная на применении статистического метода анализа нечетких классов.

Рассмотрен конкретный пример составления прогноза землетрясений на основе одного из факторов-предвестников. В качестве такого фактора выбрана величина напряженности электрического поля. Исходные данные – статистика землетрясений в Кавказском регионе в 1955-1992 годах.

Для проверки работы метода взяты 20 произвольным образом выбранных землетрясений. Прогноз оправдался в 70% случаев, что можно считать вполне удовлетворительным результатом, тем более, что выбранный фактор является не самым главным фактором- предвестником землетрясения.

Ключевые слова: *нечеткие множества, землетрясение, функции совместимости, многофакторный линейный синтез, принцип максимума возможностей.*

1. Для построения модели прогноза, прежде всего, необходимо классифицировать прогнозируемый объект с учетом характеризующих его факторов. Например, прогнозируемый объект – землетрясение – можно разделить на несколько т. н. прогнозируемых классов: «слабое землетрясение», «среднее землетрясение», «сильное землетрясение»... Очевидно, что в этом случае невозможно провести строгих границ между классами классификации, т. е. прогнозируемое понятие содержит нечеткость. Если классы классификации оказываются нечеткими множествами, применение методов классической статистики не дает достоверных результатов. В подобных случаях целесообразно применение статистического метода анализа нечетких классов. [1]

2. Опишем математическую модель прогноза, построенную с применением статистического метода анализа нечетких классов (статистики нечетких классов) .

В математической модели объект прогнозирования представлен соответствующей прогнозируемой величиной, вся область значений которой делится на прогнозируемые классы: $M_1, M_2, \ldots, M_n$. Каждому классу ставится в соответствие численный интервал. Определяются соответствующие функции совместимости прогнозируемых понятий (функции принадлежности классу): $\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_n$. Определение этих функций всегда содержит в себе субъективный момент – мнение эксперта о степени принадлежности прогнозируемого объекта прогнозируемому классу. Т. к. упомянутые классы являются нечеткими, суппорты функций совместимости пересекаются.

Значение прогнозируемой величины зависит от определенных параметров, или прогнозирующих (помогающих составить прогноз) факторов: $X_1, X_2, \ldots, X_p$. Каждый из факторов, в свою очередь, делится на классы (подфакторы): $X_{k1}, X_{k2}, \ldots, X_{km}$, где $k = \overline{1, p}$; $X_k = \bigcup_{i=1}^{m} X_{ki}$. Количество прогнозирующих факторов и их классов, а также пределы их численных интервалов могут быть выбраны произвольно.

Для выборочных частот j – того класса X_k – того фактора соответствующего i -того прогнозируемого класса вводятся обозначения n^i_{kj}. В математической модели эти величины представляют первичную информацию (первичные данные), и их получают непосредственным наблюдением и измерениями. При помощи величин n^i_{kj} и μ_i по известным формулам определяются нечеткие выборочные частоты и нечеткие относительные частоты : [2]

$$\tilde{n}^m_{kj} = \sum_i \mu^m_i \cdot n^i_{kj} \ , \qquad \tilde{f}^m_{kj} = \frac{\tilde{n}^m_{kj}}{\sum_i \tilde{n}^i_{kj}} \ , \tag{1}$$

где μ^m_i – среднее значение функции совместимости, когда прогнозируемая величина из i -того прогнозируемого интервала принадлежит m -тому прогнозируемому классу.

Вычисляются также нечеткие веса для каждого интервала прогнозирующего фактора:

$$w_{kj} = \frac{\sum_i \tilde{n}^i_{kj}}{\sum_j \sum_i \tilde{n}^i_{kj}} . \tag{2}$$

После этого для определенной выборки факторов прогнозируемой величины (прогнозирующих факторов) уже можно сделать прогноз: необходимо только определить нечеткие веса каждого прогнозирующего фактора в соответствии с его интервалом и осуществить многофакторный линейный синтез нечетких весов и нечетких относительных частот, а затем сравнить численные значения, полученные для каждого прогнозируемого класса.

3. Рассмотрим конкретный пример применения метода статистики нечетких классов.

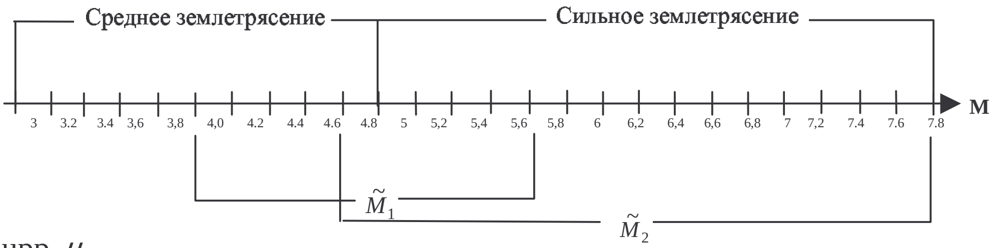
Первичные данные – статистика землетрясений в Кавказском регионе [3] в 1955-1992 годах. Данные взяты за последние 10 дней до землетрясения в каждый из произвольно выбранных случаев землетрясений. В качестве фактора-предвестника рассматривается значение напряженности электрического поля. Данные собраны с шагом в 1 час: $0^{\underline{00}}$ –$1^{\underline{00}}$; $1^{\underline{00}}$ –$2^{\underline{00}}$; ... ; $23^{\underline{00}}$ –$24^{\underline{00}}$. Модель прогноза строится на основе 2-х предположений: 1) прогнозируемый параметр – землетрясение – зависит от значений характеризующих его факторов; 2) решение принимается на основе многофакторного синтеза [4].

Объект прогнозирования – землетрясение – описывается при помощи лингвистической переменной со следующими значениями: «среднее землетрясение», «сильное землетрясение» [5] и характеризуется численным значением величины магнитуды (M). При $3 < M < 5$ наблюдается «среднее землетрясение»; при $5 \le M \le 8$ – «сильное землетрясение». Обозначим определившиеся прогнозируемые классы через M_1 и M_2 .

Значительную роль в модели играют функции совместимости прогнозируемых понятий, более точно, средние значения этих функций с учетом интервалов прогнозируемых классов. Приведем определение функций совместимости, которыми мы будем пользоваться при рассмотрении нашего примера:

$$\mu_1(M) = \begin{cases} 0, & M \le 4 \\ \dfrac{1}{1 + (3{,}1(M - 4{,}5))^2}, & 4 < M < 6; \end{cases} \qquad \mu_2(M) = \begin{cases} 0, & M < 5; \\ \dfrac{1}{1 + (1{,}3(M - 7))^2}, & 5 \le M \le 7. \\ 1, & M > 7. \end{cases}$$

Приведем также схему перекрытия интервалов прогнозируемых классов и суппортов функций совместимости



где $\widetilde{M}_i = \text{supp } \mu_i$.

Так как прогнозируемые классы представлены в виде интервалов, необходимо усреднить функции совместимости по этим интервалам. Пусть μ_i^j есть усредненное значение μ_j с учетом пересечения суппорта i-того прогнозируемого нечеткого класса и supp μ_j:

$$\mu_1^1 = \int_{4,0}^{5,0} \frac{dM}{1+(3{,}1(M-4{,}5))^2} \approx 0{,}6438; \qquad \mu_2^1 = \frac{1}{0{,}8}\int_{5,0}^{5,8} \frac{dM}{1+(3{,}1(M-4{,}5))^2} \approx 0{,}1330;$$

$$\mu_1^2 = \int_{4,8}^{5,8} \frac{dM}{1+(1{,}3(M-7))^2} \approx 0{,}1798; \qquad \mu_2^2 = \frac{1}{1{,}2}\int_{5,8}^{7,0} \frac{dM}{1+(1{,}3(M-7))^2} \approx 0{,}6415.$$

Обратимся теперь к факторам, характеризующим объект прогнозирования $X_1, X_2, \ldots, X_{24}$, где X_i – величина напряженности электрического поля в интервале времени $(i-1, \; i)$. Каждый из факторов в свою очередь делится на подфакторы $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}$ $(x_{ik}, k=\overline{1,4})$, где x_{i1} – значения напряженности электрического поля в интервале [-104,0; 2,8]; x_{i2} – в интервале (2,8; 5]; x_{i3} – в интервале (5; 10]; x_{i4} – в интервале [10; 123,20].

При этом $X_i = \bigcup_{j=1}^{4} x_{ij}$.

Обработав первичные данные (значения напряженности электрического поля за день и в день землетрясения), получаем таблицу значений частот четких классов n_{kj}^i.

Таблица значений частот n_{kj}^i четких классов

Фактор		M_1 n_{kj}^1	M_2 n_{kj}^2	Фактор		M_1 n_{kj}^1	M_2 n_{kj}^2	Фактор		M_1 n_{kj}^1	M_2 n_{kj}^2
X_1	x_{11}	6	4	X_9	x_{91}	2	1	X_{17}	x_{171}	4	2
	x_{12}	7	8		x_{92}	3	5		x_{172}	1	3
	x_{13}	5	4		x_{93}	10	6		x_{173}	7	8
	x_{14}	2	4		x_{94}	5	8		x_{174}	8	7
X_2	x_{21}	5	3	X_{10}	x_{101}	3	4	X_{18}	x_{181}	3	2
	x_{22}	7	7		x_{102}	2	2		x_{182}	2	2
	x_{23}	7	7		x_{103}	11	5		x_{183}	7	8
	x_{24}	1	3		x_{104}	4	9		x_{184}	8	8
X_3	x_{31}	5	4	X_{11}	x_{111}	2	3	X_{19}	x_{191}	3	2
	x_{32}	7	6		x_{112}	5	5		x_{192}	5	2
	x_{33}	8	6		x_{113}	10	4		x_{193}	7	10
	x_{34}	0	4		x_{114}	3	8		x_{194}	5	6
X_4	x_{41}	5	4	X_{12}	x_{121}	3	3	X_{20}	x_{201}	3	1

	x_{42} x_{43} x_{44}	5 9 1	8 5 3		x_{122} x_{123} x_{124}	3 8 6	4 4 9		x_{202} x_{203} x_{204}	4 6 7	3 9 7
X_5	x_{51} x_{52} x_{53} x_{54}	4 3 8 5	2 4 7 7	X_{13}	x_{131} x_{132} x_{133} x_{134}	1 5 12 2	4 6 3 7	X_{21}	x_{211} x_{212} x_{213} x_{214}	4 3 8 5	2 2 9 7
X_6	x_{61} x_{62} x_{63} x_{64}	3 4 6 7	0 6 6 8	X_{14}	x_{141} x_{142} x_{143} x_{144}	3 2 10 5	4 5 3 8	X_{22}	x_{221} x_{222} x_{223} x_{224}	3 5 8 4	3 2 7 8
X_7	x_{71} x_{72} x_{73} x_{74}	0 3 12 5	1 3 7 9	X_{15}	x_{151} x_{152} x_{153} x_{154}	3 3 10 4	3 4 7 6	X_{23}	x_{231} x_{232} x_{233} x_{234}	4 7 8 1	1 8 4 7
X_8	x_{81} x_{82} x_{83} x_{84}	1 3 10 6	1 4 4 11	X_{16}	x_{161} x_{162} x_{163} x_{164}	0 4 8 8	1 4 7 8	X_{24}	x_{241} x_{242} x_{243} x_{244}	3 8 9 0	2 6 7 5

На основании этих частот и усредненных функций совместимости, взятых по формуле (3), вычисляем значения $\tilde{n}^i_{kj}$ по формуле (1) и строим таблицу частот нечеткой классификации. Затем вычисляем нечеткие веса интервалов w_{kj} и значения нечетких относительных частот $\tilde{f}^i_{kj}$ по формулам (2) и (1) соответственно.

Таблица значений частот $\tilde{n}^i_{kj}$ нечеткой классификации,
нечетких весов интервалов w_{kj} и нечетких относительных частот $\tilde{f}^i_{kj}$

Фактор		$\tilde{M}_1$ $\tilde{n}^1_{kj}$	$\tilde{M}_2$ $\tilde{n}^2_{kj}$	$\sum_i \tilde{n}^i_{kj}$	w_{kj}	$\tilde{f}^1_{kj}$	$\tilde{f}^2_{kj}$
X_1	x_{11}	4.3948	3.6448	8.0396	0.2515	0.5466	0.4534
	x_{12}	5.5706	6.3906	11.9612	0.3742	0.4657	0.5343
	x_{13}	3.751	3.465	7.216	0.2258	0.5198	0.4802
	x_{14}	1.8196	2.9256	4.7452	0.1485	0.3835	0.6165
X_2	x_{21}	3.618	2.8235	6.4415	0.2015	0.5617	0.4383
	x_{22}	5.4376	5.7491	11.1867	0.35	0.4861	0.5139
	x_{23}	5.4376	5.7491	11.1867	0.35	0.4861	0.5139
	x_{24}	1.0428	2.1043	3.1471	0.0985	0.3314	0.6686
X_3	x_{31}	3.751	3.465	7.216	0.2258	0.5198	0.4802
	x_{32}	5.3046	5.1076	10.4122	0.3258	0.5095	0.4905
	x_{33}	5.9484	5.2874	11.2358	0.3515	0.5294	0.4706
	x_{34}	0.532	2.566	3.098	0.09693	0.1717	0.8283
X_4	x_{41}	3.751	3.465	7.216	0.2258	0.5198	0.4802
	x_{42}	4.283	6.031	10.314	0.3227	0.4153	0.5847
	x_{43}	6.4592	4.8257	11.2849	0.3531	0.5724	0.4276
	x_{44}	1.0428	2.1043	3.1471	0.0985	0.3314	0.6686
X_5	x_{51}	2.8412	2.0022	4.8434	0.1515	0.5866	0.4134
	x_{52}	2.4634	3.1054	5.5688	0.1742	0.4424	0.5576
	x_{53}	6.0814	5.9289	12.0103	0.3758	0.5063	0.4937
	x_{54}	4.15	5.3895	9.5395	0.2985	0.435	0.565
X_6	x_{61}	1.9314	0.5394	2.4708	0.0773	0.7817	0.2183

	x_{62}	3.3732	4.5682	7.9414	0.2485	0.4248	0.5752
	x_{63}	4.6608	4.9278	9.5886	0.3	0.4861	0.5139
	x_{64}	5.5706	6.3906	11.9612	0.3742	0.4657	0.5343
X_7	x_{71}	0.133	0.6415	0.7745	0.02423	0.1717	0.8283
	x_{72}	2.3304	2.4639	4.7943	0.15	0.4861	0.5139
	x_{73}	8.6566	6.6481	15.3047	0.4788	0.5656	0.4344
	x_{74}	4.416	6.6725	11.0885	0.3469	0.3983	0.6017
X_8	x_{81}	0.7768	0.8213	1.5981	0.05	0.4861	0.5139
	x_{82}	2.4634	3.1054	5.5688	0.1742	0.4424	0.5576
	x_{83}	6.97	4.364	11.334	0.3546	0.615	0.385
	x_{84}	5.3258	8.1353	13.4611	0.4212	0.3956	0.6044
X_9	x_{91}	1.4206	1.0011	2.4217	0.07577	0.5866	0.4134
	x_{92}	2.5964	3.7469	6.3433	0.1985	0.4093	0.5907
	x_{93}	7.236	5.647	12.883	0.4031	0.5617	0.4383
	x_{94}	4.283	6.031	10.314	0.3227	0.4153	0.5847
X_{10}	x_{101}	2.4634	3.1054	5.5688	0.1742	0.4424	0.5576
	x_{102}	1.5536	1.6426	3.1962	0.1	0.4861	0.5139
	x_{103}	7.7468	5.1853	12.9321	0.4046	0.599	0.401
	x_{104}	3.7722	6.4927	10.2649	0.3212	0.3675	0.6325
X_{11}	x_{111}	1.6866	2.2841	3.9707	0.1242	0.4248	0.5752
	x_{112}	3.884	4.1065	7.9905	0.25	0.4861	0.5139
	x_{113}	6.97	4.364	11.334	0.3546	0.615	0.385
	x_{114}	2.9954	5.6714	8.6668	0.2712	0.3456	0.6544
X_{12}	x_{121}	2.3304	2.4639	4.7943	0.15	0.4861	0.5139
	x_{122}	2.4634	3.1054	5.5688	0.1742	0.4424	0.5576
	x_{123}	5.6824	4.0044	9.6868	0.3031	0.5866	0.4134
	x_{124}	5.0598	6.8523	11.9121	0.3727	0.4248	0.5752
X_{13}	x_{131}	1.1758	2.7458	3.9216	0.1227	0.2998	0.7002
	x_{132}	4.017	4.748	8.765	0.2742	0.4583	0.5417
	x_{133}	8.1246	4.0821	12.2067	0.3819	0.6656	0.3344
	x_{134}	2.2186	4.8501	7.0687	0.2212	0.3139	0.6861
X_{14}	x_{141}	2.4634	3.1054	5.5688	0.1742	0.4424	0.5576
	x_{142}	1.9526	3.5671	5.5197	0.1727	0.3538	0.6462
	x_{143}	6.837	3.7225	10.5595	0.3304	0.6475	0.3525
	x_{144}	4.283	6.031	10.314	0.3227	0.4153	0.5847
X_{15}	x_{151}	2.3304	2.4639	4.7943	0.15	0.4861	0.5139
	x_{152}	2.4634	3.1054	5.5688	0.1742	0.4424	0.5576
	x_{153}	7.369	6.2885	13.6575	0.4273	0.5396	0.4604
	x_{154}	3.3732	4.5682	7.9414	0.2485	0.4248	0.5752
X_{16}	x_{161}	0.133	0.6415	0.7745	0.0242	0.1717	0.8283
	x_{162}	3.1072	3.2852	6.3924	0.2	0.4861	0.5139
	x_{163}	6.0814	5.9289	12.0103	0.3758	0.5063	0.4937
	x_{164}	6.2144	6.5704	12.7848	0.4	0.4861	0.5139
X_{17}	x_{171}	2.8412	2.0022	4.8434	0.1515	0.5866	0.4134
	x_{172}	1.0428	2.1043	3.1471	0.0985	0.3314	0.6686
	x_{173}	5.5706	6.3906	11.9612	0.3742	0.4657	0.5343
	x_{174}	6.0814	5.9289	12.0103	0.3758	0.5063	0.4937
X_{18}	x_{181}	2.1974	1.8224	4.0198	0.1258	0.5466	0.4534
	x_{182}	1.5536	1.6426	3.1962	0.1	0.4861	0.5139
	x_{183}	5.5706	6.3906	11.9612	0.3742	0.4657	0.5343
	x_{184}	6.2144	6.5704	12.7848	0.4	0.4861	0.5139
X_{19}	x_{191}	2.1974	1.8224	4.0198	0.1258	0.5466	0.4534
	x_{192}	3.485	2.182	5.667	0.1773	0.615	0.385
	x_{193}	5.8366	7.6736	13.5102	0.4227	0.432	0.568
	x_{194}	4.017	4.748	8.765	0.2742	0.4583	0.5417

X_{20}	x_{201}	2.0644	1.1809	3.2453	0.1015	0.6361	0.3639
	x_{202}	2.9742	2.6437	5.6179	0.1758	0.5294	0.4706
	x_{203}	5.0598	6.8523	11.9121	0.3727	0.4248	0.5752
	x_{204}	5.4376	5.7491	11.1867	0.35	0.4861	0.5139
X_{21}	x_{211}	2.8412	2.0022	4.8434	0.1515	0.5866	0.4134
	x_{212}	2.1974	1.8224	4.0198	0.1258	0.5466	0.4534
	x_{213}	6.3474	7.2119	13.5593	0.4242	0.4681	0.5319
	x_{214}	4.15	5.3895	9.5395	0.2985	0.435	0.565
X_{22}	x_{221}	2.3304	2.4639	4.7943	0.15	0.4861	0.5139
	x_{222}	3.485	2.182	5.667	0.1773	0.615	0.385
	x_{223}	6.0814	5.9289	12.0103	0.3758	0.5063	0.4937
	x_{224}	3.6392	5.8512	9.4904	0.2969	0.3835	0.6165
X_{23}	x_{231}	2.7082	1.3607	4.0689	0.1273	0.6656	0.3344
	x_{232}	5.5706	6.3906	11.9612	0.3742	0.4657	0.5343
	x_{233}	5.6824	4.0044	9.6868	0.3031	0.5866	0.4134
	x_{234}	1.5748	4.6703	6.2451	0.1954	0.2522	0.7478
X_{24}	x_{241}	2.1974	1.8224	4.0198	0.1258	0.5466	0.4534
	x_{242}	5.9484	5.2874	11.2358	0.3515	0.5294	0.4706
	x_{243}	6.7252	6.1087	12.8339	0.4015	0.524	0.476
	x_{244}	0.665	3.2075	3.8725	0.1212	0.1717	0.8283

Теперь все данные, необходимые для принятия решения, существуют.

Допустим, измерения прогнозирующих факторов представлены для 2-х разных дней, и результаты следующие:

в I день : $X_I = (x_{13}, x_{23}, x_{33}, x_{43}, x_{53}, x_{64}, x_{73}, x_{82}, x_{92}, x_{103}, x_{112}, x_{122}, x_{132}, x_{142}, x_{151}, x_{164}, x_{171}, x_{181}, x_{192}, x_{201}, x_{211}, x_{221}, x_{231}, x_{241})$;

во II день : $X_{II} = (x_{14}, x_{23}, x_{33}, x_{43}, x_{53}, x_{63}, x_{73}, x_{84}, x_{94}, x_{104}, x_{114}, x_{124}, x_{134}, x_{144}, x_{153}, x_{164}, x_{173}, x_{184}, x_{194}, x_{204}, x_{214}, x_{224}, x_{234}, x_{243})$.

Векторы весов, соответствующие этим замерам:

$$\vec{w}_I = (0.2258,\ 0.35,\ 0.3515,\ 0.3531,\ 0.3758,\ 0.3742,\ 0.4788,\ 0.1742,\ 0.1985,\ 0.4046,\ 0.25,\ 0.1742,\ 0.2742,\ 0.3304,\ 0.15,\ 0.4,\ 0.1515,\ 0.1258,\ 0.1773,\ 0.1015,\ 0.1515,\ 0.15,\ 0.1273,\ 0.1258);$$

$$\vec{w}_{II} = (0.1485,\ 0.35,\ 0.3515,\ 0.3531,\ 0.3758,\ 0.3,\ 0.4788,\ 0.4212,\ 0.3227,\ 0.3212,\ 0.2712,\ 0.3727,\ 0.2212,\ 0.3227,\ 0.4273,\ 0.4,\ 0.3742,\ 0.4,\ 0.2742,\ 0.35,\ 0.2985,\ 0.2969,\ 0.1954,\ 0.4015).$$

Соответствующие матрицы нечетких относительных частот (матрицы даны в транспонированном виде):

$$\tilde{f}_I = \begin{pmatrix} 0.5198 & 0.4861 & 0.5294 & 0.5724 & 0.5063 & 0.4657 & 0.5656 & 0.4424 & 0.4093 & 0.599 & 0.4861 \\ 0.4802 & 0.5139 & 0.4706 & 0.4276 & 0.4937 & 0.5343 & 0.4344 & 0.5576 & 0.5907 & 0.401 & 0.5139 \end{pmatrix.$$

$$\begin{matrix} 0.4424 & 0.4583 & 0.6475 & 0.4861 & 0.4861 & 0.5866 & 0.5466 & 0.615 & 0.6361 & 0.5866 & 0.4861 \\ 0.5576 & 0.5417 & 0.3525 & 0.5139 & 0.5139 & 0.4134 & 0.4534 & 0.385 & 0.3639 & 0.4134 & 0.5139 \end{matrix}$$

$$\left. \begin{matrix} 0.6656 & 0.5466 \\ 0.3344 & 0.4534 \end{matrix} \right);$$

$$\tilde{f}_{II} = \left(\begin{matrix} 0.3835 & 0.4861 & 0.5294 & 0.5724 & 0.5063 & 0.4861 & 0.5656 & 0.3956 & 0.4153 & 0.3675 & 0.3456 \\ 0.6165 & 0.5139 & 0.4706 & 0.4276 & 0.4937 & 0.5139 & 0.4344 & 0.6044 & 0.5847 & 0.6325 & 0.6544 \end{matrix} \right.$$

$$\begin{matrix} 0.4248 & 0.3139 & 0.4153 & 0.5396 & 0.4861 & 0.4657 & 0.4861 & 0.4583 & 0.4861 & 0.435 & 0.3835 \\ 0.5752 & 0.6861 & 0.5847 & 0.4604 & 0.5139 & 0.5343 & 0.5139 & 0.5417 & 0.5139 & 0.565 & 0.6165 \end{matrix}$$

$$\left. \begin{matrix} 0.2522 & 0.524 \\ 0.7478 & 0.476 \end{matrix} \right).$$

Для каждого случая проведем многофакторный линейный синтез весов измерений и матриц данных. В результате получим обобщенные решения (взвешенные векторы возможных решений):

$$\overrightarrow{Poss_I} = \vec{w}_I \cdot \tilde{f}_I = (3.16384,\ 2.81227);$$
$$\overrightarrow{Poss_{II}} = \vec{w}_{II} \cdot \tilde{f}_{II} = (3.68918,\ 4.33931).$$

Воспользуемся принципом максимума возможностей, исходя из которого $D_{Class}^{(\alpha)} = \max_i (Poss_\alpha(i))$, $\alpha = I, II$; где $Poss_\alpha(i)$ − i-тая компонента вектора $\overrightarrow{Poss_\alpha}$.

В нашем случае принцип максимума дает:

$$D_{Class}^{(I)} = 3.16384 \ \left(\Rightarrow \ M_1 \equiv \textit{Среднее землетрясение} \right);$$
$$D_{Class}^{(II)} = 4.33931 \ \left(\Rightarrow \ M_2 \equiv \textit{Сильное землетряение} \right).$$

Полученный результат соответствует статистическим данным: значения прогнозирующих факторов выборки X_I соответствуют реальным данным за 13 ноября 1974 года, когда в $2^{\underline{00}}$ произошло землетрясение с магнитудой 4.7 (по нашей классификации – «среднее землетрясение»); X_{II} соответствуют данные за 16 декабря 1990 года, когда в $15^{\underline{00}}$ произошло землетрясение с магнитудой 5.1 (т.е. «сильное землетрясение»).

4. В результате проверки прогноза предлагаемым методом статистики нечетких классов на основании данных для 20 произвольно выбранных землетрясений историческая точность оказалась равной $\frac{1}{20}(7+7) = 70\%$. Это можно считать вполне удовлетворительным результатом, тем более, что напряженность электрического поля является не самым главным фактором-предвестником.

Реальные данные и результаты прогноза

Классификация	Дата	Магнитуда	Прогноз	Точность прогноза
M_1 (среднее землетрясение) $3 < M < 5$	22.03.1992	4,5	M_1	+
	28.07.1976	4,7	M_1	+
	13.11.1974	4,7	M_1	+
	03.01.1970	4,7	M_1	–
	02.06.1967	4,5	M_1	+
	07.04.1989	4,6	M_1	–
	18.10.1981	4,6	M_1	–
	11.12.1980	4,3	M_1	+
	12.07.1978	4,4	M_1	+
	17.03.1978	4,4	M_1	+
M_2 (сильное землетрясение) $5 \le M \le 8$	26.02.1978	5,3	M_2	–
	24.11.1976	7	M_2	+
	09.01.1975	5,2	M_2	+
	22.05.1971	6,8	M_2	+
	26.07.1967	5,8	M_2	–
	16.12.1990	5,1	M_2	+
	06.03.1986	6,1	M_2	+
	30.10.1983	6,8	M_2	+
	18.10.1981	5,4	M_2	–
	30.09.1977	5,4	M_2	+

Используя предложенный метод следует помнить, что между прогнозирующими факторами и прогнозируемым объектом должна существовать заметная корреляция .

Кроме того, необходимо следить, чтобы в выборке первичных классических частот не встречалось большого количества нулевых значений. Иначе это будет иметь статистический эффект.

И последнее, в пользу предложенного метода говорит тот факт, что для получения удовлетворительного результата прогноза достаточно сравнительно небольшого количества начальных данных.

Литература:

1. Li Zuoying, Chen Zhenpei and Li Jitao - A Model of Weather Forecast by Fuzzy Grade Statistics - FSS 26, N 3, June (1988), pp. 275-283.
2. Li Juzhang - Fuzzy Statistics of Classification - Fuzzy Mathematics, 2(4) (1988), p. 107.
3. F. Criado, T. Gachechiladze, H. Meladze, G. Tsertsvadze – A new Approach to Analysing Fuzzy Data and Decission-making Regarding the Possibility of Earthquake Occurrence – Intas-9702126 (Final Report), 1999.
4. Wang Peizhuang – Fuzzy Sets and its Application - Publishing House of Science and Technology, Shanghai, 1983.
5. Л.Заде – Понятие лингвистичекой переменной и его применение в теории принятия решений, Москва, 1983.

Статья получена: 2005-09-24