

# Основи системного аналізу

Задача колективного експертного  
оцінювання

Савченко Ілля Олександрович  
ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”

# Метод Делфі

Суть цього методу полягає в тому, щоб за допомогою серії послідовних дій домогтися максимального консенсусу при визначенні правильного рішення.

Базовим принципом методу є те, що деяка кількість незалежних експертів краще оцінює і пророкує результат, ніж структурована група особистостей.

# Загальна процедура методу Делфі

- Перший тур – групі експертів пропонується анонімно відповісти на деяке питання або зробити деяку оцінку
- Експертів знайомлять із результатами першого туру і пропонують переглянути свої оцінки в наступному турі
- Це продовжується, доки не буде досягнуто консенсусу

# Ключові принципи методу Делфі

- **Анонімність учасників**

Запобігає пасткам колективного обговорення:

- Ефект приєднання до більшості: популярність певних переконань збільшується у міру того, як їх приймає все більше людей
- Ефект ореолу (гало): загальне сприйняття людини впливає на сприйняття її окремих особливостей

# Ключові принципи методу Делфі

- **Структурування інформації**

Інформація від експертів збирається у формі відповідей на питання опитувальників і коментарів до цих відповідей

- **Постійний зворотній зв'язок**

Експертів знайомлять з результатами попередніх турів, і вони можуть змінювати свої оцінки

# Застосування методу Делфі

Метод найбільш доцільно застосовувати для оцінювання певних висловлювань щодо майбутнього.

Стратегічне планування в державному управлінні, техніці, бізнесі.

Питання:

- Як політичні, економічні, соціокультурні, технологічні фактори вплинуть на ситуацію?
- Як відреагують зацікавлені сторони?
- Чи можна вже зараз окреслити потенційні несподіванки?
- Які найбільш екстремальні сценарії можуть виникнути?
- Як підготуватися до можливих подій?

# Етапи методу Делфі

## Попередній

- Формулювання проблеми і генерація опитувальних форм
- Підбір групи експертів (від 16)

## Основний

- Якщо це не перший тур, ознайомлення експертів з результатами попереднього туру
- Надання опитувальників експертам і збір відповідей
- Оцінювання узгодженості і прийняття рішення про необхідність проведення ще одного туру

## Аналітичний

- Впорядкування і аналіз отриманих результатів

# Критика методу Делфі

- Думка більшості – не обов'язково правильна, креативні рішення можуть відкидатися.
- Аналіз займає багато часу, не підходить до оперативного аналізу.
- Зростає конформізм експертів, прагнення потрапити до більшості.
- Можливість організаторів маніпулювання експертною групою.



# Делфі в реальному часі (real-time)

Однією з модифікацій методу є постійне оновлення результатів одразу після отримання відповідей від будь-якого експерта замість проведення турів.

Експерти можуть змінювати свою думку в будь-який час скільки завгодно разів.

# Аналіз узгодженості експертних оцінок

Нехай  $K$  експертів надають свої оцінки для  $N$  показників:

$$\mu^{(k)} = \{Q_j^{(k)} \mid j \in [1, N]\}, k \in [1, K]$$

Введемо метрику для відстані між експертними оцінками:

$$\rho(\mu^{(k_1)}, \mu^{(k_2)}) = \sum_{j=1}^N |Q_j^{(k_1)} - Q_j^{(k_2)}|$$

# Аналіз узгодженості експертних оцінок

Будується матриця відстаней:

$$D = \left\{ \rho(\mu^{(k_1)}, \mu^{(k_2)}) \mid k_1, k_2 \in [1, K] \right\}$$

Будується вектор сум по стовпчиках:

$$\hat{D} = \left\{ \sum_{k_2=1}^K \rho(\mu^{(k_1)}, \mu^{(k_2)}) \mid k_1 \in \overline{1, K} \right\}$$

# Аналіз узгодженості експертних оцінок

Медіаною  $M$  є експертна думка з найменшою  
сумою стовпчика:

$$M = \left\{ \mu^{(k_{\min})} \mid \sum_{k_2=1}^K \rho(\mu^{(k_{\min})}, \mu^{(k_2)}) = \min_{k_1 \in [1, K]} \left( \sum_{k_2=1}^K \rho(\mu^{(k_1)}, \mu^{(k_2)}) \right) \right\}$$

Будуємо вектор відхилень від медіани:

$$D^M = \{ \rho(M, \mu^{(k)}) \mid k \in [1, K] \}$$

# Аналіз узгодженості експертних оцінок

В якості множини довіри визначимо множину  $T$ , як половину найближчих до медіани експертних думок.

В разі, якщо необхідно проводити наступні тури експертизи, критерієм збіжності експертних думок вважають радіус множини довіри  $R^T$ .

На наступному етапі до множини довіри ввійдуть ті експертні думки, відстань від яких до медіани не перевищить  $R^T$ . Якщо множина довіри буде збільшуватись, це означатиме збіжність експертних думок.

# Кластеризація експертних думок

- Іноді розбіжність в експертних думках пояснюється різними поглядами на проблему.
- Якщо використовувати медіану або середні значення оцінок, інформація, пов'язана з різним поглядом на проблему, буде втрачена.

# Кластеризація експертних думок

- 1) Кожна експертна думка вважається окремим кластером
- 2) Будується матриця відстаней  $D$  між кластерами
- 3) В матриці  $D$  шукаються кластери  $C_{i_1}, C_{i_2}$ , відстань між якими найменша

# Кластеризація експертних думок

- 4) Об'єднуємо всі експертні думки, що містились в кластерах  $C_{i_1}, C_{i_2}$ , в один кластер  $C_{i^*}$ . Оцінками нового кластеру можна вважати середнє арифметичне з усіх оцінок, що містяться у ньому:

$$\mu^{(i^*)} = \left\{ \frac{\sum_{k \in C_{i^*}} Q_j^{(k)}}{N_{i^*}} \mid j \in [1, N] \right\}$$

$N_{i^*}$  – кількість експертних думок в кластері



# Кластеризація експертних думок

- 5) Повторюємо кроки 2–4, доки найменша відстань в матриці відстаней не стане більше деякого порогового значення. В якості такого значення можна використовувати, наприклад, радіус множини довіри  $R^T$ .

# Приклад кластеризації

Експерт 1			Експерт 2			Експерт 3		
$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$
0,613	0,321	0,119	0,299	0,513	0,136	0,392	0,817	0,125
0,223	0,475	0,288	0,346	0,248	0,579	0,308	0,099	0,594
0,164	0,204	0,593	0,355	0,239	0,285	0,3	0,084	0,281
Експерт 4			Експерт 5			Експерт 6		
$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$
0,582	0,336	0,094	0,555	0,292	0,124	0,21	0,068	0,317
0,201	0,462	0,31	0,169	0,427	0,235	0,411	0,316	0,334
0,217	0,202	0,596	0,276	0,281	0,641	0,379	0,616	0,349
Експерт 7			Експерт 8			Експерт 9		
$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$
0,309	0,402	0,345	0,729	0,264	0,227	0,276	0,63	0,198
0,543	0,461	0,101	0,187	0,5	0,19	0,322	0,217	0,489
0,148	0,137	0,554	0,084	0,236	0,583	0,402	0,153	0,313

# Приклад кластеризації

Матриця відстаней:

	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>6</sub>	k <sub>7</sub>	k <sub>8</sub>	k <sub>9</sub>
k <sub>1</sub>	–	1,698	2,058	<b>0,186</b>	0,484	2,118	1,254	0,562	1,852
k <sub>2</sub>	1,698	–	0,824	1,616	1,666	1,558	1,796	2,142	0,508
k <sub>3</sub>	2,058	0,824	–	1,972	2,096	2,382	2,286	2,588	0,816
k <sub>4</sub>	<b>0,186</b>	1,616	1,972	–	0,426	2,066	1,318	0,704	1,766
k <sub>5</sub>	0,484	1,666	2,096	0,426	–	1,944	1,478	0,736	1,89
k <sub>6</sub>	2,118	1,558	2,382	2,066	1,944	–	1,886	2,266	1,612
k <sub>7</sub>	1,254	1,796	2,286	1,318	1,478	1,886	–	1,352	1,772
k <sub>8</sub>	0,562	2,142	2,588	0,704	0,736	2,266	1,352	–	2,236
k <sub>9</sub>	1,852	0,508	0,816	1,766	1,89	1,612	1,772	2,236	–
Сума	10,212	11,808	15,022	10,054	10,72	15,832	13,142	12,586	12,452

# Приклад кластеризації

Матриця відстаней (крок 2):

	$C_1$	$k_2$	$k_3$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k_8$	$k_9$
$C_1$	—	1,657	2,015	<b>0,455</b>	2,092	1,287	0,633	1,809
$k_2$	1,657	—	0,824	1,666	1,558	1,796	2,142	0,508
$k_3$	2,015	0,824	—	2,096	2,382	2,286	2,588	0,816
$k_5$	<b>0,455</b>	1,666	2,096	—	1,944	1,478	0,736	1,89
$k_6$	2,092	1,558	2,382	1,944	—	1,886	2,266	1,612
$k_7$	1,287	1,796	2,286	1,478	1,886	—	1,352	1,772
$k_8$	0,633	2,142	2,588	0,736	2,266	1,352	—	2,236
$k_9$	1,809	0,508	0,816	1,89	1,612	1,772	2,236	—

# Приклад кластеризації

Матриця відстаней (крок 3):

	$C_1$	$k_2$	$k_3$	$k_6$	$k_7$	$k_8$	$k_9$
$C_1$	–	1,632	2,042	2,042	1,34	0,626	1,836
$k_2$	1,632	–	0,824	1,558	1,796	2,142	<b>0,508</b>
$k_3$	2,042	0,824	–	2,382	2,286	2,588	0,816
$k_6$	2,042	1,558	2,382	–	1,886	2,266	1,612
$k_7$	1,34	1,796	2,286	1,886	–	1,352	1,772
$k_8$	0,626	2,142	2,588	2,266	1,352	–	2,236
$k_9$	1,836	<b>0,508</b>	0,816	1,612	1,772	2,236	–

# Приклад кластеризації

Матриця відстаней (крок 4):

	$C_1$	$C_2$	$k_3$	$k_6$	$k_7$	$k_8$
$C_1$	—	1,724	2,042	2,042	1,34	0,626
$C_2$	1,724	—	0,82	1,562	1,784	2,186
$k_3$	2,042	0,82	—	2,382	2,286	2,588
$k_6$	2,042	1,562	2,382	—	1,886	2,266
$k_7$	1,34	1,784	2,286	1,886	—	1,352
$k_8$	0,626	2,186	2,588	2,266	1,352	—

Матриця відстаней після  
шести кроків:

	$C_1$	$C_2$	$k_6$	$k_7$
$C_1$	—	1,724	2,042	1,34
$C_2$	1,724	—	1,562	1,784
$k_6$	2,042	1,562	—	1,886
$k_7$	1,34	1,784	1,886	—

# Інтервальне оцінювання

Номер рівня $s$	Якісна хар-ка рівня $s$	Кількісна хар-ка рівня $s$	Оцінка $\mu_{js}^{(k)}$ можливості реалізації рівня $s$	Ступінь упевненості $\nu_{js}^{(k)}$ експерта в оцінці
1	Надзвичайно низький	$[0 - 0,1]$	0,05	0,99
2	Дуже низький	$[0,1 - 0,25]$	0,15	0,85
3	Низький	$[0,25 - 0,4]$	0,35	0,65
4	Середній	$[0,4 - 0,6]$	0,45	0,97
5	Високий	$[0,6 - 0,75]$	0,25	0,75
6	Дуже високий	$[0,75 - 0,9]$	0,15	0,85
7	Надзвичайно високий	$[0,9 - 1]$	0,10	0,95

# Інтервальне оцінювання

Оцінку  $j$ -го показника  $k$ -й експерт визначає для кожного рівня  $s$  у вигляді нечіткої змінної

$$\tilde{Q}_{js}^{(k)} = \langle Q_{js}^{(k)}, \mu_{js}^{(k)} \rangle$$

Оцінка  $j$ -го показника в цілому

$$\tilde{Q}_j^{(k)} = \left\{ \langle \tilde{Q}_{js}^{(k)} \rangle \mid s \in [1; S] \right\}, j \in [1; N]; k \in [1; K]$$

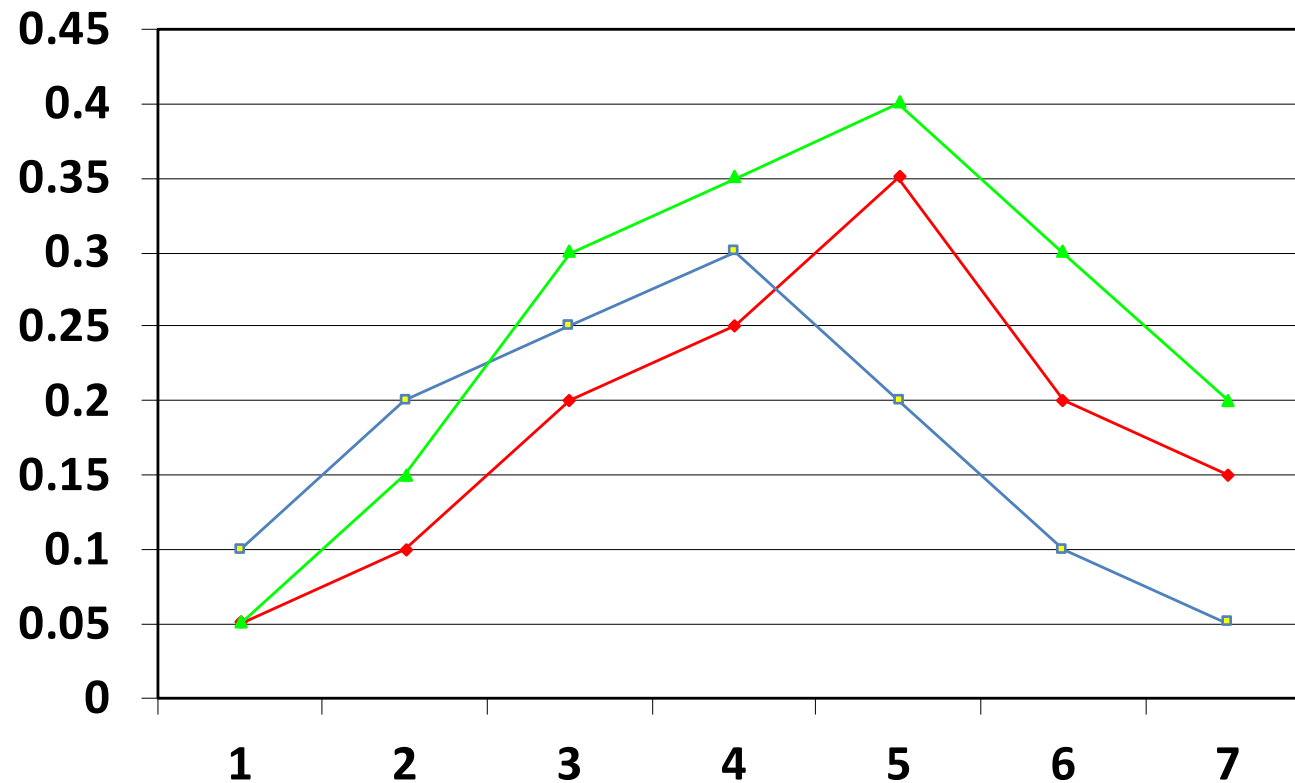
Оцінка об'єкта в цілому

$$\tilde{Q}^{(k)} = \left\{ \langle Q_j^{(k)}, \nu_j^{(k)} \rangle \mid j \in [1; N] \right\}, k \in [1; K]$$

де  $\nu_j^{(k)} = \left\{ \nu_{js}^{(k)} \mid s \in [1; S] \right\}, k \in [1; K]$  — ступені упевненості  $k$ -го експерта в оцінках.



# Графік експертних оцінок для показника



# Метрики відстаней для інтервальних оцінок

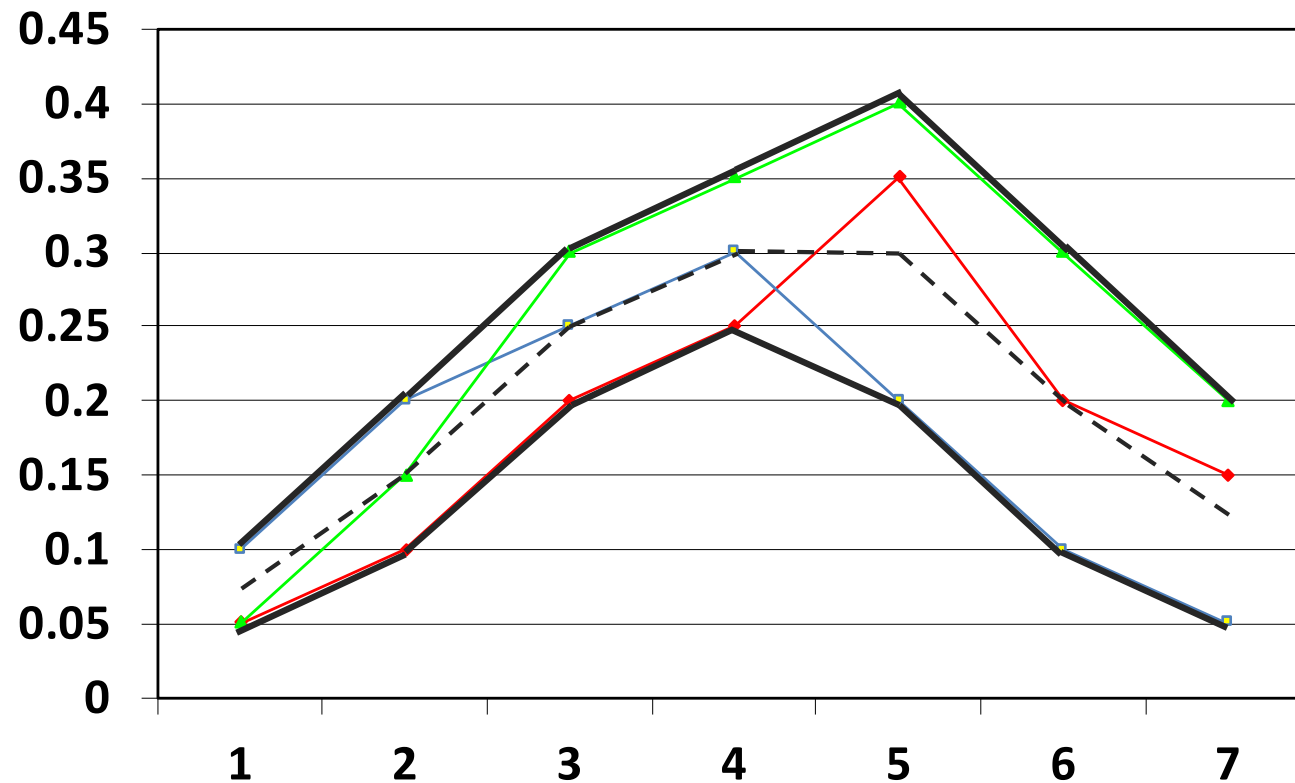
$$1. \rho(Q_j^{(k)}, Q_j^{(l)}) = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S |\mu_{js}^{(k)} - \mu_{js}^{(l)}|$$

$$2. \rho(Q_j^{(k)}, Q_j^{(l)}) = \max_s |\mu_{js}^{(k)} - \mu_{js}^{(l)}|$$

Верхня і нижня границя:  $\mu_{js}^+ = \max_k \mu_{js}^{(k)}$   $\mu_{js}^- = \min_k \mu_{js}^{(k)}$

Середнє значення:  $\hat{\mu}_{js} = \frac{\mu_{js}^+ - \mu_{js}^-}{2}$

# Графік експертних оцінок для показника



# Узгодженість інтервальних експертних оцінок

1. Ширина інтервалу:

$$\rho(Q_j^+, Q_j^-)$$

2. Близькість математичного сподівання оцінок до середини інтервалу

$$Q_j^M : \left\{ M \mu_{js} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mu_{js}^{(k)} \mid s \in [1, S] \right\} \quad \rho(Q_j^M, \hat{Q}_j)$$

3. Дисперсія оцінок  $D\mu_{js} = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K \left( \mu_{js}^{(k)} - M \mu_{js} \right)^2$