

# Основи системного аналізу

Модифікований метод  
морфологічного аналізу

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

# Застосування морфологічного аналізу

Аналіз ситуації з певним ступенем невизначеності

- класифікаційні ознаки – фактори  $F_i$ , стан яких характеризує стан об'єкта (події, процесу, явища) в цілому;
- значення класифікаційних ознак – альтернативні стани  $a_j^{(i)}$ , яких можуть набувати відповідні фактори;
- елемент морфологічної скрині – сценарій.

$F_1$	$F_2$	...	$F_N$
$a_1^{(1)}$	$a_1^{(2)}$	...	$a_1^{(N)}$
$a_2^{(1)}$	$a_2^{(2)}$	...	$a_2^{(N)}$
...	...	...	...
$a_{n1}^{(1)}$	$a_{n2}^{(2)}$	...	$a_{nN}^{(N)}$

# Застосування морфологічного аналізу

Об'єкту дослідження притаманна невизначеність, тобто заздалегідь неможливо визначити, якою є конфігурація об'єкта. Така невизначеність може бути викликана рядом факторів:

- об'єкт (подія) повторюється багато разів у різних варіаціях;
- об'єкт розглядається в майбутньому;
- відсутня інформація про об'єкт;
- щодо об'єкта потрібно прийняти рішення.

# Типові параметри морфологічних таблиць

Для подій, що повторюються багато разів у різних варіаціях:

- контекст: час, місце, обставини;
- причини;
- специфічні для подій характеристики.

Для опису стану системи:

- зовнішні фактори впливу на систему, стан яких невідомий;
- характеристики стану і поведінки самої системи, що розглядається.

# Основні види параметрів морфологічних таблиць

- Бінарні (так/ні, є/немає);
- Кількісні
  - За обмеженістю:
    - Обмежені (процент, ймовірність тощо)
    - Необмежені (час, прибуток, кількість тощо)
  - За представленням
    - Числові
    - Вербальні
    - Порівняльні
- Якісні

# Правила побудови морфологічних таблиць

- **релевантність параметрів** – параметр повинен залежати або впливати на хоча б один інший параметр
- **взаємовиключність альтернатив**
- **повнота множини альтернатив**
  - Якщо неможливо або недоцільно сформулювати всі можливі альтернативи, додається альтернатива «інші».
  - Якщо вибір однієї з альтернатив параметра є необов'язковою подією, додається альтернатива «немає»/«не потрібно» тощо.

# Приклад

## Морфологічна класифікація аварійних ситуацій

- 1) **характер аварійної ситуації:** зіткнення з нерухомим об'єктом; зіткнення двох або більше транспортних засобів; наїзд на пішохода; відмова засобу пересування;
- 2) **місце події:** перехрестя; вузька дорога; широка дорога; тунель; міст; стоянка; двері;
- 3) **час події:** день (при природному освітленні); ніч (при штучному освітленні);
- 4) **погодні умови:** без опадів; дощ; сніг; ожеледиця; туман;
- 5) **стан водія:** нормальний; алкогольне сп'яніння;
- 6) **тригер аварії:** перевищення швидкості; виїзд за межі смуги або проїзжої частини; рух на червоне світло; поворот/розворот у не призначенному для цього місці; раптова зупинка або зупинка в непередбаченому місці; рух в місці, де це заборонено; не пов'язані з транспортним засобом фактори;
- 7) **причина аварії:** неуважність або помилка водія; втрата керування; свідоме порушення правил дорожнього руху; несправність засобу пересування; незалежні фактори.

# Приклад

Характеристичні параметри						
Характер аварійної ситуації	Місце події	Час події	Погодні умови	Стан водія	Що призвело до аварії	Причина аварії
1	2	3	4	5	6	7
Зіткнення з нерухомим об'єктом	Перехрестя	День	Без опадів	Нормальний	Перевищення швидкості	Неуважність або помилка
Зіткнення транспортних засобів	Вузька дорога	Ніч	Дощ	Сп'яніння	Виїзд за межі смуги або проїзжої частини	Втрата керування
Наїзд на пішохода	Широка дорога		Сніг		Рух на червоне світло	Свідоме порушення ПДР
Відмова засобу пересування	Тунель		Ожеледиця		Поворот/розворот	Несправність засобу пересування
	Міст		Туман		Зупинка	Незалежні фактори
	Стоянка				Рух в непередбаченому місці	
	Двір				Не пов'язані з транспортним засобом фактори	

# Морфологічний аналіз: означення

- **Характеристичним параметром**  $F_i, i \in \overline{1, N}$  об'єкта морфологічного дослідження назовемо властивість або ознаку, за якою можна проводити класифікацію різновидів об'єкта.
- **Альтернативами**  $a_j^{(i)}, j \in \overline{1, n_i}$  характеристичного параметра  $F_i$  об'єкта морфологічного дослідження назовемо взаємовиключні альтернативні стани або значення, яких можуть набувати відповідні характеристичні параметри.

# Морфологічний аналіз: означення

- **Морфологічною таблицею (МТ)** наземо сукупність характеристичних параметрів  $F_i, i \in \overline{1, N}$  об'єкта, кожний з яких визначається множиною альтернатив  $a_j^{(i)}, j \in \overline{1, n_i}$ .
- **Конфігурацією морфологічної таблиці** наземо множину, до якої входить по одній альтернативі кожного характеристичного параметра МТ:  $s = \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}$ .

Конфігурація МТ визначає один із можливих станів об'єкта, заданих МТ.

# Формалізація задачі

Морфологічна таблиця містить множину характеристичних параметрів  $F = \{F_i | i \in \overline{1, N}\}$ , кожний параметр  $F_i$  описується множиною альтернатив  $A_i = \{a_j^{(i)} | j \in 1, n_i\}$ .

$F_1$	$F_2$	...	$F_N$
$a_1^{(1)}$	$a_1^{(2)}$	...	$a_1^{(N)}$
$a_2^{(1)}$	$a_2^{(2)}$	...	$a_2^{(N)}$
...	...	...	...
$a_{n1}^{(1)}$	$a_{n2}^{(2)}$	...	$a_{nN}^{(N)}$

Необхідно розрахувати ймовірності  $p_j^{(i)}$  настанняожної з альтернатив  $a_j^{(i)}$ . Для подальших розрахунків необхідно отримати початкові наближення  $p_j^{(i)}$  дляожної з альтернатив  $a_j^{(i)}$ . Ці значення отримуємо на основі експертних процедур оцінювання.

# Безпосереднє експертне оцінювання

Дляожної альтернативи  $a_j^{(i)}$  параметрів  $F_i$  експертами надається оцінка  $\tilde{p}_j^{(i)}$  за шкалою Міллера:

Номер рівня	Якісна характеристика рівня	Кількісна характеристика рівня	Відповідь експерта
1	Практично неможливо	[0 ÷ 0,1]	
2	Дуже мала ймовірність	[0,1 ÷ 0,25]	
3	Мала ймовірність	[0,25 ÷ 0,4]	✓
4	Середня ймовірність	[0,4 ÷ 0,6]	
5	Велика ймовірність	[0,6 ÷ 0,75]	
6	Дуже велика ймовірність	[0,75 ÷ 0,9]	
7	Практично гарантовано	[0,9 ÷ 1]	

Дляожної альтернативи оцінки нормують:  $p_j^{(i)} = \frac{\tilde{p}_j^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \tilde{p}_j^{(i)}}$

# Оцінювання попарними порівняннями

Для кожного параметра  $F_i$  експерти оцінюють кожну пару його альтернатив з точки зору переваги однієї альтернативи над іншою.

Для пари альтернатив  $a_j^{(i)}, a_k^{(i)}$  дається оцінка  $d_{jk}^{(i)}$ , виходячи з таблиці:

Кількісна оцінка переваги	Якісна характеристика переваги
1	Однакова ймовірність
3	Помірна перевага
5	Суттєва перевага
7	Дуже сильна перевага
9	Абсолютна перевага
2, 4, 6, 8	Проміжні значення

Якщо оцінка  $d_{jk}^{(i)}$  надана на основі порівняння  $j$ -ї та  $k$ -ї альтернатив, то  $d_{kj}^{(i)}$  має обернене значення  $1/d_{jk}^{(i)}$ .

Використовуються методи ЕМ, RGMM, AN тощо.

# Матриця взаємозв'язків

- Для врахування зв'язків між параметрами морфологічної таблиці пропонується використовувати числову матрицю взаємозв'язків. У відповідності з розробленою стратегією кожній парі альтернатив  $a_{j1}^{(i1)}$ ,  $a_{j2}^{(i2)}$  різних параметрів  $F_{i1}, F_{i2}$  присвоюється оцінка  $c_{i1j1,i2j2} \in [-1;1]$  згідно з таблицею:

Оцінка	Пояснення
-1	Альтернативи повністю несумісні; конфігурація з цією парою альтернатив неможлива
(-1;0)	Альтернативи частково несумісні; вибір однієї з них зменшує ймовірність вибору іншої
0	Альтернативи незалежні; вибір однієї з них не впливає на вибір іншої
(0;1)	Альтернативи пов'язані; вибір однієї з них певною мірою збільшує ймовірність вибору іншої
1	Альтернативи повністю пов'язані; вибір однієї з них тягне за собою вибір іншої

# Матриця взаємозв'язків: приклад

	$F_1$			$F_2$		
	$a_1^{(1)}$	$a_2^{(1)}$	$a_3^{(1)}$	$a_1^{(2)}$	$a_2^{(2)}$	$a_3^{(2)}$

$F_2$	$a_1^{(2)}$			0,5		
	$a_2^{(2)}$					
	$a_3^{(2)}$					
$F_3$	$a_1^{(3)}$		-1	-1		
	$a_2^{(3)}$				-0,5	
	$a_3^{(3)}$					1

# Матриця взаємозв'язків: приклад

		F <sub>1</sub>			F <sub>2</sub>		
		a <sub>1</sub> <sup>(1)</sup>	a <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	a <sub>3</sub> <sup>(1)</sup>	a <sub>1</sub> <sup>(2)</sup>	a <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	a <sub>3</sub> <sup>(2)</sup>
F <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> <sup>(2)</sup>		0,5				
	a <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>						
	a <sub>3</sub> <sup>(2)</sup>						
F <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> <sup>(3)</sup>		-1	-1			
	a <sub>2</sub> <sup>(3)</sup>					-0,5	
	a <sub>3</sub> <sup>(3)</sup>						1

# Постановка задачі одноетапного морфологічного аналізу

Попередні оцінки, отримані від експертів, є наближеними, оскільки вони не враховують взаємозв'язки між параметрами, визначені матрицею взаємозв'язків альтернатив параметрів.

Постановка задачі:

Дано:

- морфологічна таблиця, що містить множину характеристичних параметрів  $F = \{F_i | i \in \overline{1, N}\}$ , кожний параметр описується множиною альтернатив  $A_i = \{a_j^{(i)} | j \in \overline{1, n_i}\}$ ;
- незалежні ймовірності всіх альтернатив  $\{p_j'^{(i)} | i \in \overline{1, N}; j \in \overline{1, n_i}\}$ ;
- значення взаємозв'язків всіх пар альтернатив параметрів  $\{c_{i_1 j_1, i_2 j_2} | i_1, i_2 \in \overline{1, N}; i_1 \neq i_2; j_1 \in \overline{1, n_{i_1}}; j_2 \in \overline{1, n_{i_2}}\}$ .

Потрібно:

- розрахувати ймовірності  $p_j^{(i)}$  настанняожної з альтернатив  $a_j^{(i)}$ .

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

Розглянемо задачу для МТ з двома  
характеристичними параметрами.

Для ймовірностей кожної з альтернатив  
можна записати рівняння вигляду:

$$p_1^{(1)} = \sum_{j=1}^{n_2} P(a_1^{(1)} | a_j^{(2)}) p_j^{(2)} \quad p_1^{(1)} = \sum_{j=1}^{n_2} P(\{a_1^{(1)}, a_j^{(2)}\})$$

Необхідно знайти значення  $P(a_{j_1}^{(i_1)} | a_{j_2}^{(i_2)}), i_1 \neq i_2$ .

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

Сформулюємо умови, яким повинні відповідати  
значення  $P(a_{j_1}^{(i_1)} | a_{j_2}^{(i_2)})$ :

- 1) якщо  $c_{i_1 j_1, i_2 j_2} = -1$ , то  $P(a_{j_1}^{(i_1)} | a_{j_2}^{(i_2)}) = P(a_{j_2}^{(i_2)} | a_{j_1}^{(i_1)}) = 0$  ;
- 2)  $P(a_{j_1}^{(i_1)} | a_{j_2}^{(i_2)})$  монотонно зростає при збільшенні  $c_{i_1 j_1, i_2 j_2}$  ;
- 3)  $P(a_{j_1}^{(i_1)} | a_{j_2}^{(i_2)})$  монотонно зростає при збільшенні  $p_{j_1}'^{(i_1)}$  ;
- 4) умова нормування: для будь-якої альтернативи  $a_{j_2}^{(i_2)}$   
і будь-якого параметру  $F_{i_1}, i_1 \neq i_2$  виконується  
спiввiдношення

$$\sum_{j_1=1}^{n_{i_1}} P(a_{j_1}^{(i_1)} | a_{j_2}^{(i_2)}) = 1$$

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

5) умова балансу розв'язку: для всіх альтернатив  $a_j^{(i)}$  існує нетривіальний набір таких значень  $p_j^{(i)}$ , що для будь-якої пари альтернатив  $a_{j_1}^{(i_1)}, a_{j_2}^{(i_2)}, i_1 \neq i_2$  виконується співвідношення

$$P(a_{j_2}^{(i_2)} | a_{j_1}^{(i_1)}) p_{j_1}^{(i_1)} = P(a_{j_1}^{(i_1)} | a_{j_2}^{(i_2)}) p_{j_2}^{(i_2)} = P(\{a_{j_1}^{(i_1)}, a_{j_2}^{(i_2)}\})$$

Одним із способів знаходження значення , яке б відповідало вказаним вимогам, є такий:

$$P(a_{j_1}^{(i_1)} | a_{j_2}^{(i_2)}) = \frac{p_{j_1}^{'(i_1)} (c_{i_1 j_1, i_2 j_2} + 1)}{\sum_{j=1}^{n_{i_1}} p_j^{'(i_1)} (c_{i_1 j, i_2 j_2} + 1)}$$

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

Запишемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} p_1^{(1)} = \sum_{j=1}^{n_2} P(a_1^{(1)} | a_j^{(2)}) p_j^{(2)}; \dots; p_{n_1}^{(1)} = \sum_{j=1}^{n_2} P(a_{n_1}^{(1)} | a_j^{(2)}) p_j^{(2)}; \\ p_1^{(2)} = \sum_{j=1}^{n_1} P(a_1^{(2)} | a_j^{(1)}) p_j^{(1)}; \dots; p_{n_2}^{(2)} = \sum_{j=1}^{n_1} P(a_{n_2}^{(2)} | a_j^{(1)}) p_j^{(1)}; \\ \sum_{j=1}^{n_1} p_j^{(1)} = 1; \sum_{j=1}^{n_2} p_j^{(2)} = 1. \end{cases}$$

Введемо позначення:

$$P_1 = \begin{pmatrix} P(a_1^{(1)} | a_1^{(2)}) & \dots & P(a_1^{(1)} | a_{n_2}^{(2)}) \\ \dots & \dots & \dots \\ P(a_{n_1}^{(1)} | a_1^{(2)}) & \dots & P(a_{n_1}^{(1)} | a_{n_2}^{(2)}) \end{pmatrix} \quad P_2 = \begin{pmatrix} P(a_1^{(2)} | a_1^{(1)}) & \dots & P(a_1^{(2)} | a_{n_1}^{(1)}) \\ \dots & \dots & \dots \\ P(a_{n_2}^{(2)} | a_1^{(1)}) & \dots & P(a_{n_2}^{(2)} | a_{n_1}^{(1)}) \end{pmatrix}$$

$$\vec{x}_1 = \begin{pmatrix} p_1^{(1)} & \dots & p_{n_1}^{(1)} \end{pmatrix}^T$$

$$\vec{x}_2 = \begin{pmatrix} p_1^{(2)} & \dots & p_{n_2}^{(2)} \end{pmatrix}^T$$

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

Система рівнянь набуде вигляду:

$$\begin{cases} \vec{x}_1 = P_1 \vec{x}_2; \|\vec{x}_1\| = 1; \\ \vec{x}_2 = P_2 \vec{x}_1; \|\vec{x}_2\| = 1. \end{cases}$$

Розв'язком системи є  $\vec{x}_1, \vec{x}_2$  – нормовані власні вектори, що відповідають власному числу  $\lambda = 1$ , матриць  $P_1 P_2$  і  $P_2 P_1$  відповідно.

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

При розв'язанні задачі для довільної кількості параметрів рівняння для ймовірностей мають вигляд:

$$\begin{aligned} p_1^{(1)} &= \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N}^{n_N} P(a_1^{(1)} | \{a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) P(\{a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) = \\ &= \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N}^{n_N} P(\{a_1^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) = \\ &= \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N}^{n_N} P(\{a_1^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_2}^{(2)}) p_{j_2}^{(2)}. \end{aligned}$$

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

Умови для значень виразів  $P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_k}^{(k)})$  відповідають розглянутим раніше умовам 1–5 з поправкою на довільну кількість параметрів.

Одним із способів знаходження такого значення, яке б відповідало вказаним вимогам, є (для  $k=1$ ):

$$P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_1}^{(1)}) = \frac{P'(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_1}^{(1)})}{\sum_{k_2=1}^{n_2} \sum_{k_3=1}^{n_3} \dots \sum_{k_N=1}^{n_N} P'(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{k_2}^{(2)}, a_{k_3}^{(3)}, \dots, a_{k_N}^{(N)}\} | a_{j_1}^{(1)})}$$

де  $P'(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_1}^{(1)}) = \prod_{m=2}^N p_{j_m}'^{(m)} \cdot \prod_{m=1}^{N-1} \prod_{l=m+1}^N (c_{mj_m, l_j_l} + 1)$

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

## Система рівнянь в загальному вигляді

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1^{(1)} = \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_1^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_2}^{(2)}) p_{j_2}^{(2)}; \dots; p_{n_1}^{(1)} = \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{n_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_2}^{(2)}) p_{j_2}^{(2)}; \\ p_1^{(2)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_1^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_3}^{(3)}) p_{j_3}^{(3)}; \dots; p_{n_2}^{(2)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{n_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_3}^{(3)}) p_{j_3}^{(3)}; \\ \dots \\ p_1^{(N)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_{N-1}=1}^{n_{N-1}} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_1^{(N-1)}\} | a_{j_1}^{(1)}) p_{j_1}^{(1)}; \dots; p_{n_N}^{(N)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_{N-1}=1}^{n_{N-1}} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{n_N}^{(N-1)}\} | a_{j_1}^{(1)}) p_{j_1}^{(1)}; \\ \sum_{j=1}^{n_1} p_j^{(1)} = 1; \dots; \sum_{j=1}^{n_N} p_j^{(N)} = 1. \end{array} \right.$$

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

Введемо позначення:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \left[ \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_k^{(1)}, a_l^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_l^{(2)}) \right]_{k \in 1, n_1, l \in 1, n_2}, \quad \vec{x}_1 = \begin{pmatrix} p_1^{(1)} \\ \dots \\ p_{n_1}^{(1)} \end{pmatrix} \\
 P_2 &= \left[ \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_4=1}^{n_4} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_k^{(2)}, a_l^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_l^{(3)}) \right]_{k \in 1, n_2, l \in 1, n_3}, \quad \vec{x}_N = \begin{pmatrix} p_1^{(N)} \\ \dots \\ p_{n_N}^{(N)} \end{pmatrix} \\
 &\dots \\
 P_N &= \left[ \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_{N-1}=1}^{n_{N-1}} P(\{a_l^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_k^{(N)}\} | a_l^{(1)}) \right]_{k \in 1, n_N, l \in 1, n_1},
 \end{aligned}$$

Тоді система має вигляд:

$$\begin{cases} \vec{x}_1 = P_1 \vec{x}_2; \|\vec{x}_1\| = 1; \\ \vec{x}_2 = P_2 \vec{x}_3; \|\vec{x}_2\| = 1; \\ \dots \\ \vec{x}_{N-1} = P_{N-1} \vec{x}_N; \|\vec{x}_{N-1}\| = 1; \\ \vec{x}_N = P_N \vec{x}_1; \|\vec{x}_N\| = 1. \end{cases}$$

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

Розв'язок системи можна представити у  
вигляді:

$$p_{j_k}^{(i_k)} = \frac{p'_{j_k}^{(i_k)} \sum_{j_1=1}^{n_1} \cdots \sum_{j_{k-1}=1}^{n_{k-1}} \sum_{j_{k+1}=1}^{n_{k+1}} \cdots \sum_{j_N=1}^{n_N} C_{j_1 j_2 \dots j_N} p'_{j_1}^{(i_1)} \cdots p'_{j_{k-1}}^{(i_{k-1})} p'_{j_{k+1}}^{(i_{k+1})} \cdots p'_{j_N}^{(i_N)}}{\sum_{j_1=1}^{n_1} \cdots \sum_{j_N=1}^{n_N} C_{j_1 j_2 \dots j_N} p'_{j_1}^{(i_1)} \cdots p'_{j_N}^{(i_N)}}$$

де  $C_{j_1 j_2 \dots j_N} = \prod_{m=1}^{N-1} \prod_{l=m+1}^N c_{mj_m, lj_l}$

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

- Ймовірність конфігурації  $s = \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}$

$$P(s) = \frac{C_{j_1 j_2 \dots j_N} p'_{j_1}^{(i_1)} \dots p'_{j_N}^{(i_N)}}{\sum_{j_1=1}^{n_1} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} C_{j_1 j_2 \dots j_N} p'_{j_1}^{(i_1)} \dots p'_{j_N}^{(i_N)}}$$

Розв'язок задачі відносно ймовірності альтернативи  $a_j^{(i)}$  можна сприймати таким чином: це сума ймовірностей всіх конфігурацій, що містять цю альтернативу.

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

## Побудова таблиці конфігурацій

$F_1$	$F_2$	$F_3$
0,3	0,4	0,3
0,5	0,3	0,7
0,2	0,1	
	0,2	

0,3\*0,4\*0,3

		$F_1$			$F_2$			
		$a_1^{(1)}$	$a_2^{(1)}$	$a_3^{(1)}$	$a_1^{(2)}$	$a_2^{(2)}$	$a_3^{(2)}$	$a_4^{(2)}$
$F_2$	$a_1^{(2)}$	0,5						
	$a_2^{(2)}$				-0,5			
	$a_3^{(2)}$							
	$a_4^{(2)}$							
$F_3$	$a_1^{(3)}$		0,2	0,8		0,5		
	$a_2^{(3)}$							-1

$F_1$	$F_2$	$F_3$	$p'^{(1)} p'^{(2)} p'^{(3)}$	$C$	$P'(s)$
1	1	1	0,036	2,7	0,0972
1	1	2	0,084	1,5	0,126
1	2	1	0,027	1,2	0,0324
1	2	2	0,063	1	0,063
1	3	1	0,009	1,2	0,0108
1	3	2	0,021	0	0
1	4	1	0,018	1,2	0,0216
1	4	2	0,042	1	0,042

$$(1+0,5)* \\ *(1+0,2)* \\ *(1+0,5)=2,7$$

# Розв'язання задачі розрахунку ймовірностей

$F_1$	$F_2$	$F_3$	$\prod p'^{(i)}$	$C$	$P'(s)$	$P(s)$
1	1	1	0,036	2,7	0,0972	0,081
1	1	2	0,084	1,5	0,126	0,105
1	2	1	0,027	1,2	0,0324	0,027
1	2	2	0,063	1	0,063	0,053
1	3	1	0,009	1,2	0,0108	0,009
1	3	2	0,021	0	0	0
1	4	1	0,018	1,2	0,0216	0,018
1	4	2	0,042	1	0,042	0,035
2	1	1	0,06	2,7	0,162	0,135
2	1	2	0,14	1	0,14	0,117
2	2	1	0,045	1,8	0,081	0,068
2	2	2	0,105	1	0,105	0,088
2	3	1	0,015	1,8	0,027	0,023
2	3	2	0,035	0	0	0
2	4	1	0,03	1,8	0,054	0,045
2	4	2	0,07	1	0,07	0,058
3	1	1	0,024	1,5	0,036	0,03
3	1	2	0,056	1	0,056	0,047
3	2	1	0,018	0,5	0,009	0,008
3	2	2	0,042	0,5	0,021	0,018
3	3	1	0,006	1	0,006	0,005
3	3	2	0,014	0	0	0
3	4	1	0,012	1	0,012	0,01
3	4	2	0,028	1	0,028	0,023
Усього				1,2		1

$$p_1^{(1)} = 0,081 + 0,105 + 0,027 + 0,053 + \\ + 0,009 + 0 + 0,018 + 0,035 = 0,328$$

$$p_1^{(2)} = 0,081 + 0,105 + 0,135 + \\ + 0,117 + 0,03 + 0,047 = 0,515$$

$$p_1^{(3)} = 0,081 + 0,027 + 0,009 + 0,018 + \\ + 0,135 + 0,068 + 0,023 + 0,045 + \\ + 0,03 + 0,008 + 0,005 + 0,01 = 0,459$$

# Морфологічний аналіз: означення

- **Невизначеною альтернативою**  $a_0^{(i)}$  характеристичного параметра  $F_i$  наземо стан параметра  $F_i$  при припущені, що  $F_i$  може набути будь-якого зі своїх станів  $a_j^{(i)}$  в момент реалізації об'єкта.

Невизначена альтернатива замінює собою будь-яку іншу альтернативу параметра  $F_i$ .

# Морфологічний аналіз: означення

- **Ситуацією**  $S$  назвемо множину, до якої входить по одній альтернативі кожного характеристичного параметра МТ, причому хоча б одна з цих альтернатив є невизначеною:

$$S = \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_0^{(i)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}$$

При розгляді деякої ситуації  $S$  характеристичні параметри, яким відповідають визначені альтернативи, назовемо **фікованими параметрами**. Альтернативи з ситуації  $S$ , які відповідають фікованим параметрам, назовемо **фікованими альтернативами**.

Ситуація  $S$  породжує певну множину конфігурацій МТ. Їх використання є зручним для розгляду деяких проблем, в яких важливо прослідкувати поведінку об'єкта при різних конкретних станах деяких параметрів.

# Метод морфологічного аналізу з фіксованими параметрами

В загальній задачі вважалося, що стани всіх параметрів морфологічної таблиці є невизначеними. Однак при розгляді деяких проблем може бути корисним дослідити характеристики об'єкта при конкретних значеннях певних його параметрів. Таким чином, створюється модель виводу "what-if" ("що буде, якщо").

# Метод морфологічного аналізу з фіксованими параметрами

$F_1$	$F_2$	...	$F_N$
$a_1^{(1)}$	$a_1^{(2)}$	...	$a_1^{(N)}$
$a_2^{(1)}$	$a_2^{(2)}$	...	$a_2^{(N)}$
...	...	...	...
$a_{n1}^{(1)}$	$a_{n2}^{(2)}$	...	$a_{nN}^{(N)}$

$F' \subset F$ , стан яких зафікований       $B$  – множина індексів фіксованих параметрів

$$F' = \{F_i \mid i \in B\}$$

$$p_{b_i}^{(i)} = p_{b_i}^{\prime(i)} = 1 \quad p_j^{(i)} = p_j^{\prime(i)} = 0, j \in \overline{1, n_i}, j \neq b_i$$

# Метод морфологічного аналізу з фіксованими параметрами

З системи рівнянь виключаємо рівняння, що відповідають фіксованим параметрам:

$$\begin{cases} \left\{ p_l^{(k)} = \sum_{j_m, m \in \overline{1, N} \cap B, m \neq k} P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_{k'}}^{(k')}) p_{j_{k'}}^{(k')} \right\}, & k \in \overline{1, N} / B, \\ \left\{ \sum_{i=1}^{n_k} p_i^{(k)} = 1 \right\}, & k \in \overline{1, N} / B, \end{cases}$$

$k'$  – номер наступного нефіксованого параметра після  $k$ , або номер першого нефіксованого параметра, якщо  $k$  – номер останнього нефіксованого параметра

# Ймовірності конфігурацій і ситуацій

- Ймовірність альтернативи нефіксованого параметра:

$$p_{j_k}^{(i_k)} = \frac{p_{j_k}^{\prime(i_k)} \sum_{j_m, m \in I_0, m \neq k} \dots \sum C_{j_1 j_2 \dots j_N} \prod_{l \in I_0, l \neq k} p_{j_l}^{\prime(i_l)}}{\sum_{j_m, m \in I_0} \dots \sum C_{j_1 j_2 \dots j_N} \prod_{l \in I_0} p_{j_l}^{\prime(i_l)}}$$

- Ймовірність ситуації:

$$P(S) = \frac{\sum_{j_m, m \in I_0} \dots \sum C_{j_1 j_2 \dots j_N} p_{j_1}^{\prime(i_1)} \dots p_{j_N}^{\prime(i_N)}}{\sum_{j_1=1}^{n_1} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} C_{j_1 j_2 \dots j_N} p_{j_1}^{\prime(i_1)} \dots p_{j_N}^{\prime(i_N)}}$$

$I_0$  – множина параметрів з невизначеними альтернативами

# Метод морфологічного аналізу з фіксованими параметрами

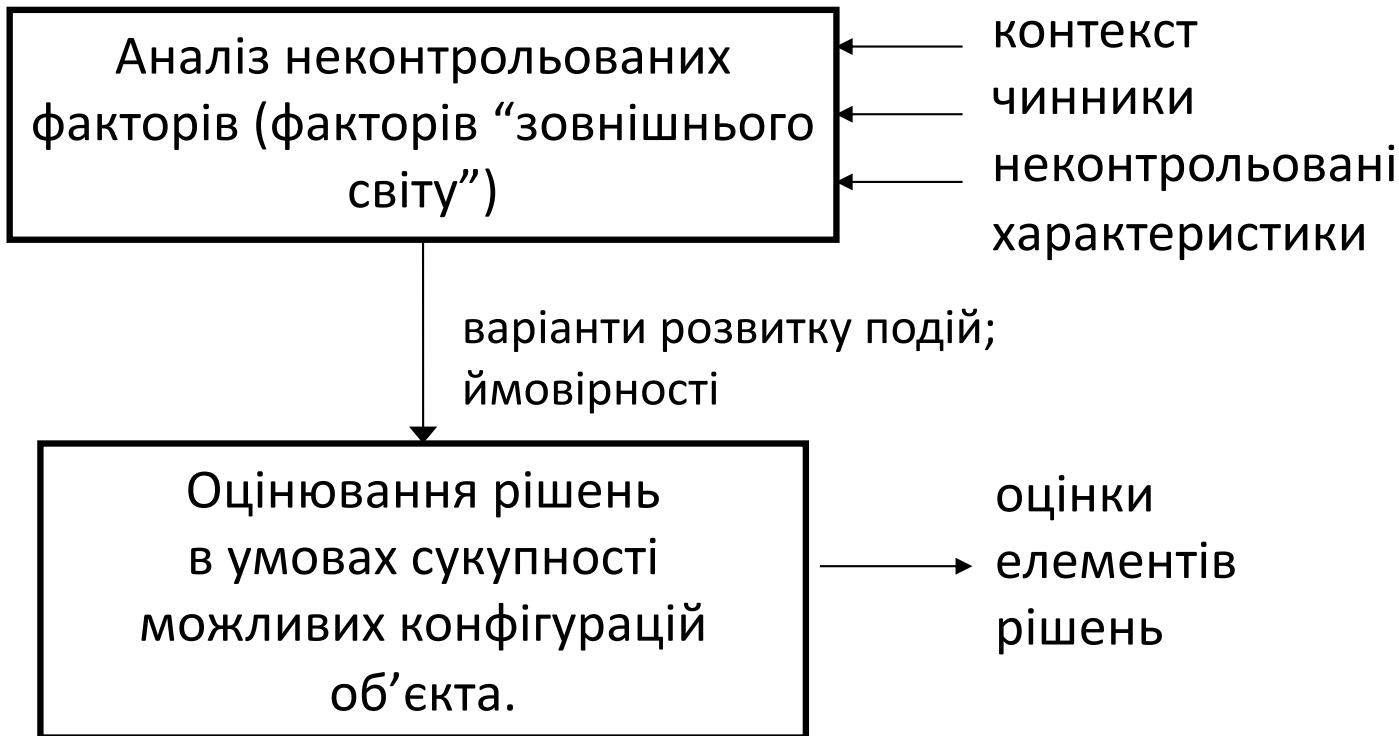
$F_1$	$F_2$	$F_3$
0,3	0,7	0,2
0,4	0,2	0,3
0,3	0,1	0,5

		$F_1$	$a_1^{(1)}$	$a_2^{(1)}$	$a_3^{(1)}$	$F_2$	$a_1^{(2)}$	$a_2^{(2)}$	$a_3^{(2)}$
$F_2$	$a_1^{(2)}$	0,2	0,5	-0,2		$a_1^{(2)}$	$a_2^{(2)}$	$a_3^{(2)}$	
	$a_2^{(2)}$	-0,8		0,5					
	$a_3^{(2)}$	0,8	-0,5	0,2					
$F_3$	$a_1^{(3)}$	-0,8	0,5	0,8		$a_1^{(3)}$	$a_2^{(3)}$	$a_3^{(3)}$	
	$a_2^{(3)}$	-0,5	0,5						
	$a_3^{(3)}$	0,5		0,2					

$F_1$	$F_2$	$F_3$
0,186	0,65	0,256
0,508	0,231	0,361
0,306	0,119	0,382

$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$
1	0,69	0,067	0	0,742	0,281	0	0,474	0,33
0	0,059	0,235	1	0,208	0,445	0	0,373	0,299
0	0,251	0,698	0	0,05	0,247	1	0,153	0,371

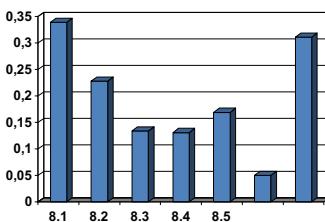
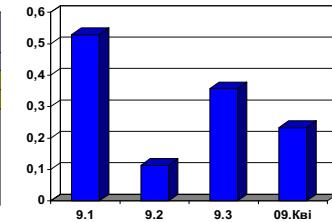
# Двохетапний метод морфологічного аналізу



Характеризуючі параметри									
Інтернет	Кількість програм	Мобільні засоби	Довжина письма	Тембашка	Обсяг інформації	Повторна статистика	Можливість прогресування	Численність	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
звіс	звіт	звіт	звіт	не зареєстровано	зареєстровано	зареєстровано	зареєстровано	зареєстровано	результат
справа	ПК	SMS	імпульс	багатий	стискає	е	е	-1	очікує
праця	ПК і мобільні засоби	WAP	мобільний запрос	середній	+чарік			+1	запису
				+експерт -оптимізатор					+1 голова



Характеристика ситуації	Місце порад
1	2
0,273	0,311
0,484	0,159
0,177	0,282
0,066	0,078
0,036	0,078
0,078	0,056



# Двохетапний метод морфологічного аналізу: приклад

## Методи боротьби з аварійними ситуаціями

- 1) методи запобігання аварійним ситуаціям: відеоспостереження з фотофіксацією порушень; автоматичні датчики швидкості; розмежувачі смуг на дорогах; уповільнювачі; пропаганда дотримання правил дорожнього руху;
- 2) методи ліквідації наслідків аварійних ситуацій: створення дорожніх бригад; керування світлофорами в ручному режимі; інформування інших учасників руху про аварію на ділянці дороги.

Методи запобігання аварійним ситуаціям	Методи ліквідації наслідків аварійних ситуацій
8	9
8.1. Відеоспостереження з фотофіксацією порушень	9.1. Створення дорожніх бригад
8.2. Автоматичні датчики швидкості	9.2. Керування світлофорами в ручному режимі
8.3. Розмежувачі смуг на дорогах	9.3. Інформування інших учасників руху про аварію на ділянці дороги
8.4. Уповільнювачі	
8.5. Пропаганда дотримання правил дорожнього руху	

# Двохетапний метод морфологічного аналізу: матриця зв'язків

Для врахування зв'язків між параметрами морфологічних таблиць першого та другого етапів пропонується використовувати числову матрицю зв'язків. У відповідності з розробленою стратегією кожній парі альтернатив  $a_{j1}^{(i1)}, a_{j2}^{(i2)}$  параметрів  $F_{i1}, F_{i2}$  таблиць першого та другого етапів присвоюється оцінка  $c_{i1j1,i2j2} \in [-1;1]$  згідно з таблицею:

Оцінка	Пояснення
-1	Альтернатива параметра стратегії є повністю неефективною при виборі відповідної альтернативи параметра сценарію
(-1;0)	Вибір відповідної альтернативи параметра сценарію в певній мірі зменшує ефективність альтернативи параметра стратегії
0	Ефективність альтернативи параметра стратегії ніяк не залежить від вибору відповідної альтернативи параметра сценарію
(0;1)	Вибір відповідної альтернативи параметра сценарію в певній мірі збільшує ефективність альтернативи параметра стратегії
1	Альтернатива параметра стратегії є повністю ефективною при виборі відповідної альтернативи параметра сценарію

Матриця заповнюється експертами за допомогою процедури, аналогічної до заповнення матриці взаємозв'язків.

# Двохетапний метод морфологічного аналізу: матриця зв'язків

# Двохетапний метод морфологічного аналізу

- Величина умовної результативності альтернативи  $a_j^{(i)}, i \in \overline{N+1, N+N'}$  при конфігурації МТ першого етапу  $\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}$ :

$$R(a_j^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) = \frac{p_j'^{(i)} \cdot \prod_{m=1}^N (c_{mj_m,ij} + 1)}{\sum_{k=1}^{n_i} \left( p_k'^{(i)} \cdot \prod_{m=1}^N (c_{mj_m,ik} + 1) \right)}$$

- За відсутності додаткової інформації значення  $p_j'^{(i)} = \frac{1}{N'}, i \in \overline{N+1, N+N'}$

# Двохетапний метод морфологічного аналізу

- Очікувана результативність альтернативи  $a_j^{(i)}$ :

$$R_j^{(i)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} R(a_j^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\})$$

- Альтернативна оцінка – відстань до гіпотетичної “ідеальної” стратегії:

$$W_j^{(i)} = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} (R(a_{\max_i}^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) - \\ - R(a_j^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\})) \cdot P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) = R_{\max}^{(i)} - R_j^{(i)},$$

де  $a_{\max_i}^{(i)}$  – альтернатива, за якої  $R(a_j^{(i)} | \{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, a_{j_3}^{(3)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\})$  має максимальне значення.

# Приклад

Нехай для попередньої задачі задана морфологічна таблиця другого етапу із одним параметром, що має три альтернативи. Також задана матриця взаємозв'язків.

$F_1$	$F_2$	$F_3$
$a_1^{(1)}$	$a_1^{(2)}$	$a_1^{(3)}$
$a_2^{(1)}$	$a_2^{(2)}$	$a_2^{(3)}$
$a_3^{(1)}$	$a_3^{(2)}$	
	$a_4^{(2)}$	

$F_4$
$a_1^{(4)}$
$a_2^{(4)}$
$a_3^{(4)}$

		$F_4$		
		$a_1^{(4)}$	$a_2^{(4)}$	$a_3^{(4)}$
$F_1$	$a_1^{(1)}$	-0,5	0,2	0,5
	$a_2^{(1)}$	0	0,5	-0,5
	$a_3^{(1)}$	0,2	-0,6	0
$F_2$	$a_1^{(2)}$	0	-0,2	-0,2
	$a_2^{(2)}$	0,5	-0,4	-0,8
	$a_3^{(2)}$	0,6	0,2	0
	$a_4^{(2)}$	-0,3	0	0,2
$F_3$	$a_1^{(3)}$	0,5	-0,2	0,8
	$a_2^{(3)}$	-0,5	0	-0,5

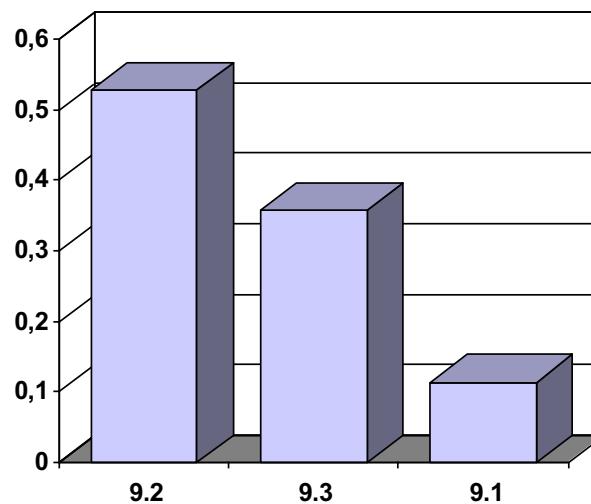
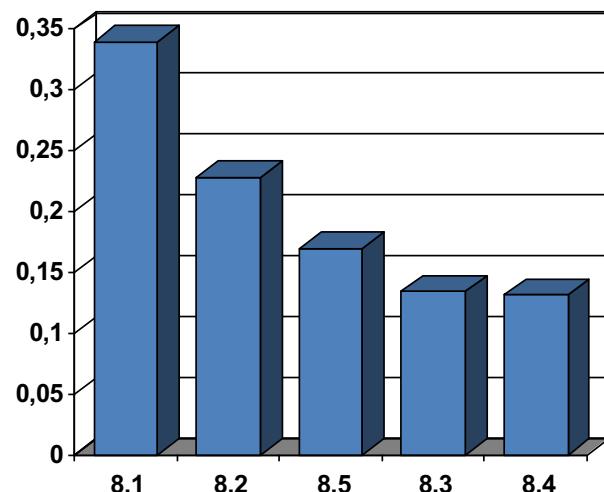
# Приклад

$F_1$	$F_2$	$F_3$	$P(s)$	$R_1^{(4)''}$	$R_2^{(4)''}$	$R_3^{(4)''}$	$R_1^{(4)}$	$R_2^{(4)}$	$R_3^{(4)}$	$R_1^{(4)}P(s)$	$R_2^{(4)}P(s)$	$R_3^{(4)}P(s)$
1	1	1	0,081	0,75	0,768	2,16	0,204	0,209	0,587	0,01652	0,01691	0,04757
1	1	2	0,105	0,25	0,96	0,6	0,138	0,530	0,331	0,01450	0,05569	0,03481
1	2	1	0,027	1,025	0,576	0,54	0,479	0,269	0,252	0,01293	0,00726	0,00681
1	2	2	0,053	0,375	0,72	0,15	0,301	0,578	0,120	0,01596	0,03065	0,00639
1	3	1	0,009	0,45	1,152	2,7	0,105	0,268	0,628	0,00094	0,00241	0,00565
1	3	2	0	0,15	1,44	0,75	0,064	0,615	0,321	0	0	0
1	4	1	0,018	0,525	0,96	3,24	0,111	0,203	0,686	0,00200	0,00366	0,01234
1	4	2	0,035	0,175	1,2	0,9	0,077	0,527	0,396	0,00269	0,01846	0,01385
2	1	1	0,135	1,5	0,96	0,72	0,472	0,302	0,226	0,06368	0,04075	0,03057
2	1	2	0,117	0,5	1,2	0,2	0,263	0,632	0,105	0,03079	0,07389	0,01232
2	2	1	0,068	2,25	0,72	0,18	0,714	0,229	0,057	0,04857	0,01554	0,00389
2	2	2	0,088	0,75	0,9	0,05	0,441	0,529	0,029	0,03882	0,04659	0,00259
2	3	1	0,023	2,4	1,44	0,9	0,506	0,304	0,190	0,01165	0,00699	0,00437
2	3	2	0	0,8	1,8	0,25	0,281	0,632	0,088	0	0	0
2	4	1	0,045	1,05	1,2	1,08	0,315	0,360	0,324	0,01419	0,01622	0,01459
2	4	2	0,058	0,35	1,5	0,3	0,163	0,698	0,140	0,00944	0,04047	0,00809
3	1	1	0,03	1,8	0,256	1,44	0,515	0,073	0,412	0,01545	0,00220	0,01236
3	1	2	0,047	0,6	0,32	0,4	0,455	0,242	0,303	0,02136	0,01139	0,01424
3	2	1	0,008	2,7	0,192	0,36	0,830	0,059	0,111	0,00664	0,00047	0,00089
3	2	2	0,018	0,9	0,24	0,15	0,698	0,186	0,116	0,01256	0,00335	0,00209
3	3	1	0,005	2,88	0,384	1,8	0,569	0,076	0,355	0,00284	0,00038	0,00178
3	3	2	0	0,96	0,48	0,5	0,495	0,247	0,258	0	0	0
3	4	1	0,01	1,26	0,32	2,16	0,337	0,086	0,578	0,00337	0,00086	0,00578
3	4	2	0,023	0,42	0,4	0,6	0,296	0,282	0,423	0,00680	0,00648	0,00972
Сума:							<b>0,35171</b>	<b>0,40062</b>	<b>0,25067</b>			

# Двохетапний метод морфологічного аналізу

## Результат:

Методи запобігання аварійним ситуаціям		Методи ліквідації наслідків аварійних ситуацій	
8	Оцінка	9	Оцінка
8.1. Відеоспостереження з фотофіксацією порушень	0,339	9.1. Керування світлофорами в ручному режимі	0,114
8.2. Автоматичні датчики швидкості	0,228	9.2. Створення дорожніх бригад	0,529
8.3. Розмежувачі смуг на дорогах	0,134	9.3. Інформування інших учасників руху про аварію на ділянці дороги	0,357
8.4. Уповільнювачі	0,131		
8.5. Пропаганда дотримання правил дорожнього руху	0,169		



# Сценарний аналіз затримок і простоїв на підприємстві

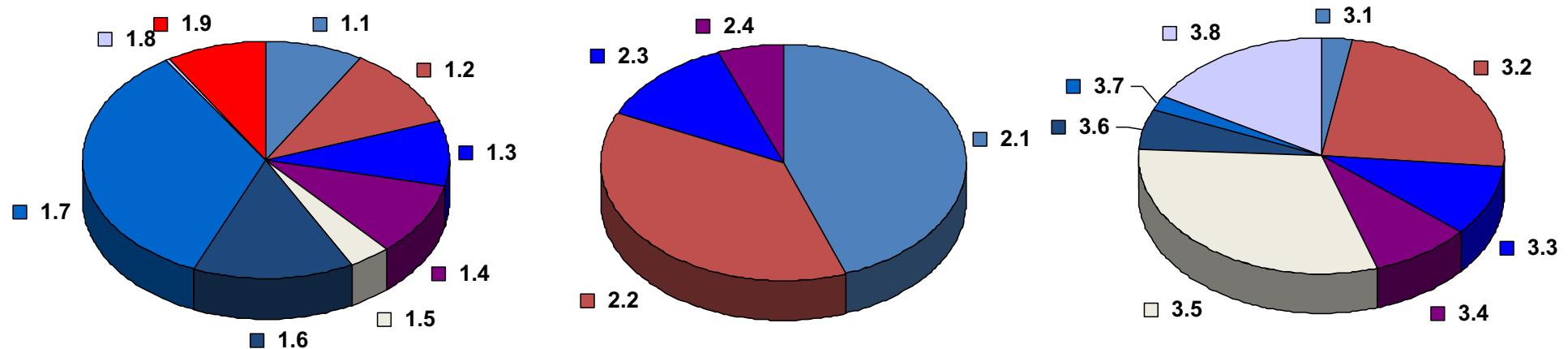
		2. Час затримки				3. Причина							
		2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
1. Стадія	1.1	0.27	0.15	-0.29	-0.40	-0.07	0.13	-0.05	-1.00	0.17	-0.25	-1.00	-1.00
	1.2	0.37	0.29	-0.32	-0.45	-0.14	-0.35	-0.15	-1.00	0.31	-0.15	-0.34	-0.10
	1.3	0.28	0.22	-0.20	-0.31	0.08	0.05	-1.00	-1.00	0.23	-1.00	-1.00	-1.00
	1.4	0.25	0.22	0.01	-0.11	-0.06	0.30	-1.00	-1.00	0.09	-1.00	-1.00	-1.00
	1.5	0.10	0.02	-0.46	-0.61	-0.18	-0.40	-0.23	-0.23	0.13	-0.24	-0.18	0.01
	1.6	0.26	0.23	-0.16	-0.42	-1.00	-1.00	0.23	0.23	0.09	-0.04	-0.01	0.36
	1.7	0.52	0.44	0.39	0.27	-1.00	0.29	0.10	-0.03	0.16	-0.23	-0.15	0.10
	1.8	-0.07	-0.15	-0.64	-0.70	-1.00	-1.00	-0.20	-0.11	-0.17	-0.38	-0.34	-0.19
	1.9	0.20	0.13	-0.15	-0.53	-1.00	-1.00	-0.04	0.16	0.12	0.26	-0.17	0.11
2. Час затрим ки	2.1					0.06	0.28	0.25	0.26	0.41	0.20	0.11	0.36
	2.2					-0.03	0.31	0.12	0.18	0.30	0.10	-0.01	0.27
	2.3					-0.26	0.17	-0.17	-0.01	-0.10	-0.11	-0.31	0.10
	2.4					-0.44	0.09	-0.34	-0.16	-0.30	-0.30	-0.42	-0.06

Висновки (частково):

- затримки довжиною більше 3 годин виникають, як правило, тільки на стадії розвантаження;
- найбільш ймовірна причина затримки на стадії розвантаження – неякісний вантаж;
- найбільша кількість коротких затримок виникає з причин нестачі персоналу і зношеності колій;
- причина нестачі персоналу актуальна на всіх стадіях, крім екіпірування тощо.

# Сценарний аналіз затримок і простоїв на підприємстві

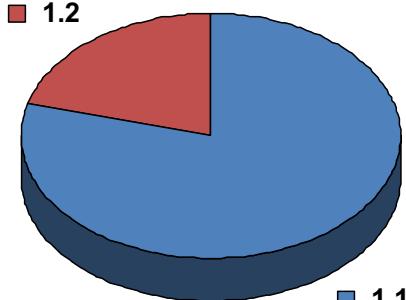
1. Стадія		2. Тривалість		3. Причина	
1.1. Комерційний огляд	0.085	2.1. До 1 години	0.444	3.1. Неправильно оформлені документи	0.028
1.2. Технічний огляд	0.113	2.2. 1–3 години	0.375	<b>3.2. Неякісний вантаж</b>	<b>0.235</b>
1.3. Обробка документів	0.087	2.3. Від 3 годин до доби	0.124	3.3. Нестача місця на коліях	0.097
1.4. Контроль якості	0.102	2.4. Більше доби	0.057	3.4. Незадовільний технічний стан	0.090
1.5. Зважування	0.035			<b>3.5. Недоштат змінного персоналу</b>	<b>0.307</b>
<b>1.6. Розформування/сортування</b>	<b>0.141</b>			3.6. Нестача рухомого складу	0.058
<b>1.7. Розвантаження</b>	<b>0.345</b>			3.7. Брак в роботі	0.017
1.8. Екіпування	0.004			<b>3.8. Зношення колій/Обмеження швидкості</b>	<b>0.168</b>
1.9. Завантаження	0.088				



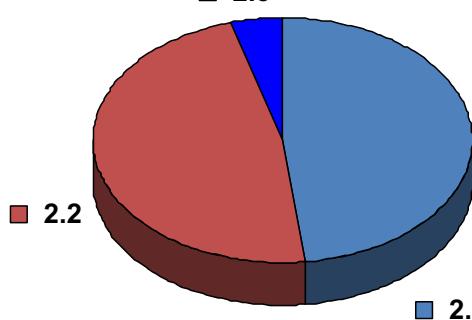
# Побудова сценаріїв уникнення дорожніх заторів

1. Час		2. Район		3. Місце		4. Регулярність		5. Причина	
1.1. Години "пік"	0.793	2.1. Центр	0.480	3.1. Ділянки дороги, мости	0.065	4.1. Регулярні	0.515	5.1. Низька пропускна здатність	0.379
1.2. Не години "пік"	0.207	2.2. Шляхи до центру	0.474	3.2. Перехрестя зі світлофором	0.233	4.2. Нерегулярні	0.485	5.2. ДТП	0.092

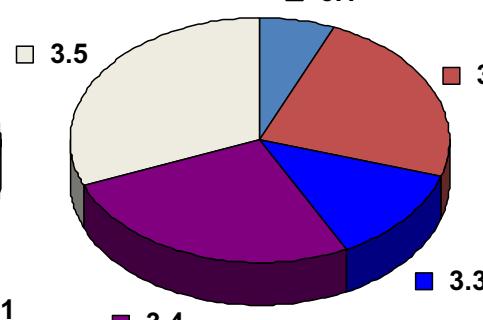
Параметр 1



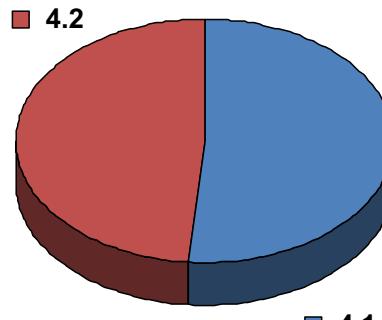
Параметр 2



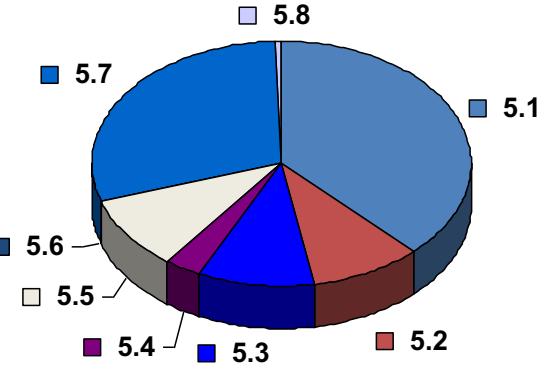
Параметр 3



Параметр 4

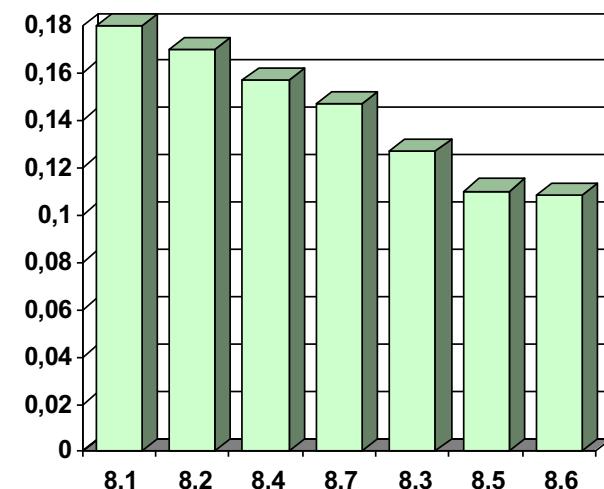
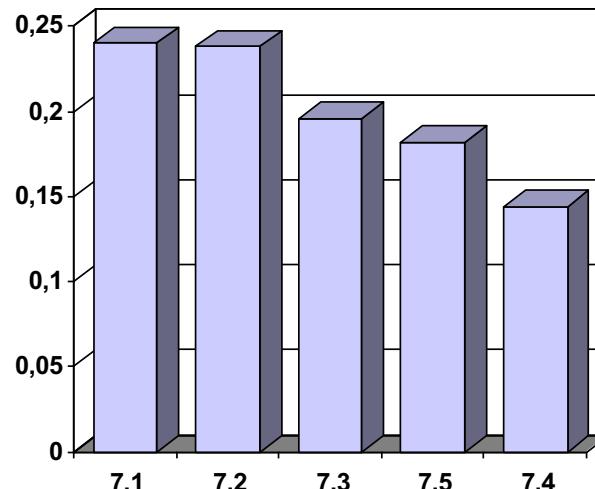
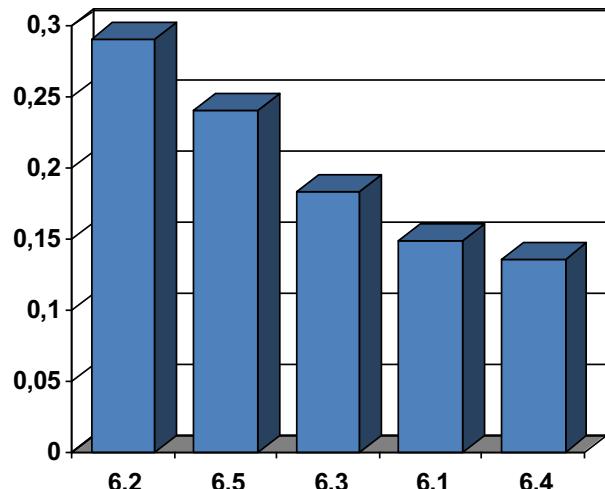


Параметр 5

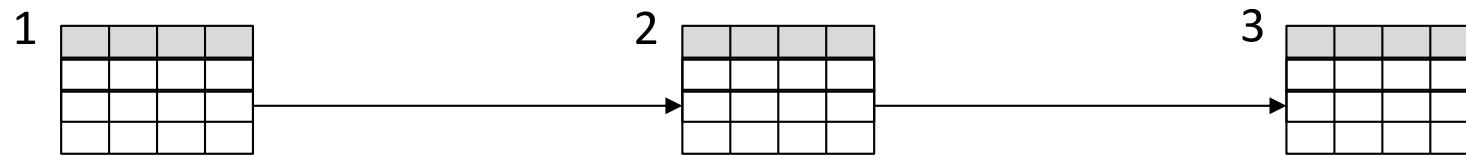


# Побудова сценаріїв уникнення дорожніх заторів

6. Дорожньо-будівельні заходи		7. Інформаційні заходи		8. Організаційні заходи	
6.1. Розширення доріг	0.149	7.1. Системи централізованого управління світлофорами	0.240	8.1. Обмеження кількості автомобілів	0.180
6.2. Нові розв'язки, мости, тунелі	0.291	7.2. Інтелектуальні світлофори	0.238	8.2. Платний в'їзд до центру	0.170
6.3. Спеціальні платні автобани, фрівеї, тунелі	0.183	7.3. Електронні табло	0.196	8.3. Збільшення відповідальності за порушення	0.127
6.4. Експрес-коридори для громадського транспорту	0.136	7.4. Спеціальний радіоканал	0.144	8.4. Карпули, дні “без авто”, пропаганда громадського транспорту, велосипедів і т.д.	0.157
6.5. Дороги з реверсивним рухом	0.241	7.5. Взаємодія з навігаційними системами	0.182	8.5. Заборона лівого повороту	0.110
				8.6. Проведення комерційних перевезень вночі	0.108
				8.7. Різний графік роботи підприємств	0.147



# Мережі морфологічних таблиць



- 1) Одноетапна процедура для табл. 1
- 2) Двохетапна процедура для табл. 1–2 для визначення вхідних оцінок табл. 2
- 3) Одноетапна процедура для табл. 2
- 4) Двохетапна процедура для табл. 2–3 для визначення вхідних оцінок табл. 3
- 5) і т.д.

# Врахування параметру часу

Розглянемо чинники, які можуть впливати на об'єкт з часом:

- 1) **події**, які будемо вважати миттєвими змінами ймовірностей альтернатив параметрів;
- 2) **тенденції**, або неперервні зміни ймовірностей альтернатив параметрів.

# Врахування часу в рамках морфологічної таблиці

$T$	$F_1$	$F_2$	...	$F_N$
$t_1$	$a_1^{(1)}$	$a_1^{(2)}$	...	$a_1^{(N)}$
$t_2$	$a_2^{(1)}$	$a_2^{(2)}$	...	$a_2^{(N)}$
...	...	...	...	...
$t_{n_T}$	$a_{n_1}^{(1)}$	$a_{n_2}^{(2)}$	...	$a_{n_N}^{(N)}$

Розв'язується задача для фіксованого параметра.

# Врахування часу в рамках морфологічної таблиці

Недоліки:

- різні експерти можуть неоднаково уявляти чинники впливу на об'єкт для кожного з моментів часу;
- поява деякої неочікуваної події, що сильно впливає на ймовірності альтернатив параметрів МТ, автоматично робить застарілими отримані експертні оцінки відносно наступних моментів часу;
- зміни з кожним наступним моментом часу не накопичуються, а оцінюються окремо, що збільшує кількість зайвих оцінок, при цьому зменшуючи точність.

# Метод морфологічного аналізу з урахуванням подій і тенденцій

Множина подій  $E = \{E_k \mid k \in \overline{1, n_E}\}$

Вплив події  $E_k$  на альтернативу  $a_j^{(i)}$ :  $\sigma_{kij}$

Незалежну ймовірність альтернативи  $a_j^{(i)}$  з  
урахуванням впливу події  $E_k$  обчислимо  
таким чином:

$$p_{j_i}''^{(i)} = \frac{\sigma_{kij_i} p_{j_i}'^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \sigma_{kij} p_j'^{(i)}}$$

# Метод морфологічного аналізу з урахуванням подій і тенденцій

Врахування всіх подій множини  $E$ :

$$p''^{(i)}_{j_i} = \frac{\prod_{k=1}^{n_E} \sigma_{kij_i} \cdot p'^{(i)}_{j_i}}{\sum_{j=1}^{n_i} \left( \prod_{k=1}^{n_E} \sigma_{kij} \cdot p'^{(i)}_j \right)}$$

Нові величини незалежної ймовірності  $p''^{(i)}_{j_i}$   
використовуються в подальшій процедурі  
морфологічного аналізу.

# Оцінювання впливу подій

Ступінь впливу події $E_k$ на ймовірність альтернативи $a_j^{(i)}$ параметра МТ				
Номер рівня	Якісна характеристика рівня	Значення $\sigma_{kij}$ в загальному вигляді	Значення $\sigma_{kij}$ , якщо $q = \sqrt{2}$ .	Значення $\sigma_{kij}$ , якщо $q = 2$ .
1	Дуже сильний негативний	$q^{-4}$	0,25	0,063
2	Сильний негативний	$q^{-3}$	0,354	0,125
3	Помірний негативний	$q^{-2}$	0,5	0,25
4	Слабкий негативний	$q^{-1}$	0,707	0,5
5	Відсутній	1	1	1
6	Слабкий позитивний	$q$	1,414	2
7	Помірний позитивний	$q^2$	2	4
8	Сильний позитивний	$q^3$	2,828	8
9	Дуже сильний позитивний	$q^4$	4	16

# Метод морфологічного аналізу з урахуванням подій і тенденцій

Множина тенденцій  $T = \{T_k \mid k \in \overline{1, n_T}\}$

Вплив тенденції  $T_k$  на альтернативу  $a_j^{(i)}$ :  $\tau_{kij}(t)$

Найбільш поширені типи залежностей:

- лінійні
- періодичні

# Метод морфологічного аналізу з урахуванням подій і тенденцій

Врахування впливу всіх тенденцій на момент часу  $t$ :

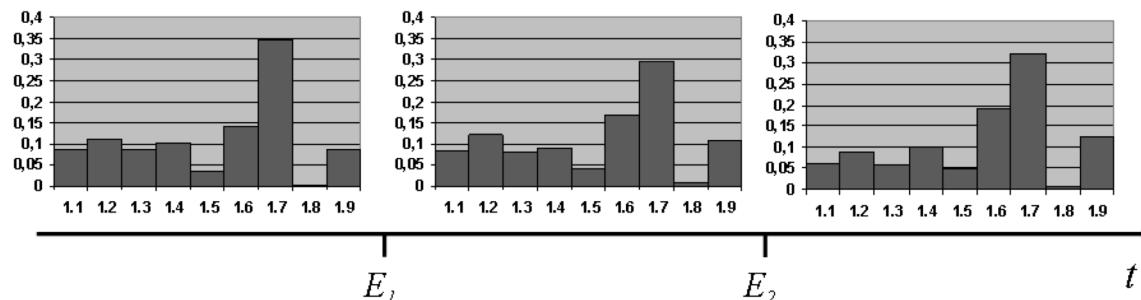
$$p_{j_i}''^{(i)}(t) = \frac{\prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kij_i}(t) \cdot p_{j_i}'^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \left( \prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kij}(t) \cdot p_j'^{(i)} \right)}$$

Врахування впливу всіх тенденцій і наявних подій  $E^* \subset E$ :

$$p_{j_i}''^{(i)}(t) = \frac{\prod_{k=1}^{n_{E^*}} \sigma_{kij_i} \cdot \prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kij_i}(t) \cdot p_{j_i}'^{(i)}}{\sum_{j=1}^{n_i} \left( \prod_{k=1}^{n_{E^*}} \sigma_{kij} \cdot \prod_{k=1}^{n_T} \tau_{kij}(t) \cdot p_j'^{(i)} \right)}$$

# Супровождення об'єкта на проміжках часу

- Лінійна еволюція



- Деревовидна еволюція

