УДК656.7.085:657.71(045)

Прищепа Т.О. , ст. викл.
ІТС НТУУ «КПІ»

МЕТОДИ ОЦІНКИ ГРАНИЦЬ ДОСЯЖНОСТІ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗОНИ ЛИХА В УМОВАХ ДЕСТРУКТИВНИХ ВПЛИВІВ

Наведено методи розв'язання однієї з основних проблем, що стоять перед розробниками телекомунікаційної системи зоні надзвичайної ситуації - проблеми вибору з безлічі мережевих та інформаційних технологій однієї або декількох з них, використання яких забезпечить якісні інформаційні послуги при мінімальних витратах ресурсів на їх реалізацію в умовах дії деструктивних впливів.

Предложены методы решения одной из основных проблем, стоящих перед разработчиками телекоммуникационной системы зоны чрезвычайной ситуации – проблемы выбора из множества сетевых и информационных технологий одной или нескольких из них, использование которых обеспечит качественные информационные услуги при минимальных затратах ресурсов на их реализацию в условиях чрезвычайной ситуации.

One of the main problems facing the developers of the telecommunication system is the selection of a variety of network and information technology to one or more of them, the use of which will provide high-quality information services with minimal resources for their implementation. In an emergency, this problem becomes more urgent.

Вступ.

Організація експертної діяльності в ході проектування телекомунікаційних систем зони лиха (ТКС ЗЛ) повинна передбачати оцінку якості прийнятих технічних рішень при функціонуванні системи в особливих умовах, наприклад в умовах руйнівних зовнішніх впливів. У даному випадку задача може бути зведена до моделювання процесів функціонування ТКС ЗЛ ізовнішнього впливу на неї з аналізом змін експертних показників якості (ПЯ) при різних стратегіях протидії, тобто задача зводиться до непрямої оцінки стійкості системи та оцінки границь досяжності значень ПЯ при різних стратегіях протиборчих сторін. Дана задача може бути вирішена методами теорії ігор.

Постановка завдання.

Проаналізувати методи оцінки границь досяжності значень показника якості ТКС ЗЛ та обґрунтувати вибір технології забезпечення зв'язку між рятувальниками в зоні стихійного лиха при умові, що розглядаються технології радіомереж із самоорганізацією:

- технологія Т1(мережі AdHoc);
- технологія Т2(мережі MANET);
- технологія Т3(ячеїсті мережі - MESH);
- технологія Т4(sensorsnetworks);
- технологія Т5(мережі VANET);
- технологія Т6(гібридні мережі).

Заздалегідь не передбачувані умови в зоні стихійного лиха класифікують за наступними ознаками:

П1 – знищена телекомунікаційна інфраструктура для підтримки усіх видів зв'язку, але є доступ транспортних засобів до потерпілих районів;

П2 – частково знищена телекомунікаційна інфраструктура, не має шляхів під'їзду до потерпілих районів;

П3 – знищено на 90 відсотків інфраструктура проводового зв'язку і на 80 відсотків стільникового, не стабільний доступ до потерпілих районів автотранспорту;

П4 - знищена телекомунікаційна інфраструктура для підтримки усіх видів зв'язку, погода не стабільна, існує небезпека радіаційного та хімічного зараження в зоні стихійного лиха , доступ до потерпілих районів можливий лише авіаційними засобами.

Експертними методами побудова матриця виграшів, де успіх розгортання технології у відповідних умовах було оцінено експертами за 10-ти бальною шкалою(див. табл.).

Таблиця. Матриця виграшів

Технологія	Стан "природи"			
	П1	П2	П3	П4
Т1	4	5	6	7
Т2	6	7	5	6
Т3	3	8	6	2
Т4	4	5	4	9
Т5	9	2	3	3
Т6	5	4	5	6

Способи розв'язання завдання.

Основними поняттями теорії ігор[1] є безліч гравців; простір стратегій гравців, безліч допустимих фіналів (станів об'єкта докладання зусиль), функція виграшу (втрат) і безліч її значень, що відповідають стратегіям гравців і визначають платіжну матрицю і кінцеву ціну гри; сідлова точка гри, що відповідає компромісним стратегіям гравців і забезпечує рівність нижньої і верхньої ціни гри. Метою гри є отримання кожним гравцем чистих або змішаних стратегій управління, що гарантують виграш (програш) у показниках якості в гірших умовах функціонування об'єкта, тобто ціну гри, відповідну її седловій точці. За ступенем тимчасової залежності безліч стратегій гравців і елементів платіжної матриці розрізняють динамічну і статичну гру. Якщо у грі бере участь два гравці з протилежними інтересами (цілями) гру називають антагоністичної, а якщо виграш одного з них дорівнює програшу іншого, то антагоністичної грою з нульовою сумою. Якщо ряд гравців об'єднуються в групи з метою спільного досягнення загальної мети в грі з іншою групою, то гра називається коаліційною. Якщо процес гри розгортається в часі з почерговим ходом кожного з гравців, то гра називається позиційною, а прийняття рішення на кожному її кроці може бути пов'язано з наявністю або відсутністю інформації стосовно попередніх (майбутніх) стратегій гравців, про поточний стан об'єкта і величину доходу.

Нарешті, антагоністична однокрокові гра двох гравців з протилежними інтересами з відомою платіжної матрицею називається матричної грою з нульовою сумою. Так як до даного типу ігор в нормальній формі зводиться більшість позиційних ігор, далі детально розглянемо постановку і можливі методи вирішення матричних ігор. [1, 2]

Нехай задана матрична гра, в якій перший гравець $X = \{x_i\}$ має m можливих стратегій управління, другий гравець $Y = \{y_i\}$ має n стратегій, а прямокутна матриця платежів $G = \{g_{ij}\}$ розмірністю $m \times n$ визначає виграші (програші) кожного з гравців при застосуванні ними стратегій x_i і y_i. Метою гри є відшукання першим з гравців стратегії, що доставляє максимум виграшу g_{ij}, а другим гравцем стратегії відповідної мінімуму g_{ij}. Залежно від першості прийняття рішень гравцями можливо два сценарії гри, що визначають різні значення функції втрат.

Нижньою ціною матричної гри з нульовою сумою - мінімальним гарантованим виграшем першого гравця в найгірших умовах назвемо величину виграшу (втрат), відповідну випадку, коли спочатку ходить другий гравець, формуючи вектор $\{j_{\text{опт}} | i\}$ умовно оптимальних стратегій супротивника і вектор доходів $\{g_{i(j)min}\}$. мінімальних по кожному і-й рядку матриці, а потім перший гравець вибирає безумовно оптимальну і-ю (песимістичну) стратегію, відповідну елементу вектора з максимальним доходом:

$$\alpha = \max_i \min_j g_{ij} (1)$$

Верхньою ціною гри - максимальним гарантованим виграшем першого гравця - назвемо величину виграшу (втрат), відповідну зворотній послідовності прийняття рішень, тобто спочатку перший гравець визначає вектор умовно оптимальних стратегій $\{i_{\text{опт}} | j\}$, відповідних максимальним виграшам по кожному із j-х стовпців матриці доходів $\{g_{i(j)max}\}$. А потім другий гравець визначає безумовно оптимальну стратегію $j_{\text{опт}}$, відповідну мінімального елементу вектора доходів і визначальну тим самим оптимістичну стратегію першого гравця:

$$\beta = \min_j \max_i g_{ij} \mathbf{(2)}$$

Нижня і верхня ціни гри пов'язані співвідношенням

$$\alpha \leq \beta \mathbf{(3)}$$

Строга рівність у виразі (3) говорить про наявність сідлової точки в матриці G, а відповідні їй стратегії x_{i0} і y_{j0} називають оптимальними (компромісними) рішеннями гри в чистих стратегіях.У випадку $\alpha < \beta$ матриця G не має сідлової точки (стабільної гри) в чистих стратегіях, і необхідно перейти до її пошуку в змішаних стратегіях.

Змішаною стратегією називається вектор $\vec{p} = \{p_1, \dots, p_m\}$, де p_i - ймовірність застосування чистої стратегії x_i, яка задовольняє умовам $0 \leq p_i \leq 1, \sum_{i=1}^{n} p_i = 1$. Аналогічно змішана стратегія другого гравця являє собою вектор $\vec{q} = \{q_1, \dots, q_n\}$, де q_j представляє собою ймовірність застосування другим гравцем стратегії y_j.

Ціна гри повинна тепер визначатися математичним очікуванням вибіркових значень виграшу (програшу) гравців з урахуванням ймовірностей появи різних стратегій гравців за період гри:

$$Z(\vec{p},\vec{q}) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} p_i q_j g_{ij} \quad (4)$$

Згідно з теоремою Неша, гра в змішаних стратегіях завжди має седлову точку (рівність нижньої і верхньої цін ігри), а відповідна їй ціна гри

$$\gamma(p^{\text{опт}}, q^{\text{опт}}) = max_{\vec{p}}\, min_{\vec{q}}\, Z(\vec{p},\vec{q}) = min_{\vec{q}}\, max_{\vec{p}}\, Z(\vec{p},\vec{q}) \quad (5)$$

Для пошуку нижньої ціни гри другий гравець визначає вектор чистих стратегій $\{y_j\}$, який доставляє мінімум виграшу по всіх і-м рядкам матриці доходів, а далі шукається вектор ймовірностей застосування стратегій (змішана стратегія) першого гравця $\{p_i^{\text{опт}}\}$, що максимізує його виграш $Z(y_j,\vec{p}^{\text{опт}}) \leq \gamma$.

Порядок пошуку верхньої ціни гри включає вибір другим гравцем вектора чистих стратегій$\{x_i\}$, який максимізує для кожного з j-х стовпців виграш першого гравця, і подальший пошук значень компонент вектора$\vec{q}^{\text{опт}} = \{q_j^{\text{опт}}\}$,що мінімізують цей виграш. Отримане при цьому значення виграшу виявляється рівним$Z(\vec{q}^{\text{опт}}, x_i) \geq \gamma, i = 1,\dots,n$. Для випадку рівності нижньої і верхньої цін ігри отримуємо оптимальні (компромісні) рішення в змішаних стратегіях, фізичний зміст яких полягає в дотриманні гравцями оптимальних значень ймовірностей появи наявних в їх розпорядженні чистих стратегій на всьому періоді гри.

Так як рішення гри в змішаних стратегіях є загальним випадком в порівнянні з грою в чистих стратегіях, далі розглянемо методи вирішення ігрових задач для загального випадку.

Відповідно до введених понять нижньої і верхньої цін гри можна записати:

$$Z(i,q_j) = \sum_{j=1}^{n} g_{ij} g_j \le \gamma; Z(p_i, j) = \sum_{i=1}^{m} g_{ij} p_i \ge \gamma \quad (6)$$

Одночасно, враховуючи умову нормування для шуканих векторів ймовірностей стратегій першого і другого гравців

$$\sum_{i=1}^{m} p_i = 1; \sum_{j=1}^{n} q_j = 1 \quad (7)$$

і масштабуючи вираз (7) на величину γ, отримаємо дві (пряму і двоїсту) задачі лінійного програмування:

$$\sum_{j=1}^{n} q_j^* = \frac{1}{\gamma} = W \Rightarrow \max_{\vec{q}}, \sum_{j=1}^{n} g_{ij} q_j^* \le 1; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{m} p_i^* = \frac{1}{\gamma} = U = \min_{\vec{p}}, \sum_{i=1}^{m} g_{ij} p_i^* \ge 1; \quad (9)$$

де p_i^*, q_j^* - нормовані на величину γ ймовірності використання стратегій гравців.

Рішення даних завдань ЛП можуть бути знайдені звичайним симплекс-методом, а перерахунок знайдених оптимальних векторів у значення ймовірностей появи стратегій гравців здійснюється наступним чином: $\gamma = {}^{1}/_{\varpi} = {}^{1}/_{\nu}$; $p_i = p_i^* \gamma$; $q_j = q_j^* \gamma$. Зазвичай починають рішення тієї задачі для якої менше число обмежень (простіше багатокутник рішень).

Крім того, ігрові завдання можуть вирішуватися і ітераційними методами, що включають наступні етапи:

а) вибір довільної стратегії першого гравця x_i першої партії;

б) вибір стратегії другого гравця y_j, при якій перший гравець отримує мінімальний виграш g_{ij};

в) стратегія y_j приймається активною для другого гравця, для нього визначаються втрати при будь-якій стратегії першого гравця і визначається та з них $x_i^{\prime}$, яка доставляє максимум втрат другому гравцеві;

г) стратегіюx_i', приймають як активну для першого гравця і відшукується та з стратегій другого гравцяY_j', яка забезпечує мінімум сумарного за два кроки виграшу першого гравця.

Далі розіграш триває до моменту збігу сумарного виграшу і програшу за всі кроки ігри або до моменту коли їх різниця стане менше деякої наперед заданої величини$(\beta_\Sigma - \alpha_\Sigma) \leq \varepsilon$.

Частота застосування тих чи інших стратегій гравців у ході всієї партії приймається в якості векторів ймовірностей стратегій першого і другого гравців, а число можливих ітерацій може досягати величин порядку сотень і тисяч.

Особливий інтерес представляє розгляд стохастичних моделей функціонування та алгоритмів оцінки станів проектованої ТКС ЗЛ в ігровій постановці, синтезованих на основі керованих ланцюгів Маркова (КЛМ), тобто при реалізація гри в умовах, коли стан об'єкта управління і стратегій протиборчих сторін можуть бути описані векторноюКЛМ, а спостереження за її станом здійснюються в умовах шумів.

Розглянемо підхід до вирішення задачі векторної динамічної оптимізації експертного показника якості функціонування ТКС ЗЛ в умовах конфлікту методами динамічних стохастичних ігор на основі мінімаксної моделі прийняття рішень.

1) У разі, якщо вектор стану $\vec{\eta}(k) = \{\eta_n(k)\}, n = \overline{1, n}$, включає N підпроцесів з кінцевим числом станів M, сформульований експертний векторний показник якості моделі функціонування ТКС ЗЛ $\vec{Y}(k) = \{Y_n(k)\}, i = \overline{1, n}$, цільова функція $\vec{L}(k) = \left\{(Y_n(k) - Y_{n\,д})^q\right\}, q = 1,2$, вектор доходів у початковому стані системи$\vec{L}\big(0, \eta(0)\big) = \{L_n(0)\}$ і матриця однокрокової зміни доходів$\Delta L_{mm'}\Big(k, k-1, \vec{u}(k), \vec{F}(k)\Big) = \Big\{\Delta L_{mm'}^{\vec{u},\vec{F}}\Big\}$, тоді

компромісні стратегії управління ТКС ЗЛ можутьбути визначені на основі рішення наступного рівняння Беллмана:

$$D_m\left[k, \vec{z}\left(\vec{\eta}(k)\right), p_m^{\text{опт}}\left(\vec{u}^{\text{опт}}(k)\right), p_m^{\text{опт}}\left(\vec{F}^{\text{опт}}(k)\right)\right] =$$

$$\min_{p_m^{\text{опт}}\left(\vec{u}^{\text{опт}}(k)\right), p_m^{\text{опт}}\left(\vec{F}^{\text{опт}}(k)\right)} M\left\{\left[\left[\sum_{n=1}^{N}\left[J_{mn}\left(k, \vec{\eta}(k), p_m\left(\vec{u}(k), p_m\left(\vec{F}(k)\right)\right)\right)-\right.\right.\right.\right.$$

$$\left.\left.J_{mn}^{*}\left(k, \vec{\eta}(k), p_m^{*}\left(\vec{u}^{*}(k), p_m^{*}\left(\vec{F}^{*}(k)\right)\right)\right)\right]^{q}\right]^{1/q} + D_m\left[k-1, \vec{z}\left(\vec{Y}(k-\right.\right.$$

$$\left.\left.\left.1)\right), p_m^{\text{опт}}\left(\vec{u}^{\text{опт}}(k-1)\right), p_m^{\text{опт}}\left(\vec{F}^{\text{опт}}(k-1)\right)\right]\right| \vec{z}(k)\right\}, D_m[0; \vec{z}(\vec{\eta}(0))] - D_{m0}$$

2) **(10)**

де $J_{mn}(\cdot)$ і $J_{mn}{}^{*}(\cdot)$ - нормовані поточне і «ідеальне» значення n-го компонента ПЯ; $p_m^{\text{опт}}\left(\vec{u}^{\text{опт}}(k)\right)$ і $p_m^{\text{опт}}(\vec{F}^{\text{опт}}(k))$ - імовірнісні розподілиантагоністичних керуючих впливів$\vec{u}(k)$ і $\vec{F}(k)$, що оптимізуються; $M\{\cdot\}$ - математичне сподівання випадкових процесів; q = 1,2 - показник ступеня, при q = 2 вираз під знаком суми в (10) є евклідова відстань між поточним значенням компонент експертного ПЯ та їх екстремальними значеннями, яка утворює «ідеальну точку; $\vec{J}_{mn}^{*}(\cdot)$- значення ЕПЯ, що задане в технічному завданні.

Значення кожної n-й компоненти вектора $\vec{J}_{mn}^{*}(\cdot)$ може бути знайдений в результаті реалізації гри у відповідності з наступним критерієм:

$$J_{mn}{}^{*}\left(k,\vec{\eta}(k),p_m{}^{*}\left(\overrightarrow{u^{*}}(k),p_m{}^{*}\left(\overrightarrow{F^{*}}(k)\right)\right)\right)=$$
$$\max_{p_m(\vec{F}(k))}\min_{p_m(\vec{u}(k))}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R}p_m(\vec{F}(k))\sum_{n=1}^{N}\Pi_{mm'}(k+1,k,u_s(k),f_r(k))\times\left[\Delta L_m^{u_sf_r}\left(k,\dot{\vec{\eta}}(k)\right)+J_{mn}^{*}(k-1,\dot{\vec{\eta}}(k-1),)p_m^{*}(\vec{u}^{*}(k-1)),p_m^{*}\left(\vec{F}^{*}(k-1)\right)\right]\times p_m(\vec{u}_s(k))=$$
$$\min_{p_n(\vec{u}(k))}\max_{p_n(\vec{F}(k))}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R}p_m(\vec{u}(k))\sum_{n=1}^{N}\Pi_{mm'}(k+1,k,u_s(k),f_r(k))\times\left[\Delta L_m^{u_sf_r}\left(k,\dot{\vec{\eta}}(k)\right)+J_{mn}^{*}(k-1,\dot{\vec{\eta}}(k-1),)p_m^{*}(\vec{u}^{*}(k-1)),p_m^{*}\left(\vec{F}^{*}(k-1)\right)\right]\times p_m(\vec{F}_s(k))$$

,(11)

$$J_{mn}^{*}(0)=L_m(0,\dot{\vec{\eta}}(0))$$

Згідно з теоремою Неша, гра (11) завжди має «седлову точку», проте в деяких випадках становить інтерес отримання «сідлової точки» при грі в чистих стратегіях. У цьому випадку критерій оптимальності може бути сформульована в наступному вигляді:

$$J_{mn}{}^{*}\left(k,\vec{\eta}(k),\overrightarrow{u^{*}}(k),\ \overrightarrow{F^{*}}(k)\right)=\max_{\vec{u}(k)}\min_{\vec{F}(k)}\sum_{n=1}^{N}\Pi_{mm'}{}^{u_sf_r}(k+1,k)\times\left[\Delta L_m^{u_sf_r}\left(k,\dot{\vec{\eta}}(k),k-1\right)+J_{mn}^{*}\left(k-1,\dot{\vec{\eta}}(k-1),\right)\right]=$$
$$\min_{\vec{u}(k)}\max_{\vec{F}(k)}\sum_{n=1}^{N}\Pi_{mm'}{}^{u_sf_r}(k+1,k)\times\left[\Delta L_m^{u_sf_r}\left(\dot{\vec{\eta}}(k),k+1\right)+J_{mn}^{*}\left(k-1,\dot{\vec{\eta}}(k-1),\right)\right]$$

(12)

$$J_{mn}^{*}(0)=L_m(0,\dot{\vec{\eta}}(0))$$

Разом з тим реалізація ігри в чистих стратегіях не гарантує досягнення «седлової точки» і в разі її відсутності в грі (12) проглядається доцільність використання мінімаксних стратегій управління процесом функціонування ТКС ЗЛ на основі оптимізації останніх членів рівняння (12). У цьому випадку буде забезпечений гарантований результат за будь-яких стратегій управління протиборчої сторони.

Для нашої задачі:

1. Задамо платіжну матрицю L.

L=[4 4 6 7;6 7 5 6;3 8 6 2;4 5 4 9;9 2 3 3;5 4 5 6];

2. За критерієм Вальда(“найкраща та технологія, при якій досягається найбільший серед найменших виграшів”) визначимо V_i – найменші елементи усіх рядків матриці L (скористаємося функцією MATLAB min(LT)) та оберемо серед них найбільший. Значення “і” вказує на номер технології оптимальної за критерієм Вальда.

[Va,T]=max(min(L'))

Va =5; T =2

3. Обчислимо матрицю ризиків R=[max(L) ;max(L) ;max(L) ;max(L) ;max(L) ;max(L)]-L;

R=[[max(L) ;max(L) ;max(L) ;max(L) ;max(L) ;max(L)]-L]

R = [54 0 2; 3 1 1 3; 6 0 0 7; 5 3 2 0; 0 6 3 6; 4 4 1 3]

4. За критерієм Севіджа(“найкраща та технологія, при якій досягається найменший серед найбільших ризиків”) визначимо S_i – найбільші елементи усіх рядків матриці R (скористаємося функцією MATLAB max(RT)) та оберемо серед них найменший. Значення “і” вказує на номер технології оптимальної за критерієм Севіджа.

[Sv,T]=min(max(R'))

Sv =3T =2

5. За критерієм Гурвиця визначимо W_i – найбільші елементи усіх рядків матриці L (скористаємося функцією MATLAB max(LT)). Кількісні значення критерію Гурвиця обчислимо за виразом $G_i = K*V_i +(1- K)*W_i$ та оберемо серед цих значень найбільше. Значення “і” вказує на номер технології оптимальної за критерієм Гурвиця.

G=0.5(min(L')+max(L'))де К=0.5 –коефіцієнт оптимізму.*

G = [5.5 6.0 5.0 6.5 5.5 5.0]

[Gu,T]=max(G)

$Gu = 6.5 T = 4$

6. Остаточне рішення приймаємо "Методом голосування", надаючи перевагу тій технології , яку признано оптимальною за більшою кількістю критеріїв.

Вибираємо технологію Т2, яка є оптимальною за більшістю критеріїв

Висновки.

Таким чином, реалізація розглянутих методів у телекомунікаційних експертних системах дозволять експерту провести дослідження границь оптимальності експертних ПЯ ТКС ЗЛ, що проектується, у тому числі при дослідженні моделі функціонування системи в умовах впливу на неї деструктивних зовнішніх факторів. Аналіз даних від реалізації методів оптимізації дозволить сформулювати рекомендації з вибору технічних рішень, що сприяють досягненню експертних ПЯ своїх екстремальних значень (або максимальному наближенню до них) і розробці алгоритмів керування ТКС ЗЛ в особливих умовах.

Використані джерела інформації:

1. *Оуен Г. Теория игр. М.:Едиториал УРСС, 2004. – 216 с.*
2. *Терентьев В.М.Методика обоснования требований к показателям качества автоматизированных сетей многоканальной связи. – Л.:ВАС, 1990. – 78 с.*
3. *Стеклов В.К.Проектуваннятелекомунікаційних мереж./ Стеклов В.К., Беркман Л.Н. — К.: Техніка, 2002.*