

О.С. Бойченко, П.В. Поздняков

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова, Житомир

МЕТОД БАГАТОКРИТЕРІЙНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ БЕЗДРОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

У статті проведено аналіз сучасних методів кластеризації інформаційно-комунікаційної мережі. Удосконалено метод багатокритерійної кластеризації бездротової інформаційно-комунікаційної мережі, який відрізняється методом багатокритерійної оптимізації за нелінійною схемою компромісів, що дає можливість зменшити час на передачу інформації. Зменшення часу на передачу інформації досягається за рахунок вибору в якості контролера кластеру того вузла, який має найбільший запас живлення акумуляторної батареї, найвищу пропускну здатність та найменшу сумарну відстань до всіх вузлів кластеру.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційна мережа, кластеризація, нелінійна схема компромісів.

Вступ

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток телекомунікаційних технологій бездротового зв'язку спричинив швидке розповсюдження інформаційно-комунікаційних мереж (ІКМ), які працюють за принципом Ad Hoc. Характерними особливостями таких мереж є здатність елементів до самоорганізації в радіомережу, відсутність фіксованої архітектури, можливість динамічної маршрутизації. Мережі, які працюють за принципом Ad Hoc, поділяються на стаціонарні Ad Hoc networks та мобільні радіомережі Mobile Ad Hoc Networks.

В бездротових ІКМ, технічною основою яких є мобільні переносні радіопристрої з обмеженим енергетичним ресурсом, постає важливе науково-практичне завдання щодо ефективного управління ресурсами ІКМ з метою зменшення часу передачі великого обсягу інформації з мінімальними енергетичними затратами. Виникнення цього важливого науково-практичного завдання обумовлено існуючим об'єктивним протиріччям між вимогами до збільшення обсягу переданої інформації за мінімальний час та принциповою неможливістю мінімальних енергетичних витрат на її передачу за рахунок існуючої структури (топології) мережі, що й визначає своєчасність та актуальність досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдання ефективного управління ресурсами ІКМ полягає у виборі з множини можливих альтернатив тієї структури (топології), яка б забезпечила максимальне зменшення часу на передачу інформації з мінімальними витратами енергетичних ресурсів. Для його вирішення необхідно в якості контролера кластера обрати той вузол, який має найбільший запас енергоресурсів, найбільшу пропускну здат-

ність та найменшу сумарну відстань до всіх вузлів однієї з ним кластерної зони.

Відомо, що сучасні методи кластеризації бездротових ІКМ базуються на теорії кластерного аналізу, мета якого полягає в групуванні об'єктів до кластеру за певними функціями однорідності (рік, вага, відстань та інше) [1]. В залежності від функцій однорідності прийнято розрізняти однокритерійні (геометричний (географічний), енергоефективний) та багатокритерійні методи розподілення мережі на кластери. В основі даних методів лежать алгоритми кластеризації, які мають різноманітні правила вибору контролерів кластерів [2–13].

В статті [2] автори запропонували алгоритм ефективного вибору контролера кластеру на основі штучного інтелекту. В якості критеріїв вибору контролера кластеру запропоновано мінімум коефіцієнту втрат пакетів та кількісну оцінку його поведінки. Недоліком цього алгоритму є необхідність для його роботи додаткового алгоритмічно-програмного забезпечення щодо оцінки поведінки кожного вузла, що в свою чергу призводить до збільшення часу, потрібного для розподілення ІКМ на кластери.

Зважений алгоритм кластеризації для MANET на основі віртуальних з'єднань (virtual links weighted-based clustering algorithm – VLWBC) [3] при виборі контролера кластеру враховує наступні параметри: степінь зв'язності, коефіцієнт стабільності ступеня зв'язності, відстань між вузлами та кількість енергії, що витрачається для з'єднання між двома вузлами. Аналогічний підхід для визначення контролера кластеру запропоновано авторами розширеного зваженого алгоритму для MANET [4], де використано наступні параметри: степінь зв'язності, рівень заряду акумуляторної батареї, коефіцієнт стаціонарності (мобільність) пристрою, рівень потужності при отриманні

паketу. Недоліком даних алгоритмів є те, що при застосуванні методу багатокритерійної оптимізації, а саме лінійної згортки часткових критеріїв, не враховуються екстремуми, до яких наближаються відповідні параметри пристроїв.

Відповідно до результатів аналізу ряду зважених кластерних алгоритмів [5–7] встановлено, що зі збільшенням кількості параметрів багатокритерійної оптимізації підвищується адекватність математичної моделі, яка описує поведінку вузлів ІКМ, але при цьому суттєво збільшується час на розподілення мережі на кластери.

У динамічному енергоефективному алгоритмі кластеризації (DEECA) контролером кластера призначається той вузол, який має найбільше значення залишкової енергії та є найменш мобільним [8]. Недоліком цього алгоритму є те, що службова інформація не містить дані про зв'язність вузлів, що в свою чергу призводить до частішої реконфігурації мережі.

Алгоритм кластеризації на основі репутації (RECA) обирає в якості контролерів кластерів вузли, які мають найбільший залишковий заряд, високий показник надійності та низьку рухливість. Процедура визначення контролерів кластерів відбувається лише один раз на етапі формування кластерів [9].

Алгоритм кластеризації на основі місця положення вузлів передбачає розподілення площини, на якій розміщені вузли, на кластерні зони відповідно до заданих умов [10]. В кластерних зонах визначаються контролери кластерів за такими метриками: найменша віддаленість від центру кластерної зони, найменша сумарна відстань до всіх вузлів кластерної зони, степінь зв'язності вузлів в кластерній зоні.

Таким чином, в сучасних методах розподілення ІКМ на кластери при виборі контролера кластеру не враховується такий параметр, як пропускна здатність вузла бездротової ІКМ, від якого залежить час передачі інформації.

Метою статті є зменшення часу передачі інформації з мінімальними витратами енергоресурсів шляхом удосконалення методу багатокритерійної кластеризації бездротової ІКМ.

Виклад основного матеріалу

Дано: інформаційно-комунікаційна мережа, яка може бути представлена за допомогою графу

$$G(V, E) = \begin{cases} V = \{v_i, i = 1 \dots N\}; \\ E = \{e_j, j = 1 \dots N\}, \end{cases}$$

де V – множина вузлів, які описують логічні зв'язки мережі; E – множина з'єднань між вузлами мережі.

Вузол мережі – це пристрій, який використовує бездротову технологію передачі даних та має такі параметри:

номінальна ємність акумуляторної батареї пристрою – $E_{\text{ном}}$ (Вт·год);

залишкова ємність акумуляторної батареї пристрою – $E_{\text{зал}}$ (Вт·год);

максимально можливий радіус дії пристрою за умови, що потужність випромінювача має своє максимальне значення – d (м);

максимальне значення пропускної здатності каналу зв'язку, яку може забезпечити відповідний пристрій – M (Мбіт/с).

Задано вектор інтенсивності надходження пакетів g (пакет/с) довжиною L (біт) до вузлів мережі.

Необхідно:

1. Визначити множину контролерів кластерів

$$Y = \{y_0, y_1, \dots, y_m\}, m \leq N/2, \quad (1)$$

де m – кількість кластерів, при якій ІКМ, що складається із N мобільних вузлів, є зв'язаною.

2. Розподілити ІКМ на множину непересічних кластерів Q з контролерами кластерів y_i :

$$Q = \{q_{y_0}, q_{y_1}, \dots, q_{y_m}\}, \quad (2)$$

$$\forall q_{y_i} \in V, \exists y_i : E(y_i) \rightarrow \min,$$

де $E(y_i)$ – цільова функція, за якою визначається контролер кластеру y_i відповідній кластерній зоні.

3. Провести самоорганізацію вузлів ІКМ.

Для вирішення поставленого завдання запропоновано наступні етапи методу:

1. Етап визначення кількості кластерів.

Під час даного етапу обирається необхідна кількість кластерних зон, на які буде розподілена площа, що обмежується графом ІКМ.

У зв'язку з тим, що кластерні зони можна прив'язати до електронних карт та використовувати координати розміщення відповідних вузлів (вершин графу) на площині, запропоновано розподіляти всю площину на наступну кількість кластерних зон: 2, 4, 6, 8, 9, 12, 16. Правила розподілення площини, на якій розміщені вузли, на кластерні зони добре розроблені та реалізовані неієрархічними методами кластеризації [11]. Але прив'язка до електронних карт не завжди доцільна, тому пропонуються наступні етапи розподілення ІКМ на кластерні зони.

1. Визначаються мінімальне та максимальне значення координат вузлів за вісями X та Y . Далі, в залежності від кількості кластерних зон проводиться розподілення ІКМ на кластерні зони.

В загальному вигляді розмір кластерної зони визначається як:

$$\Delta x = \frac{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}{b}; \quad \Delta y = \frac{y_{\text{max}} - y_{\text{min}}}{k}, \quad (3)$$

де b – кількість кластерних зон за віссю X ,

k – кількість кластерних зон за віссю Y .

Обов'язковою умовою коректності виразу (3) є виконання наступної умови: $m = b \cdot k$, де m – загальна кількість кластерів.

2. Відповідно до виразу (3) будуються кластерні зони за опорними точками з наступними координатами:

$$(x_{\min} + i \cdot \Delta x, y_{\min} + j \cdot \Delta y), \quad (4)$$

де $i = 0..(b-1)$; $j = 0..(k-1)$.

Розподілення площини на відповідну кількість кластерів, з урахуванням кількості кластерних зон за осями X та Y наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розподілення площини на кластери

Загальна кількість кластерів	Кількість кластерних зон за віссю X	Кількість кластерних зон за віссю Y
2	2	1
4	2	2
6	3	2
8	4	2
9	3	3
12	4	3
16	4	4

Результатом виконання даного етапу є розподілення мережі на відповідну кількість кластерних зон за осями X та Y з одночасним створенням масивів даних, які містять номери вузлів, що належать відповідній кластерній зоні за географічними координатами.

2. Етап визначення контролерів кластерів.

На даному етапі у відповідній кластерній зоні визначається контролер кластера. Для його визначення реалізовано розв'язок багатокритерійної задачі, щодо побудови адекватної цільової функції, яка є скалярною згортою часткових критеріїв [14]:

$$J^* = f(\max K_{E_i}, \max K_{M_i}, \min K_{L_i}), \quad (5)$$

де K_{E_i} – безрозмірний коефіцієнт залишкового заряду акумуляторної батареї i -го пристрою;

K_{M_i} – безрозмірний коефіцієнт використання пропускної здатності каналу зв'язку, яку може забезпечити i -й пристрій;

K_{L_i} – безрозмірний коефіцієнт віддаленості i -го пристрою від решти пристроїв кластерної зони.

Безрозмірний коефіцієнт залишкового заряду акумуляторної батареї i -го пристрою розраховується за виразом:

$$K_{E_i} = \frac{E_{\text{зал}_i}}{E_{\text{ном}_i}}. \quad (6)$$

Безрозмірний коефіцієнт використання пропускної здатності каналу зв'язку характеризується відношенням номінальної пропускної здатності пристрою до максимально можливої пропускної здатності бездротової технології передачі даних:

$$K_{M_i} = \frac{M_{\text{ном}_i}}{M_{\text{техн}}}. \quad (7)$$

Безрозмірний коефіцієнт віддаленості i -го пристрою від решти пристроїв кластерної зони характеризується сумою всіх відстаней від обраного пристрою до решти пристроїв кластерної зони:

$$K_{L_i} = \frac{L_i}{L_k}, \quad (8)$$

де L_k – максимально можлива сумарна відстань до всіх пристроїв в кластерній зоні;

L_i – сумарна відстань до всіх пристроїв в кластерній зоні:

$$L_i = \sum_{j=1}^{l_m} L_{ij}, \quad (9)$$

де L_{ij} – відстань між i -м та j -м пристроями в кластерній зоні;

l_m – кількість пристроїв у кластерній зоні.

Відповідно до виразу (5) та з урахуванням виразів (6–9) вираз для розрахунку цільової функції набуває наступного вигляду:

$$J^* = \arg \min \left(\frac{1}{K_{E_i}} + \frac{1}{K_{M_i}} + \frac{1}{1 - K_{L_i}} \right). \quad (10)$$

Результатом виконання даного етапу є створення масиву даних, який містить значення цільових функцій, що розраховані для кожного пристрою відповідної кластерної зони.

3. Етап самоорганізації вузлів ІКМ.

Вибір контролера кластеру відбувається шляхом пошуку найменшого значення цільової функції для пристроїв відповідної кластерної зони.

Результатом виконання даного етапу є визначення контролерів кластерів у відповідній кластерній зоні та створення масиву даних, якій містить дані про номери пристроїв, що призначені контролерами кластерів.

До пристрою, визначеного як контролер кластеру, під'єднується решта пристроїв кластерної зони. Контролери кластерів же з'єднуються між собою за максимальною дальністю дії пристроїв.

Перевірку працездатності методу багатокритерійної кластеризації бездротової ІКМ проведено на прикладі її зразка, що складається з 37 пристроїв, параметри яких наведено в табл. 2. Кількість кластерних зон: 2, 4, 6, 8, 9. Площина, на якій розміщені пристрої, обмежена за віссю X від 0 до 1046, а за віссю Y від 0 до 572 умовних одиниць.

Таблиця 2

Параметри пристроїв ІКМ

№	Назва	Е _{ном} мВт·год	Е _{зал} мВт·год	М Мбіт/с	№	Назва	Е _{ном} мВт·год	Е _{зал} мВт·год	М Мбіт/с
1	Getac X500 Mobile-Server	94	62	450	20	Getac B300	94	5	1300
2	Getac B300	94	89	1300	21	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	49	54
3	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	47	54	22	Getac Z710	28	13	450
4	Getac B300	94	3	1300	23	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	44	54
5	Getac Z710	28	11	450	24	Getac Z710	28	13	450
6	Getac F110	31	27	1300	25	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	55	54
7	Getac B300	94	40	1300	26	Getac Z710	28	21	450
8	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	54	54	27	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	43	54
9	Getac Z710	28	12	450	28	Getac Z710	28	6	450
10	Getac F110	31	25	1300	29	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	3	54
11	Getac B300	94	72	1300	30	Getac Z710	28	10	450
12	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	56	54	31	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	25	54
13	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	33	54	32	Getac Z710	28	5	450
14	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	42	54	33	Getac F110	31	21	1300
15	Getac Z710	28	20	450	34	Getac Z710	28	10	450
16	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	21	54	35	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	57	54
17	Getac Z710	28	5	450	36	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	11	54
18	Getac F110	31	10	1300	37	Getac Z710	28	9	450
19	Getac F110	31	23	1300					

На першому етапі методу відповідно до заданої кількості кластерів за виразом (3) та табл. 1 знаходиться розмір кластерної зони в умовних одиницях (табл. 3).

Таблиця 3

Розміри кластерних зон

Загальна кількість кластерів	Розмір кластерної зони за віссю X	Розмір кластерної зони за віссю Y
2	523	572
4	523	286
6	348	286
8	262	286
9	348	191

Відповідно до виразу (4) та даних табл. 3 площа розподіляється на визначену кількість кластерних зон. Також на цьому етапі формуються масиви даних, які містять інформацію про пристрої, що належать відповідній кластерній зоні [15].

Так, наприклад, для ІКМ, яка розподілена на 4 кластерні зони (рис. 1), створено 4 масиви даних, які містять номери вершин графу $G(V, E)$:

$$\begin{aligned}
 CZ1 &= \{1, 2, 6, 9, 17, 18, 23, 24, 32, 33, 34\}; \\
 CZ2 &= \{4, 6, 21, 35, 36\}; \\
 CZ3 &= \{5, 7, 8, 14, 15, 19, 20, 25, 26, 31, 37\}; \\
 CZ4 &= \{3, 10, 11, 12, 13, 22, 27, 28, 29, 30\}.
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

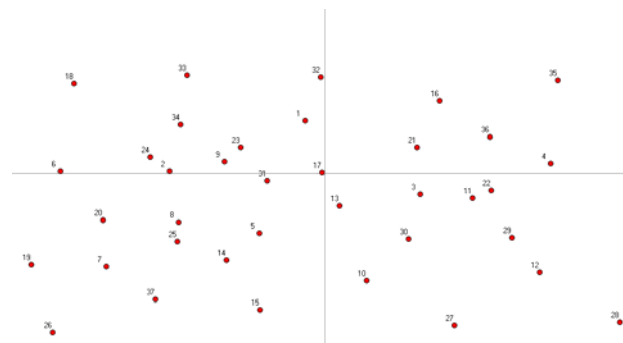


Рис. 1. ІКМ, розподілена на 4 кластерні зони

На наступному етапі у кожній кластерній зоні визначається контролер кластеру шляхом вибору мінімального значення цільової функції, серед значень, розрахованих для кожного пристрою відповідної кластерної зони.

Для першої кластерної зони ІКМ, розподіленої на 4 кластерні зони, значення коефіцієнтів та цільової функції наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Результати розрахунку цільової функції

Номер вузла	K_{E_i}	K_{M_i}	K_{L_i}	J^*
1	0,660	0,3	0,201	6,101
2	0,947	0,87	0,157	3,396
6	0,871	0,87	0,265	3,662
9	0,429	0,3	0,148	6,839
17	0,179	0,3	0,232	10,235
18	0,323	0,87	0,255	5,596
23	0,746	0,04	0,149	30,294
24	0,464	0,3	0,161	6,679
32	0,176	0,3	0,239	10,249
33	0,677	0,87	0,174	3,840
34	0,357	0,3	0,144	7,301

Відповідно до даних табл. 4 в якості контролера кластера обрано пристрій 2.

Аналогічним чином проведено вибір контролерів кластерів для інших кластерних зон.

Результатом виконання третього етапу методу є створення масиву даних, який містить номери пристроїв, що обрані в якості контролерів кластерів у відповідних кластерних зонах. Так для ІКМ (рис. 1) масив набуває наступного вигляду:

$$\text{ControlCluster} = \{2, 35, 19, 11\}.$$

На основі масиву даних відбувається самоорганізація пристроїв в ІКМ за відповідними правилами (рис. 2).

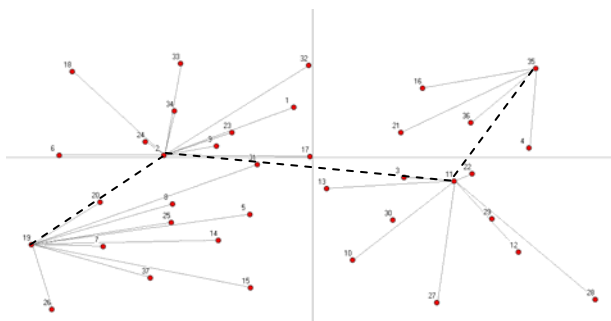


Рис. 2. Результат розподілення ІКМ на кластери

Оцінювання ефективності застосування розробленого методу багатокритерійної кластеризації проведено шляхом порівняння значень параметрів пристроїв, обраних в якості контролерів кластеру запропонованим методом кластеризації зі значеннями параметрів тих пристроїв, які обрані контролерами кластерів методом кластеризації, в якому для

визначення контролера кластера використовується один критерій.

В якості показника ефективності обрано час передавання інформації розміром в 100 МБайт при максимально дозволеній потужності випромінювання 100 мВт [16].

Відповідно до даних, наведених в табл. 4, в якості контролера кластера першої кластерної зони обрано пристрій 2, який серед інших пристроїв кластерної зони має найменше значення цільової функції. Також пристрій 2 має найбільші значення безрозмірного коефіцієнту залишкового заряду акумуляторної батареї пристрою та безрозмірного коефіцієнту використання пропускної здатності каналу зв'язку, яку може забезпечити пристрій. При цьому значення безрозмірного коефіцієнту віддаленості пристрою 2 від решти пристроїв кластерної зони не є мінімальним. Для першої кластерної зони найменше значення безрозмірного коефіцієнту віддаленості пристрою від решти пристроїв кластерної зони має пристрій 34, але час на передачу інформації в нього буде більший ніж у пристрою 2 в 2,87 разів, що є недопустимим в рамках дослідження.

Висновки

Проведена перевірка працездатності методу багатокритерійної кластеризації бездротової ІКМ дозволяє зробити висновки про те, що при застосуванні розробленого методу зменшуються час передачі інформації та енергетичні витрати на її передачу.

Розроблений метод багатокритерійної кластеризації бездротової ІКМ, у порівнянні з методами однокритерійної кластеризації ІКМ, крім загальноприйнятих параметрів пристрою (залишковий заряд акумуляторної батареї пристрою, найменша сумарна відстань до всіх вузлів кластерної зони), враховує такий параметр, як максимальне значення пропускної здатності каналу зв'язку, яку може забезпечити відповідний пристрій. Саме врахування даного параметру дозволить обрати оптимальний пристрій в якості контролера кластеру з множини пристроїв кластерної зони та забезпечити зменшення часу на передачу інформації між пристроями кластерної зони та контролерами кластерів.

Метод багатокритерійної кластеризації бездротової ІКМ може застосовуватися як на етапі проектування структури (топології) бездротової ІКМ, так і на етапі експлуатації під час реконфігурації ІКМ.

Подальші наукові дослідження будуть спрямовані на удосконалення існуючих методів багатокритерійної кластеризації ІКМ та на розробку методики підвищення ефективності кластеризації ІКМ за рахунок вибору контролера кластеру, який забезпечить мінімальний час на передачу інформації та максимальний час життя ІКМ.

Список літератури

1. Мандель И.Д. Кластерный анализ / И.Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика, 1988. –176 с.: ил.
2. Efficient cluster head selection algorithm for MANET / K. Hussain, Abdul Hanan Abdullah, Saleem Iqbal, Khalid M. Awan and Faraz Ahsan // Journal of Computer Networks and Communications. – 2013. – Vol. 2013, Article ID 723913, 7 p. DOI: 10.1155/2013/723913.
3. A novel clustering algorithm for Mobile Ad Hoc Networks based on determination of virtual links weighted to increase network stability / Abbas Karimi, Abbas Afsharfania, Faraneh Zarafshan and S.A.R. Al-Haddad // The Scientific World Journal. – 2014. – Vol. 2014, Article ID 432952, 11 p. DOI: 10.1155/2014/432952.
4. Bednarczyk W. An enhanced algorithm for MANET clustering based on weighted parameters / W. Bednarczyk, P. Gajewski // Universal Journal of Communications and Network. – 2013. – № 1(3). – P. 88-94. DOI: 10.13189/ujcn.2013.010302.
5. Chawla M. Clustering in mobile ad-hoc networks: a review / M. Chawla, J. Singhai, J. L. Rana // International Journal of Computer Science and Information Security. – 2010. – Vol. 8, № 2. – P. 293-301.
6. Agarwal R. Review of weighted clustering algorithms for mobile ad-hoc networks / R. Agarwal, R. Gupta, M. Motwani // Computer Science and Telecommunications. – 2012. – Vol. 33, № 1. – P. 71-78.
7. Chatterjee M. WCA: A Weighted Clustering Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks / M. Chatterjee, S. Das, D. Turgut // Journal of Cluster Computing. – 2002. – Vol. 5, № 2. – P. 193-204.
8. Er I.I. Mobility-based d-hop clustering algorithm for mobile ad-hoc networks / I.I. Er, W.K.G. Seah // Proceedings of the IEEE wireless communications and networking conference. – 2004. – P. 2359-2364.
9. Elhdhili M.E. Reputation based clustering algorithm for security management in ad-hoc networks with liars / M.E. Elhdhili, L.B. Azzouz, F. Kamoun // International journal of information and computer security. – 2009. – Vol. 3, № 3-4. – P. 228-244.
10. Walia P. Energy efficient geographic adaptive fidelity in wireless sensor networks / P. Walia, A. Mehta // IOSR Journal of Computer Engineering. – 2015. – Vol. 17, Issue 5, Ver. 1. – P. 46-55. DOI: 10.9790/0661-17514655.
11. Путренко В.В. Кластеризація геопросторових даних при інтелектуальному аналізі / В.В. Путренко, І.Г. Красовська // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2015. – №3 (73). – С. 45-52.
12. Бойченко О.С. Метод енергоефективної кластеризації інформаційно-комунікаційної мережі автоматизованої системи управління військами / О.С. Бойченко, Л.М. Артюшин // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2017. – № 3(30). – С. 26-32.
13. Воротніков В.В. Децентралізований алгоритм підключення абонентів до кластеру мобільної мережі АСУВ / Ю.Г. Даник, Ю.О. Кулаков, В.В. Воротніков, К.М. Білоус // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9 (116). – С. 150–155.
14. Воронин А.Н. Метод многокритериальной оценки и оптимизации иерархических систем / А.Н. Воронин // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – №3. – С. 84-92.
15. Boychenko O. Multicriterion estimation of efficiency of mobile network clustering / O. Boychenko, V. Vorotnikov, Yu. Kulakov // The Advanced Science Journal. – 2015. – № 1. – P. 61-67. DOI: 10.15550/ASJ.2015.01.061.

References

1. Mandel, I.D. (1988), “*Klasternyj analiz*” [*Cluster analysis*], Finansy i statystyka, Moscow, 176 p.
2. Hussain, K., Abdul Hanan Abdullah, Saleem Iqbal, Khalid M. Awan and Faraz Ahsan (2013), Efficient cluster head selection algorithm for MANET, *The Scientific World Journal*, Vol. 2013, Article ID 723913, 7 p., <https://doi.org/10.1155/2013/723913>.
3. Karimi, A., Afsharfania, A., Zarafshan, F. and Al-Haddad, S.A.R. (2014), A novel clustering algorithm for Mobile Ad Hoc Networks based on determination of virtual links weighted to increase network stability, *The Scientific World Journal*, Vol. 2014, Article ID 432952, 11 p., <https://doi.org/10.1155/2014/432952>.
4. Bednarczyk, W. and Gajewski, P. (2103), An enhanced algorithm for MANET clustering based on weighted parameters, *Universal Journal of Communications and Network*, No. 1(3), pp. 88-94, <https://doi.org/10.13189/ujcn.2013.010302>.
5. Chawla, M., Singhai, J. and Rana, J.L. (2010), Clustering in mobile ad-hoc networks: a review, *International Journal of Computer Science and Information Security*, Vol. 8, No. 2, pp. 293-301.
6. Agarwal, R., Gupta, R. and Motwani, M. (2012), Review of weighted clustering algorithms for mobile ad-hoc networks, *Computer Science and Telecommunications*, Vol. 33, No. 1, pp. 71-78.
7. Chatterjee, M., Das, S. and Turgut, D. (2002), WCA: A Weighted Clustering Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks, *Journal of Cluster Computing*, Vol. 5, No. 2, pp. 193-204.
8. Er, I.I. and Seah, W.K.G. (2004), Mobility-based d-hop clustering algorithm for mobile ad-hoc networks, *Proceedings of the IEEE wireless communications and networking conference*, pp. 2359-2364.
9. Elhdhili, M.E., Azzouz, L.B. and Kamoun, F. (2009), Reputation based clustering algorithm for security management in ad-hoc networks with liars, *International journal of information and computer security*, Vol. 3, No. 3-4, pp. 228-244.
10. Walia, P. and Mehta, A. (2015), Energy efficient geographic adaptive fidelity in wireless sensor networks, *IOSR Journal of Computer Engineering*, Vol. 17, Issue 5, Ver. 1, pp. 46-55, <https://doi.org/10.9790/0661-17514655>.
11. Putrenko, V.V. and Krasovskaya, I.G. (2015), “*Klasteryzacija gheoprostorovykh danykh pry intelektualjnomu analizi*” [*Geospatial data clustering in the process of intellectual analysis*], *Radioelectronic and computer systems*, No. 3 (73), pp. 45-52.

12. Boychenko, O.S. and Artjushyn, L.M. (2017), “Metod energhoefektyvnoji klasteryzaciji informacijno-komunikacijnoji merezhi avtomatyzovanoji systemy upravlinnja vijsjkamy” [Energy efficient clustering method for information-communication networks an automated command and control system], *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, No. 3(30), pp. 26-32.

13. Danyk, Yu.H., Kulakov, Yu.O., Vorotnikov, V.V. and Bilous, K.M. (2013), “Detsentralizovanyy alhorytm pidklyuchennya abonentiv do klasteru mobil'noyi merezhi ASUV” [Decentralized algorithm for connecting of subscribers to cluster the mobile network of CAS a management troops], *Information Processing Systems*, No. 9(116), pp. 150-155.

14. Voronin, A.N. (2007), “Metod mnogokriterial'noy otsenki i optimizatsii iyerarkhicheskikh sistem” [A method of multicriteria evaluation and optimization of hierarchical systems], *Cybernetics and systems analysis*, No. 3, pp. 84-92.

15. Kulakov, Y., Vorotnikov, V. and Boychenko, O. (2015), Multicriterion Estimation of Efficiency of Mobile Network Clustering, *The Advanced Science Journal*, No. 1, pp.61-67, <https://doi.org/10.15550/ASJ.2015.01.061>.

Надійшла до редколегії 10.02.2018

Схвалена до друку 20.03.2018

Відомості про авторів:

Бойченко Олег Сергійович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова,
Житомир, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3048-4184>
e-mail: bos_2006@ukr.net

Поздняков Павло Васильович

кандидат технічних наук
провідний науковий співробітник
Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова,
Житомир, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4188-9486>
e-mail: pozdner86@gmail.com

Information about the authors:

Oleg Boychenko

Candidate of Technical Sciences
Senior Research Associate of Korolev
Zhytomyr Military Institute,
Zhytomyr, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3048-4184>
e-mail: bos_2006@ukr.net

Pavel Pozdniakov

Candidate of Technical Sciences
Lead Researcher of Korolev
Zhytomyr Military Institute,
Zhytomyr, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4188-9486>
e-mail: pozdner86@gmail.com

МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

О.С. Бойченко, П.В. Поздняков

В статье проведен анализ современных методов кластеризации информационно-коммуникационной сети. Усовершенствован метод многокритериальной кластеризации беспроводной информационно-коммуникационной сети, который отличается методом многокритериальной оптимизации по нелинейной схеме компромиссов, что даёт возможность уменьшить время на передачу информации. Уменьшение времени на передачу информации достигается за счет выбора в качестве контроллера кластера того узла, который имеет наибольший запас питания аккумуляторной батареи, самую высокую пропускную способность и наименьшее суммарное расстояние ко всем узлам кластера.

Ключевые слова: информационно-коммуникационная сеть, кластеризация, нелинейная схема компромиссов.

THE METHOD OF MULTICRITERIA CLUSTERIZATION OF THE WIRELESS INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORK

O. Boychenko, P. Pozdniakov

The article analyzes the modern methods of clustering of the information-communication network. The method of multicriteria clusterization of the wireless information and communication network, which differs by the method of multicriteria optimization according to the nonlinear compromise scheme, is improved, which makes it possible to reduce the time for the transmission of information. Reducing the time to transmit information is achieved by choosing as the controller of the cluster of the node with the largest battery power supply, the highest bandwidth and the least total distance to all nodes in the cluster. The selected criteria characterize the power parameters of the network and the functionality of the device for transmitting information in the minimum time. To find a device whose parameters best meet the conditions for maximum battery power, maximum bandwidth and minimum distance from the rest of the devices, a nonlinear compromise scheme is used which combines the conflicting nature of the partial criteria. The results of the testing of the efficiency of the method of multicriteria clusterization of the wireless information-communication network based on its sample, consisting of modern mobile devices of different manufacturers, are presented. On the basis of the example, it is shown that when applying the developed method, the time of transmission of information and energy costs for its transmission are reduced.

Keywords: information and communication network, clusterization, the nonlinear scheme of compromises.