

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ СЕНСОРІВ В ОБЛАСТІ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

В статті розглядаються концептуальні підходи щодо розроблення технології екологічного моніторингу з використанням інтелектуальної сенсорної техніки. Розглядається задача оптимального розміщення сенсорів в області моніторингу. Сформульовано математичну постановку задачі пошуку оптимального розміщення сенсорів для повного покриття області моніторингу. Для вирішення даної задачі визначені основні евристичні підходи (блокова, гексагональна та квадратна евристика покриття) та обґрунтована можливість їх застосування для даної задачі.

Результати експериментів показали наступне: блоковий алгоритм у порівнянні з гексагональним поводить гірше на задачах з малим заповненням області перешкодами. Це пов'язано з тим, що блоковий алгоритм вирішує задачу покриття квадратами. На сильно заповнених областях гексагональний алгоритм поводить гірше блочного через тенденцію "скупчення" кіл; усі запропоновані алгоритми можуть застосовуватися при вирішенні завдання, вибір конкретного алгоритму диктується конкретними вимогами до задачі.

Ключові слова: технологія; моніторинг; сенсор; мережа; евристика.

Вступ

Постановка проблеми. Практично вся територія в зоні проведення антитерористичної операції на південному сході України насичена техногенно-небезпечними об'єктами та є зоною критичного ризику з точки зору виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Отже актуальним питанням є розробка нових інформаційно-телекомунікаційних (ІТ) технологій, що дозволять дистанційно та оперативно здійснювати екологічний моніторинг заданого регіону, оцінювати ризики виникнення надзвичайних ситуацій, в тому числі й воєнно-техногенного походження. Це стає можливим за рахунок розробки нової інтелектуальної сенсорної техніки (ІСТ) та методів організації безпроводових сенсорних мереж (БСМ) для збору і передачі інформації в аналітичні центри Збройних Сил та ДСНС України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вітчизняними авторами в останніх роботах було започатковано методологію створення сенсорної телекомунікаційної системи оперативного моніторингу в зоні надзвичайних ситуацій із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [1, 2]. У той же час, недостатня увага приділяється питанням оптимального розміщення сенсорів у зоні спостереження.

Формулювання мети статті. Метою статті є розгляд технології екологічного моніторингу (ЕМ), а також вирішення задачі оптимального розміщення сенсорів в зоні спостереження.

Виклад основного матеріалу

Технологія ЕМ та оцінки ризиків у зоні спостереження районів із застосуванням ІСТ являє собою сукупність технічних рішень побудови

БСМ (наприклад, стандарту ZigBee) з використанням моніторингово-сигнальних датчиків, БПЛА і геоінформаційних технологій.

Технологічний продукт дозволяє вирішувати такі важливі проблеми, як дистанційний 3D моніторинг зони спостереження, оцінка ризиків впливу на здоров'я людей, які проживають у зоні спостереження, забезпечення ІТ-послуг в районах із зруйнованою або відсутньою інфраструктурою.

Ідея технологічного продукту полягає в інтеграції сучасної ІСТ (датчики моніторингу радіації, хімічних забруднень і параметрів навколишнього середовища, безпілотні літальні апарати), з сучасними ІТ-технологіями (безпроводові сенсорні мережі, геоінформаційні системи тощо). Моніторингові датчики повітряного, наземного і водного базування через мережу радіозв'язку забезпечують оперативний дистанційний моніторинг зони спостереження, а геоінформаційні технології забезпечують візуалізацію і 3D географічну прив'язку отриманої інформації до конкретного операційного району.

Однією з головних задач під час організації БСМ для дистанційного збору інформації є задача пошуку оптимальної топології мережі, яка поділяється на дві часткові задачі – пошук оптимального розміщення сенсорів для повного покриття області ЕМ району та пошук оптимального розміщення множини ретрансляторів для організації зв'язаної мережі із заданими характеристиками передачі інформації (пропускна здатність, затримка тощо).

Розглянемо задачу оптимального розміщення сенсорів в області ЕМ районів. Зона моніторингу сенсора (дальність детектування) зазвичай представляється у вигляді кола радіусу r з центром в місці розташування сенсора. Тоді задачу можна

сформулювати наступним чином: необхідно розмістити мінімальну кількість сенсорів, що забезпечують моніторинг (покриття) всієї області. Зазвичай зона моніторингу має довільну форму, яку можна легко апроксимувати багатозв'язним ортогональним багатокутником. Задача покриття багатокутника зводиться до більш простої проблеми покриття прямокутної області з перешкодами (ОП) (рис. 1).

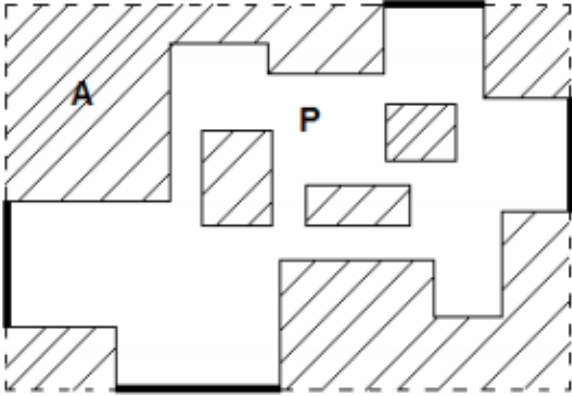


Рис. 1. Зона моніторингу району у вигляді багатокутника

Вихідний багатокутник позначимо через P, обмежену прямокутником область – A. Доповнення A∪P будемо трактувати як безліч фіктивних перешкод. Далі будемо працювати з ОП. Задані і фіктивні перешкоди заштриховані.

На площині введемо систему координат (OX, OY) таким чином, щоб осі координат збігалися з нижньою і лівою сторонами покриття прямокутної області A. Вихідна інформація задачі може бути представлена наступним набором даних: W, L, Z, r, де W і L – ширина і довжина прямокутника, що покривається; Z – перешкоди, що задані множиною прямокутників $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$, де m – кількість прямокутників перешкод. Сторони прямокутників з Z паралельні осям координат.

$Z_i = \{Z_x^i, Z_y^i, Z_l^i, Z_w^i\}$ – прямокутник, що моделює перешкоду, де $i = \overline{1, m}$, (Z_x^i, Z_y^i) – координати нижнього лівого кута прямокутника Z_i ; (Z_l^i, Z_w^i) – довжина і ширина прямокутника Z_i . Багатокутник A∪Z потрібно покрити мінімальною кількістю N рівних кіл радіусу r.

Розв'язок задачі може бути представлений у вигляді набору даних: $R = \{N, X, Y\}$, де N – кількість кіл, що покривають, у розв'язку; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ – вектори координат центрів кіл. Розв'язок R є допустимим покриттям, якщо виконуються наступні умови Ω:

1) Кола знаходяться всередині прямокутника A: $x_j \geq 0; y_j \geq 0; x_j \leq L; y_j \leq W; \forall j = \overline{1, N}$.

2) Центри кіл не лежать всередині перешкод: виконується хоча б одна з нерівностей:

$$(x_j - z_x^i)(x_j - z_x^i - z_l^i) \geq 0 \text{ або } (y_j - z_y^i)(y_j - z_y^i - z_w^i) \geq 0, \\ \forall i = \overline{1, m}, j = \overline{1, N}.$$

3) Покрита вся область A∪Z: якщо (p_x, p_y) – довільна точка на області A∪Z, тоді $\exists j: (p_x - x_j)^2 + (p_y - y_j)^2 \leq r^2$.

Допустимий розв'язок R є оптимальним, якщо число N кіл покриття мінімальне, тобто $R_{opt} = \arg \min_{X, Y \in \Omega} N$.

Приклад покриття наведено на рис. 2.

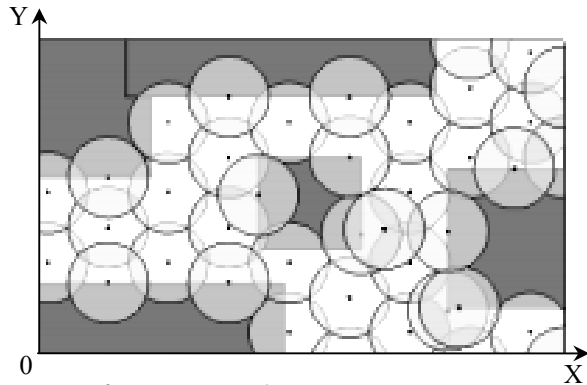


Рис. 2. Покриття багатокутника кругами

Перешкоди зображені темним кольором.

Розв'язком подібних задач займалися такі вчені як С. Н. Астраков, А. И. Ерзин В. Ю. Кузнецов [3–4]. Узагальнюючи їх досвід можна виділити наступні основи евристичні підходи: блокова, гексагональна (псевдогексагональна) евристика покриття, еволюційна метаевристика тощо. Розглянемо їх детальніше.

Блокова евристика покриття (block cover, BC) представляє модифікацію блокової упаковки. Її суть заснована на тому, що в задачах упаковки деталі не перетинаються і в підсумковій упаковці можуть залишатися порожнечі; в задачах покриття деталі можуть перетинатися і пустот в підсумковому рішенні немає.

Нехай є схема часткового покриття, що містить перешкоди і вже розміщені квадрати. Через вертикальні сторони фігур проводяться прямі. Таким чином, область розбивається на вертикальні блоки. Приклад блок-структури розміщення об'єктів на прямокутній ділянці ширини W=245 і довжини L=451 наведено на рис. 3.

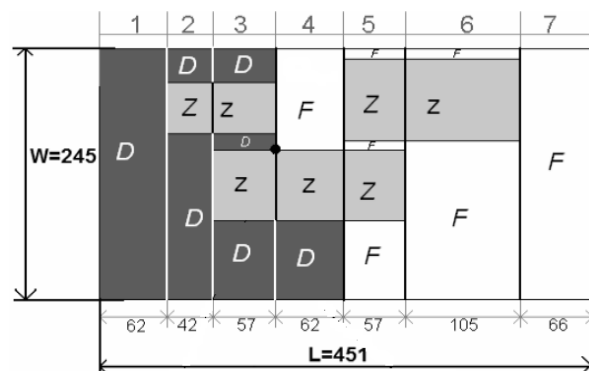


Рис. 3. Блок-структура покриття

Блок-структура являє собою послідовність блоків, в яких можуть зберігатися елементи трьох типів: Z – заборонені ділянки, F – вільні ділянки, D – покриті об'єкти. При вирішенні задачі покриття вільні області блок-структури заповнюються послідовно зліва направо і знизу вгору квадратами, вписаними в круги радіуса r.

Під час розміщення чергового квадрата може виникнути ситуація, коли його центр потрапляє в середину перешкоди. Отже центр кола в задачі покриття колами МП також потрапить всередину перешкоди. У цьому випадку квадрат потрібно пересунути, щоб його центр потрапив на межу забороненої ділянки. На рис. 4 цифрами 1–5 показані можливі переміщення квадрата.

Переміщення центру квадрата здійснюється по будь-якій з допустимих траєкторій, але доцільно здійснювати зсув на можливо меншу відстань. У такому випадку положення центру буде ближче до розрахункового, що знижує щільність покриття. Тому у прикладі, наведеному на рисунку, квадрат буде пересунутий по траєкторії 3. По закінченні процесу покриття, квадрати замінюються колами.

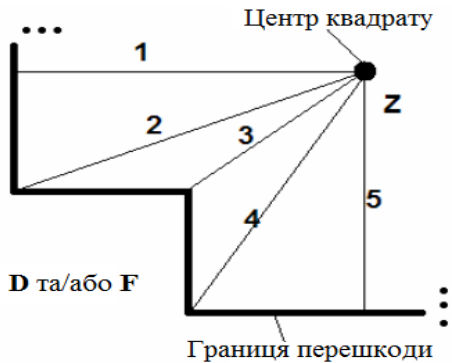


Рис. 4. Обхід забороненої ділянки

Методологія заощення використовується в різних формах решітки. Розглянемо варіанти гексагонального покриття (Hexagonal cover, HC) та квадратного покриття (Square cover, SC).

Алгоритм покриття передбачає виконання наступних кроків:

Крок 1. Виконується гексагональне (квадратне) покриття області A в припущенні, що немає перешкод.

Крок 2. Перешкоди відновлюються; кола з центрами всередині них оголошуються забороненими і видаляються.

Крок 3. Виконується пошук і покриття порожніх ділянок, що виникли після видалення заборонених кіл.

Визначення порожніх ділянок можливо шляхом більш дрібнішого заощення. Точки, що потрапили у порожнину покриваються колом, центр якого розміщується в центрі тяжіння точок.

Запропоновані алгоритми (BC, HC, SC) являються однопрохідними. Наступний етап підвищення ефективності покриття можливий при використанні багатопрохідних метаевристик.

Література

1. Lysenko O.I., Valuiskyi S.V. Capacity increasing of

Результати обчислювального експерименту застосування алгоритмів покриття BC, HC та SC наведено на рис. 5.

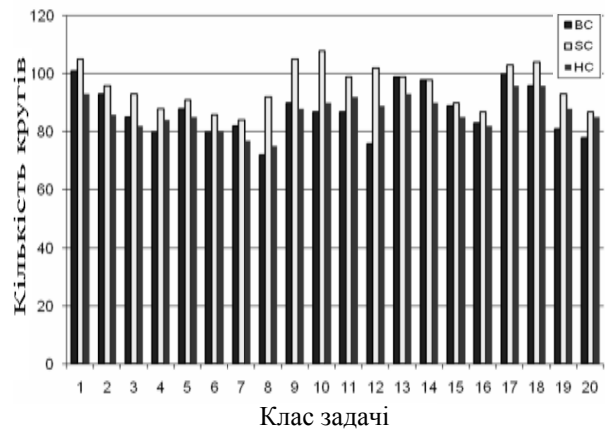


Рис. 5. Порівняння евристик SC, BC та HC

Вони дають змогу зробити наступні висновки:

1. Блоковий алгоритм в порівнянні з гексагональним поводить гірше на задачах з малим заповненням області перешкодами. Це пов'язано з тим, що блоковий алгоритм вирішує задачу покриття квадратами. На сильно заповнених областях гексагональний алгоритм поводить гірше блочного через тенденцію "скупчення" кіл.

2. На всіх класах завдань SC гірше ніж BC і HC.

3. Чим більше заповнена область A перешкодами, тим ближче результати SC до HC і BC.

Таким чином, усі запропоновані алгоритми можуть застосовуватися при вирішенні задачі оптимального розміщення сенсорів в області EM, вибір конкретного алгоритму диктується конкретними вимогами до задачі. Отримане рішення R_{opt} є вихідними даними для алгоритмів розміщення ретрансляторів.

Висновки

Розроблено нову технологію екологічного моніторингу в зоні спостереження із використанням інтелектуальної сенсорної техніки. Сформульовано математичну постановку задачі пошуку оптимального розміщення сенсорів для повного покриття області моніторингу. Розглянуті основні евристичні підходи покриття та можливість їх застосування для даної задачі. Результати обчислювального експерименту застосування алгоритмів покриття BC, HC та SC свідчать, що всі запропоновані алгоритми можуть застосовуватися при вирішенні задачі оптимального розміщення сенсорів в області моніторингу, а вибір конкретного алгоритму диктується конкретними вимогами до задачі. Отримані рішення задачі R_{opt} можуть застосовуватись у якості вихідних даних для алгоритмів розміщення ретрансляторів безпроводових сенсорних мереж ZigBee, і, таким чином, дозволять планувати топологію моніторингової мережі в зоні спостереження.

Sciences, 2012. – vol. 3. – № 1. – pp. 5–11.
2. Лисенко О. І., Чумаченко С. М., Кірчу П. І., Валуйський С. В. Сенсорна телекомунікаційна система оперативного моніторингу в зоні надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Проблеми телекомунікацій: 7-а Міжнар. наук.-техн. конф., 16-19 квіт. 2013 р. : матеріали конф. – К., 2013. – С. 37–39.
3. Астраков С. Н., Ерзин А. И., Залобовский В. В. Сенсорные сети и покрытие плоскими кругами.

Дискретный анализ и исследование операций. – Новосибирск. – 2009. –Т. 16, № 3. – С. 3–19.
4. Кузнецов В. Ю. Методы покрытия многосвязных ортогональных многоугольников для задач оптимального размещения сенсоров в области мониторинга : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ”. – Уфа, 2009. – 17 с.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ СЕНСОРОВ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Сергей Леонидович Данилюк (канд. техн. наук, с.н.с.)

Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина

В статье рассматриваются концептуальные подходы к разработке технологии экологического мониторинга с использованием интеллектуальной сенсорной техники. Рассматривается задача оптимального размещения сенсоров в области мониторинга. Сформулирована математическая постановка задачи поиска оптимального размещения сенсоров для полного покрытия области мониторинга. Для решения данной задачи определены основные эвристические подходы (блочная, гексагональная и квадратная эвристика покрытия), обоснована возможность их применения для данной задачи.

Результаты экспериментов показали следующее: блочный алгоритм в сравнении с гексагональным ведет себя хуже на задачах с малым заполнением области помехами. Это связано с тем, что блочный алгоритм решает задачу покрытия квадратами. На сильно заполненных областях гексагональный алгоритм ведет себя хуже блочного из-за тенденции "скопления" кругов; все предложенные алгоритмы могут применяться при решении задачи, выбор конкретного алгоритма диктуется конкретными требованиями к задаче.

Ключевые слова: технология; мониторинг; сенсор; сеть; эвристика.

ADAPTIVE ECOLOGICAL MONITORING: CONCEPTUAL APPROACHES

Serhii L. Danyliuk (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)

Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

In the article the conceptual approaches to working out of the methods of ecological monitoring with use of intellectual touch techniques are considered. The task of optimum disposing of sensor controls in the field of monitoring is observed. The mathematical formulation of search of optimum disposing of sensor controls for a full covering of area of monitoring is formulated. For the solution of the given problem the basic heuristic approaches (block, hexagonal and square heuristics of a covering) are defined, and the possibility of their application for the given problem is proved.

The results of experiments have shown the following: the block algorithm in comparison with the hexagonal is worse because of problems with small filling of an area with handicaps. It is connected by that the block algorithm solves a problem coverings squares. On very filled areas the hexagonal algorithm shows worse block because of a trend of "accumulation" of circles; all offered algorithms can be applied at the problem solution, sampling of a concrete algorithm is dictated by concrete demands to a problem.

Keywords: technology; monitoring; sensor; network; heuristics.

References

1. Lysenko O.I., Valuisky S.V. (2012), Capacity increasing of sensor telecommunication networks. Telecommunication Sciences, vol. 3, № 1, pp. 5–11. 2. Lysenko O.I., Tchumatchenko S.M., Kirchu P.I., Valuisky S.V. (2013), The touch telecommunication system operational monitoring in the area of emergency situations of technogenic character. [Sensorna telekomunikaciina sistema operatyvnogo monitoryngu v zoni nadzvichainoho tehnogennoho harakhteru], Problems of telecommunications. 7 Intern. scient. and techn. conf., 16-19 apr. 2013 year. materials of conf., Kyiv, pp. 37–39. 3. Astrakov S.N., Erzin A.I., Zalubovskiy V.V. (2009), Sensor

network and floor flat circles [Sensornye seti i pokrytie ploskimi krugami]. Discrete analysis and operations research, Novosibirsk, T.16, № 3, pp. 3–19. 4. Kuznecov V.Yu. (2009), Methods pavement multiplex orthogonal polygons for optimal deployment tasks in the field of monitoring sensors [Metody pokrytia mnogovsviaznyh ortogonalnyh mnogougolnikov dlia zadatch optimalnogo razmechenia sensorov v oblasti monitoringa], abst. of dissert. on the compet. of scient. degree of candid. of engin. sciences: spec. 05.13.18 Mathematical design, numeral methods and complexes of the programs”, Ufa, 17 p.

Отримано: 10.03.2016 року.