

УДК 539.1.08

ЗАБУЛОНОВ Ю.Л., МЄДВЄДЄВ Ю.О.

ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”, м.Київ

ВИКОРИСТАННЯ БІОСИНТЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ ПОРУШНИКА НА ГІПОТЕТИЧНОМУ ОБ’ЄКТІ

Описано застосування розробленого біосинтетичного алгоритму для моделювання переміщення порушника по досліджуваному об’єкту. Наведено відповідні математичні вирази. Як середовище для моделювання використовувалися клітинні автомати.

Вступ. На сьогоднішній день існує багато підходів до оцінки ефективності систем фізичного захисту об’єктів (СФЗ) [11, 12]. Процедура оцінювання в більшості з них зводиться до побудови можливих маршрутів порушника, розрахунку критичної точки виявлення на кожному маршруті, після перетину якої підрозділ охорони не встигає перехопити порушника на шляху до його цілі, та обчислення ймовірності виявлення чи нейтралізації порушника на кожному з цих маршрутів. Оскільки на будь-якому об’єкті є велика кількість траєкторій, за якими міг би переміщуватися порушник, розрахунок експертами всіх можливих траєкторій, причинно-наслідкових зв’язків між можливими подіями та ін., є надто складним завданням, повноту виконання якого важко перевірити, отже оцінка ефективності, що базується на такому підході, не є повною. В результаті досліджень було зроблено висновок, що клітинні автомати є ефективним інструментом для вирішення цієї задачі. В статті описується підхід до моделювання на клітинному автоматі переміщення порушника по гіпотетичному об’єкту за допомогою біосинтетичного алгоритму, розробленого на основі мурашиних алгоритмів.

Мурашині алгоритми. Природні обчислення – нова галузь науки, що інтенсивно розвивається. Основним предметом її досліджень є природні механізми прийняття рішень, які забезпечують адаптацію флори та фауни до навколишнього середовища [14]. Мурашині алгоритми базуються на моделюванні функціонування мурашиної колонії, де кожен агент (мураха) діє за дуже простим набором правил, тоді як вся система в сукупності демонструє раціональну поведінку. Особливістю поведінки всієї системи є використання при взаємодії її елементів виключно локальної інформації та повна відсутність централізованого управління, що є ознакою клітинного автомату [13]. Засобом передачі інформації між агентами є феромон – слід, що агент залишає на своєму шляху. Чим вища концентрація феромону на певному шляху, тим більше агентів буде ним пересуватись. Типовим застосуванням мурашиних алгоритмів є вирішення задачі комівояжера – розрахунку найкоротшого шляху, що проходить через всі міста, які необхідно відвідати лише один раз.

Ймовірнісне правило. Правило, за яким розраховується ймовірність переходу агента в наступне місто на t -й ітерації має такий вигляд:

$$P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta};$$
$$P_{ij,k}(t) = 0, \text{ якщо } j \notin J_{i,k},$$

де η_{ij} – “видимість”, $\eta_{ij} = 1/R_{ij}$, де R_{ij} – відстань між містами i та j ;

τ_{ij} – кількість феромону на ребрі ij ;

$J_{i,k}$ – список міст, які необхідно відвідати;

α, β – два параметра, що задають вагу сліду феромона та видимості при виборі маршруту.

В ході аналізу даного алгоритму було виявлено, що наведений вираз при певній модифікації може бути успішно застосований для моделювання переміщення порушника по об'єкту.

Визначення вхідних параметрів. Згідно з [4] завданням порушника є досягнення своєї цілі з найменшою ймовірністю бути зупиненим СФЗ. Параметрами, що впливають на ймовірність успішного виконання СФЗ свого призначення є P_{min} , T_{min} , T_g , де P_{min} – сумарна ймовірність виявлення порушника на його шляху до цілі, T_{min} – мінімальний час затримки порушника на його шляху, і T_g – час реагування охорони. Точка на шляху порушника, в якій час затримки T_{min} все ще незначно перевищує час реагування охорони T_g , називається критичною точкою виявлення (КТВ). Згідно з цим ефективність системи визначається як сумарна ймовірність виявлення порушника до перетину ним КТВ (принцип своєчасного виявлення). Зміст цих параметрів схематично показаний на рис. 1.

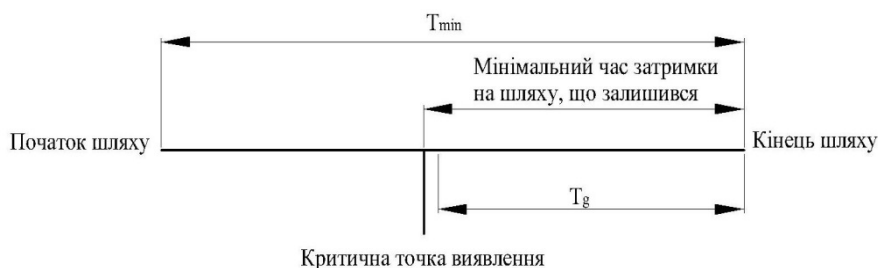


Рис. 1. Схематичне зображення принципу своєчасного виявлення

З урахуванням вищезазначеного в [4] припускається, що оптимальною для порушника поведінкою буде намагання зменшити ймовірність виявлення до КТВ та часу затримки після перетину КТВ. Виявлення порушника після перетину КТВ не має сенсу через те, що охорона не встигне його перехопити. Отже, маючи P_{min} , T_{min} , T_g як вхідні параметри, потрібно сформулювати модель протистояння СФЗ та порушника, на підставі котрої можна робити висновок про достатню чи недостатню ефективність виконання СФЗ своїх функцій.

Середовище для моделювання. Як зазначалось вище, розрахунок експертом всіх можливих траєкторій переміщення порушника по об'єкту є надто складним завданням, проте використання для цієї мети можливостей обчислювальної техніки може мати значні результати. В ході досліджень авторами як середовище для моделювання конфліктної ситуації СФЗ – порушник були обрані клітинні автомати. Клітинні автомати – дискретні динамічні системи, поведінка котрих цілком визначається в термінах локальних взаємозв'язків [13]. Відповідно до цього територія досліджуваного об'єкта розподіляється на клітинки [6, 7], кожна з яких характеризується такими параметрами:

1. P_i – ймовірність виявлення в даній клітинці.
2. T_i – час затримки в даній клітинці.
3. Наявність в клітинці:
 - порушника,
 - охорони,
 - цілі,

- засобів затримки,
 - засобів виявлення.
4. D_i – оптимальна найкоротша відстань від даної клітинки до цільової.
 5. D_{sec} – відстань від клітинки до місцезнаходження підрозділу охорони.
 6. V_i – параметр, який свідчить про відвідання клітинки порушником.

Всі події, що моделюються, відбуваються за дискретні моменти часу, тривалість кожного з яких приймається рівною мінімальному часу подолання охороною однієї клітинки. Цей час був обраний з наступних міркувань – оскільки відома наближена максимальна швидкість, з якою підрозділ охорони може переміщуватись по об'єкті S_g , і не відома швидкість переміщення порушника S_i , то ми орієнтуємось на відомий параметр, припускаючи, що коли швидкість переміщення охорони є максимальною, то вона, як мінімум, не є меншою за швидкість переміщення порушника. Тобто $S_g \geq S_i$.

Розглянемо деякі з вищенаведених параметрів кожної клітинки більш докладно.

P_i визначається, виходячи з технічних характеристик обладнання та експертних оцінок. Параметр включає в себе ймовірність виявлення та сумарний час, необхідний для передачі сигналу тривоги та прийняття рішення щодо його дійсності. Згідно з [1] ймовірність виявлення зменшується лінійно із збільшенням часу від моменту виявлення порушника t_0 до моменту прийняття рішення про дійсність сигналу t_n (рис. 2).

T_i визначає час, необхідний для подолання порушником даної клітинки. Якщо в клітинці відсутні засоби затримки (огорожі, інженерні споруди та ін.), то час затримки дорівнює 1. В іншому випадку час затримки відповідає часу, який необхідний для подолання засобу затримки в даній клітинці, конвертованого в дискретні одиниці часу клітинного автомату (залежить від S_g).

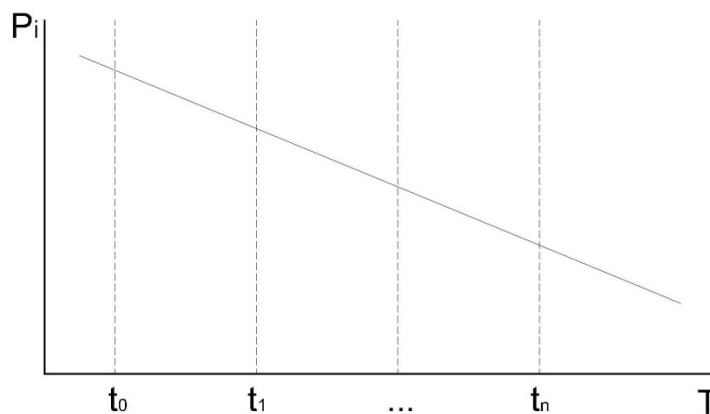


Рис. 2. Залежність ймовірності виявлення від сумарного часу для прийняття рішення щодо дійсності сигналу

D_i розраховується наступним чином:

1. За допомогою оптимізованого алгоритму «пошук у ширину», реалізованого на мові програмування C++, визначається найкоротша відстань від клітинки до цілі D_1 з повним урахуванням засобів затримки. Даний алгоритм полягає в наступному:

- створюється об'єкт класу «черга», який працює за принципом FIFO (перший прийшов, перший вийшов);
- обирається стартова клітинка і її координати заносяться в чергу;
- поки черга не пуста, або поки не досягнута цільова клітинка, виконуються наступні дії:

- а) з черги вилучається крайній елемент з координатами центральної клітинки для даної ітерації;

- b) обпитуються вісім сусідніх клітинок. Якщо клітинка не була опитана раніше і в ній відсутні засоби затримки (окрім дверей, шлюзів та інших передбачених засобів проходу в приміщення, час зламу яких враховується в подальших розрахунках), то клітинка заноситься в чергу для наступних ітерацій;
 - c) для кожної з опитаних клітинок центральна клітинка позначається як «батьківська»;
- після завершення циклу відстежується шлях з цільової клітинки до стартової, що є найкоротшим.

2. За допомогою цього ж алгоритму розраховується найкоротша відстань від клітинки до цілі D_2 , але без обходу засобів затримки (враховується час затримки кожного бар'єра).

3. Розраховується найкоротша відстань D_g від місцезнаходження підрозділу охорони до цілі.

4. Остаточна оптимальна відстань D_i для кожної i -ї клітинки визначається за наступним правилом:

$$D_i = \begin{cases} D_1, & \text{якщо } D_2 > D_g; \\ D_2, & \text{якщо } D_2 < D_g \end{cases};$$

Останні рівності означають, що порушник приймає рішення щодо відкритого (силового) проникнення у приміщення тільки в тому разі, якщо охорона не встигає прибути до цілі раніше. Припускається, що зламування дверей або інших засобів проникнення до приміщення можливе без виявлення, тому ці засоби розглядаються окремо при розрахунку D_1 . Також не враховуються клітинки на периметрі об'єкта через те, що охорона майже гарантовано перехоплює порушника, в разі його виявлення на периметрі, а нас цікавить моделювання найбільш небезпечного сценарію подій. Аналогічним вищезазначеному методом розраховується D_{sec} для кожної клітинки.

Модель порушника. При обиранні моделі порушника використовувався принцип поглинання, тобто якщо СФЗ в рамках моделі успішно протистоїть найнебезпечнішій моделі порушника, то вона гарантовано успішно протистоїть менш небезпечним.

Прийнята модель гіпотетичного порушника передбачає, що порушник знає розміщення будівель, входів/виходів приміщень, та відстані від кожної клітинки до своєї цілі (включаючи відстані від охорони до цілі D_g , та від свого місцезнаходження до охорони D_{sec}), та екіпірований належним чином для подолання перешкод на своєму шляху. Проте він заздалегідь не знає про розміщення технічних засобів виявлення та шляхів їх обходу (в протилежному випадку СФЗ не мала б сенсу), отже рішення про наступний крок приймає з урахуванням свого місцезнаходження в даний момент часу. Метою порушника є диверсія на об'єкті, що передбачає необхідність нейтралізації порушника до його прибуття до цілі. Окремим параметром задається кількість кроків, які здійснює порушник до КТВ, намагаючись уникнути виявлення, але не в напрямку цілі. На основі моделювань це значення було прийняте в діапазоні 20-40 кроків, в залежності від території досліджуваного об'єкту.

Описання моделі. Околицями кожної клітинки є 7 сусідніх з нею клітинок (не враховується клітинка, з якої було здійснено вхід до поточної). Правило, згідно з яким оновлюється клітинний автомат в кожний дискретний момент часу, повинне визначатись параметрами, що цікавлять порушника на кожному кроці. Виходячи з визначень [4], що наведені вище, цими параметрами є відстань від кожної з сусідніх клітинок до цілі D_j , відстань від охорони до цілі D_g та ймовірність виявлення в кожній з цих клітинок P_j . Також до моделі вводиться параметр D_{sec} , який мінімізує ймовірність зустрічі порушника з підрозділом охорони об'єкту. Представляючи кожну з клітинок околиці як місце, в яке

повинен здійснитись перехід, та замінюючи кількість феромону на ребрі графа ймовірністю невиявлення порушника у цій клітинці $1-P_j$, а у виразі “видимості” замінюючи R_{ij} на D_j , та домножуючи на D_{sec} ; отримаємо вираз для правила клітинного автомату, згідно з яким на кожному кроці порушник приймає найоптимальніше рішення:

$$P_{ij}(t) = \frac{[1-P_j]^\alpha \cdot [1/D_j] \cdot D^{\beta_{sec j}}}{\sum_{l=1}^7 [1-P_l]^\alpha \cdot [1/D_l] \cdot D^{\beta_{sec l}}};$$

$$\alpha=0, \text{ якщо } D_{ij}(t) < D_g.$$

Якщо оптимальна відстань з поточної клітинки є меншою за D_g , то α приймається рівним 1, що означає бажання порушника дістатись до цілі за найкоротший час без врахування виявлення.

Параметр β впливає на ймовірність зустрічі порушника з підрозділом охорони та визначається експертним шляхом.

Оскільки обрання кожної наступної клітинки залежить від попередніх виборів, тобто всі кроки на певному шляху є залежними подіями, то ймовірність обрання порушником всіх клітинок на певній j -й траєкторії розраховується за виразом ймовірності добутку взаємозалежних подій:

$$P(path_j) = \frac{[1-P_1]^\alpha \cdot [1/D_1] \cdot D^{\beta_1}}{\sum_{l=1}^7 [1-P_l]^\alpha \cdot [1/D_l] \cdot D^{\beta_l}} \prod_{j=2}^{j=finish} \frac{[1-P_j]^\alpha \cdot [1/D_j] \cdot D^{\beta_j}}{\sum_{lj=1}^7 [1-P_{lj}]^\alpha \cdot [1/D_{lj}] \cdot D^{\beta_{lj}}} \cdot \frac{[1-P_{j-1}]^\alpha \cdot [1/D_{j-1}] \cdot D^{\beta_{j-1}}}{\sum_{lj=1}^7 [1-P_{lj-1}]^\alpha \cdot [1/D_{lj-1}] \cdot D^{\beta_{lj-1}}};$$

Програмне забезпечення. Для реалізації даного алгоритму було розроблене програмне забезпечення на мові програмування C++ з використанням об’єктно-орієнтованого підходу, інтерфейс програми показаний на рис. 3.

На завантажений графічний файл із зображенням на ньому планом об’єкту наноситься клітинне поле з урахуванням масштабу. На план наносяться засоби виявлення, входи до приміщень та фізичні бар’єри з відповідними ймовірностями виявлення та часами затримки. Задається місцезнаходження очікуваної цілі порушника та підрозділу охорони, після чого розраховуються оптимальні відстані D_i . Потім моделюється переміщення порушника по досліджуваному об’єкту з кожної клітинки на периметрі. Оскільки множина всіх можливих стартових наземних точок порушника складається з множини точок лінії периметру об’єкта, а маршрут, розрахований з кожної точки периметра є оптимальним, то метод надає можливість відстежити і оцінити всі оптимальні маршрути порушника в рамках прийнятої моделі. Ймовірність своєчасного виявлення порушника на кожному з j -му маршруті $P_{detect,j}$ обчислюється за виразом:

$$P_{detect,j} = 1 - \prod_{i=start}^{i=KTO} 1 - P_{detect,i};$$

Ймовірність виявлення порушника на всіх можливих маршрутах на об’єкті, при заданій структурі СФЗ, визначається за виразом:

$$P_{full} = \prod_{j=1}^{j=end} P_{detect,j};$$

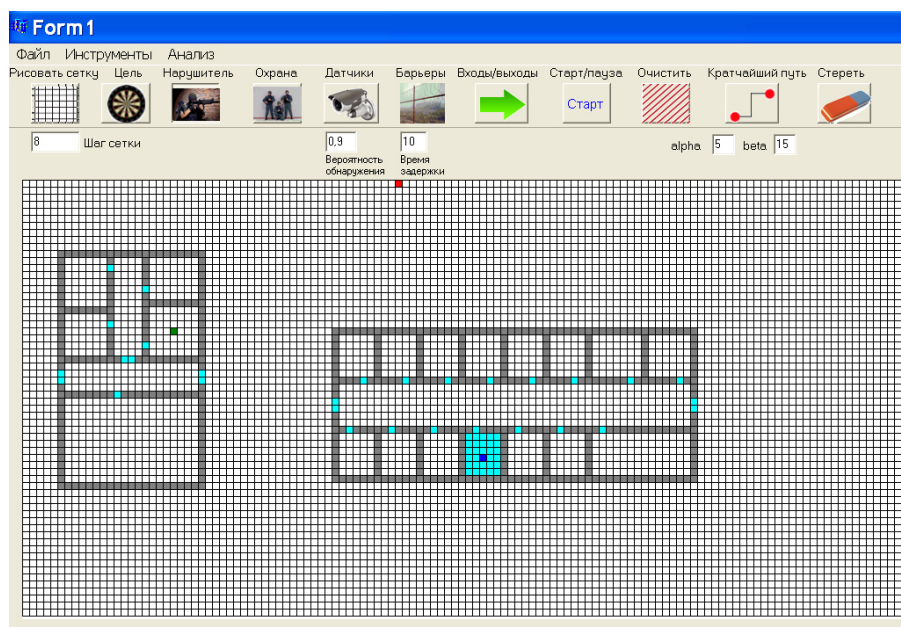


Рис. 3. Интерфейс программы

На рис. 4 показаний результат моделирования для однієї з клітинок периметру.

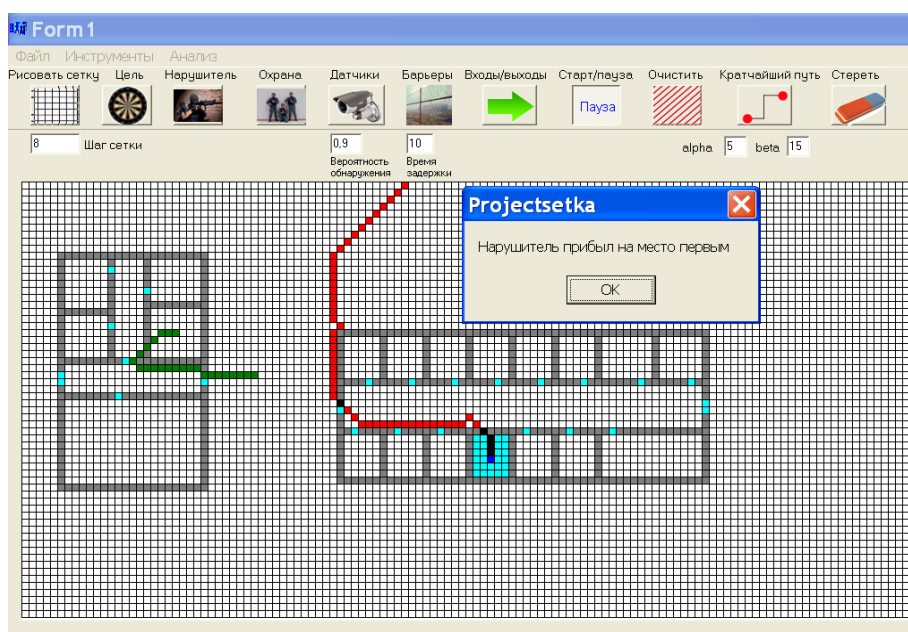


Рис. 4. Пример моделирования перемещения порушника по объекту

Висновки. На основі мурашиних алгоритмів створено біосинтетичний алгоритм, на якому заснована математична модель переміщення порушника по досліджуваному об'єкту. Реалізація даної моделі на клітинному автоматі є основою для розробленого авторами методу оцінки ефективності систем фізичного захисту екологічно небезпечних об'єктів. Створено алгоритм розрахунку оптимального шляху підрозділу охорони на основі алгоритму «пошук в ширину» та алгоритм пошуку найоптимальнішого для порушника шляху з кожної точки об'єкта. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує метод оцінки ефективності. Також можливе розширення описаної моделі переміщення порушника по об'єкту до трьохвимірної.

1. Бондарев П.В., Измайлов А.В., Толстой А.И. Физическая защита ядерных объектов. Учебное пособие для вузов.– Москва: МИФИ.– 2008.– 584 с.
2. Буртняк В.М., Забулонов Ю.Л., Лисиченко Г.В., Медведев Ю.О. Сучасні підходи до оцінювання терористичних ризиків // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України.– 2012.– Вип. 65.– С. 94–101.
3. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и её инженерные приложения// 2-е изд. М.: Высшая школа, 2000.— 480 с.
4. Гарсиа М. Проектирование и оценка систем физической защиты/Пер. с англ. В.И. Воропаева, Е.Е. Зудина и др. –М.: Мир, АСТ.– 2002. – 386 с.
5. Звездинский С.С., Голубков Г.В., Иванов В.А., Сизов С.М., Оценка функциональной эффективности охранной сигнализации малых объектов // Спецтехника и связь. – 2008.– № 3.– с.13–20.
6. Леус А.В. Математическая модель оценки эффективности систем физической защиты // Т.Сomm Телекоммуникации и транспорт.– 2010. – №6. – С.46–49. (ВАК).
7. Леус А.В. Оценка эффективности систем безопасности. Модель движения нарушителя по охраняемому объекту / LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011 – 117 p.
8. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. – К.: Наук. думка. – 2008. – 543 с.
9. Ліпкан В.А., Нікіфорчук Д.Й., Руденко М.М. Боротьба з тероризмом. – Знання України. – 2002. – 254 с.
10. Пампур В.И. Оптимальное управление безопасностью экологически опасных объектов. Монография.– Киев: Наук. думка.– 2012.– 599 с.
11. Панин О.А. Как измерить эффективность? Логико-вероятностное моделирование в задачах оценки систем физической защиты // БДИ.– 2008.– №2(77).– с. 20–24.
12. Панин О.А. Проблемы оценки эффективности функционирования систем физической защиты объектов // БДИ.– 2007.– № 3(72).– с. 23 – 27.
13. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991.– 280 с.
14. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // ExponentaPro. Математика в приложениях. – 2003, №4. – с.70–75.

Забулонов Ю.Л., Медведев Ю.О.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОСИНТЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПУТИ НАРУШИТЕЛЯ НА ГИПОТЕТИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ

Описано применение разработанного биосинтетического алгоритма для моделирования перемещения нарушителя по исследуемому объекту. Приведены соответствующие математические выражения. В качестве среды для моделирования использовались клеточные автоматы.

Zabulonov Y., Medvedev Y.

USING OF BIOSYNTHETIC ALGORITHM FOR MODELING OF THE OPTIMAL WAY OF INTRUDER THROUGH HYPOTHETICAL OBJECT

Application of the developed biosynthetic algorithm is described for the modeling of moving of intruder, through the object under study. The proper mathematical expressions are given. Cellular automata were used as a modeling environment.