

КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ РОБОТИ ЗОРОВОГО АНАЛІЗАТОРА В ЗАДАЧАХ ПОШУКУ ОБ'ЄКТІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ

© Демчучен В., Камінський Р., 2011

Експериментально обґрунтовано правомірність використання комп'ютерної моделі зорового аналізатора людини для пошуку малорозмірних об'єктів на зображеннях. Наведено результати пошуку для п'яти варіантів саккадичного руху поля зору.

Ключові слова: зоровий аналізатор, пошук об'єктів, саккадичний рух, технічний зір, імовірність пошуку об'єкта.

Legitimacy of the use of computer model of visual analyzer of man is experimentally reasonable for the search of little-size objects on images. The brought results over of search for five variants of saccadic motion of eyeshot.

Keywords: visual analyzer, search objects, saccadic movement, technical vision, the probability of finding the object.

Вступ

Особливістю роботи операторського персоналу в умовах сьогодення є те, що переважна більшість розв'язуваних задач передбачає пошук об'єктів заданого класу на зображеннях, які є на моніторі. Виявлення цих об'єктів на зображеннях є основою операторської діяльності в системах комп'ютеризованої обробки та опрацювання візуальної інформації. Суть цієї діяльності полягає в тому, що в результаті цілеспрямованого і ретельного аналізу зображення необхідно виявити деякий об'єкт, який описується заданою сукупністю ознак та їхніх взаємних відношень. Безпосередньо об'єктами пошуку є кількісні та якісні показники, відображені числами, текстом, геометричними формами, яскравістю різноманітних і невеликих за розмірами сигнальних елементів. Ознаками для виявлення об'єктів можуть бути колір, елементи форми, зображення еталонних об'єктів або їхніх фрагментів з того самого класу тощо. Специфічні особливості пошуку визначаються онтологією і задачами конкретної предметної області.

Постановка проблеми та актуальність дослідження

Розпізнавання різноманітних об'єктів уваги заданого класу на зображеннях в комп'ютеризованих системах здійснюється практично повністю під візуальним контролем людини-оператора чи, зазвичай, користувача, що не програмує. Алгоритмічно пошук об'єктів здійснюється шляхом обробки цілого зображення. В процесі такого пошуку, згідно з використаними в алгоритмі логічними умовами, перевіряється, піксел за пікселем, наявність вказаних ознак, включаючи як окремі піксели, так і цілі групи пікселів, залежно від апіорних розмірів об'єктів уваги. Ефективність пошуку визначається операційною системою та програмним забезпеченням, а саме якістю і повнотою використовуваних логічних умов.

Натомість, процедура пошуку об'єкта людиною є іншою. Зоровий аналізатор людини шукає об'єкт уваги, що випадковим чином локалізований на зображенні деякої реальної ситуації, наданої операторові на моніторі. Цей процес має такі загальні особливості.

1. Стрибкоподібний рух ока зосереджує увагу на окремих фрагментах зображення, щоб проаналізувати і виявити можливі умови існування об'єкта або безпосереднього його самого протягом дуже короткого часу (0.25 – 0.5 с).

2. Вибір фрагментів аналізу є переважно нерегулярним, випадковим, з різними напрямками і амплітудами стрибків, хоча, залежно від задач, він може бути цілеспрямованим, регулярним, послідовним, як під час читання тексту.

3. Практично завжди повторно переглядається той самий фрагмент, що хоча і підвищує імовірність виявлення шуканого об'єкта, але суттєво знижує оперативність пошуку.

4. Якщо шуканий об'єкт є на фрагменті, який переглядають, він може залишитись невиявленим.

5. В процесі пошуку людина використовує апріорну інформацію, отриману до пошуку, та апостеріорну інформацію, одержану під час пошуку.

В цьому плані виникає проблема, в основі якої суперечність – з одного боку, з боку комп'ютера, величезна швидкість та велика складність побудови алгоритмів пошуку об'єктів заданого класу на зображеннях реальних ситуацій, а з другого – з боку людини, значна тривалість пошуку, хоча і з високою якістю і точністю виявлення об'єкта. Припускають, що можливість невиявлення об'єкта є однаковою для обох сторін.

Відсутність в науковій літературі даних щодо дослідження пошуку об'єктів комп'ютерними системами відповідно до пошукового процесу людини не дає змоги відповісти на питання: чи може бути ефективним у комп'ютерному виконанні цей процес? Комп'ютерне моделювання пошуку об'єктів, в сенсі зорового аналізатора людини, на наш погляд, повинно вказати, як забезпечити високу оперативність і якість пошуку, виключивши повторний аналіз фрагментів, та високу ефективність алгоритмів ідентифікації об'єкта.

Тому проведення дослідження в сенсі комп'ютерного моделювання пошуку за аналогією з тим, як це робить зоровий аналізатор людини, є *актуальним*, оскільки саме така його структура (визначена еволюцією) уможлиблює суттєве підвищення ефективності пошуку.

В сенсі комп'ютерного моделювання роботи зорового аналізатора людини для задач розпізнавання зображень реальних сцен комп'ютерною системою це дослідження пов'язане з науковими розробками алгоритмів та систем ідентифікації об'єктів, що належать до динамічних образів, таких як міміка обличчя, динаміка виконання вправ у спорті (гімнастика, фехтування, бокс тощо) та жестова мова.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Математичне подання процесу пошуку об'єктів уваги заданого класу, як вказано в [1], створив Б. Купман в п'ятдесятих роках і пізніше розвинув В.І. Аркін в шістдесятих роках минулого століття. До дев'яностих років теорія пошуку об'єктів фактично була розроблена повністю, особливо стосовно нерухомих об'єктів-цілей. Основні закономірності в задачах пошуку об'єктів на основі апарату математичного аналізу, теорії ймовірностей, теорії ігор та математичного програмування викладено в [2]. У межах теорії дослідження операцій теорія пошуку розглянута в [3], в якій візуальний пошук в заданій області подано у вигляді експоненціальної моделі. Моделі пошуку об'єктів системами теплобачення, які використовують особливості роботи зорового аналізатора людини, наведено в [4]. Зв'язок ентропії з теорією пошуку розкрито у роботі [5]. Досліджено інформаційний пошук зоровим аналізатором людини і запроваджено як міри інформаційного пошуку кількості фіксацій зору та побудова математичних моделей на прикладі урнових схем здійснено в [6]. Імовірність виявлення об'єкта уваги за випадкового пошуку та визначення середнього часу виявлення об'єкта в математичному поданні розглянуто в [7]. У [8] досліджено ефективність візуального пошуку з урахуванням основних чинників, що впливають на неї, та систематизовано і узагальнено теоретичний матеріал з візуального пошуку на великому експериментальному матеріалі.

Ці роботи практично завершують дослідження, пов'язані з теорією пошуку. Розвинута ця теорія в радіолокації та розробленні стратегій пошуку. Проте на сучасному етапі можна вказати роботи, в яких теорія пошуку є базою, чим підкреслюється її важливе прикладне значення. В [9] наведено приклади і моделі імовірності знаходження морських об'єктів, розглянуто різні варіанти стратегій та відповідне математичне забезпечення для прикладних розрахунків. Обчислення імовірності виявлення об'єкта, який розміщений на деякій відстані від напрямку пересування засобів пошуку, з метою виділення зони пошуку, виконано в [10]. Обмеження тривалості пошуку та невизначеність щодо існування об'єкта в пошуковій зоні, як показано в [11], суттєво впливає на ефективність виявлення об'єкта. Імовірнісний підхід використано в [12] для скорочення обчислювальних витрат в процесі пошуку за еталоном фрагмента на великому зображенні.

Можна стверджувати, що теорія пошуку об'єктів розвивається в різних напрямках, зокрема в наближенні до розроблення технічних, алгоритмічних, методичних аспектів та оптимізації пошукових стратегій стосовно різних варіантів ситуацій. Проте практично не виявлено нових робіт, в яких були запропоновані моделі пошуку на кшталт дії зорового аналізатора, тобто так, як це робить людина. Це можна пояснити постійним зростанням швидкості обробки інформації обчислювальними засобами та значним підвищенням рівня розробки алгоритмів. Проте моделювання роботи зорового аналізатора з огляду на можливості комп'ютера, тобто створення такої синтетичної системи технічного зору принаймні для певного кола задач, має свій сенс і практичне значення.

Невирішені частини загальної проблеми

Людське око сканує ту чи іншу область, послідовно скеровуючи увагу в різних напрямках, причому змінюючи не лише напрям погляду, але і розміри області поля зору, в дуже широких діапазонах, що практично відбувається між будь-якими двома сусідніми актами фіксації. В системах технічного зору різного призначення для аналізу інформаційного поля і виявлення об'єкта пошуку здійснюють його повне сканування. При цьому про відтворення саккадичного руху ока не йдеться. Сканування інформаційного поля – відображуваної на екрані монітора картини – дає дуже багато надлишкової інформації зі значними втратами часу. Тому з погляду загальної проблеми – моделювання пошуку об'єктів на зображеннях, наданих на моніторі, питання саккадичного руху пошукової апертури (поля зору) є її невирішеною частиною. Саме цієї проблеми – моделювання пошуку об'єктів уваги на основі відтворення саккадичного руху поля зору стосується ця робота.

Дослідження методом комп'ютерного моделювання пошукової діяльності зорового аналізатора людини з використанням саккадичних рухів і скануванням та аналізом в межах поля зору фрагмента виділеної оком сцени, на відміну від інших методів, що використовуються в системах технічного зору, а саме сканування зображення усїєї сцени, є новою науковою концепцією розв'язання задач пошуку об'єктів заданого класу.

Ідеї цієї концепції підтверджено попередніми експериментальними дослідженнями, що дало підставу для подальшого їхнього розвитку в плані розроблення спеціалізованих пошукових систем штучного інтелекту. В методологічному плані використані математичні моделі пошуку об'єктів та дослідження варіантів накладання поля зору в процесі пошуку стали основою для організації і виконання специфічніших та складніших експериментальних досліджень.

Результати проведених експериментів показали, що випадкова локалізація поля зору є ефективною як відносно кількості кроків задля виявлення об'єкта, так і щодо імовірності його виявлення, що має важливе загальнонаукове та практичне значення, зокрема в сфері розроблення систем і засобів штучного інтелекту опрацювання візуальної інформації.

Імовірнісні моделі пошуку

Пошук на зображенні одного об'єкта за випадкової локалізації поля зору може здійснюватися як з повторним, так і без повторного перегляду фрагментів, виділених межами поля зору. В математичному плані ці ситуації відповідають задачам визначення імовірності – вийняти чорну кульку з n спроб без повернення або з поверненням кульок до урни, яка містить a чорних (фрагменти з об'єктами) і b білих кульок (фрагменти зображення без шуканих об'єктів). У випадку одного об'єкта, тобто $a = 1$, в першій ситуації кількість кроків обмежена і дорівнює $a + b$. В другій ситуації кожен крок здійснюється за однакових початкових умов, а тому кількість кроків може бути значно більшою за кількість кульок, оскільки їхня кількість залишається незмінною. Тому варіантів для випадкового вибору потрібної кульки є значно більше.

Загалом моделюючи роботу зорового аналізатора, а саме фрагментарний процес пошуку, треба врахувати різні його варіанти: одноразовий перегляд виділеного полем зору фрагмента та багаторазовий з повним або частковим перекриттям полів зору.

Переважають результати пошуку є випадковими – об'єкт може бути виявлений або ні, а тому найбільш загальними і простими моделями є імовірнісні моделі у вигляді законів розподілу. Основними параметрами для визначення імовірності виявлення об'єкта зоровим аналізатором людини є характеристики спостереження зображення, а саме площа зображення поля пошуку або

інформаційного поля, площа виділеного зором фрагмента або поля зору, тобто миттєвого погляду, та відповідні їм тілесні кути, вершини яких відповідають положенню ока в просторі.

Позначимо через j тілесний кут, який відповідає області поля зору, тобто фрагменту зображення, виділеного і опрацьованого оком протягом однієї фіксації погляду, а через Y – тілесний кут, який охоплює все зображення на екрані монітора. Тоді імовірність сприятливої події p_0 , тобто того, що об'єкт за випадкової локалізації поля зору опиниться в області j , дорівнює $p_0 = \frac{j}{Y}$. Якщо в межах поля зору j об'єкт можна виявити лише з деякою імовірністю p^* , то імовірність пошуку і виявлення цього об'єкта p за випадкової орієнтації поля зору дорівнює добутку ймовірностей $p = p_0 \cdot p^*$.

Огляд поля Y можна розглядати як серію повторних незалежних випробувань n – незалежно кинутих поглядів, вважаючи, що кожне випробування має лише два можливі наслідки, імовірності яких є незмінними для всіх випробувань. Це дає підстави моделювати пошук біноміальним законом повторних випробувань. За теоремою [13] імовірність того, що n випробувань Бернуллі з ймовірностями успіху p і невдач $q = 1 - p$ закінчилися k успіхами і $n - k$ невдачами, подається виразом

$$P_n(k) = C_n^k p^k q^{n-k} = C_n^k p^k (1-p)^{n-k}, \quad (1)$$

де кількість сполучень з n елементів по k дорівнює $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$.

Зокрема, q^n – це імовірність того, що об'єкт не буде виявлений, натомість імовірність того, що хоча б одне з випробувань буде успішним, становить $p = 1 - q^n$.

Повний цикл пошуку як перегляд без повторень і пропусків фрагментів зображення складається з $n = \frac{Y}{j}$ фіксацій поглядів. Очевидно, що, якщо форма поля зору відмінна від прямокутної і її розміри кратні розмірам інформаційного поля Y , уникнути перекриттів поля зору, тобто часткового повторного перегляду тих самих фрагментів, неможливо. Якщо на зображенні є лише один об'єкт, то число результативних дій, в процесі яких виявлено шуканий об'єкт, дорівнює одиниці, а кількість нерезультативних дій дорівнює різниці $\frac{Y}{j} - 1 = n - 1$. В цьому випадку, як зазначено у [7] $C_n^1 = \frac{n!}{1!(n-1)!} = n$. Розмістити n предметів у n групах так, щоб групи відрізнялися

самими елементами, а не їх порядком, можна лише один раз, тобто $C_n^n = 1$. Враховуючи властивість сполучень $C_n^k = C_n^{n-k}$, маємо $C_n^n = C_n^{n-n} = C_n^0 = 1$. Отже, імовірність $P_n(k=1)$ – виявлення одного конкретного об'єкта за умови, що більше таких об'єктів на зображенні немає, становить

$$P_n(k=1) = C_n^1 p (1-p)^{n-1} = p q^{n-1}.$$

У випадку малих значень $p \ll 1$, коли кількість випробувань $n \gg 0$ і за припущення, що величина $n \cdot p = const$, біноміальний закон (1) можна апроксимувати формулою Пуассона

$$P_n(k) \approx \frac{(np)^k}{k!} e^{-np}. \quad (2)$$

Це припущення означає, що середня кількість появи подій в різних серіях випробувань і для різних n залишається незмінною.

Справді, з біноміального закону (1) випливає: ймовірність того, що об'єкт не буде виявлений, тобто $k = 0$, становить $P_n(0) = (1 - p)^n$. Для малих значень p на підставі формули (2) знайдемо

$$P_n(0) = e^{-np}.$$

Переважно пошукові дії відбуваються за незмінних умов і виявлення об'єкта уваги для кожної з них протягом однієї фіксації зору можна подати як незалежну подію. Тому ймовірність $P_{об}(n)$ виявлення об'єкта хоча б один раз протягом n переглядів полем зору j фрагментів зображення інформаційного поля y під час фіксацій, відповідно до теореми про повторення незалежних дослідів, можна знайти так

$$P_{об}(n) = 1 - (1 - p)^n, \quad (3)$$

де p – ймовірність виявлення об'єкта пошуку на зображенні в результаті лише одного миттєвого спостереження.

З формули (3) випливає: якщо умови пошуку забезпечують деяку ймовірність p виявлення об'єкта протягом одного миттєвого спостереження фрагмента, то, якою б малою вона не була, ймовірність $P_{об}(n)$ може бути як завгодно близькою до одиниці при достатньо великому n , тобто об'єкт обов'язково буде виявлено. Ймовірність виявлення об'єкта в цьому випадку дорівнює $P_{об} = 1 - P_n(0) = 1 - (1 - p)^n$ або, зробивши заміну $P_n(0) = e^{-np}$, отримаємо

$$P = 1 - e^{-np} = 1 - e^{-\frac{np}{j}}.$$

Пошук із запам'ятовуванням переглянутих фрагментів

Насправді пошук об'єкта на інформаційному полі має не механічний характер, а цілеспрямований і здійснюється або за певними правилами, або випадково, але із запам'ятовуванням переглянутих фрагментів зображення, тобто повторний перегляд одного і того ж фрагмента є практично неможливим. Такий пошук є функцією обсягу інформаційного поля, яке в цьому випадку можна подати загальною кількістю всіх наявних на ньому об'єктів N , кількості K шуканих об'єктів, які володіють заданими ознаками, і співвідношеннями між ними та апріорної ймовірності $p = \frac{K}{N}$ – успіху на першому кроці пошуку [6]. Очевидно, що важливу роль тут відіграють психологічні та ергономічні чинники – тактики пошуку, функціональний стан оператора, яскравість і контрастність зображення, кутові розміри поля, об'єктів та фрагментів, охоплених кинутим поглядом.

У такій ситуації ймовірності виявлення шуканого об'єкта на першому, другому, третьому і т.д. кроках різні і відповідно дорівнюють $p_1 = \frac{K}{N}$, $p_2 = \frac{K}{N-1}$, $p_3 = \frac{K}{N-2}$, ...

Математичне сподівання кількості кроків у цьому випадку подається таким виразом

$$E_n = 1 \cdot \frac{K}{N} + 2 \cdot \frac{K}{N-1} \left(1 - \frac{K}{N}\right) + 3 \cdot \frac{K}{N-1} \left(1 - \frac{K}{N}\right) \left(1 - \frac{K}{N-1}\right) + \dots$$

де загальний член ряду має форму гіпергеометричного розподілу [13], тобто $P_{n,k} = \frac{C_K^k C_{N-K}^{n-k}}{C_N^n}$, а

$P_{n,k}$ – ймовірність того, що за n кроків пошуку буде виявлено k шуканих об'єктів.

Для випадку, коли є лише один об'єкт $k = 1$, маємо

$$P_{n,1} = \frac{C_K^1 C_{N-K}^{n-1}}{C_N^n} = \frac{K C_{N-K}^{n-1}}{C_N^n}.$$

Для підрахунку кількості кроків до виявлення першого шуканого об'єкта, тобто $k = 1$, необхідно знайти суму [6]

$$E_n = \sum_{n=1}^{N-K+1} \frac{K C_{N-K}^{n-1}}{C_N^n} = \sum_{n=1}^{N-K+1} P_{n,1}. \quad (4)$$

Підсумовування ведуть до величини останнього кроку $N - M + 1$. Вираз (2.5) можна подати, як показано в [6], у такому вигляді

$$E_n = \sum_{i=1}^{N-K+1} \frac{C_K^1 C_{N-K}^{n-1}}{C_N^n} = \frac{N+1}{K+1}.$$

Пошук без запам'ятовування переглянутих фрагментів

Якщо пошук є випадковим і допускається повторний перегляд фрагментів, виділених полем зору j , а кожний наступний пошуковий крок є незалежним від попереднього, тоді імовірність виявити об'єкт на k -му кроці можна знайти за допомогою способу, наведеного у [6, 14, с. 75].

Позначимо через p апіорну імовірність виявлення шуканого об'єкта в результаті перегляду фрагмента з цим об'єктом на будь-якому кроці пошуку. Тоді імовірність того, що шуканий об'єкт не буде виявлений, дорівнює $q = 1 - p$.

Математичне сподівання кількості таких кроків можна записати виразом [14]

$$E_n = 1p + 2pq + 3pq^2 + \mathbf{L} = p(1 + 2q + 3q^2 + \mathbf{L} + mq^{m-1} + \mathbf{L}) = \frac{p}{(1-q)^2} = \frac{p}{p^2} = \frac{1}{p}.$$

Щоб знайти математичне сподівання $\mathbf{E}[n]$ кількості кроків n , за якого виявлення відбудеться на n -му кроці, а не раніше, як показано в [2], спочатку визначають імовірність $P_{об}(n)$ того, що виявлення об'єкта відбудеться саме на цьому кроці. Ця імовірність дорівнює добутку ймовірностей того, що виявлення не відбудеться за перших $n-1$ кроків, на імовірність того, що об'єкт буде виявлено саме на n -му кроці, тобто $P_{об}(n) = (1-p)^{n-1} p$. Оскільки математичне сподівання $\mathbf{E}[n]$ дорівнює сумі добутків $n \cdot P_{об}(n)$, маємо при $n = k$

$$\mathbf{E}[n] = \sum_{k=1}^{\infty} k P_{об}(n) = \sum_{k=1}^{\infty} k (1-p)^{k-1} p.$$

Комп'ютерне моделювання пошуку

Відсутність публікацій щодо пошукової комп'ютерної системи, яка працює аналогічно до зорового аналізатора людини, наводить на думку, що така система неефективна і не варто витратити зусилля та ресурси на її створення. Проте, реалізуючи таку систему, можна уникнути таких особливостей зорового аналізатора, як: повернення до повторного перегляду деякого фрагмента, скупчення центрів фіксації зору в окремих місцях зображення, зміни розмірів поля зору залежно від характеру зображення.

У цьому дослідженні здійснено моделювання роботи зорового аналізатора. Прямокутне поле уваги розбите на $n \times n$ комірок, в одній з яких міститься об'єкт уваги заданого класу, як зображено на рис. 1, а.

У цьому випадку таким об'єктом є окремий піксел будь-якого відмінного від тла кольору $k_{об}$, $k_{об} \in K_z$ з прийнятої в операційній системі DOS групи кольорів, тобто $K = [0, 15]$, $K_z = K \setminus (k_0 \cup k_1)$, де k_0 і k_1 є кольорами: тла і кольору, яким зафарбовують комірки, щоб уникнути їхнього повторного сканування.

Постановка експерименту

Експеримент проведено в середовищі QBasic, в цьому випадку простота і наочність алгоритмів і програмного коду є найвищими, а перехід (за потреби) до об'єктно-орієнтованого середовища Visual Basic є фактично безпосереднім. Графіка і точність результатів, отриманих в середовищі Qbasic, повністю забезпечує вимоги до такого роду досліджень.

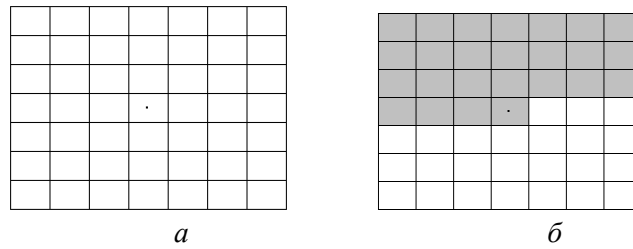


Рис. 1. Поділ поля уваги на комірки: а – з локалізацією об'єкта пошуку, б – виявлення об'єкта послідовним аналізом комірок

Для експериментів використано повний екранний режим Screen 12, який забезпечив максимальне інформаційне поле на екрані монітора – 640×480 пікселів. Розміри і кількості комірок для кожного експерименту наведено в табл. 1. Розміри поля зору в пікселях в кожному експерименті відповідали розміру комірок. Кожен експеримент виконувався для одного розміру поля зору і передбачав 150 незалежних повторних переглядів – циклів пошуку, що вважають достатнім для репрезентативності статистики даних. Величина циклу пошуку визначалася кількістю комірок на інформаційному полі за заданого розміру поля зору. Наприклад, в експерименті для поля зору 20×20 пікселів кількість переглядів становила $150 \times 768 = 115200$ переглядів, а для поля зору 100×100 вже $150 \times 35 = 5250$.

Таблиця 1

Розміри і кількості комірок на інформаційному полі

Розміри комірки	20×20	40×40	60×60	80×80	100×100	120×120
Кількість комірок	32×24 768	16×12 192	11×8 88	8×6 48	7×5 35	6×4 24

Відмінності між характеристиками зорового аналізатора людини і його комп'ютерної моделі подано в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики зорового аналізатора людини і його комп'ютерної моделі

Характеристика	Зоровий аналізатор людини	Комп'ютерна модель
Поле зору	Овальна форма	Прямокутна форма
Розмір поля зору	Змінний	Постійний
Повторний перегляд	Здійснюється	Виключений або дозволений
Перекриття фрагмента	Здійснюється	Виключене або часткове
Траскторія пошуку	Хаотична, цілеорієнтована	Регулярна або випадкова

Комп'ютерна модель має такі характеристики. Поле зору в кожному експерименті для кожного циклу пошуку має постійний розмір. Якщо об'єкт міститься в комірці, то під час її перегляду обов'язково буде виявлений. Цикл пошуку містить конкретну кількість кроків. У файл результатів експерименту включається лише номер кроку, на якому виявлено об'єкт.

Для комп'ютерної моделі експериментально перевірено такі варіанти. У першому варіанті локалізація об'єкта є випадковою в межах інформаційного поля, а для решти – фіксованою, а саме в центрі інформаційного поля.

1. Послідовний і регулярний перегляд комірок, наприклад, зліва направо і зверху вниз. В цьому варіанті для кожного циклу об'єкт був локалізований у випадковий спосіб за допомогою

оператора RND(1) як генератора випадкових значень координат об'єкта. Використання цього оператора безпосередньо забезпечило рівномірний розподіл локалізації об'єкта в межах всього інформаційного поля (екрана монітора). Проте випадковою є лише кількість кроків (переглянутих комірок), зумовлена випадковою локалізацією об'єкта, а сам пошук є детермінованим. Оскільки виявлення об'єкта є гарантованим, то імовірність пошуку тут визначена як відношення середнього значення кількості кроків у циклах, включаючи крок, на якому виявлений об'єкт, до кількості циклів у експериментах з цим полем зору. Регулярний пошук схематично зображено на рис. 1, б.

2. Пошук з перекриттям і без запам'ятовування переглянутих фрагментів інформаційного поля. Для цього варіанта поле зору локалізується на інформаційному полі і, в будь-який спосіб, може частково або повністю перекрити вже переглянуту ділянку інформаційного поля, тобто переглянута ділянка не запам'ятовується, локалізація є випадковою. Залежно від площі перекриття об'єкт протягом одного циклу може бути виявленим декілька раз. Цей вид пошуку схематично зображено на рис. 2, а.

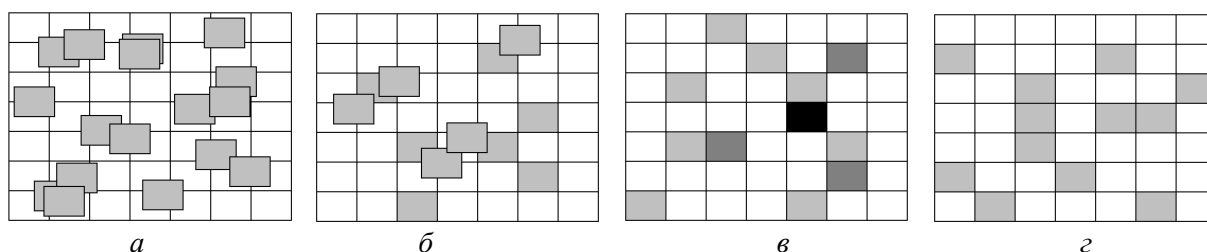


Рис. 2. Пошук об'єкта на інформаційному полі: а – з перекриттям і без запам'ятовування; б – з перекриттям і з запам'ятовуванням; в – без перекриття і без запам'ятовування; г – без перекриття і з запам'ятовуванням переглянутих комірок

3. Пошук з перекриттям та із запам'ятовуванням переглянутих фрагментів. Розташування поля зору є випадковим, але центр поля зору не може міститися всередині вже раз переглянутої комірки, тобто максимальне перекриття за площею менше від половини площі комірки. Це призводить до того, що на інформаційному полі утворюються непереглянуті місця, в яких може перебувати об'єкт.

4. Пошук без перекриття і без запам'ятовування переглянутих фрагментів. Цей вид пошуку характеризується тим, що переглядаються лише у випадковий спосіб вибрані комірки, причому будь-яка комірка може бути повторно переглянута довільну кількість разів. На рис. 2, в повторний перегляд комірок виділено відтінками сірого. Такий пошук є дискретним відносно комірок.

5. Пошук без перекриття та із запам'ятовуванням переглянутих комірок. В цьому виді пошуку послідовність випадкових значень пар координат не містить повторень. Це можна забезпечити відповідною фільтрацією такої випадкової послідовності або відповідним перемішуванням пар координат усіх комірок. Такий варіант пошуку є оптимальним щодо перегляду всього інформаційного поля, оскільки в будь-якому разі кожна комірка буде переглянута. Проте припинення пошуку в разі виявлення об'єкта до завершення циклу дає підстави ввести імовірність виявлення як відношення середнього значення кількості кроків для виявлення об'єкта в кожному циклі до кількості циклів у експерименті.

Обробка даних. Оскільки розміри полів зору зумовлюють різні значення кількостей кроків в циклі, то для зіставлення внутрішньої структури отриманих даних в кожному експерименті значення результатів нормують, тобто приводять до інтервалу значень $[0, 1]$, за формулою

$$x_i^{(norm)} = \frac{x_i - x_{max}}{x_{max} - x_{min}}.$$

Подавши кількості кроків відносними величинами, можна зіставляти результати різних експериментів незалежно від розміру поля зору. Експериментальні дані оброблено за допомогою

табличного процесора Microsoft Excel 2003 і опції «Описова статистика», а самі результати наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Результати експериментальних досліджень за різних розмірів полів зору

№ вар.	Параметри пошуку	20×20	40×40	60×60	80×80	100×100	120×120
1	$n_{сер}$	284.5	82.6	34.0	19.1	14.9	8.4
	$n_{сер}^{(норм)}$	0.374	0.427	0.384	0.385	0.408	0.320
	$P_{виявлення}$	0.68	0.78	0.8	0.72	0.79	0.72
2	$n_{сер}$	327.8	107.7	39.3	19.7	13.3	10.6
	$n_{сер}^{(норм)}$	0.427	0.544	0.440	0.398	0.362	0.401
	$P_{пошуку}$	0.58	0.45	0.57	0.67	0.61	0.67
3	$n_{сер}$	357.7	79.7	38.2	18.9	16.9	11.3
	$n_{сер}^{(норм)}$	0.456	0.422	0.426	0.381	0.469	0.449
	$P_{пошуку}$	0.67	0.68	0.69	0.55	0.62	0.66
4	$n_{сер}$	333.9	89.3	37.7	22.8	15.4	10.2
	$n_{сер}^{(норм)}$	0.434	0.450	0.421	0.464	0.424	0.436
	$P_{пошуку}$	0.61	0.62	0.71	0.61	0.63	0.66
5	$n_{сер}$	389.6	90.6	40.8	25.1	17.7	13.9
	$n_{сер}^{(норм)}$	0.507	0.469	0.458	0.513	0.491	0.560
	$P_{пошуку}$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

В таблиці для кожного розміру поля зору наведено середні значення кількостей кроків у кожному циклі для звичайних і нормованих даних та значення ймовірностей пошуку об'єкта в експерименті. Імовірність пошуку, тобто імовірність виявлення об'єкта для кожного експерименту, визначена як відношення кількості сприятливих подій – кількості циклів, в яких об'єкт виявлено, до вказаної кількості: 150 циклів в кожному експерименті. Для усіх цих експериментів можна вказати узагальнений результат, відображений у табл. 4.

Таблиця 4

Результати дослідження за варіантами пошуку

Види пошуку	Без запам'ятовування	Із запам'ятовуванням
3 перекриттям	$\bar{n}_{привед} = 0.383$ $\bar{P} = 0.75$	$\bar{n}_{привед} = 0.438$ $\bar{P} = 0.64$
Без перекриття	$\bar{n}_{привед} = 0.429$ $\bar{P} = 0.59$	$\bar{n}_{привед} = 0.434$ $\bar{P} = 0.64$

Обговорення результатів. Експериментальні дослідження показали, що пошук і виявлення об'єктів за фрагментарного випадкового переміщення поля зору в межах інформаційного поля екрану монітора забезпечує, навіть за таких мінімальних умов, як обмеженість кроків у циклі, імовірність виявлення об'єкта $P > 0,5$. Очевидно, збільшуючи кількість циклів і кроків у циклі,

можна досягти для варіантів з перекриттям вищого значення імовірності, а запам'ятовуючи малоінформативні фрагменти, зосередити увагу на окремих. Подальший розвиток такої комп'ютерної моделі наближає її до моделі зорового аналізатора, усуваючи його недоліки і підсилюючи переваги. Основним показником є наведена кількість кроків для виявлення об'єктів у відсотках та гарантована достовірність виявлення об'єкта пошуку. Для точкових та малорозмірних об'єктів уваги варто використовувати малі за розмірами поля зору, а для протяжних – великі, крім того, запропонована модель легко позиціонується, тобто координатами будь-якої точки об'єкта можна замінити координати центра поля зору. Залежно від розмірів виявленого об'єкта також можна змінювати розміри поля зору і виконувати аналіз швидше і з меншим ресурсом.

Висновок

Виконані експериментальні дослідження підтвердили правомірність використання фрагментарного випадкового перегляду інформаційного поля полем зору заданих розмірів за різних способів такого перегляду, а саме: послідовного перегляду дискретними, з перекриттям і без запам'ятовування, з перекриттям і із запам'ятовуванням, без перекриття і без запам'ятовування, без перекриття і із запам'ятовуванням. Наведені варіанти допускають і модифікації в сенсі зміни розміру поля зору та траєкторії пошуку, а також можливість запам'ятовувати окремі фрагменти, точніше координати поля зору, і, тим самим не допускаючи повторного перегляду, зекономити пошуковий ресурс.

1. Хеллман О. Введение в теорию оптимального поиска. – Пер. с англ. / Под ред. Н.Н. Моисеева. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 248 с. 2. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. – М.: Сов. Радио, 1977. – 336 с. 3. Морз Ф. Теория поиска / В кн. Исследование операций: в 2-х т.; пер. с англ. / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – Т.1. – С. 549 – 629. 4. Ллойд Дж. Системы тепловидения. – М.: Мир, 1978. – 414 с. 5. Jaynes E.T. Entropy and search theory // in Maximum-Entropy and Bayesian Methods in Inverse Problems, C. Ray Smith and W.T. Grandy Jr. (eds.), D.Reidel? Dordrecht, p. 443. 6. Березкин Б.С., Зинченко В.П. Исследование информационного поиска // Проблемы инженерной психологии. – М.: Наука, 1967. – С. 90 – 117. 7. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. – Л.: Машиностроение, 1983. – 696 с. 8. Травникова Н.П. Эффективность визуального поиска. – М.: Машиностроение, 1985. – 128 с. 9. Волгин Н.С. Исследование операций. Часть 2. Учебник. – СПб.: Изд-во Военно-морской академии им. Адмирала флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, 1999. – 334 с. 10. Юхно П.М., Огреб С.М., Марек Я.Л. Исследование особенностей визуального поиска в условиях временных ограничений и неопределенности относительно наличия объекта в зоне поиска // Оптический журнал. – 2002. – Т.69. – № 5. – С. 51–55. 11. Дзевежин И.Г., Рафальский Ю.И. Решение задачи определения зоны поиска для последующего обнаружения объектов // Системы управління, навігації та зв'язку. – 2008. – Вип. 4(8). – С. 81 – 83. 12. Кочкадаев А.В., Дикарина Г.В., Ташлинский А.Г. Сокращение вычислительных затрат при поиске по эталону фрагмента на большом изображении // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2007. – Т 9. – № 3. – С. 135 – 141. 13. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. В 2-х т. Т.1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 528 с. 14. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учеб. пособие для студентов вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1979. – 400 с.