

СТРУКТУРНИЙ МЕТОД ОПИСУ І ВИДІЛЕННЯ ВІДРІЗКІВ ПРЯМИХ ЛІНІЙ У КОНТУРІ.

Володимир Калмиков, Дмитро Калмиков, Тетяна Романенко
Інститут проблем математичних машин і систем НАН України

02187 Київ 187 просп. Академіка Глушкова 42, тел. 266 1369, E-mail: kvg@immsp.kiev.ua

The structural method of the description and allocation of pieces of direct lines in a contour is offered which is based on a hypothesis about allocation of pieces of any direct lines in primary visual cerebral cortex. The offered hypothesis demonstrates one of probable mechanisms of display and recognition of pieces of direct any lengths and directions by the neurophysiology means, and can be used as a working hypothesis at experimental researches of visual perception. The received way of the description of image contours is not economical, but the algorithm, received on its basis, allows to restore the contour information as a sequence of pieces of straight lines, which was lost while the image was discretized.

1. ВСТУП.

Запропонований структурний метод опису і виділення відрізків прямих ліній у контурі бінарного об'єкту має в основі гіпотезу про виділення відрізків довільних прямих ліній у первинній зоровій корі мозку людини, що розроблена на основі наступних відомих даних про механізм зорового сприйняття [1].

1. Зображення у полі зору ока проектується на сітку, що утворена зоровими рецепторами, яку можна розглядати як якийсь двомірний дискретний простір;

2. Кожний нейрон поля зору ока (гангліозна клітина) збирає інформацію від деякої множини зорових рецепторів, що її називатимемо рецептивним полем. Середня відстань τ між гангліозними клітинами в центральній частині поля зору ока визначає дискретність поля зору. Кожній гангліозній клітині відповідає нейрон первинної зорової (стриарної) кори мозку. Будемо називати такі нейрони первинними нейронами.

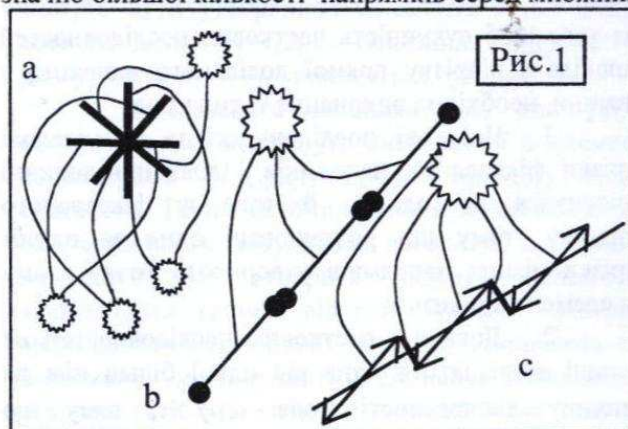
3. У стріарній корі виявлені нейрони, що збуджуються при пред'явленні у визначеному місці поля зору відрізка визначеної довжини і визначеного напрямку – рис. 1а (зірочками позначені нейрони, дугами – зв'язки їх зі стимулами, що ті нейрони збуджують). Розмір відрізків, на які реагують такі нейрони, складає менше 2° поля зору. Будемо називати такі нейрони лінійними. Кількість відмінних один від одного напрямків відрізків, що перетинають одну точку, обмежена і залежить, очевидно, від кількості первинних нейронів, що утворюють рецептивні поля лінійних нейронів, конфігурації цих рецептивних полів і не перевищує 2 - 3 десятків. Природно припустити, що кожній

гангліозній клітині в центральній частині поля зору відповідає лінійний нейрон.

4. У стріарній корі виявлені також кінцеві нейрони, що збуджуються якщо в даній точці поля зору має місце кінець відрізка прямої. Природно також припустити, що кожній гангліозній клітині в центральній частині поля зору відповідає кінцевий нейрон.

2. ГІПОТЕЗА.

Отже, по сигналах лінійних нейронів можна судити про те, чи є в поле зору ока відрізки прямих деяких фіксованих напрямків, наприклад, як на рис. 1а. Чим довше відрізок прямої, що розглядається, тим більше лінійних нейронів даного напрямку, відповідних відрізкам, що взаємно продовжуються, видають сигнали – 1б. У той же час загальновідомо, що зір людини виділяє відрізки прямих дуже великої, значно більшої кількості напрямків серед множини



довільних ліній, ніж тієї, що виявлена експериментально. Дійсно, із звичайних повсякденних спостережень з очевидністю випливає, що відмінності між напрямками двох довільних відрізків достатньо великої довжини можуть вимірюватися кутовими хвилинами і, навіть, секундами. Для цього потрібно значно більша дозвольна спроможність, ніж можуть забезпечити самі по собі сигнали лінійних нейронів. У такому випадку повинен існувати спеціальний зоровий механізм, що реалізований у вигляді зв'язків між нейронами, який забезпечує виділення і розпізнавання відрізків прямих ліній довільної довжини і довільного напрямку при розумних витратах кількості нейронів.

Природно припустити, що сигнали лінійних нейронів про відрізки фіксованих напрямків використовуються для побудови образу відрізка прямої довільної довжини і довільного напрямку.

Якщо напрямок деякого відрізка прямої довільної довжини в полі зору не збігається цілком із жодним із тих фіксованих напрямків, що виділяються за допомогою лінійних нейронів, тобто цей напрямок є проміжним між двома сусідніми фіксованими напрямками, то такий відрізок не може бути відображений сигналами лінійних нейронів, що відповідають продовжуючим один одного відрізкам обмеженої довжини та одного фіксованого напрямку. У той же час окремі лінійні нейрони, що мають напрямок найближчий до напрямку відрізка, що розглядається у полі зору, видають відповідні сигнали. Проте відрізки, що відповідають цим нейронам, уже не завжди утворюють зв'язану послідовність, тобто кінець попереднього відрізка не завжди збігається з початком наступного – мал. 1с. У залежності від того, наскільки напрямок відрізка у полі зору не збігається з фіксованими напрямками, послідовність продовжуючих один одного відрізків фіксованої довжини переривається, "спрацьовують" кінцеві нейрони і починається нова послідовність продовжуючих один одного відрізків фіксованої довжини. Ця нова послідовність зміщена щодо попередньої в напрямку, перпендикулярному фіксованому напрямку відрізків. Такі послідовності, що складаються з одного або деякої кількості продовжуючих один одного відрізків фіксованої довжини і напрямку, будемо називати *частковими*. Для того щоб сукупність часткових послідовностей відповідала відрізку прямої довільного напрямку і довжини, необхідно виконання таких умов:

1. Часткові послідовності та їх складові відрізки фіксованих напрямків і довжини повинні відноситися до одного й того ж фіксованого напрямку, тому що розташовані один за одним відрізки різних напрямків утворюють точку зламу або елемент кривизни;

2. Довжини часткових послідовностей не повинні відрізнятися одна від одної більш ніж на величину дискретності поля зору τ , тому що розташовані один за одним відрізки різної довжини утворюють точку зламу або елемент кривизни;

3. Відстані між кінцями і початками розташованих одна за одною часткових послідовностей не повинні перевищувати величини дискретності поля зору τ тому що в іншому випадку між ними може бути поміщений відрізок, що відрізняється по довжині або напрямку.

4. Напрямки зміщення наступних часткових послідовностей відносно попередніх не змінюються.

Умови 1,3,4 можуть бути легко виконані шляхом утворення рецептивних полів нейронів більш високих порядків із лінійних і кінцевих нейронів у якості рецепторів. Умова 2 може бути здійснена шляхом порівняння електричних зарядів, отриманих від нейронів сусідніх часткових послідовностей, оскільки величина передаваного заряду залежить від довжини відрізка у полі зору.

Запропонована гіпотеза демонструє один із можливих механізмів відображення і розпізнавання відрізків прямих довільних довжин і напрямків засобами, характерними для нейрофізіології і може бути використана в якості робочої гіпотези при експериментальних дослідженнях зорового сприйняття.

3. ВІДНОВЛЕННЯ ВІДРІЗКІВ ПРЯМИХ У ОПИСІ КОНТУРУ.

Далі розглянемо ту ж задачу виділення відрізків прямих у процесі структурного аналізу контурів об'єктів бінарного зображення з використанням основних положень розглянутої гіпотези.

Зображення задане в двомірному просторі на прямокутній ґратці $M \times N$, як деяка функція $V(m, n) = (0, 1)$, $m = 1, 2, \dots, M$, $n = 1, 2, \dots, N$. Зображення включає об'єкти - сукупності компактно розташованих пікселів, таких що $v(m, n) = 1$, у той час як $V(m, n) = 0$ для фонових пікселів. Об'єкти звичайно описуються контурами - замкнутими ламаними лініями, що відокремлюють піксели, що належать об'єкту, від пікселів, що належать фону.

Як результат дискретизації вихідного зображення відрізки прямих і кривих довільного напрямку, що спочатку утворювали контур, перетворилися у відрізки вертикальних і горизонтальних ліній - *граней*, що чергуються. Спільні точки сусідніх граней будемо називати *точками зламу*. Представлення контурів у вигляді граней незручно з ряду причин, головною з них є втрата представлення контуру як послідовності відрізків прямих (або кривих) ліній довільного напрямку. Звичайно для відновлення відрізків прямої по окремих точках використовують методи, алгоритми сгладжування, що дозволяють одержати приблизне (а не точне) рішення навіть при відсутності поміх.

У роботі [2] був запропонований опис контурів бінарних об'єктів послідовностями L-елементів. Розглянемо виділення відрізків прямих у послідовностях L-елементів. Складові елементарні відрізки - L-елементи утворюються парами, що складаються з розташованих один за одним горизонтального і вертикального (або навпаки, вертикального і горизонтального) відрізків. Перший відрізок може мати довільну довжину: $l = 1, 2, \dots, L$, де L - максимально можлива довжина відрізка в даній реалізації, у той час як довжина другого відрізка в парі дорівнює l (у деяких випадках вона дорівнює 0), що цілком очевидно впливає з визначення алгоритму дискретизації. L-елементи відповідають відрізкам обмеженої довжини у викладеній вище гіпотезі про виділення відрізків прямих довільного напрямку.

Параметрами L-елемента є:

- l - довжина L-елемента, у якості якої приймається довжина першого відрізка; як уже

згадувалося, l приймає значення з ряду натуральних чисел;

- g - напрямок L-елемента, у якості якого приймається напрямок першого відрізка (для певності приймемо $g = 0$ - "нагору", $g = 1$ - "управо", $g = 2$ - "униз", $g = 3$ - "уліво");

- $q = 0, 1$ - напрямок другого відрізка (0 - поворот управо щодо напрямку першого відрізка, 1 - поворот уліво щодо напрямку першого відрізка).

Розглянемо послідовності L-елементів, що утворюють відрізки прямих, для випадку $\Delta y > (x(0, \text{ вважаючи, що для } \Delta x > y(0, \text{ результат буде симетричним. Такі послідовності звичайно утворюються в результаті роботи алгоритму дискретизації відрізків по методу Брезенхама.$

Як і для випадку зорового сприйняття, L-елементи, що складають відрізок прямої, співпадають за напрямками першого і другого відрізків, відрізняються по довжині не більш, ніж на величину дискретності простору - один піксел.

Насамперед відзначимо, що $n = \Delta x$ - кількість L-елементів, що утворюють відрізок. Ціла частина від ділення $\Delta y / \Delta x - l = (\text{ЦЧ}) \Delta y / \Delta x$ - це довжина деякої частини L-елементів, що складають відрізок. Довжина інших L-елементів складає $l + 1$. Кількість таких L-елементів - n^* дорівнює залишку від ділення $\Delta y / \Delta x$, тобто $n^* = (O)y / (x, \text{ у той час як кількість L-елементів довжини } l \text{ складає } n - n^*.$ L-елементи довжин $l, l + 1$, що утворюють відрізок прямої, рівномірно розподілені в межах цього відрізка. Якщо при відображенні відрізка прямої L-елементами $n^* = n - n^*$, то L-елементи довжини l і $l + 1$ чергуються. Якщо $n^* > n - n^*$, то L-елементи довжини l рівномірно розподіляються між L-елементами довжини $l + 1$, і навпаки, у протилежному випадку. Послідовність з однакових L-елементів довжини l , що закінчується L-елементом довжини $l + 1$ або $l - 1$, будемо називати *комплексним L-елементом* або K-елементом. Послідовність з однакових L-елементів довжини l , що починається L-елементом довжини $l + 1$ або $l - 1$, а далі продовжується L-елементами довжини l також є K-елементом. Такий K-елемент будемо називати зворотним. Кількість K-елементів, що утворюють відрізок прямої визначається як $\min\{(n - n^*), n^*\}$. Параметрами K-елементу, таким чином, є:

- параметри першого вхідного в нього L-елемента (для зворотних K-елементів - другого);

- k - кількість L-елементів, що утворюють K-елемент; $k = (\text{ЦЧ})n / j$ будемо називати "довжиною" K-елементу; зворотні K-елементи будемо позначати знаком "-" при величині k .

- $r = -1, 0, +1$; значення $r = -1$ або $r = +1$ визначають відповідно зменшення або збільшення довжини останнього в порівнянні з попереднім L-елементом на 1. Якщо $r = 0$, то всі L-елементи даного K-елементу однакові.

Через несумісність величин n і j деякі K-елементи містять $j + 1$ L-елементів. Їхня кількість визначається як $j^* = (O)n / j$. K-елементи, що містять

різні кількості L-елементів, рівномірно розподіляються в межах відрізка.

Послідовність із k_1 однакових K-елементів довжини k , що починається або закінчується K-елементом довжини $k + 1$ або $k - 1$, будемо називати K1-елементом. Кількість K1-елементів, що утворюють відрізок прямої $j_1 = \min\{(j - j^*), j^*\}$. Параметрами K-елементу, таким чином, є:

- параметри першого K-елементу, що входить в нього;

- k_1 - кількість K-елементів, що утворюють K1-елемент; $k_1 = (\text{ЦЧ})j / j_1$ будемо називати "довжиною" K1-елемента; зворотні K-елементи будемо позначати знаком "-" при величині k_1 ;

- $r_1 = -1, 0, +1$; значення $r_1 = -1$ або $r_1 = +1$ визначають відповідно зменшення або збільшення довжини першого або останнього в послідовності K-елемента в порівнянні з іншими K-елементами даного K1-елемента на 1. Якщо $r_1 = 0$, то всі K-елементи даного K1-елемента однакові.

При несумісності величин j і j_1 деякі K1-елементи містять $j_1 + 1$ K-елементів. Їхня кількість визначається як $j_1^* = (O)j / j_1$. K1-елементи, що містять різні кількості K-елементів рівномірно розподіляються в межах відрізка. У цьому випадку можуть бути утворені K2-елементи в кількості $j_2 = \min\{(j_1 - j_1^*), j_1^*\}$. При несумісності величин j_2 і j_1 можуть бути утворені K3-елементи і так далі, аж доти для деякого $i = 1, 2, \dots$ - показника сумірності (або рангу) значення j_i і j_{i-1} виявляться сумірні.

Із сказаного випливає, що для усякого відрізка прямої може бути визначений K-елемент із параметрами $\{l, g, q, k, r, \dots, k_b, r_b, i\}$, причому єдиним способом. Такий засіб опису не є ощадливим, проте дає можливість побудувати алгоритм, що дозволяє визначити, чи утворить задана послідовність чергуючихся граней відрізок прямої. Алгоритм визначається перевіркою умов, чи утворюють грані L-елемент, чи утворюють L-елементи K-елемент, чи утворюють K-елементи K1-елемент і так далі доти чергова пара граней перестане разом задовольняти умовам приналежності до відрізка прямої, вже утвореному раніше переглянутими гранями. Тоді відрізок прямої вважається розпізнаним, а наступна пара граней, певне, уже не є продовженням відрізка прямої і є початком іншого відрізка.

Стосовно до зорового сприйняття сказане вище може позначати наступне. Якщо часткові послідовності, що складають довільний відрізок прямої відрізняються одна від одної на величину τ по довжині, то вони повинні бути розподілені рівномірно уздовж відрізка прямої, подібно тому як K-елементи неоднакової довжини рівномірно розподіляються в межах відрізка прямої. Якби в процесі зорового сприйняття не існувало механізму такого рівномірного розподілу, то відрізки прямих, складені з часткових послідовностей довжини тільки довжини l або тільки довжини $l + \tau$ не розрізнялися б один від одного, чого насправді не відбувається. У такому випадку запропонована гіпотеза повинна

бути доповнена ще одною умовою перевірки рівномірного розподілу часткових послідовностей різноманітної довжини в межах відрізка прямої.

Подібно L-елементам часткові послідовності мають утворювати структури, подібні K-елементам, що можуть бути реалізовані у вигляді нейронів час-

ткових послідовностей старших порядків, рецептивні поля яких утворені нейронами часткових послідовностей молодших порядків.

Алгоритм виділення послідовності K-елементів у послідовності L-елементів поданий у вигляді таблиці, де $t = 0, 1, 2, \dots$ - номер L-елементу у послідовності.

k	l_t, l_{t-1}	$l_t = l_{t-1}$	$l_t = l_{t-1} + 1$	$l_t = l_{t-1} - 1$	$ l_t - l_{t-1} > 1$
$k=1$	$k_i++; t++;$	$k_i++; t++;$	$k_i++; t++; k_i = (-1) * k_i;$	$k_i++; t++; k_i = (-1) * k_i;$	$k_i=1; i++;$
$k > 1$	$k_i++; t++;$	$k_i++; i++; t++; r_i = +1; k_i = 1;$	$k_i++; i++; t++; r_i = -1; k_i = 1;$		
$k < -1$	$k_i--; t++;$	$k_i = 1; i++;$			

Розглянемо приклади роботи алгоритму. На рис. 2,3 наведені дві різні частини контуру у вигляді відрізків прямих ліній та послідовностей L-елементів, не пошкоджені завадами. Послідовність L-елементів на мал.2 - de утворена при дискретизації одного відрізка DE розмірами $|\Delta x|=62; |\Delta y|=45$. Послідовність L-елементів на мал.3 - abc - утворена при дискретизації двох зв'язаних відрізків AB та BC , що незначно відрізняються нахилом, загальними розмірами $|\Delta x|=53; |\Delta y|=36$. Розміри

утворює один K2-елемент, у той час як послідовність abc утворює два K2-елементи, розділяючи послідовність L-елементів саме у точці b .

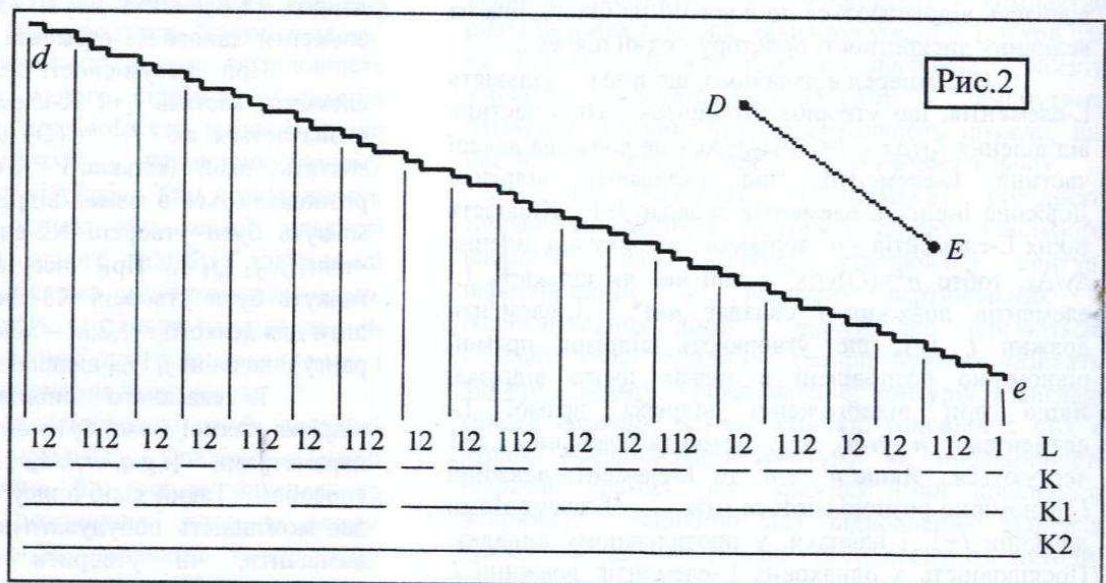


Рис.2

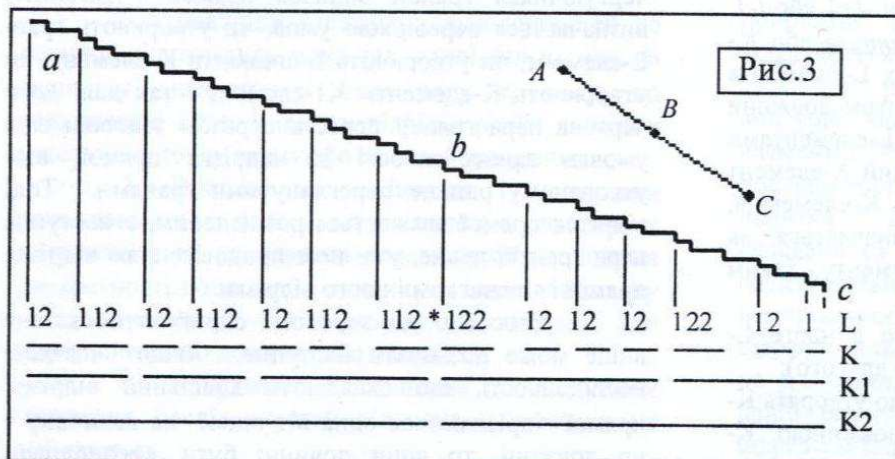


Рис.3

4.ВИСНОВКИ.

Запропоновано метод та алгоритм структурного аналізу відрізків прямих, що дозволяє відновити опис контуру у дискретному просторі, як послідовність відрізків прямих. Проведено зіставлення з механізмами зорового сприйняття, показано їх подібність відносно операцій над елементами зображення, що дозволило сформулювати гіпотезу, придатну до експериментальної перевірки.

ЛІТЕРАТУРА.

1. Хьюбел Д. "Глаз, мозг, зрение." - Москва: Мир, 1990 - 239 с.
2. Калмыков В.Г. Вишневский В.В. Анализ контуров объектов в бинарных изображениях. // Математические машины и системы - 1997 - №2 - с.68- 71.