*Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Серія фізико-математичні науки* **2014, 4** *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv
Series Physics & Mathematics*

УДК 519.7

Верченко А.П.[1], к.ф.-м.н., с.н.с.,
Кравченко Р.В.[2], студент.

Метод автоматичного розташування написів точкових об'єктів в електронних картах, побудований на нейронній мережі Хопфілда

[1] Київський національний університет імені Тараса Шевченка, факультет кібернетики, 03187, м. Київ, пр-т. Глушкова 4д,
e-mail: [1]An.Verchenko@gmail.com,
[2]Roman.Volod.Kravchenko@gmail.com

A.P. Verchenko[1], PhD,
R.V. Kravchenko[2], student.

The method of automatic point-feature label placement in digital maps based on the Hopfield neural network

[1] Taras Shevchenko National University of Kyiv, 03187, Kyiv, Glushkova st., 4d,
e-mail: [1]An.Verchenko@gmail.com,
[2]Roman.Volod.Kravchenko@gmail.com

В статті розглянуто підхід для оптимізації автоматичного розташування написів точкових об'єктів на електронних картах, навчання якого відбувається на нейронній мережі Хопфілда. Запропонований алгоритм при виборі відповідних параметрів показав високу швидкість та хороші результати при динамічному збільшенні масштабу та пересуванню на електронній карті, що показало його практичну цінність.

Ключові слова: розташування написів точкових об'єктів, нейронна мережа Хопфілда, функція енергії, проблема оптимізації.

This article shows approach based on Hopfield neural network to resolve the Point-Feature Labeling Placement (PFLP) problem and the practical results that use this method on interactive map ArcGIS API for Flex for labeling the cities. The main goal of this article to find method that can be easy programming, exposed to multithreading and used parallel searching instead sequential as other previously published approaches that solve problem to label point objects. The PFLP is formulated as an optimization problem and described iterative calculations that are based on finding the optimum Hopfield neural network. The proposed algorithm on each step minimize the energy function of neural network while it gets the minimum value. Finding this way minimum is the best label position for each point element. The experimental results proves good permanence and high speed in digital maps that showed possibility of applying to resolve similar tasks.

Key Words: point-feature labeling placement, Hopfield neural network, energy function, optimization problem.

Статтю представив д.т.н., проф. Гаращенко Ф.Г.

1. Вступ

При розробці програмного забезпечення для інтерактивних картографічних систем виникає так звана проблема автоматичного розміщення написів. Її суть полягає в тому, що при хаотичному розташуванні написів всіх об'єктів втрачається доступність та читабельність даних. Тому потрібно максимізувати кількість можливого виведення написів, не порушуючи при цьому встановлені правила.

Протягом останніх десятиліть було запропоновано ряд підходів для розв'язання даної проблематики, які мають як свої переваги, так і недоліки [1]. Тим не менш, автоматизація розміщення є складною алгоритмічною задачею. Дослідження показали, що проблема розміщення написів є NP-важкою задачею [2], і традиційні підходи, такі як підхід експертної системи не в змозі вирішити цю проблему, тому що там використовується послідовна стратегія пошуку. Виходом для вирішення цієї проблеми є спробувати знайти найбільш оптимальне положення за допустимий час, при цьому зменшити складність і підвищити ефективність, тобто розв'язати комбінаторну оптимізаційну задачу.

Доцільним є використання нейронної мережі Хопфілда [3], оскільки вона може знайти оптимальний розв'язок швидше, ніж традиційні методи, а також вона має переваги при розпаралелюванні процесу розміщення. В своєму початковому вигляді [3] неможливо уникнути проблеми локальних мінімумів, що може привести до небажаних результатів. Дослідники намагаються модифікувати енергетичну функцію або оптимально підібрати чисельні параметри для кожної задачі. В цій роботі розглянуто метод розв'язання комбінаторної оптимізаційної проблеми ітеративними обчисленнями, що засновані на пошуку оптимуму нейронної мережі Хопфілда. В основі даного підходу є традиційний оптимізаційний процес нейронної мережі Хопфілда, що використовується при базовому обчисленні та повторюється у відповідності з визначеним методом навчання на основі принципу балансу [4], який може регулювати параметри обчислювальної ітерації між поточною і наступною ітерацією.

Запропонований метод був реалізований для відображення назв міст на електронній карті і використовувався при виконанні прикладних тематик на кафедрі Моделювання складних систем (МСС), факультет кібернетики [5]. При реалізації було отримано хороші результати та обчислювальну швидкість роботи при динамічному масштабуванні та пересуванні по карті.

2. Моделювання проблеми розташування написів точкових об'єктів

При виведенні написів існує три різні типи розміщення написів: підписи областей та територій (моря, країни), лінійні підписи (назви річок, вулиць) та відображення написів точкових об'єктів (міста, вершини гір) [6]. Проте, в даній статті розглянемо лише останню постановку проблеми, оскільки її можна звести до двох попередніх лінійними перетвореннями та додаванням умов з границями.

Сформулюємо постановку задачі розміщення написів точкових об'єктів як комбінаторну оптимізаційну задачу. Нехай задано n точок, кожна з яких повинна бути підписана власною назвою у одній із m наперед заданих можливих позицій. Остаточну позицію напису знаходимо у вигляді вектору $\bar{x} = (x_1, x_2, ..., x_n)$, кожна компонента якого $x_i = \{1,2,..., m\}, i = \overline{1,n}$ визначає позицію напису i-ого об'єкта. Для кожної позиції

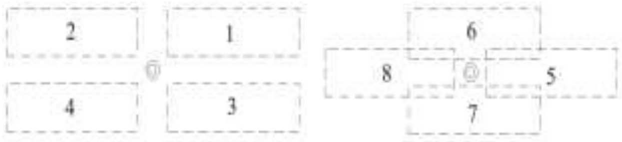

Рис. 1. Можливі розміщення напису об'єкта і їх пріоритет у відповідності із зростанням

напису в картографії найчастіше використовують вісім наперед заданих варіантів (Рис. 1).

Визначимо правила вибору оптимальної позиції для напису:

1) не допускається жодних перетинів напису з іншими написами чи з навколишніми графічними об'єктами;

2) кожному напису відповідає лише один об'єкт, до якого він належить;

3) кожен напис повинен розміщуватися у найбільш сприятливій позиції (серед всіх доступних) у відповідності з заданим пріоритетом.

Вирішення даної проблеми потрібно зробити автоматизованим, при цьому виводячи на екран при заданому масштабі максимальну кількість написів із заданим розміром. Для розміщення самого напису використовуємо деяку прямокутну область. Кожен об'єкт маркування являє собою точку з координатами, самий підпис, що потрібно вивести, і порядок виводу на екран, що використовується при масштабуванні.

3. Алгоритм пошуку оптимальної позиції напису в нейронній мережі Хопфілда

Нейронна мережа Хопфілда є мережею з одним рівнем зворотного зв'язку. Нехай $A_1, A_2, ..., A_n$ становить n-нервовий блок, W_{ij} - відношення ваги між A_i та A_j елементами. Утворена матриця W з елементів W_{ij} буде симетричною і показуватиме міцність з'єднань між n вузлами:

$$W_{ij} = W_{ji}, \qquad i, j = \overline{1,n}.$$

Для зворотного зв'язку в мережі між входом та виходом використаємо рівняння стану

$$\begin{cases} C_i \dfrac{du_i}{dt} = -\dfrac{u_i}{t} + \sum_j W_{ij} V_j + I_i \\ V_i = g(U_i) \end{cases} \qquad (1)$$

де $g(\circ)$ − постійна монотонна зростаюча функція з верхньою границею, серед яких найчастіше використовується функція гіперболічного тангенсу. U_i представляє вхід i-ого нейронного блоку, V_i - вихід i-ого нейронного блоку, I_i - зсув нейронної мережі (вплив від зовнішнього середовища).

Оскільки система працює асинхронно, то в будь-який момент часу лише один нейронний блок змінює свій стан. Припустимо, що $U_i(t)$ складається з суми усіх входів в i-ий блок в момент часу t, а $V_i(t+1)$ - вихід i-ого нейронного блоку в момент часу $t+1$.

$$U_i(t)=\sum_j W_{ij}V_j(t)+I_i\,, \qquad (2)$$

$$V_i(t+1)=g(U_i(t))=g\left(\sum_j W_{ij}V_j(t)+I_i(t)\right). \qquad (3)$$

Функція енергії для нейронної мережі Хопфілда з рівнянням стану (1) має наступний вигляд

$$E=-\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}V_iV_j-\sum_{i=1}^{n}V_iI_i\,. \qquad (4)$$

Було доведено, що мережа Хопфілда є системою нелінійного руху [7]. В такій системі існує одна або декілька точок мінімуму. Динамічний ітеративний процес на кожному кроці зменшує значення функції енергії нейронної мережі, і коли значення на поточному кроці не відрізняється від попереднього, система досягає свого мінімального значення енергії. Мінімальне значення мережі буде нашим шуканим оптимальним розв'язком.

Припустимо, що карта містить n об'єктів, і кожен об'єкт має m можливих позицій. Таким чином, $m\times n$ кандидатів, і ці елементи будуть утворювати матрицю, в якій m варіантів позицій одного об'єкта будуть стояти в одному рядку. Звідси одній позиції для розміщення напису відповідає один нервовий блок нейронної мережі Хопфілда, яка складається з $m\times n$ нервових блоків.

Для визначення функції енергії опишемо умову обмеження суми і оптимальну ціль: кожен об'єкт може вибрати тільки одну позицію для розташування напису та кількість перетинів між двома прямокутниками з написом є найменшою відповідно. Згідно з цією умовою обмеження і оптимальною ціллю, ми можемо задати функцію енергії мережі наступним чином:

$$E=\frac{B}{2}\sum_i\left(\left(\sum_j V_{ij}\right)-1\right)^2+ \\ +\frac{A}{2}\sum_i\sum_j\sum_k\sum_l D(i,j,k,l)V_{ij}V_{kl}. \qquad (5)$$

В наведеному рівнянні перша сума представляє обмеження стану, і той факт, що тільки одна позиція дозволена на один напис для заданого об'єкту. Якщо ця умова не виконується, то перша сума буде дорівнювати нулю. Оптимальна ціль $D(i,j,k,l)$ визначається наступним чином:

$$D(i,j,k,l)=\begin{cases}1, & \text{коли } V_{ij} \text{ та } V_{kl} \text{ перетинают ься}\\ 0, & \text{інакше}.\end{cases}$$

Таким чином, друга сума є множенням чисел перетинів між кожними двома прямокутниками. Якщо вибір положення напису є оптимальним, E може досягти мінімального значення, а якщо вибір позиції майже оптимальний, E буде досить малим.

Відношення ваги між блоком i та блоком j визначимо як:

$$W_{ij,kl}=-AD(i,j,k,l)-B\delta_{ij,kl}\,, \qquad (6)$$

$$\delta_{ij,kl}=\begin{cases}1, & ij=kl\\ 0, & ij\neq kl\end{cases} \qquad (7)$$

$$I_{ij}=B\,. \qquad (8)$$

Таким чином, підставляючи отримані значення в рівняння стану нейронної мережі (1) отримуємо рівняння такого вигляду:

$$\begin{cases}\dfrac{du_{ij}}{dt}=\dfrac{-u_{ij}}{\tau_i}+\sum_{j\neq i}\left(AD(i,j,k,l)-B\delta_{ij,kl}\right)V_{ij}+B\\ V_{ij}=g(u_{ij}).\end{cases} \qquad (9)$$

В якості функції входу-виходу нервового блоку візьмемо сигмоїдну неперервно диференційовану монотонну нелінійну S-подібну функцію $g(x)=\dfrac{1}{1+e^{-x}}$.

Обчислювана ітеративна процедура описується наступним алгоритмом:

1. Встановлюємо початкові значення.
2. Обчислюємо вихід кожного нейрона $V_{ij}(t_0)$ згідно з $V_{ij}=g(u_{ij})$.
3. Підставляємо знайдені $V_{ij}(t_0)$ в (9) і знаходимо $\left.\dfrac{du_{ij}}{dt}\right|_{t=t_0}$.
4. З рівняння $u_{ij}(t_0+\Delta t)=u_{ij}(t_0)+\Delta t\left.\dfrac{du_{ij}}{dt}\right|_{t=t_0}$ обчислюємо $u_{ij}(t_0+\Delta t)$ для наступного кроку.
5. Повертаємося до кроку 2.

4. Висновки та отримані результати

В процесі програмної реалізації було реалізовано вищенаведений алгоритм, який для визначення оптимальної позиції напису використовує метод нейронних мереж Хопфілда. Використовуючи ітераційний метод розв'язання нейронної мережі Хопфілда, вдалося для кожного елемента на карті знайти оптимальне положення для його напису.

Для наочної реалізації було використано електронну карту ArcGIS API for Flex. Сама карта являє собою картографічним прикладним програмним інтерфейсом з доступом до всіх її елементів (міст, доріг, тощо). Використовуючи даний інтерфейс, було зафіксовано список з 200 найбільших міст світу. Кожен елемент такого списку міст має три характеристики: координати його положення x та y, самий текстовий напис та пріоритет його в порівнянні з іншими містами.

Алгоритм нейронної мережі Хопфілда використовує не послідовний пошук, а паралельний, тому перерахунок всіх позицій при масштабуванні та динамічному переміщенні на карті майже не помітний для користувача і виконується дуже швидко (Рис. 2).

Рис. 2. Результат розміщення написів об'єктів у зростаючому пріоритеті.

Список використаних джерел

1. *S. Shieber* An empirical study of algorithms for point feature label placement / S. Shieber, J. Christensen, J. Marks // Transactions on Graphics, 14(3), July 1995.
2. *T. Kato* The NP-completeness of the character placement problem of 2 or 3 degrees of freedom / *T. Kato, H. Imai //* Record of Joint Conference of Electrical and Electronic Engineers in Kyushu, 1988, P.11−38
3. *J. Hopfield* Neural Computation of Decisions in Optimization Problems / *J. J. Hopfield, D. W. Tank* // Biological Cybernetics, 1985, vol. 52, P. 141-152.
4. *Z. He* Balance algorithm for point-feature label placement problem / *Z. He, K. Harada //* lecture notes in computer science, 2005, P. 179-184.
5. *Верченко А.П.* Візуалізація картографічної інформації в навігаційній супутниковій апаратурі // Thesis of conference reports, International Conference "Dynamical systems modelling and stability investigation", Kyiv, May 25-27, 2011– K.: "Київський університет"– 2011.– C.171.
6. *E. Imhof* Positioning names on maps / The American Cartographer, 2(2), 1975, p. 128-144.
7. *J. J. Hopfield* Learning algorithms and probability distributions in feed-forward and feed-back networks / *J. J. Hopfield – Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 84, pp. 8429-8433, December 1987, Biophysics.*

References

1. CHRISTENSEN, J., MARKS, J. and SHIEBER, S. (1995). An empirical study of algorithms for point-feature label placement. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 14(3), PP.203−232.
2. KATO, T. and IMAI, H. (1988). The NP-completeness of the character placement problem of 2 or 3 degrees of freedom. *Record of Joint Conference of Electrical and Electronic Engineers in Kyushu*, PP.11−38.
3. HOPFIELD, J. and TANK, D. (1985). "Neural" computation of decisions in optimization problems. *Biological cybernetics*, 52(3), PP.141−152.
4. HE, Z. and HARADA, K. (2005). Balance algorithm for point-feature label placement problem. *Springer*, PP.179−184.
5. VERCHENKO, A. (2011) Vizualization of map information in satellite-navigation devices. *Thesis of conference reports, International Conference "Dynamical systems modelling and stability investigation"*, Kyiv, May 25-27, P. 171.
6. IMHOF, E. (1975). Positioning names on maps. *The American Cartographer*, 2(2), PP.128--144.
7. HOPFIELD, J. (1987). Learning algorithms and probability distributions in feed-forward and feed-back networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 84(23), PP.8429--8433.

Надійшла до редколегії 22.05.2014