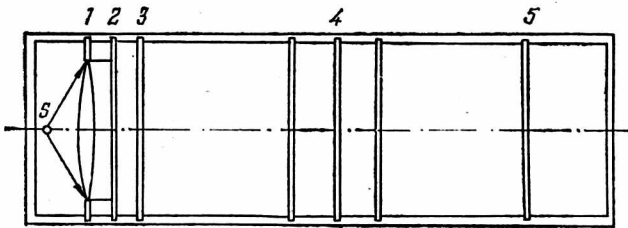


В. А. БАХТИГОЗИН, Ю. А. КУМАНИН

## ОПТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОННОЙ СЕТИ АНАЛИЗАТОРОВ ЖИВОТНЫХ

Функциональные особенности многослойной нейронной сети, осуществляющей операции фильтрации и кодирования пространственно-временных сигналов, определяются характером связей ее элементов. Моделирование процессов обработки сигналов в многослойных нейронных сетях производится с помощью оптических систем, в которых используются когерентные источники света [1] либо волоконная оптика [2]. В настоящей работе рассматриваются



некогерентные оптические моделирующие системы, простые в эксплуатации и высокоэкономичные.

В некогерентной оптической системе связь элементов нейронной сети моделируется посредством специального распределения лучей света. Способ распределения лучей задается набором плоских масок. Нелинейные свойства фотоматериалов, применяемых в оптических системах для регистрации выходных изображений, моделируют пороговые свойства элементов нейронной сети. Источниками входных сигналов системы являются диапозитивы изображений, подлежащих обработке. Диапозитивы освещаются монохроматическим диффузным светом.

Схема оптической моделирующей системы представлена на рисунке. Источник диффузного монохроматического света, снабженный конденсором 1 и матовым стеклом 2, жестко соединен с оптической светонепроницаемой камерой. В ней устанавливаются диапозитивы входных изображений 3, маски 4 и фотопластинка 5, на которой фиксируется выходное изображение. Маски представляют собой пластинки с заданным распределением прозрачности, реализующие необходимую функцию влияния.

На фотопластинке 5 можно последовательно записать несколько изображений; при этом каждое изображение формируется посредством своей системы масок. Суммарное изображение в выходной плоскости можно описать интегральным соотношением

$$F_l(\vec{x}) = \varphi \sum_{i=1}^m \iint_{R^2} G_{li}(\vec{x}, \vec{x}') F_i(\vec{x}') d\vec{x}', \quad (1)$$

где  $F_i(\vec{x})$  — освещенность приемника излучением

$F_i(\vec{x})$  — светимость источников излучения;

$G_{ii}(\vec{x}, \vec{x}') = \prod_{i=1}^k T_i^{ii}(\alpha_i \vec{x} + \beta_i \vec{x}')$  — функция влияния;

$T_i^{ii}(\alpha_i \vec{x} + \beta_i \vec{x}')$  — распределение прозрачности  $j$ -й апериодической турной маски;

$\varphi$  — коэффициент пропорциональности.

Если используется одна маска ( $k = 1$ ), то связь между источником и приемником описывается уравнением свертки

$$F_i(\vec{x}) = \varphi \sum_{i=1}^m \iint_{R^2} G_{ii}(\vec{x} - \vec{x}'') F_i(\vec{x}'') d\vec{x}'' = \varphi \sum_{i=1}^m G_{ii}(\vec{x}) * F_i(\vec{x}), \quad (3)$$

где

$$G_{ii}(\vec{x} - \vec{x}'') = T^{ii}[\alpha_1(\vec{x} - \vec{x}'')], \quad \vec{x}'' = -\frac{\beta_1}{\alpha_1} \vec{x}'_1. \quad (4)$$

При записи на фотопластинку  $m$  различных изображений, имеющих светимость  $F_i(\vec{x})$ , при времени экспозиции  $t_i$  для каждого изображения распределение плотности энергии  $W_i(\vec{x})$  на фотопластинке будет равно

$$W_i(\vec{x}) = \varphi \sum_{i=1}^m t_i \iint_{R^2} G_{ii}(\vec{x}, \vec{x}') F_i(\vec{x}') d\vec{x}'. \quad (5)$$

Зависимость распределения прозрачности экспонированной и проявленной фотопластинки от распределения плотности энергии выражается уравнением

$$T_i(\vec{x}) = \left[ \frac{c_i}{\gamma_i(\vec{x})} - \frac{W_i(\vec{x})}{\gamma_i(\vec{x})} \right] 1 \left[ \frac{c_i}{\gamma_i(\vec{x})} - \frac{W_i(\vec{x})}{\gamma_i(\vec{x})} \right]. \quad (6)$$

где  $c_i$  — порог насыщения фотослоя пластинки;

$\gamma_i(\vec{x})$  — коэффициент чувствительности фотослоя пластинки.

Светимость диапозитива  $F_i$ , освещенного посторонним источником света, прямо пропорциональна распределению прозрачности диапозитива  $T_i$  и его освещенности  $F_0$ :

$$F_i(\vec{x}) = F_0 T_i(\vec{x}). \quad (7)$$

Подставляя выражения (5) и (7) в уравнение (6), получаем выражение, связывающее распределение прозрачности проявленной фотопластинки на выходе системы с прозрачностью диапозитивов, предъявляемых системе:

$$T_i(\vec{x}) = [1 - \varphi \sum_{i=1}^m \iint_{R^2} G_{ii}(\vec{x}, \vec{x}') T_i(\vec{x}') d\vec{x}'] \times \\ \times 1 (1 - \varphi \sum_{i=1}^m \iint_{R^2} G_{ii}(\vec{x}, \vec{x}') T_i(\vec{x}') d\vec{x}'), \quad (8)$$

где

$$G_{ii}(\vec{x}, \vec{x}') = \frac{t_i F_0}{\gamma_i(\vec{x})} \prod_{j=1}^k T_j^u(\alpha_j \vec{x} + \beta_j \vec{x}') \geq 0, \quad (9)$$

$F_0$  — освещенность  $i$ -й фотопластинки ( $i = 1, 2, \dots, l$ ).

Чтобы промоделировать знакопеременную функцию влияния, следует, кроме позитивных изображений  $T_i$ , использовать их негативы  $1 - T_i$  [3]:

$$T_i(\vec{x}) = \{1 - \varphi \sum_{i=1}^m \iint_{R^2} [G_{ii}^-(\vec{x}, \vec{x}') T_i(\vec{x}') + G_{ii}^+(\vec{x}, \vec{x}') \times \\ \times (1 - T_i(\vec{x}'))] d\vec{x}'\} \{1 - \varphi \sum_{i=1}^m \iint_{R^2} [G_{ii}^-(\vec{x}, \vec{x}') T_i(\vec{x}') + \\ + G_{ii}^+(\vec{x}, \vec{x}') (1 - T_i(\vec{x}'))] d\vec{x}'\} \quad (10)$$

или

$$T_i(\vec{x}) = \{T_{i0}(\vec{x}) + \varphi \sum_{i=1}^m \iint_{R^2} [G_{ii}^+(\vec{x}, \vec{x}') - G_{ii}^-(\vec{x}, \vec{x}')] T_i(\vec{x}') d\vec{x}'\} \times \\ \times \{T_{i0}(\vec{x}) + \varphi \sum_{i=1}^m \iint_{R^2} [G_{ii}^+(\vec{x}, \vec{x}') - G_{ii}^-(\vec{x}, \vec{x}')] \times \\ \times T_i(\vec{x}') d\vec{x}'\}, \quad (11)$$

где  $T_{i0}(\vec{x}) = 1 - \varphi \sum_{i=1}^m \iint_{R^2} G_{ii}^-(\vec{x}, \vec{x}') d\vec{x}'$  — фоновый уровень прозрачности негатива фиксирующей фотопластинки;

$$G_{ii}^+(\vec{x}, \vec{x}') = \frac{t_i F_0}{\gamma_i(\vec{x})} \prod_{j=1}^k T_j^+(\alpha_j \vec{x} + \beta_j \vec{x}') \quad (12)$$

— положительная компонента функции влияния;

$$G_{ii}^-(\vec{x}, \vec{x}') = \frac{t_i F_0}{\gamma_i(\vec{x})} \prod_{j=1}^k T_j^-(\alpha_j \vec{x} + \beta_j \vec{x}') \quad (13)$$

— отрицательная компонента функции влияния, характеризующая связь излучающего слоя с фиксирующим.

Описанная оптическая система позволяет моделировать работу нейронной сети с параллельным, последовательным и параллельно-последовательным способами обработки входной информации в нейронных слоях анализатора.

При параллельном способе обработки информации на фиксирующую фотопластинку последовательно через соответствующие

группы апертурных масок экспонируются несколько входных изображений. При последовательном способе обработки сигналов входное изображение вначале экспонируется через первую группу масок, реализующую первую по порядку функцию влияния  $G_1$ . Затем диапозитив зафиксированного изображения устанавливается вместо исходного и экспонируется через вторую группу масок и т. д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Суайгерт К. Дж., Фогельхут П. О. Пространственная фильтрация в модели нейронной сети.— В кн.: Модели нейронных структур. Ереван, 1970, с. 244—265.
2. Оптоэлектронная модель первых слоев сетчатки зрительного анализатора.— В сб.: Полупроводниковая техника и микроэлектроника. Вып. 8. М., 1972, с. 15—21. Авт.: Х. И. Гаприндашвили, А. Д. Рабинин, С. В. Свечников и др.
3. Бугай Ю. П. Исследование нейроподобных элементов и систем как устройств первичной обработки информации. Автореф. канд. дис. Харьков, 1968. 27 с.