

# Нейронные сети и нейрокомпьютеры

Лекция 4. Часть 2.

Адаптивная резонансная теория

# Adaptive Resonance Theory (ART)

Так же, как сеть Кохонена, решает задачи кластеризации, но с неизвестным количеством кластеров

Кластеры создаются при необходимости по мере обработки входных данных

Можно отнести к классу растущих нейронных сетей

# Adaptive Resonance Theory (ART)

- Одной из особенностей памяти человека является способность запоминать новое без потери памяти о прошлом.
- Stephen Grossberg сформулировал дилемму стабильности-пластичности:
  - (1) Как обучающаяся система демонстрирует пластичность в ответ на важный входной образ, сохраняя при этом стабильность в ответ на нерелевантные входные данные?
  - (2) Как система знает, когда переключаться между пластичностью и стабильностью?
  - (3) Как система может сохранять ранее запомненную информацию, обучаясь чему-то новому?

# Концепция ART

- Ключ к решению проблемы пластичности-стабильности – добавить обратную связь между соревновательным слоем и входным слоем нейронной сети
- Grossberg and Carpenter: Модель ART
- ART обучается без учителя.
- Эта модель впервые предложена в начале 1960х годов
- Grossberg ввел понятие ART в 1976 году.
- G.A. Carpenter продолжила исследования ART.
- Существует много модификаций ART: ART-1, ART-2, FuzzyART, ARTMAP и т.д.

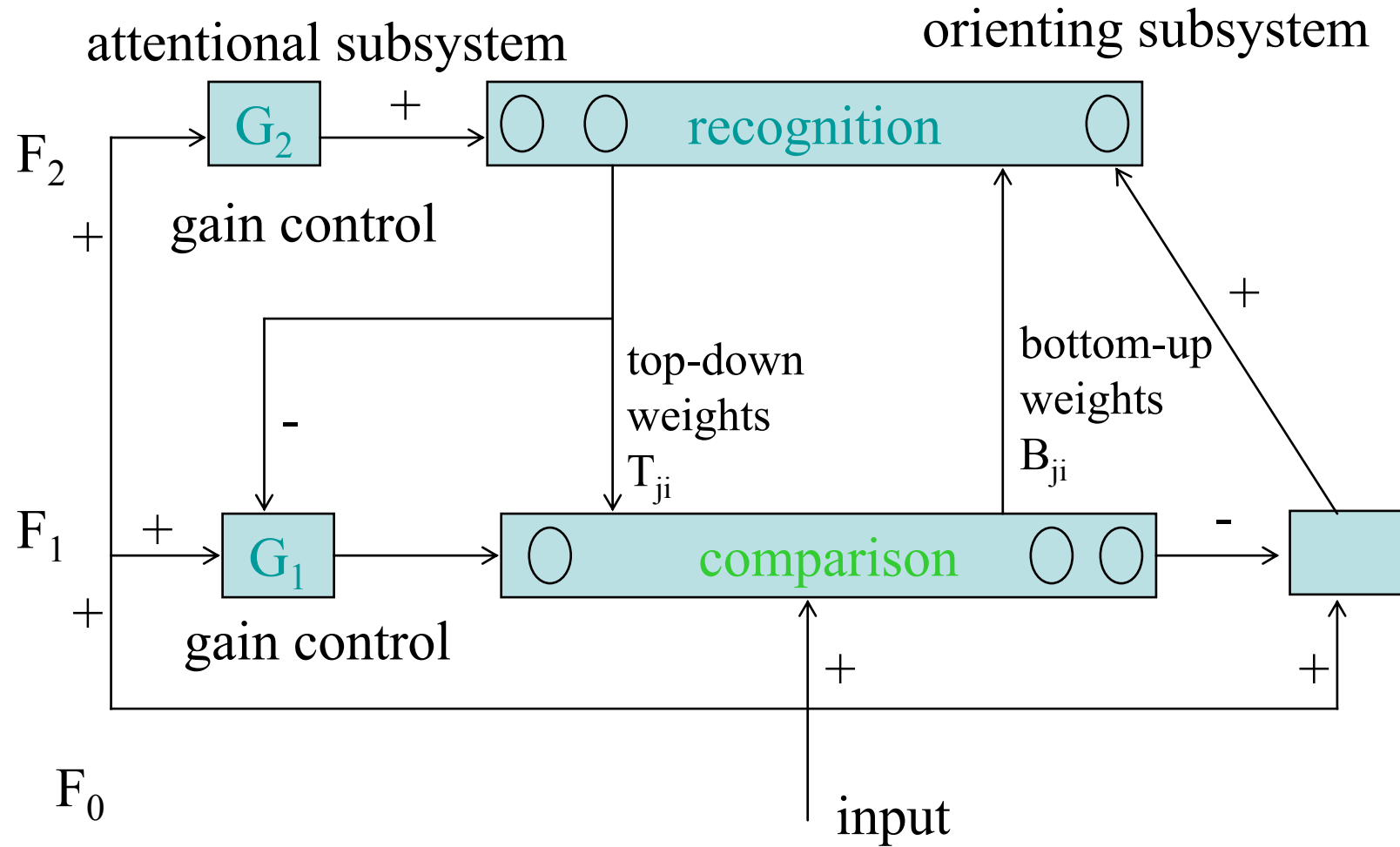
## Концепция ART (2)

- ART 1: входные вектора – бинарные.
- ART 2: удобна для обработки аналоговых векторов, таких как, например, оттенки серого на изображении.

# Основной алгоритм ART

- Step 1: Инициализация. Начало работы без вектора - прототипа кластера
- Step 2: Предъявление входного вектора  $I$
- Step 3: Нахождение вектора-прототипа кластера  $P$ , ближайшего к входному вектору
- Step 4: Если  $P$  слишком далеко от  $I$ , то создание нового кластера и возврат к шагу 2.
- Step 5: Обновление найденного вектора-прототипа (изменение компонентов  $P$  так, чтобы приблизить его к вектору  $I$ )

# Сеть ART (Carpenter and Grossberg 1988).

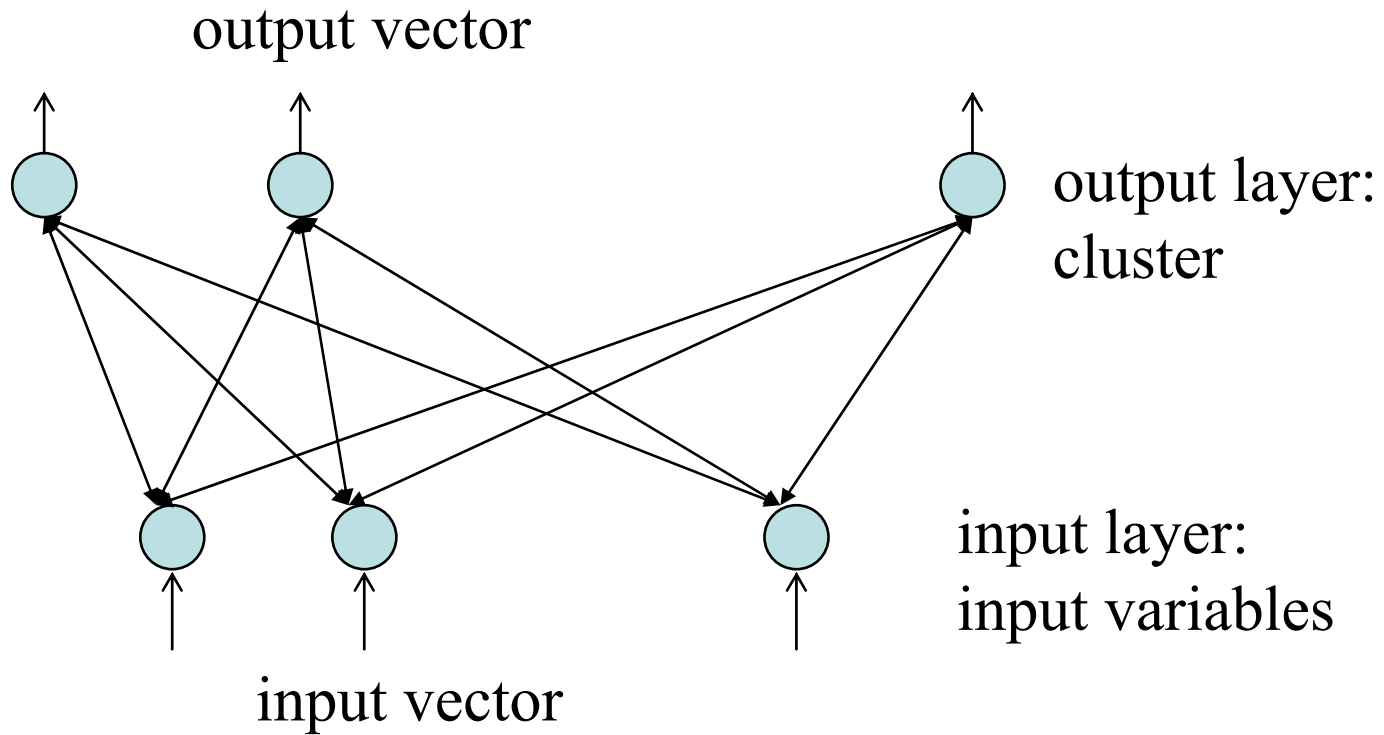


# Сеть ART (2)

- $V_{ji}$ : продвигает паттерн от  $F_1$  к  $F_2$  для нахождения вектора-победителя.
- $T_{ji}$ : продвигает паттерн победившего нейрона к  $F_1$  для сравнения.
- $G_1$ : для сравнения входного паттерна с сохраненными паттернами.
- $G_2$ : Для сброса неправильных нейронов в  $F_2$ .
- attentional subsystem: для быстрой классификации распознаваемых паттернов.
- orienting subsystem: для помощи attentional subsystem обучаться новым паттернам.



# Модель ART-1



# Модель ART-1 (2)

- Input layer: входные паттерны input patterns or characteristic vectors. Активационная функция  $f(x)=x$ . Входные величины бинарные.
- Output layer: представляет кластеризацию обработанных паттернов. Первоначально, только один выходной нейрон. Количество выходных нейронов растет в процессе обучения. Когда стабильность достигается, процесс обучения останавливается.

# ART-1 Model (3).

## Алгоритм

1.  $N_{out}=1$ .
2. Задаются начальные значения матриц весов:

$$w^t [i][1] = 1$$

$$w^b [i][1] = \frac{1}{1 + N}$$

3. Предъявляется входной вектор  $X$ .
4. Вычисляются величины близости (matching) для сравнения входного вектора и векторов весов:

$$net [j] = \sum_i w^b [i][j] \cdot X [i]$$

$$I_{count} = 0$$

5. Находится выходной нейрон с максимальным значением:

$$net[j^*] = \max_j net[j]$$

# Модель ART-1 (4).

## Алгоритм

(6) Вычисление похожести

$$\| X \| = \sum_i X[i]$$
$$\| w_{j^*}^t \cdot X \| = \sum_i w^t[i][j^*] \cdot X[i]$$

(7) Проверка похожести:

$$V_{j^*} = \frac{\| w_{j^*}^t \cdot X \|}{\| X \|}$$

Если  $V < \rho$  (vigilance) то идти к шагу (8).  
Иначе, к шагу (9).

(8) Проверка есть выходные нейроны, к которым можно применить следующее правило:

Если  $Icount < Nout$ , то попытаться применить вторую максимальную величину близости

# Модель ART-1 (5).

## Алгоритм

$Icount = Icount + 1$ ;  $net[j^*] = 0$ , идти к шагу (5).

иначе

(а) создать новый кластер:

set  $N_{out} = N_{out} + 1$   
set new weighting matrix  $w$   
 $w^t[i][N_{out}] = x$

$$w^b[i][N_{out}] = \frac{x}{0.5 + |w^t \cdot X|}$$

(b) Формирование выходных величин:

Если  $j = j^*$ , то  $Y[j] = 1$

иначе  $Y[j] = 0$ .

(c) идти к шагу (3) (подать новый вектор  $X$ )

# Модель ART-1 (6).

## Алгоритм

(9) Адаптировать матрицу весов

(a) изменить веса:

$$w^t[i][j^*] = w^t[i][j^*] \cdot X[i]$$

$$w^b[i][j^*] = \frac{w^t[i][j^*] \cdot X[i]}{0.5 + \sum_i w^t[i][j^*] \cdot X[i]}$$

(b) Задать выходные величины для выходных нейронов:

если  $j=j^*$ , то  $Y[j]=1$

иначе  $Y[j]=0$ .

(c) идти к шагу (3) (подать новый вектор  $X$ )

# Модель ART-1 (7)

- Given an input vector:  
 $X=[1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$
- Assume 5 output nodes.  
3 cases for comparisons.

- Case 1:

$$w_1^b = \frac{1}{5.5} [1,1,1,1,1,0,0,0,0,0], w_1^t = [1,1,1,1,1,0,0,0,0,0]$$

$$w_2^b = \frac{1}{4.5} [1,1,1,1,0,0,0,0,0,0], w_2^t = [1,1,1,1,0,0,0,0,0,0]$$

$$w_3^b = \frac{1}{3.5} [1,1,1,0,0,0,0,0,0,0], w_3^t = [1,1,1,0,0,0,0,0,0,0]$$

$$w_4^b = \frac{1}{2.5} [1,1,0,0,0,0,0,0,0,0], w_4^t = [1,1,0,0,0,0,0,0,0,0]$$

$$w_5^b = \frac{1}{1.5} [1,0,0,0,0,0,0,0,0,0], w_5^t = [1,0,0,0,0,0,0,0,0,0]$$

# Модель ART-1 (8)

- Node 1: matching value= $5/5.5=0.909$ , similarity value= $5/5=1.0$ .
- Node 2: matching value= $4/4.5=0.888$ , similarity value= $4/5=0.8$ .
- Node 3: matching value= $3/3.5=0.857$ , similarity value= $3/5=0.6$ .
- Node 4: matching value= $2/2.5=0.8$ , similarity value= $2/5=0.4$ .
- Node 5: matching value= $1/1.5=0.667$ , similarity value= $1/5=0.2$ .
- The matching value is proportional to similarity value.



# Модель ART-1 (9)

- Case 2:
- Assume 6 output nodes.

$$w_1^b = \frac{1}{3.5} [1,1,1,0,0,0,0,0,0,0], w_1^t = [1,1,1,0,0,0,0,0,0,0]$$

$$w_2^b = \frac{1}{4.5} [1,1,1,0,0,1,0,0,0,0], w_2^t = [1,1,1,0,0,1,0,0,0,0]$$

$$w_3^b = \frac{1}{5.5} [1,1,1,0,0,1,1,0,0,0], w_3^t = [1,1,1,0,0,1,1,0,0,0]$$

$$w_4^b = \frac{1}{6.5} [1,1,1,0,0,1,1,1,0,0], w_4^t = [1,1,1,0,0,1,1,1,0,0]$$

$$w_5^b = \frac{1}{7.5} [1,1,1,0,0,1,1,1,1,0], w_5^t = [1,1,1,0,0,1,1,1,1,0]$$

$$w_6^b = \frac{1}{8.5} [1,1,1,0,0,1,1,1,1,1], w_6^t = [1,1,1,0,0,1,1,1,1,1]$$

# Модель ART-1 (10)

- Node 1: matching value= $3/3.5=0.857$ , similarity value= $3/5=0.6$ .
- Node 2: matching value= $3/4.5=0.666$ , similarity value= $3/5=0.6$ .
- Node 3: matching value= $3/5.5=0.545$ , similarity value= $3/5=0.6$ .
- Node 4: matching value= $3/6.5=0.462$ , similarity value= $3/5=0.6$ .
- Node 5: matching value= $3/7.5=0.4$ , similarity value= $3/5=0.6$ .
- Node 6: matching value= $3/8.5=0.353$ , similarity value= $3/5=0.6$ .

# Модель ART-1 (11)

- The same similarity value but different matching value.
- If the number of corresponding bits of output vectors to input vector are the same, the one with less ones in output vector will be selected for vigilance test.

# Модель ART-1 (12)

- Case 3:
- Assume 3 output nodes.

$$w_1^b = \frac{1}{3.5}[1,1,1,0,0,0,0,0,0,0], w_1^t = [1,1,1,0,0,0,0,0,0,0]$$

$$w_2^b = \frac{1}{3.5}[0,1,1,1,0,0,0,0,0,0], w_2^t = [0,1,1,1,0,0,0,0,0,0]$$

$$w_3^b = \frac{1}{3.5}[0,0,1,1,1,0,0,0,0,0], w_3^t = [0,0,1,1,1,0,0,0,0,0]$$

$$w_4^b = \frac{1}{3.5}[0,0,0,1,1,1,0,0,0,0], w_4^t = [0,0,0,1,1,1,0,0,0,0]$$

# Модель ART-1 (13)

- Node 1: matching value= $3/3.5=0.857$ , similarity value= $3/5=0.6$ .
- Node 2: matching value= $2/3.5=0.571$ , similarity value= $2/5=0.4$ .
- Node 3: matching value= $1/3.5=0.286$ , similarity value= $1/5=0.2$ .
- Node 4: matching value= $0/3.5=0.0$ , similarity value= $0/5=0.0$ .
- Although the number of 1's in the output vector are the same, the matching value and similarity values are all different. But the matching value is proportional to similarity value.