Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Реализация искусственных нейронных сетей, выполняющих основные логические операции, на микроконтроллере со сверхнизким потреблением энергии

А.Б. Степанов
(доц. каф. РОС, к.т.н.)
И.И. Жуковский
А.К. Гринёва

2017 г.

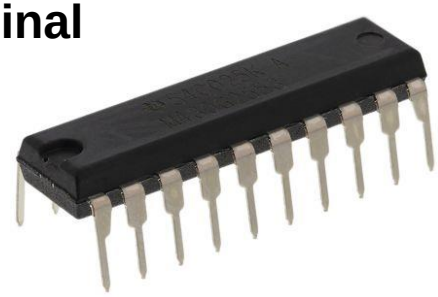
СПб ГУТ)))

Постановка задачи

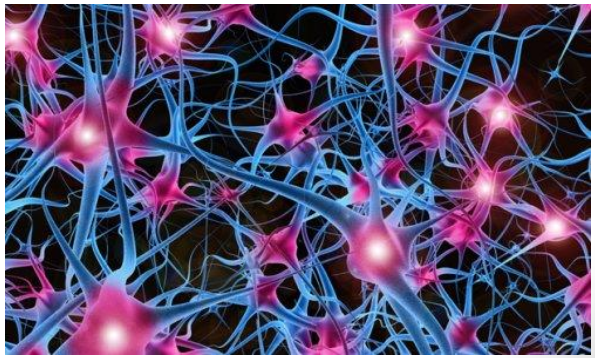
- **Цель:** реализовать искусственную нейронную сеть на микроконтроллере с низким энергопотреблением, не являющимся специализированной элементной базой для этого.
- **Задачи:**

  1. Получить теоретическое представление реализуемых НС в форме сигнальных графов.
  2. Осуществить моделирование НС с целью получения параметров сетей.
  3. Осуществить реализацию полученных НС на MSP430G2553.

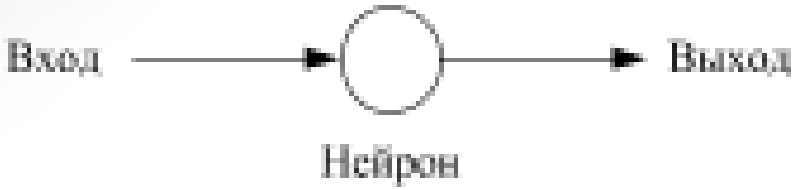
- **Инструменты:**
  - отладочная плата с микроконтроллером MSP430G2553;
  - Code Composer Studio.
  - HyperTerminal

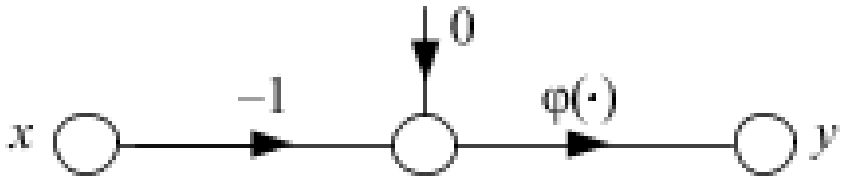


+



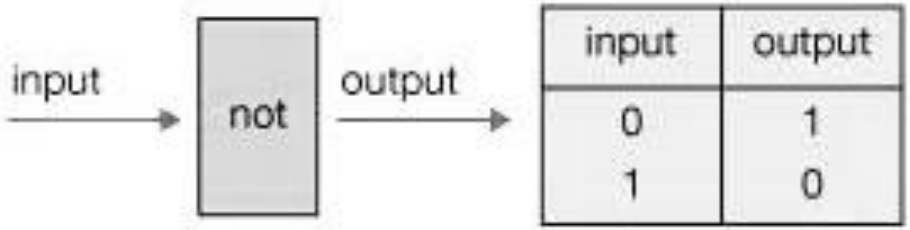
Моделируемая нейронная сеть (NOT)





Модель Мак-Каллока-Питца.
(функция активации – функция Хевисайда)

NOT (НЕ)
отрицание или инверсия

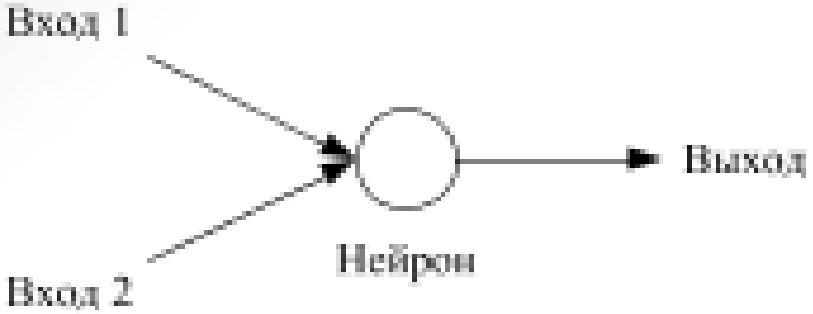


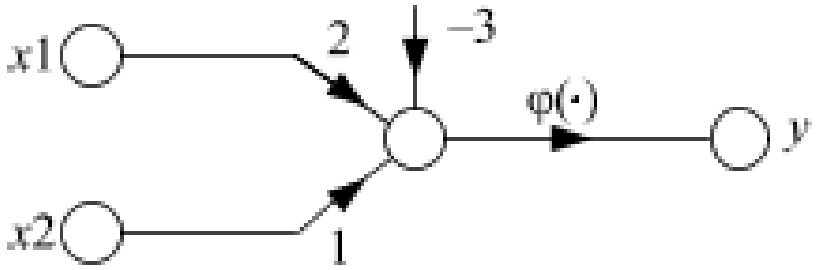
input	output
0	1
1	0

$$y_k = \begin{cases} 1, \text{ если } v_k \geq 0; \\ 0, \text{ если } v_k < 0; \end{cases}$$

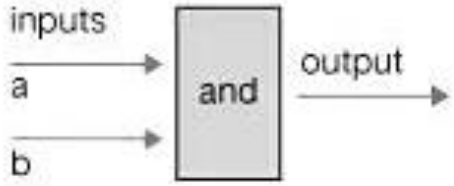
$$v_k = \sum_{j=1}^{m} w_{kj} x_j + b_k.$$

Моделируемая нейронная сеть (AND)





AND (И)
умножение или
конъюнкция



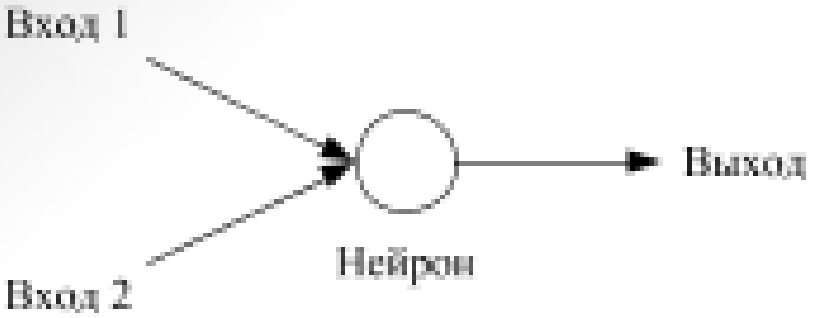
inputs		output
a	b	
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

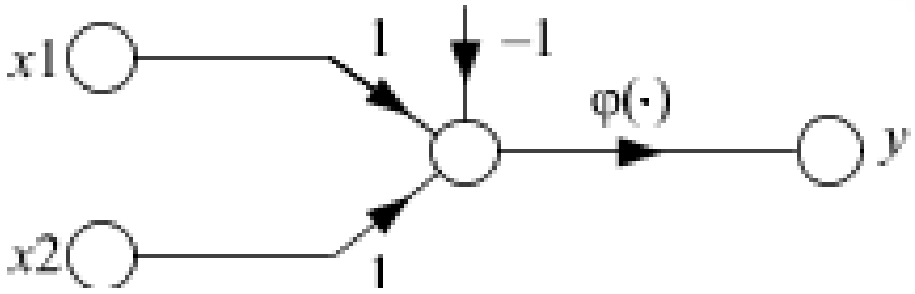
Модель Мак-Каллока-Питца.
(функция активации – функция Хевисайда)

$$y_k = \begin{cases} 1, \text{ если } v_k \geq 0; \\ 0, \text{ если } v_k < 0; \end{cases}$$

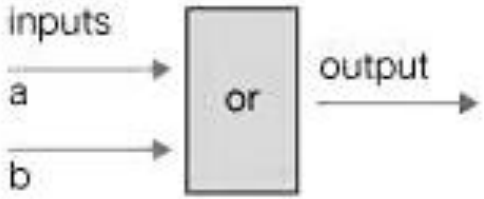
$$v_k = \sum_{j=1}^{m} w_{kj} x_j + b_k.$$

Моделируемая нейронная сеть (OR)





OR (ИЛИ)
сложение или дизъюнкция



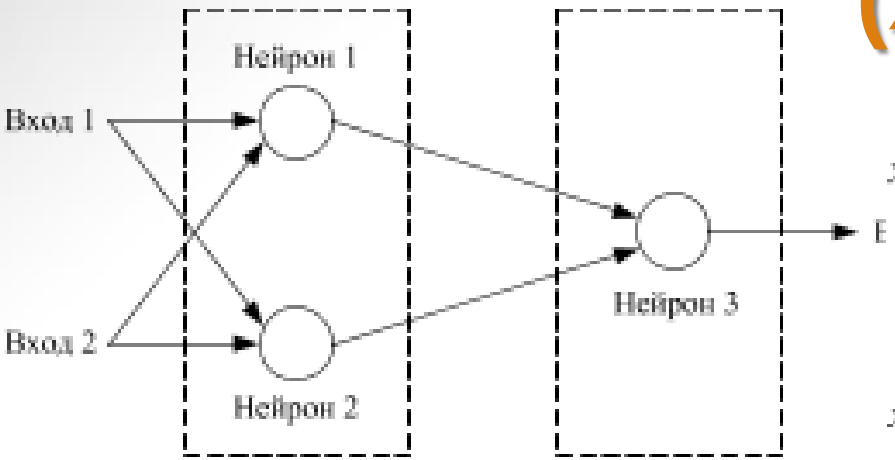
inputs		output
a	b	
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

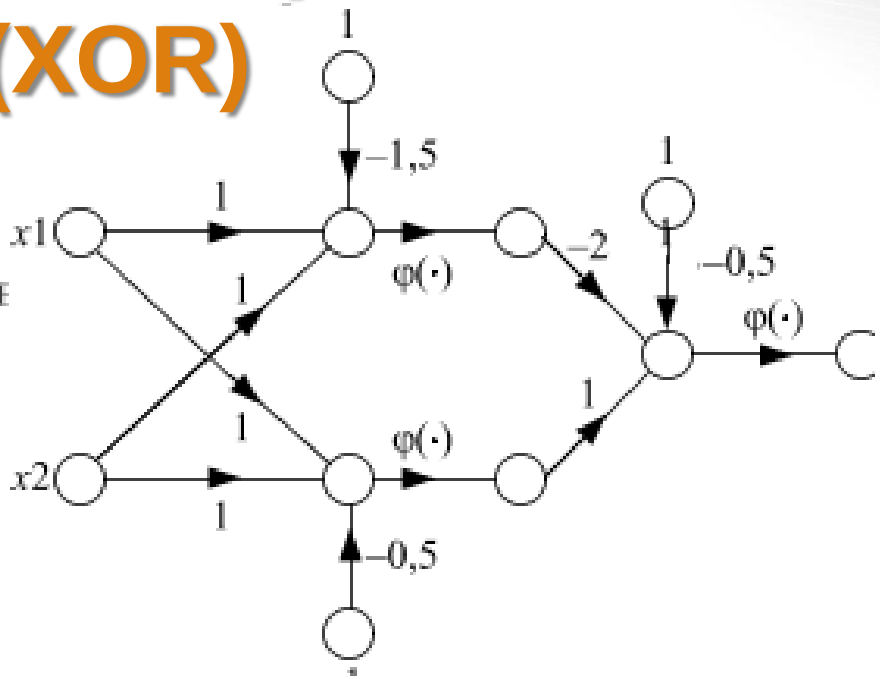
Модель Мак-Каллока-Питца.
(функция активации – функция Хевисайда

$$y_k = \begin{cases} 1, \text{ если } v_k \geq 0; \\ 0, \text{ если } v_k < 0; \end{cases}$$

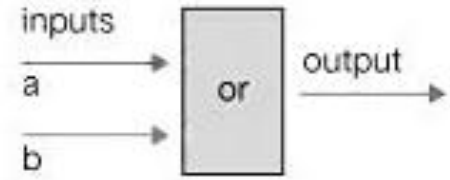
$$v_k = \sum_{j=1}^{m} w_{kj} x_j + b_k.$$

Моделируемая нейронная сеть (XOR)





EXCLUSIVE OR
(ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ)



inputs		output
a	b	
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Модель Мак-Каллока-Питца.
(функция активации – функция Хевисайда)

$$y_k = \begin{cases} 1, \text{ если } v_k \geq 0; \\ 0, \text{ если } v_k < 0; \end{cases}$$

$$v_k = \sum_{j=1}^{m} w_{kj} x_j + b_k.$$

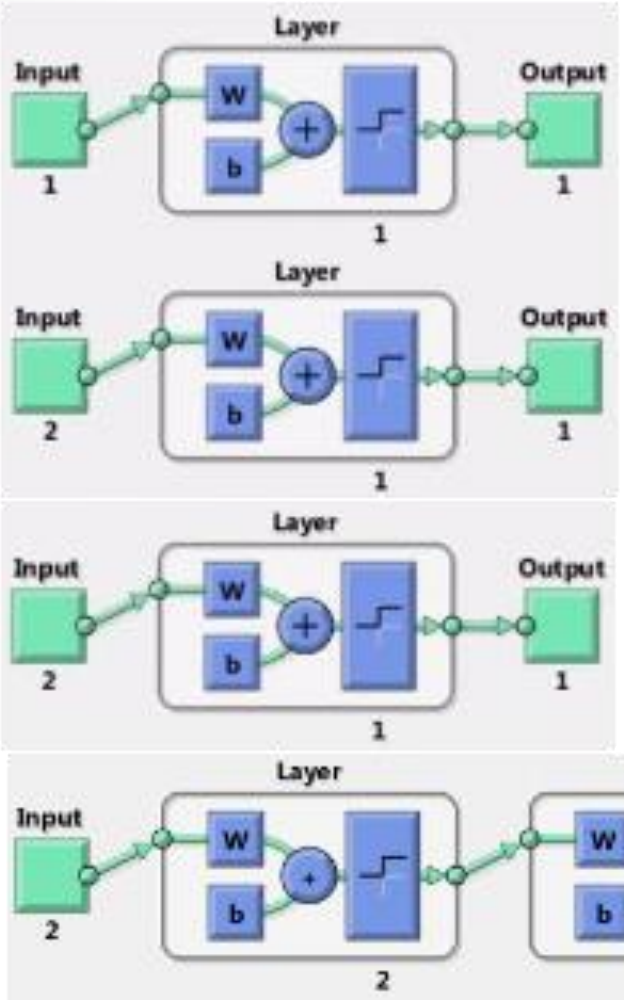
Моделирование

NOT

AND

OR

XOR



View | Train | Simulate | Adapt | Reinitialize Weights | View/Edit Weights

Select the weight or bias to view: iw{1,1} - Weight to layer 1 from input 1

[-1]

Select the weight or bias to view: b{1} - Bias to layer 1

[0]

Select the weight or bias to view: iw{1,1} - Weight to layer 1 from input 1

[2 1]

Select the weight or bias to view: b{1} - Bias to layer 1

[-3]

Select the weight or bias to view: iw{1,1} - Weight to layer 1 from input 1

[1 1]

Select the weight or bias to view: b{1} - Bias to layer 1

[-1]

Select the weight or bias to view: iw{1,1} - Weight

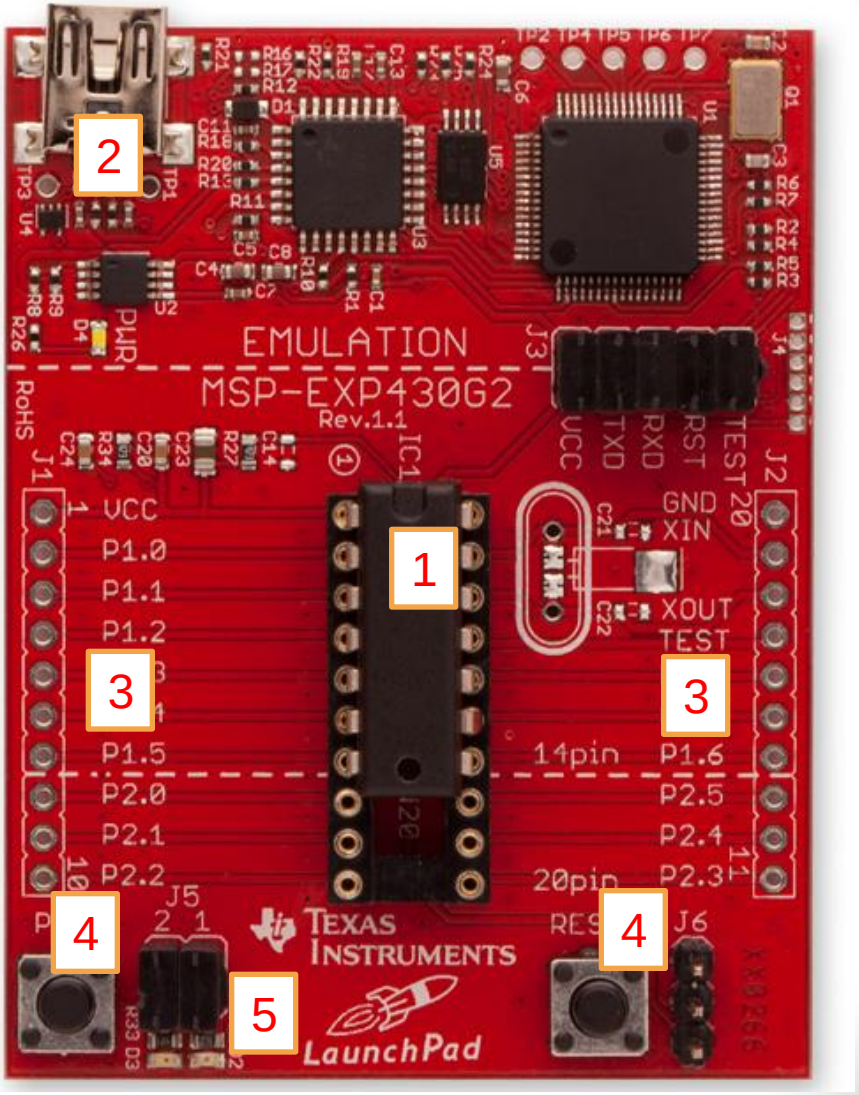
[1.1637 1.3114;
1.0651 1.0093]

Select the weight or bias to view: lw{2,1} - Weight t

[-1.8973 1.0063]

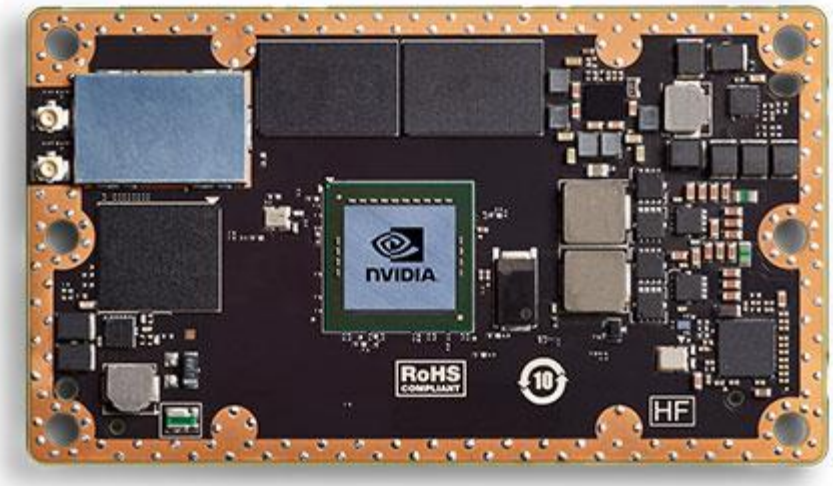
Отладочная плата

1. Микроконтроллер MSP430G2x
2. Mini USB port.
3. Пины ввода/вывода.
4. Кнопки.
5. LEDs.

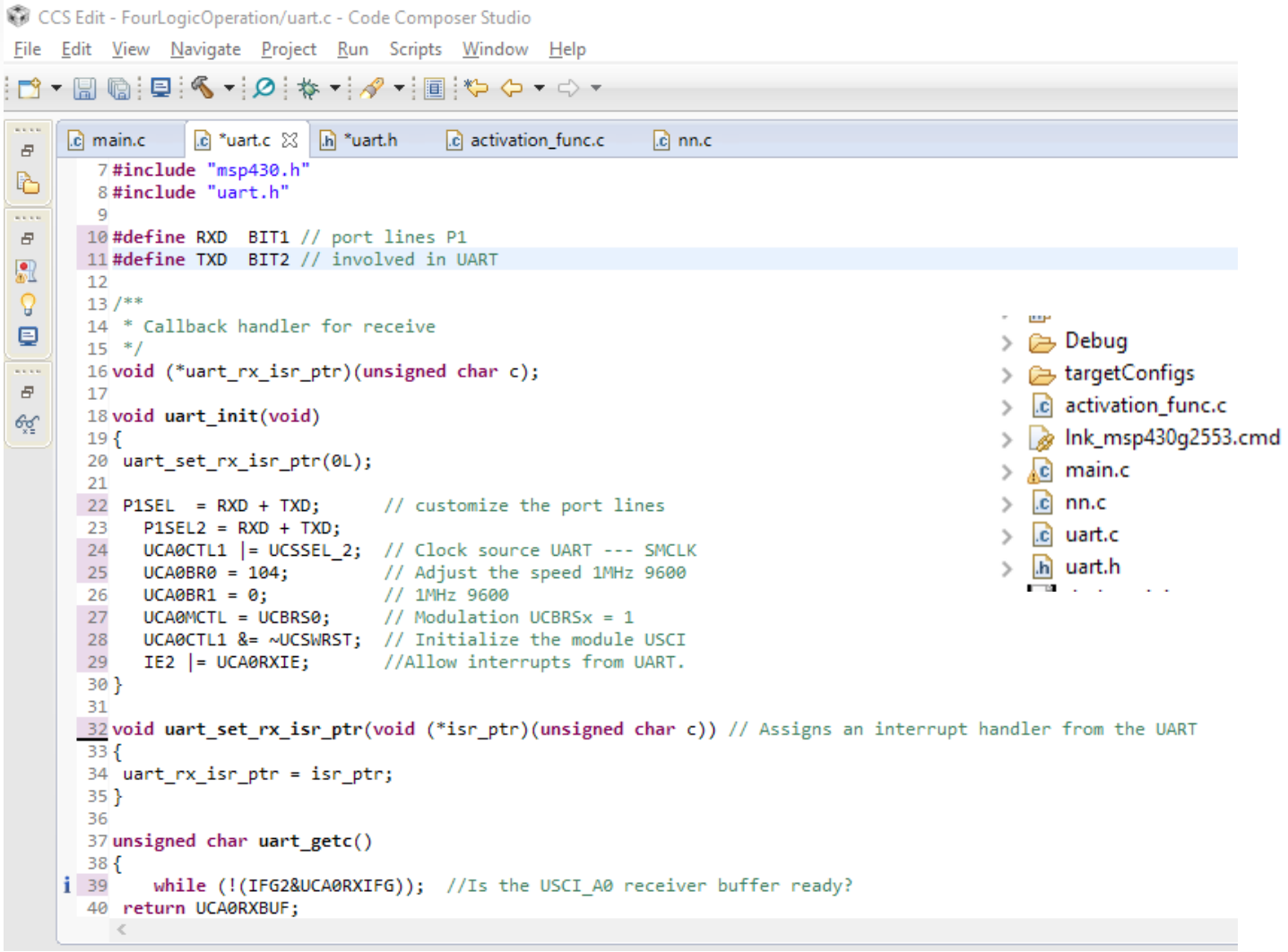


Специализированная элементная база

ЭБ	Частота	Энергопотребление	Цена
MSP430G2553	16 MHz	3.5 μA active mode	2.41 $
NVIDIA Jetson X1	1300 MHz	3 A maximum	663 $
Myriad 2 VPU	600 MHz	0.5 A maximum	82.56 $



C-код


CCS Edit - FourLogicOperation/uart.c - Code Composer Studio
File Edit View Navigate Project Run Scripts Window Help
main.c
*uart.c
*uart.h
activation_func.c
nn.c
7 #include "msp430.h"
8 #include "uart.h"
9
10 #define RXD BIT1 // port lines P1
11 #define TXD BIT2 // involved in UART
12
13 /**
14 * Callback handler for receive
15 */
16 void (*uart_rx_isr_ptr)(unsigned char c);
17
18 void uart_init(void)
19 {
20 uart_set_rx_isr_ptr(0L);
21
22 P1SEL = RXD + TXD; // customize the port lines
23 P1SEL2 = RXD + TXD;
24 UCA0CTL1 |= UCSSEL_2; // Clock source UART --- SMCLK
25 UCA0BR0 = 104; // Adjust the speed 1MHz 9600
26 UCA0BR1 = 0; // 1MHz 9600
27 UCA0MCTL = UCBRS0; // Modulation UCBRSx = 1
28 UCA0CTL1 &= ~UCSWRST; // Initialize the module USCI
29 IE2 |= UCA0RXIE; //Allow interrupts from UART.
30 }
31
32 void uart_set_rx_isr_ptr(void (*isr_ptr)(unsigned char c)) // Assigns an interrupt handler from the UART
33 {
34 uart_rx_isr_ptr = isr_ptr;
35 }
36
37 unsigned char uart_getc()
38 {
39 while (!(IFG2&UCA0RXIFG)); //Is the USCI_A0 receiver buffer ready?
40 return UCA0RXBUF;
Debug
targetConfigs
activation_func.c
lnk_msp430g2553.cmd
main.c
nn.c
uart.c
uart.h

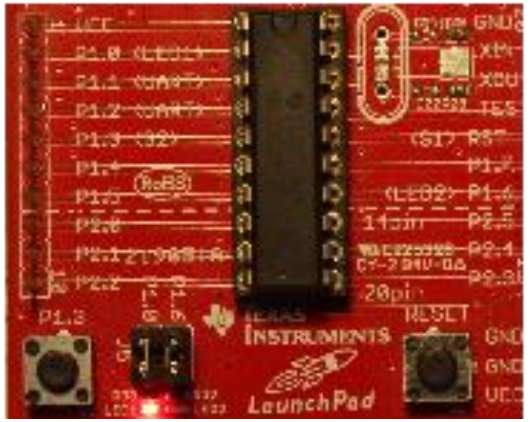
Реализация

1 - HyperTerminal

File Edit View Call Transfer Help

```
Select function 1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 4Enter Input data:0 result NOT is 1
                                                                        Sel
ect function 1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 4Enter Input data:1 result NOT x1 0
                                                                      Select
 function 1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 3Enter Input data:1 0 result AND is 0
                                                                        Select
function 1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 3Enter Input data:1 10 result AND is 1
                                                                        Select
function 1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 3Enter Input data:0 0 result AND is 0
                                                                      Select f
unction 1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 3Enter Input data:1 0 result AND is 0
                                                                    Select fu
nction 1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 2Enter Input data:1 0 result OR is 1
                                                                  Select func
tion 1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 2Enter Input data:1 10 result OR is 1
                                                                Select funct
ion 1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 2Enter Input data:0 0 result OR is 0
                                                              Select functio
n 1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 2Enter Input data:0 10 result OR is 1
                                                            Select function
 1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 1Enter Input data:1 0 result XOR is 1
                                                          Select function
1-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 1Enter Input data:0 0 result XOR is 0
                                                        Select function 1
-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 1Enter Input data:1 10 result XOR is 0
                                                        Select function 1
-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT: 1Enter Input data:0 10 result XOR is 1
                                                        Select function 1
-XOR,2-OR,3-AND,4-NOT:
```

Connected 0:03:54 | Auto detect | 9600 8-N-1 | SCROLL | CAPS | NUM | Capture | Print echo



Заключение

- В результате работы была рассмотрена теория функционирования нейронных сетей, приведены графы передачи сигналов искусственных нейронных сетей, выполняющих логические операции И (AND), ИЛИ (OR), исключающее ИЛИ (XOR), НЕ (NOT).
- Было выполнено моделирование сетей в системе MATLAB и получены параметры сетей, необходимые для их реализации на микроконтроллере.
- Осуществлена реализация данных искусственных нейронных сетей на микроконтроллере со сверхнизким потреблением энергии MSP430G2553.
- Дальнейшим продолжением работы является увеличение количества параметров нейронных сетей для реализации более сложных систем, а также разработка систем управления с их использованием.

Спасибо за внимание!

St. Petersburg State University of Telecommunications
prof. M.A.Bonch-Bruevich

Implementation of Artificial Neural Networks Performing Basic Logic Operations on Microcontroller with Ultralow Power Consumption

I. I. Zhukovskii
A.K. Grineva
A.B. Stepanov

2017 year

СПбГУТ)))