



**UNIVERSITATEA  
TEHNICĂ  
DIN CLUJ-NAPOCA**

---

**Implementarea prin hardware a unei rețele neuronale**

*Structura Sistemelor de Calcul*

---

Autor: Scuturici Vlad

Grupa: 30235

Indrumator: Dragos Florin Lisman

FACULTATEA DE AUTOMATICA  
SI CALCULATOARE

19 ianuarie 2024

# Cuprins

<b>1</b>	<b>Rezumat</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Introducere</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Fundamente Teoretice</b>	<b>3</b>
3.1	VHDL	3
3.2	Tehnologii FPGA	4
3.3	Rețele Neuronale si FPGA	4
3.4	Contributia Proiectului	4
<b>4</b>	<b>Proiectare si implementare</b>	<b>4</b>
4.1	Metoda experimentală	4
4.2	Alegerea Solutiei	5
4.3	Schema bloc	5
4.4	Scheme rețele neuronale	6
4.5	Manual de utilizare	6
<b>5</b>	<b>Rezultate experimentale</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Concluzii</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>Referinte</b>	<b>7</b>

# 1 Rezumat

Intr-o lume in care tehnologia avanseaza intr-un ritm ametitor, domeniul inteligentei artificiale (AI) si, in mod specific, al retelelor neuronale, se afla in centrul multor inovatii tehnologice. Inteligenta artificiala a devenit un instrument crucial in diverse domenii, de la automatizarea proceselor industriale pana la dezvoltarea de noi terapii medicale. Un element cheie in acest progres este capacitatea de a implementa aceste sisteme complexe pe hardware, in special pe dispozitive FPGA, care ofera flexibilitate si eficienta energetica superioara. Acest raport prezinta procesul si rezultatele implementarii unei retele neuronale hardware pe un dispozitiv FPGA, utilizand VHDL. Proiectul a avut ca obiectiv principal crearea unei solutii eficiente pentru implementarea inteligentei artificiale la nivel de hardware. Metoda aleasa a implicat proiectarea si simularea unei arhitecturi de retea neuronala pe FPGA, folosind VHDL pentru a modela si a testa comportamentul si performanta. Concluziile trase subliniaza potentialul semnificativ al integrarii tehnologiilor hardware specifice in dezvoltarea viitoare a sistemelor de invatare automata, oferind o baza solida pentru cercetari si aplicatii viitoare in acest domeniu.

## 2 Introducere

Inteligența artificială (AI) și tehnologiile asociate, precum rețelele neuronale, sunt în centrul unei revoluții tehnologice care transformă multe aspecte ale vieții noastre cotidiene. De la automatizarea avansată în industrie până la dezvoltarea de noi abordări în medicină, AI a devenit un pilon esențial al inovației moderne. În acest context, capacitatea de a implementa AI pe platforme hardware, cum ar fi dispozitivele FPGA, a devenit esențială. Aceste dispozitive oferă flexibilitate și eficiență energetică, fiind ideale pentru sarcini de procesare complexe și rapide, caracteristici esențiale pentru aplicațiile AI de ultimă generație.

Acest raport detaliază un proiect ambițios care își propune să utilizeze FPGA-urile și VHDL pentru a implementa rețele neuronale hardware. Prin această abordare, ne adresăm provocării de a eficientiza calculul matematic în hardware și de a adapta rețelele neuronale la probleme specifice, cum ar fi identificarea numerelor prime. Soluția propusă constă în proiectarea și simularea a două rețele neuronale - una pentru calculul patratului unui număr și cealaltă pentru determinarea restului împărțirii a două numere - folosind tehnologia FPGA și VHDL pentru modelare și testare. Această metodă nu doar demonstrează aplicabilitatea rețelelor neuronale în rezolvarea problemelor matematice complexe, dar și deschide drumul pentru inovații ulterioare în domeniul AI, subliniind potențialul FPGA-urilor ca o platformă de testare flexibilă pentru algoritmi și modele noi.

Proiectul de față se distinge prin accentul pus pe eficiența procesării și rapiditate, caracteristici vitale pentru aplicațiile AI în timp real. Oferă, de asemenea, o bază solidă pentru cercetări viitoare și dezvoltarea de noi aplicații în domeniul inteligenței artificiale.

Raportul este structurat în mai multe secțiuni cheie. După această introducere, secțiunea "Fundamente Teoretice" va oferi un context teoretic pentru VHDL și tehnologiile FPGA utilizate. "Proiectarea și Implementarea" va prezenta modul în care rețelele neuronale au fost modelate și simulate pe FPGA, urmată de secțiunea "Testare", care va discuta despre metodologiile și rezultatele testărilor efectuate. În "Concluzii", vom sintetiza descoperirile și semnificația lor pentru domeniul AI, urmată de o listă de "Referințe" care au susținut cercetarea și dezvoltarea acestui proiect.

## 3 Fundamente Teoretice

Această secțiune explorează fundamentul teoretic pe care se bazează proiectul, analizând literatura existentă și plasând proiectul în contextul evoluției tehnologice actuale. Se discută despre VHDL și tehnologiile FPGA, evidențiindu-se aspectele unice ale acestui proiect.

### 3.1 VHDL

VHDL, acronimul pentru VHSIC (Very High-Speed Integrated Circuits) Hardware Description Language, a fost dezvoltat inițial în anii '80 sub egida Departamentului Apărării al Statelor Unite ca parte a programului VHSIC. Scopul său era de a facilita descrierea precisă și eficiența a comportamentului și structurii circuitelor integrate de mare viteză. De atunci, VHDL a evoluat, devenind unul dintre limbajele de descriere a hardware-ului standardizate la nivel mondial, utilizat pe larg în proiectarea, simularea și testarea circuitelor digitale complexe.

Principala sa forță constă în capacitatea de a modela sisteme digitale la diferite niveluri de abstracție, de la comportamente de nivel înalt până la descrierea detaliată a circuitelor la nivel de gate. Acest lucru permite inginerilor să simuleze și să verifice funcționalitatea unui design

inainte de a trece la fabricatia fizica, reducand astfel riscurile si costurile asociate cu erorile de design.

VHDL se distinge prin sintaxa sa riguroasa si setul bogat de functionalitati, care includ suport pentru simulari temporale si comportamentale, modelarea concurenta a proceselor si un sistem tipizat puternic. Aceste caracteristici il fac ideal pentru a aborda provocarile moderne din proiectarea hardware-ului, cum ar fi crearea de sisteme inglobate complexe si dezvoltarea de tehnologii AI pe dispozitive FPGA. Astfel, VHDL joaca un rol cheie in facilitarea inovatiilor tehnologice, permitand realizarea de designuri hardware tot mai avansate si eficiente.

### **3.2 Tehnologii FPGA**

FPGA-urile (Field-Programmable Gate Arrays) sunt dispozitive semiconductoare revolutionare care au remodelat lumea proiectarii electronice, oferind o flexibilitate extraordinara si posibilitati de personalizare. Aceste dispozitive constau intr-o matrice de blocuri logice configurabile si o retea de interconexiuni programabile, ceea ce le permite inginerilor sa programeze si sa reconfigureze arhitectura hardware dupa fabricatie. Aceasta capacitate unica de a fi programate in teren, de unde si numele de "field-programmable", le distinge de circuitele integrate traditionale, care sunt proiectate si fabricate pentru o functie specifica si nu pot fi modificate ulterior.

### **3.3 Retele Neuronale si FPGA**

Integrarea retelor neuronale pe FPGA-uri (Field-Programmable Gate Arrays) a devenit un domeniu de cercetare extrem de promitator, intrucat combina puterea de procesare avansata a FPGA-urilor cu flexibilitatea si eficienta retelor neuronale. Aceasta sinergie ofera solutii inovatoare si performante pentru numeroase aplicatii AI, in special pentru cele care necesita procesare in timp real. Unul dintre cele mai mari avantaje ale utilizarii FPGA-urilor pentru retele neuronale este viteza lor remarcabila de procesare. Datorita naturii lor paralele si a capacitatii de a efectua multiple calcule simultan, FPGA-urile sunt capabile sa gestioneze sarcini de procesare complexe mult mai rapid decat procesorii traditionali, cum ar fi CPU-urile sau chiar unele GPU-uri. Aceasta caracteristica este cruciala pentru aplicatiile AI care necesita o raspuns rapid, cum ar fi procesarea semnalelor in sistemele de comunicatii, analiza in timp real a datelor senzoriale in vehicule autonome sau procesarea interactiva a limbajului natural.

### **3.4 Contributia Proiectului**

Proiectul de fata se distinge prin combinarea tehnologiei FPGA cu VHDL pentru a implementa retele neuronale destinate identificarii numerelor prime. Aceasta abordare este relativ noua si prezinta un potential semnificativ pentru aplicatii viitoare in domeniul AI, in special in calculul matematic avansat si procesarea rapida a datelor.

## **4 Proiectare si implementare**

### **4.1 Metoda experimentală**

Pentru acest proiect, am ales o implementare hardware utilizand FPGA-uri, datorita avantajelor semnificative pe care le ofera in termeni de viteza de procesare si eficienta energetica, esentiale pentru aplicatiile AI in timp real. Implementarea a fost realizata in VHDL, un limbaj de

descriere a hardware-ului standard in industrie, care permite modelarea detaliata a arhitecturii si comportamentului sistemului.

## 4.2 Alegerea Solutiei

Dintre diferitele optiuni discutate in sectiunea "Fundamente Teoretice", am ales integrarea retelor neuronale pe FPGA-uri. Aceasta decizie a fost bazata pe nevoia de a combina performanta inalta si eficienta energetica pentru procesarea datelor AI in timp real. FPGA-urile ofera, de asemenea, flexibilitatea necesara pentru a adapta sistemul la diferite cerinte si scenarii de utilizare.

## 4.3 Schema bloc

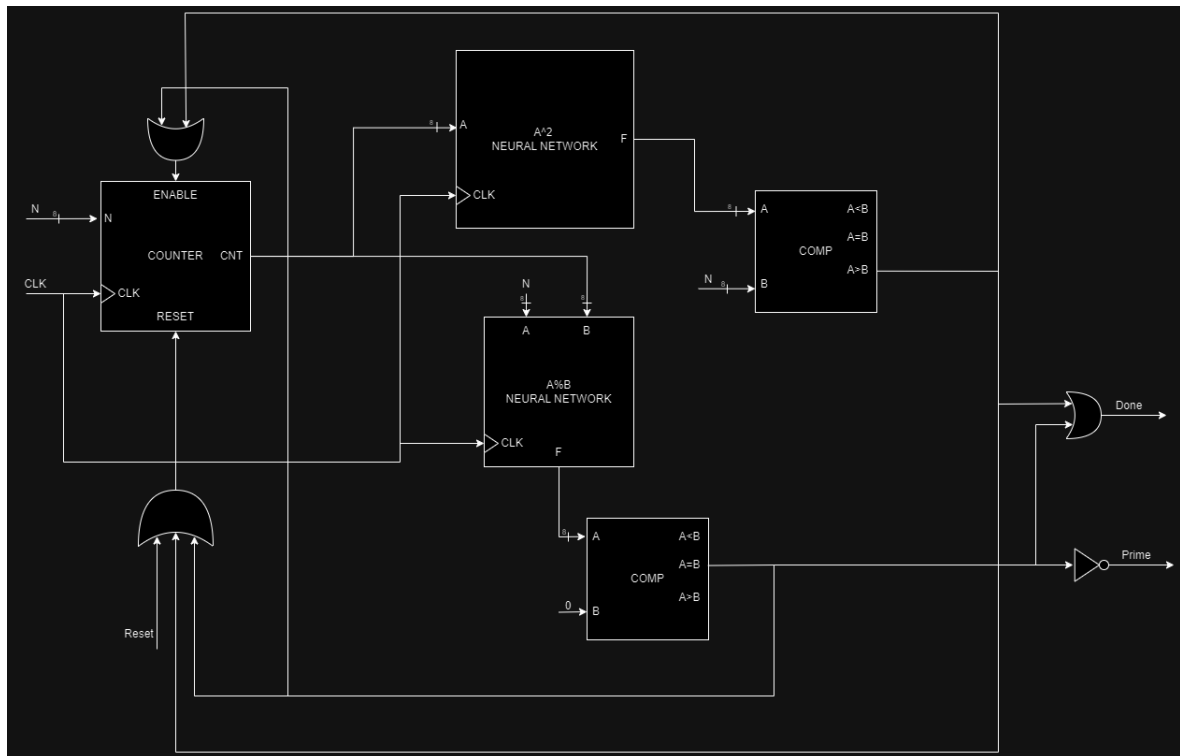


Figura 1: Schema bloc

## 4.4 Scheme rețele neuronale

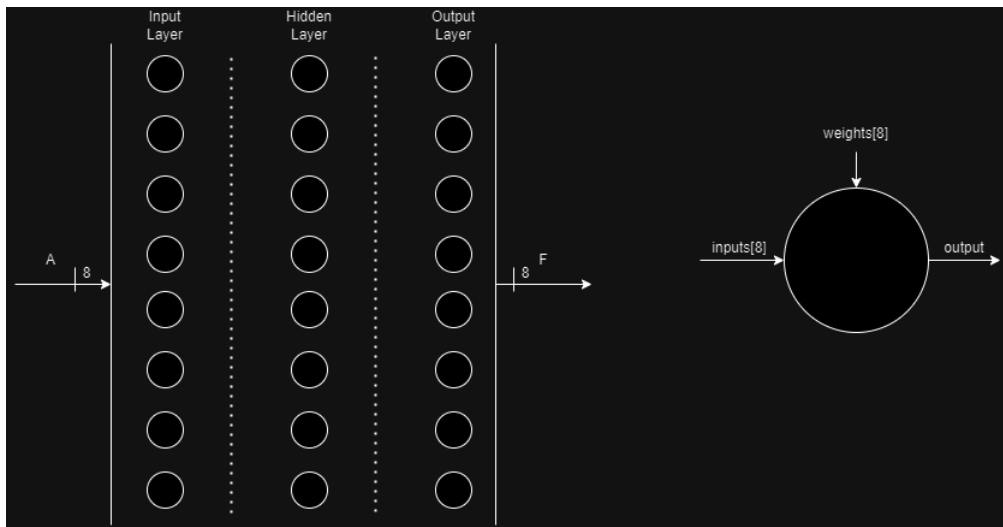


Figura 2: Retea neuronală pentru înmulțire

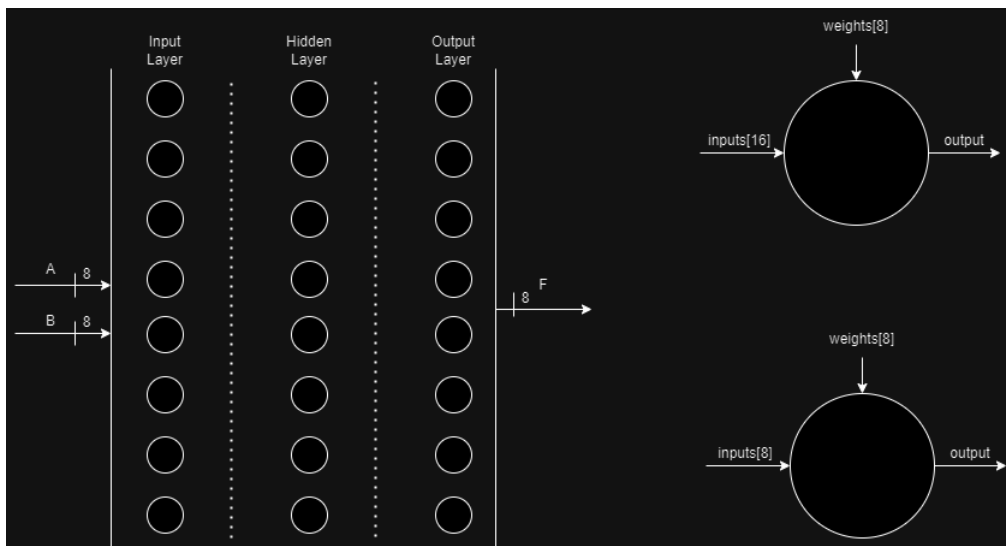


Figura 3: Retea neuronală pentru rest

## 4.5 Manual de utilizare

Pentru testarea pe FPGA Basys 3:

1. SW[0:7] - pentru introducerea numărului
2. SW[15] - pentru activarea 'Start'
3. T8 - buton pentru 'Reset'
4. U16 - LED pentru 'Prim'
5. E19 - LED pentru 'Done'

## 5 Rezultate experimentale

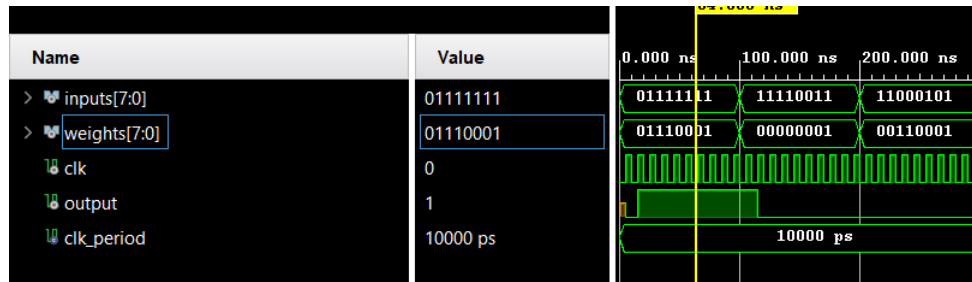


Figura 4: Testbench pentru Neuron

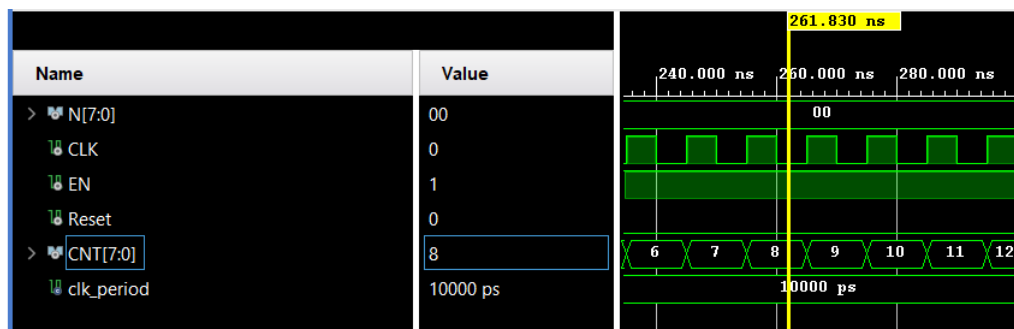


Figura 5: Testbench pentru Counter

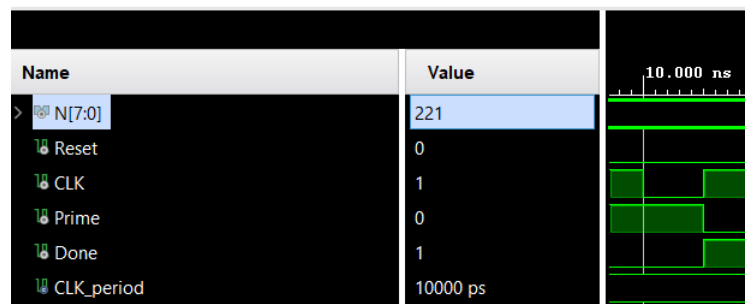


Figura 6: Testbench pentru Main

## 6 Concluzii

În concluzie, rețelele neuronale se pot integra cu succes într-un sistem bazat pe FPGA-uri, utilizând VHDL ca limbaj de descriere a hardware-ului, având nenumarate beneficii și puncte forte. Proiectul a subliniat eficiența și flexibilitatea FPGA-urilor în implementarea soluțiilor de inteligență artificială, în special pentru aplicații care necesită procesare de date în timp real și eficiența energetică. De asemenea, a arătat potențialul rețelelor neuronale în rezolvarea unor probleme complexe, cum ar fi identificarea numerelor prime.

## 7 Referințe

1. "What is a Neural Network?" - AWS : <https://aws.amazon.com/what-is/neural-network/>



2. Gabriel JCS. "ANN-VHDL: Artificial Neural Network Implementation in VHDL." GitHub repository: <https://github.com/gabrieljcs/ann-vhdl>
3. Brownlee, J. "Your First Deep Learning Project in Python with Keras Step-By-Step." Machine Learning Mastery: <https://machinelearningmastery.com/tutorial-first-neural-network-p>
4. IJECCE. "Neural Network Implementation on FPGA: Challenges and Opportunities." International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering:: [https://ijecce.org/administrator/components/com\\_jresearch/files/publications/IJECCE\\_671\\_1\\_Final.pdf](https://ijecce.org/administrator/components/com_jresearch/files/publications/IJECCE_671_1_Final.pdf)