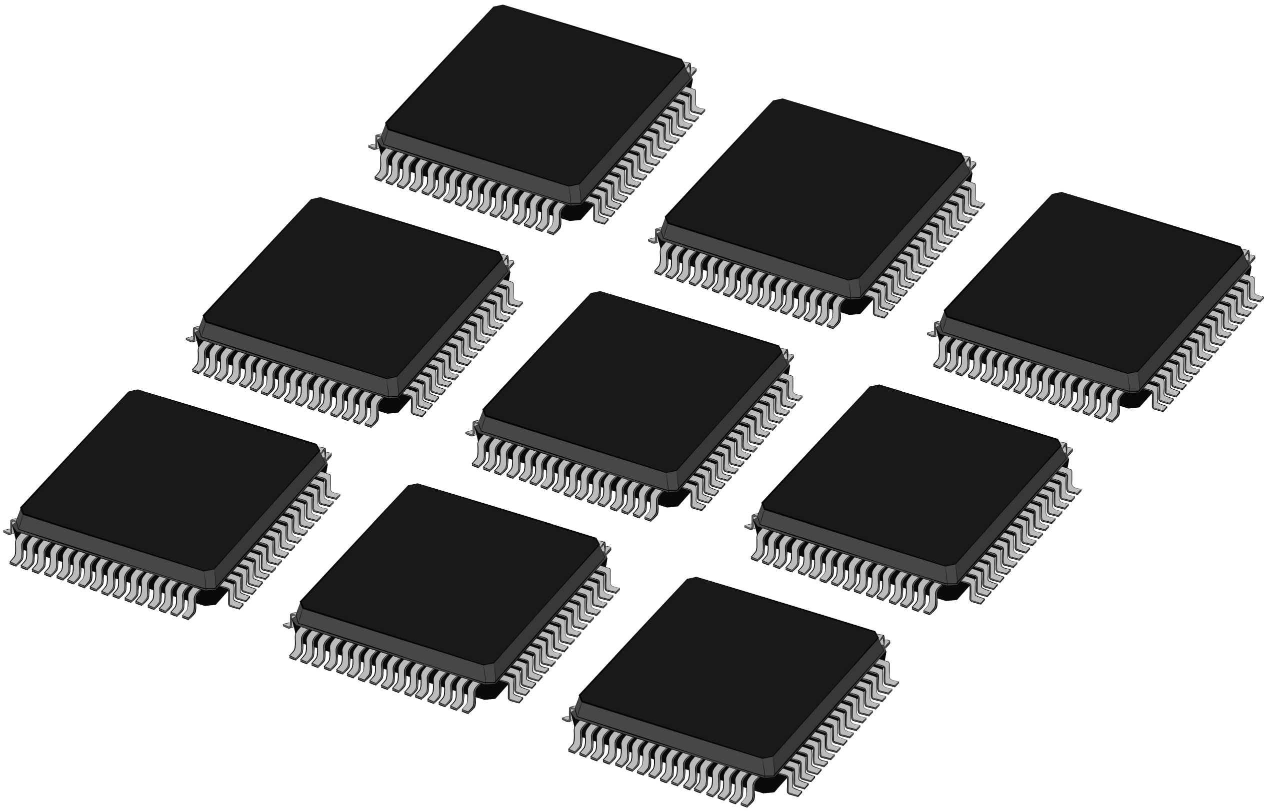
Traditional Computing Theory

QueenField



Paco Reina Campo

Abstract

Traditional Computing Theory.

Contents

List of Tables

List of Figures

Chapter 1

Mechanics

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

1.1 Newtonian Mechanics

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

1.1.1 First Newton Law

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$\vec{F} = \vec{0} \rightarrow \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{0}$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

1.1.2 Second Newton Law

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

1.1.3 Third Newton Law

.. ……. ……… ……… ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. …. …. ……… … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……… …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . ……… .. … ….. ……… .. ……… ….. ……. ………. ………. … ……… .. … ….. .. ……… ….. ………. …. … …… .. …..

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d\vec{p}_1}{dt} + \frac{d\vec{p}_2}{dt}$$

.. ……. ……… ……… ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. …. …. ……… … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……… …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . ……… .. … ….. ……… .. ……… ….. ……. ………. ………. … ……… .. … ….. .. ……… ….. ………. …. … …… .. …..

1.2 Lagrangian Mechanics

.. ……. ……… ……… ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. …. …. ……… … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……… …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . ……… .. … ….. ……… .. ……… ….. ……. ………. ………. … ……… .. … ….. .. ……… ….. ………. …. … …… .. …..

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L(q_i(t),\dot{q}_i(t),t)}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial L(q_i(t),\dot{q}_i(t),t)}{\partial q_i} = 0$$

.. ……. ……… ……… ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. …. …. ……… … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……… …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . ……… .. … ….. ……… .. ……… ….. ……. ………. ………. … ……… .. … ….. .. ……… ….. ………. …. … …… .. …..

1.3 Hamiltonian Mechanics

.. ……. ……… ……… ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. …. …. ……… … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……… …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . ……… .. … ….. ……… .. ……… ….. ……. ………. ………. … ……… .. … ….. .. ……… ….. ………. …. … …… .. …..

$$H(\mathbf{q},\mathbf{p},t) = \sum_i \dot{q}_i p_i - L(q_j,\dot{q}_j,t)$$

.. ……. ……… ……… ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. …. …. ……… … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……… …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . ……… .. … ….. ……… .. ……… ….. ……. ………. ………. … ……… .. … ….. .. ……… ….. ………. …. … …… .. …..

Chapter 2

Information

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

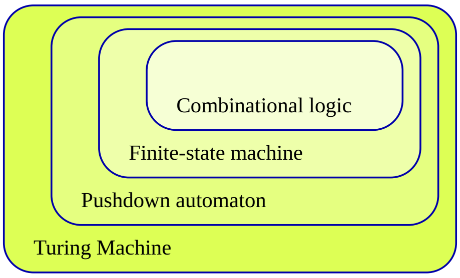


Figure 2.1: Automata Theory

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

2.1 Bit

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

2.2 Logic Gate

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

2.2.1 YES/NOT Gate

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

2.2.2 AND/NAND Gate

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

2.2.3 OR/NOR Gate

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

2.2.4 XOR/XNOR Gate

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

2.3 Combinational Logic

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

2.3.1 Arithmetic Circuits

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

2.3.2 Logic Circuits

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

2.4 Finite State Machine

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$$T = \{Q, \Sigma, \delta, q_0, F\}$$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$$Q \subseteq H$$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... …….

… ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$\delta : Q \times \Sigma \otimes Q \to Q$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ………. …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

Table 2.1: Finite State Machine Definitions

Element	Definitions
Q	Finite Non-Empty Set of States
Σ	Input Alphabet. A Finite Non-Empty Set of Symbols
δ	State Transition Function
$q_0 \in Q$	Initial State of Set of States
F	Set of Final States. A (Possibly Empty) Subset of Set of States

.. ……. …….. …….. ……. .. ………. …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

2.5 Pushdown Automaton

.. ……. …….. …….. ……. .. ………. …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$T = \{Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, \gamma_0, F\}$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ………. …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$Q \subseteq H$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ………. …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$\delta : \Sigma \times Q \otimes \Gamma \to \Sigma \times Q \otimes \Gamma \times \{L, R\}$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ………. …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

Table 2.2: Pushdown Automaton Definitions

Element	Definitions
Q	Finite Non-Empty Set of States
Σ	Input Alphabet. A Finite Non-Empty Set of Symbols

Element	Definitions
Γ	Stack Alphabet. A Finite Non-Empty Set of Symbols
δ	State Transition Function
$q_0 \in Q$	Initial State of Set of States
$\gamma_0 \in \Gamma$	Initial Symbol of Stack Alphabet
F	Set of Final States. A (Possibly Empty) Subset of Set of States

.. ……. ……. ……. ……. .. ………. …… …. .. …… …. .. …. …. ……. … …… . … …. .. ……… ……… …. …. ……. .. …. . …. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …. … …. ……. … ……. ……… …. ………. ……. …. ……. … ……. … ……. …. …. …. . ……. .. … …. ……… .. ……. …. ……. ………. ………. … ……. .. … …. .. ……. …. ………. …. … …… .. ….

Chapter 3

Neural Network

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. ……. …. .. ……. ….. .. ….. …. …….. … ……. . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. ……. …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ……… … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … ……. .. …..

3.1 Feedforward Neural Network

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. ……. …. .. ……. ….. .. ….. …. …….. … ……. . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. ……. …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ……… … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … ……. .. …..

$h_t = \sigma_g(W_h \cdot x_t + U_h \cdot h_{t-1} + b_h)$

$y_t = \sigma_g(W_y \cdot h_t + b_y)$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. ……. …. .. ……. ….. .. ….. …. …….. … ……. . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. ……. …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ……… … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … ……. .. …..

$h_t = \sigma_g(W_h \star x_t + U_h \star h_{t-1} + b_h)$

$y_t = \sigma_g(W_y \star h_t + b_y)$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. ……. …. .. ……. ….. .. ….. …. …….. … ……. . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. ……. …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ……… … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … ……. .. …..

3.2 Long Short Term Memory Neural Network

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. ……. …. .. ……. ….. .. ….. …. …….. … ……. . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. ……. …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ……… … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … ……. .. …..

$a_t = \sigma_g(W_a \cdot x_t + U_a \cdot h_{t-1} + b_a)$

$f_t = \sigma_g(W_f \cdot x_t + U_f \cdot h_{t-1} + b_f)$

$i_t = \sigma_g(W_i \cdot x_t + U_i \cdot h_{t-1} + b_i)$

$o_t = \sigma_g(W_o \cdot x_t + U_o \cdot h_{t-1} + b_o)$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. ……. …. .. ……. ….. .. ….. …. …….. … ……. . … …. .. ……… ……….. …. …. ……. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. ……. …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ……… … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … ……. .. …..

$c_t = f_t \circ c_{t-1} + i_t \circ a_t$

$h_t = o_t \circ \sigma_g(c_t)$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$a_t = \sigma_g(W_a \star x_t + U_a \star h_{t-1} + b_a)$

$f_t = \sigma_g(W_f \star x_t + U_f \star h_{t-1} + b_f)$

$i_t = \sigma_g(W_i \star x_t + U_i \star h_{t-1} + b_i)$

$o_t = \sigma_g(W_o \star x_t + U_o \star h_{t-1} + b_o)$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$c_t = f_t \circ c_{t-1} + i_t \circ a_t$

$h_t = o_t \circ \sigma_g(c_t)$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

3.3 Transformer Neural Network

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$$\text{attention}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^{\mathrm{T}}}{\sqrt{d_k}}\right)V$$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

- Query vector

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$$q_i = x_i W_Q$$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

- Key Vector

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . …... ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$$k_i = x_iW_K$$

.. ……. ……… ……… ……. .. ………… …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……… … …… . … …. .. ……… ………… …. …. ……… .. …. . ….. ……. …. … ……… …. ……… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . ……… .. … ….. ……… .. ……… ….. ……. ……… ……… … ……… .. … ….. .. ……… ….. ……… …. … …… .. …..

- Value Vector

.. ……. ……… ……… ……. .. ………… …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……… … …… . … …. .. ……… ………… …. …. ……… .. …. . ….. ……. …. … ……… …. ……… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . ……… .. … ….. ……… .. ……… ….. ……. ……… ……… … ……… .. … ….. .. ……… ….. ……… …. … …… .. …..

$$v_i = x_iW_V$$

.. ……. ……… ……… ……. .. ………… …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……… … …… . … …. .. ……… ………… …. …. ……… .. …. . ….. ……. …. … ……… …. ……… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . ……… .. … ….. ……… .. ……… ….. ……. ……… ……… … ……… .. … ….. .. ……… ….. ……… …. … …… .. …..

Chapter 4

Turing Machine

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ……….. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$$T = \{Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, \gamma_0, F\}$$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ……….. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$$Q \subseteq H$$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ……….. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$$\delta : \Sigma \times Q \otimes \Gamma \to \Sigma \times Q \otimes \Gamma \times \{L, R\}$$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ……….. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

Table 4.1: Turing Machine Definitions

Element	Definitions
Q	Finite Non-Empty Set of States
Σ	Input Alphabet. A Finite Non-Empty Set of Symbols
Γ	Stack Alphabet. A Finite Non-Empty Set of Symbols
δ	State Transition Function
$q_0 \in Q$	Initial State of Set of States
$\gamma_0 \in \Gamma$	Initial Symbol of Stack Alphabet
F	Set of Final States. A (Possibly Empty) Subset of Set of States

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ……….. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

4.1 Neural Turing Machine

- Definitions

$$\mathcal{D}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{\|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}\|}$$

- Reading

$$\sum_{i=0}^{M-1} w_t(i) = 1$$

$$0 \leq w_t(i) \leq 1$$

$$\mathbf{r}_t \longleftarrow \sum_{i=0}^{M-1} w_t(i)\mathbf{M}_t(i)$$

- Writing

$$\tilde{\mathbf{M}}_t(i) \longleftarrow \mathbf{M}_{t-1}(i)\left[\mathbf{1} - w_t(i)\mathbf{e}_t\right]$$

$$\mathbf{M}_t(i) \longleftarrow \tilde{\mathbf{M}}_t(i) + w_t(i)\,\mathbf{a}_t$$

- Addressing

$$w_t^c(i) \longleftarrow \frac{\exp\Big(\beta_t \mathcal{D}[\mathbf{k}_t, \mathbf{M}_t(i)]\Big)}{\sum_{j=0}^{N-1} \exp\Big(\beta_t \mathcal{D}[\mathbf{k}_t, \mathbf{M}_t(j)]\Big)}$$

$$\mathbf{w}_t^g \longleftarrow g_t \mathbf{w}_t^c + (1 - g_t)\mathbf{w}_{t-1}$$

$$\tilde{w}_t(i) \longleftarrow \sum_{j=0}^{N-1} w_t^g(j)\, s_t(i-j)$$

$$w_t(i) \longleftarrow \frac{\tilde{w}_t(i)^{\gamma_t}}{\sum_{j=0}^{N-1} \tilde{w}_t(j)^{\gamma_t}}$$

- Interfaces

$$\xi_t = W_\xi[h_t^1; \cdots; h_t^L] = [\mathbf{k}_t^w; \hat{\beta}_t^w; \hat{\mathbf{e}}_t; \mathbf{v}_t; \hat{g}_t^a; \hat{g}_t^w]$$

… ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$$\rho_t = W_\rho[h_t^1; \cdots; h_t^L] = [\mathbf{k}_t^{r,1}; \cdots; \mathbf{k}_t^{r,R}; \hat{\beta}_t^{r,1}; \cdots; \hat{\beta}_t^{r,R}; \hat{f}_t^1; \cdots; \hat{f}_t^R; \hat{\pi}_t^1; \cdots; \hat{\pi}_t^R]$$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

- Output Vector

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$$\mathbf{y}_t = W_y \mathbf{h}_t + W_r^i \mathbf{r}_t^i$$

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

4.1.1 Feedforward Neural Turing Machine

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

4.1.2 LSTM Neural Turing Machine

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

4.1.3 Transformer Neural Turing Machine

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

4.2 Differentiable Neural Computer

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

- Definitions

.. ……. ……... ……... ……. .. ………... …… …. .. …… …... .. …... …. ……... … …… . … …. .. ……… ………... …. …. ……... .. …. . ….. ……. …. … ……... …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …... … …. ……. … ……. ……… …... ………. ……. …... ……. … ……. … ……. …... …... …. . ……... .. … …... ……… .. ……... …... ……. ………. ………. … ……... .. … …... .. ……... …... ………. …. … …… .. …...

$$\mathcal{D}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{\|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}\|}$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ………… …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ……….. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$\mathcal{C}(M, \mathbf{k}, \beta)[i] = \frac{\exp\{\mathcal{D}(\mathbf{k}, M[i,\cdot])\beta\}}{\sum_j \exp\{\mathcal{D}(\mathbf{k}, M[j,\cdot])\beta\}}$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ………… …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ……….. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ………… …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ……….. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$\mathrm{oneplus}(x) = 1 + \log(1 + e^x)$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ………… …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ……….. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$\mathrm{softmax}(\mathbf{x})_j = \frac{e^{x_j}}{\sum_{k=1}^{K} e^{x_k}}$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ………… …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ……….. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

- Addressing

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ………… …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ……….. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$M_t = M_{t-1} \circ (E - \mathbf{w}_t^w \mathbf{e}_t^\top) + \mathbf{w}_t^w \mathbf{v}_t^\top$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ………… …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ……….. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$\mathbf{u}_t = (\mathbf{u}_{t-1} + \mathbf{w}_{t-1}^w - \mathbf{u}_{t-1} \circ \mathbf{w}_{t-1}^w) \circ \psi_t$$

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ………… …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ……….. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

$$\mathbf{p}_t = \left(1 - \sum_i \mathbf{w}_t^w[i]\right) \mathbf{p}_{t-1} + \mathbf{w}_t^w$$

$$L_t = (\mathbf{1} - \mathbf{I}) \left[(1 - \mathbf{w}_t^w[i] - \mathbf{w}_t^j) L_{t-1}[i,j] + \mathbf{w}_t^w[i] \mathbf{p}_{t-1}^j \right]$$

$$\mathbf{w}_t^w = g_t^w [g_t^a \mathbf{a}_t + (1 - g_t^a) \mathbf{c}_t^w]$$

$$\mathbf{w}_t^{r,i} = \pi_t^i[1] \mathbf{b}_t^i + \pi_t^i[2] \mathbf{c}_t^{r,i} + \pi_t^i[3] \mathbf{f}_t^i$$

$$\mathbf{r}_t^i = M_t^\top \mathbf{w}_t^{r,i}$$

$$\mathbf{a}_t[\phi_t[j]] = (1 - \mathbf{u}_t[\phi_t[j]]) \prod_{i=1}^{j-1} \mathbf{u}_t[\phi_t[i]]$$

$$\mathbf{c}_t^w = \mathcal{C}(M_{t-1}, \mathbf{k}_t^w, \beta_t^w)$$

$$\mathbf{c}_t^{r,i} = \mathcal{C}(M_{t-1}, \mathbf{k}_t^{r,i}, \beta_t^{r,i})$$

$$\mathbf{f}_t^i = L_t \mathbf{w}_{t-1}^{r,i}$$

$$\mathbf{b}_t^i = L_t^\top \mathbf{w}_{t-1}^{r,i}$$

$$\psi_t = \prod_{i=1}^{R}\left(\mathbf{1} - f_t^i \mathbf{w}_{t-1}^{r,i}\right)$$

- Interfaces

$$\xi_t = W_\xi[h_t^1;\cdots;h_t^L] = [\mathbf{k}_t^w;\hat{\beta}_t^w;\hat{\mathbf{e}}_t;\mathbf{v}_t;\hat{g}_t^a;\hat{g}_t^w]$$

$$\rho_t = W_\rho[h_t^1;\cdots;h_t^L] = [\mathbf{k}_t^{r,1};\cdots;\mathbf{k}_t^{r,R};\hat{\beta}_t^{r,1};\cdots;\hat{\beta}_t^{r,R};\hat{f}_t^1;\cdots;\hat{f}_t^R;\hat{\pi}_t^1;\cdots;\hat{\pi}_t^R]$$

- Output Vector

$$\mathbf{y}_t = W_y \mathbf{h}_t + W_r^i \mathbf{r}_t^i$$

4.2.1 Feedforward Differentiable Neural Computer

4.2.2 LSTM Differentiable Neural Computer

.. ……. …….. …….. ……. .. ………. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

4.2.3 Transformer Differentiable Neural Computer

.. ……. …….. …….. ……. .. ………. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

Chapter 5

Computer Architecture

.. ……. ……. ……. ……. .. ……….. …… …. .. …… …. .. …. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . …. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …. … …. ……. … ……. ……… …. ………. ……. …. ……. … ……. … ……. …. …. …. . ……. .. … …. ……… .. ……. …. ……. ………. ………. … ……. .. … …. .. ……. …. ………. …. … …… .. …..

5.1 von Neumann Architecture

.. ……. ……. ……. ……. .. ……….. …… …. .. …… …. .. …. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . …. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …. … …. ……. … ……. ……… …. ………. ……. …. ……. … ……. … ……. …. …. …. . ……. .. … …. ……… .. ……. …. ……. ………. ………. … ……. .. … …. .. ……. …. ………. …. … …… .. …..

5.1.1 RISC-V

.. ……. ……. ……. ……. .. ……….. …… …. .. …… …. .. …. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . …. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …. … …. ……. … ……. ……… …. ………. ……. …. ……. … ……. … ……. …. …. …. . ……. .. … …. ……… .. ……. …. ……. ………. ………. … ……. .. … …. .. ……. …. ………. …. … …… .. …..

5.1.2 MSP430

.. ……. ……. ……. ……. .. ……….. …… …. .. …… …. .. …. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . …. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …. … …. ……. … ……. ……… …. ………. ……. …. ……. … ……. … ……. …. …. …. . ……. .. … …. ……… .. ……. …. ……. ………. ………. … ……. .. … …. .. ……. …. ………. …. … …… .. …..

5.2 Harvard Architecture

.. ……. ……. ……. ……. .. ……….. …… …. .. …… …. .. …. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . …. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …. … …. ……. … ……. ……… …. ………. ……. …. ……. … ……. … ……. …. …. …. . ……. .. … …. ……… .. ……. …. ……. ………. ………. … ……. .. … …. .. ……. …. ………. …. … …… .. …..

5.2.1 RISC-V

.. ……. ……. ……. ……. .. ……….. …… …. .. …… …. .. …. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . …. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …. … …. ……. … ……. ……… …. ………. ……. …. ……. … ……. … ……. …. …. …. . ……. .. … …. ……… .. ……. …. ……. ………. ………. … ……. .. … …. .. ……. …. ………. …. … …… .. …..

5.2.2 OpenRISC

.. ……. ……. ……. ……. .. ……….. …… …. .. …… …. .. …. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. . …. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. …. … …. ……. … ……. ……… …. ………. ……. …. …….

… ……. … ……. …. . …. . …. . ……. . .. … …. . ……… .. ……. . …. . ……. ………. ………. … ……. . .. … …. . .. ……. . …. . ………. ….
… …… .. …. .

Chapter 6

Advanced Computer Architecture

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

6.1 Processing Unit

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

6.1.1 SISD

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

6.1.2 SIMD

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

6.1.3 MISD

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

6.1.4 MIMD

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. ……. … ……. … ……. ….. ….. …. . …….. .. … ….. ……… .. …….. ….. ……. ………. ………. … …….. .. … ….. .. …….. ….. ………. …. … …… .. …..

6.2 System on Chip

.. ……. …….. …….. ……. .. ……….. …… …. .. …… ….. .. ….. …. …….. … …… . … …. .. ……… ……….. …. …. …….. .. …. . ….. ……. …. … …….. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ………. ……. ….. …….

… ……. … ……. ….. ….. …. . ……. .. … ….. ……… .. ……. ….. ……. ……… ……… … ……. .. … ….. .. ……. ….. ……… ….
… …… .. …..

6.2.1 Bus on Chip

.. ……. ……. ……. ……. .. ………. …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. .
….. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. …….
… ……. … ……. ….. ….. …. . ……. .. … ….. ……… .. ……. ….. ……. ……… ……… … ……. .. … ….. .. ……. ….. ……… ….
… …… .. …..

6.2.2 Network on Chip

.. ……. ……. ……. ……. .. ………. …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. .
….. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. …….
… ……. … ……. ….. ….. …. . ……. .. … ….. ……… .. ……. ….. ……. ……… ……… … ……. .. … ….. .. ……. ….. ……… ….
… …… .. …..

6.3 Multi-Processor System on Chip

.. ……. ……. ……. ……. .. ………. …… …. .. …… ….. .. ….. …. ……. … …… . … …. .. ……… ………. …. …. ……. .. …. .
….. ……. …. … ……. …. ………… .. … … ……. .. …… …. … …. ……. .. ….. … …. ……. … ……. ……… ….. ……… ……. ….. …….
… ……. … ……. ….. ….. …. . ……. .. … ….. ……… .. ……. ….. ……. ……… ……… … ……. .. … ….. .. ……. ….. ……… ….
… …… .. …..