

# Contents

<b>Chapter 1: Introduction, Objectives and Methodology</b>	<b>1</b>
1.1 Introduction . . . . .	1
1.2 Objectives . . . . .	1
1.3 Methodology . . . . .	1
<b>Chapter 2: Literature Review and Research Gap</b>	<b>2</b>
2.1 Literature survey . . . . .	2
2.1.1 Journal Papers/Product 1 . . . . .	2
2.1.2 Journal Papers/Product 2 . . . . .	2
2.1.3 Journal Papers/Product 3 . . . . .	2
2.1.4 Journal Papers/Product 4 . . . . .	3
2.2 Research Gap . . . . .	3
2.2.1 Research Gap 1 . . . . .	3
2.2.2 Research Gap 2 . . . . .	4
2.2.3 Research Gap 3 . . . . .	4
2.2.4 Research Gap 4 . . . . .	4
<b>Chapter 3: Prior-art search</b>	<b>5</b>
3.1 Patents/copyrights 1 . . . . .	5
3.2 Patents/copyrights 2 . . . . .	5
3.3 Patents/copyrights 3 . . . . .	5
3.4 Patents/copyrights 4 . . . . .	5
<b>Chapter 4: Problem definition, Initial Design using Design Thinking approach, Experimentation / Design calculations / Flowcharts / Algorithms</b>	<b>7</b>
4.1 Problem definition . . . . .	7
4.2 Initial Design using Design Thinking approach . . . . .	7
4.3 Experimentation . . . . .	7
4.4 Design calculations . . . . .	8
4.5 Flowcharts . . . . .	8
4.6 Algorithms . . . . .	9
<b>Chapter 5: Results and discussion</b>	<b>11</b>
5.1 Results . . . . .	11
5.1.1 Results and snapshots . . . . .	11
5.2 Discussion . . . . .	11
<b>Chapter 6: Conclusion and Scope for future work</b>	<b>12</b>
6.1 Conclusion . . . . .	12
6.2 Scope for future work . . . . .	12
<b>References</b>	<b>13</b>

<b>Papers published/communicated/presented</b>	<b>14</b>
Papers published . . . . .	14
Papers communicated . . . . .	14
Papers presented . . . . .	14
<b>Appendix</b>	<b>15</b>
Drawings . . . . .	15
Source code or Program . . . . .	15
Bill of materials . . . . .	15

## List of Tables

5.1	Quantification of test cases . . . . .	11
-----	--	----

## List of Figures

Figure 2.1	Octave Graphical User Interface . . . . .	3
Figure 4.1	Flow for initialization of Cellular Automata . . . . .	8
Figure 4.2	Initialization of Cellular Automata . . . . .	8

## **List of Abbreviation**

2D	Two Dimension
CA	Cellular Automata
CC	Computational Cell
CM	Computational Model
CSC	Cancer Stem Cells
CSV	Comma Separated Value
DNA	Deoxyribo Nucleic Acid
ECM	Extracellular Matrix
EMT	Epithelial-mesenchymal transition
ES	ECM Site
FD	Fiber Density
GNU	GNU's Not Unix!
GUI	Graphical User Interface
HT	Hierarchical theory
IDE	Integrated Development Environment
MMP	Matrix Metallo Proteinase
ODE	Ordinary Differential Equations
SCA	Stem Cell Automata
SEM	Standard Error of Mean
SS	Simulation Steps
TAC	Transiently Amplifying Cells
TDC	Terminally Differentiated Cells
TIC	Tumor Initiating Cells

## List of Symbols

$\alpha$	Probability of a cell in CA getting selected
$\beta$	Age after which CSC can divide
$\gamma$	Number of times TAC can divide
$\sigma$	Fiber density
$\lambda$	Degradation potential

# Chapter 1

## Introduction, Objectives and Methodology

### 1.1 Introduction

This chapter gives introduction to biological concepts, Cellular Automata(CA), motivation behind the project, list of existing systems and their limitations, the proposed system and organization of report. [1] [2] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

### 1.2 Objectives

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

### 1.3 Methodology

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

## Chapter 2

### Literature Review and Research Gap

#### 2.1 Literature survey

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

##### 2.1.1 Journal Papers/Product 1

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

##### 2.1.2 Journal Papers/Product 2

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

##### 2.1.3 Journal Papers/Product 3

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst.



Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

#### 2.1.4 Journal Papers/Product 4

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

## 2.2 Research Gap

### 2.2.1 Research Gap 1

Figure 2.1 Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

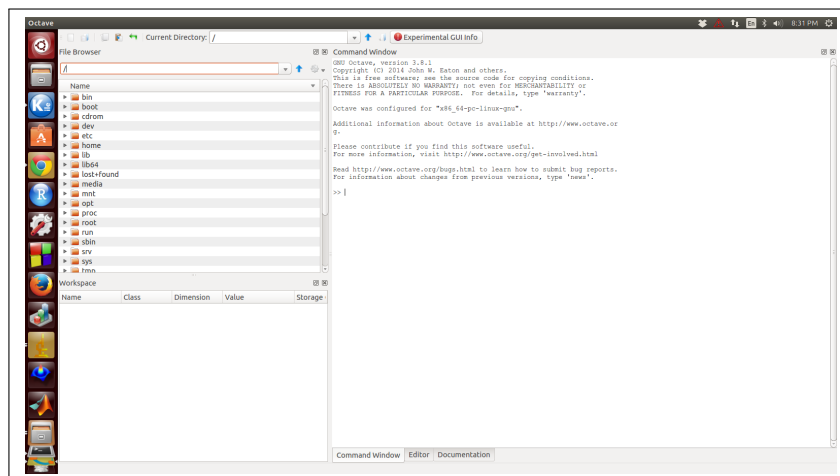


Figure 2.1: Octave Graphical User Interface

### 2.2.2 Research Gap 2

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

### 2.2.3 Research Gap 3

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

### 2.2.4 Research Gap 4

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

## Chapter 3

### Prior-art search

#### 3.1 Patents/copyrights 1

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

#### 3.2 Patents/copyrights 2

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

#### 3.3 Patents/copyrights 3

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

#### 3.4 Patents/copyrights 4

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget,

consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## **Chapter 4**

### **Problem definition, Initial Design using Design Thinking approach, Experimentation / Design calculations / Flowcharts / Algorithms**

#### **4.1 Problem definition**

Systems analysis is a problem solving technique that decomposes a system into its component pieces for the purpose of the studying how well those component parts work and interact to accomplish their purpose [3]. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

#### **4.2 Initial Design using Design Thinking approach**

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

#### **4.3 Experimentation**

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

#### 4.4 Design calculations

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

#### 4.5 Flowcharts

Initialization module takes input from get configuration module and sets properties of CA, and places one CSC in center, surrounded by ES with FD as fiber density and about  $\sigma$  number of ES (Figure 4.2 and Figure 4.1). It then calls simulation module.

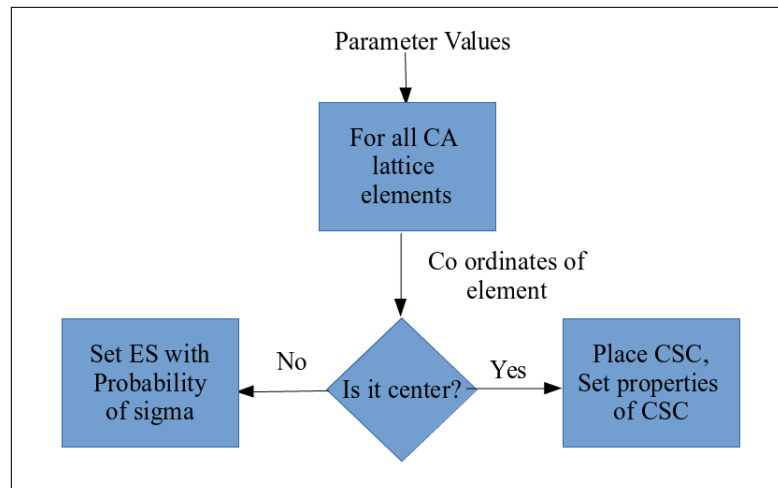


Figure 4.1: Flow for initialization of Cellular Automata

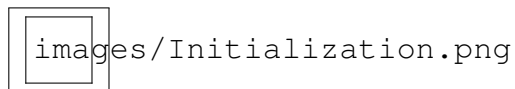


Figure 4.2: Initialization of Cellular Automata

## 4.6 Algorithms

Algorithm: Cell Division, checks the type of cell and initiate respective divide.

**Data:** present cell and neighbourhood ES details

**Result:** initiate CSC or TAC division if conditions hold

```
if cell.type == CSC then
    cell.divideCSC();
else if cell.type == TAC then
    cell.divideTAC();
end if
```

Simulation algorithm: At each iteration of the simulation, a CA cells is randomly selected and evolved based on some mechanistic rules (Algorithm of Simulation). If the selected site is of type S (free space) or E (ECM site) then nothing happens. Else (if selected site is C (cancer cell)) the age of the cell is increased by an amount  $\delta$  which is determined based on fiber density of the neighbourhood as described in Equation 4.1 [4, 5]. After increasing cell age, the cell select a neighbouring ECM\_SITE or FREE\_SITE randomly.

$$\delta = 1 + 1.125 * \frac{[FD]}{[FD] + 1} \quad (4.1)$$

BCs can move into or divide in neighbourhood ES only if  $FD = 0$ . If there is no ECM\_SITE or FREE\_SITE in neighbourhood of cell, cell undergo transformation where it can either convert to a TDC. If the type of cell is TAC and its current  $\beta$  value is greater than 0, or die out and if the type of cell is TDC and its age is equal to  $\gamma$  value.

## Algorithm of Simulation

```
for 1 to NUM.OF ITERATIONS do
  for ROWS * COLUMNS times do
    cell  $\leftarrow$  Randomly select an automata cell; if (cell.type == E OR cell.type == S)
      then
        | // No action is performed
      else
        // Increase cell age by  $\delta$ ,  $\delta = 1 + 1.125 * \frac{[FD]}{[FD]+1}$ ;  $\delta = 1$  for TDC;
        cell.age  $\leftarrow$  cell.age +  $\delta$ 
        if There is no ECM_SITE or FREE_SITE in neighbourhood then
          if cell.type == TAC AND cell. $\beta = 0$  then
            | cell.type = TDC
          end
          if cell.type == TDC AND cell.age =  $\gamma$  then
            | cell.type = ECM_SITE
          end
        else
          neighbourES  $\leftarrow$  randomly select one ECM_SITE from neighbourhood;
          if neighbourES.FiberDensity = 0 then
            if cell.age  $\geq$  DOUBLING_TIME and cell.type == CSC or TAC then
              if cell.type == CSC then
                | Perform symmetrical division of cell with probability  $\alpha$  or
                | asymmetrical division with probability  $(1-\alpha)$ .
              else
                | Generate two daughter cells with  $\beta$  less than the mother cell.
              end
            else
              | Move cell to neighbourES free site with probability  $\mu$ .
            end
          else
             $\lambda = 0.5625 \times \frac{[FD]}{[FD]+1}$ ;
            neighbourES.FiberDensity = neighbourES.FiberDensity -  $\lambda$  ;
          end
        end
      end
    end
  end
  Save state of system;
end
```



## Chapter 5

### Results and discussion

#### 5.1 Results

Common settings FD Threshold = 0, FD = 1, Doubling Time = 50, Simulation Steps = 1400

1. Asymmetric Division as  $\alpha = 0, \beta = 1, \gamma = 100, \sigma = 0, \mu = 0, \lambda = 0$ .
2. Symmetric Division as  $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 100, \sigma = 0, \mu = 0, \lambda = 0$ .
3. With Confinement as  $\alpha = 0.5, \beta = 5, \gamma = 200, \sigma = 0.5, \mu = 0, \lambda = 0$ .
4. With Motility as  $\alpha = 0.5, \beta = 5, \gamma = 200, \sigma = 0.5, \mu = 0.5, \lambda = 0$ .
5. With Proteolysis as  $\alpha = 0.5, \beta = 5, \gamma = 200, \sigma = 0.5, \mu = 0.5, \lambda = 0.5$ .

##### 5.1.1 Results and snapshots

Results obtained for test cases mentioned in Section 5.1 are described in Table 5.1:

	Asymmetric	Symmetric	Confinement	Motile	Proteolysis
CSC in Zone 1	1	2179	20	28	1330
CSC in Zone 2	0	0	0	0	1054
CSC in Zone 3	0	0	0	0	807
CSC in Zone 4	0	0	0	0	576
CSC in Zone 5	0	0	0	0	448

Table 5.1: Quantification of test cases

#### 5.2 Discussion

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

## Chapter 6

### Conclusion and Scope for future work

#### 6.1 Conclusion

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

#### 6.2 Scope for future work

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

## References

- [1] Alberts B, Johnson A, Lewis J, et al, “Molecular Biology of the Cell”, 4th edition. New York: Garland Science, 2002
- [2] Black, Paul E, “Finite State Machine. Dictionary of Algorithms and Data Structures”, U.S. National Institute of Standards and Technology, 12 May 2008
- [3] Lonnie D. Bentley, “Systems Analysis and Design for the Global Enterprise”, p.160 7th edition
- [4] Klein EA, Yin L, Kothapalli D, Castagnino P, Byfield FJ, et al, “Cell-cycle control by physiological matrix elasticity and in vivo tissue stiffening”, *Current Biology* 19: 1511–1518, 2009
- [5] Ulrich TA, de Juan Pardo EM, Kumar S, “The mechanical rigidity of the extracellular matrix regulates the structure, motility, and proliferation of glioma cells”, *Cancer research* 69: 4167–4174, 2009

## **Papers published/communicated/presented**

### **Papers published**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

### **Papers communicated**

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

### **Papers presented**

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

## Appendix

### Drawings

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

### Source code or Program

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

### Bill of materials

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.