



华南理工大学
South China University of Technology

本科毕业设计（论文）

基于卷积神经网络的手写数字及写字人识别

学 院	电子与信息学院
专 业	信息工程
学生姓名	某某某
学生学号	201500000000
指导老师	某某某教授
提交日期	2019 年 3 月 26 日

摘 要

炔烃和叠氮化合物的点击化学反应，有着快速、百分百原子利用率、产物高选择性等众多优点，被誉为点击化学中的精华。基于此反应拓展而来的点击聚合反应，迅速在 高分子材料领域获得了了广泛关注和应用。

.....

我们还尝试了采用不同单体，在最优条件下进行反应，均获得了高分子产物。表明了该反应体系的普适性。

关键字: 多变量系统; 预测控制; 环境试验设备

Abstract

Artificial Neuron Network (ANN) simulates human being's brain function and build the network structure. Convolutional Neural Network (CNN) have many advantage, such as

(2) This paper introduces the common pretreatment method of image, such as collecting image, normalization, graying and binarization. And apply these to the handwritten numeral recognition experiment and handwritten numerals writer recognition experiments.

Keywords: Writer recognition; Convolutional Neural Network; Handwritten character recognition

目 录

摘 要.....	I
Abstract	III
第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 研究背景	1
1.3 研究现状	1
1.4 论文结构	1
第二章 L^AT_EX 排版例子	3
2.1 列表环境	3
2.1.1 无序列表	3
2.1.2 有序列表	3
2.1.3 描述型列表	3
2.1.4 自定义列表样式	4
2.2 数学排版	4
2.2.1 公式排版	4
2.2.2 SI 单位	4
2.2.3 定理环境	5
2.3 向文档中插入图像	6
2.3.1 支持的图片格式	6
2.3.2 长标题的换行	6
2.3.3 添加图注	8
2.3.4 绘制流程图	8
2.4 表格	10
2.5 参考文献管理	10
2.6 用 listings 插入源代码	12
2.7 用 algorithm 和 algorithmicx 宏包插入算法描述	13

第三章 手写数字及写字人识别实验过程及其结果	17
3.1 手写字体识别实验	17
3.1.1 样本简介	17
3.1.2 Writer Depend 类数字识别实验	17
3.1.3 WriterDepend 类数字识别实验结果分析	18
3.1.4 WriterIndepend 类数字识别实验	19
3.1.5 两位写字人识别实验	19
3.2 本章小结	19
参考文献.....	21
致谢.....	23

第一章 绪论

1.1 引言

当今社会，科技的飞速发展为大家 供了快捷与舒适，但与此同时也增添了在信息安全上的危险。在过去的二十几年来，我们通过数字密码来鉴别身份，但是随着科技的发展，不法分子借用高科技犯罪的案例年年增高，密码被盗的情况时常发生。因此，怎样科学准确的辨别每一个人的身份则成为当今社会的重要问题。

1.2 研究背景

随着科技的日益发展，传统的密码因为记忆的繁琐以及容易被盗，似乎已经不再能满足这个通信发达的社会的需求。人们急需一种更便捷而且辨识度更高的方式来辨识身份。循着便捷与辨识度高这两个约束条件^[1]，我们联想到的便是存在于每个人身上的生物特征，所以基于每个人身上不同的生物特征而研究的鉴别技术现在成为了身份辨别技术上的主流。

1.3 研究现状

笔迹^[2] 获取的方式有两种，所以鉴别方式也分为离线鉴别和在线鉴别^[3]。在线鉴别是采用专用的数字板来实时收集书写信号。由文献 [4-6] 可知，因为信号是实时采集的，所以能采集的数据不仅包括笔迹序列，而且可以采集到书写时的加速度、压力、速度等丰富有用的动态信息。

1.4 论文结构

本文分为四章。其中第一章简述了笔迹识别的研究背景和意义以及笔迹识别的基础知识等。第二章节从卷积神经网络的发展历史、网络结构、学习规律三方面详细的讲述了卷积网络的基础知识。第三章针对本文中的手写数字及写字人实验具体设计卷积神经网络的网络结构以及训练过程。第五章节是手写数字识别及写字人识别实验的结果与分析。

第二章 L^AT_EX 排版例子

2.1 列表环境

2.1.1 无序列表

以下是一个无序列表的例子，列表的每个条目单独分段。

- 这是一个无序列表。
- 这是一个无序列表。
- 这是一个无序列表。

使用`itemize*`环境可以创建行内无序列表。• 这是一个无序列表。• 这是一个无序列表。• 这是一个无序列表。行内无序列表条目不单独分段，所有内容直接插入在原文的段落中。

2.1.2 有序列表

使用环境`enumerate`和`enumerate*`创建有序列表，使用方法无序列表类似。

1. 这是一个有序列表。
2. 这是一个有序列表。
3. 这是一个有序列表。

使用`enumerate*`环境可以创建行内有序列表。1. 这是一个默认有序列表。2. 这是一个默认有序列表。3. 这是一个默认有序列表。行内有序列表条目不单独分段，所有内容直接插入在原文的段落中。

2.1.3 描述型列表

使用环境`description`可创建带有主题词的列表，条目语法是`\item[主题]` 内容。

主题一 详细内容

主题二 详细内容

主题三 详细内容 ...

2.1.4 自定义列表样式

可以使用`label` 参数控制列表的样式，详细可以参考 WikiBooks¹。比如一个自定义样式的行内有序列表 *a)* 这是一个自定义样式有序列表。*b)* 这是一个自定义样式有序列表。*c)* 这是一个自定义样式有序列表。

2.2 数学排版

2.2.1 公式排版

这里有举一个长公式排版的例子，来自《Math mode》：

$$\frac{1}{2}\Delta(f_{ij}f^{ij}) = 2\left(\sum_{i<j}\chi_{ij}(\sigma_i - \sigma_j)^2 + f^{ij}\nabla_j\nabla_i(\Delta f) + \nabla_k f_{ij}\nabla^k f^{ij} + f^{ij}f^k[2\nabla_i R_{jk} - \nabla_k R_{ij}]\right) \quad (2-1)$$

2.2.2 SI 单位

使用`siunitx` 宏包可以方便地输入 SI 单位制单位，例如`\SI{5}{\um}` 可以得到 $5\mu\text{m}$ 。

2.2.2.1 一个四级标题

这是全文唯一的一个四级标题。在这部分中将演示了 `mathtools` 宏包中可伸长符号（箭头、等号的例子）的例子。

$$A \xleftarrow[n=0]{} B \xrightarrow[n>0]{\text{LongLongLongLong}} C$$

$$f(x) \xleftrightarrow[A=B]{} B \quad (2-2)$$

$$\begin{array}{c} \xleftrightarrow{\text{above}} B \\ \xleftrightarrow{\text{below}} B \end{array} \quad (2-3)$$

¹https://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX/List_Structures#Customizing_lists

又如:

$$\begin{aligned} & I(X_3; X_4) - I(X_3; X_4 \mid X_1) - I(X_3; X_4 \mid X_2) \\ &= [I(X_3; X_4) - I(X_3; X_4 \mid X_1)] - I(X_3; X_4 \mid \tilde{X}_2) \end{aligned} \quad (2-4)$$

$$= I(X_1; X_3; X_4) - I(X_3; X_4 \mid \tilde{X}_2) \quad (2-5)$$

2.2.3 定理环境

模板中定义了丰富的定理环境 `algo`(算法), `thm`(定理), `lem`(引理), `prop`(命题), `cor`(推论), `defn`(定义), `conj`(猜想), `exmp`(例), `rem`(注), `case`(情形), `bthm`(断言定理), `blem`(断言引理), `bprop`(断言命题), `bcor`(断言推论)。amsmath 还提供了一个 `proof`(证明) 的环境。这里举一个“定理”和“证明”的例子。

定理 2.1 (留数定理). 假设 U 是复平面的一个单连通开子集, a_1, \dots, a_n 是复平面上有限个点, f 是定义在 $U \setminus \{a_1, \dots, a_n\}$ 上的全纯函数, 如果 γ 是一条把 a_1, \dots, a_n 包围起来的可求长曲线, 但不经过任何一个 a_k , 并且其起点与终点重合, 那么:

$$\oint_{\gamma} f(z) dz = 2\pi i \sum_{k=1}^n I(\gamma, a_k) \text{Res}(f, a_k) \quad (2-6)$$

如果 γ 是若尔当曲线, 那么 $I(\gamma, a_k) = 1$, 因此:

$$\oint_{\gamma} f(z) dz = 2\pi i \sum_{k=1}^n \text{Res}(f, a_k) \quad (2-7)$$

在这里, $\text{Res}(f, a_k)$ 表示 f 在点 a_k 的留数, $I(\gamma, a_k)$ 表示 γ 关于点 a_k 的卷绕数。卷绕数是一个整数, 它描述了曲线 γ 绕过点 a_k 的次数。如果 γ 依逆时针方向绕着 a_k 移动, 卷绕数就是一个正数, 如果 γ 根本不绕过 a_k , 卷绕数就是零。

定理2.1的证明。

证明. 首先, 由……

其次, ……

所以……

□

上面的公式例子中，有一些细节希望大家注意。微分号 d 应该使用“直立体”也就是用 `\mathrm` 包围起来。并且，微分号和被积函数之间应该有一段小间隔，可以插入 `\,`，得到。斜体的 d 通常只作为一般变量。 i, j 作为虚数单位时，也应该使用“直立体”为了明显，还加上了粗体，例如 `\mathbf{i}`。斜体 i, j 通常用作表示“序号”。其他字母在表示常量时，也推荐使用“直立体”譬如，圆周率 π （需要 `upgreek` 宏包），自然对数的底 e 。不过，我个人觉得斜体的 e 和 π 很潇洒，在不至于引起混淆的情况下，我也用这两个字母的斜体表示对应的常量。

2.3 向文档中插入图像

2.3.1 支持的图片格式

\LaTeX 可以很方便地插入 PDF、PNG、JPG 格式的图片。

插入 PNG/JPG 的例子如2-1所示。这两个水平并列放置的图共享一个“图标题” (table caption)，没有各自的小标题。



图 2-1 中文题图

这里还有插入 EPS 图像和 PDF 图像的例子，如图3-1a和图3-1b。这里将 EPS 和 PDF 图片作为子图插入，每个子图有自己的小标题。子图标题使用 `subcaption` 宏包添加。

更多关于 \LaTeX 插图的例子可以参考《 \LaTeX 插图指南》。

2.3.2 长标题的换行

图2-4和图2-5都有比较长图标题，通过对比发现，图2-5的换行效果更好一些。其中使用了 `minipage` 环境来限制整个浮动体的宽度。



(a) EPS 图像



(b) PDF 图像，注意这个图略矮些。如果标题很长的话，它会自动换行

图 2-2 插入 eps 和 pdf 的例子（使用 subcaptionbox 方式）



(a) EPS 图像



(b) PDF 图像，注意这个图略矮些。subfigure

中同一行的子图在顶端对齐。

图 2-3 插入 eps 和 pdf 的例子（使用 subfigure 方式）



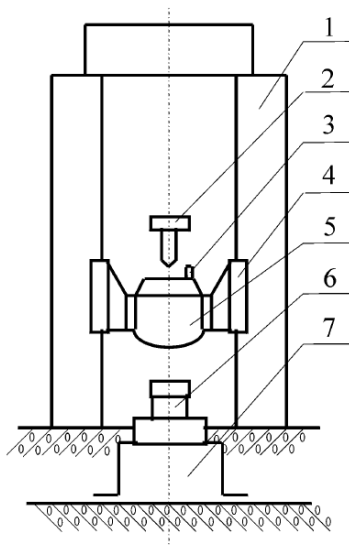
图 2-4 上海交通大学是我国历史最悠久的高等学府之一，是教育部直属、教育部与上海市共建的全国重点大学。



图 2-5 上海交通大学是我国历史最悠久的高等学府之一，是教育部直属、教育部与上海市共建的全国重点大学。

2.3.3 添加图注

当插图中组成部件由数字或字母等编号表示时，可在插图下方添加图注进行说明，如图2-6所示。



1. 立柱 2. 提升释放机构 3. 标准冲击加速度计
4. 导轨 5. 重锤 6. 被校力传感器 7. 底座

图 2-6 示例图片来源于 [7]

2.3.4 绘制流程图

图2-7是一张流程图示意。使用 tikz 环境，搭配四种预定义节点（startstop、process、decision 和io），可以容易地绘制出流程图。

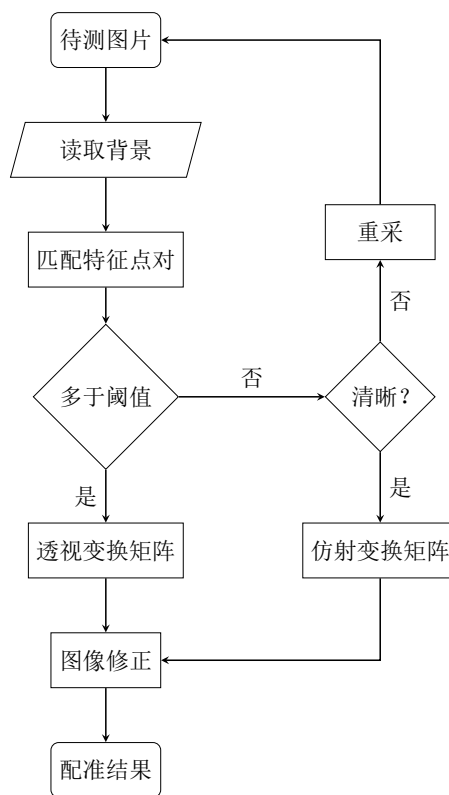


图 2-7 绘制流程图效果

2.4 表格

这一节给出的是一些表格的例子，如表3–3所示。

表 2-1 一个颇为标准的三线表格

Item		
Animal	Description	Price (\$)
Gnat	per gram	13.65
	each	0.01
Gnu	stuffed	92.50
Emu	stuffed	33.33
Armadillo	frozen	8.99

下面一个是一个更复杂的表格，用 `threeparttable` 实现带有脚注的表格，如表2–2。

表 2-2 一个带有脚注的表格的例子

total	20 ¹		40		60	
	www	k	www	k	www	k
	4.22 (2.12)	120.0140 ²	333.15	0.0411	444.99	0.1387
	168.6123	10.86	255.37	0.0353	376.14	0.1058
	6.761	0.007	235.37	0.0267	348.66	0.1010

¹ the first note.

² the second note.

2.5 参考文献管理

\LaTeX 具有将参考文献内容和表现形式分开管理的能力，涉及三个要素：参考文献数据库、参考文献引用格式、在正文中引用参考文献。这样的流程需要多次编译：

1. 用户将论文中需要引用的参考文献条目，录入纯文本数据库文件 (`bib` 文件)。

2. 调用 `xelatex` 对论文模板做第一次编译，扫描文中引用的参考文献，生成参考文献入口文件 (`aux`) 文件。
3. 调用 `bibtex`，以参考文献格式和入口文件为输入，生成格式化以后的参考文献条目文件 (`bib`)。
4. 再次调用 `xelatex` 编译模板，将格式化以后的参考文献条目插入正文。

参考文献数据库 (`thesis.bib`) 的条目，可以从 Google Scholar 搜索引擎¹、CiteSeerX 搜索引擎²中查找，文献管理软件 Papers³、Mendeley⁴、JabRef⁵也能够输出条目信息。

下面是在 Google Scholar 上搜索到的一条文献信息，格式是纯文本：

Listing 2-1 从 Google Scholar 找到的参考文献条目

```
@phdthesis{白 2008 信用风险传染模型和信用衍生品的定价,
  title={信用风险传染模型和信用衍生品的定价},
  author={白云芬},
  year={2008},
  school={上海交通大学}
}
```

推荐修改后在 `bib` 文件中的内容为：

Listing 2-2 修改后的参考文献条目

```
@phdthesis{bai2008,
  title={信用风险传染模型和信用衍生品的定价},
  author={白云芬},
  date={2008},
  address={上海},
  school={上海交通大学}
}
```

按照教务处的要求，参考文献外观应符合国标 GB/T 7714 的要求⁶。在模板中，表现

¹<https://scholar.google.com>

²<http://citeseerx.ist.psu.edu>

³<http://papersapp.com>

⁴<http://www.mendeley.com>

⁵<http://jabref.sourceforge.net>

⁶http://www.cces.net.cn/guild/sites/tmxb/Files/19798_2.pdf

形式的控制逻辑通过 `biblatex-gb7714-2015` 包实现¹，基于 `BibLaTeX` 管理文献。在目前的多数 `TeX` 发行版中，可能都没有默认包含 `biblatex-gb7714-2015`，需要手动安装。

正文中引用参考文献时，用 `\cite{key1,key2,key3...}` 可以产生“上标引用的参考文献”，如^[8-10]。使用 `\parencite{key1,key2,key3...}` 则可以产生水平引用的参考文献，例如 [11-13]。请看下面的例子，将会穿插使用水平的和上标的参考文献：关于书的 [8, 11, 13]，关于期刊的^[6,9]，会议论文 [5, 10, 14]，硕士学位论文 [12, 15]，博士学位论文^[16-18]，标准文件 [13]，技术报告^[19]，电子文献 [20, 21]，用户手册 [4]。

总结一些注意事项：

- 参考文献只有在正文中被引用了，才会在最后的参考文献列表中出现；
- 参考文献“数据库文件”`bib` 是纯文本文件，请使用 UTF-8 编码，不要使用 GBK 编码；
- 参考文献条目中默认通过 `date` 域输入时间。兼容使用 `year` 域时会产生编译 `warning`，可忽略。

2.6 用 `listings` 插入源代码

原先 `ctexbook` 文档类和 `listings` 宏包配合使用时，代码在换页时会出现莫名其妙的错误，后来经高人指点，顺利解决了。感兴趣的话，可以看看这里。这里给使用 `listings` 宏包插入源代码的例子，这里是一段 C 代码。另外，`listings` 宏包真可谓博大精深，可以实现各种复杂、漂亮的效果，想要进一步学习的同学，可以参考 `listings` 宏包手册。

Listing 2-3 一段 C 源代码

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <unistd.h>
3 #include <sys/types.h>
4 #include <sys/wait.h>
5
6 int main() {
7     pid_t pid;
8
9     switch ((pid = fork())) {

```

¹<https://www.ctan.org/pkg/biblatex-gb7714-2015>

```

10  case -1:
11      printf("fork failed\n");
12      break;
13  case 0:
14      /* child calls exec */
15      execl("/bin/ls", "ls", "-l", (char*)0);
16      printf("execl failed\n");
17      break;
18  default:
19      /* parent uses wait to suspend execution until child finishes */
20      wait((int*)0);
21      printf("is completed\n");
22      break;
23  }
24
25  return 0;
26  }

```

2.7 用 `algorithm` 和 `algorithmicx` 宏包插入算法描述

`algorithmicx` 比 `algorithmic` 增加了一些命令。示例如算法2-1和算法2-2，后者的代码来自xhSong 的博客。`algorithmicx` 的详细使用方法见官方 README。使用算法宏包时，算法出现的位置很多时候不按照 `tex` 文件里的书写顺序，需要强制定位时可以使用 `\begin{algorithm}[H]`¹

这是写在算法2-1前面的一段话，在生成的文件里它会出现在算法2-1前面。

算法 2-1 求 100 以内的整数和

Ensure: 100 以内的整数和

- 1: $sum \leftarrow 0$
 - 2: **for** $i = 0 \rightarrow 100$ **do**
 - 3: $sum \leftarrow sum + i$
 - 4: **end for**
-

¹<http://tex.stackexchange.com/questions/165021/fixing-the-location-of-the-appearance-in-algorithmicx-environment>

这是写在两个算法中间的一段话，当算法2-1不使用`\begin{algorithm}[H]`时它也会出现在算法2-1前面。

对于很长的算法，单一的算法块`\begin{algorithm}...\end{algorithm}`是不能自动跨页的¹，会出现的情况有：

- 该页放不下当前的算法，留下大片空白，算法在下一页显示
- 单一页面放不下当前的算法，显示时超过页码的位置直到超出整个页面范围

解决方法有：

- (推荐) 使用`algstore{alname}`和`algrestore{alname}`来讲算法分为两个部分²，如算法2-2。
- 人工拆分算法为多个小的部分。

这是写在算法2-2后面的一段话，但是当算法2-2不使用`\begin{algorithm}[H]`时它会出现现在算法2-2 甚至算法2-1前面。

对于算法的索引要注意`\caption`和`\label`的位置, 必须是先`\caption`再`\label`³, 否则会出现`\ref{algo:sum_100}`生成的编号跟对应算法上显示不一致的问题。

根据 Werner 的回答⁴ 增加了Switch 和Case 的支持，见算法2-3。

¹<http://tex.stackexchange.com/questions/70733/latex-algorithm-not-display-under-correct-section>

²<http://tex.stackexchange.com/questions/29816/algorithm-over-2-pages>

³<http://tex.stackexchange.com/questions/65993/algorithm-numbering>

⁴<http://tex.stackexchange.com/questions/53357/switch-cases-in-algorithmic>

算法 2-2 用归并排序求逆序数

Require: *Array* 数组, *n* 数组大小

Ensure: 逆序数

```

1: function MERGESORT(Array, left, right)
2:   result  $\leftarrow$  0
3:   if left < right then
4:     middle  $\leftarrow$  (left + right)/2
5:     result  $\leftarrow$  result + MERGESORT(Array, left, middle)
6:     result  $\leftarrow$  result + MERGESORT(Array, middle, right)
7:     result  $\leftarrow$  result + MERGER(Array, left, middle, right)
8:   end if
9:   return result
10: end function
11:
12: function MERGER(Array, left, middle, right)
13:   i  $\leftarrow$  left
14:   j  $\leftarrow$  middle
15:   k  $\leftarrow$  0
16:   result  $\leftarrow$  0
17:   while i < middle and j < right do
18:     if Array[i] < Array[j] then
19:       B[k + +]  $\leftarrow$  Array[i + +]
20:     else
21:       B[k + +]  $\leftarrow$  Array[j + +]
22:       result  $\leftarrow$  result + (middle - i)
23:     end if
24:   end while

```

```
25:   while  $i < middle$  do
26:        $B[k++] \leftarrow Array[i++]$ 
27:   end while
28:   while  $j < right$  do
29:        $B[k++] \leftarrow Array[j++]$ 
30:   end while
31:   for  $i = 0 \rightarrow k - 1$  do
32:        $Array[left + i] \leftarrow B[i]$ 
33:   end for
34:   return  $result$ 
35: end function
```

算法 2-3 Switch 示例

```
1: switch ( $s$ )
2:   case  $a$ :
3:        $assert(0)$ 
4:   case  $b$ :
5:        $assert(1)$ 
6:   default :
7:        $assert(2)$ 
8: end switch
```

第三章 手写数字及写字人识别实验过程及其结果

3.1 手写字体识别实验

3.1.1 样本简介

本论文的手写数字识别实验当中所用的样本分为两类，一类是训练样本集，另一类是测试样本集。

实验当中的训练样本集采用的是手写数字 MNIST 数据库 [5, 10, 14]。这个数据库当中包含训练集样本 60000 个样例和测试集样本 10000 个样例。MNIST 数据库当中的数字样本已经全部大小归一化灰度化并且集中到同一个固定大小的图像当中。该数据库包括 MST 的 SD-1 和 SD-3 数据库，当中包含一系列的二级制的手写数字图像。其中 SD-1 的收集者来源是某高中的在校学生，而 SD-3 是由人口调查局员工收集的。则我们的训练样本集也就是 MNIST 当中的训练样本集有 30000 个样本来自 SD-3，而另外 30000 个样本来自 SD-1。这 60000 个训练样本分别来自约 250 个采集者。

3.1.2 Writer Depend 类数字识别实验

3.1.2.1 ABCvsA 数字识别实验

实验内容：以 A 写字人、B 写字人和 C 写字人，合计 3000 个数字 0 到 9 的数字图像数据为训练样本集。A 写字人的 1000 个数字 0 到 9 的数字图像数据为测试样本集。学习率为 1，单次训练样本数为 10 个，共训练 40 次。若识别所得数字与给定的标签匹配，则视为正确；不匹配则视为错误。

表 3-1 ABCvsA 数字识别实验结果

训练样本	ABC	样本个数	3000
测试样本	A	样本个数	1000
训练次数	—	单次训练样本数	10
学习率	1	正确率	99.50%

3.1.2.2 ABCvsABC 数字识别实验

实验内容: 以 A 写字人、B 写字人和 C 写字人, 合计 3000 个数字 0 到 9 的数字图像数据为总样本集。在总样本集当中随机抽取 2400 个为训练样本集, 余下的 600 个为测试样本集。学习率为 1, 单次训练样本数为 10 个, 共训练 40 次。若识别所得数字与给定的标签匹配, 则视为正确; 不匹配则视为错误。

表 3-2 ABCvsABC 数字识别实验结果

训练样本	ABC	样本个数	2400
测试样本	A	样本个数	600
训练次数	40	单次训练样本数	10
学习率	1	正确率	92.00%

3.1.3 WriterDepend 类数字识别实验结果分析

下面我们选取 Writer Depend 类数字识别实验当中的两个典型的例子 ABCvsA 数字识别实验以及 MNIST&ABCvsA 数字识别实验的结果做详细分析。我们从 ABCvsA 数字识别实验中的训练样本集和测试样本集的手写数字图像样本集当中分别随机抽取一幅图像如图 4-1 所示。

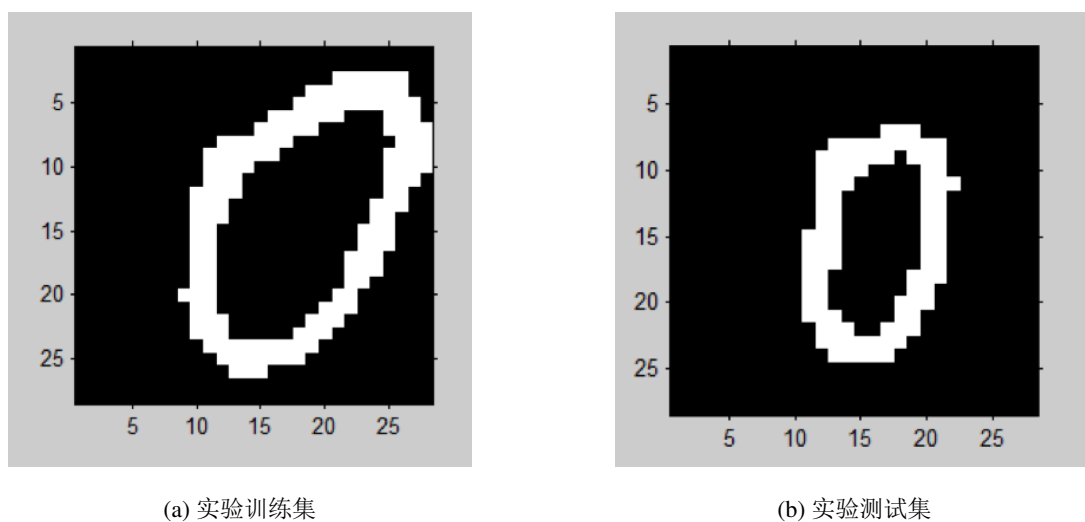


图 3-1 ABCvsA 数字识别实验集

下面我们对上述的训练集和测试集进行 40 次学习率为 2, 单次训练样本为 10 的迭

代，得到错误率为 0.50

.....

3.1.4 WriterIndepend 类数字识别实验

实验内容: 以 MNIST 数据库为训练样本集，共计 60000 个训练样本。以 A 写字人合计 1000 个数字 0 到 9 的数字图像数据为测试样本集写字人识别实验

.....

3.1.5 两位写字人识别实验

3.1.5.1 单个数字的写字人识别实验

实验内容: 以 A 写字人，合计 800 个数字 5 的数字图像数据加上 B 写字人，合计 800 个数字 5 的数字图像数据，共计 1600 个样本为总样本集。随机选取其中的 1200 个样本为训练样本集，其余的 400 个样本为测试样本集。学习率为 2，单次训练样本数为 10 个，共训练 30 次。若识别所得写字人与给定的标签匹配，则视为正确; 不匹配则视为错误。

表 3-3 单个数字写字人识别实验结果

训练样本	A5&B5	样本个数	1200
测试样本	A5&B5	样本个数	400
训练次数	30	单次训练样本数	10
学习率	2	正确率	99.75%

3.1.5.2 单个数字的写字人识别实验结果分析

.....

3.2 本章小结

.....。

参考文献

- [1] CHAFIK EL IDRISSE M, RONEY A, FRIGON C, et al. Measurements of total kinetic-energy released to the $N = 2$ dissociation limit of H_2 — evidence of the dissociation of very high vibrational Rydberg states of H_2 by doubly-excited states[J]. Chemical Physics Letters, 1994, 224(10): 260–266.
- [2] 鲁斯 (RUSS J C), 余翔宇. 数字图像处理[M]. Chinese. Vol. 2001. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [3] LECUN Y, BOTTOU L, BENGIO Y, et al. Gradient-based learning applied to document recognition[J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(11): 2278–2324.
- [4] R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing[M]. Vienna, Austria: [s.n.], 2012.
- [5] KOCHER C, JAFFE J, JUN B. Differential Power Analysis[C]// WIENER M. Advances in Cryptology (CRYPTO '99). Ed. by WIENER M. Vol. 1666. Lecture Notes in Computer Science. [S.l.]: Springer-Verlag, 1999: 388–397.
- [6] CHEN H, WU B I, ZHANG B, et al. Electromagnetic Wave Interactions with a Metamaterial Cloak[J]. Physical Review Letters, 2007, 99(6): 63903.
- [7] 何闻. 标准动态力发生装置国内外研究现状[J]. 机电工程, 1999(2): 47–49.
- [8] 崔万照, 马伟, 邱乐德, 等. 电磁超介质及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [9] CHEN H, CHAN C T. Acoustic cloaking in three dimensions using acoustic metamaterials[J]. Applied Physics Letters, 2007, 91: 183518.
- [10] KIM S, WOO N, YEOM H Y, et al. Design and Implementation of Dynamic Process Management for Grid-enabled MPICH[C]// The 10th European PVM/MPI Users' Group Conference. Venice, Italy: [s.n.], 2003.
- [11] JOANNOPOULOS J D, JOHNSON S G, WINN J N. Photonic Crystals: Molding the Flow of Light[M]. [S.l.]: Princeton University Press, 2008.
- [12] 猪八戒. 论流体食物的持久保存[D]. 北京: 广寒宫大学, 2005.

- [13] 1363-2000 I S. IEEE Standard Specifications for Public-Key Cryptography[M]. New York: IEEE, 2000.
- [14] 王重阳, 黄药师, 欧阳峰, 等. 武林高手论文集[C]// 第 N 次华山论剑. 西安, 中国: 中国古籍出版社, 2006.
- [15] JEYAKUMAR A R. Metamori: A library for Incremental File Checkpointing[D]. Blacksburg: Virginia Tech, 2004.
- [16] 沙和尚. 论流沙河的综合治理[D]. 北京: 清华大学, 2005.
- [17] ZADOK E. FiST: A System for Stackable File System Code Generation[D]. USA: Computer Science Department, Columbia University, 2001.
- [18] 白云芬. 信用风险传染模型和信用衍生品的定价[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [19] WOO A, BAILEY D, YARROW M, et al. The NAS Parallel Benchmarks 2.0[R]. The Pennsylvania State University CiteSeer Archives, 1995.
- [20] 萧钰. 出版业信息化迈人快车道[J]. 2001.
- [21] CHRISTINE M. Plant physiology: plant biology in the Genome Era[J]. Science, 1998, 281: 331–332.

致谢

感谢所有测试和使用交大学位论文 LATEX 模板的同学!

感谢那位最先制作出博士学位论文 LATEX 模板的交大物理系同学!

感谢 William Wang 同学对模板移植做出的巨大贡献!

感谢 @weijianwen 学长一直以来的开发和维护工作!

感谢 @sjtug 以及 @dyweb 对 0.9.5 之后版本的开发和维护工作!

感谢所有为模板贡献过代码的同学们, 以及所有测试和使用模板的各位同学!

