

문서 양식 식별을 이용한 광학 문자 인식 시스템

정원교*, 박상성*, 신영근*, 안동규**, 장동식*

Optical Character Recognition System Using The Document Form Identification

Won-Gyo Jung *, Sang-Sung Park *, Young-Geun Shin *, Dong-Kyu Ahn **, Dong-Sik Jang *

요약

최근 들어 문서나 서류 등의 보관에 대한 중요성이 커짐에 따라 기존에 종이 형태로 관리하던 문서나 서류들을 편리하게 관리하기 위해 문서 전자화 시스템을 도입하고 있는 기업 및 기관들이 많아지고 있다. 과거에는 종이로 되어 있는 서류들을 전자화시키기 위해서 사람들이 해당 서류를 보고 컴퓨터에 데이터를 수작업으로 일일이 입력해야 하는 번거로움이 있었다. 현재는 이러한 번거로움을 줄이기 위해 문서나 서류를 스캔하고, 스캔한 이미지에서 광학 문자 인식(OCR: Optical Character Recognition) 기술을 이용한 방법으로 종이 형태의 문서들을 전자화하고 있다. 그러나 OCR을 통해 문자 인식을 한 이후에도 인식된 전체 문서에서 필요한 부분과 필요하지 않은 부분을 일일이 수작업으로 분류해야 하는 번거로움이 있다는 것이 문제점으로 부각되고 있다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 문서 양식과 인식이 필요한 부분을 미리 지정해 놓고 문자 인식을 하는 방법 및 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 문자 인식 속도를 향상시키고 보다 정확한 문자 인식이 가능하게 하여, 전체적으로 문자 인식의 효율을 향상시킬 수 있을 것이다. 또한 대량의 정형화된 문서의 문자 인식에도 효과적인 것으로 기대한다.

▶ Keyword : 문자 인식, OCR, 문서 양식 식별, 문서 전자화

• 제1저자 : 정원교

* 고려대학교 정보경영공학부 **경민대학 인터넷비즈니스과

※ 이 논문은 2008년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.
(IITA-2008-(C1090-0801-0025))

※ This work was supported by the IT R&D program of MIC/IITA [2007-S019-02] (Development of Digital Forensic System for Information Transparency).

I. 서론

최근 들어 문서나 서류 등의 보관에 대한 중요성이 커짐에 따라 기존에 종이 형태로 관리하던 문서나 서류들을 편리하게 관리하기 위해 문서 전자화 시스템을 도입하고 있는 기업 및 기관들이 많아지고 있다. 과거에는 이러한 종이로 되어 있는 서류들을 전자화시키기 위해서는 사람들이 해당 문서나 서류를 보고 데이터를 컴퓨터에 수작업으로 일일이 입력해야 한다는 번거로움이 있었다.[1] 현재는 이러한 번거로움을 줄이기 위해 문서나 서류를 스캔하고, 스캔한 이미지에서 광학 문자 인식 기술(OCR: Optical Character Recognition)을 이용해 자동화된 방법으로 종이 형태의 문서들을 전자화시키고 있다. 여기서 광학 문자 인식이란, 스캐너를 통해 입력된 문서 영상에서 문자에 해당하는 부분의 내용을 인식하는 기술을 말한다. 광학 문자 인식의 역사는 1928년 독일의 G. Taushek가 미리 준비된 몇 개의 표준 pattern문자와 입력문자를 비교하여 표준 pattern문자와 가장 유사한 것을 해당 문자로 선정하는 pattern matching기법을 이용한 문자 인식 방법을 특허로 등록하면서 시작되었다.[2] 그 이후 많은 연구들이 지속되어 현재는 다양한 OCR제품이 상용화되어 유용하게 사용되고 있다.

그러나 일반적인 OCR제품을 이용할 경우, 문서 전체를 읽어서 문자를 인식하는 형식으로 제품이 구현되어 있어서 문자 인식을 한 이후에도 인식된 전체 문서에서 필요한 부분과 필요하지 않은 부분을 일일이 수작업으로 분류해야 하는 번거로움이 있는 것이 문제점으로 부각되고 있다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 문서 양식과 인식이 필요한 부분을 미리 지정해 놓고 문자 인식을 하는 방법 및 시스템을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 1절에서 기존 연구의 문제점과 본 연구의 필요성에 대해 서술한다. 제 2절에서는 문자 인식에 대한 관련연구에 대하여 소개한다. 제 3절에서는 논문에서 제안한 시스템의 구성에 대하여 설명한다. 제 4절에서는 제안된 시스템을 구현하기 위한 방법에 대해 상세하게 서술한다. 제 5절에서는 실험 및 결과에 대해 설명한다. 마지막으로 제 6절에서는 본 논문에서 제안한 시스템의 기대효과와 향후 연구 방향을 통해 논문을 결론짓는다.

II. 관련연구

문자 인식 방법에는 문자패턴의 표현 방법과 분류 방법에 의하여 원형 정합(template matching) 방법, 통계적(statistical) 방법, 구조 분석적(structural analysis) 방법 등을 나누어진다. 원형 정합 방법은 문자의 패턴을 배열 형태로 분류하여 원형 패턴과 비교하여 가장 유사한 형태를 찾아내는 방법이다. 이 방법은 주로 하나의 고정된 형식의 글자에 대해서만 사용하여 초기에는 많이 사용하였으나 문제점으로 인해 현재는 사용빈도가 적다.[3] 통계적 문자 인식 방법은 인식대상에서 특징벡터를 추출하여 문자 인식을 하는 것이다. 이 방법에서는 학습단계를 통하여 특징벡터의 통계적인 확률분포 특징을 구하고 그것을 이용하여 특징벡터 공간을 각 부류별로 분리시킨다. 이러한 분류 모델은 수학적으로 잘 정의되어 있으며 이 방법에서는 패턴의 표현, 즉 입력패턴의 특성을 어떻게 잘 정의하느냐 하는 것과 어떻게 그 특성을 추출하느냐 하는 것이 매우 중요한 문제이다.[4] 구조적 문자 인식 방법은 문자의 구성 원리에 입각하여 자획 등과 같은 문자를 구성하는 기본요소와 그들의 연관성을 추출하여 문자를 인식하는 것이다. 이 방법은 이론적인 정립이 잘 되어 있고 방법이 단순한 장점을 가지고 있으나 특징 문자에 대한 규칙이 활자체에 따라 매우 다양해지므로 인식 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다.[5]

최근에는 문자 패턴을 인식하기 위해 인공지능시스템 중 하나인 신경망 모델(neural networks model)을 이용한 연구가 각광을 받고 있다. 신경망 모델은 인간의 뇌의 구조를 모형화하여, 뇌를 구성하는 기본 단위인 뉴런으로 단순한 계산소자의 연결을 통해 좋은 성능을 나타낸다는 것을 기본 가정으로 하고 있다. 따라서 신경망 모델은 음성, 문자, 이미지 분석 등 계산량이 많고 병렬성을 요구하는 문제에 적합한 모델이다. [6]

III. 시스템 구성

서론에서 언급한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서 제안한 광학 문자 인식 시스템의 구성요소는 문자 학습부, 문서 양식 설정부, 이미지 등록부, 문자 인식부, 및 데이터 저장부로 나누어진다. 이에 따른 시스템 구성도는 그림2와 같다.

3.1 문자 학습부

문자 학습부는 문자의 기준 값을 생성하기 위해 다수의 문자 이미지를 학습하여 데이터 저장부에 저장한다. 그림1은 기준 값이 되는 문자 이미지의 예를 도시한 그림으로, 문자 이

미지 학습 시 그림1에 도시된 바와 같은 다양한 서체의 문자 이미지를 사전에 정의된 순서에 따라서 입력하여 학습을 수행한다. 즉, 그림1에 도시된 문자 이미지를 입력하고, 해당 이미지에 대한 픽셀 값의 정보를 추출하여 문자 학습부에서 기준 값을 생성하여 데이터 저장부에 저장하는 것이다.

```

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z
a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
    
```

<그림 1> 기준값이 되는 문자 이미지

3.2 문서 양식 저장부

문서 양식 저장부는 문자 인식을 하고자 하는 문서의 양식 및 문서에서 문자 인식을 수행하고자 하는 인식 영역을 설정한다. 즉, 고정된 양식을 가진 문서들(예: 보험 계약서, 금융 상품 계약서 등)은 고객으로부터 직접 작성되는 부분이 한정되어 있으므로 문자 인식을 하기 전에 인식을 하기 위한 문서의 양식과 그 양식에서 필요한 인식 영역(고객으로부터 직접 작성되는 부분)을 미리 설정해놓는 것이다. 이러한 문서의 양식과 이에 따른 인식 영역은 벡터로 설정할 수 있는데, 벡터의 형식은 '[문서 이름, 데이터 순서, 좌하 좌표, 우하 좌표, 좌상 좌표, 우상 좌표]'로 나타낼 수 있다. 예를 들어 '보험증서 1'이라는 문서에서 인식하고자 하는 영역의 위치 사각형의 좌표가 '(100, 150), (200, 150), (100, 180), (200, 180)'과 '(300, 150), (400, 150), (300, 180), (400, 180)'와 같이 두 군데일 경우, 벡터의 형식은 '[보험증서 1, 0, 100,150, 200,150, 100,180, 200,180]'과 '[보험증서 1, 1, 300,150, 400,150, 300,180, 400,180]'로 나타낼 수 있다.

장치들이 해당된다.

3.4 문자 인식부

문자 인식부는 문서 이미지가 문서 양식 설정부에서 설정된 문서의 양식에 해당할 경우, 설정된 인식 영역 내의 문자를 문자 학습에 의해 생성된 기준 값과 비교하여 인식한다. 즉, 이미지 등록부를 통해 임의의 문서 이미지가 입력되었을 때, 자동으로 문서 이미지의 양식을 인식하여 임의의 문서가 문서 양식 설정부에서 설정된 문서 양식들 중 일치하는 것이 있을 경우, 해당되는 양식의 설정된 영역 내의 문자를 인식하는 것이다.

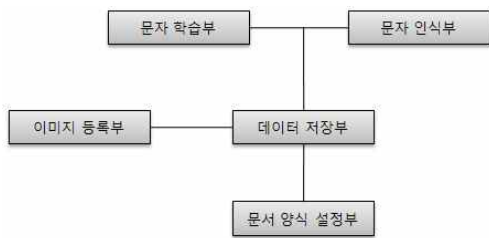
3.5 데이터 저장부

데이터 저장부는 문서 양식 설정부, 이미지 등록부 및 문자 인식부에서 발생한 데이터를 저장한다. 즉, 문서 양식 설정부에서 발생한 인식 영역이 설정된 문서 양식 데이터, 이미지 등록부에서 발생한 문자 인식을 하고자 하는 임의의 문서 이미지 데이터, 및 문자 인식부에서 발생한 문자 인식이 완료된 데이터 등을 저장한다. 여기에서, 인식 영역이 설정된 문서의 양식은 앞서 예를 든 바와 같이 '[보험증서 1, 0, 100,150, 200,150, 100,180, 200,180]'의 벡터 형식으로 저장될 수 있다.

이러한 구성으로, 입력된 임의의 문서가 인식 영역이 설정된 문서 양식에 해당될 경우, 필요한 부분만을 빠르게 인식할 수 있어 문자 인식의 효율성을 높일 수 있고, 대량으로 문자 인식을 가능하게 한다.

IV. 시스템 구현 방법

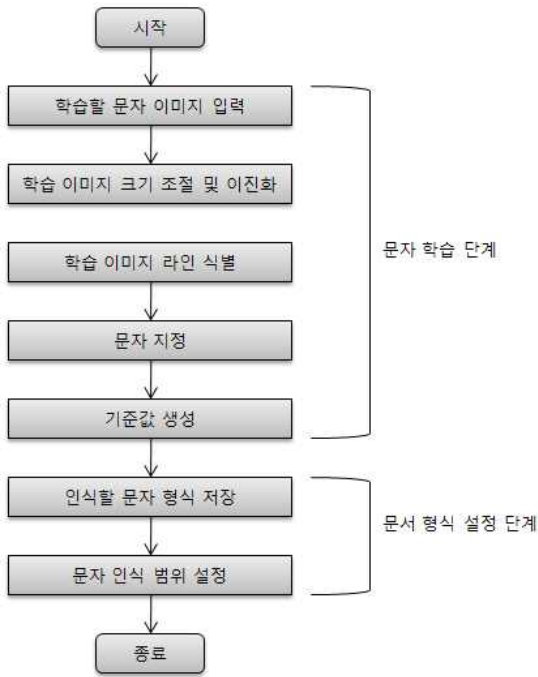
그림3은 본 논문에서 제안한 광학 문자 인식 방법 중에서 문자 인식 단계의 전처리 단계인 문자 학습 단계 및 문서 양식 설정 단계를 나타낸 흐름도이다.



<그림 2> 시스템 구성도

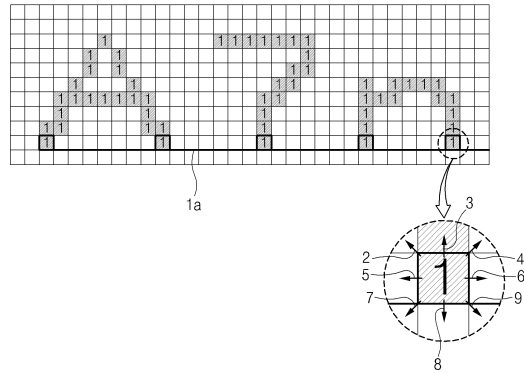
3.3 이미지 등록부

이미지 등록부는 문자 인식을 수행할 문서 이미지를 입력한다. 이미지 등록부로는 문서를 이미지화하는 스캐너 등의



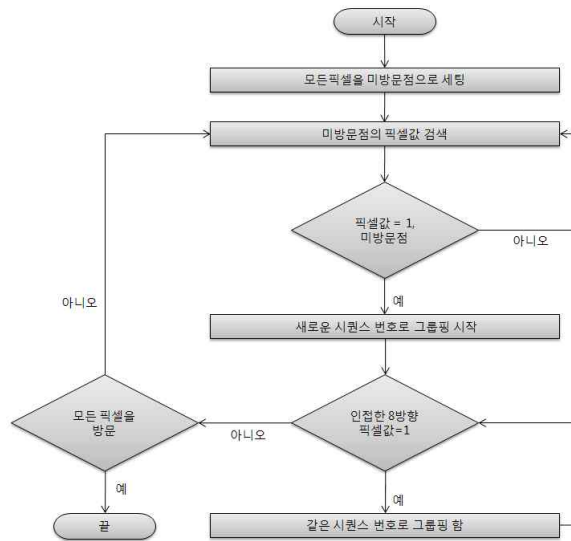
<그림 3> 문자 학습 단계 및 문서 양식 설정 단계의 흐름도

문자 학습 단계에서는 먼저 문자 인식 시 이용되는 문자의 기준 값을 생성하기 위해 학습할 문자 이미지를 입력한다. 다음으로, 입력된 이미지의 전체 크기를 조절하고 이미지의 전체 픽셀을 이진화한다. 이미지 전체 크기의 조절은 미리 설정되어 있는 일정한 규격에 맞게 조절할 수 있는데, 데이터의 크기를 줄이기 위해 미리 설정되어 있는 규격보다 작은 크기의 이미지는 조절하지 않고, 큰 크기의 이미지만 축소하는 방식으로 이미지 크기를 조절한다. 이렇게 크기가 조절된 이미지들은 전체 픽셀을 0(흰색) 또는 1(검은색)로 구분하여 이진화한다. 0은 배경을 지칭하고, 1은 문자를 지칭하며, 이로 인해 문자와 배경을 확실하게 구분한다. 다음으로, 이진화된 이미지에서 문자 인식을 효율적으로 하기 위해 그림4와 같이 라인 식별을 한다.



<그림 4> 라인 식별

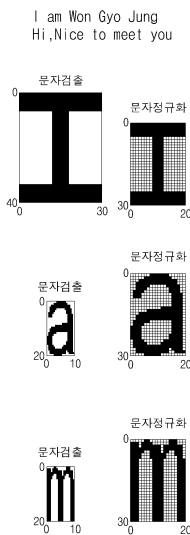
이미지에 라인을 생성하는 것이 아니라 1로 인식된 문자 픽셀들 중 최하위에 위치한 픽셀을 연결하여 라인(1a)으로 인식하는 것이다. 이때, 최하위에 위치한 픽셀을 중심으로 좌상(2), 중상(3), 우상(4), 좌(5), 우(6), 좌하(7), 중하(8), 우하(9)와 같이 인접한 8방향에 위치한 픽셀의 유사도를 측정하여 임의의 라인이 끝나는 마지막 점을 찾을 수 있다. 라인이 식별되면, 각 라인별로 서로 이웃하고 있는 픽셀 값이 1인 문자를 지칭하는 픽셀들끼리 그룹화한다.[7][8] 이 경우에도, 라인 식별 단계에서와 마찬가지로 픽셀의 유사도를 측정하는데, 유사도 측정을 통한 그룹화 방법은 그림5과 같다.



<그림 5> 문자 그룹화 알고리즘

그림3의 학습 이미지 라인 식별 단계에서 먼저 이진화된 학습 이미지의 모든 픽셀들을 미 방문점으로 세팅한다. 그리고 나서, 미 방문점의 픽셀 값을 검색하는데, 처음에는 방문한 픽셀이 없으므로 전체 이미지의 맨 처음 픽셀부터 시작한다. 다음으로, 각 픽셀별로 문자를 지칭하는 픽셀 값인 1을 가진 픽셀인지를 확인하여, 문자를 지칭하지 않는 픽셀 값인 0을 가진 픽셀이라면 다시 미 방문점의 픽셀 값을 검색하게 되는데, 이 경우에는, 이전에 방문한 픽셀을 제외하고, 다음 미 방문 픽셀의 값을 검색한다. 만약, 검색한 픽셀이 문자를 지칭하는 픽셀 값인 1을 가지고 있다면, 새로운 번호로 그룹화를 시작한다. 이때, 그림4에 도시된 바와 같이, 검색한 1 값을 가진 픽셀을 중심으로 인접한 8방향(2 내지 9)의 픽셀 중에서 미 방문 픽셀이 픽셀 값 1을 가졌는지를 확인하여, 픽셀 값 1을 가진 픽셀이 있을 경우 같은 번호로 그룹화 한다. 그리고 나서, 가장 최근에 그룹화된 픽셀을 중심으로 다시 인접한 8방향의 픽셀값이 1인지를 반복하여 검색한다. 이때, 인접한 8방향의 픽셀 중에서 픽셀 값 1을 가진 미 방문 픽셀이 하나도 없을 경우에는 이진화된 학습 이미지의 모든 픽셀을 방문하였는지를 확인하여, 모든 픽셀을 방문하였다면 그룹화를 종료하고, 미 방문 픽셀이 존재할 경우에는 미 방문점의 픽셀 값 검색 단계부터 다시 시작한다.[9]

다음으로, 그룹화된 학습 이미지 픽셀을 미리 설정된 크기에 맞도록 정규화시키고, 정규화된 문자 이미지에 미리 지정된 학습 데이터를 지정한다. 예를 들어 그림6과 같이 그룹화된 학습 이미지 픽셀의 크기가 10×20 또는 30×40일 경우 모두 미리 설정된 크기인 20×30으로 정규화한다.

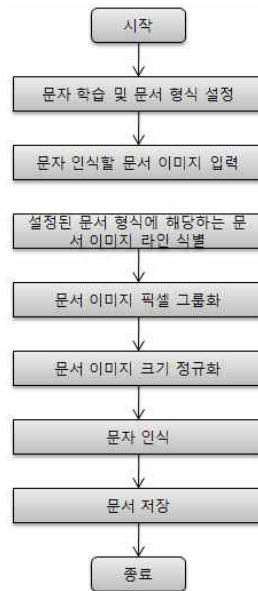


<그림 6> 문자 정규화

본 논문에서는 20×30의 크기로 정규화하지만, 다른 크기로 정규화하여도 무방할 것이다. 정규화된 문자에 미리 지정된 학습 데이터를 지정하는 예를 들어보면, 그림1에 도시된 문자 이미지를 학습시켰을 경우, 지정되는 문자는 학습 데이터인 'A, B, C, D, ..., Z, a, b, c, ..., z, 0, 1, 2, ..., 9'가 될 것이다. 학습 데이터는 정해진 것이므로 첫 번째로 그룹화된 것은 'A'이고, 두 번째로 그룹화된 것은 'B'이고, 마지막으로 그룹화된 것은 '9'가 된다. 이와 같이 학습 데이터에 지정된 다수의 학습 이미지를 통합하여 문자의 기준 값을 생성한다.

다음으로, 문서 양식 설정 단계가 이어지는데, 인식하고자 하는 문서의 양식을 저장한 다음, 문서의 양식에서 문자 인식을 수행하고자 하는 영역을 저장한다. '금융 상품 계약서'를 예로 들어보면, 인식하고자 하는 문서의 양식에는 금융 상품 가입자의 신상 정보, 가입하고자 하는 금융 상품명, 상품 만기일, 이율, 이체일, 및 이체 계좌번호 등의 내용을 기록할 수 있도록 형성된 영역들이 포함될 수 있다. 또한, 문자 인식을 수행하고자 하는 영역은 앞서 언급한 금융 상품 계약서를 구성하고 있는 다수의 영역에서 계약자가 자필로 작성해야 하는 공란이 될 수 있으며, 이 공란들의 좌표를 저장한다.

그림7은 문자 인식 단계를 나타낸 흐름도이다. 그림3의 문자 학습 단계 및 문서 양식 설정 단계가 종료되면 문자 인식 단계가 실행된다.



<그림 7> 문자 인식 단계의 흐름도

이미지 등록부를 통해 문자 인식하고자 하는 임의의 문서 이미지가 입력되면, 입력된 문서 이미지의 전체 크기를 그림3의 설명에서 언급한 학습 이미지 축소 및 이진화 단계와 동일한 방식으로 축소하고 이진화시킨다. 이렇게 이진화된 문서 이미지가 문서 양식 설정 단계에서 설정된 문서 양식에 해당할 경우, 문서 이미지는 그림3의 설명에서 언급한 학습 이미지 라인 식별 단계 내지 학습 이미지 픽셀 그룹화 단계에서와 동일한 방식으로 문서 이미지 라인을 식별하고 문서 이미지 픽셀을 그룹화한다. 문서 이미지가 설정된 문서 양식에 해당하는지 여부는 그림2의 설명에서 언급된 벡터의 형식을 이용하여 알 수 있다. 즉, [문서 이름, 데이터 순서, 좌하 좌표, 우하 좌표, 좌상 좌표, 우상 좌표]의 벡터 형식으로 문서 양식이 설정되었을 경우, 입력된 문서 이미지에 '문서 이름'을 설정한 영역의 좌표를 적용하여, 영역 내의 문자를 인식함으로써 알 수 있다.

'문서 이름' 영역이 문자 인식 단계를 거쳐서 먼저 문자 인식된 후, 설정된 문서 양식에 해당하는 문서 이미지에서만 나머지 설정 영역 내의 문자 인식을 실행한다. 다음으로, 그룹화한 문서 이미지 픽셀의 크기 또한 그림3의 설명에서 언급한 문자 지정 단계에서의 그룹화된 문서 이미지 픽셀의 크기를 미리 설정된 크기에 맞도록 정규화시키는 방식과 동일한 방식으로 정규화시킨다. 이후, 저장된 문서 양식에 설정된 문자 인식 영역 중, '문서 이름'을 제외한 나머지 영역에 해당하는 좌표 영역 내의 그룹화된 문서 이미지 픽셀을 문자 인식한다. 이때, 아래의 식(1)에 따라서 문자 학습 단계에서 생성한 문자의 기준 값과, 인식하려는 문서 이미지 픽셀의 MSE(Mean Square Error) 값을 비교하여 문자 인식을 수행한다.[10]

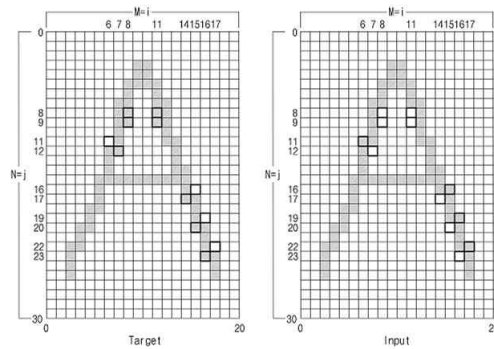
$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N [|T(x_i, y_j) - I(x_i, y_j)|] \dots\dots\dots (1)$$

MSE 값을 구하는 식은 상기 식(1)과 같고, T는 목표값(Target)으로, 20×30으로 정규화된 학습한 문자의 기준 값을 의미하고, I는 입력값(Input)으로, 20×30으로 정규화된 입력 문서 이미지의 그룹화된 픽셀을 의미한다. 상기 식(1)을 상세히 서술해보면, MSE 값은 각 픽셀별로 목표값에서 입력값의 픽셀 값을 뺀 값의 절대 값을 모두 합한 다음, 20×30으로 정규화된 하나의 이미지를 구성하고 있는 픽셀의 총 개수로 나누었을 때의 평균값을 의미한다. 즉, MSE 값이 클수록 타겟과 입력의 픽셀 오차가 크다는 것으로 간주할 수 있고, MSE 값을 백분율로 나타내어 그 값이 사전에 정의된 오차

범위(예: 25%)를 초과할 경우에는 기준 값에 해당하는 문자가 아닌 것으로 간주한다. 마지막으로 위의 단계를 거쳐 문자 인식이 완료된 입력 문서는 데이터 저장부에 저장된다.

V. 실험 및 결과

제 4절에서 서술한 문자 인식부에서 문자 인식을 하는 것에 대한 실험을 다음과 같이 수행하였다.



<그림 8> 실험 예제

그림8을 참조하여 문자 'A'에 대한 MSE 값을 구해보면, M×N=20×30=600이므로, 20×30의 이미지는 600개의 픽셀로 구성되어 있음을 알 수 있다. 각 픽셀별로 타겟에서 입력의 픽셀 값을 뺀 값의 절대 값을 계산해보면, |T(x6y11)-I(x6y11)|=1, |T(x7y12)-I(x7y12)|=1, |T(x8y8)-I(x8y8)|=1, |T(x8y9)-I(x8y9)|=1, |T(x11y8)-I(x11y8)|=1, |T(x11y9)-I(x11y9)|=1, |T(x14y17)-I(x14y17)|=1, |T(x15y16)-I(x15y16)|=1, |T(x15y20)-I(x15y20)|=1, |T(x16y19)-I(x16y19)|=1, |T(x16y23)-I(x16y23)|=1, |T(x17y22)-I(x17y22)|=1 (이미지에서 굵게 표시된 픽셀들의 계산 값을 의미함)을 제외한 나머지 픽셀의 계산 값은 0이므로, 절대 값의 합은 12이다. 즉, 12/600을 백분율로 고치면 2%가 나와 25%를 초과하지 않으므로 그림8에 도시한 문서 이미지는 타겟 이미지에 해당하는 문자로 간주되어 문자 인식될 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 정형화된 문서 양식과 문자 인식이 필요한 부분을 미리 지정해 놓고 문자 인식을 하는 광학 문자 인식 방법 및 시스템을 제안하였다. 제안된 광학 문자 인식 시스템은 문자 인식 속도를 향상시키고 보다 정확한 문자 인식이 가능하게 되어, 전체적으로 문자 인식의 효율을 향상시킬 수 있을 것이다. 또한 대량의 정형화된 문서의 문자 인식에도 효율적인 것으로 기대한다. 향후 본 논문에서 제안한 시스템을 개발하여 다양한 폰트의 문자에 대한 문자 인식의 정확도 및 효율성을 측정하는 실험이 이루어져야 할 것이다. 또한 실제 시스템을 개발하면서 본 논문에서 예상하지 못했던 문제점을 발견하는 것과 추가적인 개선 사항에 대해 연구하는 것이 필요하다.

참고문헌

- [1] 한국전자통신연구소, "문자 인식에 있어서 기존의 방법과 Neural Network 방법의 비교 분석", 연구보고서, 1990.
- [2] 이광로, "문자인식에 관한 연구", 전자통신동향분석, 1989.
- [3] Mardia, Kanti V. "Statistics and Images", Vol 1, Vol 2Cartax Publishing Company, Oxford, UK, 1995.
- [4] 조완현, "문자인식의 소개 및 새로운 인식시스템의 개발", Proceedings of the Spring Confernce Korea Statistical Society, pp. 68 - 74, 1998.
- [5] 조영임, "인공지능시스템", 홍릉과학출판사, pp. 7-164, 2003.
- [6] J. L. McClelland and D.E. Rumelhart, "Learning Internal Representation by Error Propagation,", Parrallel Distributed Processing, Vol. 1, 1986.
- [7] J. Fournier, M. Cord, S. Philipp-Foliguet, "Back-Propagation Algorithm for Relevance Feedback in Image Retrieval", IEEE, 2001.
- [8] Cash, G. and Hatamian, M. "Optical character recognition by the method of moments". Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol. 39, pp. 291-310, 1987.
- [9] De Luca, P. and Gisotti, A. "Printed character preclassification based on word structure". Pattern Recognition, Vol. 24, pp. 609-615, 1991.
- [10] R.M.K. Sinha, et al., "Hybrid contextual text recognition with string matching", IEEE PAMI, Vol. 15, pp. 915 - 923, 1993.
- [11] Chaudhuri, B.B., Pal, U., "A complete Bangla OCR system", Pattern Recognition, Vol. 31, pp. 531 - 549, 1998.