

2005年 8月

博士學位論文

탐색 네트워크를 이용한
무제약 필기체 한글 분할에 관한 연구

朝鮮大學校大學院

컴퓨터工學科

朴 聖 浩

탐색 네트워크를 이용한
무제약 필기체 한글 분할에 관한 연구

A Study on the Segmentation of Unconstrained Handwritten
Hangul using Search Network

2005年 8月

朝鮮大學校大學院

컴퓨터工學科

朴 聖 浩

탐색 네트워크를 이용한
무제약 필기체 한글 분할에 관한 연구

指導教授 趙 範 峻

이 論文을 工學博士學位 論文으로 提出함.

2005年 4月

朝鮮大學校大學院

컴퓨터工學科

朴 聖 浩

朴聖浩의 博士學位 論文을 認准함.

委 員 長 朝鮮大學校 教授 _____ 印

委 員 朝鮮大學校 教授 _____ 印

委 員 朝鮮大學校 教授 _____ 印

委 員 朝鮮大學校 教授 _____ 印

委 員 朝鮮大學校 教授 _____ 印

2005年 6月

朝鮮大學校 大學院

목 차

List of Titles

표 목 차	iii
그 립 목 차	iv
<i>ABSTRACT</i>	vi
제 1 장 서 론	1
제 2 장 문자열 분할	4
제 1 절 무제약 필기체 한글	4
제 2 절 중국어와 영어	7
제 3 장 무제약 필기체 분할 기법	12
제 1 절 비인식 문자열 분할	12
제 2 절 인식기반 문자열 분할	17
제 4 장 탐색 네트워크	26
제 1 절 탐색 네트워크 및 윈도우 생성 절차	26
제 2 절 전처리	30
제 3 절 분할대상 블록	36
제 4 절 탐색 네트워크 구성	40

제 5 장 탐색 윈도우	44
제 1 절 탐색 윈도우 설정	44
제 2 절 분할경로 선택	57
제 6 장 실험 및 결과	69
제 1 절 실험 데이터	69
제 2 절 실험 및 결과분석	72
제 7 장 결론	82
참 고 문 헌	84

표 목 차

List of Tables

표 5-1	탐색 윈도우 용어 정의	45
표 6-1	실험 데이터	71
표 6-2	문자 분할 정확도	73
표 6-3	기존연구의 실험결과 비교	78

그림 목 차

List of Figures

그림 2-1 중국문자 이미지 예	10
그림 2-2 중국문자 분할과정 예	11
그림 3-1 수직 투영에 의해 WR과 BR로 나뉘어진 문자열	14
그림 3-2 외곽선 추적에 의한 영문자 분할	15
그림 3-3 분할 인식 기법	16
그림 3-4 문자열에서 그룹핑 결과 예	20
그림 3-5 배제된 영역의 추가	21
그림 3-6 문자 블록 합성	23
그림 3-7 수직선 그래프를 이용한 문자분할 예	25
그림 4-1 탐색 네트워크 및 윈도우 생성 절차	29
그림 4-2 입력 한글 이미지	32
그림 4-3 이진화 이미지	33
그림 4-4 세션화 이미지	35
그림 4-5 ‘광주광역시’ 수직투영 결과	38
그림 4-6 분할대상 블록	39
그림 4-7 ‘광주광’의 특징점 생성 및 경로	42
그림 4-8 탐색 네트워크	43

그림 5-1	탐색 윈도우 설정	46
그림 5-2	$S_B < \alpha$ (예상문자수 2개) 인 경우	48
그림 5-3	$\alpha \leq S_B < \beta$ (예상문자수 3개) 인 경우	50
그림 5-4	$\beta \leq S_B < \gamma$ (예상문자수 4개) 인 경우	56
그림 5-5	L_{sw} 에서 분할경로(A)	59
그림 5-6	L_{sw} 에서 분할경로(B)	60
그림 5-7	L_{sw} 에서 분할경로(C)	61
그림 5-8	L_{sw} 에서 분할경로(D)	62
그림 5-9	L_{sw} 에서 평균물동량 계산	66
그림 5-10	R_{sw} 에서 평균물동량 계산	67
그림 5-11	최종 분할결과	68
그림 6-1	수직투영에 의한 분할결과	74
그림 6-2	분할 성공 예	75
그림 6-3	‘제주도’ 수직투영 결과	79
그림 6-4	‘제주도’ 원본과 분할결과	80
그림 6-5	탐색 네트워크에서 실패 예	81

ABSTRACT

A Study on the Segmentation of Unconstrained Handwritten Hangul using Search Network

Park, Sung-Ho

Advisor : Prof. Cho, Beom-Joon, Ph. D.

Dept. of Computer Engineering

Graduate School of Chosun University

A correct segmentation of unconstrained handwritten Hangul is a prior work for word recognition. But, because of difficulty of structural properties of Hangul, most recognition processes ready device for artificial segmentation control in collection process of character image to minimize segmentation problem until present. There were a lot of applications that structural difference of Europe language character is represented in English and Hangul segmentation method that have been studied with do not reflect enough characteristic of Hangul applies as it is segmentation method about character in spite of definition. This became major cause that deteriorate whole performance of system adding ambiguity of recognition unit that is segmented as a result.

In this paper, we proposed a new method which is not used by previous method that uses a virtual network in the space between characters for segmentation of unconstrained handwritten Hangul.

Characteristic of proposed method is first, characters that segmentation is available by straight line path through vertical projection because width between characters exists in some degree among string inputted at rough segmentation step are used segmentation result. Selected string that more detail segmentation is required being used by segmentation procedure through rough segmentation step, and overlap each other without being so or connect as segmentation target block apart.

Second, created search network to receive segmentation path of zigzag line form in empty unfilled space between characters at detail segmentation step. this wished to receive segmentation path of zigzag line form that can get results that human creates segmentation path with hand first of all as process that create of various virtual paths from empty unfilled space between character for character segmentation. Made virtual path created by feature points of each characters connects each other nodes that formed node, and is considered feature point in segmentation target block for search network creation. Also, created search network that considered each node that is feature point too after calculates center of gravity point on inside of each triangles in created network to receive segmentation path that is minute more in created network, and again this existent nodes and virtual path that is minute more by linking each other have.

Third, this paper made search attained in area that set search windows and wants. That is, because final segmentation path need not to search segmentation path about all circumferences of search network because should exist between character. Proposed search windows was sets to differ according to literal number that is expected that exist in segmentation target block, and used average character width by standard that expect

literal number. In this paper, set search windows of three occasion is a $S_B < 100$ pixel by when is a $100 \leq S_B < 150$ pixel and occasion that is a $150 \leq S_B < 200$ pixel divide.

Fourth, suggested search procedure that is suitable to considered search network and search windows concept. Gave search condition to pare down calculative burden in process that prevent and searches that segmentation path that do not want at segmentation path searching process through transfer between node for possibility segmentation path search is created. And selected segmentation path to maximize that do sum of the average flow amount expected among possibility segmentation path as best segmentation path.

By pure Hangul data set that itself is collected for an experiment presents instance of Hangul name of our country to 40 students and did so that data of total about 800 may be collected, symbol and situation did not become suitable candidate for marriage here and number of string has distribution of a 2~5.

In an experiment result, the proposed method could get 91.4% segmentation accuracy from 800 word set including touched and overlapped characters collected from various writers.

It is selection process of feature point part considers in priority, childhood that search network is created to be supplemented hereafter. Composition of good search network must make literal structural properties be reflected in this processes because heighten possibility that can search right segmentation path. Method that proposed in this paper should like to be extended to vowel and consonant of Hangul, Should like to be supplemented so that is applicable in English character and number.

제 1 장 서 론

현재 우리는 주변에 존재하는 많은 자료를 컴퓨터에 정보화하여 기록함으로써 과거에 비해 시간적, 경제적 비용 절감을 하고자 한다. 그 중에 한가지로 문서인식 기술을 들 수 있으며, 우수한 문서인식을 수행하기 위해서는 먼저 처리 대상이 되는 문자열에 대한 정확한 분할이 선행되어야 한다. 그러나 대부분의 인식기는 미리 완벽한 분할을 가정하고 개발되고 있으며, 인식률에 영향을 미치는 분할문제 그 자체에 대한 관심은 매우 낮은 편이다. 본 논문에서는 무제약 필기체 한글을 효율적으로 분할하기 위하여 탐색 네트워크를 이용하는 방법을 제안한다.

무제약 필기체 한글인식의 경우는 분할 문제를 최소화하기 위하여 문자 영상의 수집과정에서 인위적인 분할을 위한 장치를 마련하거나, 영어로 대표되는 서양언어권 문자와 한글의 구조적 차이점이 명확함에도 불구하고 지금까지 연구된 한글 분할방법은 한글의 특징을 충분히 반영하지 못한 채 영문자에 대한 분할 기술을 그대로 적용하는 경우가 많은데 이는 분할된 인식 단위의 모호성을 가중시켜 시스템의 전체적인 성능을 저하시키는 주요 원인이 된다. 기존의 분할 방법들은 주로 영문 문자열이나 디지털 숫자열을 대상으로 치중되어 제안되었고 필기체 한글을 대상으로 하는 연구는 아직까지 부족하다.

문자열을 분할하는 방법은 크게 두 가지로 구분될 수 있고, 하나는 높은 분할 신뢰도를 갖는 단 하나의 분할 결과를 생성하는 방법이고 또 하나는 여러 분할 후보를 인식 과정으로 넘겨줌으로써 인식과 함께 단어 분할 결과를 정하도록 하는 방법이다. 전자는 외적분할이라고 하며 인식기와 상관없이 문자들을 분할하는 방법으로 처리속도를 향상시키지만 접촉된 문자들에 대하여 정확한 분할점을 찾는 것이 어려우며 잘못된 단어 분할 결과를 수정할 수 없다는 단점이 있다. 후자는 내적분할로 여러 단어 분할 결과를 수용하므로 단어 인식률은 좋지만 넘겨온 분할 결과만큼 여러 번의 인식을 수행해야 함으로 처리속도에

대한 부담이 크다.

몇 가지 연구들을 보면 주어진 위치와 각도에서 분할은 평균 문자폭과 펜 두께 등과 같은 필기 스타일 변수의 전역적인 특성들과 앞의 분할 위치와의 거리 등과 같은 지역적인 특성들에 의존하여 비용함수를 이용하는 연구[1]가 있고, 적절한 템플릿을 사용하여 공간적인 특성을 이용한 연구[2]에서는 연결된 필기체 숫자열을 분할하고 물 저장 개념의 특징에 근거한 연구[3]는 접촉된 숫자열에서 하여 최상의 분할경로를 결정한다.

무제약 중국문자를 분할하기 위하여 2단계로 이루어진 알고리즘[4]에서는 Coarse 단계에서 적절한 이미지 선처리 후에 배경골격과 수직투영에 의해 적합한 분할경로를 가능한 많이 생성한 뒤, Fine 단계에서 퍼지 결정 규칙에 의해 모든 가능한 경로를 평가하여 분할경로를 결정한다.

무제약 한글을 분할하기 위하여 전처리와 인식단위 분할에 응용할 수 있는 한글의 구조적 특성을 반영한 기울기 보정 알고리즘[5]에서는 필기 습관과 구조적 특성을 반영하면서 문자의 접촉점을 찾아내기 위한 기초 함수들과 접촉점들의 분할방법이 있고, 군집화에 기반을 분류방법을 적용[6]하여 단어 분리를 위한 최적의 조합을 선정하는 연구[7]가 있다. 그리고 한글의 자소 구성 법칙과 경험적 지식을 기반으로 하는 연구[8]는 수직투영에서 검출한 획으로부터 구조적 특성을 이용하여 자소 클래스 영역을 검출한다.

본 논문에서는 무제약 필기체 한글을 높은 신뢰성으로 인식하는 과정에서 필수적으로 선행되어야 하는 문자분할을 위하여, 기존의 분할방법에서 제안된 적이 없는 문자간 여백공간에서 탐색 네트워크를 구성하여 꺾은선 형태의 다양한 분할경로를 찾을 수 있는 방법을 제안한다.

제안된 방법의 특징은 많은 분할방법들이 사용하는 직선화된 분할경로 보다는 자음과 모음의 조합에 의해 구성되는 한글의 구조적 특성을 고려하여 문자간 여백 공간을 활용하는 꺾은선 형태의 분할경로를 제시함으로써 필기자의 특성에 따른 전처리 과정의 제약을 작게 한다.

전체 분할대상 문자열 중에서 중첩되거나 접촉되어 보다 세밀한 분할이 요구되는 문자열만을 따로 분할대상 블록으로 선택하고, 선택된 블록에 대해서도 적은 수의 특징점을 고려하면서도 다양한 분할경로를 탐색할 수 있도록 네트워크 개념으로 접근하여 탐색해 나가는 새로운 방법을 찾는다. 탐색 네트워크에서 문자간 여백 공간인 원하는 영역에서 분할경로가 탐색되도록 하기 위하여 분할대상 블록의 크기에 따라 예상되는 문자수의 추정하고, 이것에 기반하여 서로 다른 탐색 윈도우가 설정된다. 탐색 네트워크와 탐색 윈도우를 기반으로 가능 분할경로들을 선택하고 이것들 중에서 노드들의 평균 이익, 즉 물동량의 흐름을 최대화하는 개념을 적용하여 최상 분할경로를 찾음으로써 무제약 필기체 한글 분할을 연구한다.

제 2 장 문자열 분할

제 1 절 무제약 필기체 한글

정보화 시대에서 컴퓨터를 이용한 정보 교류가 이루어지고 있으나 아직까지도 인간의 정보 전달 방법 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 문서 형태에 의한 것이다. 그러나 서면으로 작성된 문서를 인간이 컴퓨터에 입력하는 과정에서 많은 시간과 노력이 요구됨에 따라 자동 문서인식 기술 방법에 대한 연구의 필요성이 높아지고 있으며 최근에 많은 연구가 국내·외에서 진행되고 있다.

문서인식에 관해서 국내에서 진행된 연구 성과들은 인쇄체 한글을 대상으로 하는 연구였고 얼마 전부터 무제약 필기체를 대상으로 하는 연구[9]가 진행되어지고 있다. 무제약 필기체 문서의 인식율을 향상시키기 위해서는 전체 입력된 문자열로부터 개별 문자로 분할하는 문자 분할 과정은 반드시 필요하며, 이는 필기체 한글 자동인식 시스템의 효과적인 실용화를 위해서 수행되어야 하는 매우 중요한 부분이다. 하지만 필기체 영문자나 숫자의 분할 연구 진행에 비해서 한글[10,11]을 비롯해 일본어[12,13], 인도어[14,15], 중국어[16,17,18] 등 동양권 언어의 분할 연구는 상대적으로 부족하다.

분할 문제 중에서 구문으로부터 단어로 분할하는 연구[19]는 주로 영문 문자열에 국한되어 진행되어 왔으며 필기체 한글에 대한 단어분할 연구는 미미한 상태이다. 단어분할에 관한 기존 연구는 사용되는 특징에 따라 크게 두 가지로 구분한다. 인접한 화소들의 집합을 연결 요소로 정의할 때, 첫 번째 방법에서는 연결 요소 사이에 존재하는 갭의 크기 정보만을 사용하여 단어분할을 수행[11]하는데 갭의 크기 측정 단계와 분류 단계로 나누어 생각한다. 두 번째 방법은 사람의 단어분할 방법[9]을 모방한다. 단어분할을 위해 갭의 크기 정보뿐만 아니라 쉼표나 마침표의 존재, 영문의 경우 단어의 첫 문자가 대소문자인지의 여

부, 숫자의 존재에 관한 정보 등을 사용한다. 그러나 인식 과정을 거치지 않고 두 번째 방법[20]에서 사용되는 정보들을 얻기는 매우 어렵다.

분할 문제 중에서 단어로부터 문자로 분할하는 연구[21]는 수직투영 방법이나 연결 화소의 분석에 의한 방법 등은 모두 문자폭에 크게 의존하기 때문에 문자폭의 변화가 큰 필기체에 직접 적용하기가 어려운 점이 있다. 또한 필기체 문자열에서 문자들은 흔히 중첩되거나 접촉되는 특성 때문에 기존의 분할 방법으로는 이들 문자들을 정확하게 분할하는데 한계가 있다.

필기체 영문자나 숫자의 분할에 많이 쓰이는 방법으로 외곽선 추적에 의한 문자분할 방법[22]과 구조적 특징[23]을 이용한 방법이 있지만 한글은 자소의 모아쓰기 형태를 갖고 있어 문자 내에 여백이 존재할 뿐만 아니라 문자와 문자 사이의 접촉에서 나타나는 특징이 자소내 또는 자소간 결합에서 흔히 발생하기 때문에 영문자나 숫자에 적용된 방법이 직접적으로 적용되기에는 무리가 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 한번의 수직투영으로 칼럼에 대한 특징들을 추출함과 경험적 지식을 이용하여 분할을 수행한다.

한글 문자에 대한 필기체 한글 패턴을 분석하고 인식한 연구[24]에서는 접촉 글자 분할, 자모 분할, 획 분할 등의 작업이 매우 중요하다. 글자간 유사성과 분류 가지수의 다양성 등으로 인하여 획을 추출하고 이를 분석하여 인식하는 접근방법[25]이 주류를 이루기 때문에, 한글 문자의 획 분석은 어느 문자 집합보다 중요하다. 이들 작업을 위하여 세선화와 직선근사에 의존하는 연구[9]가 있어 왔지만 세선화에 기반한 획 추출 알고리즘[24]을 적용하였을 경우 발생하는 정보손실 및 패턴 왜곡은 인식을 매우 어렵게 만드는 요소가 된다.

세선화의 단점을 보완하기 위한 방법론이 제시되었는데 문자 영상의 평균 획 굵기, 한글의 구성 원리, 그리고 한글 자모의 특성을 이용하여 접촉 획의 분리와 형태의 왜곡을 해결[26]하는 지식기반 세선화 방법, 이진 영상이 아닌 명암 영상을 입력으로 하여 이를 3차원 지형으로 간주하고 다양한 기하학적 특징점들을 찾아 골격선을 추출하는 방법[27]등이 있다.

우편물 주소영상에 나타나는 단어를 인식하기 위해 입력 패턴을 수직으로 과분할하고 인식 과정에서 이들을 조합하여 사용하는 방법[6]이 있다. 이것은 우편물에 나타나는 단어에 국한된 기법으로서 일반적인 경우에 적용할 수 있는 기법으로는 세션화 방법밖에는 찾아보기 어렵다. 한글 문자의 모양 분해는 두 가지 다른 응용이 있고, 첫째는 한글 단어를 문자 단위로 또는 한글 문자를 자모 단위로 분할하는 것이다. 한글 단어를 문자 단위로 분할하는 경우의 목적은, 다른 글자에 속하는 획이 같은 부품에 포함되지 않도록 하는 최소 개수의 부품 집합으로 분해하는 것이다. 두 번째 응용은 한글 인식인데, 모양 분해된 패턴으로부터 다양한 특징을 추출하여 사용한다.

제 2 절 중국어와 영어

2.1 중국어

동양 언어권으로 한글과 체계가 유사한 중국어 분할에 있어서 중요 문제는 에러 경향이 있는 문자 분할이다. 필기체 중국어의 분할 정책은 적당한 이미지 보정 처리 후, 문자 배경의 골격에 따라 수직, 수평적인 계획에 따라 세분화 되어 분할된다.

기계 출력 문자들의 분할 및 인식을 위한 연구[28]가 있고 필기체 문자들의 분할을 위하여 특징에 기반한 연구[29]가 있다. 그리고 필기 방식의 어떤 지식에 근거한 분할 방법[30]이 제안되었다. 시스템에서 사용되는 지식에는 일부 두드러진 문자들에 대한 구조적 정보와 배경지역과 문자 요소의 특별한 결합을 정의하는 규칙들[31]을 포함된다. 이러한 접근법의 주요 이점은 이미지 처리 기법과 근사적 규칙의 결합에 있다.

원래의 펜 움직임을 구성하는 획의 시간적인 순서를 복원하기 위하여 인간 행동에 의해 사용된 인식-행동에 관한 처리를 부분적으로 모의 실험하는 분할 방법[32]이 있다. 구조적 특징들을 사용하여 단일접촉 필기체 숫자열을 분리하기 위한 방법[33]은 특정한 접촉지역에서 미리 선택된 접촉점에 대해 윤곽선의 위상적 특징점 분포에 근거하여 구조적인 특징들을 분석한다.

구조적 모델에 근거한 연결된 숫자 분리에 대한 방법[34]은 영문자와 중국어를 다루는데 너무 많은 모델이 요구된다. 단일과 이중-접촉된 필기체 숫자열을 분할하기 위해 윤곽선 곡률에 근거한 알고리즘[35]은 모든 분할경로가 특징들과 가중치 함수들의 집합에 의해 저장되고 가장 인접한 이웃해 분류기에 의해 시험된다. 연결된 필기체 숫자 열의 분할을 위한 배경 골격화 연구[36]가 있고, 모양분해 알고리즘을 적용한 연구[37]가 있다.

2-단계 접근법[4]은 곡선 또는 구분선의 경로를 얻기 위하여 채택되는데, 중국어가 2개 이상의 성분으로 이루어져 있고 왼쪽에서 오른쪽으로 쓰여지는 특

정과 결부된다. 예를 들어 “明”은 두 가지의 성분 “日”과 “月”로 나누어진다. 각각의 문자는 자기 자신의 다른 의미를 가지며 “日”과 “月”로 “明”을 분할시키는 것으로는 부정확한 결과를 가진다. 그러므로 그림 2-1과 같이 영상 처리 후 오직 공간 정보에 기초가 형성된 분할 정책이 이루어진다. 가능한 많은 분할경로들을 확인하고 부적당한 경로들을 포함하지 않기 위해 수직투영와 배경 골격에 의해 분할한다. 경로 분할의 예를 그림 2-2에 표현하였다.

2.2 영어 및 숫자

모양분해가 영어와 필기 숫자에 적용된 경우 획 두께의 변화된 지점을 탐지하고 기하학적 조건에 의해 이 지점이 다른 문자와 교차해서 생기는 부분인지를 판단하여 분할[38,39]하는 방법, 수직으로 과분할을 허용하여 분할된 각 부품들 간의 매칭 패스 조건을 검사하여 재조합을 통한 분할[40,41] 방법이 있다.

결합 부품을 찾기 위하여 패턴 외곽선에 존재하는 우세점을 탐지하고 이들을 특징점으로 사용한 연구[42]가 있고 이를 보완하기 위하여 불록 힐 알고리즘[43]을 적용하여 특징점을 탐지한다. 원래 영상을 제거하고 남은 연결 요소들인 오목 영역에서 가장 내부에 있는 점을 탐지하여 오목 특징점으로 간주하고, 오목 특징점이 한 개일 때는 B-접점으로 분할이 이루어지며, 두 개일 때는 T-접점의 분할이 이루어진다. 세 개 이상일 때는 세 개 이상의 획이 복잡하게 만나는 상황으로서 다른 획들을 연결해 주는 지점으로 간주하여 결합 부품으로 분할한다.

무제약 필기체 숫자열에 대한 인식은 우편 번호, 약식 서류 및 수표 인식 등 다양한 응용 분야를 가지므로 최근까지 활발히 연구[44,45]되고 있다. 일반적으로 숫자열에는 독립된 개별 숫자, 접촉된 숫자, 중첩된 숫자 및 여러 획으로 조각난 숫자들이 포함되어 있다. 숫자열에서 개별 숫자들을 분할하는 방법은 숫자열을 이루는 개수에 대한 정보를 사전에 알고 있는 경우와 그렇지 않은 경우

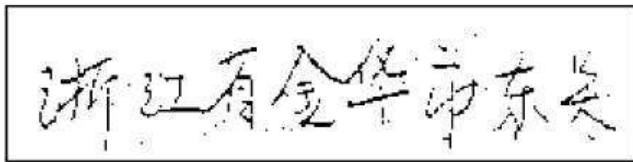
에 대해 구분되어 연구되고 있다. 그러나 인접하는 두 개의 숫자가 서로 접촉되어 있을 경우 이들을 개별 숫자로 분할하는 것이 매우 어렵기 때문에 이를 해결하기 위해 많은 분할 방법[46]들이 별도로 연구되고 있다.

숫자열로부터 개별 숫자로 분할하는 방법[47]으로는 분할 기반, 인식 기반 및 전역적 방법들로 분류될 수 있다.

분할 기반 방법[35]은 분할 특징점들을 찾아 분할 법칙에 의해 인식 결과를 이용하지 않고 숫자열에서 개별 숫자를 분할하여 인식하는데, 수직투영, 윤곽선 및 세션화된 영상의 특징점들이 분할점을 찾는 데 이용된다.

분할 기반 방법의 문제점을 개선하기 위하여 인식기반 분할 방법[48]이 연구되었는데 여러 개의 후보 분할점들에 의해 분리된 숫자들의 인식 결과에 따라 최종 후보 분할점이 결정되도록 한다. 이 방법은 분할 기반 방법의 오 분할에 의한 인식 오차는 줄일 수 있지만 최종 분할점을 결정하기 위한 계산 과정이 매우 복잡하다.

전역적 방법[49]은 분할을 기반으로 하여 인식하는 위의 두 가지 방법들이 가질 수 있는 오 분할에 의한 인식 오차를 줄이기 위해서 접촉된 숫자들을 분할하지 않고 인식하지만 추출해야 하는 특징의 수나 메모리가 많이 필요하여 인식기가 복잡해진다. 최근에는 각 분할 방법의 장점을 이용하여 서로의 문제점을 보완시켜 줄 수 있는 결합된 분할 방법이 연구되고 있다.



(a)



(b)

그림 2-1. 중국문자 이미지 예

(a) 원본 이미지, (b) 영상 처리 후 이미지

Fig. 2-1. (a) Original Image, (b) Image Processing Image
in Chinese Character

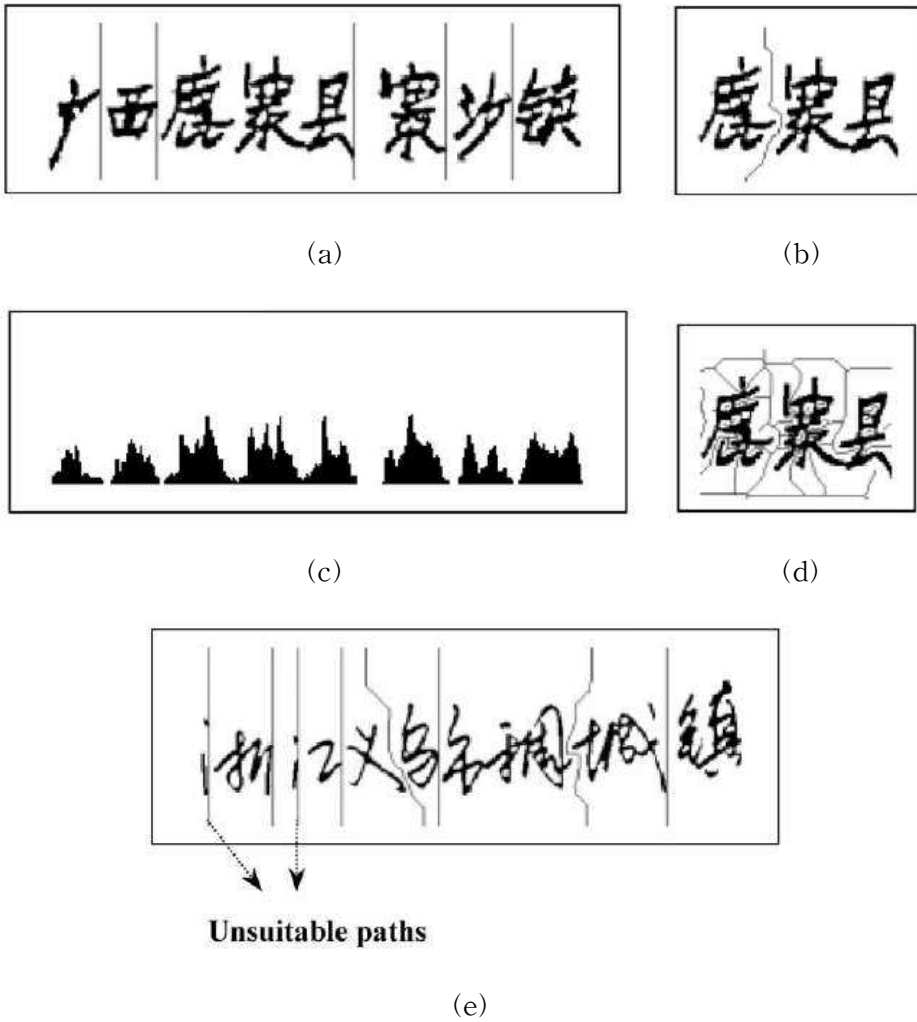


그림 2-2. 중국문자 분할과정 예

Fig. 2-2. Example of Segmentation in Chinese Character

제 3 장 무제약 필기체 분할 기법

제 1 절 비인식 문자열 분할

인식기와 상관없이 문자를 분할하는 방법으로 속도가 빠른 장점을 가지지만 접촉된 문자들에 대하여 정확한 분할점을 찾는 것이 어렵다. 오분할된 경우 인식률의 저하를 가져오는 단점이 있으며 크게 수직투영에 기반한 방법, 외곽선 추적에 의한 방법, 구조적 특징을 이용한 방법이 있다.

수직투영에 기반한 방법은 투영값 $V(x)$ 가 일반적으로 문자 내에서보다 문자 사이에서 작다는 점을 이용한다. 인쇄체 문자 분할에 많이 쓰이는 방법으로 필기체 영어나 숫자의 분할을 위하여 다른 방법과 병행하여 많이 쓰인다. 그림 3-1은 인쇄체 문자분할의 예를 보여준다. 수직투영에 의하여 문자열을 백런 영역과 흑런 영역으로 나눈 후에 문자폭을 기반으로 한 문자 결합 신경망과 문자 분할 신경망에 의하여 분할된 문자를 결합 시키고 결합된 문자들을 분할시킴으로써 개별 문자를 추출한다.

외곽선 추적에 기반한 방법은 지역적 최소치 또는 지역적 최대치에 의하여 예상되는 분할지점을 찾고, 예상 문자 폭에 의하여 최종 분할점을 결정하는 방법이다. 그림 3-2는 외곽선 추적에 의한 영문자 분할 방법을 보여준다. 문자열을 상중하의 3개의 영역으로 나누고 중앙부에서 Lower Contour의 외곽선을 따라 지역적 최소치를 구하여 수직투영으로부터 얻은 투영값을 고려하여 예상 분할점을 찾는다. 그리고 예상 문자폭을 추정하여 필요없는 점들을 묶어 최종 분할점을 결정한다.

구조적 특징을 이용한 방법에서는 숫자나 문자의 접촉 형태를 몇 가지 특징으로 분류[50]하고 접촉 유형을 찾아 분할하는 방법이다. 그림 3-3은 숫자의 접촉 형태를 5가지로 분류하고 그에 따른 결과이다. 대략적인 분할 영역을 구하

기 위해 각 알파벳을 구조적 특징에 따라 구분한 후 단어 내에 그러한 특징이 존재하면 각 알파벳이 존재하는 것으로 판단하여 분할 영역을 구한다. 그리고 문자분할에 중요한 역할을 하는 문자의 일부분을 인식함으로써 문자의 위치를 추정하는 방법과 연결 화소의 분석에 의하여 예상 분할점들을 찾은 후 예상 문자폭을 이용하여 분할하는 방법[51]이 있다.

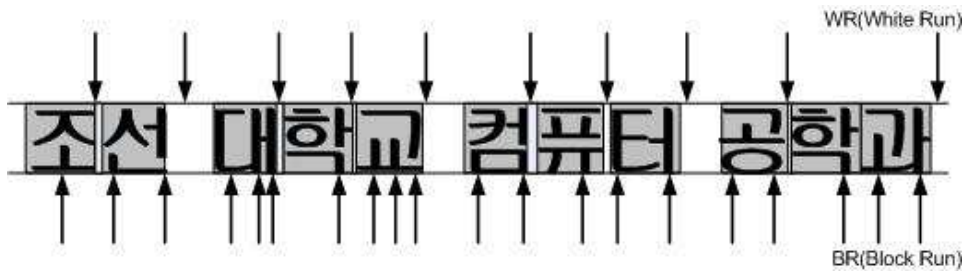
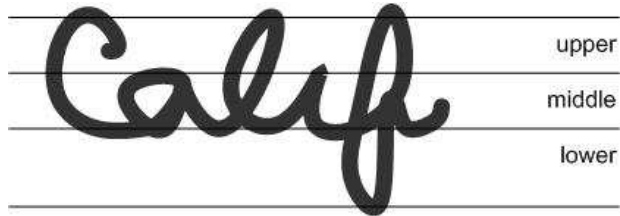


그림 3-1. 수직 투영에 의해 WR과 BR로 나뉘어진 문자열

Fig. 3-1. String of WR and BR by Vertical Projection



(a) 기준 영역



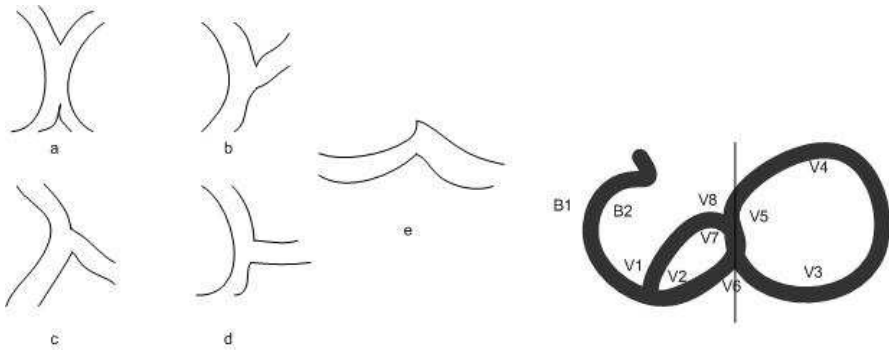
(b) 예상 분할점



(c) 최종 분할점

그림 3-2. 외곽선 추적에 의한 영문자 분할

Fig. 3-2. Segmentation of Characters by Control Analysis



(a) 접촉 유형

(b) 수직 방향 edge 정점들

그림 3-3. 분할 인식 기법

Fig. 3-3. Segmentation-Recognition Method

제 2 절 인식기반 문자열 분할

인식을 기반으로 하는 분할 인식 기법은 직접 분할 기법에 의해 생성된 수직 투영 값 및 윤곽선의 기하하적인 특성을 이용하여 모든 예상 분할점들을 찾고 일정한 폭을 갖는 사전 분할들을 묶어 분할 및 인식과정을 반복적으로 수행하여 인식 결과를 얻는 방법으로 고려되는 모든 영역들을 인식해 보아야 하기 때문에 시간이 많이 소요되는 단점을 가지고 있다.

2.1 문자영역 추출

입력 장치의 특성 등으로 인하여 발생하는 잡음의 분석, 입력 영상 처리시에 발생하는 정보의 손실, 그리고 필기체 문자에서 발생하는 변형의 양상 등 다양하게 나타나는 문자내의 형태 변형을 분석 및 흡수하기 위해 분할 이전에 전처리 과정을 수행한다.

필기체 문자열의 효과적인 구조 분석을 위해 적응 이진화, 평활화, 레이블링에 의한 잡음제거, 투영방식 등의 전처리 과정이 수행될 수 있으며 Hough 변환에 의한 과도한 연산을 피하기 위해 윤곽선을 추출한 후 기울기를 추정하고 밀립 변화에 의한 기울기 보정이 수행된다. 기울기가 보정된 문자열 영상은 수행한 문자 합성을 위해 재투영되며 2차 투영에 의한 추출 블록들은 기울어짐이 보정되지 않은 1차 투영에 의해 추출된 블록들보다 많은 한글의 구조적 특징들을 갖추고 있으므로 보다 원활한 문자 합성을 수행한다. 또한 필기 형태에 따라 모음 부분에서 상하로 지나치게 크게 발생하는 혹들은 한글의 구조적인 특징을 추출하는데 많은 장애가 있으므로 문자의 기본 형태를 손상시키지 않는 범위 내에서 통계적인 특성에 의해 제거한다. 이와 같은 전처리 과정을 거친 문자열 영역은 2차 투영에 의하여 생성된 자·모음 및 단일 문자, 여러 문자들이 모여 있는 블록을 형성한다. 따라서 에지점 추정 방식에 의한 문자 분리를

수행하기 위하여 자음과 모음이 분리되어지지 않는 형태로 합성한 후 문자 분할을 수행한다.

영상 전처리의 주된 목적은 명도영상으로부터 깨끗한 이진영상을 얻는 것이다. 영상은 용지에 색이 있거나 문자영역의 영상 밝기가 일정하지 않는 영상으로부터 최대한 잡영을 줄이기 위해서 이차원 엔트로피를 이용한 이진화 방법을 이용하기도 한다. Otsu의 방법이 비교적 좋은 성능을 보이지만 특정 영역을 처리하지 못하는 단점이 있었기 때문에 이진화시에 화소의 밝기 뿐만 아니라 주변 화소의 밝기를 고려하는 방법이 이용된다.

문자영역 추출을 위해서는 고정영역 추출과 적응적 추출방법이 사용된다. 고정영역 추출[52,53]은 인쇄 우편영상을 위한 것으로서 수신인 문자영역에 대한 통계 자료를 바탕으로 수신자 주소를 충분히 포함하는 영역을 문자영역으로 추출하도록 한다. 불필요한 문자가 문자영역에 포함되어 있더라도 해석단계에서 이를 제외하므로 일부 오류는 시스템의 처리 성능에 별 영향을 미치지 않는다. 적응적 추출 방법[54,55]은 관심영역을 정하여 영상을 분석한 후 문자열을 추출하고 수신인 주소에 해당하는 문자열이 포함되도록 문자영역을 추출하는 방법이다. 미리 관심 영역을 정하는 이유는 불필요한 계산을 방지하기 위해서다. 적응적 추출 방법에서 문자열을 추출하는 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 관심영역을 정한다.
- ② 관심영역에서 연결요소를 추출한다.
- ③ 연결요소 크기의 중간 값을 기준으로 좌우로 근접한 연결요소들을 연결하여 유사 문자열을 생성한다.
- ④ 관심영역의 좌측이나 상단에 접해있으면서 치우쳐 있는 유사 문자열을 배제한다.
- ⑤ 유사 문자열을 그룹핑한다.
- ⑥ 그룹핑된 문자열을 이용하여 영상을 생성한다.

위와 같이 문자영역을 추출하면 원하는 영역에 들어온 잡음을 배제할 수 있다는 장점이 있고 군집한 문자열을 그룹핑하기 때문에 관심영역에 속해 있더라도 따로 떨어져 있는 문자열을 배제할 수 있으므로 문자의 크기에 따른 영역 변화에 둔감한 방법이 된다.

필기체 한글영상에서 추출한 문자영역은 필기자에 따라서 기입 방식이 다르기 때문에 다양한 형태를 갖고 있다. 인쇄 문자열의 경우 단순한 방법으로 처리 가능한 경우가 많으나 기울어진 영상과 문자열 간에 일부 접촉이 있는 영상이 있어서 단순한 방법으로 문자열 추출 성공률을 높이기 어렵다. 이와 같이 다양한 형태의 영상으로부터 문자열을 분할하기 위해서 연결요소를 기반으로 문자열을 추출하는 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 이진화된 영상에서 연결된 요소들을 추출한다.
- ② 연결요소들의 크기별로 누적 빈도를 구하고 문자 높이를 추정하는데, 그룹핑 시에 기준 길이로 이용된다.
- ③ 추정된 문자 크기보다 훨씬 큰 연결요소는 처리과정에서 제외하고 작은 잡영도 배제한다.
- ④ 충분히 겹쳐있는 연결요소들을 그룹핑한다.
- ⑤ 단어, 문자열 레벨의 그룹핑을 한다.
- ⑥ 그림 3-4와 같이 그룹의 크기가 한 문자의 크기보다 작고 가까이에 문자열그룹이 있으면 떨어진 영역처리를 위하여 그룹핑한다.
- ⑦ 문자열 후보그룹의 경계선간의 거리와 상관성을 분석하여 하나의 문자열이 될 가능성이 높은 문자열을 그룹핑한다.
- ⑧ 중간 과정의 복잡도를 줄이기 위해서 작은 연결요소 영역은 미리 배제하고 큰 연결요소 영역은 문자열 추출과정에서 배제한다. 그림 3-5와 같이 문자열을 추출한 후 배제된 영역 중에서 문자열과 겹친 부분은 다시 추가한다.
- ⑨ 분할된 새로운 문자열을 생성한다.

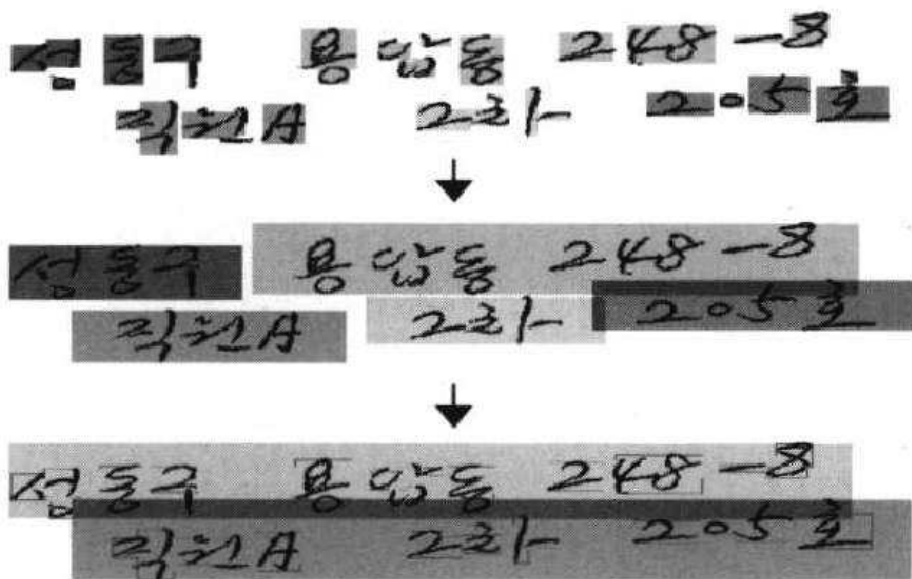


그림 3-4. 문자열에서 그룹핑 결과 예

Fig. 3-4. Example of Grouping Result in Character String

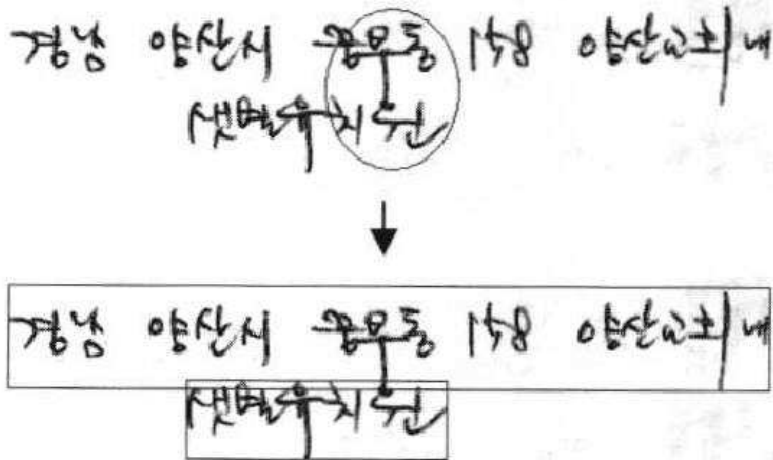


그림 3-5. 배제된 영역의 추가

Fig. 3-5. Addition of Exclusion Area

2.2 문자 블록 합성

수직투영에 의해 발생한 블록들 자체에 대한 합성과 분할이 함께 수행되어 각 문자들이 분할되지만 분할 및 병합이 동시에 수행될 경우 많은 구조적인 정보가 요구된다. 반면에 수직투영에 의한 추출 블록들만을 합성할 경우 몇 가지 단순한 구조적 정보에 의해서도 쉽게 합성된다.

필기체 문자열 영역에서 개개의 문자로 분할하는데 사용될 구조적인 정보를 제한하고 원활한 문자 단위의 분할을 이루기 위해서 간단한 구조적 정보를 이용하여 분리되어진 블록들을 합성하는 방법[56,57]이 있는데 2차 투영후 추출된 블록들에 대하여 다음과 같은 조건을 만족하면 합성이 이루어진다.

(조건 1) 같은 문자열에 존재하는 경우

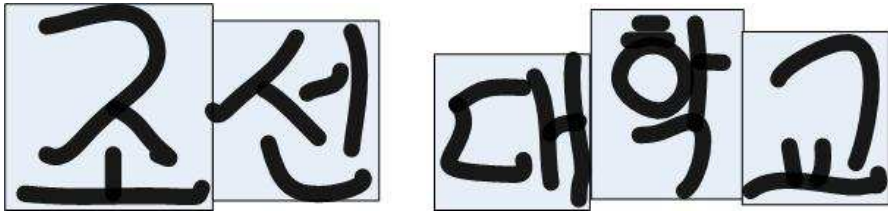
(조건 2) 기울기 보정후 2차 투영후에 생성된 블록들 사이의 평균값보다 작은 경우

(조건 3) 후행하는 블록의 형상 비율이 선행하는 형상 비율보다 작은 경우

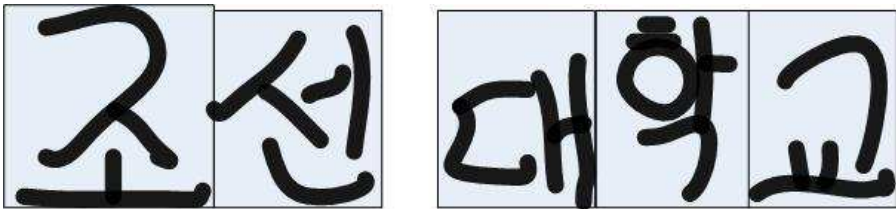
(조건 4) 후행 블록의 세로폭이 선행 블록의 대각선 길이보다 큰 경우

위의 4가지 조건은 우선순위로 수행되며 위의 조건들을 적용하면 그림 3-6과 같이 블록들이 합성된다.

문자열의 에지점 추정을 위해서 사용되는 방법은 필기체 문자열이 분할 예비선들에 의해 발생 가능한 4가지 패턴의 범주를 벗어나지 않으며 원활한 분할이 이루어지지만 이 패턴중 문자의 접촉이나 겹침이 심하게 발생한 경우 문자분할에서 오분할이 발생하는 경우가 존재한다. 필기자에 따라 문자의 크기, 높이, 폭이 다를뿐만 아니라 문자의 높이에 대한 폭의 비가 크게 다르므로 인쇄체와는 다른 형태의 공간특징이 필요하다.



(a) 2차 투영



(b) 블록 합성

그림 3-6. 문자 블록 합성

Fig. 3-6. Combine of Character Block

2.3 문자분할

실제로 문자 모양에 대한 아무런 정보 없이 문자를 정확하게 분할하기는 어렵기 때문에 문자 분할 방법[58,59]은 한글 문자열 영상에서 수직 획 정보를 추출한 후 추출된 정보를 이용하여 문자분할 위치를 추정한다. 특히 문자열 영상을 다루는데 수직선 인접 그래프를 사용함으로써 문자분할 후보의 위치를 찾을 수 있으며 영상의 분할 및 분할된 영상의 결합을 빠르게 수행할 수 있다.

문자분할 과정은 우선 입력 문자열 영상으로부터 수직선 인접 그래프를 생성하여 수직선 정보를 추출하고 각 수직선의 좌우측에 인접한 수직선을 검사하여 각 수직선의 연결 관계 그래프 정보를 얻는다. 수직 획 및 문자 성분의 추출 단계에서는 일정 임계치 값을 기준으로 각 종류별로 인접한 수직선들을 모아 수직선 그룹을 생성한다. 이것에 대하여 그림 3-7과 같이 크기가 임계치 값보다 작은 수직선 그룹은 인접한 수직선 그룹과 병합하고 상하로 겹친 수직선 그룹들은 서로 병합하여 수직 획 및 문자 성분을 추출한다. 마지막으로 추출한 각 문자 성분을 다양하게 조합할 수 있는 문자분할 경로 그래프를 구성하여 인식 대상인 개별 문자영상을 추출한다. 최적의 문자분할 조합을 위한 문자 분할 경로는 문자 인식 및 주소해석 결과에 의하여 결정된다.

경기도 이천군 서원시 노성면

(a)

경기도 이천군 서원시 노성면

(b)

그림 3-7. 수직선 그래프를 이용한 문자분할 예

Fig. 3-7. Example of Segmentation using Vertical Graph

제 4 장 탐색 네트워크

제 1 절 탐색 네트워크 및 윈도우 생성 절차

본 논문에서 제안하는 분할 알고리즘의 전체 절차는 그림 4-1에 나타내었고, 전체 분할과정은 분할대상 블록을 선택하는 시점을 기준으로 크게 2단계로 나누어진다.

개략 분할단계로서 전체 문자열 중에서 중첩이나 겹촉되지 않아서 별개로 쉽게 구분 가능한 문자를 구분해 내는 과정이다. 이를 위해 입력된 전체 문자열 영상에 대해 전처리 과정인 이진화와 세선화를 거친 후 수직투영을 수행한다. 그 결과로부터 직선화된 분할경로로 쉽게 구분이 가능한 문자들은 분할된 결과로 처리하고, 보다 더 세밀한 분할이 요구되는 문자열만을 따로 분할대상 블록으로 선택한다.

본 논문에서는 서로 다른 필기자로부터 2~5개의 문자열로 구성된 무제한 필기체 한글 문자열 데이터를 수집 하였다. 그리고 수직투영 결과에서 실제로 하나의 문자 구성이지만 마치 분리된 문자처럼 판단되는 것을 방지하고자, 한글의 6가지 자음과 모음의 조합으로 구성되는 구조적 특성과 수집된 문자열 데이터를 분석하여 평균 문자폭 W_m 을 고려하여 하나의 문자가 구성되도록 한다. 개략 분할단계 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 입력 문자열을 이진화하고 세선화 처리한다.
- (2) 이진화 영상에 대하여 수직투영을 한다.
- (3) 분할대상 블록 선택한다.
 - a) $W_m \leq Threshold$ 이면 하나의 분할결과를 생성한다.
 - b) 그렇지 않으면, 분할대상 블록으로 선택한다.

세부 분할단계에서는 직선화된 분할경로 만으로는 구분이 힘들다고 판단된 분할대상 블록에 대하여 보다 더 세밀한 분할을 수행하는 단계이다. 이를 위하여 문자간에 존재하는 여백공간에서 문자 이미지를 비껴가면서 꺾은선 형태의 원하는 분할경로를 찾기 위하여 문자간 여백공간에 탐색 네트워크를 이용한다.

먼저, 분할대상 블록에 존재하는 각 문자들의 끝부분과 접촉된 부분을 탐색 네트워크 생성을 위한 특징점, 즉 노드로 고려하고, 이 특징점들을 서로 연결하여 경로, 즉 링크를 생성하기 위하여 본 논문에서는 딜라우닝 방법을 사용한다. 이 방법은 특징점을 삼각형 요소로 분할할 경우에 가장 질이 좋은 세변의 길이가 비슷한 요소로 분할되는 방법이다. 또한 보다 더 세밀한 네트워크를 생성하기 위하여 특징점이 연결된 각 삼각형의 내부에 무게 중심점을 고려하고 이것을 삼각형의 세 특징점과 다시 서로 연결하여 탐색 네트워크를 구성한다. 그리고 탐색 네트워크에 대하여 분할대상 블록 S_B 의 길이에 따라 예상되는 문자수를 계산하고 이것에 맞는 서로 다른 탐색 윈도우를 설정한다. 이를 이용하여 문자와 문자 사이에서 분할경로가 생성되기를 원하는 영역으로 탐색범위를 제한해줌으로서 불필요한 분할경로가 생성되는 탐색의 가지수를 줄이고 동시에 계산적인 부담을 줄인다.

마지막으로 탐색 네트워크와 탐색 윈도우에 기반하여 가능 분할경로를 선택하는 과정에서는 탐색제한 조건들을 부여하여 다양한 꺾은선 형태의 분할경로를 선택한다. 그리고 선택된 가능 분할경로들 중에서 각 경로들의 노드가 갖는 이익, 즉 물동량의 흐름을 최대화하는 경로를 최상 분할경로로 선택한다. 세부 분할단계 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 탐색 네트워크를 생성한다.
 - a) 각 문자의 끝부분과 접촉부분을 특징점으로 고려한다.
 - b) 델라우닝 방법에 의해 특징점을 연결하고, 무게중심점을 고려하여 경로를 생성한다.
 - c) 생성된 경로 중 문자 이미지와 교차되는 경로를 제거하고, 문자이미지와 분리하여 탐색 네트워크를 생성한다.
- (2) S_B 의 크기에 따른 탐색 윈도우를 설정한다.
- (3) 분할경로를 선택한다.
 - a) 탐색제한 조건에 따라 가능 분할경로를 탐색한다.
 - b) 가능분할경로 중 최상 분할경로를 선택한다.

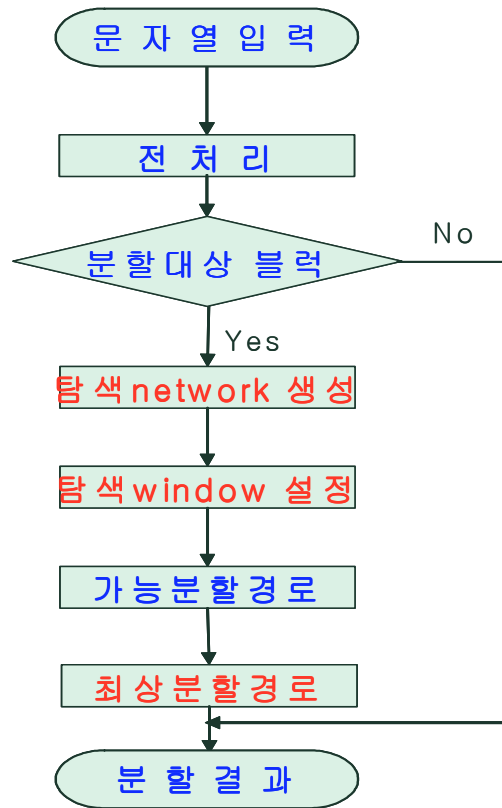


그림 4-1. 탐색 네트워크 및 윈도우 생성 절차

Fig. 4-1. Procedure to Generation of Search Network and Search Window

제 2 절 전처리

일반적으로 다양한 필기자들에 의해 제약 없이 쓰여진 한글 문자열 데이터는 입력 후 분할과정에서의 신뢰성을 높이기 위하여 몇 가지의 전처리 과정을 거친다. 문서처리에서의 대표적인 전처리 과정으로는 입력 문자열의 잡음제거, 문자의 기울기 교정, 문자 폭의 복원, 이진화, 세선화 처리 등을 들 수 있다.

입력 문자열의 잡음 제거는 의도했던 필기와는 무관하게 기계적 잡음이나 필기자의 실수로 인한 잘못된 부분을 제거하는 것으로 이러한 잡음들은 대부분 선분을 이루지 못하기 때문에 일정한 군집에서 특정 범위를 넘어서 존재하는 것을 제거해 줌으로서 오인식을 유발할 가능성을 줄여준다. 문자의 기울기 교정은 문서를 스캐닝 하는 과정에서 흔히 발생하는 오류로 문서를 잘못 놓거나 자동 급지 장치의 다양한 속도 변이에 의해 발생하는 문제점을 수정한다. 문자 폭의 복원 과정은 필기자의 손의 방향과 속도에 따라 필기된 획을 이루는 점간의 간격이 일정하지 않고 문자의 크기도 제각기 다른 형태일 때 폭과 높이를 교정해 준다.

본 논문에서는 분할과정에서 최소한으로 요구되는 전처리 과정으로 이진화와 세선화를 수행하였다. 이는 문서의 기울어짐이나 상이한 문자 폭이 분할과정에서 탐색 네트워크를 생성하는데 큰 영향을 미치지 않기 때문이다.

(1) 입력 이미지

본 논문을 위해 수집된 문자열 이미지는 200 dpi 해상도로 스캐닝하여 DB화하였고, 문자열 이미지의 내용은 우리나라에 존재하는 명칭들로 구성되었다. 또한 문자열 이미지는 너비가 80 에서 300 픽셀 사이의 값을 갖고 높이는 70에서 90 픽셀 사이의 분포를 갖는 비트맵 파일로 저장하였다. 그림 4-2는 입력 이미지의 몇 가지 예를 보여주고 있다.

(2) 이진화

영상 처리를 보다 더 빠르게 하기 위하여 색상수를 줄이는 과정으로, 각 픽셀의 농도 값을 임계값에 의해 흑백 픽셀로 변환해준다. 일반적인 이진화 처리 방법은 전역적 방법과 지역적 방법으로 나누어진다.

전역적 방법은 전체 영상의 그레이 레벨 농도 평균값을 구하여 그 값을 임계값으로 설정하고 대상 픽셀 농도 값이 임계값보다 적으면 검은색으로, 임계값보다 크면 흰색으로 변환하는 방법이다. 임계값 추출은 히스토그램 분석, 영상의 복잡도, 에지 정보 이용, 사용자가 고정된 임계값을 정하여 처리하는 방법 등이 있으며 알고리즘이 간단하므로 물체와 배경의 농도차이가 뚜렷하게 나타나는 영상에서는 효과적인 장점이 있지만 농도변화가 점진적으로 나타나거나 불규칙한 상황에서는 좋은 결과를 얻지 못하는 단점이 있다.

지역적 방법은 이진화 대상 픽셀의 주변 픽셀 값까지 함께 고려하여 중심 픽셀이 주변 픽셀 보다 어두우면 검은색 픽셀로 변환시키고 밝으면 흰색 픽셀로 변환하는 방법이다. 대표적인 것으로 가중치 탐색 평균법, 명암 차 측정법, 경계 근사값법, 블록 이진화법, 유전자 알고리즘을 이용한 방법 등이 있다.

본 논문에서는 기준값 127을 중심으로 하여 작은 값을 가지는 픽셀에는 0을 큰 값을 가지는 픽셀에는 1을 부여하여 정보 처리량을 줄여준다.

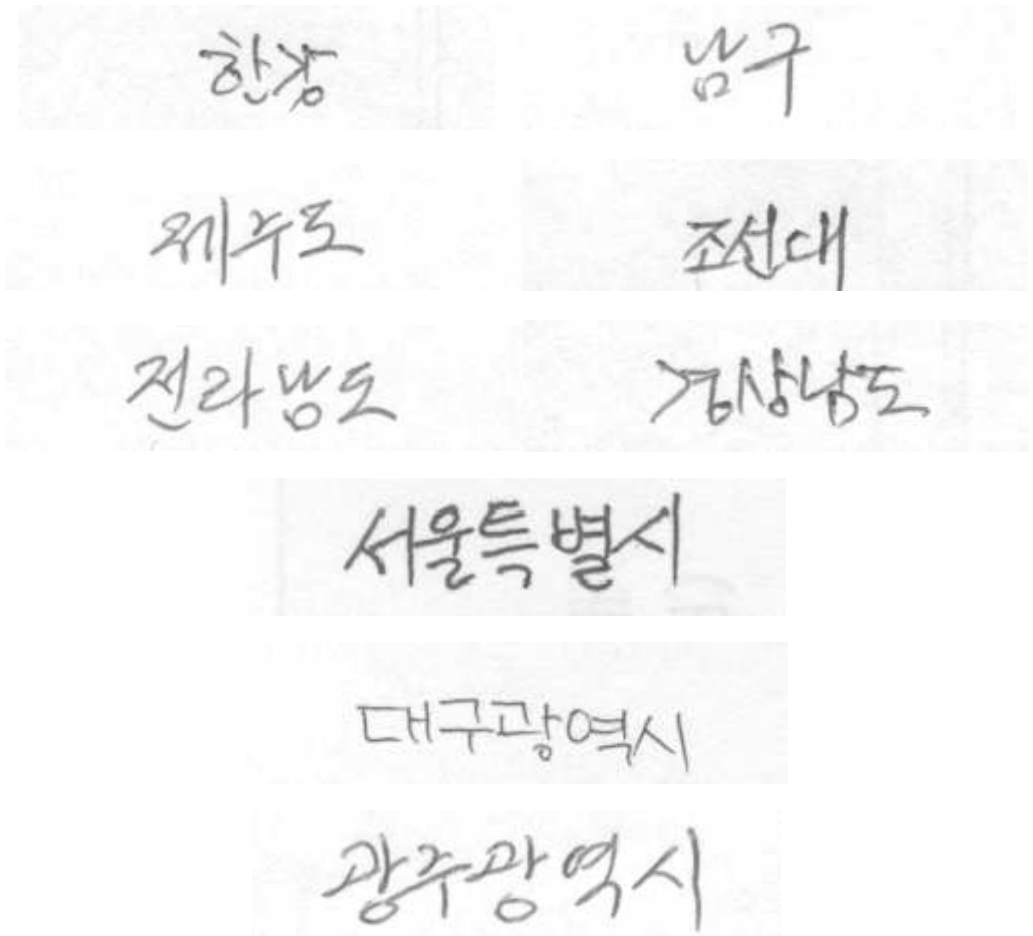


그림 4-2. 입력 한글 이미지

Fig. 4-2. Input Hangul Image

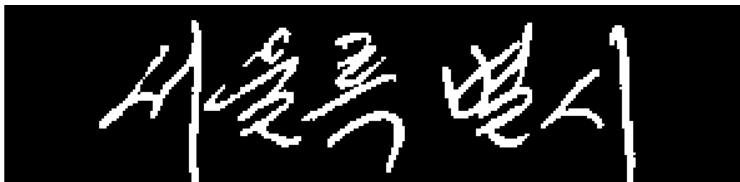


그림 4-3. 이진화 이미지

Fig. 4-3. Binary Image

(3) 세션화

세션화 과정은 대상 물체의 표면을 조금씩 벗겨내어 최종적으로 두께 1의 픽셀 값을 가지도록 하는 것으로 골격화 과정이라고도 한다. 본 논문에서는 탐색 네트워크를 구성하는데 있어서 세션화 처리된 이미지가 요구된다.

세션화 처리를 위한 조건들은 다음과 같다.

- ① 골격선의 폭은 1이어야 한다.
- ② 골격선의 위치는 선 이미지의 중심에 위치해야 한다.
- ③ 골격선은 원래의 선에 있어서의 연결성을 유지해야 한다.
- ④ 세션화 과정에서 골격선의 길이는 계속해서 줄어서는 안된다.
- ⑤ 패턴 윤곽선의 작은 요철로 인한 잡 가지선의 모양이 골격선에 첨가되지 않아야 한다.

세션화는 기본적으로 순차적 방법과 병렬적 방법으로 구분한다.

순차적 처리는 현재의 처리 결과가 과거의 처리값에 영향을 받고 미래의 처리 결과에도 영향을 미치는 것으로 대상 화상만 존재하면 가능한 방법이다. 병렬적 처리는 현재의 처리 결과가 과거나 미래의 처리 결과에 전혀 영향을 받지 않고 미치지도 않는 것으로 추가적으로 대상 화상 크기만큼의 버퍼가 필요하며 현재의 관심 픽셀에 대한 처리 결과를 버퍼에 저장하는 방식으로 전체 화상에 대한 한 번의 처리가 모두 끝난 다음에 버퍼에 저장되어 있는 처리 결과를 원래의 대상 화상 위에 덮어 쓰는 방법이다. 대표적인 것으로 Zhang Suen 알고리즘이 있다.

그림 4-4에 세션화 처리된 이미지의 예를 보여주고 있다.

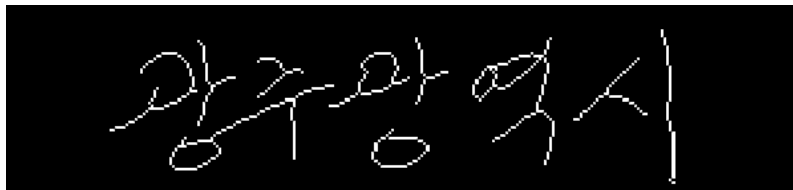


그림 4-4. 세션화 이미지

Fig. 4-4. Thinning Image

제 3 절 분할대상 블록

입력된 문자열에서 중첩되거나 접촉되지 않아서 수직투영만으로도 쉽게 별개로 분리 가능한 문자들을 구분해 내는 단계로서 본 논문에서는 개략 분할 단계라고 명명한다.

개략 분할 단계는 입력된 문자열 중에서 문자간의 폭이 어느 정도 존재하여 수직투영을 통한 직선화된 분할경로에 의해 구분이 가능한 문자들은 개략 분할 단계를 통한 분할결과로서 사용하고, 그렇지 못한 문자들은 다음 세부 분할 단계에서의 더 정밀한 분할경로 생성을 위하여 고려하는 분할대상 블록으로 선택한다.

수직투영 결과에 따른 분할대상 블록을 선택하는데 있어서 본 논문에서는 한글의 구조적 특성을 고려한다. 특히 흔히 나타나는 상황으로 자음과 모음이 하나의 문자를 이루는 것으로 판단되어야 함에도 불구하고 수직투영 결과에서는 별개의 문자인 것처럼 구분된다. 예로서 ‘광주광역시’에 대한 수직투영 결과인 그림 4-5를 보면 문자 ‘시’에 해당되는 부분인 x 축의 210 에서 250 픽셀 범위에서 자음 ‘ㅅ’ 과 모음 ‘ㅣ’ 사이가 떨어진 별개의 부분으로 나누어져서 나타나는 상황이다. 즉, 한글의 구조적 특성상 모음 ‘ㅣ’은 문자의 시작이 아닌 끝부분에 위치하므로 바로 이전의 문자 블록과 결합하여 별개가 아닌 하나의 문자가 되도록 판단해 준다.

본 논문에서는 이를 방지하기 위하여 문자 길이의 평균과 표준편차를 계산하여 임계치 값인 평균 문자폭(W_m)을 식 (4-1)과 같이 설정한다.

$$W_m = \mu \pm \sigma$$

▷ 평균(μ) = 전체 문자열의 길이 / 전체 글자 수

$$\text{▷ 표준편차}(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}} \quad (4-1)$$

여기서, x_i = 문자열의 길이 / 글자 수

n = 실험 데이터 수

결국 그림 4-5의 수직투영에서 문자간의 빈 공간을 나타내는 수직 구분선은 ‘광주광’, ‘역’ 그리고 ‘시’의 세부분에서 나타나고 있고, 여기서 ‘역’과 ‘시’는 개략 분할 단계에서 쉽게 구분되어 얻어지는 분할 결과가 된다. 그러나 필기자에 따라 문자의 크기, 높이, 폭 등이 다를 뿐만 아니라 동일한 필기자에서도 문자폭이 서로 다르게 나타나므로 문자 폭에 크게 의존하는 수직투영 방법을 문자 폭의 변화가 큰 무제약 필기체에 직접 적용하기는 어렵고, 필기체 문자열에서 문자들이 흔히 중첩되거나 접촉되기 때문에 직선화된 분할경로로는 이들 문자들을 정확하게 분할하기 어렵다.

‘광주광’에 해당되는 부분은 적어도 두개 이상의 문자가 존재한다고 예상할 수 있고 더불어 이 문자들은 중첩 또는 접촉되어 있어서 직선화된 분할경로로는 구분이 어렵기 때문에 보다 더 세밀한 분할경로 생성이 필요하므로 이것을 분할대상 블록으로 선택하여 세부 분할 단계로 진행 한다. ‘광주광역시’에서 수직투영을 통한 분할결과와 세부 분할 단계를 위한 분할대상 블록이 선택된 결과가 그림 4-6과 같이 나타난다.

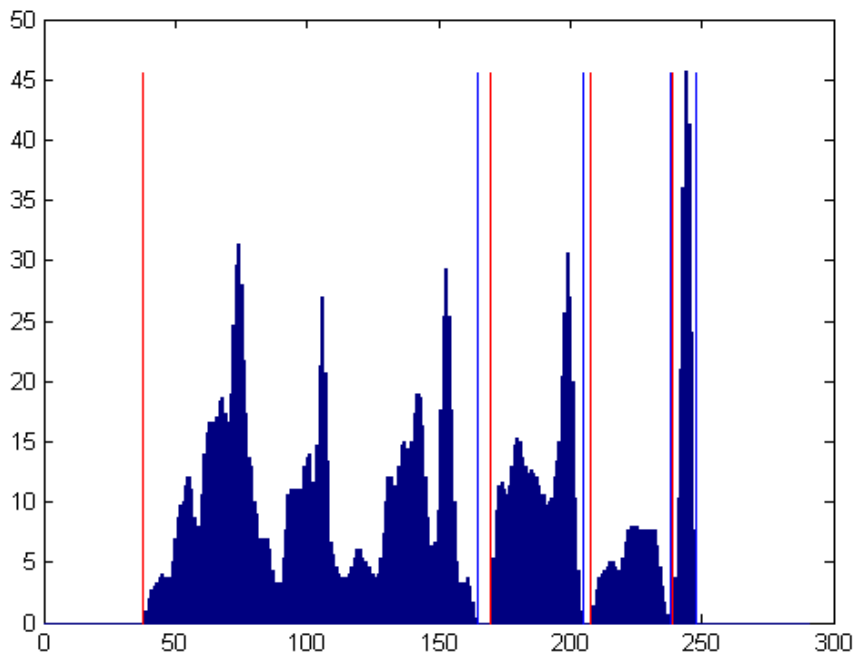


그림 4-5. '광주광역시' 수직투영 결과

Fig. 4-5. Result of Vertical Projection in '광주광역시'

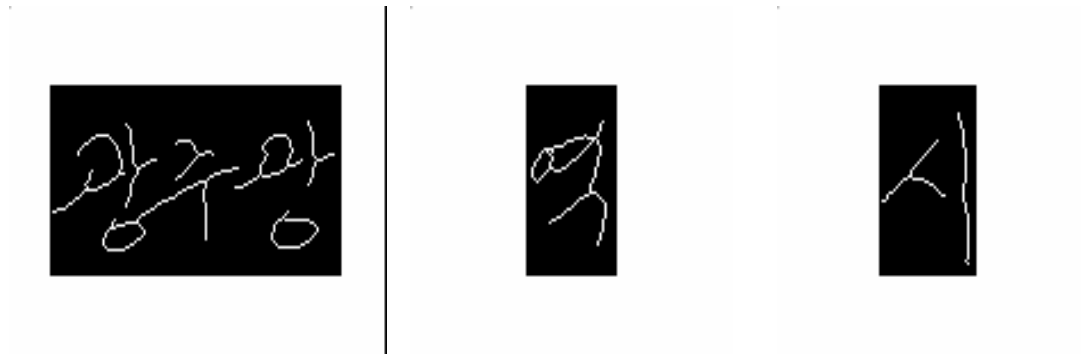


그림 4-6. 분할대상 블록

Fig. 4-6. Segmentation Target Block

제 4 절 탐색 네트워크 구성

분할대상 블록은 문자들이 중첩 되어 있거나 접촉되어 있어서 보다 더 세밀한 분할경로 생성이 요구된다. 만약 분할대상 블록에 대하여 인간이 손으로 분할경로를 생성 한다면 문자간에 존재하는 빈 공간인 여백부분에서 문자 이미지를 비껴가며 꺾은선 형태로 지그재그 하게 분할경로를 그려 나간다. 본 논문에서는 이와 같이 문자간의 빈 여백공간에서 꺾은선 형태의 분할경로를 얻고자 새로운 개념인 탐색 네트워크를 이용한다.

탐색 네트워크는 문자분할을 위하여 문자간의 빈 여백 공간에서 다양한 경로들을 생성하는 과정으로서 무엇보다도 인간이 손으로 분할경로를 생성하는 것과 유사한 결과를 얻을 수 있는 꺾은선 형태의 분할경로를 얻고자하는 의도를 잘 반영한다.

탐색 네트워크 생성을 위하여 먼저 분할대상 블록에서 각 문자들의 특징점이 고려되고 이것은 탐색 네트워크에서 각 노드에 해당된다. 이를 위하여 각 문자들의 끝부분과 접촉이 이루어진 부분에 해당되는 곳만을 특징점으로 고려함으로써 특징점의 갯수를 작게 하면서도 원하는 탐색 네트워크가 생성되는데 지장이 없도록 한다.

다음으로 고려된 특징점인 노드들을 서로 연결하여 링크, 즉 향후 분할경로 선택의 기반이 되는 경로가 생성되도록 한다. 노드들을 서로 연결하기 위하여 사용할 수 있는 몇 가지 방법들이 있지만 본 논문에서는 인접한 3개의 특징점들을 가장 효과적으로 그룹화할 수 있다고 알려진 델라우닝 방법[60]을 사용한다. 이 방법에 의해 세 개의 특징점들이 서로 연결되어 여러 개의 삼각형들이 생성되어 일차적인 네트워크 형태가 구성된다. 그리고 무게중심점 개념을 사용하여 일차적으로 생성된 네트워크에서 각각의 삼각형들의 내부에 무게중심점을 계산한 뒤 각 무게중심점을 역시 특징점인 노드로 고려하고, 다시 이것을 기존의 노드들과 서로 링크시킴으로서 보다 더 세밀한 경로를 갖는 이차적인 탐색

네트워크를 생성한다. ‘광주광’에 대한 특징점 생성 및 경로가 그림 4-6에 표현된다.

그림 4-7을 보면 분할대상 블록의 y 축의 위와 아래의 중앙부분에 고려되어 있는 두개의 특징점이 있는데 이는 분할경로를 선택하는 과정에서 출발점 y_s 와 완료점 y_f 를 위해 임의로 고려되는 가상노드들이다. 이를 위하여 분할대상 블록의 x 축에서의 위와 아래에서 중앙값 x_m 에 해당되는 위치에 특징점을 고려하였고 고려된 특징점을 이차적으로 생성된 탐색 네트워크에 연결시킨다. 그림 4-7은 문자 이미지에서 고려된 모든 특징점들이 서로 연결되어진 상태고 여기에는 문자 이미지를 교차하는 경로까지도 모두 존재하고 있다. 이것을 그대로 분할경로를 선택하는데 사용하면 불가능한 분할경로가 많이 포함되고 있고 계산적인 부담도 증가된다. 그림 4-7에서 문자 이미지를 교차하는 링크들을 제외하고 실제로 문자간 여백부분에만 존재하는 링크들로 구성된 탐색 네트워크에 대해서만 분할경로 선택이 이루어지도록 한다.

그림 4-8과 같이 문자 이미지를 교차하는 링크들을 제외시키고 최종적으로 바탕의 문자 이미지와도 따로 분리해서 표현한 것이 본 논문에서 제안하는 최종적인 탐색 네트워크가 된다.

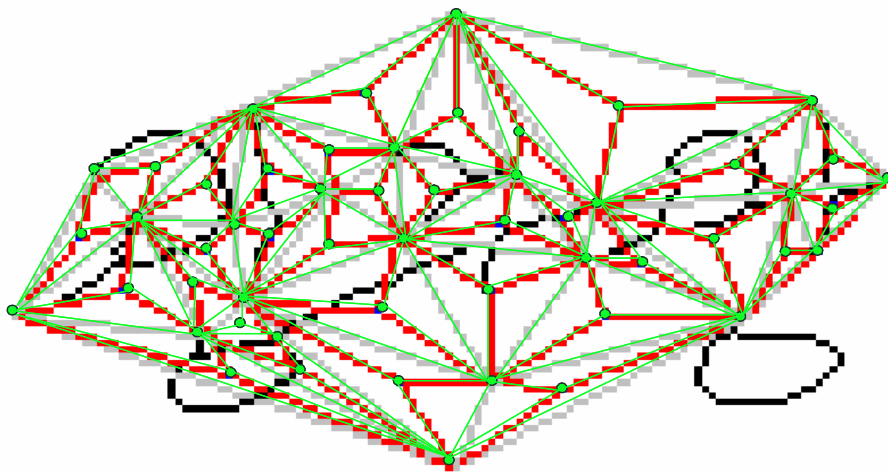


그림 4-7. '광주광'의 특징점 생성 및 경로

Fig. 4-7. Generation of feature point and Path in '광주광'

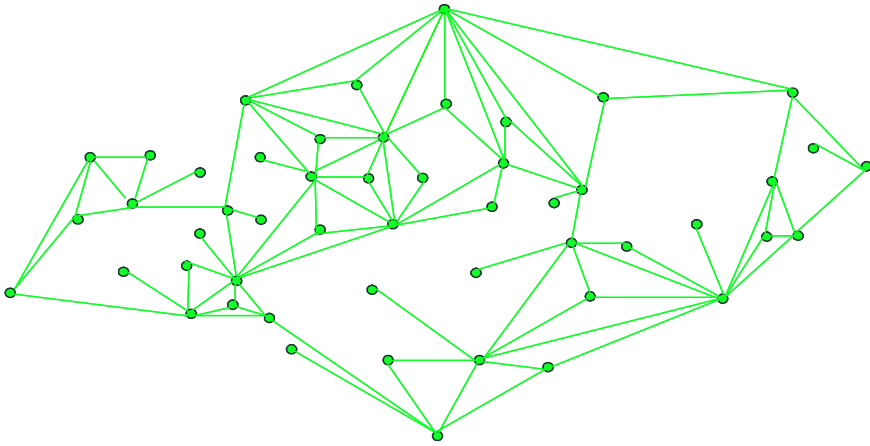


그림 4-8. 탐색 네트워크

Fig. 4-8. Search Network

제 5 장 탐색 윈도우

제 1 절 탐색 윈도우 설정

앞에서 생성된 탐색 네트워크는 분할대상 블록에서 문자 이미지를 교차하는 것을 제외하고 왼쪽 부분 x_l 부터 오른쪽 부분 x_r 까지 전체영역에 걸쳐서 생성된 것이다. 그런데 우리가 최종적으로 얻고자 하는 분할경로는 문자간에 존재해야 하므로 탐색 네트워크의 모든 영역에 대하여 분할경로를 탐색할 필요가 없이 문자간의 여백부분에 해당되는 공간 영역, 즉 원하는 부분에 대해서만 탐색이 이루어지도록 할 필요성이 있고, 이를 위하여 본 논문에서는 탐색 윈도우 개념을 제안한다.

탐색 윈도우는 분할대상 블록 내에 존재할 것으로 예상되는 문자의 개수에 기반하여 다르게 설정되며 문자의 개수를 추정하는 기준은 앞에서 계산된 임계값 w_m 을 사용한다.

분할대상 블록의 크기 S_B 에 따라서 존재할 것으로 예상되는 문자의 개수를 추정할 수 있는데, 예상문자수 = S_B / W_m 에 의해서 계산되며 본 논문에서는 예상문자수의 추정을 α , β 그리고 γ 의 3가지로 정의한다.

첫 번째 경우인 α 는 분할대상 블록내에 2개의 문자가 존재할 것으로 예상되고 두 문자 사이에 하나의 탐색 영역이 필요하다. 두 번째 경우 β 는 분할대상 블록 내에 3개의 문자가 예상되고 필요한 탐색 영역은 2개가 필요하다. 마지막 세 번째 경우 γ 는 분할대상 블록내에 4개의 문자가 존재할 것으로 예상되는 경우이고 전체적으로 3개의 각기 다른 탐색 영역이 필요하다.

다음 표 5-1에서 탐색 윈도우 개념을 설명하기 위하여 사용되는 용어를 정의하고, 이 용어에 따라 그림 5-1에 탐색 윈도우가 설정되는 것을 표현한다.

표 5-1. 탐색 윈도우 용어 정의

Table 5-1. Notation of Search Window

x_l = left feature node in horizontal axis

x_r = right feature node in horizontal axis

x_m = median in S_B

y_s = start node in vertical axis

y_f = finish node in vertical axis

S_B = segmentation block

$x_r - x_l$ (where, $x_r \geq x_l$)

S_w = search window

L_{sw} = left search window

R_{sw} = right search window

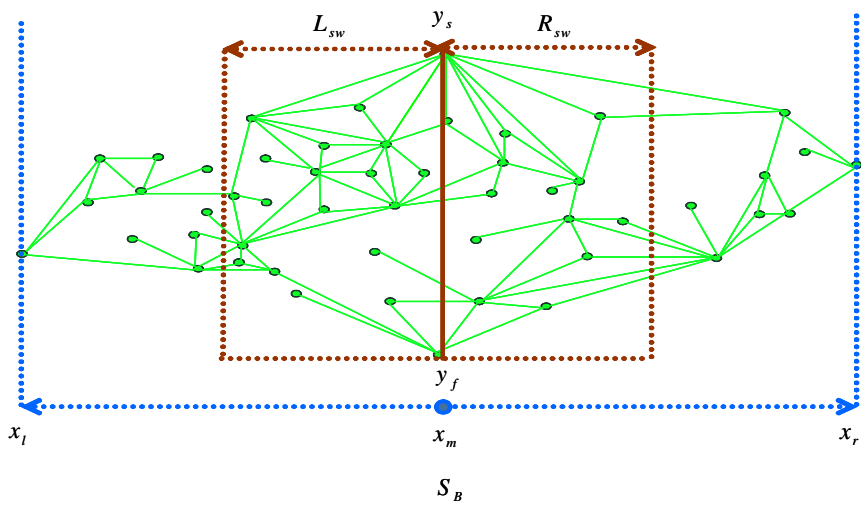


그림 5-1. 탐색윈도우 설정

Fig. 5-1. Create of Search Window

1.1 $S_B < \alpha$ (예상문자수 2개) 인 경우

그림 5-2와 같이 분할대상 블록 내에 예상 문자수가 2개인 경우이다. 요구되는 탐색영역은 첫 번째와 두 번째 문자 사이의 여백부분이 위치할 것으로 보이는 중앙 부분이며 결국 S_w 는 중앙부분에 표시된 하나의 영역이 된다. 여기서 탐색 윈도우가 설정되는 좌·우 범위 픽셀값은 x 축의 중앙값인 x_m 에서 좌·우 약 $\pm 25\%$ 정도의 영역에 해당되는 부분까지 탐색이 이루어지며 이는 식 (5-1)과 같이 나타난다.

설정되는 탐색 윈도우 S_w 는 중앙값 x_m 을 기준으로 왼쪽부분의 탐색 윈도우 L_{sw} 와 오른쪽 부분 탐색윈도우 R_{sw} 가 합해진 하나의 탐색윈도우가 된다.

$$S_w = L_{SW} + R_{SW} \quad (5-1)$$

여기서 왼쪽부분의 탐색 윈도우 L_{sw} 는 중앙값 x_m 에서 x 축의 왼쪽끝 특징점 x_l 까지의 거리에서 -25% 에 해당되는 지점까지 영역이 설정되며 이는 식 (5-2)와 같고,

$$L_{SW} = x_m - \left(\frac{x_m - x_l}{4} \right) \quad (5-2)$$

오른쪽 부분의 탐색 윈도우 R_{sw} 는 중앙값 x_m 에서 x 축의 오른쪽끝 특징점 x_r 까지의 거리에서 $+25\%$ 에 해당되는 지점까지 영역이 설정되므로 이는 식 (5-3)과 같이 나타난다.

$$R_{SW} = x_m + \left(\frac{x_r - x_m}{4} \right) \quad (5-3)$$

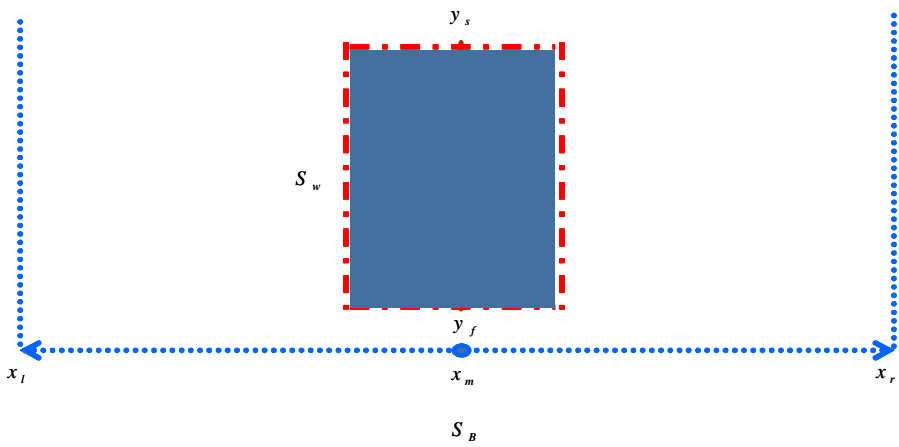


그림 5-2. $S_B < \alpha$ (예상문자수 2개) 인 경우

Fig. 5-2. Case $S_B < \alpha$

1.2 $\alpha \leq S_B < \beta$ (예상문자수 3개) 인 경우

그림 5-3 과 같이 분할대상 블록의 크기와 임계치 값에 의해 예상 문자수가 3개인 경우이다. 탐색 윈도우 S_w 는 x 축의 중앙값 x_m 을 기준으로 첫 번째와 두 번째 문자 사이의 여백에 해당되는 왼쪽부분에 대한 탐색 윈도우 L_{sw} 와 두 번째와 세 번째 문자 사이의 여백에 해당되는 오른쪽 부분에 대한 탐색 윈도우 R_{sw} 가 각각 따로 요구 된다.

탐색 윈도우가 설정되는 범위는 두 번째 문자가 위치되는 x_m 에서 좌우로 각각 약 $\pm 50\%$ 까지 설정되고, 그림 5-5 에서 구분된 왼쪽 탐색 윈도우 L_{sw} 와 오른쪽 탐색 윈도우 R_{sw} 영역으로 표현된다. 좌우에 각각 설정되는 탐색 윈도우는 다음 식 (5-4)와 같이 나타난다.

여기서 왼쪽부분의 탐색 윈도우 L_{sw} 는 중앙값 x_m 에서 x 축의 왼쪽끝 특징점 x_l 까지의 거리에서 -50% 에 해당되는 지점까지 영역이 설정되며 이는 식 (5-4)와 같고,

$$L_{SW} = x_m - \left(\frac{x_m - x_l}{2} \right) \quad (5-4)$$

오른쪽 부분의 탐색 윈도우 R_{sw} 는 중앙값 x_m 에서 x 축의 오른쪽끝 특징점 x_r 까지의 거리에서 $+50\%$ 에 해당되는 지점까지 영역이 설정되므로 이는 식 (5-5)와 같이 나타난다.

$$R_{SW} = x_m + \left(\frac{x_r - x_m}{2} \right) \quad (5-5)$$

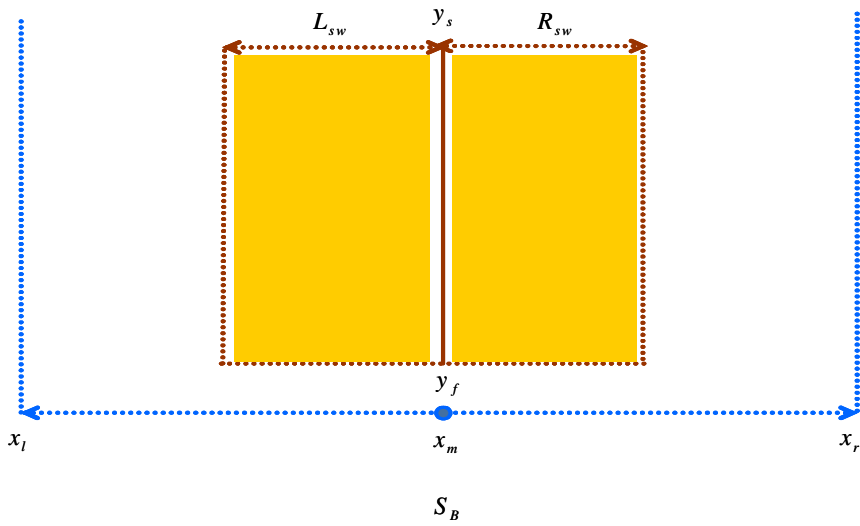


그림 5-3. $\alpha \leq S_B < \beta$ (예상문자수 3개) 인 경우

Fig. 5-3. Case $\alpha \leq S_B < \beta$

1.3 $\beta \leq S_B < \gamma$ (예상문자수 4개) 인 경우

그림 5-4 와 같이 분할대상 블록내에 4개의 문자가 존재하는 경우이다. 여기서 3개의 탐색 윈도우가 설정되는데, 먼저 x 축의 중앙값 x_m 을 기준으로 두 번째와 세 번째 문자간의 여백부분에 해당되는 중앙부분의 탐색 윈도우, 중앙값 x_m 에서 왼쪽끝 특징점 x_l 까지의 왼쪽 영역에서 중앙값 $\left(\frac{x_m - x_l}{2}\right)$ 을 기준으로 첫 번째와 두 번째 문자간의 여백부분에 해당되는 탐색 윈도우 그리고 중앙값 x_m 에서 x 축의 오른쪽끝 특징점 x_r 까지의 오른쪽 영역에서 다른 중앙값 $\left(\frac{x_r - x_m}{2}\right)$ 을 기준으로 세 번째와 네 번째 문자간의 여백부분에 해당되는 탐색 윈도우가 설정된다.

(1) 중앙값 x_m 기준

두 번째 문자와 세 번째 문자 사이의 여백부분에 설정되는 탐색 윈도우는 1-1 의 경우와 동일하게 좌우로 $\pm 25\%$ 영역이 설정되며 이는 식 (5-6)과 같이 나타난다.

설정되는 탐색 윈도우 S_w 는 중앙값 x_m 을 기준으로 왼쪽부분의 탐색 윈도우 L_{sw} 와 오른쪽 부분 탐색윈도우 R_{sw} 가 합해진 하나의 탐색윈도우가 된다.

$$S_w = L_{sw} + R_{sw} \quad (5-6)$$

여기서 왼쪽부분의 탐색 윈도우 L_{sw} 는 중앙값 x_m 에서 x 축의 왼쪽끝 특징점 x_l 까지의 거리에서 -25% 에 해당되는 지점까지 영역이 설정되며 이는

식 (5-7)과 같고,

$$L_{SW} = x_m - \left(\frac{x_m - x_l}{4} \right) \quad (5-7)$$

오른쪽 부분의 탐색 윈도우 R_{sw} 는 중앙값 x_m 에서 x 축의 오른쪽끝 특징점 x_r 까지의 거리에서 +25%에 해당되는 지점까지 영역이 설정되므로 이는 식 (5-8)과 같이 나타난다.

$$R_{SW} = x_m + \left(\frac{x_r - x_m}{4} \right) \quad (5-8)$$

(2) 왼쪽 중앙값 $\left(\frac{x_m - x_l}{2} \right)$ 기준

첫 번째 문자와 두 번째 문자간의 여백 부분에 생성되어야 하는 탐색 윈도우는 (1)에서 생성된 중앙부분의 탐색 윈도우 영역과 겹치지 않아야 하고 중앙값 x_m 에서 x 축의 왼쪽부분의 중앙값 $\left(\frac{x_m - x_l}{2} \right)$ 을 기준으로 좌우로 $\pm 25\%$ 범위가 설정되며 이는 식 (5-9)와 같이 나타난다.

설정되는 탐색 윈도우 S_w 는 왼쪽 중앙값 $\left(\frac{x_m - x_l}{2} \right)$ 을 기준으로 왼쪽부분의 탐색 윈도우 L_{sw} 와 오른쪽 부분 탐색윈도우 R_{sw} 가 합해진 하나의 탐색 윈도우가 된다.

$$S_w = L_{SW} + R_{SW} \quad (5-9)$$

여기서 왼쪽부분의 탐색 윈도우 L_{sw} 는 왼쪽부분의 중앙값 $\left(\frac{x_m - x_l}{2}\right)$ 에서 x 축의 왼쪽끝 특징점 x_l 까지의 거리에서 -25%에 해당되는 지점까지 영역이 설정되며 이는 식 (5-10)과 같고,

$$L_{sw} = \left(\frac{x_m - x_l}{2}\right) - \left(\frac{\left(\frac{x_m - x_l}{2}\right) - x_l}{4}\right)$$

(5-10)

$$= \left(\frac{3x_m - x_l}{8}\right)$$

오른쪽 부분의 탐색 윈도우 R_{sw} 는 왼쪽부분의 중앙값 $\left(\frac{x_m - x_l}{2}\right)$ 에서 x 축의 중앙값 x_m 까지의 거리에서 +25%에 해당되는 지점까지 영역이 설정되므로 이는 식 (5-11)과 같이 나타난다.

$$R_{sw} = \left(\frac{x_m - x_l}{2}\right) + \left(\frac{x_m - \left(\frac{x_m - x_l}{2}\right)}{4}\right)$$

(5-11)

$$= \left(\frac{5x_m - 3x_l}{8}\right)$$

(3) 오른쪽 중앙값 $\left(\frac{x_r - x_m}{2}\right)$ 기준

마지막으로 세 번째와 네 번째 문자간의 여백에서 생성되는 탐색윈도우는 (1)에서 생성된 중앙부분의 탐색 윈도우 영역과 겹치지 않아야 하고 중앙값 x_m 에서 x 축의 오른쪽 부분의 중앙값 $\left(\frac{x_r - x_m}{2}\right)$ 을 기준으로 좌우로 $\pm 25\%$ 범위가 설정되며 이는 식 (5-12)와 같이 나타난다.

설정되는 탐색 윈도우 S_w 는 오른쪽 중앙값 $\left(\frac{x_r - x_m}{2}\right)$ 을 기준으로 왼쪽부분의 탐색 윈도우 L_{sw} 와 오른쪽 부분 탐색윈도우 R_{sw} 가 합해진 하나의 탐색윈도우가 된다.

$$S_w = L_{SW} + R_{SW} \quad (5-12)$$

여기서 왼쪽부분의 탐색 윈도우 L_{sw} 는 오른쪽 부분의 중앙값 $\left(\frac{x_r - x_m}{2}\right)$ 에 서 x 축의 중앙값 x_m 까지의 거리에서 -25% 에 해당되는 지점까지 영역이 설정되며 이는 식 (5-13)과 같다.

$$\begin{aligned} L_{SW} &= \left(\frac{x_r - x_m}{2}\right) - \left(\frac{\left(\frac{x_r - x_m}{2}\right) - x_m}{4}\right) \\ &= \left(\frac{3x_r - x_m}{8}\right) \end{aligned} \quad (5-13)$$

오른쪽 부분의 탐색 윈도우 R_{sw} 는 오른쪽 부분의 중앙값 $\left(\frac{x_r - x_m}{2}\right)$ 에서 x 축의 오른쪽 끝 특징점 x_r 까지의 거리에서 +25%에 해당되는 지점까지 영역이 설정되므로 이는 식 (5-14)와 같다.

$$R_{sw} = \left(\frac{x_r - x_m}{2}\right) + \left(\frac{x_r - \left(\frac{x_r - x_m}{2}\right)}{4}\right) \tag{5-14}$$

$$= \left(\frac{5x_r - 3x_m}{8}\right)$$

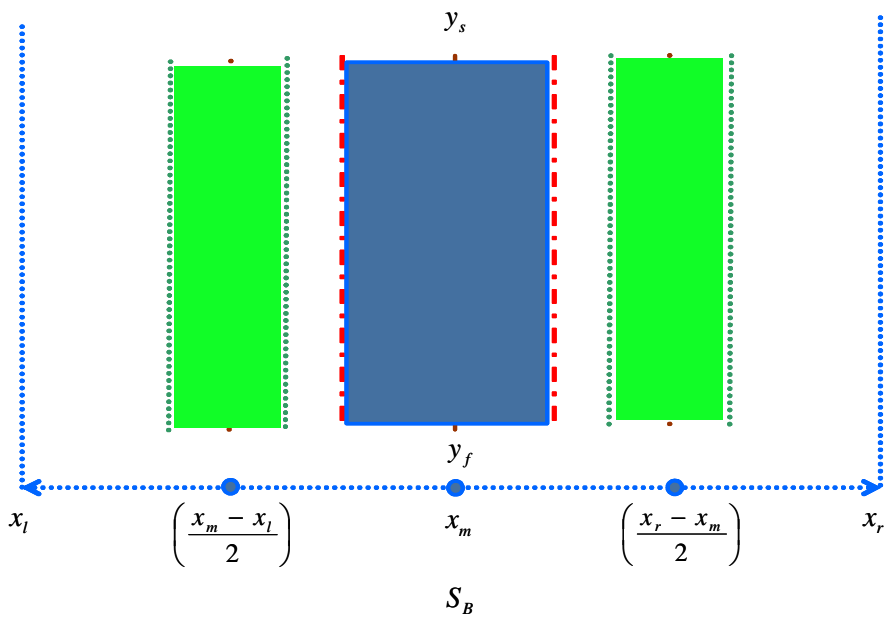


그림 5-4. $\beta \leq S_B < \gamma$ (예상문자수 4개) 인 경우

Fig. 5-4. Case $\beta \leq S_B < \gamma$

제 2 절 분할경로 선택

2.1 가능 분할경로

분할대상 블록에 맞는 탐색 윈도우가 설정되고 나면 그 영역에서 마지막으로 가능한 분할경로들을 탐색하고 이들 중에서 최상 분할경로를 선택한다. 분할경로를 탐색하는 방법은 여러 가지가 존재하지만 본 논문에서 고려된 탐색 네트워크와 탐색 윈도우 개념에 적절한 탐색 방법을 고려한다.

제안된 방법은 y_s 에서 시작하여 y_f 에 도달할 때까지 노드간의 이동에 있어서 각 노드의 좌표값에서 y축의 픽셀 값이 하향이면서 노드 간에 가장 최단거리 값을 갖는 노드로 이동하는 방법을 사용한다. 분할경로를 선택하는데 있어서 전체 분할 가능 경로의 가짓수는 y_s 를 출발점으로 하여 탐색 윈도우 영역 내에 연결된 첫 번째 노드들의 수만큼 존재한다. 그리고 노드간의 이동을 통한 분할경로 탐색과정에서 원하지 않는 분할경로가 생성되는 것을 방지하고 탐색하는 과정에서의 계산적인 부담을 줄이고자 다음과 같은 탐색제한 조건을 부여하였다. 분할경로 탐색과정에서 탐색제한 조건에 해당되면, 다음 노드로의 이동이 이루어지지 않고 바로 이전 탐색단계로의 노드로 돌아가는 백트래킹이 발생된다.

(탐색제한 조건 1) 노드가 탐색 윈도우를 벗어난 경우

(탐색제한 조건 2) y_f 가 아니면서 마지막 노드에 해당되는 경우

(탐색제한 조건 3) y축의 하향으로 이동할 노드가 없는 경우

그림 5-5에서 5-8은 앞에서 예를 들었던 분할대상 블록 ‘광주광’에 대한 탐색 네트워크에서 탐색 윈도우가 설정된 상황과 ‘광’ 문자와 ‘주’ 문자 사이에 해당되는 왼쪽부분 탐색 윈도우 L_{sw} 에 대해서 가능 분할경로가 탐색된 결과를

보여준다.

결과적으로 네 가지(A, B, C, D)의 가능 분할경로가 탐색되었고, 분할경로를 탐색하는 과정에서 탐색제한 조건에 해당되어 백트래킹이 발생된 경우는 없다. 그리고 오른쪽 부분 탐색 윈도우 R_{sw} 에 해당되는 ‘주’ 문자와 ‘광’ 문자에 대해서 가능 분할경로를 탐색하면 역시 네 가지의 가능 분할경로가 탐색되고 이 과정에서 탐색제한 조건 1과 2에 해당되어 백트래킹이 발생하는 경우가 나타난다.

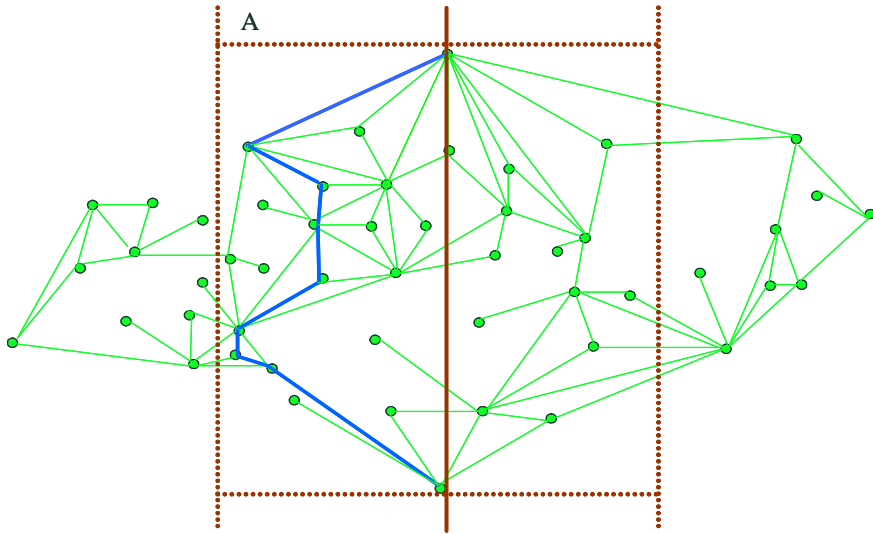


그림 5-5. L_{sw} 에서 분할경로(A)

Fig. 5-5. Segmentation Path(A) in L_{sw}

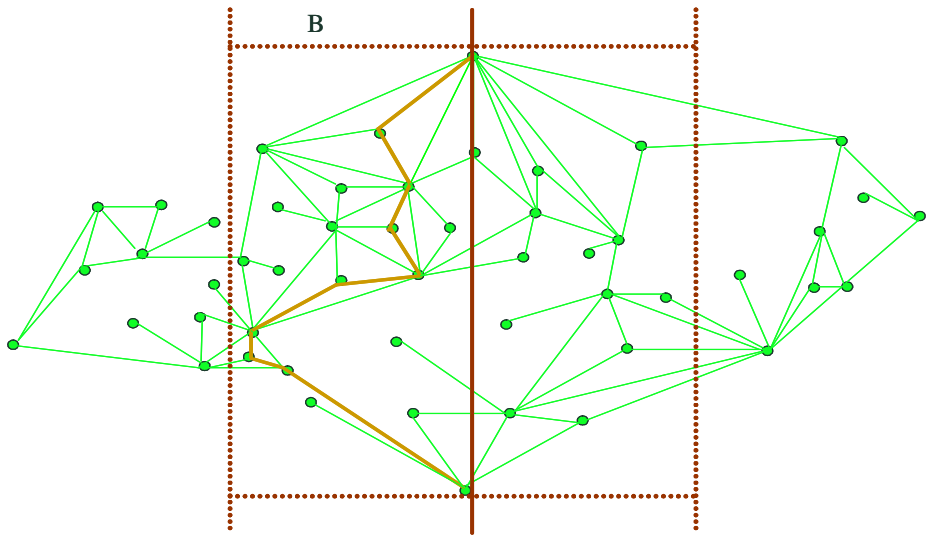


그림 5-6. L_{su} 에서 분할경로(B)

Fig. 5-6. Segmentation Path(B) in L_{su}

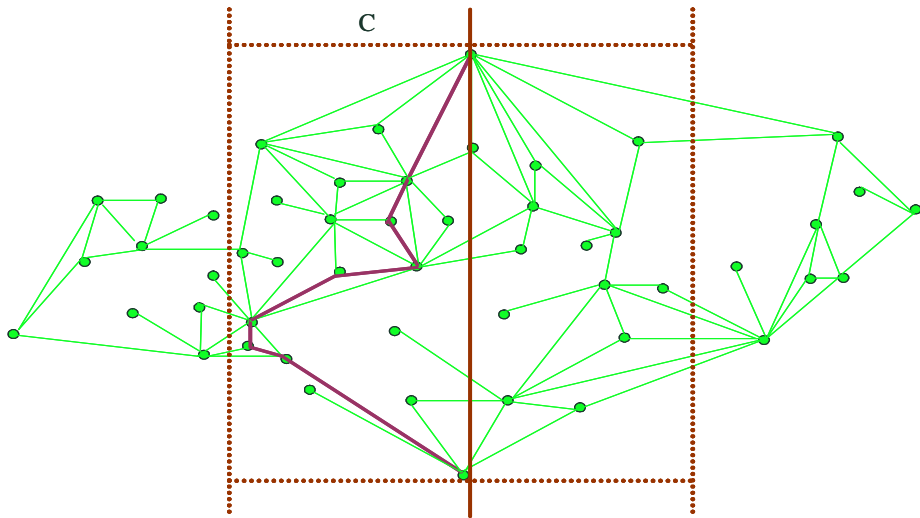


그림 5-7. L_{sw} 에서 분할경로(C)

Fig. 5-7. Segmentation Path(C) in L_{sw}

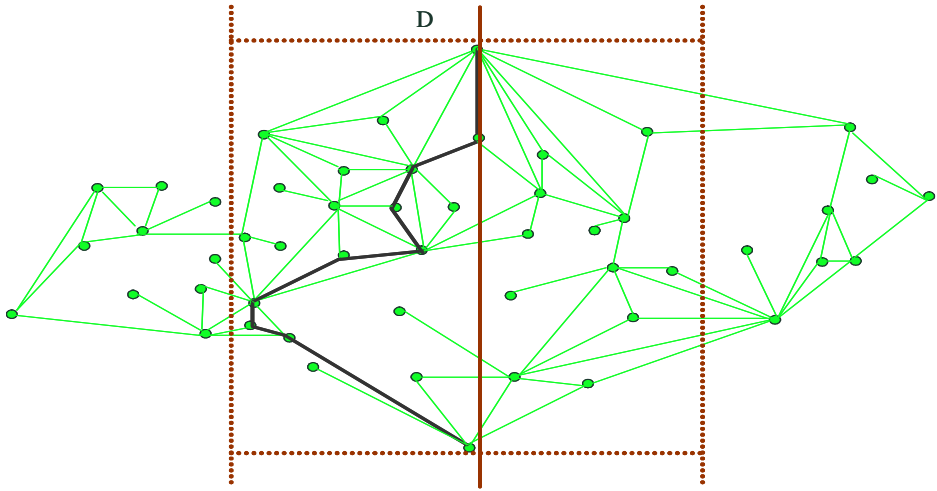


그림 5-8. L_{sw} 에서 분할경로(D)

Fig. 5-8. Segmentation Path(D) in L_{sw}

2.2 최상 분할경로

탐색된 가능 분할경로를 살펴보면 y_s 와 y_f 사이의 많은 노드들이 서로 중복되고 있다. 가능 분할경로들 중에서 최상 분할경로를 찾기 위하여 본 논문에서는 평균 물동량의 크기를 최대화하는 관점에서 접근하는 개념을 사용한다.

탐색 네트워크에서 찾아진 각각의 가능 분할경로에서 모든 노드상의 이익, 즉 물동량의 합을 그 분할경로의 물동량으로 볼 수 있고, 여기서 각 노드의 물동량은 몇 개의 가능 분할경로가 지나가는가에 따른다고 본다. 즉 많은 가능 분할경로가 지나가는 노드일수록 상대적으로 물동량의 흐름이 많고, y_s 로 부터 y_f 까지의 분할경로들은 각 노드에서 이후에 예상 물동량의 합을 구할 수 있고 이 합이 최대인 경로를 최대 물동량 경로가 된다. 그리고 계산된 예상 물동량의 합에 y_s 와 y_f 를 연결하는 가능 분할경로가 거쳐가는 노드들의 갯수를 고려해서 반영하여 주면 각 분할경로들이 갖는 예상 평균 물동량이 계산된다.

본 논문에서는 가능 분할경로들 중에서 예상되는 평균 물동량의 합을 최대로 하는 분할경로를 최상 분할 경로로서 선택한다. 평균 물동량의 합을 구하는 것은 다음 식 (5-15)로 나타난다.

$$Max \left\{ \sum_{(u,v) \in C} f_{uv} \right\} / u_i \quad (5-15)$$

여기서,

$C = (u, v) \in V \times V, u < v$: 연결 가능한 마디쌍 집합

$G = (V, A)$: 가능 분할경로로 이루어진 네트워크

$n = |V|$: G상의 마디 수

f_{uv} = 마디쌍 $(u, v) \in C$ 사이의 물동량

이다.

앞에서 L_{sw} 에 대하여 탐색된 4 가지 가능 분할경로에 대하여 평균 물동량을 계산해보면 다음과 같고 이것은 그림 5-9에 표현된다. 결국 최상 분할경로는 평균 물동량의 값이 가장 큰 분할경로(C) 가 된다.

분할경로(A):

$$Max \left\{ \sum_{(u,v) \in C} f_{uv} \right\} / u_i = 19 (1 + 1 + 1 + 4 + 4 + 4 + 4) / 7 = 2.71$$

분할경로(B):

$$Max \left\{ \sum_{(u,v) \in C} f_{uv} \right\} / u_i = 26 (1 + 3 + 3 + 3 + 4 + 4 + 4 + 4) / 8 = 3.25$$

분할경로(C):

$$Max \left\{ \sum_{(u,v) \in C} f_{uv} \right\} / u_i = 25 (3 + 3 + 3 + 4 + 4 + 4 + 4) / 7 = 3.57$$

분할경로(D):

$$Max \left\{ \sum_{(u,v) \in C} f_{uv} \right\} / u_i = 26 (1 + 3 + 3 + 3 + 4 + 4 + 4 + 4) / 8 = 3.25$$

마찬가지로 R_{sw} 에 대하여 탐색된 4 가지 가능 분할경로에 대하여 평균 물동량을 계산해보면 다음과 같고 이것은 그림 5-10에 표현된다. 결국 여기서도 최상 분할경로는 평균 물동량의 값이 가장 큰 분할경로(c) 가 된다.

분할경로(A):

$$Max \left\{ \sum_{(u,v) \in C} f_{uv} \right\} / u_i = 22 (2 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4) / 6 = 3.67$$

분할경로(B):

$$Max \left\{ \sum_{(u,v) \in C} f_{uv} \right\} / u_i = 23 (1 + 2 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4) / 7 = 3.29$$

분할경로(C):

$$Max \left\{ \sum_{(u,v) \in C} f_{uv} \right\} / u_i = 20 (4 + 4 + 4 + 4 + 4) / 5 = 4.00$$

분할경로(D):

$$Max \left\{ \sum_{(u,v) \in C} f_{uv} \right\} / u_i = 21 (1 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4) / 6 = 3.50$$

그림 5-11 은 세부 분할단계를 통하여 분할대상 블록 ‘광주광’이 평균물동량을 최대로 하는 최상 분할경로에 의해 분할된 결과와 앞의 개략 분할단계에서 수직투영을 통하여 얻어진 결과를 종합한 최종적인 분할결과를 보여준다.

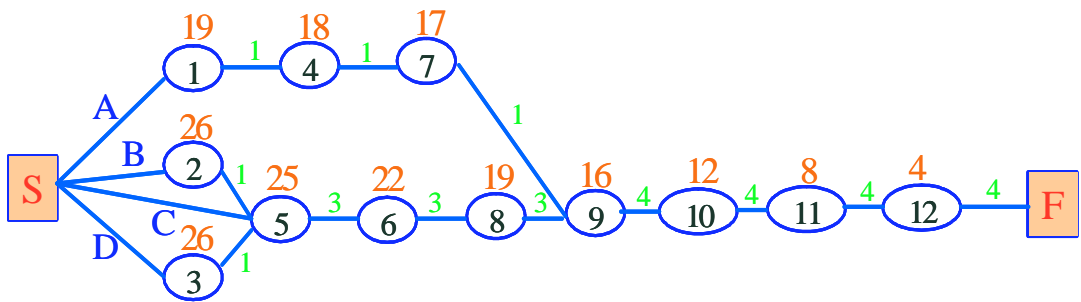


그림 5-9. L_{sw} 에서 평균물동량 계산

Fig. 5-9. Calculation of Mean Flow in L_{sw}

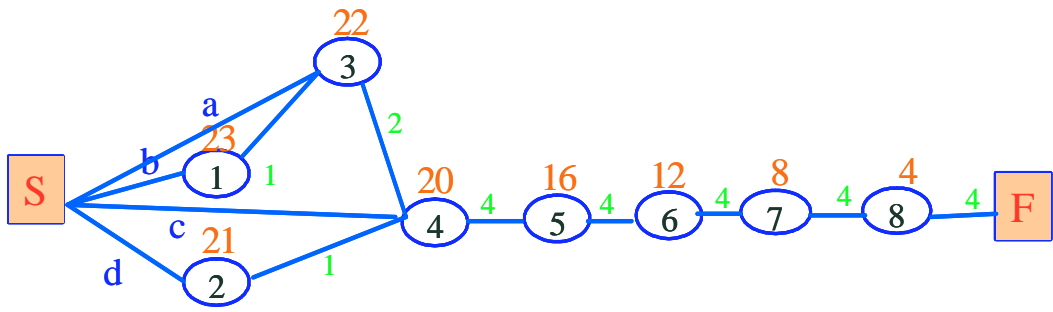


그림 5-10. R_{sw} 에서 평균물동량 계산

Fig. 5-10. Calculation of Mean Flow in R_{sw}

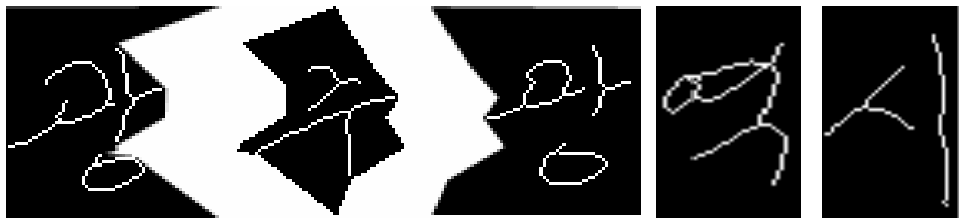


그림 5-11. 최종 분할결과

Fig. 5-11. Final Segmentation Result

제 6 장 실험 및 결과

제 1 절 실험 데이터

본 논문에서 제안한 분할 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 무제약 필기체 한글을 대상으로 실험을 수행하였다.

실험 데이터 수집은 자체적으로 이루어졌는데 40 여명의 학생들에게 우리나라의 한글 명칭의 예를 제시하고 그것을 제약 없이 각각 20개씩 쓰도록 하였다. 이렇게 해서 총 800 여개의 실험 데이터가 수집되었고 여기에는 기호, 심벌 그리고 영문이 혼재되지 않았으며 문자열의 개수가 2~5개의 분포를 갖는 순수한 한글들로만 구성된다.

그림 4-1에 나타난 몇 가지 예에서 보듯이 동일한 명칭이더라도 필기자에 따라 나타나는 기울기, 문자 크기 그리고 문자간 간격 등의 필체가 매우 다양하였고, 필기에 사용된 펜의 종류에 따라 획 폭 분포 역시 다양하였다. 또한 필기 과정에서의 나타난 어느 정도의 잡음을 갖는 실험 데이터들 중에서 그 영향력이 클것으로 판단되어 실험에 사용되기에 부적절하다고 판단된 소수의 데이터는 수집 과정에서 제외시켰다.

표 6-1은 실험에 사용된 전체 데이터들의 문자 갯수에 따른 분포상황을 보여주고 있는데, 한글 명칭을 대상으로 한 특성 상 3개의 문자 개수를 갖는 실험 데이터가 다른 크기를 갖는 경우보다 상대적으로 많이 나타난다.

수집된 실험 데이터는 200 dpi 해상도로 스캐닝(Scanning) 되었고 비트맵 파일로 저장되어 데이터베이스를 구성하였다. 저장된 각 파일들은 전처리 과정인 이진화 처리를 통하여 그레이 모드로 변환되고, 다시 세선화처리를 거쳐서 각각 저장되었다. 이것은 이진화 처리된 파일에 대하여 개략 분할 단계에서의 수직투영을 적용하고, 세선화 처리된 파일에 대해서는 세부 분할 단계에서의 탐

색 네트워크 생성부터 최상 분할경로 선택까지의 과정을 수행하기 위하여 사용된다.

수직투영을 통하여 얻어진 결과 그림은 문자간의 분할이 가능한 것들을 쉽게 구분하기 위하여 영역이 시작되는 부분과 끝나는 부분에 각각 따로 구분선을 표시하여 저장하였고, 분할대상 블록은 따로 저장되어 다음 세부 분할 단계에서 사용된다.

세부 분할단계에서는 분할 대상 블록에 대하여 탐색 네트워크가 생성되는 과정과 탐색네트워크에 대하여 최상 분할경로를 얻는 과정이 연속적으로 이루어져서 최종적인 분할 경로를 나타내는 결과를 얻는다.

표 6-1. 실험 데이터

Table 6-1. Experimental Data

구성 문자수	2	3	4	5	전체
실험 dada	100	460	120	120	800

제 2 절 실험 및 결과분석

표 6-2는 최종적인 실험결과를 요약하여 보여준다. 전체 실험 데이터 800개에서 총 731개의 문자열 데이터를 성공적으로 분할하여 91.4%의 분할 정확도를 얻었고, 분할에 실패한 문자열 데이터의 개수도 69개로서 8.6% 이다.

분할에 성공한 731개의 문자열 데이터 중에는 개략 분할 단계에서의 수직투영만으로 분할 결과를 얻은 경우가 173개로 21.6% 이다. 이것은 필기자들이 대체적으로 균일한 문자 크기와 문자간에 중첩이나 접촉 없이 별개로 구분하여 쓰여진 문자열들이 이에 해당되었다. 수직투영 만으로 분할에 성공한 몇 가지 예를 그림 6-1에 원본 이미지와 함께 나타내었다. 그리고 분할에 성공한 문자열 데이터 중에 세부 분할 단계인 탐색 네트워크를 생성하여 분할이 이루어진 경우가 558개로서 69.8% 이다. 이것은 수집된 실험 데이터가 갖는 무제약 필기체의 특성상 때문에 중첩되거나 접촉된 문자들의 비율이 별개로 분리되어 쓰여진 경우 보다는 높고 이것은 꺾은선 형태의 분할경로를 요구하는 경우이다.

그림 6-2에 세부 분할 단계인 탐색 네트워크를 통하여 분할에 성공한 몇 가지 결과들을 보여주고 있다.

표 6-2. 문자 분할 정확도

Table 6-2. Accuracy of Segmentation

성 공		실 패	
수직투영	탐색네트워크	수직투영	탐색네트워크
173개 (21.6%)	558개 (69.8%)	26개 (3.2%)	43개 (5.4%)
731개 (91.4%)		69개 (8.6%)	

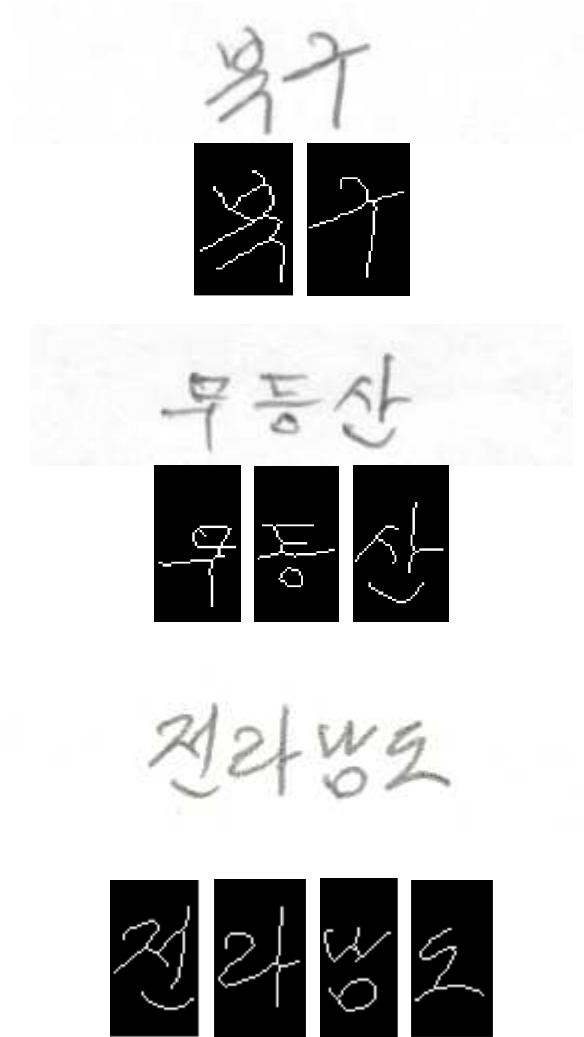


그림 6-1. 수직투영에 의한 분할결과

Fig. 6-1. Segmentation Result using Vertical Projection

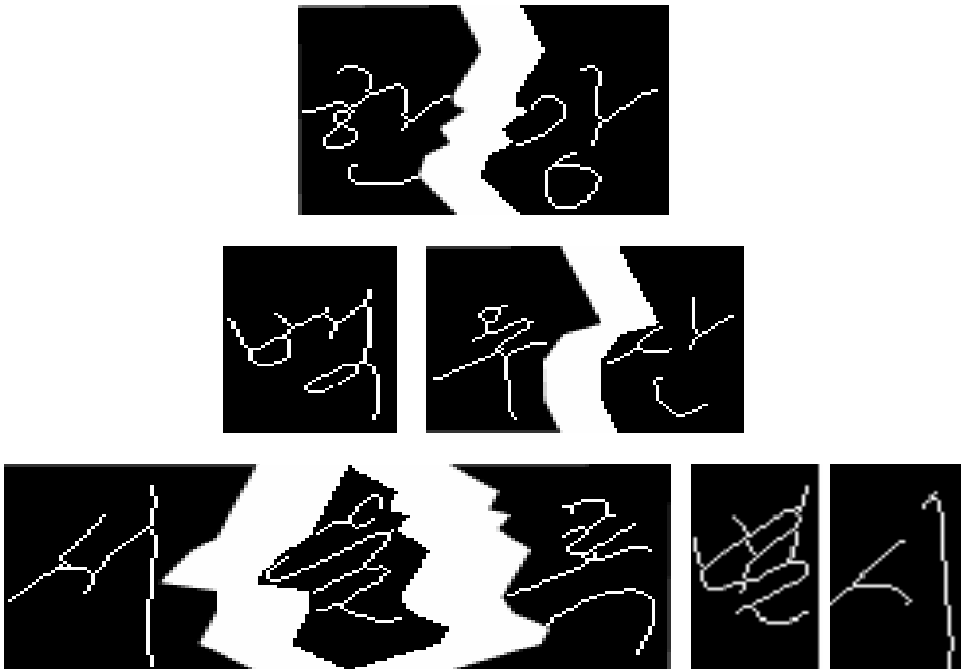


그림 6-2. 분할 성공 예

Fig. 6-2. Example of Segmentation Result

한편 분할에 실패한 69개의 문자열 데이터의 경우 중 개략 분할 단계의 수직 투영 과정에서 실패한 경우가 800개의 실험 데이터 중 26개로 3.3% 이다. 분석 결과 수직투영 과정에서 실패한 경우는 크게 2가지 요인에 의해서였는데 첫 번째 오류 원인으로는 필기과정에서의 발생된 미세한 잡음인자가 전처리 과정에서 완전히 제거되지 않고 확대되어 오류를 일으킨 경우이다.

두 번째 오류 원인으로는 필기자의 필기 스타일 자체가 워낙 특이하여 한글의 구조적 특성을 고려되더라도 하나의 완전한 문자가 이루어지지 못하고 서로 다른 별개의 문자로 판단되어 자음과 모음이 서로 다르게 연결되는 경우이다. 즉 실험 데이터의 필기자가 매우 특수한 필체를 갖고 있거나, 문자간의 폭들이 심하게 편차가 일어난 경우 그리고 하나의 문자에서도 자음과 모음의 간격이 지나치게 불균형을 이루는 경우이다.

그림 6-3과 그림 6-4는 수직투영 과정에서 분할이 실패한 한 가지 예에 대한 수직투영 결과와 그에 따른 분할결과를 보여주고 있는데, 위의 두 번째 오류 원인처럼 문자열 ‘제주도’에서 문자 ‘제’에서 자음 ‘ㅈ’과 모음 ‘에’의 필기형태가 ‘저’와 ‘1’ 간의 간격이 지나치게 넓은 반면 ‘1’ 와 ‘주’ 간의 간격은 반대로 좁게 쓰여진 필기 형태에 기인한 결과이다.

마지막으로 분할에 실패한 69개의 문자열 데이터의 경우 중 세부 분할 단계에서 탐색 네트워크에 의한 실패가 수직투영에 의한 실패와 비슷한 수준인 43개인 5.4% 이다. 이 경우는 대부분이 처음 단계인 분할 대상 블록에 대한 특징점을 고려하는 부분에서 오류가 발생된 경우이다. 이는 분할경로를 탐색하기 위한 기반이 되는 올바른 탐색 네트워크 생성에 영향을 비쳤고, 결과적으로 이에 따른 가능 분할경로 탐색에까지 이어진 결과이다.

향후 보완사항으로 올바른 탐색 네트워크를 형성하는데 기반이 되는 노드들, 즉 특징점을 선택과정에서 필기자의 필체 특성과 문자의 구조적 특성이 반영되는 부분에 대한 연구가 필요하다. 그림 6-5에 세부분할 단계인 탐색 네트워크 생성에 실패한 예를 보여주고 있다.

한편 본 논문에서 얻어진 분할 정확도의 유효성을 비교하기 위하여 한글, 중국어, 영어 그리고 숫자를 대상으로 하는 문자 분할에서 기존에 제안되었던 대표적인 방법들의 실험 결과를 표 6-3에 비교 정리하였다.

표 6-3. 기존연구의 실험결과 비교

Table 6-3. Experimental Results of each segmentation methods

연구자	분할방법 및 특징	실험대상	정확도
황순자 외 1인	구조적특징	370블럭, 910자	87.5%
김경환 외 1인	구조적특징	600개의 한글 주소열	74.2%
정선화 외 1인	Gap의 거리척도	305개의 우편봉투 문자열	88.5%
Shuyan 외 3인	Background skeleton+퍼지	100개의 우편봉투 문자열	81.6%
Han/Sethi	전역적특징 + 구조적특징	50개의 우편봉투에서 발췌:1119자	85.7%
Westall	구조적특징	390블럭의 연결된 숫자	73%
Seshdri	구조적특징	296개의 연결된 숫자	80%
Bozinovic	외곽선추적+투영방법	64단어: 기울어짐 허용안함	77%
Simon	구조적 특징	25단어: 25명의 필기자	91%

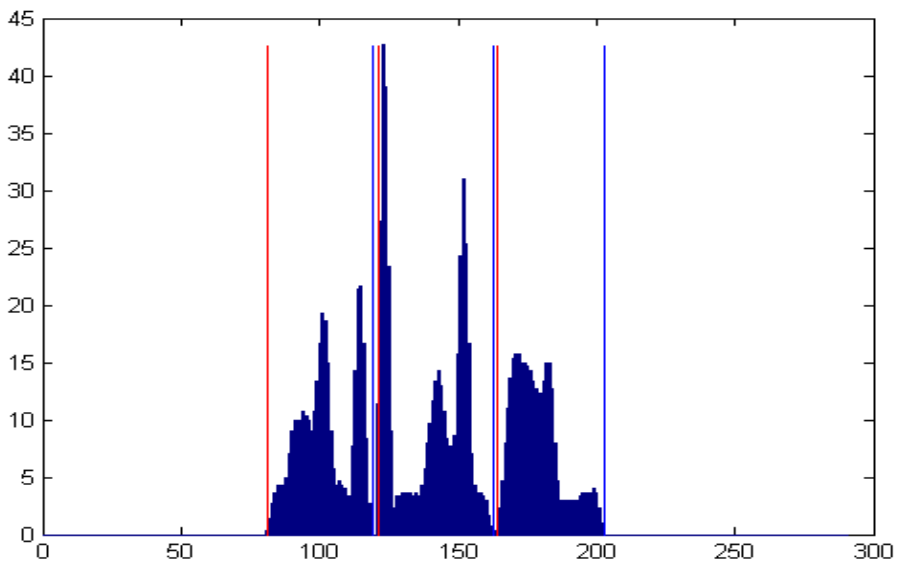


그림 6-3. '제주도' 수직투영 결과

Fig. 6-3. Result of Vertical Projection in '제주도'

제주도



그림 6-4. '제주도' 원본과 분할결과

Fig. 6-4. Segmentation Result and Original Image in '제주도'

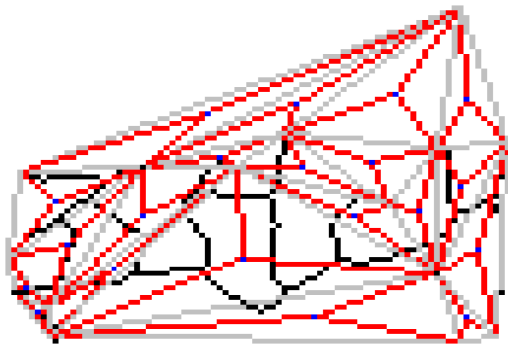


그림 6-5. 탐색 네트워크에서 실패 예

Fig. 6-5. Example of Failure in Search Network

제 7 장 결 론

본 논문에서는 무제약 필기체 한글의 신뢰성 높은 인식과정에서 필수적으로 선행되어야 하는 문자분할을 위하여, 기존의 분할방법에서 제안된 적이 없는 문자간 여백공간에서 탐색 네트워크를 구성하여 꺾은선 형태의 다양한 분할경로를 찾을 수 있는 방법을 제안하였다.

제안된 방법의 특징은 개략 분할 단계에서 입력된 문자열 중에서 문자간의 폭이 어느 정도 존재하여 수직투영을 통한 직선화된 분할경로에 의해 구분이 가능한 문자들은 개략 분할 단계를 통한 분할결과로서 사용하고, 그렇지 않고 중첩되거나 접촉되어 보다 세밀한 분할이 요구되는 문자열만을 따로 분할대상 블록으로 선택하였다.

세부 분할 단계에서는 문자간의 빈 여백공간에서 꺾은선 형태의 분할경로를 얻고자 탐색 네트워크를 생성하였고 이것은 문자 분할을 위하여 문자간의 빈 여백 공간에서 다양한 경로들을 생성하는 과정으로서 무엇보다도 인간이 손으로 분할경로를 생성하는 것과 유사한 결과를 얻을 수 있는 꺾은선 형태의 분할 경로를 얻고자 하였다. 탐색 네트워크 생성을 위하여 분할대상 블록에서 각 문자들의 특징점이 고려되어 노드를 형성하였고, 고려된 특징점인 노드들을 서로 연결하여 링크, 즉 경로가 생성되도록 하였다. 또한 생성된 네트워크에서 보다 더 세밀한 분할경로를 얻기 위하여 생성된 네트워크에서 각각의 삼각형들의 내부에 무게중심점을 계산한 뒤, 각 무게중심점을 역시 특징점인 노드로 고려하였고, 다시 이것을 기존의 노드들과 서로 링크시킴으로서 보다 더 세밀한 경로를 갖는 탐색 네트워크를 생성하였다.

최종적으로 얻고자 하는 분할경로의 위치는 문자간에 존재해야 하므로 탐색 네트워크의 모든 영역에 대하여 분할경로를 탐색할 필요가 없이 문자간의 여백 부분에 해당되는 공간 영역, 즉 원하는 부분에 대해서만 탐색이 이루어지도록 하기 위하여 본 논문에서는 탐색 윈도우를 설정하였고, 분할대상 블록 내에 존

재할 것으로 예상되는 문자수에 따라 다르게 설정되었다.

고려된 탐색 네트워크와 탐색 윈도우 개념에 적절한 탐색 방법을 제안하였다. 가능 분할경로 탐색을 위하여 노드간의 이동을 통한 분할경로 탐색과정에서 원하지 않는 분할경로가 생성되는 것을 방지하고 탐색하는 과정에서의 계산적인 부담을 줄이고자 탐색제한 조건을 부여하였다. 그리고 찾아진 각각의 가능 분할경로에서 최상 분할경로를 선택하기 위하여 모든 노드상의 이익, 즉 많은 가능 분할경로가 지나가는 노드일수록 상대적으로 물동량의 흐름이 많다고 보았고, 가능 분할경로들 중에서 예상되는 평균 물동량의 합을 최대로하는 분할경로를 최상 분할 경로로서 선택하였다.

실험을 위해 자체 수집된 데이터는 40 여명의 학생들에게 우리나라의 한글 명칭의 예를 제시하고 총 800 여개의 데이터가 수집되도록 하였고, 여기에는 기호, 심벌 그리고 영문이 혼재되지 않았으며 문자열의 개수가 2~5개의 분포를 갖는 순수한 한글들로만 구성하였다. 전체 실험 데이터 800개에서 총 731개의 문자열 데이터를 성공적으로 분할하여 91.4%의 분할 정확도를 얻었고, 분할에 실패한 문자열 데이터의 개수도 69개로서 8.6% 였다. 분할에 성공한 731개의 문자열 데이터 중에는 개략 분할 단계에서의 수직투영만으로 분할 결과를 얻은 경우가 173개로 21.6% 였다. 분할에 성공한 문자열 데이터 중에 세부 분할 단계인 탐색 네트워크를 생성하여 분할이 이루어진 경우가 558개로서 69.8% 를 보였다. 이것은 수집된 실험 데이터가 갖는 무제약 필기체의 특성상 때문에 중첩되거나 접촉된 문자들의 비율이 별개로 분리되어 씌여진 경우 보다 높고 이것은 꺾은선 형태의 분할경로를 요구했기 때문이었다.

향후 연구되어야 할 부분으로는 좋은 탐색 네트워크의 구성이 올바른 분할경로를 탐색할 수 있는 가능성을 높이기 때문에 이 과정에서 문자의 구조적 특성이 반영되도록 해야 될 필요가 있다고 본다. 그리고 문자분할을 더 확장하여 한글의 모음과 자음까지도 분할할 수 있는 연구가 진행되면 본 논문에서 제안한 방법의 활용도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] B. Yanikoglu, P. A. Sandon, "Segmentation of off-line cursive handwriting using linear programming", Pattern Recognition, Vol. 31: 1825-1833, 1998.
- [2] A. Elnagar, R. Alhadj, "Segmentation of connected handwritten numeral strings", Pattern Recognition, Vol. 36: 625-634, 2003.
- [3] U. Pal, A. Belaid and Ch. Choisy, "Touching numeral segmentation using water reservoir concept", Pattern Recognition Letters, Vol. 24: 261-272, 2003.
- [4] S. Zhao, Z. Chi, P. Shi and Hong Yan, "Two-stage segmentation of unconstrained handwritten Chinese characters", Pattern Recognition, Vol. 36: 145-156, 2001.
- [5] G. Kim, "Architecture for handwritten text recognition systems", Proc. Sixth International Workshop on Frontiers in Handwritten Recognition: 113-122, Taehon, Korea, August 1998.
- [6] S. H. Kim, S. Jeong, and C. Y. Suen, "A lexicon driven approach for off-line recognition of unconstrained handwritten Korea words," Proceedings of the Fifth International Conference on Document Analysis and Recognition: 507-510, Bangalore, India, September 1999.
- [7] S. H. Kim, S. Jeong, and C. Y. Suen, "A lexicon driven approach for optimal segment combination in off-line recognition of unconstrained handwritten Korea words," Pattern Recognition, Vol.34: 1437-1447, 2001.
- [8] Y. S Hwang and S. Y Bang, "Recognition of a handwritten Korea characters by combining segments using constraint satisfying graph," Sixth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition:

515-526, Teajon, Korea, August, 1998.

- [9] H. Y. Kim and J. H. Kim, "Handwritten Korean character recognition based on hierarchical random graph modeling", Sixth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition: 577-586, Taejon, Korea, August 1998.
- [10] J. Park and V. Govindaraju, "Use of Adaptive Segmentation handwritten Phrase Recognition", Pattern Recognition, Vol. 35: 245-252, 2002.
- [11] B. Kim and V. Govindaraju, "Handwritten phrase recognition as applied to streer name images", Pattern Recognition, Vol.31, No.12: 41-51, 1998.
- [12] E. Kavallieratou, N. Fakotakis, G. Kokkinakis, "An unconstrained handwriting recognition system", IJDAR, Vol. 4: 226-242, 2002.
- [13] M. Kobayashi, S. Masaki, O. Miyamoto, Y. Nakagawa, Y. Komiya, T. Matsumoto, "RAV algorithm for online handwriting recognition", IJDAR, Vol. 3: 181-191, 2001.
- [14] V. Bansal, R. M. K. Sinha, "Segmentation of touching and fused Devanagari characters", Pattern Recognition, Vol. 35: 875-893, 2002.
- [15] V. Bansal, R. M. K. Sinha, "Partitioning and searching dictionary for correction of optically read Devanagari character strings", IJDAR, Vol. 4: 269-280, 2002.
- [16] C. Liu, H. Sako, H. Fujisawa, "Performance evaluation of pattern classifiers for handwritten character recognition", IJDAR, Vol. 4: 191-204, 2002.
- [17] Y. M. Su, J. F. Wang, "A novel stroke extraction method for Chinese characters using Gabor filters", Pattern Recognition, Vol. 36: 635-647, 2003.

- [18] J. Xi, J. Hu, L. Wu, "Page segmentation of Chinese newspapers", *Pattern Recognition*, Vol. 35: 2695-2704, 2002.
- [19] J. F. Pitrelli, A. Roy, "Creating word-level language models for large-vocabulary handwriting recognition", *IJDAR*, Vol. 5: 126-137, 2003.
- [20] M. L. B. Lorenzo, Y. A. Dimitriadis, E. G. Sanchez, "Automatic extraction of human-recognizable shape and execution prototypes of handwritten characters", *Pattern Recognition*, Vol. 36: 1605-1617, 2003.
- [21] C. Choisy, A. Belaid, "Cross-learning in analytic word recognition without segmentation", *IJDAR*, Vol. 4: 281-289, 2002.
- [22] G. Y. Chen, T. D. Bui, A. Krzyzak, "Contour-based handwritten numeral recognition using multiwavelets and neural networks", *Pattern Recognition*, Vol. 36: 1597-1604, 2003.
- [23] B. Fang, C. H. Leung, Y. Y. Tang, K. W. Tse, P. C. K. Kwok, Y. K. Wong, "Off-line signature verification by the tracking of feature and stroke positions", *Pattern Recognition*, Vol. 36: 91-101, 2003.
- [24] I. S Oh, J. S Lee, T. W Yoo, J. S Park and K. C Hong, "Region-based shape decomposition algorithm for Hangul character patterns", *Sixth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition: 557-566*, Taejon, Korea, August 1998.
- [25] S. Ryu, J. H. Kim, "A language model using variable length tokens for open-vocabulary Hangul text recognition", *Pattern Recognition*, Vol. 37: 1549-1552, 2004.
- [26] D. You and G. Kim, "An Efficient approach for slant correction of handwritten Korean strings based on structural properties", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 24: 2093-2102, 2003.

- [27] D. Yu, H. Yan, "Separation of single-touching handwritten numeral strings based on structural features", *Pattern Recognition* Vol. 31, No. 12: 1835-1847, 1998.
- [28] C. Fang, C. Liu, L. Peng, X. Ding, "Automatic performance evaluation of printed Chinese character recognition systems", *IJDAR*, Vol. 4: 177-182, 2002.
- [29] C. Y. Liou and H. C. Yang, "Selective feature-to-feature adhesion for recognition of cursive handprinted characters," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 21, No.2: 184-191, February 1999.
- [30] X. Xiao, G. Leedham, "Cursive script segmentation incorporating knowledge of writing", *Proceedings of the Fifth International Conference on Document Analysis and Recognition*: 535-538, 1999.
- [31] Y. X. Li, C. L. Tan, X. Ding, C. Liu, "Contextual post-processing based on the confusion matrix in offline handwritten Chinese script recognition", *Pattern Recognition*, Vol. 37: 1901-1912, 2004.
- [32] P. Plamondon, C. M. Privitera, "The segmentation of cursive handwritten: an approach based on off-line recovery of the motor-temporal information", *IEEE Trans. Image Process.* Vol. 8, No. 1: 80-91, 1999.
- [33] J. Hu, D. Yu, and H. Yan, "Construction partitioning paths for touching handwritten characters", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 20: 293-303, 1999.
- [34] J. Hu, H. Yan, "A model-based segmentation method for handwritten numeral strings", *Compute. Vision Image Understanding* Vol. 70, No. 3: 383-403, 1998.

- [35] T. M. Ha, Z. H. Bunke, "Off-line Handwritten Numeral String Recognition by Combining Segmentation-based and Segmentation-free Methods", *Pattern Recognition*, Vol. 31, No. 3: 242-272, 1998.
- [36] Z. Lu, Z. Chi, W. Siu and P. Shi, "A Background-thinning-based approach for separating and recognizing connected handwritten digit strings", *Pattern Recognition*, Vol. 32: 921-933, 1999.
- [37] C. N. Lee and B. Wu, "A Chinese character-stroke-extraction algorithm based on contour information," *Pattern Recognition*, Vol. 31. No.6: 651-663, 1998.
- [38] C. Liu, K. Nakashima, H. Sako, H. Fujisawa, "Handwritten digit recognition: investigation of normalization and feature extraction techniques", *Pattern Recognition*, Vol. 37: 265-279, 2004.
- [39] M. Hanmandlu, K. R. M. Mohan, S. Chakraborty, S. Goyal, D. R. Choudhury, "Unconstrained handwritten character recognition based on fuzzy logic", *Pattern Recognition*, Vol. 36: 603-623, 2003.
- [40] A. S. Britto Jr, R. Sabourin, F. Bortolozzi, C. Y. Suen, "The recognition of handwritten numeral strings using a two-stage HMM-based method", *IJDAR*, Vol. 5: 102-117, 2003.
- [41] L. Heutte, A. Nosary, T. Paquet, "A multiple agent architecture for handwritten text recognition", *Pattern Recognition*, Vol. 37: 665-674, 2004.
- [42] R. R. Roldan, J. F. G. Lopera, C. A. Allah, J. M. Aroza, P. L. L. Escamilla, "A measure of quality for evaluating methods of segmentation and edge detection", *Pattern Recognition*, Vol. 34: 969-980, 2001.
- [43] S. Uchida, H. Sakoe, "Eigen-deformations for elastic matching based

- handwritten character recognition", *Pattern Recognition*, Vol. 36: 2031-2040, 2003.
- [44] S. Setlur, A. Lawson, V. Govindaraju, S. Srihari, "Large scale address recognition systems", *IJDAR*, Vol. 4: 154-169, 2002.
- [45] X. Zhu, Y. Hao, Y. Shi, S. Wang, "A criterion based on Fourier transform for segmentation of connected digits", *IJDAR*, Vol. 3: 27-33, 2000.
- [46] M. L. Yu, P. C. K. Kwok, C. H. Leung, K. W. Tse, "Segmentation and recognition of Chinese bank check amounts", *IJDAR*, Vol. 3: 207-217, 2001.
- [47] V. Vuori, J. Laaksonen, E. Oja, J. Kangas, "Experiments with adaptation strategies for a prototype-based recognition system for isolated handwritten characters", *IJDAR*, Vol. 3: 150-159, 2001.
- [48] A. Cheung, M. Bennamoun, N. W. Bergmann, "An Arabic optical character recognition system using recognition-based segmentation", *Pattern Recognition*, Vol. 34: 215-233, 2001.
- [49] X. Wang, V. Govindaraju, and S. Srihari, "Holistic recognition of handwritten character pairs", *Pattern recognition* Vol.33: 1967-1973, 2000.
- [50] V. S. Chakravarthy, B. Kompella, "The shape of handwritten characters", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 24: 1901-1913, 2003.
- [51] Y. A. Ohali, M. Cheriet, C. Suen, "Databases for recognition of handwritten Arabic cheques", *Pattern Recognition*, Vol. 36: 111-121, 2003.
- [52] S. Deng, S. Latifi, E. Regentova, "Document segmentation using polynomial spline wavelets", *Pattern Recognition*, Vol. 34: 2533-2545, 2001.

- [53] X. Ye, M. Cheriet, C. Y. Suen, "A generic method of cleaning and enhancing handwritten data from business forms", *IJDAR*, Vol. 4: 84-96, 2001.
- [54] L. Cinque, S. Levialedi, L. Lombardi, S. Tanimoto, "Segmentation of page images having artifacts of photocopying and scanning", *Pattern Recognition*, Vol. 35: 1167-1177, 2002.
- [55] L. S. Oliveria, R. Sabourin, F. Bortolozzi, C. Y. Suen, "Impacts of verification on numeral string recognition system", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 24: 1023-1031, 2003.
- [56] S. Ramdane, B. Taconet, A. Zahour, "Classification of forms with handwritten fields by planar hidden Markov models", *Pattern Recognition*, Vol. 36: 1045-1060, 2003.
- [57] K. Franke, M. Koppen, "A computer-based system to support forensic studies on handwritten documents", *IJDAR*, Vol. 3: 218-231, 2001.
- [58] U. V. Marti, H. Bunke, "The IAM-database: an English sentence database for offline handwriting recognition", *IJDAR*, Vol. 5: 39-46, 2002.
- [59] D. Ming, J. Liu, J. Tian, "Research on Chinese financial invoice recognition technology", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 24: 489-497, 2003.
- [60] Y. Xiao, H. Yan, "Text region extraction in a document image based on the Delaunay tessellation", *Pattern Recognition*, Vol. 36: 799-809, 2003.

저작물 이용 허락서

학 과	컴퓨터공학	학 번	20027510	과 정	박사
성 명	한글 : 박 성 호 한문 : 박 聖 浩 영문 : Park Sung Ho				
주 소	광주 광역시 동구 지산2동 삼성 아파트 1-905				
연락처	E-MAIL : shpark87@paran.com				
논문제목	한글 : 탐색 네트워크를 이용한 무제약 필기체 한글 분할에 관한 연구 영문 : A Study on the Segmentation of Unconstrained Handwritten Hangeul using Search Network				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 조건부 동의() 반대()

2005 년 6 월 30 일

저작자: 박 성 호 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하