

碩士學位論文

교통표지의 실시간 인식을 위한
광학적 합성 HMT



濟州大學校 大學院

電子工學科

玄 永 吉

1998年 12月

교통표지의 실시간 인식을 위한 광학적 합성 HMT

指導教授 都 良 會

玄 永 吉

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



玄永吉의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長_____印

委 員_____印

委 員_____印

濟州大學校 大學院

1998年 12月

Optical Synthetic HMT
for Real-Time Recognition of Traffic Signs

Young-Kil Hyun

(Supervised by professor Yang-Hoi Doh)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1998. 12.

목 차

Summary	1
I. 서 론	2
II. 형태학의 기본연산	5
1. 녹입 및 불립	5
2. Hit-miss 변환	6
III. 합성 형태소를 이용한 HMT	10
1. 교집합 합성법	10
2. SDF 합성법	13
IV. 제안한 합성 형태소 구성 방법	18
1. 표지 검출을 위한 다단계 교집합 합성법	18
2. 표지내 부호 인식을 위한 교집합 합성법과 SDF 합성법의 단계적 합성법	25
V. 컴퓨터 시뮬레이션 결과	33



1. 표지 검출 및 추출	33
2. 표지내 부호 인식	44
VI. 결론	50
참고문헌	52



Summary

The HMT(hit-miss transform) in morphology is used to locate a specific object in noisy and cluttered input images. This transform can be also implemented on a coherent optical correlator for real-time processing. However, standard algorithms for a morphological HMT can cause problems in detecting various true class objects, and discriminating similar false class objects. A fundamental problem in morphological HMTs is the determination of the optimal SE(structuring element) needed to improve the false alarm rate, and detect objects with different shapes. The synthetic methods of SE provide good solutions against this problem. One is the intersection of each true class SE, and the other is the SDF(synthetic discriminant function) synthesis of each true and false class SE. However, in the case of recognition of a traffic sign, it is not so good. Because there are many kinds of signs with intraclass distortions and interclass similarities, it needs many synthetic SEs.

In this paper, the multistage synthetic method of SE is proposed to provide efficient recognition of traffic signs with the reduced number of synthetic SEs. The proposed algorithm of a traffic sign recognition consists of the phase of sign detection and the phase of symbol recognition. In the phase of sign detection, a multiple of the intersection SE is proposed to adapt to intraclass distortions and interclass classification. In the phase of symbol recognition, a SDF synthesis of the intersection SE is proposed to adapt to intraclass distortions and interclass discrimination and classification.

Based on extensive simulations, it has been shown that the proposed algorithm can be applied to the recognition of traffic signs with the reduced number of synthetic SEs.

I. 서 론

최근 비전 시스템이나 컴퓨터 기술의 발달에 힘입어 차량의 실내에서 여러 가지 센서를 이용하여 장애물을 피하면서 원하는 목적지까지 스스로 경로를 선택하여 주행하는 이동용 로봇이나 일반 자동차와 같이 실제 도로를 주행하기 위한 자율주행차량(autonomous road vehicle)에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 자율주행차량의 개발은 운전자가 전혀 필요없는 무인주행차량의 출현을 가능하게 하고, 그 기능을 부분적으로 이용한 운전보조 시스템으로 활용되어 피로나 운전미숙으로 인한 교통사고를 예방할 수 있으며, 맹인이나 불구자들을 안내하거나 그들의 교통수단에 이용될 수 있다. 이러한 자율주행차량에 대한 연구는 1970년대부터 미국과 유럽, 일본 등 선진국을 필두로 시작되어 1980년대 중반 이후 반도체 기술과 컴퓨터 성능의 향상에 따라 더욱 가속화되고 있다. 미국에서는 각 대학이나 연구소에서 IVHS(intelligent vehicle highway system)에 대한 연구가 진행되고 (Turk 등 1988), 유럽에서는 PROMETHEUS(program for a european traffic with highest efficiency and unprecedented safety)라는 이름하에 여러 나라가 공동으로 참여하는 프로젝트가 진행중이며(Hartmann and Mertsching, 1992), 일본에서는 PVS(personal vehicle system project)를 포함한 몇 가지 프로젝트가 진행되고 있는 중이다(Masaki, 1992). 그러나 국내에서는 최근 몇몇 대학을 중심으로 이 분야에 대한 연구를 시작하는 초보적인 단계이다(Ji 등 1992) (조, 1994) (김 등 1998).

자율주행차량이 갖추어야 할 기본적인 기능은 차량이 주행하는 도로를 스스로 인식하는 기능과 검출된 도로지역을 벗어나지 않도록 차량을 제어하는 기능, 그리고 주행 도중에 불규칙적으로 나타나는 장애물을 인식하고 적절한 조치를 취할 수 있는 기능 등을 들 수 있다. 이들 중에서 인식하는 기능은 차량이 이동할 때 차량에 부착된 카메라를 통해 연속적으로 입력되는 영상들로부터 장애물, 차선 등의 도로환경의 변화를 실시간으로 인식하는 것이다(Bensrhair 등 1991) (Ohata

and Mio, 1991). 이러한 인식을 실시간으로 수행하기 위해서는 많은 양의 데이터를 분석, 처리할 수 있는 정확하고 빠른 시스템이 절대적으로 필요하다. 이러한 시스템은 정보의 입력장치인 여러 개의 센서로부터 얻은 정보를 실시간으로 정확히 인식해야 한다. 또한 같은 물체라도 관측되는 위치나 명암 등에 따라서도 센서에 입력되는 정보가 달라지므로 인식 시스템은 이러한 다양한 변화에 대해서도 적응되어야 한다. 이러한 분야의 연구들은 주로 디지털 컴퓨터를 이용한 수학적 접근방법으로 이루어지고 있어 실제로 관측자가 이동하면서 획득한 전경 및 배경잡음을 갖는 영상에서 실시간으로 물체를 인식하고자 할 경우에는 인식속도 등의 문제로 시스템 구현에 많은 어려움이 많다(Alan 등 1996). 반면, 광을 이용한 신호처리는 렌즈를 기본으로 하는 광학시스템의 2차원적 푸리에변환 능력을 이용하여 2차원 영상의 인식 및 분류에 유리한 기능을 제공한다(Vander Lugt, 1964). 광신호는 각기 상호작용이 없이 독립적이고 병렬적으로 진파될 수 있어 2차원 신호를 광속으로 처리하는 고속 병렬처리 특성을 갖고 있으며, 꾸준한 광조사자들의 개발로 인해 초고속 병렬 신호처리를 가능케하고 있다. 광학계가 갖고 있는 이러한 2차원적 고속 병렬처리 특성을 실시간 물체인식에 응용하면 처리속도 면에서 디지털처리 기술에서 해결하기 어려운 점을 획기적으로 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 자율주행차량을 위하여 도로교통표지를 실시간으로 인식할 수 있는 광학적 합성 HMT(hit-miss transform)를 제안하였다. 자율주행차량이 안전주행을 위해 차선, 장애물과 함께 실시간으로 인식해야 할 중요한 요소는 도로교통표지를 인식하는 것이다. 도로교통표지에는 주의표지, 규제표지, 지시표지 등이 있고 이러한 표지내에는 제한속도, 도로형태나 방향, 글자 부호 등이 들어있다. 이러한 표지내의 부호들을 도로를 주행하는 자율주행차량이 실시간으로 인식할 수 있다면 스스로 속도를 제한하는 등의 조치를 취하여 안전한 주행을 할 수 있다. 여기서 도로교통표지의 인식은 배경 및 전경잡음 환경에서 차량이 이동하면서 획득한 실영상으로부터 표지를 추출하고 표지내의 부호를 인식하여야 하는 것이다. 이를 위해 본 논문에서는 광학적 합성 HMT를 이용하였으며 표지의 검출

과 표지 부호의 인식에 적합한 합성 형태소(structuring element : SE)의 설계 알고리즘을 제안하였다. 비교적 단순한 모양을 가진 표지의 추출을 위해서는 다단계 교집합 합성법을 이용한 형태소를 제안하였으며, 표지내 부호 인식을 위해서는 교집합 합성법과 SDF(syntheticdiscriminant function) 합성법의 단계적 합성법을 이용한 형태소를 제안하였다. 제안한 도로교통표지 인식 방법의 타당성을 확인하기 위하여 배경잡음 및 진경잡음을 갖는 실영상에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 제안한 방법이 여러 표지의 검출과 추출 및 표지내 부호 인식에 효과적임을 확인하였다.



II. 형태학의 기본연산

1. 녹임(erosion) 및 불림(dilation)

형태학의 기본연산인 녹임은 적절한 형태소를 이용하여 임의의 입력영상내에 존재하는 영상의 크기감소, 외부 경계수축 및 영상안에 존재하는 구멍(hole)의 크기증가 등에 사용되고, 불림은 영상의 크기증가, 거친 경계의 완만화 및 영상안에 존재하는 구멍의 제거 등에 사용된다(Casasent and Botha, 1988) (Elizabeth 등 1989). 이를 수식적으로 표현하기 위하여 이진 입력영상을 X , 이진 형태소를 B 라 하고 녹임과 불림연산을 각각 $X \ominus B$ 와 $X \oplus B$ 로 표시하면



$$\begin{aligned}
 X \ominus B &= \{a \mid B_a \subseteq X\} \\
 &= (X \star B)_{Th_1}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 X \oplus B &= \{a \mid B_a \cap X \neq \emptyset\} \\
 &= (X \star B)_{Th_2}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

와 같이 정의된다. 여기서 \star 는 상관자(correlation operator)를 나타내고 B_a 는 형태소 B 가 a 개의 화소만큼 천이(translation)하였음을 의미한다. 그리고 Th_1 및 Th_2 는 입력영상과 형태소의 상관결과를 문턱화할 때 사용되는 문턱치를 의미하고, Th_1 은 $(N-1) < Th_1 \leq N$, Th_2 는 $0 < Th_2 \leq 1$ 의 문턱치로 한다. 여기서 N 은 형태소 B 의 화소 수이며 형태소의 자기상관 첨두치와 동일하다. 즉, 녹임과 불림연산은 입력영상과 형태소의 상관결과를 적절한 문턱치로 문턱화를 하여 이루어진다. 이러한 연산의 광학적 구현은 전통적인 4f 광상관기의 필터평면에 형태소의 푸리에

변환된 값을 두고 영상과 상관을 취하여 실현할 수 있다(Casasent 등 1992).

2. Hit-miss 변환(HMT)

HMT는 형태학적 변환 알고리즘의 하나로서 인식하고자 하는 영상을 형태소로 채택하여 입력영상내에 포함된 여러 가지 영상 중 참영상을 찾아낼 수 있고, 특히 배경잡음이나 전경잡음이 있는 입력영상에서 참영상을 추출하는데 유용하다. HMT를 수식적으로 표현하기 위하여 이진 입력영상을 X , 이진 hit 형태소를 H , 이진 miss 형태소를 M 이라 정의하고 $X \otimes (H, M)$ 로 표시하면

$$X \otimes (H, M) = [(X \ominus H) \cap (X^c \ominus M)] \quad (3)$$

와 같이 정의된다. 여기서 $X \ominus H$ 는 hit 변환(HT) 또는 hit 녹임이라 하고, $X^c \ominus M$ 은 miss 변환(MT) 또는 miss 녹임이라 한다. 이때 X^c 는 X 에 대한 보영상이다.

HMT를 이용한 인식 알고리즘 예를 그림 1에 나타내었다. 입력영상은 그림 1(a)와 같이 세 개의 서로 다른 크기의 사각형을 포함하고 있다. 만일 중간 크기의 사각형을 인식하기 위해 그것을 그림 1(b)와 같이 hit 형태소 H 로 선택하면 HT에서 그림 1(d)와 같이 hit 형태소 H 와 같거나 큰 물체를 찾아낸다. 또한 miss 형태소 M 을 그림 1(b)의 아래와 같이 hit 형태소와 그 주변을 둘러싼 영역의 보영상 H 로 선택하면, MT는 그림 1(c)의 입력영상의 보영상에서 miss 형태소 M 의 안쪽부분(검은부분)과 같거나 작은 크기의 물체를 그림 1(e)와 같이 찾아낸다. 따라서 HT와 MT 결과의 공통부분을 취한 최종 HMT는 그림 1(f)와 같이 입력영상내에서 hit 형태소 H 와 크기와 모양이 정합되고, 그 배경이 miss 형태소 M 과 정합되는 물체를 찾아낸다. 일반적으로 HMT 연산에서는 M 이 반드시 H^c 일 필요는 없으며, 찾고자 하는 영상의 크기와 형태의 변화나 잡음성분에 따라 H 와

M 을 적절히 선택하면 된다(Casasent 등 1992) (Yuan 등 1992) (Schaefer and Casasent, 1995).

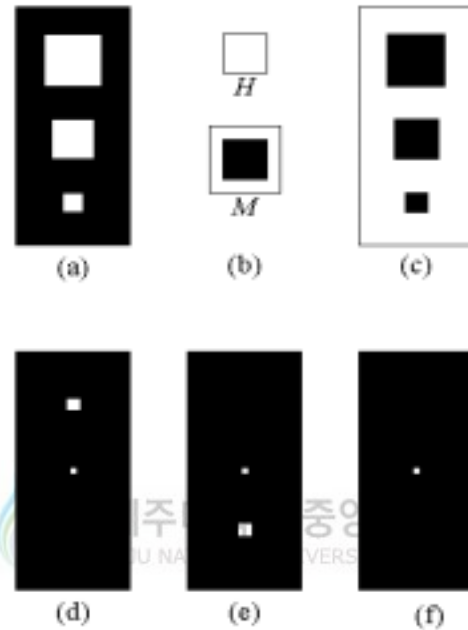


Fig. 1. The example for HMT:

(a) Input image; (b) hit SE and miss SE; (c) complement of input image; (d) HT result; (e) MT result; (f) HMT result.

이러한 HMT 물체인식에 관한 알고리즘을 그림 2에 블록도로 나타내었다. 즉 클러터나 잡음이 존재하는 입력영상과 hit 형태소와의 상관연산 후 문턱화하는 HT에서 인식하고자 하는 물체의 전경을 찾고, 입력영상의 보영상과 miss 형태소와의 상관연산 후 문턱화하는 MT에서 인식하고자 하는 물체의 배경을 찾아서 공통성분을 취하면 HMT가 되며 원하는 물체를 인식하게 된다. 또한 HMT 연산의 광학적 구현은 그림 3과 같이 4f 광상관기를 이용하여 실현할 수 있다. 즉, hit

형태소와 miss 형태소의 푸리에 변환을 4f 광상관기의 필터 평면에 두어 입력영상과 상관을 취한 후, 출력상관 평면에서의 상관결과를 적절한 문턱치로 문턱화를 하여 이들의 공통성분을 취하면 된다. 문턱화 과정에서의 문턱치는 물체의 왜곡이나 전경잡음 또는 배경잡음을 고려하여 녹임연산에서 정의된 문턱치보다 작은 값내에서 적절히 정해주면 된다(Casasent 등 1992) (Yuan 등 1995).

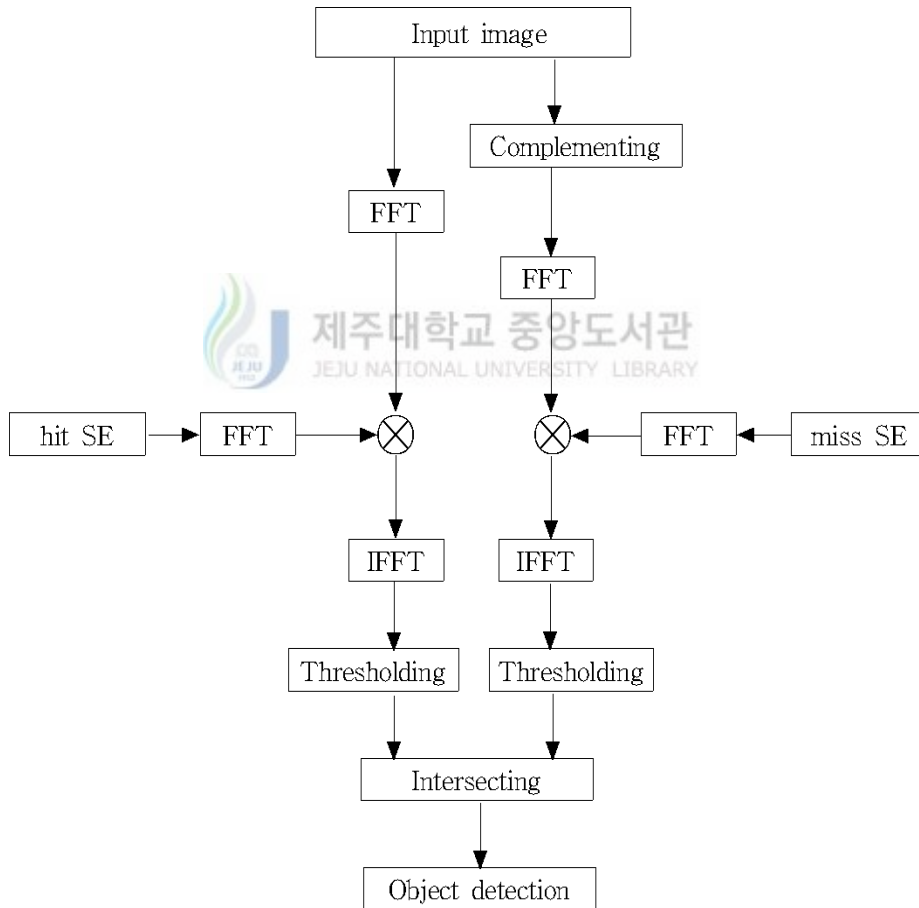
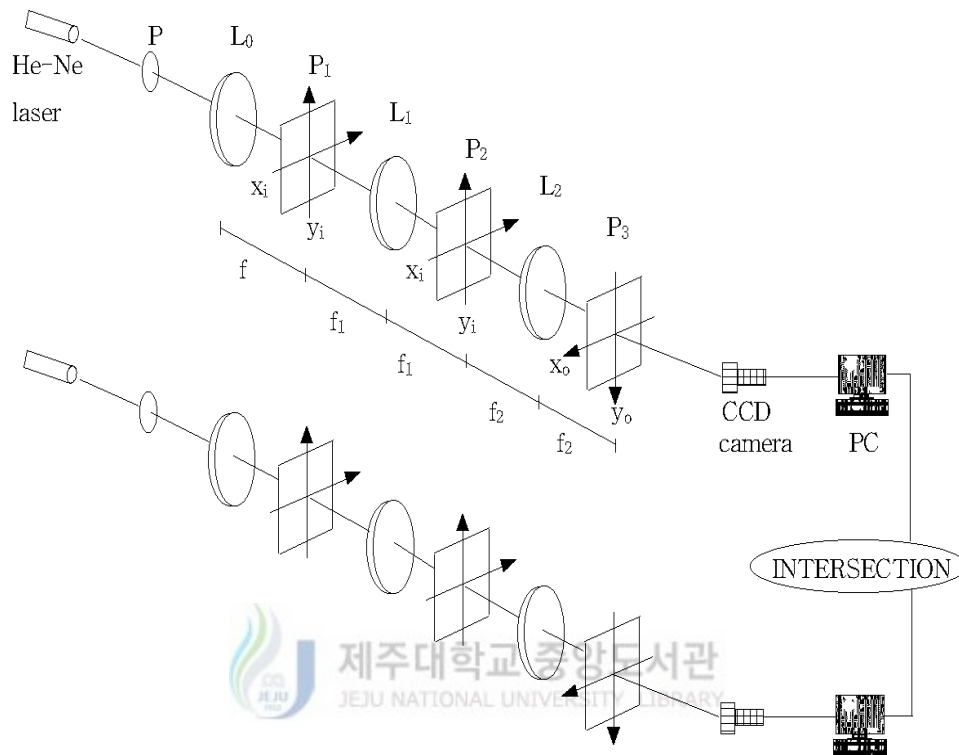


Fig. 2. Block diagram of HMT object recognition algorithm.

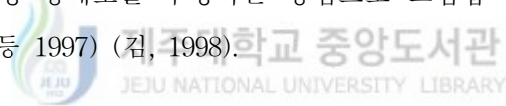


- P : Pin hole
- L_0 : Collimating
- L_1, L_2 : Fourier transform lens
- P_1 : Input plane (up part ; input image,
down part ; complement of input image)
- P_2 : Filter plane (up part ; fourier transform of hit SE,
down part ; fourier transform of miss SE)
- P_3 : Correlation plane (up part ; hit result, down part ; miss result)
- f, f_1, f_2 : Focal length

Fig. 3. Optical correlator system for HMT.

Ⅲ. 합성 형태소를 이용한 HMT

본 논문에서는 실제 도로를 주행하면서 획득한 주의표지, 규제표지, 지시표지 등의 실영상을 인식대상으로 하므로 전경 및 배경잡음이 여러 가지 형태로 포함되어 있을 뿐만 아니라, 관측점이 이동하면서 표지 영상을 획득하므로 크기, 회전 및 모양 변화 등의 왜곡이 나타난다. 이들 왜곡된 표지를 기존의 HMT를 이용하여 모두 검출하고 표지내의 왜곡된 부호들을 효과적으로 인식하기 위해서는 형태소에 대한 많은 데이터베이스가 필요하며 각 형태소에 대한 HMT 연산을 반복적으로 수행하여야 한다. 이 문제점을 해결하기 위하여 동일영상의 왜곡된 영상들을 동시에 인식할 수 있는 합성 형태소를 이용한 합성 HMT 알고리즘이 제시되었으며, 여기서 합성 형태소를 구성하는 방법으로 교집합 합성법과 SDF 합성법이 제안되었다(김 등 1997) (김, 1998).



1. 교집합 합성법

동일영상의 왜곡된 영상들을 동시에 인식하기 위하여 HMT 연산에서 사용될 합성 형태소는 인식하고자 하는 영상들의 조합으로 이루어진다. 합성 hit 형태소는 동일영상의 작은 기준영상과 큰 기준영상에 대한 hit 형태소들을 구한 후 이것들의 교집합으로부터 구해지며, 합성 miss 형태소는 이들의 각각의 miss 형태소들의 교집합으로부터 구해진다. 예를 들어, 인식하고자 하는 동일영상을 B 라 하고, 동일영상의 작은 기준영상과 큰 기준영상을 각각 B_S , B_L 이라 둘 때, 합성 Hit 형태소 H_{AND} 는 작은 기준영상과 큰 기준영상의 hit 형태소에 공통으로 포함된 성분이 되고 합성 miss 형태소 M_{AND} 는 작은 기준영상과 큰 기준영상의 miss 형태소에 공통으로 포함된 성분이 된다. H_{AND} 와 M_{AND} 를 수학적으로 표기하면

$$H_{AND} = B_S \cap B_L \quad (4)$$

$$M_{AND} = B_S^C \cap B_L^C \quad (5)$$

이며, 식 (4)와 (5)로 정의한 H_{AND} 와 M_{AND} 를 이용해서 HMT를 다시 표기하면 다음과 같다.

$$X \otimes (H_{AND}, M_{AND}) = [X \ominus (B_S \cap B_L)] \cap [(X^C \ominus (B_S^C \cap B_L^C))] \quad (6)$$

이와 같이 합성 형태소를 이용하여 HMT를 행하면 HT에서 H_{AND} 로 정해지는 영상과 같거나 큰 형태는 모두 인식되고, MT에서 M_{AND} 로 정해지는 영상과 같거나 큰 영상은 모두 인식된다. 결국 이렇게 인식된 두 개의 상관결과에 대해 공통성분을 취하면 동일영상의 왜곡된 영상, 즉 기준영상은 물론이고 중간 영상이나 제한된 범위의 회전된 영상들을 한번의 HMT 연산으로 모두 인식할 수 있다(김 등 1997).

그림 4는 동일영상의 왜곡된 영상들을 동시에 인식하기 위한 교집합 합성법으로 구성된 합성 형태소를 이용한 HMT 알고리즘 예이다. 그림 4(a)와 같은 128×128 크기의 입력영상내에서 인식하고자 하는 동일영상 중 크기가 다른 사각형 3개와 모양이 다른 거짓영상인 마름모가 함께 놓여 있다. 이러한 입력영상내에 동일영상의 크기가 영상들을 동시에 인식하기 위해 합성 hit 형태소와 합성 miss 형태소를 교집합 합성법으로 구성된다. 이 경우 합성 hit 형태소는 좌하단의 작은 사각형과 같고 합성 miss 형태소는 우상단의 큰 사각형의 보영상과 같다. 이들은 그림 4(d)와 같다. 그림 4(a)의 입력영상과 그림 4(d)의 합성 hit 형태소와의 hit 결과는 그림 4(e)와 같고, 합성 hit 형태소보다는 같거나 큰 모든 영상이 인식된다. 그림 4(b)의 보영상과 그림 4(d)의 합성 miss 형태소와의 miss 결과는

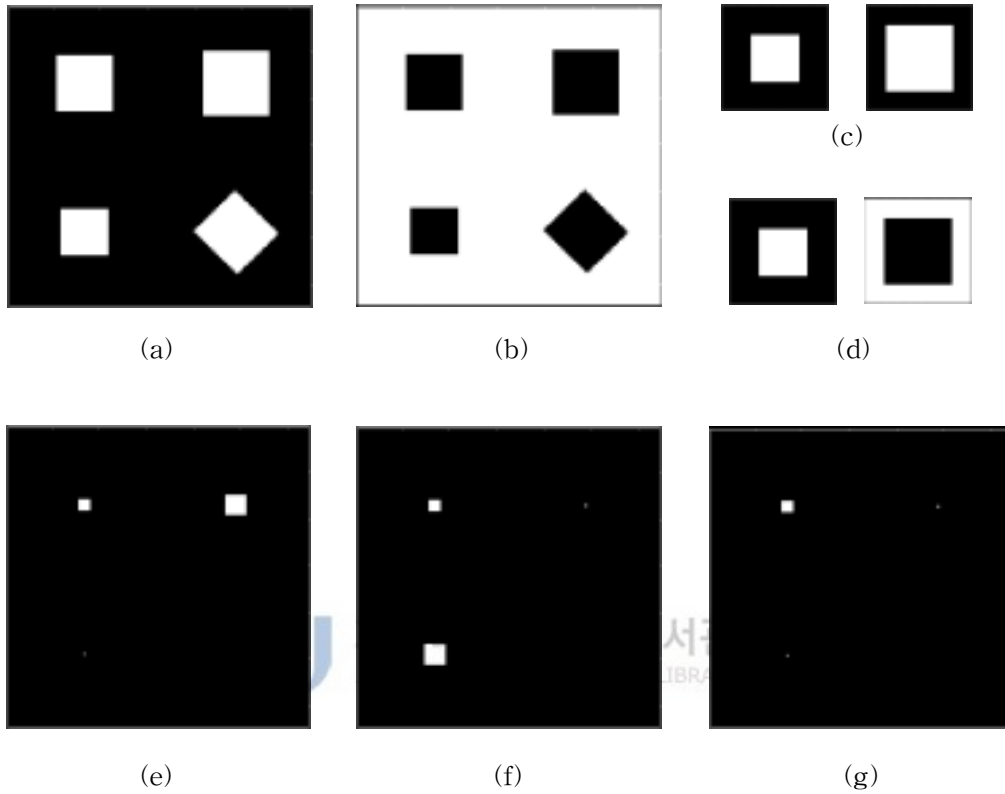


Fig. 4. The example for HMT object recognition using intersection method:
 (a) Input image; (b) complement of input image; (c) reference images;
 (d) synthetic hit SE and miss SE; (e) HT result; (f) MT result; (g)
 HMT result.

그림 4(f)와 같고, 합성 miss 형태소의 안쪽 부분(검은부분)보다 같거나 작은 모든 영상이 인식된다. HMT 결과는 hit 결과와 miss 결과의 공통부분을 취하므로 그림 4(g)와 같이 위상단의 큰 사각형과 좌하단의 작은 사각형을 인식할 뿐만 아니라 좌상단의 중간 크기의 사각형도 인식된다. 따라서 교집합 합성법으로 구성된 합성 형태소를 이용하면 입력영상내에 합성 hit 형태소보다 크고, 합성 miss

형태소의 안쪽부분보다 작은 동일영상의 왜곡된 영상들이 존재할 때 이들 모두를 동시에 인식하게 된다. 그러나 교집합 합성법으로 합성할 기준영상들이 많아지면 합성 형태소의 모양이 단순해져 기준영상과 비슷한 거짓영상을 분리하지 못하는 단점이 생긴다.

2. SDF 합성법

SDF 합성법은 SDF 필터를 사용하여 형태소를 합성한다. SDF 필터는 동일한 물체의 왜곡 등에는 강한 특성을 나타낼 뿐만 아니라 표지내 비슷한 여러 부호를 분리 인식하는데 효과적이다. SDF 필터는 인식하고자 하는 영상과 분리하고자 하는 영상을 학습영상으로 하여 공간영역에서 적당한 가중치를 곱한 후, 이들을 선형조합하여 구한다. 이때 학습영상들에 곱해지는 가중치는 학습영상들의 자기상관 첨두치(autocorrelation peak)와 상호상관 첨두치(crosscorrelation peak)로 만들어지는 상관행렬, 즉 VIP(vector inner product) 행렬의 역과 분리와 인식을 제한해 주는 제한 벡터와의 곱으로 구한다. 이러한 SDF 필터의 유형에는 ECP-SDF(equal correlation peak-SDF), MOF-SDF(mutual orthogonal function-SDF) 등이 있다. 여기서 ECP-SDF 필터는 기준영상을 인식하고자 하는 참영상만으로 할 경우에 사용하고, MOF-SDF 필터는 참영상으로부터 거짓영상을 분리하고자 할 때 사용한다(Casasent 등 1984) (Casasent, 1984).

입력평면에 참영상과 유사한 거짓영상이 존재하지 않을 경우에 합성 hit 형태소는 인식하고자 하는 기준영상들을 학습영상으로 하여 ECP-SDF를 만들어 구성하고, 합성 miss 형태소는 인식하고자 하는 기준영상의 보영상을 학습영상으로 하여 ECP-SDF를 만들어 구성한다. 예를 들어, 동일하게 인식하고자 하는 형태가 다른 기준영상 F_1, F_2, \dots, F_k 와 같이 k 개가 존재할 때, i 번째 물체의 hit 형태소를 H_i , i 번째 물체의 miss 형태소를 M_i 라 하면

$$\begin{aligned}
 H_i &= F_i \\
 M_i &= F_i^c, \quad \text{여기서 } i=1, 2, \dots, k
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

와 같이 나타낸다. 즉, hit 형태소는 인식하고자 하는 물체로 정해지고 miss 형태소는 인식하고자 하는 물체의 보영상으로 정해진다. 합성 hit 형태소 H_{SDF} 와 합성 miss 형태소 M_{SDF} 는

$$H_{SDF} = \sum_{i=1}^k a_i H_i
 \tag{8}$$

$$M_{SDF} = \sum_{i=1}^k b_i M_i
 \tag{9}$$



와 같다. 여기서 a_i 는 합성 hit 형태소를 구성하기 위한 가중치벡터이고, b_i 는 합성 miss 형태소를 구성하기 위한 가중치벡터이며

$$\begin{aligned}
 a &= R_{hit}^{-1} u \\
 b &= R_{miss}^{-1} u
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

와 같이 구성된다. 합성 형태소를 구성할 때 사용된 제한벡터 u 의 요소는 k 개의 기준영상을 동시에 인식하기 위한 ECP-SDF 합성법에서는 k 개의 “1”로 구성된다. 그리고 VIP 행렬 R_{hit}^{-1} 과 R_{miss}^{-1} 는

$$R_{hit}^{-1} = \begin{bmatrix} F_1 \star F_1 & F_1 \star F_2 & \cdots & F_1 \star F_k \\ F_2 \star F_1 & F_2 \star F_2 & \cdots & F_2 \star F_k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F_k \star F_1 & F_k \star F_2 & \cdots & F_k \star F_k \end{bmatrix}^{-1} \quad (11)$$

$$R_{miss}^{-1} = \begin{bmatrix} F_1^c \star F_1^c & F_1^c \star F_2^c & \cdots & F_1^c \star F_k^c \\ F_2^c \star F_1^c & F_2^c \star F_2^c & \cdots & F_2^c \star F_k^c \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F_k^c \star F_1^c & F_k^c \star F_2^c & \cdots & F_k^c \star F_k^c \end{bmatrix}^{-1} \quad (12)$$

로 구성되며, 각 요소값은 상관결과의 침투치이다. 여기서 \star 는 상관자(correlation operator)를 나타낸다. 이렇게 구성된 합성 hit 형태소와 합성 miss 형태소를 이용한 HMT는

$$X \otimes (H_{SDF}, M_{SDF}) = (X \ominus \sum_{i=1}^k a_i H_i) \cap (X^c \ominus \sum_{i=1}^k b_i M_i) \quad (13)$$

와 같다. 이와 같이 공간영역에서 ECP-SDF로 합성된 hit-SDF 형태소를 입력영상과 상관연산 후 문턱화를 하면 합성 hit 형태소와 크기가 같거나 큰 물체는 모두 인식되고, 동일한 방법으로 합성된 miss-SDF 형태소에 의해 합성 miss 형태소의 안쪽부분과 같거나 작은 물체는 모두 인식된다. 이렇게 인식된 상관결과에서 공통성분을 취하면 합성 hit 형태소와 합성 miss 형태소를 구성할때 사용된 학습영상과 같은 영상이 한번의 HMT 연산으로 모두 인식된다. 만약, 입력영상에 기준영상과 유사한 모양의 거짓영상이 존재하면 위에서 언급한 ECP-SDF로 합성한 형태소로는 인식이 불가능하다. 왜냐하면 HT와 MT연산을 수행하면 유사영상

이 존재하는 위치에서 상관첨두치가 나타나게 되어 공통성분을 취하더라도 유사영상이 분리되지 않고 참영상과 같은 영상으로 오인식된다. 이를 해결하기 위해서는 합성 형태소를 구성할 때 MOF-SDF 합성법을 사용하여 유사한 거짓영상에 해당하는 제한벡터의 가중치를 “0”으로 하면 유사영상에 대한 상관첨두치는 나타나지 않아서 참영상과 유사영상을 분리하게 된다(김 등 1998) (김, 1998).

그림 5에서는 SDF 합성법으로 구성된 합성 형태소를 이용한 HMT 연산으로 기준영상과 거짓영상을 분리하는 것을 보여 준다. 그림 5(a)의 입력영상에서 우상단과 좌하단의 사각형은 인식하고자 하는 기준영상이고, 좌상단의 중간 사각형은 분리하고자 하는 거짓영상이다. 이러한 경우에는 우상단과 좌하단의 사각형만을 참영상으로 정하여 인식하고 좌상단의 사각형을 거짓영상으로 정하여 분리 인식하기 위해 MOF-SDF 합성법을 이용하여 형태소를 합성한다. 기준영상과 거짓영상은 그림 5(c)와 같고, hit-SDF 형태소와 miss-SDF 형태소는 그림 5(d)와 같다. MOF-SDF 합성시 사용된 제한벡터는 참영상(우상단과 좌하단의 사각형)의 경우 ‘1’, 거짓영상(좌상단의 사각형)의 경우 ‘0’이 된다. 이때 우하단의 마름모는 참영상의 모양과 차이가 나므로 학습영상에 포함시키지 않더라도 구별하는데 어려움이 없다. 그림 5(d)의 hit-SDF 형태소를 보면 학습영상 중에서 기준영상의 공통부분에서 다른 부분의 값보다 더 큰 값을 가지고, 거짓영상 부분에서 작은 값을 가져 거짓영상을 분리할 수 있음을 보여준다. 그림 5(d)의 miss-SDF 형태소는 학습영상의 보영상으로 합성하였으므로 거짓영상 부분에서 큰 값을 가지고, 기준영상의 공통부분에서 작은 값을 가져 거짓영상을 분리할 수 있음을 보여준다. 그림 5(a)의 입력영상과 그림 5(d)의 hit-SDF 형태소와의 hit 결과는 그림 5(e)와 같고, 그림 5(b)의 보영상과 그림 5(d)의 miss-SDF 형태소와의 miss 결과는 그림 5(f)와 같다. 이렇게 얻은 hit 결과와 miss 결과의 공통부분을 취하여 얻은 HMT 결과는 그림 5(g)와 같으며, 인식하고자 하는 참영상의 위치에서 ‘1’, 거짓영상의 위치에서 ‘0’의 값을 나타내어 기준영상과 유사한 거짓영상을 효과적으로 분리 인식할 수 있음을 보여준다. 그러나 SDF 합성법으로 합성 형태소를 합성할 때 합성할 기준영상의 수가 많아지면 계산이 복잡해지고 인식율이 떨어지는 단점이 있

다.

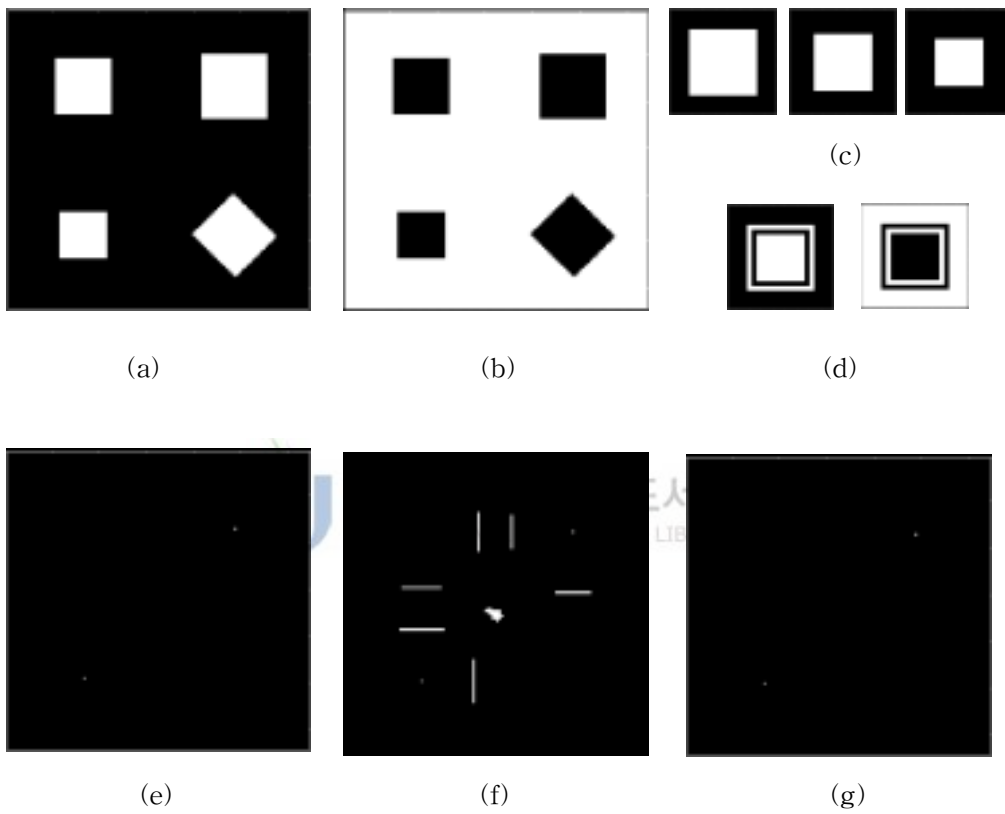


Fig. 5. The example for HMT object recognition using SDF method:

- (a) Input image;
- (b) complement of input image;
- (c) true reference images and false reference image;
- (d) synthetic hit SE and miss SE;
- (e) HT result;
- (f) MT result;
- (g) HMT result.

IV. 제안한 합성 형태소 구성 방법

기존의 교집합 합성법과 SDF 합성법은 동일영상의 왜곡된 영상을 인식하는데 사용될 수 있다. 그러나 본 논문에서는 인식대상으로 하는 교통표지는 그 종류가 많고 다양할 뿐만 아니라 차량이 이동하면서 획득한 영상으로부터 얻어지므로 크기, 회전 등의 왜곡을 가지므로 기존의 형태소 합성법으로는 이들 모두를 동시에 인식하기에는 부적절하다. 이 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 기존의 합성법을 수정한 합성법을 제안하였다. 제안된 방법은 교통표지의 인식을 실영상으로부터 교통표지를 검출하는 단계와 표지 부호를 인식하는 단계로 나누어 수행한다. 교통표지의 검출 단계에서는 서로 다른 표지의 왜곡된 영상들을 동시에 검출하기 위하여 다단계 교집합 합성법을 제안하였고, 표지 부호의 인식 단계에서는 표지내의 서로 다른 여러 부호의 왜곡된 영상들을 동시에 인식한 후 개별적으로 분리 인식하기 위하여 교집합 합성법과 SDF 합성법의 단계적 합성법을 제안하였다.

1. 표지 검출을 위한 다단계 교집합 합성법

교집합 합성법으로 구성된 합성 형태소는 동일한 영상의 왜곡된 영상들을 동시에 검출하는데 사용된다. 또한 모양이 서로 다른 형태의 물체검출에도 사용된다. 본 논문에서는 이러한 교집합 합성법의 성질을 이용하여 모양이 서로 다른 표지의 왜곡된 표지들을 동시에 검출할 수 있는 다단계 교집합 합성법을 제안하였다. 제안한 다단계 교집합 합성법은 먼저 서로 다른 모양의 표지들 중 동일한 표지의 작은 기준영상과 큰 기준영상을 교집합 합성법으로 합성하여 각각의 합성 형태소를 구성하였다. 이렇게 구성된 합성 형태소를 이용하여 HMT를 수행하면 동일한

모양의 표지 중에서 기준영상으로 사용한 표지들은 물론이고 왜곡된 표지(중간표지나 제한된 범위의 회전된 표지)들도 모두 검출할 수 있다. 이렇게 구성된 각각의 모양이 서로 다른 표지의 합성 형태소들은 비교적 단순한 모양(원, 삼각형, 역삼각형 등)을 갖고 있으므로 이들을 교집합 합성법으로 다시 합성하여 하나의 다단계 합성 형태소를 구성하여 HMT를 수행하면 모양이 서로 다른 표지들을 한번에 검출할 뿐만 아니라 동일한 표지의 왜곡된 표지(중간 표지나 제한된 범위의 회전된 표지)들까지도 동시에 검출할 수 있다. 예를 들어 서로 다른 모양의 표지들 중 첫번째 표지의 기준영상을 A_1 이라 두고 작은 기준영상을 A_{1S} , 큰 기준영상을 A_{1L} 이라 하면, 이들의 교집합 합성 hit 형태소 H_{AND-A1} 과 합성 miss 형태소 M_{AND-A1} 은 각각 크고 작은 두 기준영상의 교집합으로 구성되며 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} H_{AND} &= A_{1S} \cap A_{1L} \\ M_{AND} &= A_{1S}^c \cap A_{1L}^c \end{aligned} \quad (14)$$

그리고 모양이 서로 다른 표지들의 기준영상을 A_2, A_3, \dots, A_N 이라 둘 때 이들의 합성 hit 형태소들과 합성 miss 형태소들은 A_1 표지와 마찬가지로 구성되며, 수식적으로 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} H_{AND-A2} &= A_{2S} \cap A_{2L} & H_{AND-A3} &= A_{3S} \cap A_{3L} & \dots & & H_{AND-N3} &= A_{NS} \cap A_{NL} \\ M_{AND-A2} &= A_{2S}^c \cap A_{2L}^c & M_{AND-A3} &= A_{3S}^c \cap A_{3L}^c & \dots & & M_{AND-N3} &= A_{NS}^c \cap A_{NL}^c \end{aligned} \quad (15)$$

이렇게 구성된 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_N$ 의 합성 형태소들을 다시 교집합 합성법으로 합성하여 하나의 다단계 합성 hit 형태소 H_{MAND-A} 와 다단계 합성 miss 형태소 M_{MAND-A} 를 구성하며, 수식적 표현은 다음과 같다.

$$H_{MAND-A} = H_{AND-A1} \cap H_{AND-A2} \cap \dots \cap H_{AND-AN} \quad (16)$$

$$M_{MAND-A} = M_{AND-A1} \cap M_{AND-A2} \cap \dots \cap M_{AND-AN} \quad (17)$$

식 (16)와 (17)로 정의한 H_{MAND-A} 와 M_{MAND-A} 를 이용해서 HMT를 다시 표기하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X \otimes (H_{MAND-A}, M_{MAND-A}) \\ = [X \ominus (H_{AND-A1} \cap H_{AND-A2} \cap \dots \cap H_{AND-AN})] \cap \\ [X^C \ominus (M_{AND-A1} \cap M_{AND-A2} \cap \dots \cap M_{AND-AN})] \end{aligned} \quad (18)$$

이와 같이 다단계 합성 hit 형태소와 다단계 합성 miss 형태소를 이용하여 HMT를 수행하면 HT에서 H_{MAND-A} 로 정해지는 영상과 같거나 큰 영상은 모두 검출되고, MT에서 M_{MAND-A} 로 정해지는 영상과 같거나 큰 영상은 모두 검출된다. 결국 이렇게 검출된 두 개의 상관결과에 대해 공통성분을 취하면 서로 다른 영상들을 한번에 검출할 뿐만 아니라 이들 모두의 영상들의 왜곡된 영상(중간 영상이나 제한된 범위의 회전된 영상)까지 모두 검출해 낼 수 있다.

본 논문에서는 표지의 대표적인 모양을 갖는 3개의 표지, 즉 원 모양의 속도표지, 삼각형 모양의 주의표지, 역삼각형 모양의 규제표지를 인식대상으로 하였다. 이들 모두를 한번에 검출하기 위하여 제안한 방법을 사용하여 다단계 합성 형태소를 구성하였다. 그림 6, 7, 8에서는 속도표지, 주의표지, 규제표지 영상들에 대한 기준영상들과 교집합 합성법으로 구성된 합성 형태소들을 각각 나타내었다. 그림 6(a), (b)와 그림 7(a), (b) 그리고 8(a), (b)는 각각 도로에서 관측자와 표지 사이가 10m와 9m인 위치에서 획득한 작고 큰 표지이다. 여기서 hit 형태소를 위한 기준영상들은 표지판 테두리 부분을 선택하여 최적으로 구성하였으며, 이들을 그림

6(c), (d)와 그림 7(c), (d) 그리고 그림 8(c), (d)에 각각 나타내었다. 그리고 합성 hit 형태소들은 각각의 두 기준영상의 hit 형태소들을 교집합 합성법으로 구성하였으며, 이를 그림 6(e), 그림 7(e), 그림 8(e)에 각각 나타내었다. miss 형태소를 위한 기준영상들은 표지 테두리 안쪽에서 숫자나 글자, 방향 부호가 포함되지 않는 부분을 선택하여 최적으로 구성하였으며, 이들은 그림 6(f), (g)와 그림 7(f), (g) 그리고 그림 8(f), (g)에 각각 나타내었다. 합성 miss 형태소는 두 기준영상의 miss 형태소들을 교집합 합성법으로 구성하였으며, 이를 그림 6(h), 그림 7(h), 그림 8(h)에 각각 나타내었다. 이렇게 교집합 합성법으로 구성된 합성 형태소들은 크고 작은 두 영상의 공통부분을 선택하여 구성되므로 동일영상의 기준영상들과 함께 왜곡된 영상(중간 영상이나 제한된 범위의 회전된 영상)들까지도 동시에 검출하는데 사용할 수 있다.

마지막으로 교집합 합성법으로 구성된 각각의 합성 형태소들을 다시 교집합 합성법으로 합성하여 하나의 다단계 합성 hit 형태소와 다단계 합성 miss 형태소를 구성하였다. 다단계 합성 hit 형태소는 각 표지의 합성 hit 형태소들(그림 6(e), 그림 7(e), 그림 8(e))을 교집합 합성법으로 합성하여 그림 9(a)에 나타내었다. 다단계 합성 miss 형태소는 각 표지의 합성 miss 형태소들(그림 6(h), 그림 7(h), 그림 8(h))을 교집합 합성법으로 합성하여 그림 9(b)에 나타내었다. 이렇게 제안된 방법으로 구성된 다단계 합성 형태소를 사용하면 모양이 서로 다른 표지들과 그 표지들의 왜곡된 영상(중간 영상이나 제한된 범위의 회전된 영상)들까지도 동시에 검출할 수 있다.

제안된 방법으로 구성된 다단계 합성 hit 형태소와 다단계 합성 miss 형태소를 그림 2의 HMT 물체인식에 관한 알고리즘에 적용하여 사용하면 3개의 표지를 동시에 검출하는데 사용할 수 있다. 클러스터나 잡음이 존재하는 입력영상과 다단계 합성 hit 형태소와의 상관연산 후 문턱화하는 HT에서는 검출하고자 하는 3개의 표지의 전경을 찾고, 입력영상의 보영상과 다단계 합성 miss 형태소와의 상관연산 후 문턱화하는 MT에서는 검출하고자 하는 3개의 표지의 배경을 찾아서 이들의 공통성분을 취하면 HMT가 되며 원하는 3개의 표지를 동시에 검출하게 된다.

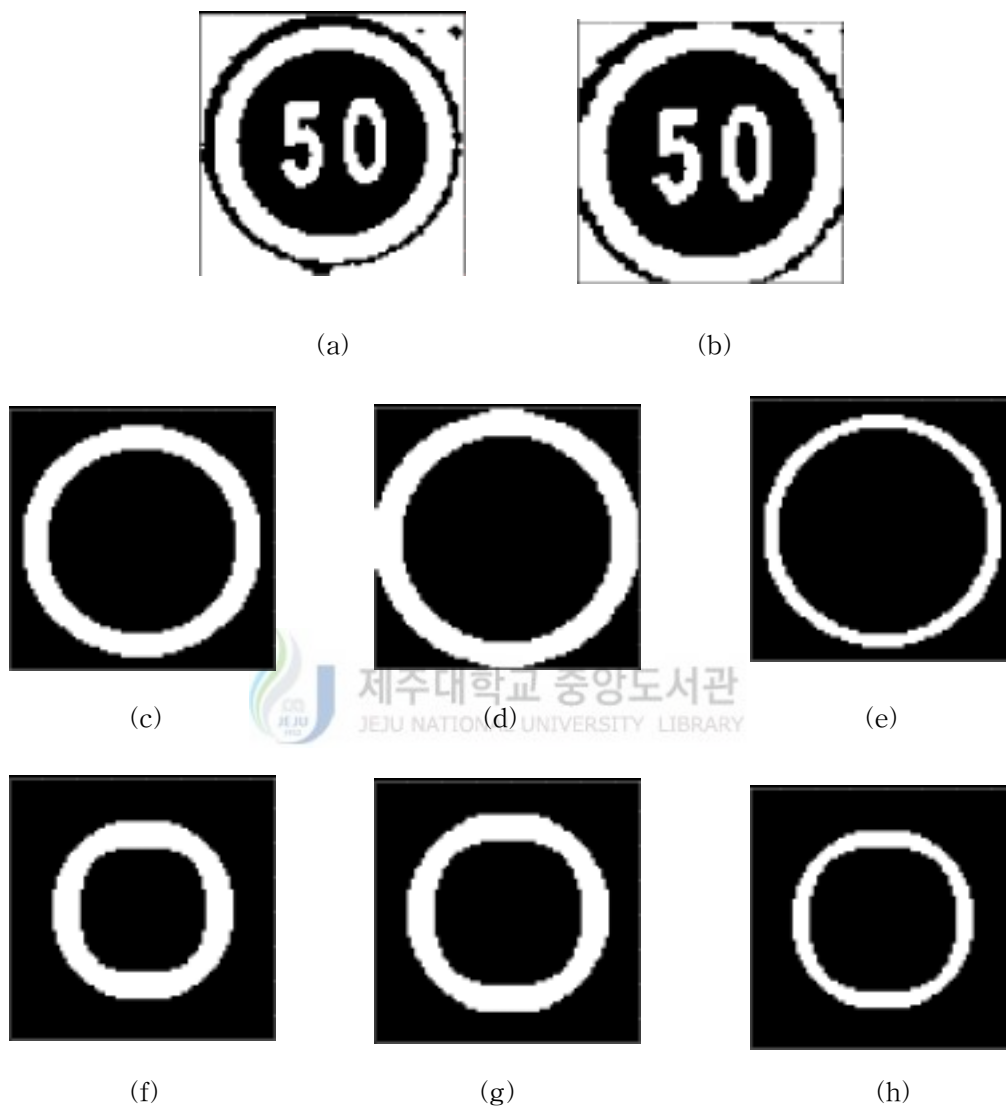


Fig. 6. Synthetic SEs for the detection of a speed limit sign:

(a) Small sign; (b) large sign; (c) small hit SE; (d) large hit SE; (e) synthetic hit SE; (f) small miss SE; (g) large miss SE; (h) synthetic miss SE.

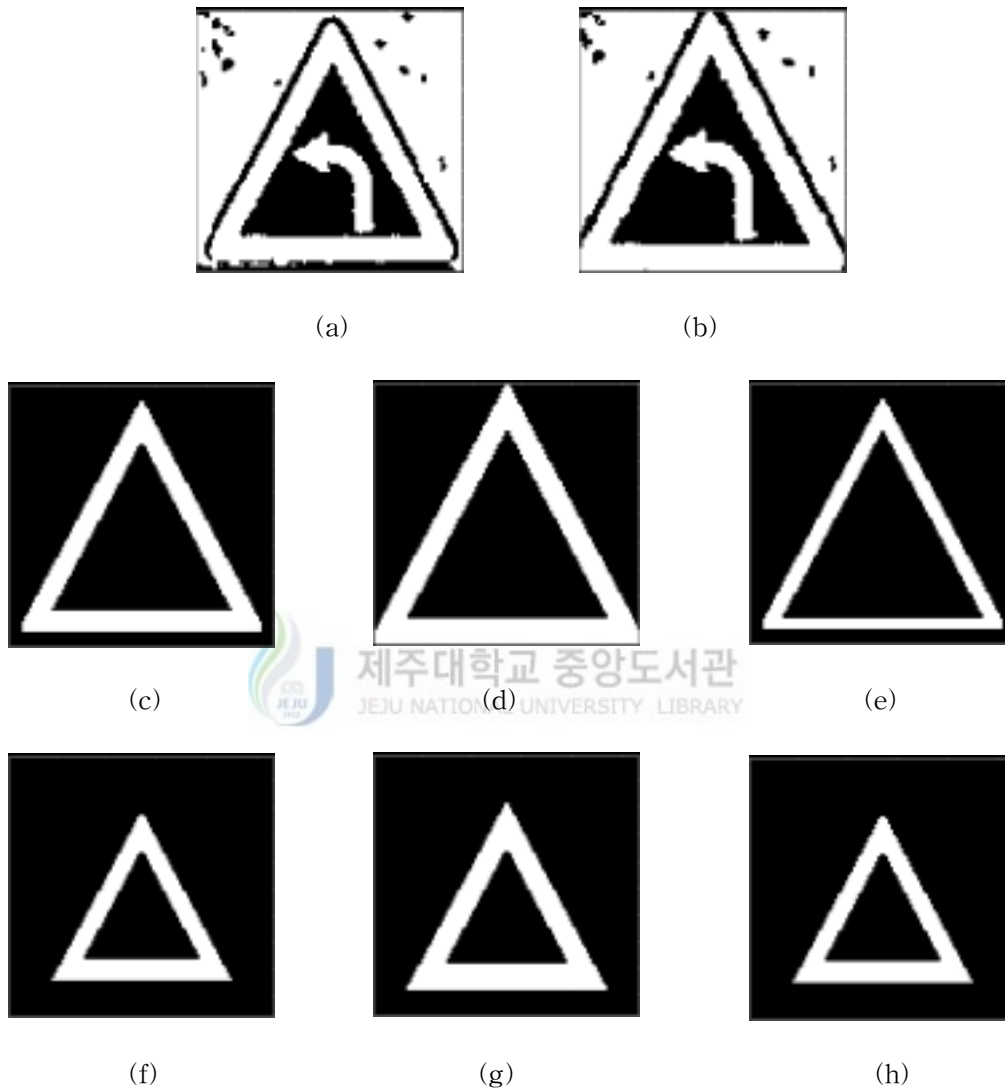


Fig. 7. Synthetic SEs for the detection of a warning sign:

(a) Small sign; (b) large sign; (c) small hit SE; (d) large hit SE; (e) synthetic hit SE; (f) small miss SE; (g) large miss SE; (h) synthetic miss SE.

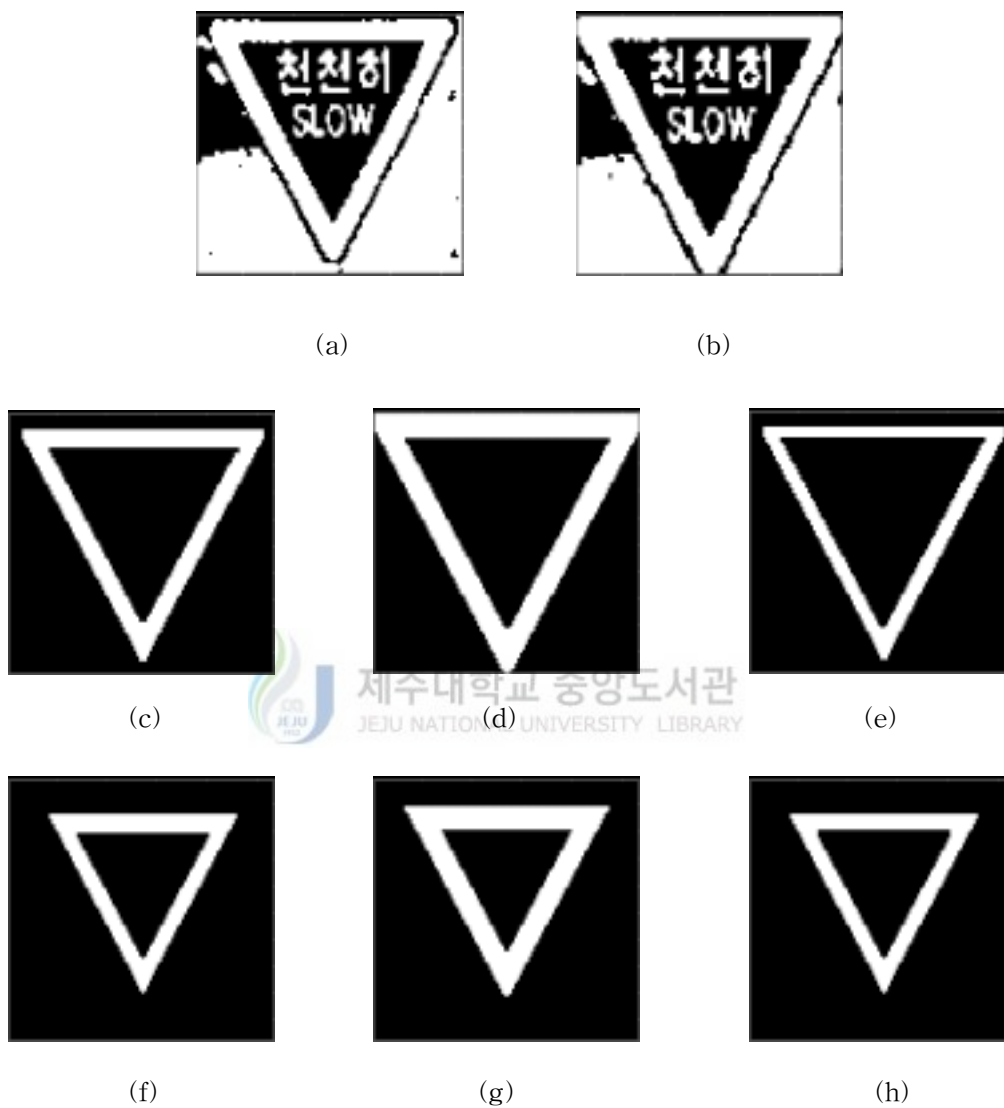


Fig. 8. Synthetic SEs for the detection of a regulation sign:

(a) Small sign; (b) large sign; (c) small hit SE; (d) large hit SE; (e) synthetic hit SE; (f) small miss SE; (g) large miss SE; (h) synthetic miss SE.



Fig. 9. Synthetic SEs for the detection of a speed limit sign, a warning sign and a regulation sign using the proposed multiple intersection method:
 (a) Synthetic hit SE; (b) synthetic miss SE.

2. 표지내 부호 인식을 위한 교집합 합성법과 SDF 합성법의 단계적 합성법

표지내 부호들을 효과적으로 인식하기 위한 합성 형태소를 교집합 합성법과 SDF 합성법의 단계적 합성법으로 구성하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법으로 구성된 단계적 합성 형태소는 먼저, 모양이 서로 다른 여러 부호 중 동일부호의 작은 기준영상과 큰 기준영상을 교집합 합성법으로 합성하여 각각의 합성 형태소를 구성하였다. 이렇게 구성된 합성 형태소를 사용하면 동일한 모양의 부호 중에서 기준영상으로 사용한 것은 물론이고 왜곡된 부호(중간 부호나 제한된 범위의 회전된 부호)들까지 모두 동시에 인식해 낼 수 있다. 이렇게 구성된 각각의 모양이 서로 다른 여러 표지 부호의 합성 형태소들을 다시 SDF 합성법으로 합성하여

하나의 단계적 합성 형태소를 구성하여 HMT를 수행하면 모양이 서로 다른 여러 부호를 동시에 인식할 뿐만 아니라 동일부호의 왜곡된 부호(중간부호나 제한된 범위의 회전된 부호)들까지도 동시에 인식할 수 있다. 그리고 기준영상과 거짓영상을 분리 인식할 수 있는 SDF 합성법의 성질을 이용하면 동시에 인식한 여러 개의 부호를 개별적으로 분리 인식할 수가 있다. 예를 들어 i 번째 표지 부호의 기준영상을 B_i 이라 두고, 작은 기준영상을 B_{iS} , 큰 기준영상을 B_{iL} 이라 할 때 이들의 합성 hit 형태소 H_{AND-Bi} 와 합성 miss 형태소 M_{AND-Bi} 는 각각 교집합 합성법으로 구성되며 수식적으로 표현하면,

$$\begin{aligned} H_{AND-Bi} &= B_{iS} \cap B_{iL} \\ M_{AND-Bi} &= B_{iS}^c \cap B_{iL}^c \end{aligned} \quad (19)$$

와 같다. 이렇게 구성된 합성 형태소들을 다시 SDF 합성법으로 합성하여 하나로 구성된 단계적 합성 hit 형태소 $H_{SDF-AND-B}$ 와 단계적 합성 miss 형태소 $M_{SDF-AND-B}$ 를 수식적으로 표현하면,

$$H_{SDF-AND-B} = \sum_{i=1}^N c_i H_{AND-Bi} \quad (20)$$

$$M_{SDF-AND-B} = \sum_{i=1}^N d_i M_{AND-Bi} \quad (21)$$

와 같다. 여기서 c_i 는 단계적 합성 hit 형태소를 구성하기 위한 가중치벡터이고, d_i 는 단계적 합성 miss 형태소를 구성하기 위한 가중치벡터이며

$$\begin{aligned}
c &= R_{hit}^{-1} u \\
d &= R_{miss}^{-1} u
\end{aligned}
\tag{22}$$

와 같이 구성된다. 제한벡터 u 의 요소는 N 개의 부호를 동일부호로 인식하기 위한 ECP-SDF 합성법에서는 모두 N 개의 “1”로 구성한다. 그리고 VIP 행렬 R_{hit} 과 R_{miss} 는

$$\begin{aligned}
R_{hit-ii} &= \max \langle H_{AND-Bi} \cdot H_{AND-Bi} \rangle \\
R_{hit-ij} &= \max \langle H_{AND-Bi} \cdot H_{AND-Bj} \rangle
\end{aligned}
\tag{23}$$

$$\begin{aligned}
R_{miss-ii} &= \max \langle M_{AND-Bi} \cdot M_{AND-Bi} \rangle \\
R_{miss-ij} &= \max \langle M_{AND-Bi} \cdot M_{AND-Bj} \rangle
\end{aligned}
\tag{24}$$

로 구성되며, R_{hit} 과 R_{miss} 의 요소값은 각각 교집합 합성법으로 구성된 합성 hit 형태소들과 합성 miss 형태소들의 자기상관 결과와 상호상관 결과의 첨두치들이다. 이렇게 구성된 단계적 합성 hit 형태소와 단계적 합성 miss 형태소를 이용한 HMT는

$$\begin{aligned}
&X \otimes (H_{SDF-AND-B}, M_{SDF-AND-B}) \\
&= (X \ominus \sum_{i=1}^N c_i H_{AND-Bi}) \cap (X^C \ominus \sum_{i=1}^N d_i M_{AND-Bi})
\end{aligned}
\tag{25}$$

와 같다. 이렇게 제안된 방법을 사용하면 표지의 서로 다른 여러 부호와 그 부호들의 왜곡된 부호(중간 부호나 제한된 범위의 회전된 부호)들까지도 동시에 인식한 후 개별적으로 분리 인식할 수 있으므로 모양이 서로 다른 여러 부호 인식에 빠르고 효과적인 방법이다. 만약, 표지의 유사한 부호를 거짓영상으로 분리하려면

MOF-SDF로 단계적 합성 형태소를 구성한다. 이때 거짓영상에 해당하는 제한백터의 가중치를 “0”으로 하면 유사영상에 대한 상관침두치는 나타나지 않아서 참영상과 유사영상을 분리할 수 있다.

그림 10에 보면 제안한 방법을 이용하여 단계적 합성 형태소를 구성할 때 사용하기 위하여 여러 부호들의 크고 작은 기준영상들을 그룹별로 나타내었다. 여기서 기준영상들의 선택은 각 표지 부호들의 실영상을 선택하여 최적으로 구성하였다. 그림 10(a)는 제한속도 30, 50, 60, 70을 갖는 표지 부호들의 기준영상들을 한 그룹으로 묶어 놓은 것을 나타내었다. 제한속도표지의 부호들에는 ‘0’이라는 부호가 공통으로 포함되어 있기 때문에 인식할 때 무시해도 되므로 ‘0’이라는 부호를 기준영상에서 제외하였다. 그림 10(b)는 \uparrow , \downarrow , \top , \perp 자형 교차로표지 부호들의 기준영상들을 한 그룹으로 나타내었고, 그림 10(c)는 좌합류, 우합류, 좌로굽은, 우로굽은 도로표지 부호들의 기준영상들을 한 그룹으로 나타내었다. 이렇게 여러 부호들을 그룹으로 나누어 단계적 합성 형태소들을 구성하면 부호를 그룹으로 인식한 후 그룹내의 부호들을 개별적으로 분리 인식할 수 있다. 만약, 제한속도 30을 갖는 표지 부호를 인식하기 위해서는 먼저 그림 10의 제한속도 30, 50, 60, 70의 부호를 동시에 인식하도록 하고, 다음으로 제한속도 30, 50의 부호를 동시에 인식하도록 하며, 마지막으로 제한속도 30 부호만을 인식하도록 하면 된다. 따라서 하나의 부호를 인식하기 위해서 4개의 부호를 동시에 인식하기 위한 단계적 합성 형태소들과 2개의 부호를 동시에 인식하기 위한 단계적 합성 형태소들 그리고 1개의 동일한 부호의 왜곡된 부호(중간 부호나 제한된 범위의 회전부호)들을 동시에 인식하기 위한 합성 형태소들을 구성하였다.

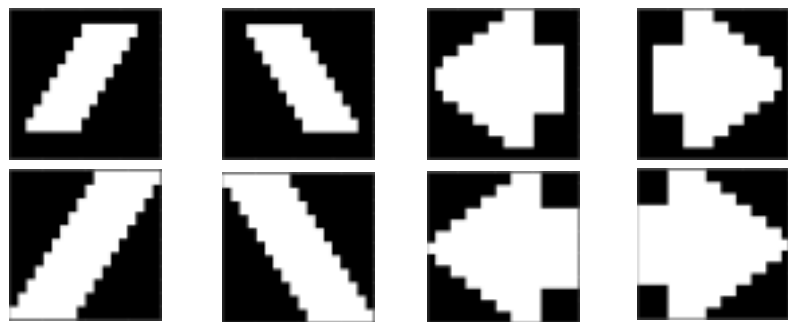
그림 11에는 각 부호들의 왜곡된 부호(중간 부호나 제한된 범위의 회전부호)들을 동시에 인식하기 위하여 교집합 합성법으로 구성한 합성 hit 형태소들과 합성 miss 형태소들을 나타내었다. 그림 11(a)는 30, 50, 60, 70의 제한속도표지 부호들의 합성 형태소들을, 그림 11(b)는 \uparrow , \downarrow , \top , \perp 자형 교차로표지 부호들의 합성 형태소들을 그리고 그림 11(c)는 좌합류, 우합류, 좌로굽은, 우로굽은 도로표지 부호들의 합성 형태소들을 각각 나타내었다. 이렇게 구성된 각 부호의 합성 형태소



(a)



(b)



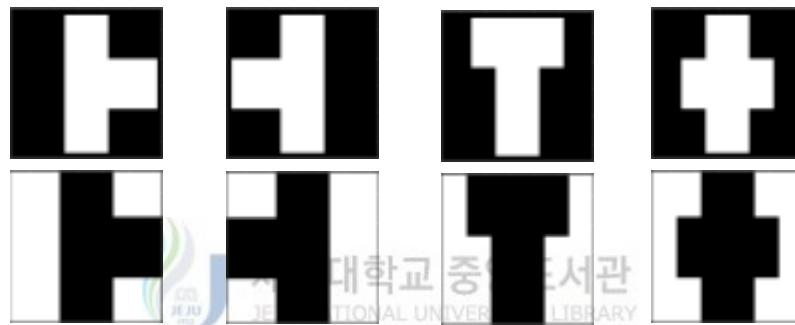
(c)

Fig. 10. Three groups of small and large reference images:

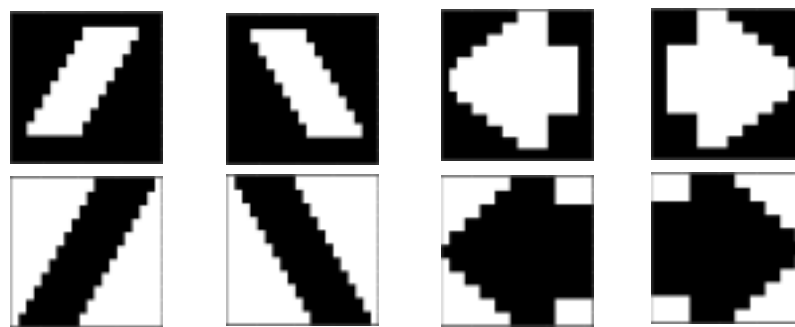
- (a) 30, 50, 60, 70 speed limit sign symbols;
- (b) T-, +, T, + shaped crossroad sign symbols;
- (c) left junction, right junction, left curve, right curve sign symbols.



(a)



(b)



(c)

Fig. 11. Synthetic hit SEs and miss SEs of Fig. 10 using intersection method:

- (a) 30, 50, 60, 70 speed limit sign symbols;
- (b) T, ⊥, T, + shaped crossroad sign symbols;
- (c) left junction, right junction, left curve, right curve sign symbols.

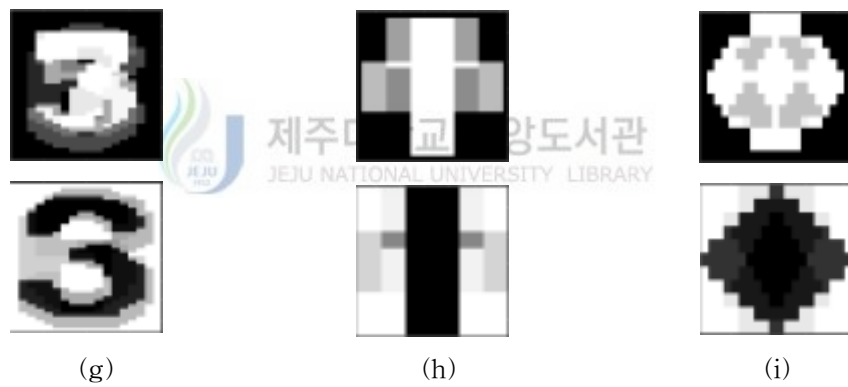
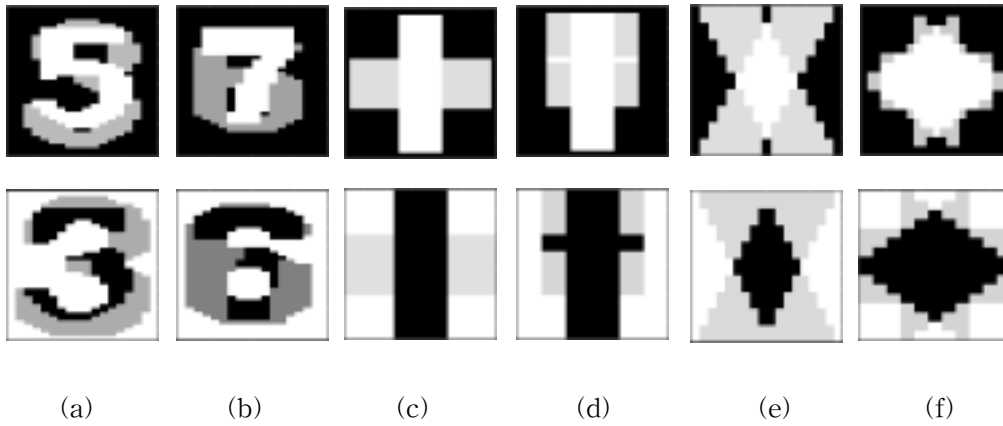


Fig. 12. Synthetic hit SEs and miss SEs of Fig. 10 using proposed intersection and SDF method: (a) 30, 50 speed limit sign symbols; (b) 60, 70 speed limit sign symbols; (c) T, + shaped crossroad sign symbols; (d) T, + shaped crossroad sign symbols; (e) left junction, right junction sign symbols; (f) left curve, right curve sign symbols; (g) 30, 50, 60, 70 speed limit sign symbols; (h) T, +, T, + shaped crossroad sign symbols; (i) left junction, right junction, left curve, right curve sign symbols.

들을 2개씩 또는 4개씩 SDF 합성법으로 구성한 단계적 합성 hit 형태소들과 단계적 합성 miss 형태소들을 그림 12에 나타내었다. 먼저 각 부호들을 2개씩 동시에 인식하기 위한 단계적 합성 hit 형태소들과 단계적 합성 miss 형태소들을 그림 12(a), (b), (c), (d), (e), (f)에 각각 나타내었다. 그림 12(a)는 제한속도 30과 50, (b)는 제한속도 60과 70, (c)는 ㅏ와 ㅑ 자형 교차로, (d)는 ㅓ와 ㅕ 자형 교차로, (e)는 좌합류와 우합류, (f)는 좌로굽은과 우로굽은 도로표지 부호들의 단계적 합성 형태소들이다. 여기에서 각각의 단계적 합성 형태소를 구성할 때 사용된 제한벡터의 요소는 2개의 부호를 동시에 인식하기 위한 ECP-SDF 합성법에는 2개의 “1”로 각각 구성하였다. 그리고 각 부호들을 4개씩 동시에 인식하기 위한 단계적 합성 hit 형태소들과 단계적 합성 miss 형태소들을 그림 12(g), (h), (i)에 각각 나타내었다. 그림 12(g)는 제한속도 30, 50, 60, 70, (h)는 ㅏ, ㅑ, ㅓ, ㅕ 자형 교차로, (i)는 좌합류, 우합류, 좌로굽은, 우로굽은 도로표지 부호들의 단계적 합성 형태소들이다. 여기에서 각각의 단계적 합성 형태소를 구성할 때 사용된 제한벡터의 요소는 4개의 부호를 동시에 인식하기 위한 ECP-SDF 합성법에는 4개의 “1”로 각각 구성하였다.

V. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

1. 표지 검출 및 추출

표지 인식에 사용된 영상들은 도로교통표지 중 대표적인 모양 3개 즉, 원 모양의 속도표지와 삼각형 모양의 주의표지, 그리고 역삼각형 모양의 규제표지이다. 이들 표지는 관측자가 제한된 범위(1m)내를 이동하면서 획득하였다. 여기서 광학적으로 표지 검출이 가능한 범위를 정면과 1차선, 2차선에서 모두 1m로 두었다. 그림 13에서 보듯이 제한된 범위 $\square ABCD$ 의 어느 곳에서나 영상을 획득해도 표지를 검출한다는 것을 보여주기 위해 세군데 위치 A와 B, 그리고 E에서 영상들을 각각 획득하였다. 위치 A와 B에서는 표지와 정면으로 하여 영상을 획득하였고, 위치 E에서는 카메라 각도를 20° 틀어서 영상을 획득하였다. 위치 A, B에서 획득한 영상은 각각 작은 영상과 큰 영상이고, 위치 E에서 획득한 영상은 회전된 영상이다. 이렇게 각각 3개씩 획득한 서로 다른 영상들을 가지고 제안한 방법으로 구성된 다단계 합성 형태소를 이용한 HMT를 이용하여 표지 검출을 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

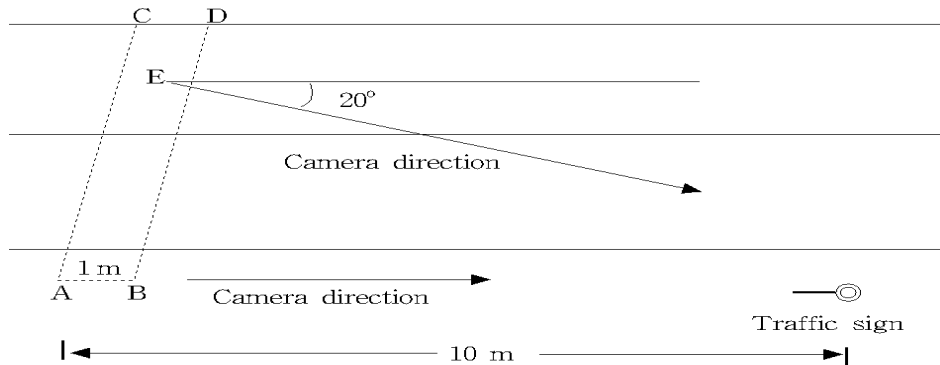


Fig. 13. An obtained range of signs and camera direction on the road.

그림 14~19까지는 그림 9의 다단계 교집합 합성 형태소를 이용한 합성 HMT를 이용하여 배경잡음과 clutter를 갖는 입력영상들에서의 표지 검출을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 그림 14와 그림 15는 속도표지 검출 결과이다. 검출 순서로 첫번째는 그림 13에서 볼 때 위치 A에서 획득한 영상을 가지고 검출을 위한 HMT 결과를 나타내었고, 다음에는 위치 B에서 획득한 영상의 결과를 나타내었다. 마지막으로 위치 E에서 획득한 영상의 결과를 나타내었다. 먼저 그림 14(a)와 (b)는 위치 A에서 획득한 이진 입력영상과 보영상이다. 그림 14(c)는 이진 입력영상과 다단계 합성 hit 형태소와의 연산결과인데, 다단계 합성 hit 형태소가 들어있는 표지의 가운데 위치와 표지보다 큰 배경 부분에서 연산결과가 나타난다. 그림 14(d)는 보영상과 다단계 합성 miss 형태소와 연산결과로 다단계 합성 miss 형태소가 들어있는 표지 안쪽 가운데 위치와 그보다 큰 배경 부분에서 연산결과가 나타난다. 결과적으로 HMT 결과는 hit 결과와 miss 결과의 공통부분을 취하면 표지 위치에서만 연산결과가 남아 표지 검출을 하는 것을 그림 14(e)에 나타내었다. 그림 15(a)와 (c)는 거리 위치 B와 E에서 획득한 이진 입력영상들이고, 이 영상들과의 HMT 결과는 그림 15(b)와 (d)에 나타내었다. 그림에서 보면 모두 표지 영상의 위치에서 인식점이 나타나 표지를 검출하는 것을 볼 수 있다. 그림 16과 그림 17에는 삼각형 모양의 주의표지가 들어있는 실영상에 대한 HMT 알고리즘을 나타내었다. 그림 16(a)와 (b)는 각각 거리 위치 A에서 획득한 이진 입력영상과 보영상이다. 그림 16(c)와 (d)는 각각 hit 결과와 miss 결과이다. 그림 16(e)는 HMT 결과로 표지 위치에서만 연산결과가 남아 표지를 검출하는 것을 나타내고 있다. 그림 17(a)와 (c)는 각각 거리 위치 B와 E에서 획득한 이진 입력영상들이고, 그림 17(b)와 (d)는 이진 입력영상과의 합성 HMT 결과이다. 그림 18과 그림 19는 삼각형 모양의 주의표지와 역삼각형 모양의 규제표지가 동시에 있는 들어있는 실영상에 대한 HMT 알고리즘을 나타내었다. 그림 18(a)와 (b)는 각각 거리 위치 A에서 획득한 이진 입력영상과 보영상이다. 이들에 대한 hit 결과와 miss 결과를 각각 그림 18(c)와 (d)에 나타내었다. 이 두 결과의 교집합인 합성 HMT 결과는 그림 18(e)에 나타내었고, 두 개의 표지 위치에서 인식점이 나타

나 표지 두 개를 한번에 검출하는 것을 나타내고 있다. 그림 19(a)와 (c)는 각각 거리 위치 B와 E에서 획득한 획득한 이진 입력영상이고, 그림 19(b)와 (d)에는 합성 HMT 결과로 각각 두 개의 표지 모두를 검출하는 것을 나타내고 있다.



(a) 제주대학교 중앙도서관 (b)
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

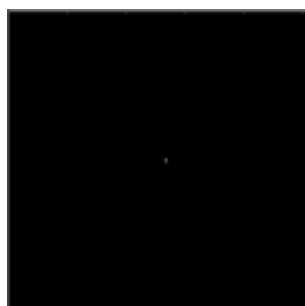


(c) (d) (e)

Fig. 14. The example of the proposed HMT algorithm for the detection of a speed limit sign(location A): (a) Input image; (b) complement of input image; (c) HT result; (d) MT result; (e) HMT result.



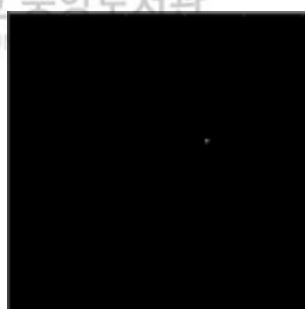
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 15. The example of the proposed HMT algorithm for the detection of a speed limit sign(location B and E): (a) Input image(B); (b) HMT result(B); (c) input image(E); (d) HMT result(E).



(a)



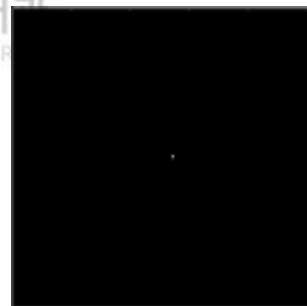
(b)



(c)



(d)

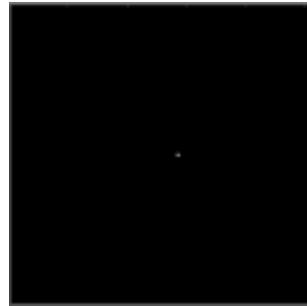


(e)

Fig. 16. The example of the proposed HMT algorithm for the detection of a warning sign(location A): (a) Input image; (b) complement of input image; (c) HT result; (d) MT result; (e) HMT result.



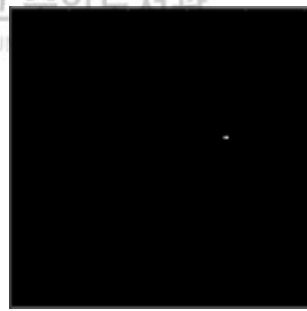
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 17. The example of the proposed HMT algorithm for the detection of a warning sign(location B and E): (a) Input image(B); (b) HMT result(B); (c) input image(E); (d) HMT result(E).



(a)



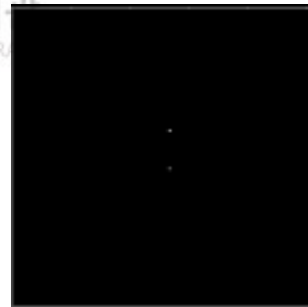
(b)



(c)



(d)

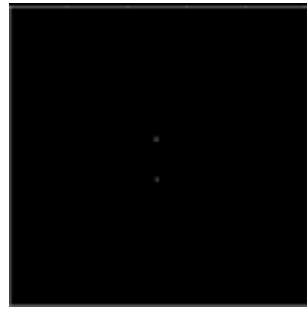


(e)

Fig. 18. The example of the proposed HMT algorithm for the detection of a warning sign and a regulation sign(location A): (a) Input image; (b) complement of input image; (c) HT result; (d) MT result; (e) HMT result.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 19. The example of the proposed HMT algorithm for the detection of a warning sign and a regulation sign(location B and E): (a) Input image(B); (b) HMT result(B); (c) input image(E); (d) HMT result(E).

제안된 방법으로 합성한 다단계 합성 형태소를 이용한 합성 HMT를 이용하여 모양이 서로 다른 세 개의 표지들을 한번의 연산으로 모두 검출할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다. 이때는 실영상으로부터 교통표지가 존재하는지를 확인하는 것이 우선이므로 검출된 표지가 어떤 종류인지는 중요하지 않다. 일단 교통표지의 존재가 확인되면 속도표지, 주의표지, 규제표지의 교집합 합성법으로 합성한 합성 형태소를 순서대로 이용하여 입력영상내에 어떤 종류의 표지가 있는지 검출할 수 있다. 이렇게 확인된 표지를 추출하여 표지 부호를 인식할 수 있다.

그림 20에는 실영상에서 추출한 표지들을 나타내었다. 추출된 표지 그림 20(a), (b), (c)는 그림 14(a), 그림 15(a), 그림 15(c)와 그림 6의 합성 형태소와의 HMT 연산결과로 각각 추출한 것이다. 여기에 사용된 합성 형태소는 그림 6에서 보듯이 제한속도표지만 검출하고 추출하도록 교집합 합성법으로 구성되었고, 일정한 거리 범위에서 관측자의 위치에 따라 달라지는 왜곡된 표지(제한된 범위에서 크기가 다르거나 회전된 표지)들을 모두 한번에 검출하고 추출할 수 있다. 그리고 그림 20(d), (e), (f)는 그림 16(a), 그림 17(a), 그림 17(c)와 그림 7의 합성 형태소와의 HMT 연산결과로 왜곡된 주의표지들을 모두 검출하고 각각 추출해 낸 것이고, 그림 20(g), (h), (i)도 동일한 방법으로 18(a), 그림 19(a), 그림 19(c)에서 검출하고 추출해 낸 것이다. 또한 그림 20(j), (k), (l)은 그림 18(a), 그림 19(a), 그림 19(c)와 그림 8의 합성 형태소와의 HMT 연산결과로 왜곡된 규제표지를 모두 검출하고 각각 추출해 낸 것이다.

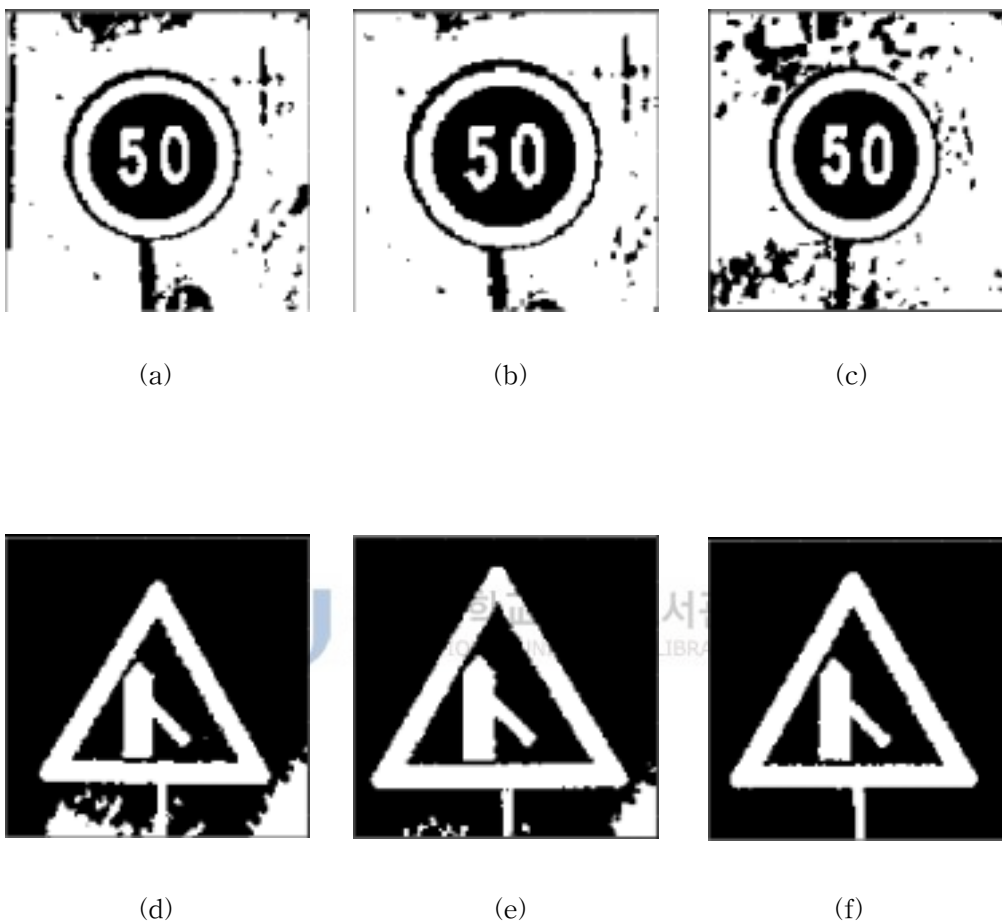


Fig. 20. Extracted sign images: (a) Speed limit sign of Fig. 14(a); (b) speed limit sign of Fig. 15(a); (c) speed limit sign of Fig. 15(c); (d) warning sign of Fig. 16(a); (e) warning sign of Fig. 17(a); (f) warning sign of Fig. 17(c); (g) warning sign of Fig. 18(a); (h) warning sign of Fig. 19(a); (i) warnig sign of Fig. 19(c); (j) regulation sign of Fig. 18(a); (k) regulation sign of Fig. 19(a); (l) regulation sign of Fig. 19(c).



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 20. (Continued)

2. 표지내 부호 인식

제안한 방법으로 구성된 단계적 합성 형태소들을 이용하여 실영상에서 추출한 표지내 부호를 인식하기 위한 HMT의 시뮬레이션 결과들을 각각 나타내었다. 제안한 방법으로 구성된 단계적 합성 형태소를 이용하여 HMT를 수행하면 서로 다른 여러 부호 뿐만 아니라 여러 부호의 왜곡된 부호(중간 부호나 제한된 범위의 회전된 부호)들을 동시에 인식할 수 있다. 그래서 시뮬레이션 결과에서는 교집합 합성법과 SDF 합성법의 단계적 합성 형태소를 이용하여 먼저 동일부호의 왜곡된 부호(중간 부호나 제한된 범위의 회전된 부호)들을 동시에 인식하는 결과를 나타내었고, 다음으로 서로 다른 여러 부호를 동시에 인식하고 인식하고자 하는 하나의 부호를 분리 인식하는 과정을 단계적으로 나타내었다.

그림 21에는 동일한 제한속도 50을 갖는 표지 부호의 왜곡된 부호(중간 부호나 제한된 범위의 회전된 부호)들을 동시에 인식하는 HMT 결과를 나타내었다. 여기

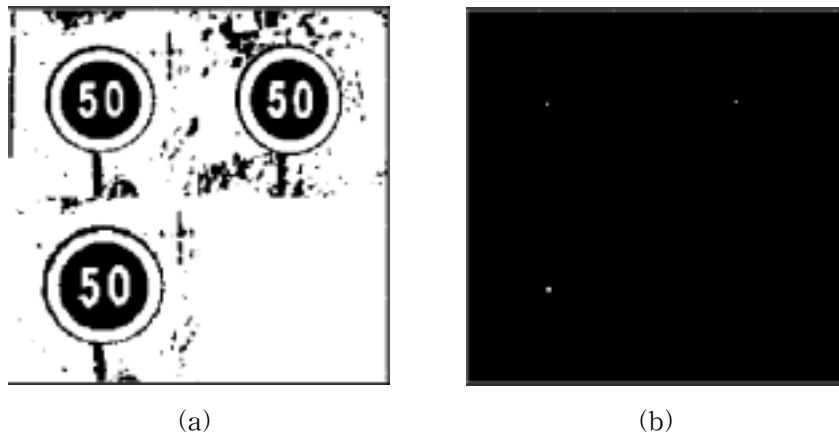
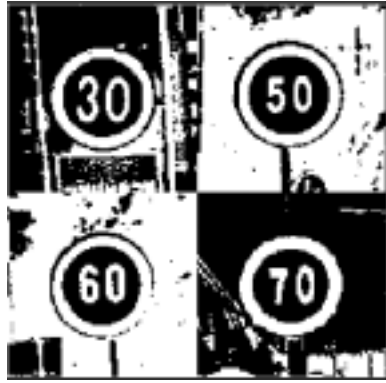


Fig. 21. The result of HMT for the recognition of distorted 50 speed limit sign symbol: (a) Input image; (b) HMT result.

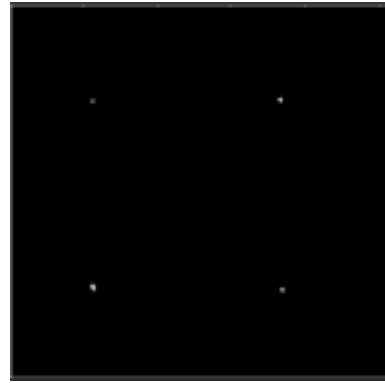
에 사용된 단계적 합성 hit 형태소와 단계적 합성 miss 형태소는 제한속도 30, 50, 60, 70의 왜곡된 부호들을 동시에 인식하도록 구성한 그림 12(g)이다. 그림 21(a)는 동일부호 50의 왜곡된 부호들을 한 입력영상에 나타낸 것으로 입력영상의 좌상단에는 작은 부호, 좌하단에는 큰 부호, 우상단에는 제한된 범위에서 회전된 중간 부호이다. 그림 21(b)의 HMT 결과에서 보면 제한속도 30, 50, 60, 70의 범위에 포함되는 제한속도 50 부호의 크고 작은 영상뿐만 아니라 왜곡된 부호(제한된 범위의 회전된 중간 부호)를 모두 인식하고 있음을 보여준다.

그림 22에는 인식하고자 하는 하나의 부호, 즉 제한속도 30을 갖는 표지 부호를 단계적인 HMT 결과로 인식하는 과정을 나타내었다. 그림 22(a)는 제한속도 표지중에서 가장 자주 나타나는 30, 50, 60, 70의 부호들을 포함한 속도 표지들을 한 입력영상에 나타내었다. 이 입력영상과 제한속도 30, 50, 60, 70의 왜곡된 부호들을 동시에 인식할 수 있도록 합성한 그림 12(g)의 단계적 합성 형태소와의 1단계 HMT 결과를 그림 22(b)에 나타내었다. 이 결과에 보면 제한속도 30, 50, 60, 70의 부호들을 동시에 인식하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 그림 12(g)의 단계적 합성 형태소를 이용하면 서로 다른 여러 부호를 동시에 인식할 뿐만 아니라 여러 부호의 왜곡된 부호(제한된 범위의 중간 부호나 회전된 부호)를 동시에 인식할 수 있음을 보여준다. 2단계 HMT 결과는 그림 22(c)에 나타내었으며, 이는 입력영상과 단계적 합성 형태소 그림 12(a)와의 HMT 결과로 제한속도 30과 50 부호를 인식하는 것을 보여준다. 3단계 HMT 결과는 그림 22(d)에 나타내었으며, 이는 입력영상과 그림 11(a)의 합성 형태소들 중 첫 자리에 나타낸 제한속도 30 부호만 인식하는 합성 형태소와의 HMT 결과이다. 결과적으로 3단계 HMT 결과로 제한속도표지 부호 중 30 부호만 분리 인식해낼 수 있다.

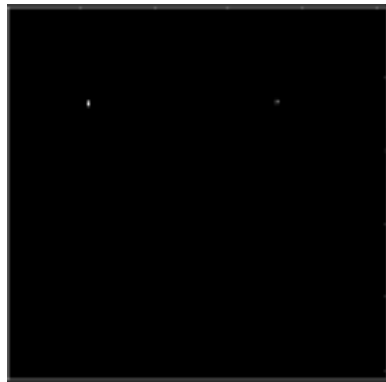
그림 23에는 ㅏ, ㅑ, ㅓ, ㅕ자형 교차로 표지들을 한 입력영상으로 하여 HMT를 단계적으로 수행하여 ㅏ자형 교차로표지 부호를 인식하는 과정을 그림 22와 마찬가지로 나타내었다. 23(a)는 입력영상이고, 그림 23(b)는 1단계 HMT 결과이다. 이때 사용된 단계적 합성 형태소는 ㅏ, ㅑ, ㅓ, ㅕ자형 교차로표지 부호들을 동시에 인식하기 위한 그림 12(h)이다. 2단계 HMT 결과는 그림 23(c)에 나



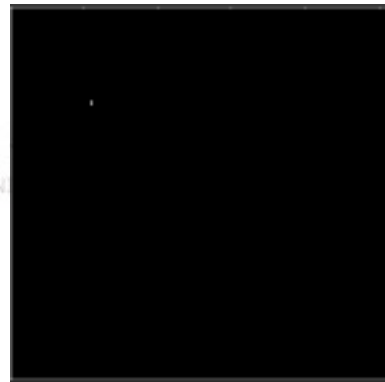
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 22. The results of three stage HMT for the recognition of 30 speed limit sign symbol: (a) Input image; (b) 1st stage HMT result; (c) 2nd stage HMT result; (d) 3rd stage HMT result.

타내었고, 이때 사용된 단계적 합성 형태소는 \vdash , \dashv 자형 교차로표지 부호들을 동시에 인식하기 위한 그림 12(c)이다. 3단계 HMT 결과는 그림 23(d)에 나타내었고, 이때 사용된 합성 형태소는 \vdash 자형 교차로표지 부호의 왜곡된 부호들을 동시

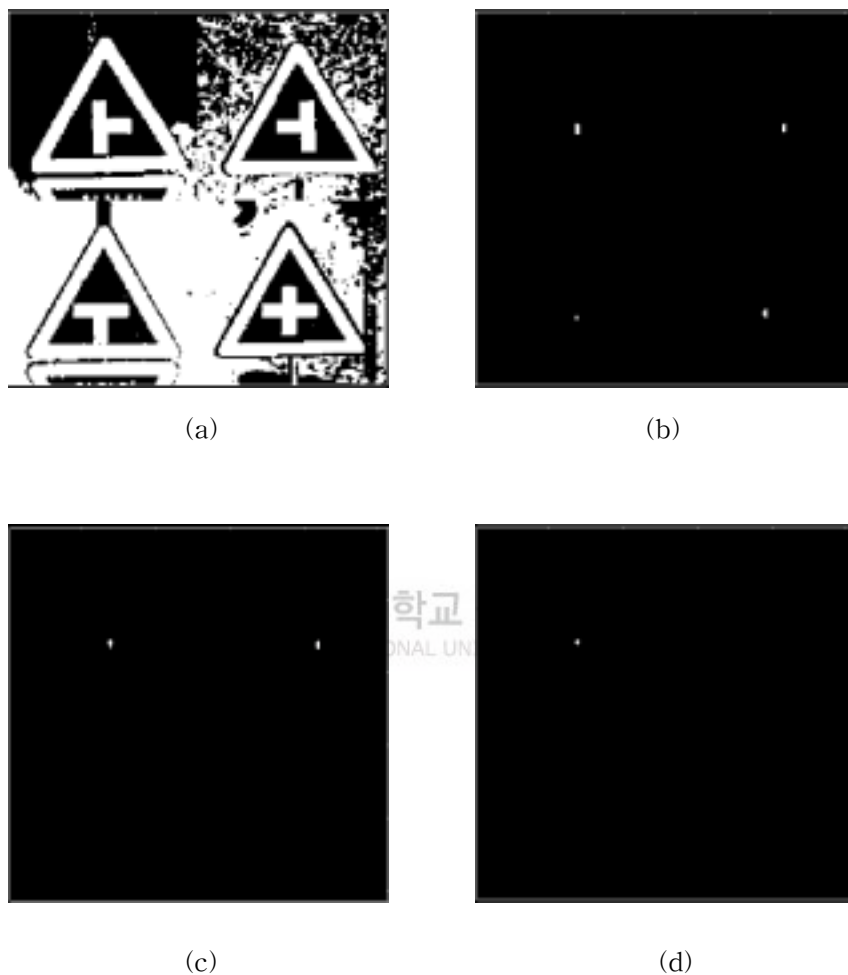


Fig. 23. The results of three stage HMT for the recognition of T-shaped crossroad sign symbol: (a) Input image; (b) 1st stage HMT result; (c) 2nd stage HMT result; (d) 3rd stage HMT result.

동시에 인식하기 위한 그림 11(b)의 첫 자리에 나타난 합성 형태소이다. 결과적으로 4개의 부호중 T자형 교차로 표지만 분리 인식해 낼 수 있음을 보여준다.

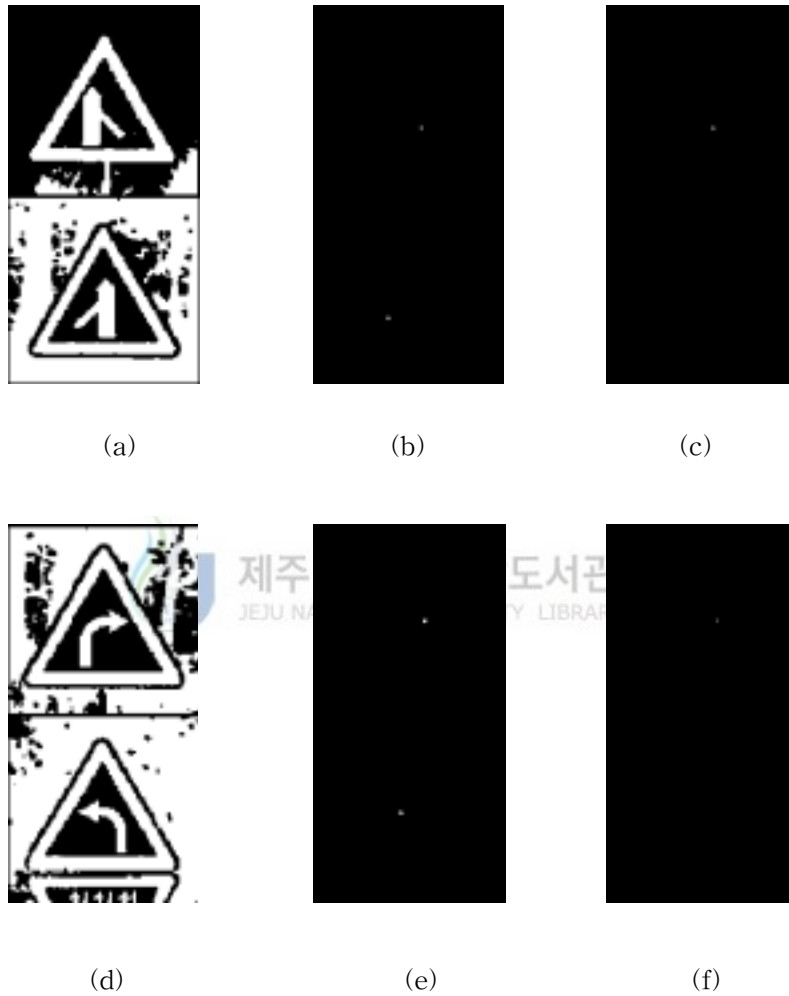


Fig. 24. The results of two stage HMT for the recognition of a right junction sign and a right curve sign symbol: (a) Input image; (b) 1st stage HMT result; (c) 2nd stage HMT result; (d) input image; (e) 1st stage HMT result; (f) 2nd stage HMT result.

그림 24에는 2개의 부호를 동시에 인식한 후 인식하고자 하는 하나의 부호를 인식하는 HMT 결과를 단계적으로 나타내었다. 그림 24(a)는 우합류와 좌합류 도로 부호를 갖는 표지를 한 입력영상에 나타내었다. 입력영상과 우합류와 좌합류 도로 부호를 동시에 인식할 수 있는 단계적 합성 형태소 그림 12(e)와의 HMT 결과는 그림 24(b)에 나타내었다. 우합류 도로 부호만 인식할 수 있는 그림 11(c)의 둘째 자리에 나타낸 합성 형태소와의 HMT 결과는 그림 24(c)에 나타내었다. 그림 24(d)는 우로굽은 도로와 좌로굽은 도로 부호를 갖는 표지를 한 입력영상에 나타내었다. 입력영상과 우로 굽은 도로와 좌로굽은 도로 부호를 동시에 인식할 수 있는 단계적 합성 형태소 그림 12(f)와의 HMT 결과는 그림 24(d)에 나타내었다. 우로굽은 도로 부호만 인식할 수 있는 그림 11(c)의 넷째 자리에 나타낸 합성 형태소와의 HMT 결과는 그림 24(e)에 나타내었다. 이들 모두 하나의 부호를 분리 인식해 낼 수 있음을 보여준다.



V. 결 론

본 논문에서는 자율주행차량을 위하여 도로교통표지를 실시간으로 인식할 수 있는 광학적 합성 HMT를 제안하였다. 도로교통표지의 인식은 배경 및 진경잡음 하에서 차량이 이동하면서 획득한 실영상으로부터 표지를 검출하고 인식하여야 하므로 잡음에 강한 HMT를 기본으로 하였고, 효과적으로 표지를 추출하고 부호를 인식하기 위하여 형태소의 다단계 합성 알고리즘을 제시하였다. 실영상으로부터 교통표지를 검출하기 위한 합성 형태소는 다단계 교집합 합성법을 이용하여 구성하였다. 다단계 교집합 합성 형태소는 먼저 동일한 표지 영상의 왜곡된 영상(제한된 범위에서 크기가 다르거나 회전된 영상)들을 동시에 인식하기 위하여 교집합 합성법을 사용하여 각각의 교통표지에 대한 형태소를 합성한 후 이들을 교집합 합성법으로 다시 합성하여 서로 다른 표지를 동시에 인식할 수 있는 다단계 합성 형태소를 구성하였다. 이렇게 구성된 다단계 합성 형태소를 사용한 HMT는 도로위의 여러 위치에서 획득한 실영상으로부터 각종 왜곡된 모양의 교통표지를 효과적으로 검출할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 한편 추출된 표지의 부호 인식을 위하여는 교집합 합성법과 SDF 합성법의 단계적 합성법으로 단계적 합성 형태소를 구성하였다. 단계적 합성 형태소는 먼저 동일한 표지 부호의 왜곡된 영상(제한된 범위에서 크기가 다르거나 회전된 영상)들을 동시에 인식하기 위하여 교집합 합성법을 사용하여 각각의 표지 부호에 대한 형태소를 합성하고, 서로 다른 여러 부호를 동시에 인식한 후 개별적으로 분리 인식하기 위하여 교집합 합성법으로 구성된 합성 형태소들을 다시 SDF 합성법으로 합성하여 단계적 합성 형태소를 구성하였다. 이렇게 구성된 단계적 합성 형태소를 이용하면 전체 도로표지 부호의 수보다 적은 수의 HMT 연산을 수행하여 도로표지 부호를 분리 인식할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 여기서 HMT 연산의 수는 SDF 합성시 몇 개의 부호를 하나의 형태소로 합성할 수 있는가에 따라 달라지므로 앞으로 이에 대한 연구가 더욱 진전되어 최적의 합성 형태소를 구성한

다면 2^N 개의 부호를 N단계의 HMT 연산만으로 분리 인식할 수 있을 것이다. 또한 이를 전통적인 4f 광상관기와 공간 광변조기를 이용하여 광학적으로 구현한다면 실시간 인식을 가능하게 할 수 있으며, 장차 자율주행차량을 위한 도로교통표지 인식용으로 사용될 수 있을 것이다.



참고문헌

- Alan L. Meyrowitz, D. Richard Blidberg, and Robert C. Michelson, 1996, "Autonomous Vehicles," *Proc. IEEE*, vol. 84, No. 8, pp. 1147-1163.
- Bensrhair. A, P. Miche, R. Debrie, 1991, "Fast Stereo Matching for Implementation in a 2-D Vision Sensor," *Proc. of IECON '91*, pp. 1179-1783.
- Bhattacharya. P, W. Whu, and K. Qian, 1995, "Shape recognition method using morphological hit-or-miss transform," *Opt. Eng.*, vol. 34, no. 6, pp. 1718-1725.
- Casasent. D, W. Rozzi, and D. Fetterly, 1984, "Projection synthetic discriminant function performance," *Opt. Eng.*, vol. 23, no. 6, pp. 716-720.
- Casasent. D, 1984, "Unified synthetic discriminant function computational simulation," *Appl. Opt.*, vol. 23, no. 10, pp. 1620-1627.
- Casasent. D and E. Botha, 1988 "Optical symbolic substitution for morphological transformations," *Appl. Opt.*, vol. 27, no. 18, pp. 3806-3810.
- Casasent. D, R. Schaefer, and R. Sturgill, 1992, "Optical hit-miss morphological transform," *Appl. Opt.*, vol. 31, no. 29, pp. 6255-6263.
- Casasent. D, 1994, "General-Purpose Optical Pattern Recognition Image Processors," *Proc. IEEE*, vol. 82, no. 11, pp. 1724-1734.
- Casasent. D, A. Ye, John-Scott Smokolin, and R. Schaefer, 1994, "Optical Correlation filter fusion for object detection," *Opt. Eng.*, vol. 33, no. 6, pp. 1757-1766.
- Casasent. D, John-Scott Smokolin, 1994, "Neural net design of macro Gabor wavelet filters of distortion-invariant object detection in clutter," *Opt. Eng.*, vol. 33, no. 7, pp. 2264-2271.

- 조경영, 1994, “퍼지신경회로망을 이용한 자율주행차량의 조향제어에 관한 연구,”
전남대학교 박사학위 논문.
- 도양회, 1988, “한글문자 인식을 위한 양자화 위상 SDF 필터,” 경북대학교 박사학
위논문
- Elizabeth C. Botha and D. P. Casasent, 1989, “Applications of optical
morphological transformations,” *Opt. Eng.*, vol. 28, no. 5, pp. 501-505.
- Gilonore. L et. al., 1990, “Automatic Target Rccognition.” *J. of Electronic
Defense*, pp. 31-43.
- Hartmann. G and B. Mertsching, 1992, “A Hierarchical Vision System,” *Proc.
of IEEE SAE Intelligent Vehicles '92*, pp. 24-29.
- 현영길, 도양회, 1998, “합성 HMT를 이용한 도로 속도 표지판 인식” 제주대학교
산업기술연구소 논문집 제9권, 1호, pp. 128-135.
- Ji. S. H, H. T. Kim, M. K. Park, 1992, “Cooperative Mobile Robots using
Fuzzy Algorithm,” '92 KACC, pp. 468-472
- 김정우, 1995, “인쇄체 한글의 왜곡불변 인식을 위한 광 상관필터,” 경북대학교 박
사학위논문.
- 김종찬, 김종윤, 김정우, 김수중, 1997, “합성 형태소를 이용한 광학적 Hit-Miss
변환,” 한국통신공학 논문지, 제23권, 3호, pp. 623-629.
- 김종찬, 김정우, 이하운, 도양회, 김수중, 1998, “이동물체의 광학적 인식을 위한
합성 HMT,” 전자공학회논문지, 제35권, 3호, pp. 82-90.
- 김종찬, “형태학적 적중-오적중 변환을 위한 SDF 광상관 필터의 합성,” 1998, 경
북대학교 박사학위논문.
- 김호영, 김경수, 정병덕, 최형일, 1998, “적응 칼만필터를 이용한 도로 경계 검출,”
한국정보과학회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp. 387-391
- Masaki. I, 1992, “Vision-based Vehicle Guidance,” *Proc. of IECON '92*, pp.
862-867
- Ohata. A and M. Mio, 1991, “Parking Control Based on Nonlinear Trajectory

- Control for Low Speed Vehicle," *Proc. of ICON '91*, pp. 107-112.
- Schaefer. R, D. Casasent, and A. Ye, 1992, "Optical morphological processors : Gray Scale with Binary Structuring Elements, Detection, and Clutter Reduction," *Proc. SPIE*, vol. 1825, pp. 427-442.
- Schaefer. R and D. Casasent, 1995, "Nonlinear optical hit-miss transform for detection," *Appl. Opt.*, vol. 34, no. 20, pp. 3869-3882.
- Turk. M . A, D. G. Morgenthaler, K. D. Gremban, M. Marra, 1988, "VITS-A Vision System for Autonomous Land Vehicle Navigation," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 10, no. 3, pp. 342-361.
- Yao. Z, M. Wu, G. Jin, G. Huang, and Y. Yan, 1994, "New optoelectronic morphological scheme for multiple-object recognition," *OPT. Eng.*, vol. 33, no. 11, pp. 3727-3732.
- Yoshiki Ichioka, Tadao Iwaki, and Katsunori Matsuoka, 1996, "Optical Information Processing and Beyond" *Proc, IEEE*, vol. 84, no. 5, pp. 694-718.
- Yuan. S, L. Chen, and J. Hong, 1992, "Pattern recognition based on morphological transformations and its optical implementation," *Proc. SPIE*, vol. 1822, pp. 50-58.
- Yuan. S, M. Wu, G. Jin, Y. Yan, and J. Cai, 1995, "Optical implementation of morphological hit-miss transform using complementary encoding," *Proc. SPIE*, vol. 2564, pp. 336-342.
- Yuan. S, M. Wu, G. Cheng, and G. Jin, 1996, "Optical morphological hit-miss transform for pattern recognition of gray-scale image," *Proc. SPIE*, vol. 2751, pp. 171-277.
- Vandr Lugt. A, 1964, "Signal detection by complex signal filtering," *D. IEEE Trnas. Infor. Theory*, vol. IT-10, pp. 139-144.

감사의 글

대학원 과정을 통해 이 조그만 결실을 맺게 되어 여러분께 감사하며 기쁨을 함께 나누고자 합니다. 무엇보다도 그동안 저와 항상 함께 하시고 논문을 완성하기 까지 힘과 지혜를 허락해 주신 하나님께 모든 영광을 돌려 드립니다.

그리고 본 논문이 완성이 되기까지 부족한 저를 끊임없는 충고와 사랑으로 이끌어 주시고 섬세하게 지도해 주신 도양회 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 바쁜 가운데서도 본 논문의 심사를 맡아 부족한 점을 지적해 주시고 다듬어 주신 김경연 교수님, 강민제 교수님과 많은 격려를 해주신 김경식 교수님, 이광만 교수님, 고성택 교수님들께 감사를 드립니다. 그리고 학과 일을 도맡아 처리해 주시며 애써주신 김미정 선생님과 권성숙 선생님께서 감사하며, 또한 수고하시는 모든 공대 조교 선생님들에게도 감사의 마음을 전합니다. 함께 대학원 공부를 하며 우정을 나눴던 창일이 형과 승일이 형, 경희, 희선이에게도 감사하며, 좋은 논문을 쓰시길 진심으로 바랍니다. 힘들 때마다 찾아오셔서 권면과 조언을 해주신 조마가 목사님, 강반석 목사님, 고노아 목사님과 섬겨주신 양스테반 목사님 가정, 강두경 목사님 가정 그리고 관심을 갖고 기도해 주신 U.B.F 형제, 자매님들에게 진심으로 감사를 드립니다.

특별히 이 조그만 결실을 통해 그동안 저를 믿고 격려해주신 사랑하는 부모님께 기쁨을 드리게 되어 감사하며 늘 평안하시고 건강하시길 기원합니다. 그리고 물신양면으로 도와주신 두 매형 내외분께도 진심으로 감사드리며 늘 행복하시길 바랍니다.

마지막으로 사랑하는 동생 미선, 천길, 그리고 귀여운 조카들에게도 고마움을 전하며, 또한 이지면을 통해 일일이 거명하지 못한, 친지, 선후배 그리고 친구들에게도 아울러 감사의 뜻을 전합니다.