논문 2016-11-36

신호세기를 이용한 2차원 레이저 스캐너 기반 노면표시 분류 기법

(Road marking classification method based on intensity of 2D Laser Scanner)

박 성 현, 최 정 희, 박 용 완*
(Seong-Hyeon Park, Jeong-hee Choi, Yong-Wan Park)

Abstract : With the development of autonomous vehicle, there has been active research on advanced driver assistance system for road marking detection using vision sensor and 3D Laser scanner. However, vision sensor has the weak points that detection is difficult in situations involving severe illumination variance, such as at night, inside a tunnel or in a shaded area; and that processing time is long because of a large amount of data from both vision sensor and 3D Laser scanner. Accordingly, this paper proposes a road marking detection and classification method using single 2D Laser scanner. This method road marking detection and classification based on accumulation distance data and intensity data acquired through 2D Laser scanner. Experiments using a real autonomous vehicle in a real environment showed that calculation time decreased in comparison with 3D Laser scanner-based method, thus demonstrating the possibility of road marking type classification using single 2D Laser scanner.

Keywords : Laser scanner, Intensity, Road marking, Classification

Ⅰ. 서 론

자율주행차량이 운전자의 개입 없이 스스로 주행하기 위해서 인지해야 하는 주변 환경에는 차량, 차선, 노면표시, 보행자, 표지판 등 주행 시 고려해야 하는 모든 요소들에 해당된다. 특히 노면표시는 노면 부분에 차선과 도로교통에 관한 규제와 지시를 표시하는 것이기 때문에 이를 검출하게 되면 진행 차로에 대한 미래의 행동 패턴의 근거가 될 수 있다. 따라서 노면표시 인식 기술은 운전보조시스템, 자동주차시스템 등에 도움을 줄 수 있고, 또한 차세대 네비게이션 기술 발전에 도움이 되는 기술이다. 현재 네비게이션 기술의 경우 GPS (Global Positioning System)을 이용하여 대략적인 위치 정보를 파악하여 정확히 차량이 몇 차로에서 운행을 하는지는 알 수 없다. 이러한 차량의 위치 정보를 노면표시 인식 기술을 통해 극복할 수 있다. 노면표시 인식을 위해 사용하는 대표적인 센서로는 카메라, 라이다 (Light Detecting And Ranging) 센서 등이 있다 [1].

카메라는 색상 정보를 이용하여 비교적 쉽게 노면표시 검출이 가능하지만 밤이나 터널, 그늘진 음영 지역등과 같이 조도의 차이가 심한 상황에서 인식이 힘들고 획득되는 데이터양이 많아 다른 센서에 비해 처리 시간이 길다. 그에 비해 라이다 센서는 자체적으로 광원을 생성하고 송, 수신함으로써 조도에 의한 영향을 받지 않고 데이터를 획득할 수 있다.

라이다 센서는 크게 2차원 라이다와 3차원 라이다로 세분화 할 수 있다. 라이다 센서는 높은 거리 분해능과 각 분해능을 가지기 때문에 높은 정확도

*Corresponding Author (ywpark@yu.ac.kr)
Received: 4 July 2016, Revised: 1 Aug. 2016, Accepted: 10 Aug. 2016.
S.H. Park, Y.W. Park: Yeungnam University
J.H. Choi: Daegu University
※ 논문은 2013년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신 인력양성사업의 지원 (NRF-2013H1B8A2031879)과 2014년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원 (No. NRF-2014R1A1A2055988)을 받아 수행된 연구임.

ⓒ IEMEK J. Embed. Sys. Appl. 2016 Oct. 11(5) 313-323
ISSN : 1975-5066
http://dx.doi.org/10.14372/IEMEK.2016.11.5.313

의 데이터를 신속하게 획득할 수 있고, 신호세기를 통해 대략적인 색깔과 매질의 차이로 아스팔트와 노면표시를 구분할 수 있다. 특히 포장도로환경에서는 모든 노면표시가 규격에 의해서 설치되어 있어 다소 복잡해 보이는 다수의 노면표시들도 단순화될 수 있다.

라이다 센서를 이용한 노면표시 검출은 대부분 3차원 라이다를 이용한 연구가 진행되고 있다. 3차원 라이다는 여러 개의 레이저 층 (Layer)을 통해 데이터를 획득하고 검출하여 데이터양이 많다. 따라서 데이터 처리 시간이 길어지게 된다는 단점이 있고, 센서 자체가 매우 고가라는 단점이 있다. 그에 비해 2 차원 라이다는 한 개의 레이저 층을 통해 데이터를 획득하고 검출하여 데이터양이 적어 데이터 처리 시간이 짧다. 또한 3차원 라이다에 비해 센서 비용도 훨씬 저렴하다.

자율주행차량은 다양한 날씨 환경에도 강인해야 하는데 카메라의 경우 우천시 불안한 데이터 습득으로 인한 오류가 발생한다. 그에 반해 라이다 센서는 센서 자체에 필터가 탑재되어 있어 떨어지는 비입자에 대한 영향은 받지 않는다. 하지만 우천으로 인해 젖은 도로 상황에서는 반사도에 의한 영향을 받는데 이 또한 최근 우천시에도 일정 반사도가 유지되도록 포장도로용 노면표시 도료의 반사도 향상 및 돌출형 노면표시가 고안되고 있어 우천시에도 신뢰성 있는 데이터 습득이 가능할 것으로 예상된다.

따라서 본 논문에서는 2 차원 라이다 기반의 노면표시 분류 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 기법을 통해 자율주행차량의 노면표시 인식을 보다 정확하고 효율적으로 판단하여 안전한 자율주행을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

Ⅱ. 관련 연구

노면표시 분류 기법은 2차원 라이다 기반의 노면표시 분류 기법, 단일 3차원 라이다 기반의 노면표시 분류 기법, 카메라 기반의 노면표시 분류 기법, 센서 융합 기반의 노면표시 분류 기법으로 분류할 수 있다.

1. 두 대의 2차원 라이다 기반 노면표시 분류

2차원 라이다는 거리 분해능, 각 분해능이 높으며 자체 광원을 사용하기 때문에 조도에 따른 영향을 받지 않는다. 이러한 장점으로 인해 자율주행 자동차의 주변 환경 인식에 많이 사용되는 센서이다. 하지만 이는 모두 거리 데이터를 이용한 장애물 인식에 해당되며 노면표시 인식에는 잘 사용되지 않는다. 그 이유는 2차원 라이다의 데이터는 1행 다수 열의 1차원 데이터가 획득되어 노면표시를 분류하는 것이 힘들기 때문이다.

이러한 이유로 건국대학교에서는 두 대의 라이다를 차량에 장착하여 노면표시를 분류하는 기법을 제안하였다 [2]. 건국대학교에서 제안하는 노면표시 분류 기법은 2차원 라이다의 거리와 신호세기를 이용하여 포장도로 위의 보호용 노면표시 검출기법을 제안하였다. 2차원 라이다의 거리 값을 통하여 노면의 기울기와 고도를 특정한 후 신호세기를 이용하여 횡단보도와 과속방지턱을 검출하였다. 횡단보도는 그 설치특성상 도색면과 비도색면이 도로 진행방향에 대해서 횡방향으로 반복된다는 특징을 통해 스펙트럼을 이용하여 검출하였다. 과속방지턱은 그 노면과의 고도차이가 약 7~8cm 이상 되도록 설치하므로 고도차이 판별을 통해 검출하였다.

건국대학교에서 제안하는 노면표시 분류 기법은 단일 라이다를 통하여서도 검출이 가능하나 오검출을 줄이기 위해 한 대의 2차원 라이다를 더 추가하였다. 2차원 라이다를 이용한 기법의 가장 큰 단점은 서론에서도 말하였듯이 장비의 가격 문제인데 오검출을 줄이기 위한 방법으로 한 대의 라이다를 추가한 것은 비용 낭비라고 생각된다.

2. 단일 3차원 라이다 기반 노면표시 분류

3차원 라이다는 2차원 라이다의 장점을 모두 포함하고 광범위한 인식 각도와 인식 거리를 가진 센서이다. 이러한 장점으로 인해 자율주행자동차 연구에 가장 많이 사용되는 센서 중 하나이다.

3차원 라이다는 모든 방향의 데이터 습득이 가능하고 그 정확도 또한 높다. 이러한 장점을 이용하여 차선 및 노면표시를 임계값을 활용하여 검출하는 연구들이 이루어지고 있다 [3].

하지만 3차원 라이다는 2차원 라이다에 비해 획득되는 데이터양이 많아 실시간성을 만족하기 어렵다는 단점이 존재하고 가격이 매우 비싸기 때문에 자율주행자동차의 상용화에 있어서는 적합하지 않다.

3. 카메라 기반 노면표시 분류

카메라는 색상 정보를 이용하여 아스팔트와 노면표시의 구분이 용이하고 센서 비용이 저렴하여

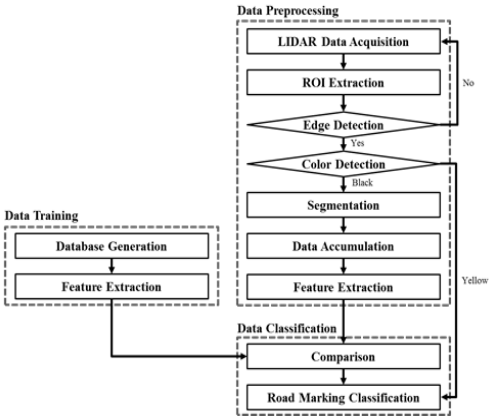

그림 1. 전체 흐름도
Fig. 1 Overall flowchart

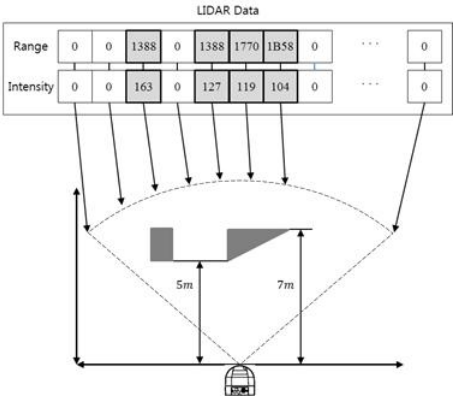

그림 2. 라이다를 통해 획득한 정보의 형태
Fig. 2 Type of information obtained through a LIDAR

노면표시 분류 기법에서 가장 많이 쓰이는 센서이다. 또한 도로상에 존재하는 차선의 색인 흰색, 황색, 파란색 차선의 구분도 가능하여 다양한 활용이 가능한 장점이 있다.

이러한 장점들을 바탕으로 경북대학교에서 카메라를 차량에 장착하여 노면표시를 분류하는 기법을 제안하였다 [4]. 경북대학교의 방식은 노면표시를 HSI 기법을 이용하여 검출하고 검출된 영상을 이진화한 후, 세그멘테이션 과정을 거친 영상 데이터와 데이터베이스의 비교영상 데이터와 템플릿 매칭을 통해 노면표시를 구분하는 방식을 제안하였다.

4. 센서 융합 기반 노면표시 분류

라이다를 이용한 기법과 카메라를 이용하는 방식에는 각각의 장단점이 있다. 센서를 융합하게 되면 기존의 방식의 장점을 부각시키거나 기존 방식의 단점을 해결할 수 있다.

캐나다의 워터루대학에서 RIEGL VMX-450 이라는 센서 시스템을 이용하여 노면표시를 분류하는 논문을 제안하였다. RIEGL VMX-450은 2 대의 2차원 라이다와 6대의 카메라가 합쳐진 센서 시스템이다. 이러한 센서 시스템을 이용함으로써 기존 카메라와 라이다를 이용한 방식의 장점을 부각시켜 차량의 속도에 영향을 받지 않고 정확한 정도를 획득한다 [5].

하지만 센서의 성능에 따른 센서 가격이 매우 비싸다는 단점이 있다. 워터루대학에서 제안하는 방식에서 사용하는 RIEGL VMX-450의 센서 가격은 3차원 라이다 가격의 5배 정도이기 때문에 자율주행자동차의 상용화에 있어서는 적합하지 않다.

Ⅲ. 제안하는 분류 기법

본 논문에서 제안하는 노면표시 분류 기법의 전체적인 흐름은 [그림 1]과 같이 정보 전 처리 (Data Preprocessing) 부분, 정보 학습 (Data Training) 부분, 노면표시 분류 (Road Marking Classification) 부분으로 세분화할 수 있다.

정보 전 처리 부분은 단일 2차원 라이다를 통해 노면표시에 대한 정보를 획득하여 관심 영역 추출 (ROI Extraction), 에지 검출 (Edge Detection), 색체 검출 (Color Detection), 객체 분할 (Segmentation), 데이터 축적 (Data Accumulation)하고 축적된 데이터의 특징을 추출 (Feature Extraction)하는 과정을 수행하는 부분이다. 정보 학습 부분은 본 논문에서 분류하고자 하는 6가지의 노면표시를 직접 측량을 통해 생성한 데이터와 실험을 통해 획득된 이외의 다양한 노면표시들을 통하여 데이터베이스를 구축 (Database Generation)하고 구축된 데이터베이스의 특징을 추출하는 과정을 수행하는 부분이다. 마지막으로 정보 분류 부분은 정보 전 처리 부분 수행을 통해 획득된 노면표시의 특징과 정보 학습 부분 수행을 통해 구축된 데이터베이스의 특징 비교를 통해 노면표시 분류 (Road Marking Classification) 과정을 수행하는 부분이다.

1. 정보 전 처리

정보 전 처리 부분은 라이다를 통해 획득한 노면표시에 대한 정보를 정보 학습 부분과 정보 분류 부분에서 보다 효율적으로 사용할 수 있도록 가공

되지 않은 데이터 (Raw Data)를 가공하는 역할을 수행한다.

1.1 2차원 라이다 정보 획득

본 논문에서 사용한 라이다는 2차원 라이다인 SICK LMS 511-Lite이다. [그림 2]는 2차원 라이다의 동작원리와 그 정보의 형태를 조감도 (Bird-eye View) 방식으로 나타낸 그림이다. 본 논문에서 사용한 SICK LMS 511-Lite는 인지한 장애물에 대해 2가지 정보를 획득한다. 첫 번째 정보는 2차원 라이다와 장애물 간의 거리 (Range) 정보, 두 번째 정보는 장애물의 신호세기 (Intensity) 정보이다.

거리 정보는 2차원 라이다와 장애물 간에 떨어진 물리적인 거리를 의미한다. 2차원 라이다는 펄스 형태의 레이저를 인지 범위 내에 방사하고 장애물에 반사되어 되돌아오는 레이저를 수신한다. 이 때, 방사한 레이저가 장애물에 반사되어 되돌아오는 시간을 계산하여 2차원 라이다와 장애물 간의 거리를 계산한다. 이러한 방식을 TOF (Time-of-Flight)라 한다. TOF 방식은 거리를 측정하는 다른 방식인 위상 변위, 삼각측량 방식에 비해 먼 거리를 측정할 수 있고, 레이저가 장애물에 반사되어 되돌아오는 시간의 차이를 이용하기 때문에 거리 측정에 소모되는 시간이 많지 않다는 장점이 있다 [6].

신호세기 정보는 라이다가 방사한 펄스 형태의 레이저가 물체에 반사되어 되돌아오는 반사강도를 의미한다. 신호세기 정보는 장애물 표면의 반사율에 영향을 받고, 이 표면 반사율은 장애물 표면의 상태에 영향을 받는다 [7].

거리 정보와 신호세기 정보는 [그림 2]와 같이 숫자 배열의 형태로 구성되어 있다. 이 숫자 배열의 각 숫자는 16진수 형태이며, 2차원 라이다와 인지된 장애물 간의 거리 정보와 인지된 장애물의 신호세기 정보를 의미한다. 인지 범위 내에 장애물이 존재하지 않아 어떠한 것도 인지되지 않는 경우에는 0으로 표현되며, 인지 범위 내에 장애물이 존재한다면 그 정보가 16진수로 표현된다 [8].

2차원 라이다의 설치 방식은 Forward Looking 방식과 Downward Looking 방식으로 분류할 수 있다. Forward Looking 방식의 경우 라이다가 전방을 향하도록 하는 방식이며 장애물, 보행자 등을 인식하기 위해서 일반적으로 사용하는 방식이다. Downward Looking 방식의 경우 라이다가 하단을 향하도록 하는 방식이다. 본 논문에서는 라이다를 Downward Looking 방식으로 설치하여 도로 내의 노면표시를 인식한다.

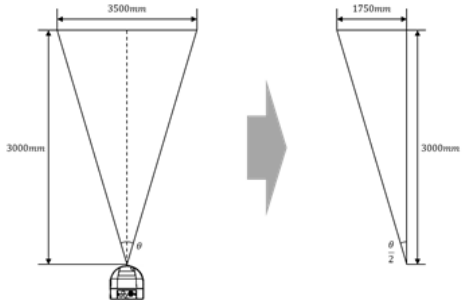

그림 3. 관심 각도 계산
Fig. 3 Calculation angle of interesting

1.2 관심영역 추출

관심 영역 추출 (ROI Extraction) 과정은 본 논문에서 사용한 SICK LMS 511-Lite의 최대 인지 범위인 190°를 현재 주행 중인 차로만 인식할 만큼 추출하여 축소하는 과정이다.

$$\theta = 2 \times \tan^{-1}\left(\frac{1750}{3000}\right) \qquad (1)$$

본 논문에서 결정하고자 하는 관심 각도는 [그림 3], (식 1)와 같이 계산할 수 있으며 계산 결과, 추출된 관심 각도는 60°이다.

관심 각도 추출 과정에서 도로의 폭을 3.5m로 설정하였고, 관심거리는 3m로 설정하였다.

1.3 에지 검출

에지 검출 과정은 라이다가 노면표시를 측정 하였을 경우를 판단하는 과정이다. 신호세기 데이터의 상승, 하락 구간이 발생했을 때, 그 사이의 데이터가 4개 이상이면 노면표시가 있다고 판단하고 다음 과정을 실시하게 된다. 라이다와 도로의 거리를 알고 있고, 스캔 각도는 0.5°이기 때문에 객체분할 데이터의 크기를 통해 노면표시의 가로 길이를 알 수 있다. 각 노면표시에서 가로 길이가 가장 작은 것은 15로 데이터크기는4-5개 이다. 따라서, 15이상의 크기를 갖는 것을 노면표시로 분류한다. 만약 이러한 과정을 거치지 않으면 노면표시가 없는 구간에서 후의 모든 과정을 진행하여 치명적인 오류로 이어질 수 있다.

1.4 색체 검출

색체 검출 과정은 색체를 이용하여 쉽게 구분이 가능한 과속방지턱을 분류하기 위한 과정이다. 위의 <표 2>를 통해서 알 수 있듯이 상대반사도는 매질

뿐만 아니라 색체에 영향을 받는다. 알고리즘의 특징상 색체 검출 과정을 거치지 않고 데이터를 가공하게 되면 과속방지턱과 횡단보도의 구분이 어렵다. 이를 극복하기 위하여 색상 정보를 활용하게 되는데, 본 절에서는 객체 분할 전의 데이터를 데이터베이스에 저장, 갱신하는 과정을 수행하며, 이를 아스팔트 데이터라고 판단한다.

다음 과정인 객체 분할 과정에서 임계값보다 낮은 값을 0으로 만들기 전에 아스팔트 데이터와 비교하고, 아스팔트 값보다 클 경우 노란색으로 판단한다. 다음 노란색으로 판단된 데이터의 개수가 전체 데이터의 45% 이상일 경우 이를 과속방지턱으로 판단한다.

1.5 객체 분할

관심 영역 추출 과정을 통해 획득한 데이터에서 신호세기 데이터를 이용하여 노면표시의 특징을 추출하기 위해서는 라이다의 신호세기 데이터 정보를 그룹화 (Grouping)해주는 과정이 필요하다. 이 과정이 객체 분할 과정이다.

객체 분할 전 데이터를 이진화 한다. 이진화는 어떤 임계값 (Threshold)을 정하여 임계값보다 높은 값일 경우 노면표시 (1)로 낮은 값일 경우 아스팔트 (0)로 해주는 것이다. (식 2)는 2차원 배열 f를 임계값 T를 이용하여 이진 배열 b로 변환하는 이진화 과정을 수식으로 나타낸 것이다 [9]. 여기서 i는 행 방향, j는 열 방향을 나타낸다.

$$b(i,j) = \begin{cases} 1, f(i,j) \geq T \\ 0, f(i,j) < T \end{cases} \qquad (2)$$

본 논문에서는 임계값 결정을 위해 대표적인 이진화 방법인 오츠 알고리즘 (Otsu's algorithm)을 사용하였다 [10]. 오츠 알고리즘은 영상의 히스토그램 형태가 쌍봉형 (bimodal)이라고 가정하였을 때 계곡점 (valley)을 찾아서 그 점을 임계값으로 하는 것으로 가장 적절한 임계값을 찾는데 유용하다. 본 논문에서는 신호세기 데이터를 이용하여 아스팔트와 노면표시를 분리하게 되는데 명도 값의 차이가 명확하므로 오츠 알고리즘을 사용하였다.

본 논문에서 객체 분할 과정을 수행하기 위해 사용한 기법은 Sequential Classification 기법이다 [11]. Sequential Classification 기법은 정보의 연속성을 이용하는 기법으로, 2차원 라이다를 통해 획득한 정보 중 연속적인 정보만을 연결하여 그룹화 해준다. Sequential Classification 기법을 이용한

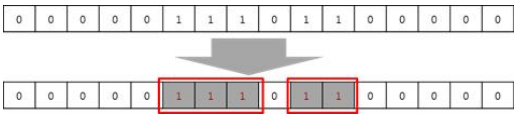

그림 4. 객체 분할
Fig. 4 Segmentation

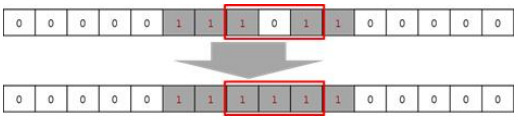

그림 5. 중간값 필터
Fig. 5 Median filter

객체 분할 과정은 다음과 같다. 먼저 배열 형태의 정보 중 i번째 배열의 정보를 P_i라 하고, i번째 이전 배열의 정보를 P_{i-1}, 번째 이후 배열의 정보를 P_{i+1}이라 하면, 노면표시 정보는 연속적으로 인지되어 획득되는 특성을 가지고 있기 때문에 임의의 점 P_x에서 이전 노면표시 정보와 이후 노면표시 정보의 위치를 알 수 있다. 이를 통해 노면표시 정보의 연속성을 판단하고, 그 정보가 연속적이라면 추출하여 그룹화 한다.

[그림 4]는 Sequential Classification 기법을 이용한 객체 분할의 원리를 설명한 그림이다. 2차원 라이다를 통해 획득한 배열 형태의 정보 중 1이라는 기준 값을 통해 연속적인 정보들을 그룹화 하였다.

하지만 Sequential Classification 기법은 단순히 정보의 연속성만을 고려하기 때문에 잡음에 민감하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 확인할 수 있는 경우가 점잡음 (Salt and Pepper Noise) 또는 산탄잡음 (Shot Noise)이다.

본 논문에서 사용하는 2차원 라이다를 통해 획득된 노면표시 정보는 노면표시의 노후에 의한 갈라짐 현상으로 산탄잡음에 영향을 받는다. 본 논문에서는 이러한 노면표시 훼손으로 인한 산탄잡음에 의해 손상된 정보를 보정하기 위해 중간값 필터 (Median Filter)를 사용하였다. 중간값 필터는 비선형 디지털 필터 기술로 영상 정보나 기타 정보로부터 잡음을 제거하는 목적으로 이용되며, 주어진 영역 (Mask)의 크기를 결정하여 영역내의 정보를 정렬한 후 중간 크기의 정보를 선택하는 필터이다. [그림 5]는 중간값 필터를 이용하여 노면표시 정보를 보정한 결과를 나타내는 그림이다.

1.6 데이터 축적

2차원 라이다가 도로를 인식할 경우 횡 방향의 한 단면 데이터 (1차원 데이터)를 습득하게 된다. 한 단면의 데이터를 이용하여 노면 표시를 인식하기에는 다양한 도로 상황으로 인하여 어려움이 있다. 이러한 문제를 본 논문에서는 데이터를 누적함으로써 극복한다. 한 단면의 데이터를 누적하면 2차원의 데이터를 얻게 되는데 이러한 2차원 데이터를 이용하면 3차원 라이다나 카메라에서 사용하는 다양한 패턴 인식 알고리즘을 적용할 수 있다.

한 단면에서 임계값을 넘은 데이터가 일정량 이상이 되면 데이터 누적을 시작하고, 차량의 속도에 따라서 누적을 멈추게 된다. 본 논문에서는 차량의 속도를 10~40km/h로 제한하였기 때문에 최소 0.5초에서 최대 2초의 누적 시간을 갖는다. 이는 본 논문의 노면표시 후보군 중 범위가 가장 큰 5.2m를 기준으로 정하였다.

1.7 특징 추출

특징 추출 과정은 데이터 축적을 통해 얻어진 노면표시 정보로부터 노면표시를 분류할 수 있는 특징 정보를 추출하는 과정이다. 본 논문에서 분류하고자 하는 노면표시 후보군은 직진 표시, 좌회전 표시, 우회전 표시, 유턴 표시, 횡단보도, 과속방지턱이다. 본 논문에서는 이러한 노면표시들을 분류하기 위해서 열의 투영 벡터를 추출하여 활용한다 [12]. 투영 벡터는 높은 차원을 낮은 차원으로 감소시키는 동시에 형상정보를 획득할 수 있다. 보통 투영 벡터는 수평 방향의 투영 벡터와 수직 방향의 투영 벡터를 합쳐서 일컫는 말이지만 본 논문에서는 후의 분류 기법을 위해 수직 방향에 대한 열 투영 벡터를 획득한다. 다음 [그림 6]은 열 투영을 나타낸 그림이다.

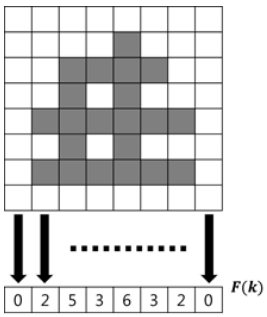

그림 6. 열 투영
Fig. 6 Thermal projection

(식 3)은 열 투영 벡터 $F(k)$를 식으로 나타낸 것이다. 여기서 $f(i,j)$의 크기는 $M \times N$이고, i는 행 방향, j는 열 방향을 나타낸다.

$$F(k) = \sum_{j=0}^{M-1} f(i,j) \tag{3}$$

위와 같은 방식으로 특징을 추출하면 3.1.2 관심영역 추출에서 설명하였듯이 본 논문의 관심 각도는 60°이고 2차원 라이다의 각 분해능 (Angular Resolution)은 0.5°이기 때문에 121차원의 열 벡터가 생성 된다.

본 절에서 고려해야 할 사항은 차량이 진행을 하며 노면표시를 인식했을 때 차량의 위치에 따라서 축적된 노면표시의 위치도 바뀐다는 점이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 모든 노면표시 데이터를 중심으로 열 이동 (shift) 시킨다. 열 이동을 위해서는 노면표시 데이터에 대한 면적과 열 중심 데이터가 필요하다. 3.1.5 객체 분할에서 설명하였듯이 모든 데이터는 0과 1로 이루어진다. 따라서 누적 데이터의 모든 데이터를 더하면 면적이 나온다. 그리고 그 면적을 a라고 정한다. 다음 (식 4)는 누적된 노면표시의 중점을 구하는 수식이다 [12].

$$(\bar{i}, \bar{j}) = \left(\frac{\sum(i \times \text{행})}{a}, \frac{\sum(j \times \text{열})}{a}\right) \tag{4}$$

위의 식을 통해서 구해진 중점 중 $\bar{j}$에 해당하는 열 중심 데이터를 전체 라이다 데이터 열 중심과 비교한다. 모든 데이터를 (식 5)의 j_{shift}만큼 열 이동하면 차량의 위치에 따른 노면표시의 위치 문제점이 해결된다.

$$j_{shift} = 60 - \bar{j} \tag{5}$$

2. 정보 학습

정보 학습 과정은 선정된 노면표시 후보군에 대한 데이터베이스를 생성하고, 생성된 데이터베이스에 대한 특징 추출을 한다. 데이터베이스는 도로교통법 시행규칙 별표 6을 바탕으로 생성한다.

2.1 데이터베이스 구축

데이터베이스 구축 과정은 3.1.7에서 설명한 6가지 노면표시 후보군을 도로교통법 시행규칙 별표 6을 바탕으로, 차량의 속도가 10km/h, 20km/h,

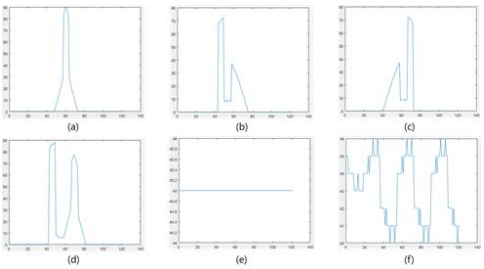

그림 7. 열 투영 벡터
Fig. 7 Thermal projection vector

30km/h, 40km/h 일 때 획득되는 데이터를 2차원 라이다에서 들어오는 데이터 양식으로 생성하였다.

모든 노면표시들은 도로교통법 시행규칙 별표 6을 기준으로 데이터베이스 생성이 가능하지만 본 논문에서는 6가지 노면표시 후보군으로 실험을 진행하였으며 6가지의 노면표시는 일반적인 도로 환경에서 가장 빈번히 접할 수 있는 노면표시이기 때문에 노면표시 후보군으로 선정하였다.

직진 표시는 총 길이가 500cm, 즉 5m로 측정되었다. 차량이 직진 표시를 10km/h, 즉 2.78m/s로 지나갈 경우 약 1.8초가 걸린다. 본 논문에서 사용하는 라이다는 50Hz의 주사 주파수 (scanning frequency)를 가지기 때문에 약 90개의 행을 가지게 되고, 열의 개수는 3.1.7에서 설명한 121개가 된다. 마찬가지로 20km/h, 30km/h, 40km/h의 속도로 진행 시 행 데이터는 각각 약45개, 30개, 22개가 되고 열 데이터는 121개로 같다. 행 데이터 하나의 세로 길이는 약 5.6cm, 열 데이터 하나의 가로 길이는 약 2.9cm에 해당한다.

2.2 특징 추출

특징 추출 과정은 3.1.7절에서 설명한 방식으로 3.2.1절에서 생성한 데이터베이스의 특징 정보를 추출하는 과정이다. 다음 [그림 7]은 추출된 특징 정보인 열 투영벡터를 그래프로 표시한 것이다.

(a)는 직진, (b)는 좌회전, (c)는 우회전, (d)는 유턴, (e)는 횡단보도, (f)는 과속방지턱에 해당하는 열 투영벡터 그래프이다.

3. 정보 분류

정보 분류 과정은 정보 학습 과정에서 추출된 특징과 3.1.5 절에서 획득한 데이터를 비교하고 비교 결과에 따른 노면표시 분류를 설명한다.

3.1 비교

본 절에서는 정보 전 처리 과정에서 획득된 특징 정보와 정보 학습 과정에서 구축된 데이터베이스의 특징을 비교하는 과정이다.

비교 방법은 SSD (Sum of Squared Differences), SAD (Sum of Absolute Differences), MAD (Mean of Absolute Differences), NCC (Normalized Cross Correlation) 등이 일반적으로 많이 이용되는 방법이며 [13], 본 논문에서는 NCC 방식을 이용한다. NCC 알고리즘[14, 15]는 두 개의 신호 사이의 유사성을 측정하는 상호상관 (Cross Correlation) 알고리즘의 강인성을 개선한 알고리즘으로써, 영상처리 분야에서는 두 이미지 사이의 유사도를 결정하는 정합 방법으로 많이 사용되는 알고리즘이다. 상호상관 알고리즘은 두 웨이브 폼 (wave form) 신호 사이에 시간 지연이 발생하는 경우에도 두 신호 사이의 유사성을 계산할 수 있다. (식 6)은 NCC 알고리즘의 식이다.

$$\frac{1}{n}\sum\frac{(f(m)-\bar{f})(g(n)-\bar{g})}{\sigma_f\sigma_g} \qquad (6)$$

여기서 n은 전체 데이터의 개수, $\bar{f}$는 벡터 f의 평균 값, $\bar{g}$는 벡터 g의 평균 값, σ_f,σ_g는 각각 f,g의 표준편차를 의미한다.

3.2 노면표시 분류

본 절에서는 3.3.1 절에서 설명한 비교 방식을 이용하여 노면표시를 분류한다.

정보 전 처리 과정에서 획득된 열 벡터 데이터(실험 데이터)가 입력되면 면적 백분율을 이용하여 1차 분류를 실시한다. 1차 분류를 하는 이유는 면적 백분율을 통해 쉽게 구분이 가능한 후보군이 존재하기 때문이고 임계값은 총 면적의 31%로 한다. 1차 분류를 통해 구분되는 노면표시로는 본 논문에서 분류하고자 하는 횡단보도이고 후보군에는 추가되지 않았지만 이 외에 문자형의 노면표시가 이에 해당된다.

면적 임계값을 정하는 방법으로는 SVM (Support Vector Machine)알고리즘을 사용하였다. SVM 알고리즘은 두 그룹의 경계를 가장 크게 하기 위한 방식이고, 데이터베이스의 면적 백분율을 이용하였다.

모든 후보군은 데이터베이스와 3.3.1 비교 절에서 설명하였던 NCC 방식을 이용하여 유사도를 나타내게 되고 그 중 가장 높은 값에 해당하는 노면

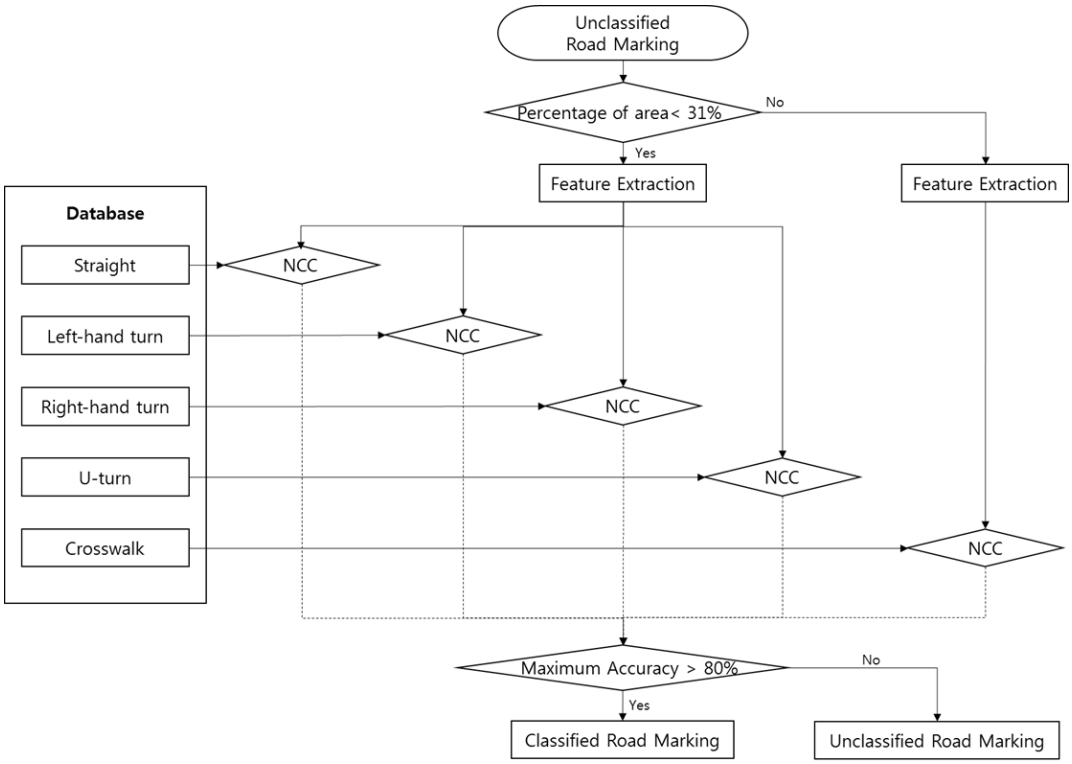

그림 8. 노면표시 분류 알고리즘
Fig. 8 Road marking classification algorithm

표시로 분류되게 한다. 하지만 유사도가 80%를 넘지 않을 경우 후보군 이외의 것이라고 판단한다. [그림 8]은 노면표시 분류 방법의 전체적인 흐름도를 보여준다.

Ⅳ. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안하는 노면표시 분류 기법을 검증하기 위해 실 환경에서 실험을 수행하였다. 실험 장소는 영남대학교 교내 도로이며, 실제 실험 차량에 2차원 라이다를 장착하여 노면표시 후보군으로 선정한 6가지 노면표시를 교내 도로 환경에서 임의의 장소를 선정하여 실험하였다.

[그림 9]는 실 환경 실험을 위해 구축된 실험 차량의 모습이다. 2차원 라이다는 지면으로부터 50cm 높이의 실험 차량 우측 앞 범퍼 부근에서 노면을 주시할 수 있도록 Downward Looking 방식으로 장착하였고, 신호세기를 강하게 하기 위해 차량 전방의 3m를 주시하도록 하였다. 이때 차량의 탑승

그림 9. 실험 차량 및 2차원 레이저 스캐너
Fig. 9 Experimental vehicle and 2D laser scanner

인원에 따라 라이다의 거리가 변화 할 수 있는데 실험 결과 50kg 당 0.01m의 거리 오차를 주는 것을 확인하였으며 이는 오차 범위 내에 해당한다.

실험을 통해 획득한 노면표시의 정보는 모든 후보군에 대해 하나의 노면표시를 10km/h, 20km/h, 30km/h, 40km/h일 때 각각 15회씩 진행하였다.

최종적으로 실제 실험 데이터가 제안하는 방식을 적용하였을 경우 분류가 정확하게 이루어지는지 확인하고 본 실험 데이터를 기존 알고리즘에 적용

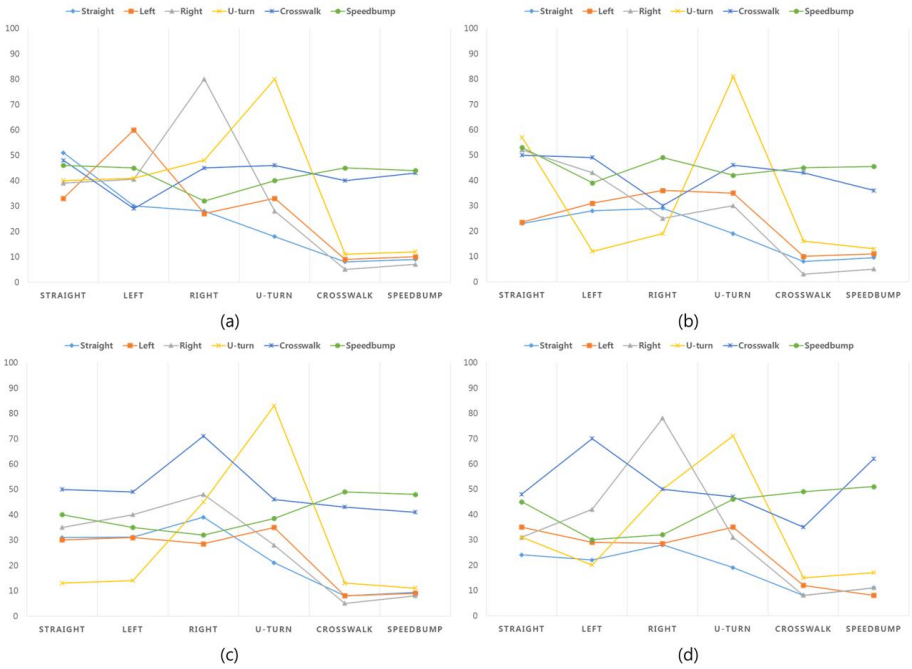

그림 10. 기존 방식 분류 성능

Fig. 10 Performance of existing methods

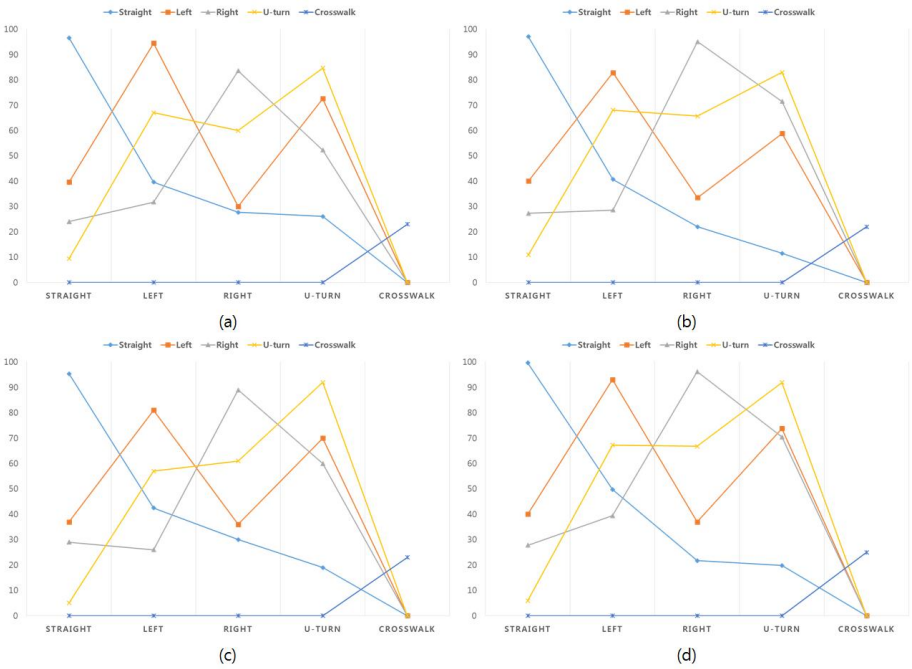

그림 11. 제안 방식 분류 성능

Fig. 11 Performance of existing methods

하였을 경우와 비교하여 성능을 분석하였다.

기존 픽셀 기반의 분류 연구에서는 데이터베이스와 실험 데이터의 상관도를 구하여 분류하는 방식이 일반적이다.

[그림 10]의 (a), 그래프는 10km/h의 속도 일 때 데이터들의 상관도를 이용한 분류의 성능 그래프이다. 그림에서 볼 수 있듯이 횡단보도를 제외하고는 분류가 가능하지만 횡단보도의 경우 두 번째의 상관도를 가지기 때문에 분류가 되지 않는다. 또한 직진 표시와 과속방지턱의 경우 분류는 가능하나 상관도가 매우 낮으며 다른 표시에 비해 2 순위의 노면표시와 차이가 나지 않는다.

다음 (b)는 차량의 속도가 20km/h 일 때의 그래프이다. 속도가 10km/h 증가함으로써 유턴 표시, 과속방지턱을 제외한 나머지 노면표시는 분류가 되지 않는 것을 확인할 수 있다.

(c)와 (d)는 각각 차량의 속도가 30km/h, 40km/h 일 때의 그래프이다. 속도가 빨라짐에 따라 분류가 정확하게 이루어지지 않는 것을 확인할 수 있다.

다음 [그림 11]은 본 논문에서 제안하는 방식의 성능 그래프이다.

모든 속도에서 비슷한 성능 결과를 얻을 수 있었으며, 인식 정확도 또한 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 횡단보도의 분류가 원활하게 이루어지지 않는 것을 확인할 수 있는데 이는 차량의 진행 방향에 따라 오차가 크게 발생하기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 자율주행차량의 현재 주행 차로 인식을 위한 단일 2차원 라이다 기반의 노면표시 분류 기법에 대해서 제안하였다. 자율주행차량에서 현재 차량의 위치를 판단하는 것은 운전자 편의와 관련된 중요한 부분이다. 이러한 위치 판단을 위해서는 노면표시의 정확한 분류가 필요하다. 본 논문에서는 직접 측량을 통해 노면표시의 데이터베이스를 구축하고 그것을 통해 특징 정보를 추출하여 노면표시를 분류하였다. 단일 2차원 라이다 만으로 노면표시의 종류를 분류할 수 있었고, 다수개의 2차원 라이다, 단일 3차원 라이다, 카메라 기반, 센서 융합이 아닌 오직 단일 2차원 라이다 만을 통해 노면표시를 분류할 수 있었기 때문에 데이터량의 감소에 따른 계산량의 감소를 기대할 수 있다.

하지만 본 논문에서 분류한 노면표시 이외에도 다양한 노면표시가 존재 한다는 점을 생각하면 향후 다양한 방식을 연구하여 개선하여야 한다. 다음, 차선에 대한 고려를 하지 않았기 때문에 차선에 따른 오차를 극복하기 위한 방법도 필요하다. 또한 차량과 노면 사이의 장애물이나 노면에 떨어진 반사도가 높은 물질과 같은 노면표시 분류에 영향을 줄 수 있는 요인들에 대한 해결방안 또한 연구하여야 한다. 마지막으로 실험 데이터를 속도에 따라 15회씩 획득하였는데 표본 데이터의 양에 따른 분류 정확도의 오차에 대해서도 생각하여야 한다.

References

[1] M. Kang, S. Hur, Y. Park, “Map Building based on Sensor Fusion for Autonomous Vehicle,” Proceedings of IEEE 2014 Information Technology: New Generations, pp. 490-495, 2014.

[2] S. Im, J. Im, S. Yoo, G. Jee, “Pedestrian Safety Road Marking Detection Using LRF Range and Reflectivity,” Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 18, No. 1, pp. 62-68, 2012.

[3] T. Li, D. Zhidong, “A New 3D LIDAR-based Lane Markings Recognition Approach,” International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 2197-2202, 2013.

[4] D. An, “Detection of driving lane using road lane and mark information,” Master’s Thesis, Kyungpook National University, 2010 (in Korean).

[5] H. Guan, J. Li, Y. Yu, C. Wang, M. Chapman, B. Yang, “Using mobile laser scanning data for automated extraction of road markings,” ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 93-107, 2014.

[6] F. Blais, J.A. Beraldin, S. El-Hakim, “Range error analysis of an integrated time-of-flight, triangulation, and photogrammetric 3D laser scanning system”, Proceedings of SPIE Aero Sense, Vol. 4035, 2000.

[7] J. Hancock, M. Hebert, C. Thorpe, “Laser intensity based obstacle detection,” Proceedings of the Intelligent Robots and System, Victoria, BC, Canada, vol. 3, pp. 1541-1546, 1998.

[8] M. Lee, “Obstacle Classification Method using Multi-Feature based on 2D LIDAR,” Master’s Thesis, Yeungnam University, 2015 (in Korean).
[9] I. Oh, “Computer Vision,” Hanbitacademy 2014 (in Korean).
[10] N. Otsu, “A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms,” Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, 1979.
[11] O. Hadjiliadis, I. Stamos, “Sequential classification in point cloud of urban scenes,” Proceedings of 3DPVT, 2010.
[12] I. Oh, “Pattern Recognition,” Kyobobook 2008 (in Korean).
[13] Y. Bin, D. Hui-chuan, “Image Stabilization by Combining Gray-Scale Projection and Block Matching Algorithm,” Proceedings of IT in Medicine & Education, Vol. 1, pp. 1262-1266, 2009.
[14] K. Briechle, U. D. Hanebeck, "Template Matching using Fast Normalized Cross Correlation", Proceedings of SPIE, V.4387, Optical Pattern Recognition XII, pp. 95-102, 2001.
[15] D. M. Tsai, C. T. Lin, “Fast normalized cross correlation for defect detection", Pattern Recognition Letters, Vol. 24, No. 15, pp. 2625-2631, 2003.

Seong-Hyeon Park (박 성 현)

He received the B.S. and M.S. degrees in information communic-ation engineering from Yeungnam University, in 2014 and 2016. His res earch intrests auto-nomous cars, Lidar signal processing and classification method.
Email: poohdl@ynu.ac.kr

Jeong-hee Choi (최 정 희)

She received the B.S. degrees in electrical engineering form Kyung-pook National Univer-sity, Korea, in 1982. She received the M.S. and Ph.D. degrees in electrical and electronics engineering form State University of New York, USA, in 1989 and 1992. She is currently a professor in Daegu University. Her reserch interests Mobile communication and Radar signal processing.
Email: choijh@daegu.ac.kr

Yong-Wan Park (박 용 완)

He received the B.S. degrees in electrical engineering form Kyung-pook National Univer-sity, Korea, in 1982. He received the M.S. and Ph.D. degrees in electrical and electronics engineering form State University of New York, USA, in 1984 and 1992.

1992.10 ~ 1993.12 California Institute of Technology Research Fellow.
1994.01 ~ 1996.08 SK Telecom Technical Development Manager.
2003.01 ~ 2004.01 UC Irvine Visiting Professor.
2008.01 ~ 2009.12 IEEE VTS Korea Branch Chairman.
He is currently a professor in Yeungnam University and ledger in GITC. His re-search intrests Mobile communication, Wireless multimedia Design Technology, Telematics and location-based system.
Email: ywpark@yu.ac.kr