

LRF (Laser Range Finder) 거리와 반사도를 이용한 보행자 보호용 노면표시 검출기법 연구

Pedestrian Safety Road Marking Detection Using LRF Range and Reflectivity

임 성 혁, 임 준 혁, 유 승 환, 지 규 인*
(Sung-Hyuck Im¹, Jun-Hyuck Im¹, Seung-Hwan Yoo¹, and Gyu-In Jee¹)
¹Konkuk University

Abstract: In this paper, a detection method of a pedestrian safety road marking was proposed. The proposed algorithm uses laser range and reflectivity of a range finder (LRF). For a detection of crosswalk marking and stop line, the DFT (Discrete Fourier Transform) of reflectivity and cross-correlation method between the reference replica and the measured reflectivity are used. A speed bump is detected through measuring an altitude difference of two LRFs which have the different tilted angle. Furthermore, we proposed a velocity constrained a detection method of a speed bump. Finally, the proposed methods are tested in on-line, on the pavement of a road. The considered road markings are wholly detected. The localization errors of both road markings are smaller than 0.4 meter.

Keywords: LRF, optical ranging, reflectivity, road surface marking

I. 서론

최근 무인자동차의 연구가 활발해지고 있다. 미국에서는 수년에 걸쳐 사막에서의 무인자동차 경주(DARPA Grand Challenge)와 도심에서의 무인자동차 경주(DARPA Urban Challenge)를 개최함으로써 군과 상용목적의 무인자동차 연구개발을 독려하고 있다. 이와 함께 국내에서도 무인자동차 연구에 대한 관심이 높아져 많은 학교 및 연구 기관들이 무인자동차연구에 노력을 기울이고 있으며, 특히 2010년 11월 현대자동차 주관의 무인자동차 대회가 개최되어 무인자동차에 대한 연구관심도가 급상승하는 효과를 낳았다. 이와 같이 국내외 무인자동차 연구 수요가 증가하고 있는 가운데, 무인자동차의 핵심 기술이라 할 수 있는 센서에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 영상과 레이더(radar) 및 LRF (Laser Range Finder)를 이용한 물체인식 및 환경인식 연구가 중요해졌다. 특히 포장도로환경에서는 모든 노면표시 및 구조물이 규격에 의해서 설치되는 점을 고려할 때, 도로환경 인식에 대한 문제는 복잡한 비포장도로에 비해 단순화될 수 있다. 영상의 경우 빛의 세기에 의한 민감도가 높고 레이더는 그 측정 정확도가 다른 센서에 비해 낮은 단점이 있다. LRF는 정확한 거리 측정이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 LRF도 우천으로 인한 반사도에 민감하다는 단점을 갖고 있다. 하지만 최근에 포장도로용 노

면표시 도료의 반사도 향상 및 돌출형 노면표시를 고안하여 우천시에도 일정 반사도가 유지될 수 있도록 연구되고 있다.

궁극적으로 노면표시는 차량과 차량간 또는 차량과 보행자간의 보호를 위해서 필수적인 요소이다. 그 중에서도 횡단보도와 과속방지턱은 보행자 보호를 위해서 반드시 지켜져야 하는 표시이다. 그러므로 보행자의 안전을 위해서 보다 확실한 보행자 보호용 노면표시 검출 방법이 필요하며, 기존의 영상을 이용한 노면표시 검출을 보완 또는 대체할 수 있는 LRF의 거리와 반사도를 이용한 보행자 보호용 노면표시 검출방법이 필요하다. 특히 LRF는 그 측정 정확도가 우수하여 영상보다 높은 정확도를 제공하는데 그 장점이 있다 할 수 있다.

본 논문에서는 LRF의 거리와 반사도를 이용하여 포장도로 위의 보행자 보호용 노면표시 검출기법을 제안하였다. LRF의 거리값을 통하여 노면의 기울기와 고도를 측정한 후 그 반사계수와 비교하여 횡단보도와 과속방지턱을 검출하였다. 횡단보도는 그 설치특성상 도색면과 비도색면이 도로 진행방향에 대해서 횡방향으로 반복된다. 그러므로 비도색면은 도색면에 대해서 반사계수가 낮으므로 LRF가 측정 한 반사계수의 차이를 통해 검출이 가능하다. 특히, 반복적인 패턴은 스펙트럼을 이용하는 경우 손쉽게 관찰 및 검출이 가능하다. 과속방지턱은 정확한 법적 규격은 존재하지 않으나 일반적으로 그 노면과의 고도차이가 약 7~8cm 이상 되도록 설치하므로 비교적 측정값이 정확한 LRF의 경우 과속방지턱 설치에 의한 고도차이의 판별이 가능하다. 또한 2개 이상의 LRF를 이용하는 경우에는 차량의 속도제한 조건을 통하여 오검출을 줄임으로써 성능향상이 가능하다.

본 논문은 크게 5개 부분으로 되어 있다. 우선 서론에서 연구의 배경과 목적에 대해서 서술하였으며, 제 II 장에서

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 4. 29., 수정: 2011. 8. 30., 채택확정: 2011. 11. 18.
임성혁, 임준혁, 유승환, 지규인: 건국대학교 전자공학과
(shim@konkuk.ac.kr/junhyuck@konkuk.ac.kr/ysh12@konkuk.ac.kr/gijee@konkuk.ac.kr)

※ 본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(06교
통핵심A03)에 의해 수행되었음.

는 일반적인 노면표시 및 보행자 보호용 노면표시의 특징에 대해서 설명하였으며, 저자가 제안하는 보행자 보호용 노면표시의 검출방법과 실험결과를 III 장과 IV 장에서 각각 나타내었다. 마지막으로 V 장에서 제안한 검출방법의 결론과 향후연구방향에 대해 기술하였다.

II. 보행자 보호용 노면표시의 특징

일반적인 포장도로 위에 설치된 노면표시는 운전자가 식별 가능하도록 반사도가 높은 색과 물질을 사용한다. 표 1은 색과 물질에 따른 반사도를 나타낸 것이다.

일반적으로 대부분의 포장도로를 구성하는 아스팔트의 반사도는 가장 낮고 노면표시에서 주로 사용되는 백색과 밝은노랑은 반사도가 높다. 따라서 노면표시는 반사도만으로도 노면과의 차이가 발생하게 되어 노면표시를 반사도를 측정하여 검출할 수 있다.

그림 1은 횡단보도와 과속방지턱을 도식한 것이다. 횡단보도는 도로 진행방향의 횡으로 설치되며, 도색부와 비도색부가 반복되도록 설계되었다. 또 다른 특징은 횡단보도 직전에 정지선이 설치되어 있어 정지위치를 지정하도록 되어 있다. 따라서 횡단보도를 검출하는 것은 횡단보도 직전에 배치된 정지선의 위치를 검출하는 것과 같다. 정지선은 진행방향 노면 전체에 횡으로 도색되며 진행 반대방향에는 도색되지 않는 특징이 있다. 과속방지턱의 경우도 횡단보도와 도색의 형태는 유사하지만 정지선이 없고 도색부와 비도색부의 반복이 아닌 다른 색이 반복되며, “턱”이 의미하는 바와 같이 노면보다 고도가 높아지게 된다. 그러므로 그림 1(b)에서와 같이 밝은 노랑과 흰색의 반복으로 전체 도색부에 높은 반사도와 고도변화가 동시에 발생한다.

III. 패턴 상관을 이용한 노면표시 검출 및 위치도출

1. 횡단보도와 정지선 검출 및 위치도출 기법

앞 장에서 설명한 바와 같이 노면은 도색에 의해서 그

표 1. 각종 색채와 재료의 상대반사도.

Table 1. Reflectivity according to colors and materials.

색채	상대반사도	재료	상대반사도
백색	70~80	콘크리트	15~40
밝은노랑	55~65	흙	10~20
밝은녹색	45~50	아스팔트	10
오렌지	20~25	유리(투명)	68
주홍	20~25	에나멜(백색)	65~75
검정	4	멜라민(백색)	80~85

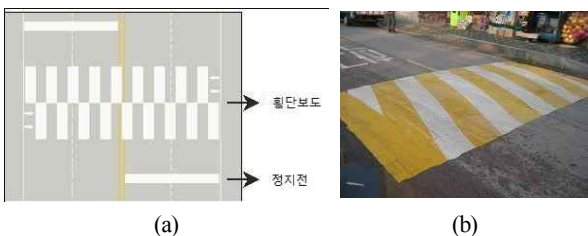


그림 1. 횡단보도(a)와 과속방지턱(b).
Fig. 1. Crosswalk marking and speed bumper.

반사 특성이 달라진다. 이것은 법으로 규정되어 있어 항상 특정 조건을 만족하므로 적용 및 검출의 용이성이 있다.

그림 2는 횡단보도가 존재하는 노면에서 LRF로부터 입력받은 반사도를 도식한 것이다. 그림에서와 같이 LRF의 반사도는 도색부에서 높아지고 비도색부에서는 낮아지게 되며, 이는 횡단보도의 일반적인 특성상 일정하게 반복된다. 이와 같이 일정하게 반복되는 현상은 이산 푸리에 변환을 통하여 그 특성을 추출해 낼 수 있다. 그림 3은 반사도 측정값을 이산 푸리에 변환한 결과를 나타낸다. 반사도 측정값 x_n 은 식 (1)을 통해 이산 푸리에 변환을 수행한다. 바이어스 제거를 위하여 반사도 측정 평균값 \bar{x} 을 차분하였다.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} (x_n - \bar{x}) e^{-j \frac{2\pi}{N} kn}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

여기서 X_k 는 바이어스가 제거된 이산 푸리에 변환값이다.

도색이 되어 있지 않은 경우에는 반사도는 일정한 값을 가지므로 스펙트럼 상에서 저대역 나타나고 횡단보도 부분에서는 중간대역에서 최댓값이 발생하여 검출이 가능하게 된다[1].

그림 4에서 정지선은 반복되는 형태를 갖는 횡단보도와는 다르게 특정구간은 낮은 반사도를 갖고 나머지 구간은 높은 반사도를 갖는 특성은 나타낸다. 그러므로 횡단보도

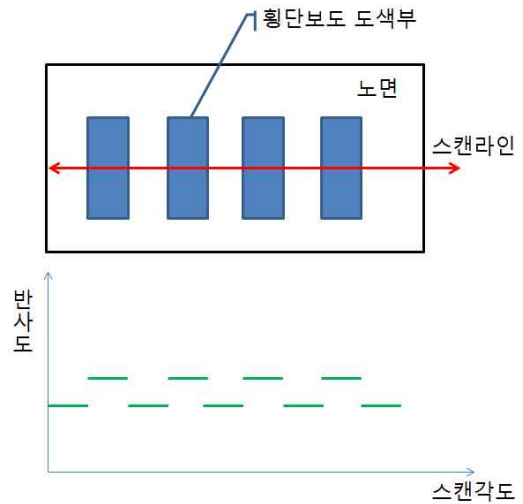


그림 2. 횡단보도면(상)과 반사도 측정값(하).
Fig. 2. Crosswalk marked road and reflectivity.

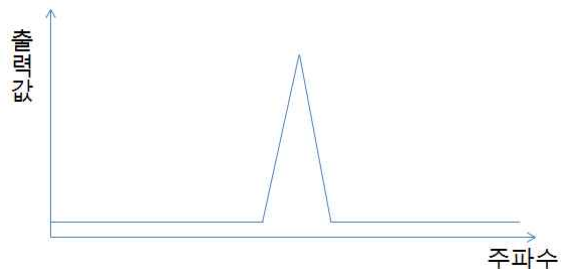


그림 3. 반사도측정값의 이산 푸리에 변환 결과.
Fig. 3. Discrete Fourier Transform of reflectivity.

검출에서 사용한 이산 푸리에 변환을 통해 검출할 수 없으며 그림 5에서 도시된 것과 같이 검출 경계값 설정을 통한 이진변환을 식 (2)와 같이 수행한다. 변환된 반사도 측정값은 식 (3)을 통해 검출복사 신호와 곱을 한 후 합하게 된다. 그림 6은 일반적인 노면에서 최소상관이 발생하는 경우와 정지선이 존재하는 노면에서 최대상관이 발생하는 경우를 도식한 것이다.

$$\tilde{x}_n = \text{sign}(x_n - L) \tag{2}$$

여기서 \tilde{x}_n 은 이진변환된 반사도 측정값이고 L 은 이진변환을 위한 경계값이다.

$$S = \sum_{n=1}^{N-1} \tilde{x}_n \chi_n \tag{3}$$

여기서 χ_n 은 그림 5에서와 같이 횡단보도 정지선을 위한 검출 복사열이고 S 는 이진변환된 반사도 측정값과 검출 복사열의 곱의 합이다.

합해진 값이 일정 검출량을 넘는 경우 정지선이 있다고 판단할 수 있게 된다.

2. 과속방지턱 검출 및 위치도출 기법

그림 7은 과속방지턱과 반사도 측정값을 나타낸 것이다. 횡단보도에서와 같이 뚜렷한 반사도의 차이는 발생하지 않게 되며, 전반적으로 높은 반사도 측정값을 출력하게 된다. 그러므로 전체적으로 높은 반사도가 나오는 경우 과속방지턱이 있다고 판단할 수 있고 오검출을 줄이기 위해서 그림 8에서와 같이 고도측정을 통한 이중검출을 수행하게 된다.

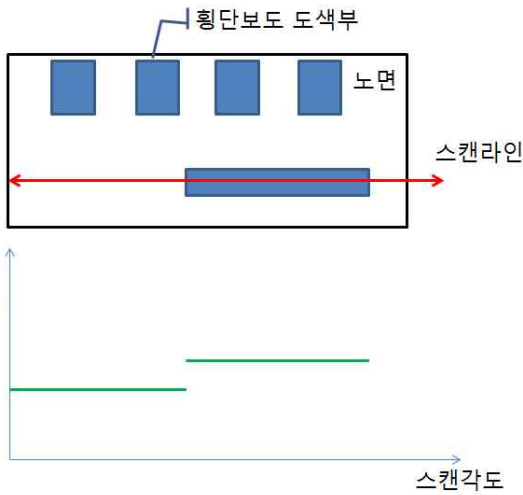


그림 4. 횡단보도 정지선(상)과 반사도 측정값(하).
Fig. 4. Crosswalk marking stop line and reflectivity.

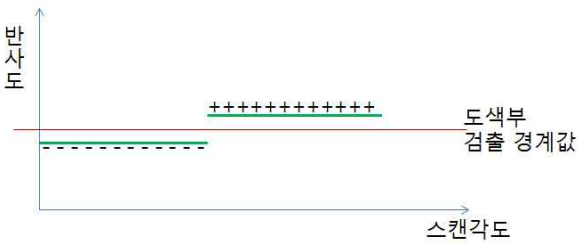


그림 5. 횡단보도 정지선 검출 경계값을 이용한 이진맵핑.
Fig. 5. Binary mapping using a stop line detection threshold.

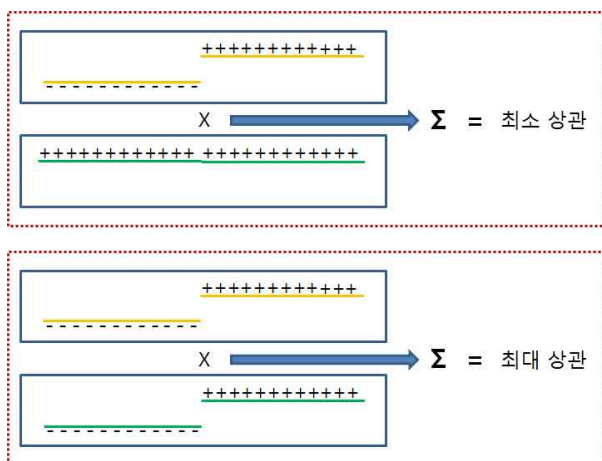


그림 6. 최소상관(상)과 최대상관(하).
Fig. 6. Minimum and maximum correlation.

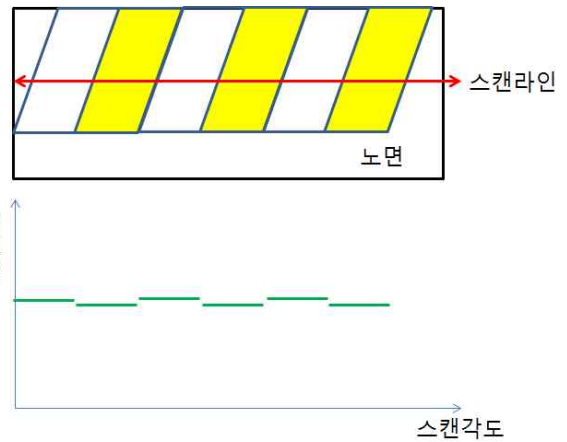


그림 7. 과속방지턱(상)과 반사도 측정값(하).
Fig. 7. Speed bump and reflectivity.

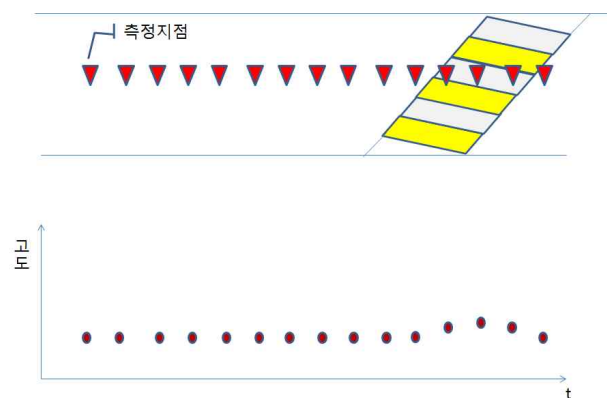


그림 8. 차량의 진행에 따른 고도측정 과정(상)과 고도 측정값(하).
Fig. 8. Altitude variation according to a movement of car.

IV. 실험 및 결과

1. 실험환경

그림 9에서와 같이 보행자 보호용 노면표시를 검출하기 위해 차량 전면 지상으로부터 1.85미터 상단에 두 대의 LRF (SICK LMS -S14)를 설치하였다. L로 표기된 차량 상단 좌측 센서를 L_LRF와 R로 표기된 차량 상단 우측 센서를 R_LRF 지칭한다. L_LRF와 R_LRF는 서로 다른 거리지점을 측정하도록 기울임각(수평으로부터 지상으로 기울임각)을 다르게 설치하였다. 표 2는 두 센서의 기울임각을 나타낸 것이다. 두 센서의 측정가능 거리차가 생기도록 다른 기울임각을 사용함으로써 검출성능을 향상시켰다. 차량의 자세와 위치 측정을 위해서 Novatel사의 SPAN 장비를 이용하였으며, 위치 정확도 향상을 위하여 GPS-RTK를 수행하였다. 정확한 실험수행을 위하여 위치 및 자세센서와 LRF의 상대위치 및 자세를 측정하여 측정결과를 보상하였다. 실험은 그림 9와 표 2에서 설명된 바와 같이 차량에 두 대의 LRF를 장착한 상태에서 일반 아스팔트 도로에서 수행되었다[2-8].

2. 횡단보도 검출 결과

그림 10은 횡단보도 측정 상황을 도식한 것이다. 우선 L_LRF는 전방의 횡단보도면을 측정하는 동시에 R_LRF는 횡단보도 정지선을 측정하는 상황에 놓이게 된다. 이 때, L_LRF는 그림 11과 같이 일정한 반사도 고저의 반복이 발생하게 된다. 측정된 반사도의 이산 푸리에 변환하게 되면 그림 12에서와 같이 최고점이 일정 경계값을 넘어서게 되며, 이 시점에서 횡단보도가 검출되었다고 판단한다. 이와

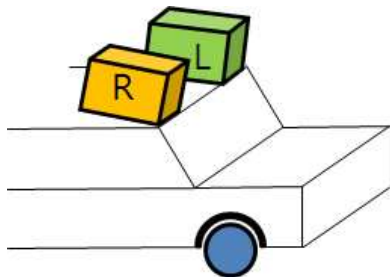


그림 9. 차량에서의 두 대의 LRF 설치.
Fig. 9. Installation of both LRF on a car.

표 2. 두 센서의 기울임각과 측정거리.

Table 2. Tilted angle and measurable range of the both sensors.

센서명	기울임각(°)	측정거리(수평면기준)
L_LRF	6.2	17.13 m
R_LRF	8.1	13.13 m

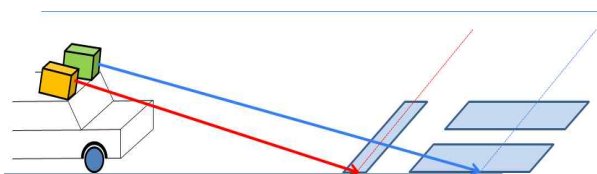


그림 10. 횡단보도 측정 상황.
Fig. 10. Situation of measuring a crosswalk marking.

동시에 R_LRF는 정지선을 측정하게 되고 그림 13에서와 같이 진행방향 노면을 측정할 반사도는 상대적으로 높은 값을 갖게 되며, 앞장에서 제안한 방법과 같이 상관을 취함으로써 정지선 검출여부를 판단하게 된다.

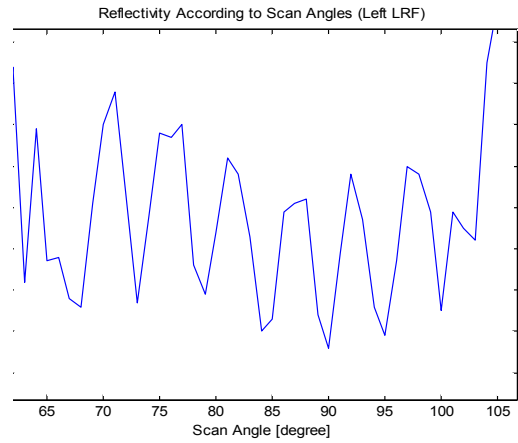


그림 11. 진동하는 반사도 측정값.

Fig. 11. Oscillated reflectivity measurement.

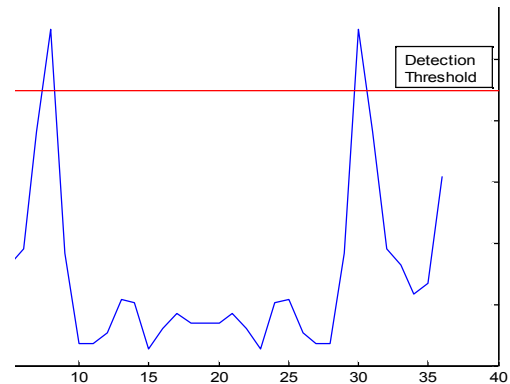


그림 12. 진동하는 반사도 측정값의 이산 푸리에 변환 결과.

Fig. 12. Result of discrete Fourier transform of the oscillated reflectivity measurement.

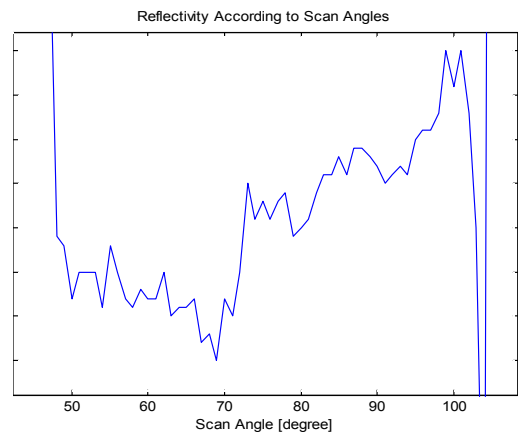


그림 13. 정지선에서의 반사도 측정값.

Fig. 13. Reflectivity measurement on the stop line.

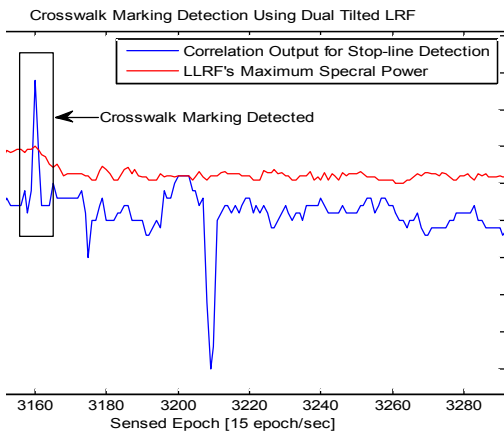


그림 14. 횡단보도 검출 결과.

Fig. 14. Crosswalk marking detection result.

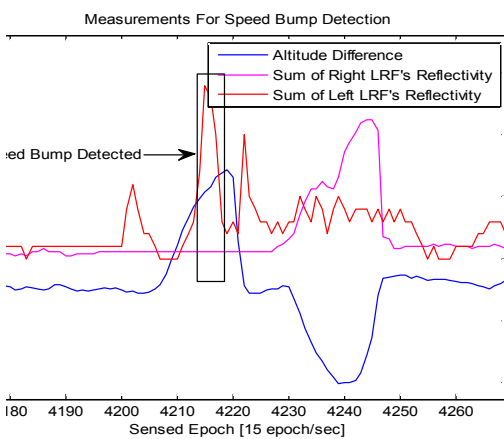


그림 15. 과속방지턱 검출 결과.

Fig. 15. Speed bump detection result.

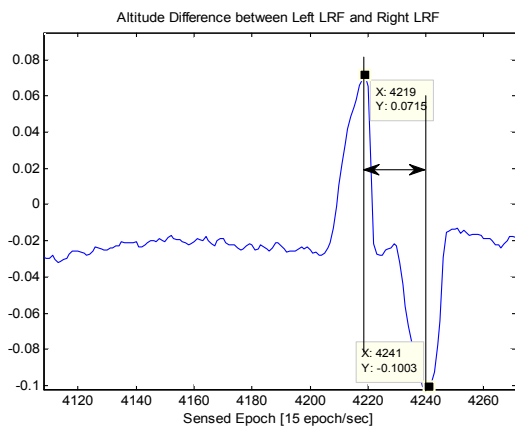


그림 16. 고도차분값에 속도 제한조건 적용.

Fig. 16. Velocity constrained altitude difference detection.

그림 14는 공간에 대한 이산 푸리에 변환 최고값과 상관값을 동시에 도식한 것이다. 그림에서 박스로 표시된 부분은 두 LRF의 검출조건을 모두 만족하는 경우이며, 이 때 횡단보도 및 정지선이 검출되었다고 판단하여 차량에 정지

선의 위치를 반환하게 된다. 그림 14에서 상관값의 최저점이 관찰된다. 이는 반대 진행방향에 위치한 정지선을 검출한 것으로 상관에서 역위상에 의해서 음의 상관값으로 나타나게 된다.

3. 과속방지턱 검출 결과

그림 15는 반사도의 합과 L_LRF와 R_LRF의 고도 편차를 이용하여 과속방지턱을 검출한 결과이다. 주목할 점은 그림 16에서와 같이 두 대의 LRF가 차례로 측정을 수행하므로 고점과 저점이 발생하는 간격이 차량의 속도에 의존한다는 것이다. 만약 차량의 속도가 30km/hr이고 두 LRF 스캔간격이 8미터라면 고점과 저점의 시간차가 약 1초가 되어야 한다. 그림 15에서와 같이 검출 후 저점을 검출의 평가에 이용하여 오검출 확률을 줄일 수 있다.

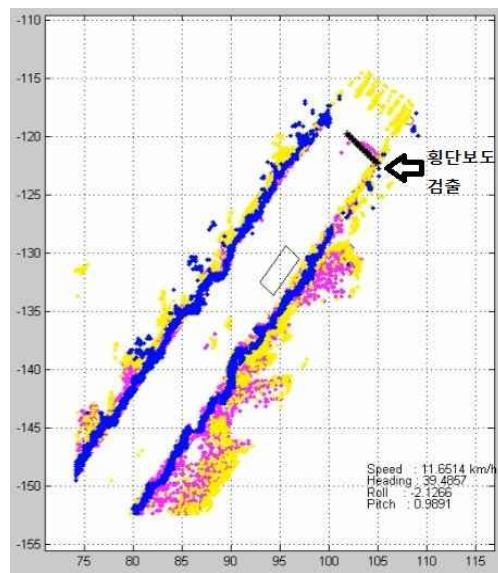


그림 17. 주행 중 검출된 횡단보도 정지선(검은색).

Fig. 17. Detected stop line on driving.

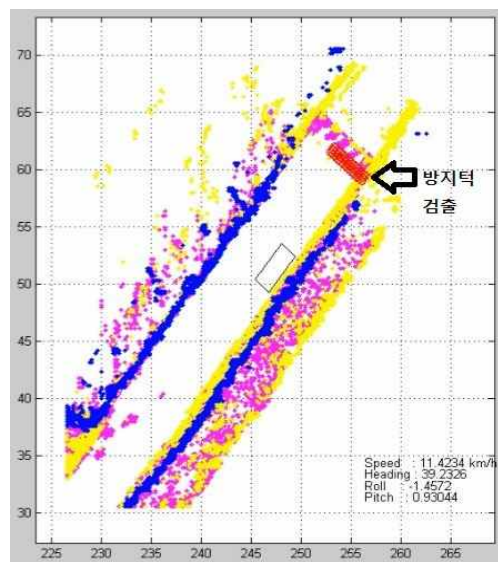


그림 18. 주행 중 검출된 과속방지턱(붉은색).

Fig. 18. Detected speed bump on driving.

표 3. 스캔속도와 차량속도와 관계.

Table 3. Relation between scan rate and vehicle speed.

차량속도 (km/hr)	스캔속도 (Hz)	스캔과 스캔 간격 (m)
30	75	0.11
30	150 (2LRF사용)	0.055
60	75	0.22
60	150 (2LRF사용)	0.11

그림 17과 18은 각각 주행 중 횡단보도와 과속방지턱을 검출한 결과이다. 그림 17에서 횡단보도 정지선은 차량 약 10미터 전방에서 검출되었으며, 정지선의 위치오차는 약 0.4미터이다. 그림 18은 과속방지턱을 약 9미터 전방에서 검출하였으며, 위치오차는 약 0.38미터이다.

제안된 알고리즘은 30km/hr의 속도로 주행하는 차량에 LRF를 장착하여 실시하였다. 차량의 속도가 증가하는 경우 스캔속도에 의해서 검출 확률이 바뀔 수 있다. 다시 말하면, 스캔속도가 빠른 경우에는 스캔과 스캔사이의 간격이 넓어지므로 정지선의 경우에는 검출할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 하지만 LRF의 개수를 늘려서 스캔속도를 증가시키는 경우에는 이를 보완할 수 있으므로 제안된 알고리즘은 속도에 의해서 제한되지 않는다. 표 3은 스캔속도와 차량속도와의 관계를 나타낸다. 차량속도가 증가하는 경우에는 해상도를 높이기 위한 추가적인 LRF 사용을 통해서 기존 알고리즘의 타당성을 유지할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 기존 영상으로 수행되던 노면표시 검출 중에서 보행자 보호용 노면표시를 LRF의 거리와 반사도측정값을 이용하여 검출 및 위치를 도출하는 기법을 제안하였다. LRF 반사도의 이산 푸리에 변환을 통해 일정하게 반복되는 패턴을 검출하여 횡단보도를 인지하고 상관기법을 이용한 정지선을 검출하였으며, 방지턱의 고도변화를 이용한 검출과 두 LRF 고도차의 최고점과 최저점을 속도제한 조건을 이용하여 오검출 확률을 낮추었다. 제안된 방법을 통하여 횡단보도 및 정지선과 과속방지턱의 위치를 0.4미터 이내로 검출할 수 있었다.

하지만 LRF의 반사특성은 노면의 상황 및 노면표시 도료의 마모 상태에 따라 변할 수 있다. 그러므로 향후 이를 보완하기 위한 적응형 검출기법의 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] S. M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing Volume II : Detection Theory*, PrenticeHall, New Jersey, 1998.
- [2] J. H. Britt and D. M. Bevely, "Lane tracking using multilayer laser scanner to enhance vehicle navigation and safety systems," *ION 2009 International Technical Meeting*, Anaheim, CA, USA, Jan. 2009.
- [3] J. Underwood, A. Hill, and Dr. S. Scheduling, "Calibration of range sensor pose on mobile platforms," *Proc. of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent*

Robots and Systems, San Diego, CA, USA, Oct.-Nov. 2007.

- [4] C. W. Roh, S. H. Kim, M. J. Kim, S. C. Kang, and S. K. Hong, "Development of patrol robot using DGPS and curb detection," *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering (in Korean)*, vol. 13, no. 2, pp. 140-146, Feb. 2007.
- [5] B. W. Parkinson and J. J. Spilker Jr, *GPS Positioning System : Theory and Application Volume I*, AIAA, Washington, 1996.
- [6] E. D. Kaplan, *Understanding GPS : Principles and Applications*, 2nd Ed., Artech House Publisher, Norwood, MA, 2006.
- [7] C. M. Chun, S. B. Suh, S. H. Lee, C. W. Roh, S. C. Kang, and Y. S. Kang, "Autonomous navigation of KUBE (KIST Unmanned Vehicle Electric)," *Journal of Institute Control, Robotics and Systems*, vol. 16, no. 7, pp. 617-624, Jul. 2010.
- [8] C. W. Roh, Y. S. Kang, and S. C. Kang, "Development of autonomous navigation robot in outdoor road environments," *Journal of Institute Control, Robotics and Systems*, vol. 15, no. 3, pp. 293-299, Mar. 2010.



임 성 혁

2003년 건국대학교 전자정보통신공학과 졸업. 2005년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학석사). 2011년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학박사). 현재 건국대학교 대학원 전자정보통신공학과 연구원으로 재직중. 관심분야

는 실시간 및 고성능 컴퓨팅기반 소프트웨어 GNSS 수신기, 항법신호 생성 및 처리 시뮬레이터, GNSS anti-jamming, anti-spoofing, 전파기반 실내측위, 결합 항법.



임 준 혁

2008년 8월 홍익대학교 전자전기공학부 졸업. 2011년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학석사). 2011년 3월~현재 건국대학교 대학원 전자정보통신공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 Loran-C 신호처리, GPS 신호처리, 무인자동차, 전파기반 실내측위.



유 승 환

2009년 건국대학교 전자공학과 졸업. 2009년~현재 건국대학교 대학원 석사 재학. 관심분야는 항법제어시스템, 자율주행로봇.

**지 규 인**

1982년 서울대학교 제어계측공학과(공학사). 1984년 서울대학교 제어계측공학과(공학석사). 1989년 Case Western Reserve Univ. System and Control Engineering(공학박사). 1992년~현재 건국대학교 전자정보통신공학과 교수.

관심분야는 GPS/INS 결합항법, GPS 수신기 신호처리, 무선측위, 소프트웨어 GPS, GPS anti-jamming.