

## 이동 평균 필터 기반 노면 프로파일 추정 방법

이정균<sup>o</sup>, 윤국진

광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부

leejk@gist.ac.kr, kjyoon@gist.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 스테레오 카메라를 이용하여 차량의 바퀴가 지나갈 경로의 노면 높이를 추정하는 노면 프로파일 추정 방법에 대해 제안한다. 노면 프로파일의 추정은 스테레오 매칭 기법으로 추정된 깊이 값의 잡음에 민감하며, 차량의 흔들림에 매우 취약하기 때문에, 이를 보정하기 위하여 본 연구에서는 이동 평균 필터를 이용한 노면 프로파일 추정 방법을 제안한다. 가장 먼저, 디지털 높이 지도를 추정하며, 매 프레임 디지털 높이 지도를 이동 평균 필터를 이용해 보정한다. 그리고 추정된 디지털 높이 지도로부터 노면 프로파일을 추정한다. 이를 통해, 잡음이 심한 깊이 값을 보정하고, 차량의 흔들림에 대한 오차도 보정함으로써 정확한 노면 프로파일을 추정할 수 있다.

### 1. 서론

노면 프로파일은 자차가 지나가는 경로에 대한 도로면의 높이를 추정한 것으로, 최근 차량의 승차감을 향상시키기 위해 노면 프로파일을 추정하는 연구가 진행되고 있다. 가장 대표적인 연구로는 2013 Mercedes-Benz S-Class 차량에 도입된 Road Surface Scan 기능[1]으로, 스테레오 카메라를 이용하여 노면 프로파일 추정하고, 이 정보를 이용해 차량의 서스펜션을 조절함으로써 승차감을 향상시킨다. 그러나 해당 연구는 대중에게 공개되지 않았기 때문에 방법에 대한 자세한 설명은 알 수 없다. [2]는 스테레오 카메라 기반 노면 프로파일 추정 방법에 대해 유일하게 공개된 연구로, 디지털 높이 지도를 추정한 후 그로부터 노면 프로파일을 추출한다. 그러나 기존의 방법은 스테레오 매칭 기법에서 획득한 잡음이 심한 깊이 값에 의해 높이 추정 값이 매우 부정확하며, 또한 방지턱 등의 요철로 인해 도로면의 선형 근사가 잘 이루어지지 않아 노면의 높이를 부적절하게 추정하는 경우가 발생한다. 본 연구에서는 노면 프로파일의 추정 성능을 향상시키고자 이동 평균 필터 기반의 노면 프로파일 추정 방법을 제안한다.

### 2. 디지털 높이 지도 추정 방법

비주얼 오도메트리로부터 자차의 이동 경로 정보를, 스테레오 매칭 기법으로부터 깊이 영상을, 자유주행공간 검출 기법으로부터 주행 가능한 영역에 대한 정보를 획득한 것으로 가정한다. 가장 먼저,

25x50cm의 격자 크기를 갖는 8x25m의 격자 지도를 형성한다. 그리고 자유주행공간에 해당하는 깊이 영상의 깊이 값을 디지털 높이 지도로 투영하고, 그 투영된 값들 중 중앙 값을 해당 격자의 대푯값으로 선택한다. 다음으로 디지털 높이 지도의 기울기를 조정해 주기 위해 평면 근사 후 pitch 및 roll 각을 보정해 준다. 이렇게 획득된 높이 지도는 매우 큰 잡음을 갖고 있기 때문에 이를 보정하기 위해 이동 평균 필터를 이용한다.  $t$  시간에서 추정된 디지털 높이 지도를  $M_{G_t}^t$ ,  $t-1$  시간까지 보정된 디지털 높이 지도를  $M_{G_t}^{1:t-1}$ 라 할 때, 보정된 디지털 높이 지도는 아래 식과 같이 추정된다.

$$M_{G_t}^{1:t} = \alpha M_{G_t}^t + (1 - \alpha) M_{G_t}^{1:t-1} \quad (1)$$

여기서,  $\alpha$ 는 이전 데이터의 감소 정도를 조절하는 파라미터이다. 디지털 높이 지도를 보정한 후, 다시 한번 평면 근사를 통해 pitch 및 roll 각도를 보정해 준다.

### 3. 노면 프로파일 추정 방법

제안된 노면 프로파일을 추정하는 방법은 그림 1과 같다. 우리는 추정된 디지털 높이 지도에서 일정 거리 앞에 위치한 높잇값을 추출하고 이를 노면 프로파일 배열에 추가함으로써 노면 프로파일을 형성하였다. 그리고 차량이 이동함에 따라 배열을 이동시키고 다시 해당 거리 앞에 있는 높잇값을 배열에

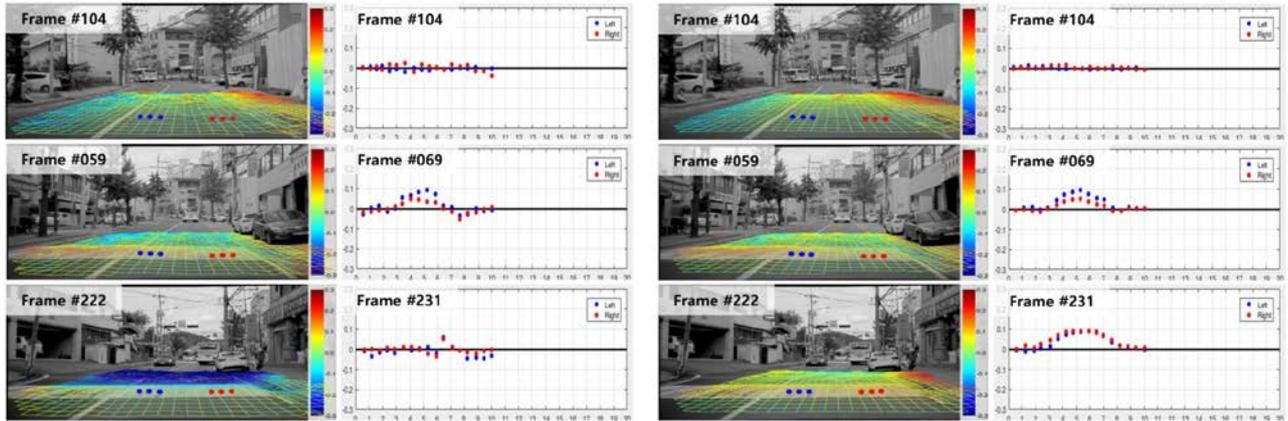


그림 2. 이동 평균 필터 적용 전(좌)와 적용 후(우)의 노면 프로파일 추정 결과

등록시킴으로써 차량의 전방부터 해당 위치까지의 노면 프로파일을 추정할 수 있도록 하였다. 또한, 높잇값이 잡음에 보다 강건하게 하기 위하여 주변 값들을 가중합함으로써 최종적인 높잇값을 산출하였다.

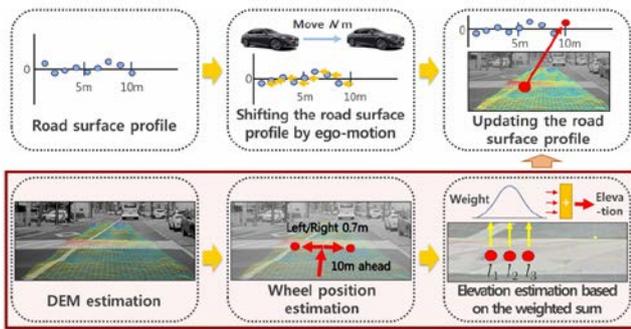


그림 1. 노면 프로파일 추정 방법

#### 4. 실험 결과

제안된 방법의 성능을 확인하기 위해, 우리는 다양한 높이를 갖는 방지턱을 제작하였고, 실제 주행 영상을 획득하여 좌측 바퀴의 경로에서는 방지턱의 높이를, 우측 바퀴의 경로에서는 도로면의 높이를 추정하도록 하였다. 표 1 은 이동 평균 필터의 적용 전과 후의 방지턱 및 도로면 높이의 추정 결과이다. 두 가지 방법 모두에서 평균 제곱근 오차(RMSE)가 1cm 이하를 나타냈으며, 이는 오차 범위 내에서 방지턱을 구별하기에 충분한 성능을 보인다. 표 1 에서 필터를 적용하지 않은 경우가 적용한 경우보다 오차가 더 작았는데 이러한 이유는 격자의 크기에

표 1. 도로면(R) 및 방지턱(L) 높이 추정 결과

Bump height		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSE
without	L	0.35	0.95	1.72	3.26	4.75	6.24	6.37	8.75	9.85	9.21	0.63
	R	-0.44	-0.50	-0.54	-0.37	-0.49	-0.39	-0.31	-0.29	-0.42	-0.40	
with	L	0.23	1.02	1.51	2.92	3.88	5.12	6.01	7.90	8.68	8.64	0.73
	R	-0.11	0.37	0.43	0.38	0.22	0.37	0.22	0.02	0.09	0.26	

비해 실험에 사용된 방지턱의 폭이 좁아서 높잇값이 스무딩(smoothing)되었기 때문이다.

그림 2 는 실제 주행 중에 촬영된 영상에서 제안된 방법을 이용해 노면의 프로파일을 추정한 결과이다. 첫 번째 줄의 결과에서 보듯, 이동 평균 필터를 적용한 후 추정된 노면 높이의 잡음이 훨씬 줄어든 것을 확인할 수 있다. 또한, 두 번째 및 세 번째 줄의 결과처럼, 이동 평균 필터를 적용한 경우에 방지턱의 모양이 정확하게 추정되었음을 확인할 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 이동 평균 필터를 기반으로 한 노면 프로파일 추정 방법을 제안하였다. 이를 통해, 노면의 높잇값에 대한 잡음을 감소시켜 보다 더 정확한 높잇값을 추정할 수 있었고, 방지턱의 모양을 보다 정확하게 추정할 수 있었다. 제안된 방법은 1cm 이내의 높잇값 추정 오차를 가지며, 해당 알고리즘을 통해 차량의 승차감을 향상시키는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

#### 감사의 글

이 성과는 2017 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2015R1A2A1A01005455).

#### 참고문헌

[1] [Online]. Available: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedesbenz/innovation/magic-body-control/>

[2] T. Shen, G. Schamp, and M. Haddad, "Stereo vision based road surface preview," in *IEEE Int. Conf. Intell. Transp. Syst.*, 2014.