

근사추론을 이용한 자동운전 시스템에서의 굴곡 차선 인식 시스템 설계

조혜경, 김영택
경성대학교 컴퓨터과학과

Curvature Degree Recognition for an Automatic Driving system by an Approximated Reasoning method

Hye-Kyung Jo, Young-Taek Kim
Dept. of Computer Science, Kyung-Sung University

요약

자동운전과 안전운전 구현을 위한 첨단 차량 및 도로 시스템(AVHS : Advanced Vehicle & Highway Systems)의 한 분야인 충돌 방지 시스템을 완성하기 위해서는 차량간의 상대 거리, 차량의 속도, 차선의 굴곡 정도, 경사도 등을 사용해서 종합적으로 상황 판단을 내려야 한다. 본 논문에서는 이를 요소들중에서 차선의 굴곡도 판단을 근사 추론을 이용하여 실험하였다. 근사추론을 이용한 것은 차선의 굴곡도를 계산형으로 과악할 때의 단점인 계산 시간 오버헤드(overhead), 또 그에 따른 실시간 처리의 어려움, 고가의 장비필요성 등을 극복하기 위해서이며, 실험은 Fuzzy Logical Inference 기법을 사용하였다. 본 연구에서는 실제 도로상에서의 계산된 굴곡도와 실험된 시스템 결과와의 유사성과 그 시스템의 사용 가능성(feasibility)을 검정하였다.

1. 서론

자동차의 보유량이 급격히 증가하면서 AVHS의 연구에서, 자동 운전 시스템의 설계뿐 아니라 좀 더 편리하고, 안전한 자동차 운전에 관한 연구들이 지속적으로 진행되고 있다. 안전성 측면에서 보면 위험한 상황에 대한 경고 장치 같은 수동적인 장치와 직접적으로 자동 제어를 하는 능동적인 장치로 나눌 수 있다. 수동적인 장치로 air bag, seat belt, knee bolster, abs, tcs 같은 것들이 있으나, 이것들로는 안전성 확보에 충분하지 않으므로 보다 적극적으로 안전을 보장할 장치가 필요하게 되었다. 그래서 Laser나 RF Radar, 초음파 센서, CCD 카메라 등을 이용한 각종 신호 처리나 영상처리를 통해 도로 상의 장애물 및 장애물과의 상대적 상황 인식과 차선, 그리고 도로 굴곡도등의 환경변화를 효과적으로 인식하여 위급한 상황에 대해 경보를 주거나, 자동적으로 차량의 방향이나 속도를 조절해줌으로써 교통 사고를 사전에 예방하는 충돌 경보 시스템이나 충돌 방지 시스템등이 연구되어지고 있는 실정이다. [1][3]

충돌방지 시스템을 구현하기 위해 고려해야 할 사

항들은 현재 센서차량의 속도와 전방 차량의 위치, 전방 차량과의 거리, 차선의 굴곡도 그리고 도로의 경사도 등이다. 본 논문에서는 이중에서 차선의 굴곡도 판단에 관해서 연구하였다.

차선이 직선일때는 전방 차량과의 거리와 속도 등으로만 충돌 위험성 판단이 가능하지만, 곡선 차선일 경우는 위험성 판단 기준이 달라지게 된다. 그리고 전방 차량과의 거리도 주의해서 측정해야 한다. 도로가 심하게 굽은 경우는 그 위험성이 커지기 때문에 법적으로도 속도를 많이 내지 못하도록 제한하고 있다. 곡선 도로의 굴곡도 과악과 같은 차선 인식부분은 충돌 방지 시스템에서 뿐만 아니라, 차선 이탈 방지 시스템이나, 자동 주행 시스템(Auto Navigation System)등 거의 모든 분야에서의 기본적인 작업이다. 곡선 도로일때는 곡선도로의 휘어진 정도, 즉 굴곡도에 따라 상황 대처가 달라지므로, 빠른 시간안에 간단한 방법으로 굴곡도를 과악하는 문제가 중요하다.

일반적으로 계산형 설계 방법에서는 각종 매체를 동원한 정확한 굴곡도를 정밀 측정에 의해 산출하여야 하고 그에 따른 센서들의 정밀도가 보장되어야 함에

따라 경제성과 계산의 복잡성 문제로 실시간 처리는 무리가 있다고 판단되어 진다.

그래서 본 논문의 접근 방식으로서는 experting system의 구조를 설계하는 기법을 사용하게 되고 특히, 인간 expert의 근사적인 경험적 처리 방식을 실험적으로 구현하는 것이 목적이다. 다시 말해서 인간 운전자가 굴곡도가 있는 도로에서 자신의 방향 설정을 파악하기 위해서 angular velocity를 측정하는 일 없이 경험적으로 차선의 길이를 근사추론적으로 판단한다는 것이 본 연구의 수행 방법과 일치하는 점이다.

2. 근사추론적 충돌방지 시스템

세계적으로 충돌 방지 시스템에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다. 충돌 방지 시스템은 차량 앞쪽에 부착된 레이더 센서나 카메라를 통해 앞차와 상대거리 를 인지해 위험상황 발생시 운전자에게 이를 알려주고 위급한 상황일 경우 제동장치를 제어해 속도를 줄이게 된다.

충돌 방지 시스템을 구현하기 위해 고려해야 할 사항들은 현재 센서차량과 전방 차량과의 상대 속도 (relative speed)와 전방 차량의 위치(critical obstacle location), 전방 차량과의 상대 거리(relative distance), 차선의 굴곡도(curvature degree), 그리고 도로의 경사도(slope degree) 등을 입력 변수로 고려해야 한다. 여기서 전방 차량과의 상대 속도는 크게 멀어짐(receding)과 근접함(closing)으로 나눈다. receding은 전방 차량의 속도가 센서 차량의 속도보다 빠른 경우, 즉 센서 차량의 속도와 전방 차량의 속도 차가 양수가 되는 경우이며, closing은 전방 차량의 속도가 센서 차량의 속도보다 느려서 속도차가 음수가 되는 경우이다.

몇 가지 예를 들면 아래와 같다.

If (relative speed is closing) and (relative distance is small) then deceleration. — (1)

If (relative speed is normal) and (relative distance is small) then deceleration. — (2)

위의 rule(1),(2)는 상대 속도가 서로 다르지만, 상대 속도에 의해서 deceleration이라는 같은 결과가 나오는 경우이다. 이같이 상대 속도가 안전한 상태라도 상대 거리에 따라 위험한 상황이 될 수도 있고, 또한 상대 거리가 안전한 상태라도 상대 속도에 따라 위험한 상황이 될 수도 있다. 여기서 상대 거리나 상대 속도가 위험도를 파악하는 요소임을 알수가 있으며 이렇게 위험 요소가 되는 변수들을 조건문에서 and나 or로 구성하여 종합적으로 판단을 내리게 된다. 이같은

상대 속도나 상대 거리는 도로를 주행하면서 계속 바뀌는 동적(dynamic) 환경에서의 변수들이다.

본 연구에서는 차선 인식 시스템에 포함되는 정적(static) 환경중의 하나인 굴곡도 판단을 역시 근사추론으로 수행하는 것이 실험되었다.

If (relative speed is receding) and (relative distance is far) and (curvature is deep) then deceleration. — (3)

If (relative speed is receding) and (relative distance is far) and (curvature is smooth) and (slope is down) then deceleration. — (4)

위의 rule(3)은 curvature를 포함시킨 확장된 rule이다. 상대 속도가 receding이고 상대 거리가 먼 경우는 safe 상태라서 brake를 밟을 필요가 없지만, curvature가 심하기 때문에 감속해야 하는 경우이다. curvature 하나만으로도 충분히 critical 상태임을 나타낸다.

여기서 더 확장해 rule (4)와 같이 경사도를 포함시켜도 마찬가지이다. 다른 변수들이 safe상태라도 경사도 하나만으로도 충분히 critical 상태가 될 수 있다. 따라서 본 연구에서 다루는 curvature나 slope등도 위험도를 판단하는 중요한 요소라는 것을 알수가 있다.

본 연구에서는 fuzzification 구간의 설정에 따라 fuzzy rule의 개수가 증가하지만 상대 속도와 상대 거리, 경사도 등은 제외시킨다. 본 연구에서는 평지 도로상에서 주간의 차선 있는 도로상이라는 환경으로 제한해서 실험하였다. curvature에 대한 연구 결과 도출이 거의 전무한 상태이므로 반드시 처리되어야 할 필연성이 있어서 본 연구의 초점으로 삼았다.

3. 굴곡도(Curvature degree) 파악

본 연구에서는 굴곡도의 정도를 판단하기 위해 미리 축출된 차선을 이용하는 것을 전제로 하고 그 두 차선의 길이 차이로서 굴곡 정도는 fuzzy하게 추론한다. 이때 전체 화상 프레임에서 종적인 구간을 아래 그림 1과 같이 설정하여 아래 두 구간이 target zone에 포함되므로 그 각 구간의 두 차선의 길이 변화를 따로 처리하여 정밀도를 가해 처리할 수 있었다. 하지만 이 방법은 rule matrix상 급격한 complexity를 증가시키고 그것이 fuzzy Inference의 무게를 증가시켜 실시간 처리에 영향을 준다고 판단되었다.

또한 연구에서 추구하는 인간적 전문가 시스템의 표현에서 운전자의 무의식적인 처리방식과 차이가 나게 된다.

다시 말해 운전자는 target zone을 두 구간으로 그림

처럼 분리하여 차선의 길이로 굴곡을 판단하지 않고 오히려 전체적으로 한 구간 내에서 단순히 길이의 변화로서 굴곡의 정도를 파악하기 때문에 본 연구에서는 그 방법을 이용한다.

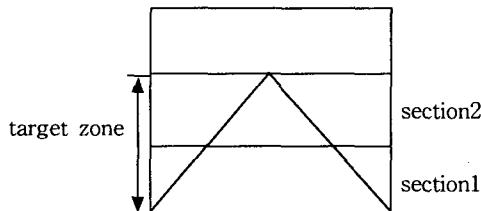


그림 1. 도로 이미지에서 target zone

다음은 두 구간으로 나눠 처리할 때와 한 구간으로 통합처리 할 때의 차이점을 명시한다.

직선 및 곡선 정도를 파악하기 위해 각 구간에서의 양 차선의 픽셀 길이 차 비율을 이용한다. 길이의 차를 이용하면 이미지의 크기에 따라 fuzzy rule이 달라지기 때문에 길이의 차 비율을 이용한다. 양쪽 차선의 길이가 동일할 경우는 직선 차선이고, 오른쪽 차선이 더 길면 왼쪽으로 굽은 곡선차선이고 왼쪽 차선이 더 길면 오른쪽으로 굽은 곡선차선이다.

첫 번째 방법인 target zone을 종으로 두 구간 나눈 경우 입력 변수로 첫 번째 구간(S1D)에서의 양 차선의 길이 비율과 두 번째 구간(S2D)에서의 양 차선의 길이 비율이 쓰인다. 여기서는 왼쪽 차선의 길이에 대한 오른쪽 차선의 길이 비율로 정하였다.

S1D S2D	LDB1	LDS1	ND1	RDS1	RDB1
LDB2	RBC	RSC	RSC	LRC	LRC
LDS2	RBC	RSC	NC	LRC	LRC
ND2	RSC	RSC	NC	LSC	LSC
RDS2	RLC	RLC	LSC	LSC	LBC
RDB2	RLC	RLC	LSC	LBC	LBC

표 1 target zone을 두 구간 분리 처리시의 rule matrix

위의 fuzzy rule에서 쓰이는 변수 S1D와 S2D는 아래 표 2의 SD와 동일하며 CD(curvature degree)는 아래 표 3의 CD와 유사하다. 이렇게 target zone을 두 구간으로 나눈 경우 rule의 개수가 25개가 된다. 이렇게 되면 좀 더 정밀한 결정을 내릴 수는 있지만, 계산량이 증가하고 fuzzy inference의 장점을 충분히 발휘할 수 없게 된다. 충돌방지 시스템을 구현하기 위해 필요한 여러 구성 요소들중에 curvature 판단에만 rule이 25개가 쓰이면, 다른 variable과 합하게 되면 엄청난 수의(explosive) rule을 가지게 된다. 이런 정

도가 심해지면 계산형 system과 같이 계산량이나 계산 시간의 증가를 초래하게 된다.

두 번째 방법으로 target zone 전체 구간을 하나의 구간으로 이용하는 경우 양쪽 차선의 길이를 구한 다음, 그 길이의 차를 이용해 두 구간으로 나눴을 때와 동일한 방법으로 굴곡 정도를 파악한다. 전체를 하나의 구간으로 이용할 경우는 두 구간으로 나눌 때와 비교해 Fuzzy Rule의 개수가 상당히 줄어들게 된다. 결과가 동일하게 나온다면, 이는 계산 시간을 줄이는데 큰 도움이 된다.

아래는 입력 파라미터로 쓰일 양 차선의 길이의 차비율인 SD를 나타낸 것이다.

LDB	왼쪽 차선의 길이가 많이 긴 경우
LDS	왼쪽 차선의 길이가 조금 긴 경우
ND	두 차선의 길이가 거의 동일한 경우
RDS	오른쪽 차선의 길이가 조금 긴 경우
RDB	오른쪽 차선의 길이가 많이 긴 경우

표 2 전체를 하나의 구간으로 처리시의 변수 SD

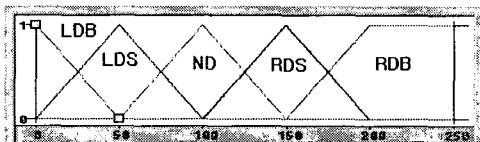


그림 2. target zone 전체를 한 구간으로 처리할 때의 Fuzzy-variable (SD)

결과로 나올 굴곡 정도 CD는 아래와 같다.

LBC	왼쪽으로 많이 굽은 차선
LSC	왼쪽으로 조금 굽은 차선
NC	직선 차선
RSC	오른쪽으로 조금 굽은 차선
RBC	오른쪽으로 많이 굽은 차선

표 3 전체를 하나의 구간으로 처리시의 변수 CD

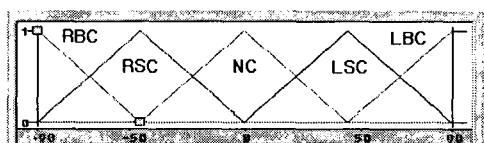


그림 3. target zone 전체를 한 구간으로 처리할 때의 Fuzzy-variable (CD)

길이의 차 비율인 SD에 의해 결정되는 CD는 아래 표 4에 나오는 fuzzy rule을 따르게 된다. 즉, fuzzy rule의 개수가 다섯 개로 줄어들었다.

SD	LDB	LDS	ND	RDS	RDB
CD	RBC	RSC	NC	LSC	LBC

표 4 target zone 전체를 한 구간으로 처리할 때의 rule matrix

4. 시뮬레이션 및 결과

이 실험은 도로에서 캠코더로 직접 촬영한 동영상 을 이용해 320 by 240 크기의 직선 및 곡선 도로 이미지를 캡쳐한 후 그 이미지를 그레이(grey) 이미지로 바꿔서 사용하였다. 이 그레이 이미지에서 소벨 마스크를 이용해 애지 검출을 하고 차선을 찾은 다음, 양 차선의 길이의 비를 이용해 전문가 시스템에 의해 정해진 fuzzy rule에 의해 굴곡 정도를 파악했다.

양쪽 차선의 길이의 비를 이용해 전문가 시스템에 의해 정해진 fuzzy rule에 의해 굴곡 정도를 파악했다.



(a) 왼쪽으로 조금 굽은 도로



(b) 왼쪽으로 많이 굽은 도로



(c) 오른쪽으로 많이 굽은 도로



(d) 오른쪽으로 조금 굽은 도로



(e) 직선 도로

그림 4. 시뮬레이션 이미지

위의 그림 4에서 보이는 대표적인 다섯가지 경우의 이미지를 이용하여 실험 결과를 나타낸 것이 아래 표 5이다. 양쪽 차선 길이의 비는 실제로 픽셀들의 길이를 구해 그 비율로 표시한 것이며, 그것을 fuzzification과정을 거쳐 fuzzy variable SD로 나타낸다. 그리고 나서 그 값들은 fuzzy rule에 의해 결과값인 굴곡도 CD로 나타내고 이것을 마지막으로 de-fuzzification과정을 거쳐 다시 정확한 수치값으로 나타낸 것이다.

	양쪽 차선 길이 비	SD	CD	굴곡도
(a)	130	RDS	LSC	27
(b)	170	RDB	LBC	63
(c)	40	LDB	RBC	-54
(d)	75	LDS	RSC	-23
(e)	120	ND	NC	18

표 5 시뮬레이션 결과

5. 결론

본 논문에서는 충돌방지 시스템을 만들기 위해서 고려해야 될 사항들 중에 도로의 굴곡도 파악에 관한 부분이다. 곡선 도로에서는 직선 도로에서와는 달리 속도 조절이나 조향 조작 등 대부분의 경우에 직선 도로에서의 작업과 차이가 나고 또한 곡선 도로라도 그 굴곡도에 따라 대처 반응이 달라지게 되므로 곡선 도로의 굴곡도를 파악하는 것이 꼭 필요한 일이다. 또한 본 논문에서는 굴곡도를 파악하기 위해서 정확한 수치적 계산법을 사용하지 않고, 근사 추론을 이용해 계산형 시스템의 단점인 계산량이나 계산 시간등의 오버헤드를 줄이는 효과를 가져다준다. 굴곡도를 판단하는 부분에서도 양쪽 차선의 길이를 비교하는 간단한 방법을 사용하여 길이가 짧은 쪽으로 굽은 곡선임을 판단할 수 있고, 길이의 비가 클수록 심하게 굽은 곡선 도로임을 알 수가 있다. 여기서 이루어진 굴곡도 판단은 충돌방지 시스템뿐만 아니라, 자동차의 편리함이나 안전함을 향상시키기 위한 각종 시스템들을 만드는 데 거의 기본적으로 적용될 수 있어, 그 효용성이 크다고 볼 수 있다.

향후 과제로는 충돌방지 시스템을 완성시키기 위해서 전방 차량과의 거리, 상대 속도, 경사도 등을 종합 판단할 수 있는 시스템을 구현하는 것이 될 것이다.

[참고문헌]

- [1] Rafael C. Gonzalez, "Digital Image Processing", 1993, p432
- [2] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets," Inform. Control, Vol.8, pp.338-353, 1965.
- [3] Ronald K and Jurgen, "Smart cars and highway go global," IEEE Spectrum, pp. 26-36, 1991.
- [4] Rafael C. Gonzalez, "Digital Image Processing", 1993, p432.
- [5] Wei-bin Zhang and Robert E.Parsons, "An intelligent roadway reference system for vehicle lateral guidance/control," PATH report, pp.96-100, 1992.