
Eccentricity를 이용한 차선 검출에 관한 연구

정태일* · 나심 아샤드* · 문광석* · 김종남**

A Study on a Lane Detection Using Eccentricity

Tae-II Jeong* · Nasim Arshad* · Kwang-Seok Moon* · Jong-Nam Kim**

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동기술개발사업(No.C0037974)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

요 약

본 논문에서는 Eccentricity를 이용한 차선 검출 알고리즘을 제안한다. 차선 검출 알고리즘은 자동차 운전자의 안전성을 증가시키는 차선 이탈 경보 시스템 등에 활용될 수 있다. 차선 검출율을 개선하기 위하여 그래프 이론에서 소개되는 Eccentricity를 정의하고, 이를 차선 검출 알고리즘에 이용하여 Eccentricity를 계산하였다. 직선도로인 경우 Eccentricity는 1이고 1차 함수로 구현이 가능하다. 그래서 시간 복잡도와 공간 복잡도를 개선하였고, 아울러 기존의 방법들보다 차선 검출율이 향상됨을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, a lane detection algorithm using Eccentricity calculation is proposed. Lane detection is used for lane departure warning which can support safe driving to prevent accidents. In order to enhance the detection rate, we define the Eccentricity calculation which is introduced in graph theory, and evaluate the Eccentricity. The Eccentricity for any straight line is equal to 1, hence computing the Eccentricity allows the implementation of a first order equation. As a result of simulation, we confirmed that the proposed algorithm was enhanced by time and space complexity, and superior to the performance of the conventional lane detections.

키워드

차선 검출, 그래프 이론, 정점, 모서리, 시간 복잡도, Eccentricity

Key word

Lane detection, Graph theory, Vertex, Edge, Time complexity, Eccentricity

* 정회원 : 부경대학교 전자공학과 (tijeong@daum.net)

** 정회원 : 부경대학교 IT융합응용공학과 (교신저자, jongnam@pknu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 07. 27

심사완료일자 : 2012. 08. 14

I. 서 론

차량용 블랙박스는 운전자의 도로 운행 상태를 저장한다. 특히 사고 순간의 영상을 기록함으로써 사고원인을 규명하는 중요한 증거로 활용되고 있다. 또한 운전자의 안전운전을 유도하여 사고를 미리 예방하기 위한 기능이 필요하다. 이러한 운전자 보조 시스템(DAS: Driver Assistance System)의 대표적인 응용으로 차선 이탈 경고 시스템이 있는데, 이 시스템에서는 차선을 검출하는 알고리즘이 필수적이다[1]. 지금까지 도로에서 차선을 검출하기 위하여 많은 알고리즘들이 제안되었다[2,3].

영상기반의 차선 검출 알고리즘은 모델 기반(model-base)과 특성 기반(feature-base)으로 나눌 수 있다. 모델 기반은 도로에서 차선들이 직선 또는 곡선 형태를 가진다고 가정하고 추출된 특징 값을 하프 변환(Hough Transform), 차선 피팅(Lane Fitting)을 이용하여 차선을 검출한다[4]. 특성 기반은 차선이 표시된 도로, 윤곽선 등과 같은 도로 영상에서 차선을 검출하는 것이다. 이러한 기술은 차선 표시와 윤곽선이 뚜렷한 도로를 요구하므로 일반적인 도로에는 적용하기 어렵다[5,6]. Y. Wang 등은 여러 가지 파라메타를 이용하여 직선도로 뿐만 아니라 곡선도로까지 검출이 가능한 알고리즘을 제안하였다[6]. 그리고 N. Arshad 등은 색상 정보와 그래프 이론(graph theorem)[7]에서 소개되는 Eccentricity를 이용하여 차선을 검출하는 알고리즘을 제안하였다[8].

본 논문에서는 정점과 모서리의 관계를 이용하여 Eccentricity를 정의하고, 이를 실제적인 차선 검출 알고리즘에 이용하여 Eccentricity를 계산하였다. 직선도로인 경우 Eccentricity는 1이고 1차 함수로 구현이 가능하다. 그래서 시간 복잡도와 공간 복잡도를 개선하였고, 아울러 차선 검출율도 향상시킬 수 있는 알고리즘을 제안한다.

II. 관련이론

2.1. 하프 변환(Hough Transform)을 이용한 선 검출[9]

선 검출에서 이상적으로는 에지에 놓여 있는 화소들만 검출해야 하지만, 실제적으로는 결과 화소들은 거의

에지의 특징을 완전하게 나타내지 못한다. 이것은 노이즈, 균일하지 않은 조명에 의한 에지의 끊김, 밝기 불연속을 일으키는 다른 효과들 때문이다. 그래서 에지 검출 알고리즘을 적용한 후, 대개 화소들을 모으는 연결과정을 거쳐 의미 있는 에지들을 만드는 작업이 뒤따른다. 영상에서 선분들을 찾아 연결하기 위한 접근 방법의 하나가 하프 변환(Hough Transform)이다.

하프 변환은 그림과 식 (1)(2)에서 처럼 직선 $y = ax + b$ 상의 점들을 기울기 a 와 절편 b 로 이루어지는 매개변수 공간상의 한 점으로 변환하는 것이다. 즉, 영상공간에서 동일 성분상에 있는 특이점들은 매개변수 공간상에서 하나의 교차점을 형성하므로, 이 교차점을 탐색하여 영상공간에서의 선분 요소들을 탐색한다.

$$y_i = ax_i + b \quad (1)$$

$$b = -ax_i + y_i \quad (2)$$

2.2. 빅오 표기법(Big-O Notation)

알고리즘의 효율성을 평가하는 방법에는 시간 복잡도(time complexity)와 공간 복잡도(space complexity)가 있다. 시간 복잡도는 주어진 알고리즘을 수행하는 데 얼마나 많은 시간이 소요되는가 또는 얼마나 많은 계산을 하였는가를 나타내는 것이고, 공간 복잡도는 주어진 알고리즘이 얼마나 많은 공간을 필요로 하는지를 나타낸다. 효율적인 알고리즘은 시간 복잡도와 공간 복잡도가 낮아야 한다.

빅오 표기법의 수학적 정의는 다음과 같다.

두 개의 함수 $f(n)$ 과 $g(n)$ 이 주어졌을 때 모든 $n \geq n_1$ 에 대하여 $|f(n)| \leq C|g(n)|$ 을 만족하는 상수 C 와 n_1 이 존재하면 $f(n) = O(g(n))$ 이다.

이해를 돕기 위해 수행시간에 영향을 미치는 입력 값을 x 로 잡고, 시간 복잡도 함수를 다음과 같이 가정해 보자.

$$T(x) = x^2 + x + 1 \quad (3)$$

여기서 x 의 값이 클수록 차수가 가장 큰 x^2 항이 전체 값에 가장 큰 영향을 미치게 된다. 이와 같이 가장 큰 영

항을 미치는 항(일반적으로 최고차항)만 고려하여 표시하는 방법을 빅오 표기법(Big-O Notation)이라 한다. 여기서 영문 대문자 O는 Order에서 유래하였다. 위의 예의 경우를 빅오 표기법으로 표현하면 $O(n^2)$ 이다. 빅오 표기법에 의한 알고리즘 수행시간을 비교하면 다음 표와 같으며, No(순위)값이 클수록 수행시간이 느리다는 것을 의미한다.

표 1. 빅오 표기법
Table. 1 Big-O Notation

No	Notation	Name
1	$O(1)$	constant
2	$O(\log \log n)$	double logarithmic
3	$O(\log n)$	logarithmic
4	$O(n^c), 0 < c < 1$	fractional power
5	$O(n)$	linear
6	$O(n \log n)$	linearithmic, loglinear
7	$O(n^2)$	quadratic
8	$O(n^c), c > 1$	polynomial, algebraic
9	$O(c^n), c > 1$	exponential
10	$O(n!)$	factorial

만약 정점 v_1 에서 v_7 까지의 최대 경로를 구한다고 가정하면, 경로(path)는 $e_1 \rightarrow e_2 \rightarrow e_4 \rightarrow e_5 \rightarrow e_7$ 로서 모서리의 수는 5개이다. 또 정점 v_4 에 대하여 정점 v_7 까지의 최대 경로를 구한다고 가정하면 $e_5 \rightarrow e_7$ 로서 모서리의 수는 2이고, 정점 v_1 까지의 최대경로의 수는 $e_4 \rightarrow e_2 \rightarrow e_1$ 로서 3이므로, 결론적으로 정점 v_4 에 대한 최대 모서리 수는 3이다. 이와 같이 본 논문에서는 모든 경로 중에서 가장 많은 모서리의 수를 Eccentricity라 정의한다.

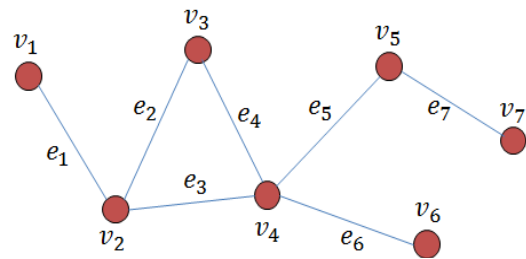


그림 1. 그래프 이론에서 정점과 모서리
Fig. 1 Vertices and Edges in the graph theory

그림 1의 모든 정점에서 Eccentricity를 계산하면 다음과 같다.

$$E(v_1) = 5, E(v_2) = 4, E(v_3) = 4, E(v_4) = 3, \\ E(v_5) = 4, E(v_6) = 4, E(v_7) = 5$$

III. Eccentricity를 이용한 차선검출

3.1. Eccentricity의 정의

그래프 이론은 유한개의 정점과 모서리의 결합양식에 관한 이론이다. 최근에는 전기회로 기판의 배선이나 집적회로 등 전기회로망과 통신망의 문제, 부호이론 등에 널리 사용되고 있다. 그림 1에서 정점(vertex) 집합은

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\} \quad (4)$$

로서 7개를 나타내고, 모서리(edge) 집합은

$$E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7\} \quad (5)$$

로서 7개를 나타낸다.

그림 2는 앞서 정의한 Eccentricity를 실제 영상에 적용하여 차선을 검출한 것을 나타낸다. 그림 2의 (a)는 원 영상이고, 영상(b)에는 차선을 검출한 후 정점과 모서리를 나타내었다. 그림 2(b)에서 Eccentricity를 계산하면 $E(v) = 1$ 이 된다. 여기서 중요한 점은 $E(v) = 1$ 이라는 것은 정점은 2개, 모서리는 1개로서 1차 함수로 구현될 수 있다는 것이다. 이렇게 1차 함수로의 구현 가능함은 2차, 3차 함수와 비교했을 때 상대적으로 시간 복잡도와 공간 복잡도가 줄어들음을 의미한다.

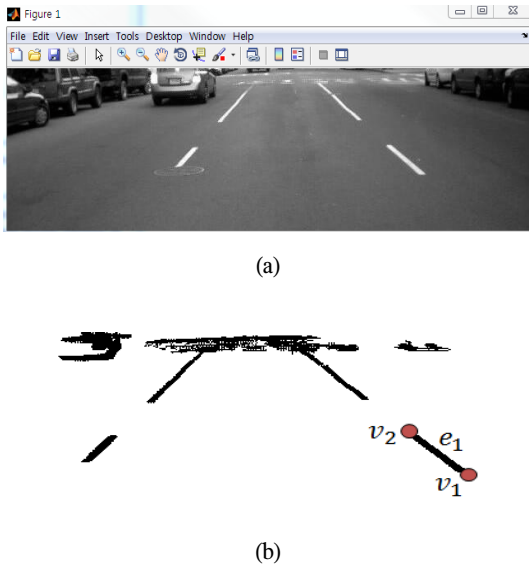


그림 2. Eccentricity의 구현
 (a) 원 영상 (b) Eccentricity 계산
 Fig. 2 Implementation of Eccentricity
 (a) Original image (b) Calculation of eccentricity.

3.2. 제안한 알고리즘

제안한 알고리즘의 진행과정을 그림 3에 나타내었다. 먼저 영상이 입력되면 그 영상에 대하여 관심영역 (ROI: Region of Interest)을 설정한다(그림 4(b)). 일반적인 관심영역은 전체 화면 중에서 가운데 반을 중심으로 아랫부분이 되는 영역이다. 두 번째로 칼라 영상을 흑백영상으로 바꾸고 Cleaning과 Thinning 모폴로지 연산을 수행한다(그림 4(c)). 세 번째로 모폴로지 연산을 마친 흑백영상에 대하여 서로 연결되지 않는 부분적인 화소들은 잡음으로 간주하고 제거한다(그림 4(d)). 이때 사용된 문턱치는 0~255 사이의 값 중에서 180을 사용하였다. 이 과정에서 정상적인 차선들은 서로 연결되어 하나의 영역으로 구분되어진다. 네 번째로 서로 연결된 영역에 대하여 라벨링을 수행한다(그림 4(e)). 그림 (e)에서 라벨링의 구분은 색깔로서 구분하였다. 다섯 번째로 라벨링된 영역(개체)에 대하여 Eccentricity를 계산한 후, Eccentricity값이 0.9보다 크면 $E(v) = 1$ 로 간주하여 차선으로 인식함으로써 차선을 검출할 수 있다.

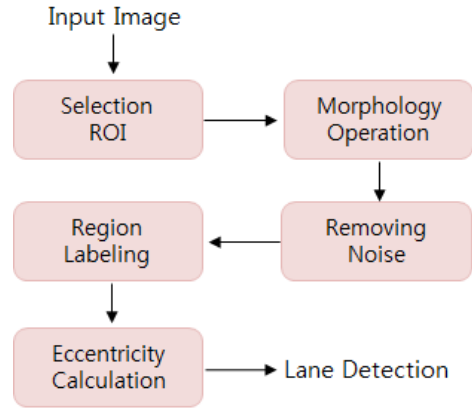
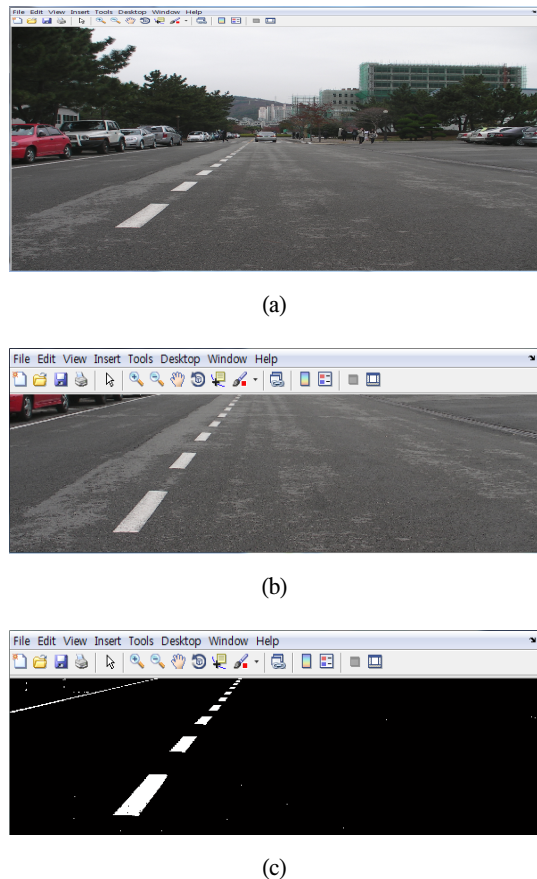
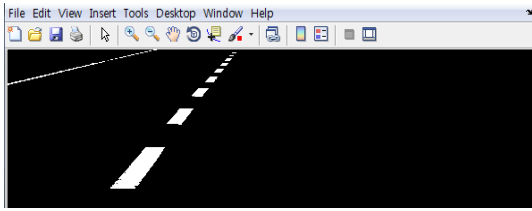
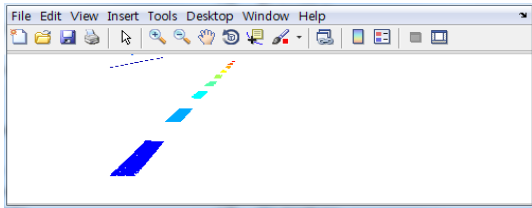


그림 3. 차선 검출 과정
 Fig. 3 Processing of Lane Detection

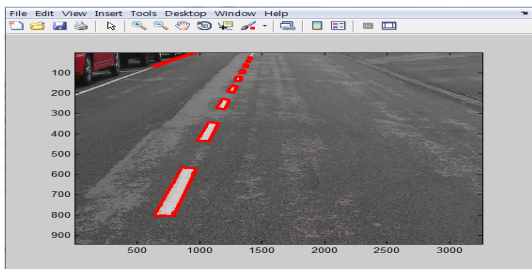




(d)



(e)



(f)

그림 4. 차선 검출 과정에 대한 영상들
(a) 입력 영상 (b) 관심영역 선택 (c) 모폴로지 연산
(d) 잡음제거 (e) 영역 라벨링 (f) Eccentricity
계산/차선 검출

Fig. 4 Images for processing of lane detection
(a) Input Image (b) Selection ROI (c) Morphology
Operation (d) Removing Noise (e) Region Labeling
(f) Eccentricity Calculation/Lane Detection

IV. 모의실험 및 결과

본 논문에서 사용한 실험환경은 Pentium(R) Dual-Core CPU 2.5GHz, 2GB RAM, Matlab을 사용하였고, 입력영상은 3264×2448 크기의 칼라영상이다. 제안한 알고리즘의 성능평가는 표 2로 요약될 수 있다.

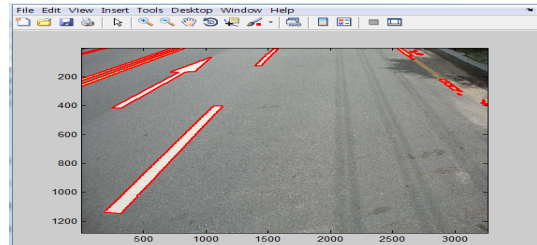
입력 영상의 수는 10장이며, 주로 도시형 차선을 기반으로 하였다. 제안한 방법의 시간 복잡도와 공간 복잡도

는 $O(0.35n)$ 으로서 0.35초이고, $O(n^2)$ 이다. 반면, B-Snake[5,6]의 시간 복잡도와 공간 복잡도는 각각 $O(n^2)$ 과 $O(n^3)$ 임을 알 수 있다. 이처럼 B-Snake의 시간 및 공간 복잡도가 높은 이유는 직선뿐만 아니라 굽은 곡선까지 검출하기 때문이다.

제안한 방법에서 차선 검출이 안 되는 예를 그림 5에 나타내었다. 그림 5 (a)는 입력영상이고, (b)는 차선이 검출된 영상이다. 중앙선(노란선)과 가변 차선은 완벽하게 검출되지만, 차선에 그림자가 드리운 영상((a)영상에서 빨강선 원 안)에서는 차선 검출이 안 되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 일반적인 영상에서는 그 영향을 무시할 수 있을 것으로 사료된다.



(a)



(b)

그림 5. 차선 검출 에러의 예
(a) 입력영상 (b) 결과 영상

Fig. 5 Result image of the lane detection missing
(a) Input image (b) Result image

V. 결 론

본 논문에서는 Eccentricity를 이용한 차선 검출 알고리즘을 제안하였다. 정점과 모서리 사이의 관계에서 Eccentricity를 정의하고, Eccentricity를 계산함으로써 차선을 검출할 수 있었다. 모의실험 결과 시간 복잡도와

표 2. 성능 비교
Table. 2 Comparison of the performance

Number of Input Image	Detection Method	Time complexity [sec]	Space Complexity	Line Type	Line Color	Detection Rate
10	Proposed	$O(0.35n)$	$O(n^2)$	Straight	White/Yellow	94%
10	Edge Based[3]	$O(0.71n)$	$O(n^2)$	Straight	White	86.5%
10	Deformable[2]	$O(0.68n)$	$O(n^3)$	Straight	White	87.2%
10	B-Snake[5,6]	$O(n^2)$	$O(n^3)$	Straight/curved	White/Yellow	92.5%

공간 복잡도를 개선하였고, 기존의 방법들보다 차선 검출율이 향상됨을 확인하였다. 향후 연구과제로는 곡선 도로와 기후에 따른 도로상태의 악화, 차선 색이 희미한 상태에서도 차선 검출이 가능한 알고리즘을 개발하는 것이 필요하다고 사료된다.

[8] N. Arshad, K. S. Moon, S. S. Park and J. N. Kim, "Lane Detection with Moving Vehicles Using Color Information," *WCECS 2011*, pp. 499~502, 2011.
[9] 유현중, 김태우, *MATLAB을 이용한 디지털 영상처리*, Prentice-Hall, 2004.

참고문헌

[1] 김병수, 김희율, "도로 환경 변화에 강인한 차선 검출 방법," *전자공학회논문지*, 제49권, SC편, 제1호, pp. 88~93, 2012년.
[2] K. Kluge, S. Lakshmanan, "A Deform able-Template Approach to Lane Detection," *IEEE Proceedings, Intell. Vehicle Symposium*, pp. 54-59, 1995.
[3] S.Y. Chen, J.W Hsieh, "Edge-based Lane Change Detection and its Application to Suspicious Driving Behavior Analysis", *3rd International conference ITHMSP 2007*, Vol.2, pp.415-418, 2007.
[4] 이수영, 류지형, 이창구, "차량용 블랙박스를 위한 임베디드 차선감지 영상처리 알고리즘 개발," *한국산학기술학회논문지*, vol. 11, No. 8, pp.2942~2950, 2010.
[5] Y. Wang, E. K. Teoh, D. Shen, "Lane detection and tracking using B-Snake", *Elsevier, Image and Vision Computing 22*, pp. 269~280, 2004.
[6] 김덕래, 문호선, 김용득, "B-snake를 이용한 차선 검출 및 추적 알고리즘에 관한 연구," *전자공학회논문지*, 제42권, SP편, 제4호, pp. 21~30, 2005.
[7] N. Deo, *Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science*, PRENTICE-HALL, 1974.

저자소개



정태일(Tae-Il Jeong)

1995년 부경대학교
전자공학과(공학사)
1997년 부경대학교
전자공학과(공학석사)

2001년 부경대학교 전자공학과(공학박사)
2000. 3 ~ 2009. 2 동명대학교 정보통신대학
정보통신공학과 전임
※관심분야: 신호처리, 멀티미디어 통신, 웨이브릿 변환



나심 아샤드(Nasim Arshad)

2005년 Computer Science
Department, Mysore
University, Mysore,
India(공학사)

2007년 Computer Science Department, Mysore
University, Mysore, India(공학석사)
※관심분야: 영상신호처리, 멀티미디어 통신,
패턴인식 등



김종남(Jong-Nam Kim)

1995년 국립금오공과대학
전자공학과 졸업(공학사)
1997년 광주과학기술원 정보통신
공학석사(공학석사)

2001년 광주과학기술원 기전공학과 박사(공학박사)
2001년 8월~2004년 2월 KBS 기술연구소 선임연구원
2004년 4월~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신
공학부 교수
2003년 3월~현재 (주)홈캐스트 사외이사
※관심분야: 영상신호처리, 멀티미디어 보안 등



문광석(Kwang-Seok Moon)

1979년 2월 경북대학교
전자공학과 졸업(공학사)
1981년 경북대학교 전자공학과
석사(공학석사)

1989년 경북대학교 전자공학과 박사(공학박사)
1988년 1월~12월 일본 동경대학교 학부 연구원
1997년 8월~1998년 7월 미국 Jackson State University
객원교수
1990년 3월~현재 부경대학교 전자공학과 교수
※관심분야: 영상신호처리, 적응신호처리등