

# 고해상 영상의 회전된 각도를 검출하기 위한 Extreme Contour Point 알고리즘의 FPGA 설계 FPGA Implementation of Extreme Contour Point Algorithm to detect rotated angle of High Definition Image

정민우\*, 박찬수\*, 김희석\*

Min-woo Jeong\*, Chan-su Pack\*, Hi-Seok Kim\*

## Abstract

In this Paper, we propose an optimized method of hardware design based on Field Programmable Gate Array (FPGA) to detect rotated angle of high definition image about Extreme Contour Point (ECP) algorithm with moving video image could be not happened to translation motion, but also physical rotation motion. It was evaluated by XC7Z020 xc7z020-3clg400 FPGA board by using xilinx 14.2 tool. The much well-known method, the Coordinate Rotation Digital Integrated Computation (CORDIC) is an algorithm to estimate rotated angle between point and point. Through the result both ECP and CORDIC, our proposed design are confirmed to have similar operating speed of about 4ns with CORDIC. However, it is verified to have high performance result in terms of the hardware cost, is much better than CORDIC with cost reduction of registers and Look Up Tables (LUTs) of 108% and 91%, respectively.

## 요 약

본 논문에서는 움직이는 영상에 대해 물리적인 회전이 발생하였을 때, 빠른 보정을 처리하기 위해 회전된 영상의 회전 각도를 고속으로 처리하기 위한 ECP (Extreme Contour Point) 알고리즘의 FPGA (Field Programmable Gate Array) 하드웨어 설계를 최적화하였고, XC7Z020 xc7z020-3clg400 FPGA 보드와 xilinx 14.2 툴을 사용하여 검증하였다. 잘 알려진 각도 산출 알고리즘인 CORDIC (Coordinate Rotation Digital Integrated Computation)과 비교하여 4ns의 유사한 동작 속도 안에서 CORDIC 대비 Registers는 108%, Look Up Tables (LUTs)는 91% 감소하는 등 하드웨어 비용이 우수함을 확인하였다.

*Key words : Sobel edge, Extreme Contour Point, Rotation invarinqt feature, FPGA, Angle detection*

\* Dept. of Electronics Engineering, Cheongju University

★Corresponding author

e-mil : khs8391@cju.ac.kr, tel: 043-229-8452

※ Acknowledgment

This research was partially supported by the Cheongju University Research Scholarship Grants in 2016, This work was supported by the Industrial Core Technology Development Program(10049192, Development of a smart automotive ADAS SW-Soc for a self-driving car) funded By the Ministry of Trade, industry & Energy

Manuscript received Oct. 25, 2016; revised Dec. 27, 2016 ; accepted Dec. 28, 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서론

최근 디지털 영상 분야는 실시간 처리와 함께 다양한 응용 분야에 적용 되고 있다. 최첨단 운전자 보조 시스템 (Advanced Driver Assistance System, ADAS)은 대표적인 응용 분야로써, 운전자가 예상하지 못한 상황에 대하여 차량에 부착된 카메라를 비롯한 다양한 센서를 이용하여, 주행 시 주변 환경을 인식하고, 사물 인식 알고리즘의 정밀 분석 결과를 기반으로 주행 중 운전자에게 경고하거나, 자동적으로 또는 반자동적으로 통제함으로써 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지할 수 있도록 하는 것이다. 그 예로 차선 인식 [1]이나 인접한 차량의 속도 측정 [2], 보행자로 등의 외부 요소에 대한 통계적인 해석 [3][4] 등은 ADAS 기술의 주요한 예이다. 동시적으로 다양한 알고리즘을 통한 분석은 물론 한정된 전원으로 동작은 필수적이기 때문에 최적화된 하드웨어로의 구현은 반드시 필요하다.

카메라 모듈을 이용한 이미지 분석에 대한 기본적인 방식은, 물체의 특징 점을 잡아내고, 이에 대한 위치 판별은 물론 그 움직임으로 인하여 발생할 수 있는 예측된 결과를 분석하고, 그 결과를 운전자에게 판별 및 전달해 주어야 한다. 실제 차량 주행 중, 불안정한 노면 사정으로 인하여, 차량이 기울어지는 등의 순간적인 물리적 회전이 발생된다. 이러한 과정에서, 물체의 특징을 추적하기 위해서는 이미지의 병진 분석 이외에 회전 성분의 분석 또한 필수적이다. 만약 회전된 이미지의 각도를 빠르게 찾을 수 있다면, 회전된 이미지를 회전되기 전 이미지로 보정함으로써, 오직 병진 성분에 의한 분석만으로 물체의 인식을 제한한다면, 분석 속도를 더욱 효율적으로 개선할 수 있다는 것이다.

본 논문에서는 고화질 (High Definition, HD) 영상의 물리적 회전이 발생 되었을 때, 빠른 시간 안에 회전된 각도를 찾는 Extreme Contour Point (ECP) 알고리즘 [5]에 대하여 Field Programmable Gate Array (FPGA)의 최적화 된 하드웨어 설계를 구현하였다.

II. 장에서는 ECP 알고리즘을 구현하기 위한 이론적인 설명과 이미지 처리 방법을 기술하고, III. 장에서는 이 알고리즘에 의한 하드웨어 설계 방

법에 대하여 정리하였다. IV. 장에서는 제안된 알고리즘의 하드웨어 분석 결과와 Coordinate Rotation Digital Integrated Computation) 알고리즘에 의한 결과를 비교 하였다. 마지막으로 V. 장에서 결론을 맺는다.

## II. Extreme Contour Point 알고리즘

### 1. Sobel edge

ECP 알고리즘은 그레이 영상으로 부터 Sobel edge 기반으로 영상의 특징을 최적화하기 위한 영상 전처리로 시작된다. Sobel edge는 픽셀 간의 밝기 변화율을 이용하여 특성 사물의 특징을 추출하는데 효과적인 알고리즘으로, 많은 응용 분야에서 기본적으로 사용되고 있다. 전체 영상의 각 픽셀 값에 대한 기울기 벡터를 구함으로써, 벡터의 크기와 함께 에지 영상을 나타낸다. 이 결과는 그림 1에서 확인 할 수 있다. [6]

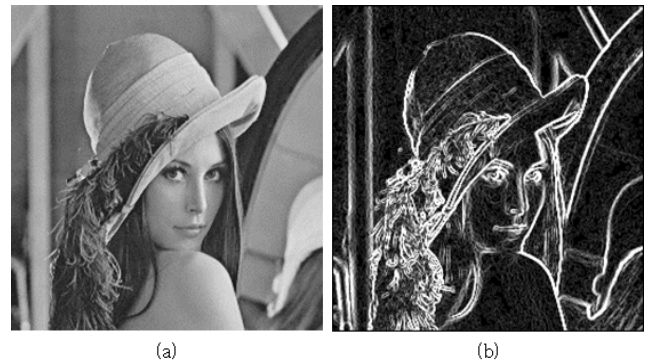


Fig. 1. (a) gray scale image (b) Sobel image  
그림 1. (a) 그레이 스케일 이미지 (b) Sobel 이미지

### 2. 회전 불변 특징을 만들기 위한 처리 영역 추출

회전된 영상의 특징 점을 고안할 때 가장 중요한 점을 원본 영상 대비 회전된 영상의 특징이 그대로 유지되는 회전 불변 특징을 가져야만 한다. 이 때문에 그림. 1에서의 Sobel edge 영상에 대하여 회전축을 중심으로 원형 경계에 대한 픽셀의 추출이 필수적이다. 예를 들어 그림. 2(b)에서와 같이 사각형의 경계 안에 있는 픽셀들 중 모서리 부분에 위치한 픽셀들은 회전 변환 시 보존되지 않는다. 이 때문에, 그림. 2(a)에서와 같이

사각형의 경계가 아닌 원형 경계 안에서 정보를 추출하는 것은 필수적이다.

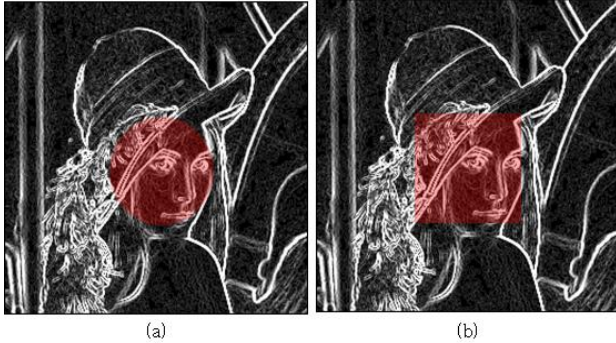


Fig. 2. (a) Circular boundary (b) Square boundary  
그림 2. (a) 원형 경계 (b) 사각형 경계

### 3. 이진화 처리

그림 2(a)와 같이 원형 경계에서 추출된 예지 영상은 많은 정보를 갖으며, 0 ~ 255의 그레이 크기를 포함하기 때문에 연산의 어려움이 있다. 또한 불필요한 연산을 최소한으로 하기 위하여, 그림 3(a)와 같이 원형 경계 내의 영역에 그레이 스케일의 중간 값인 128을 기준으로 0과 1로 이진화 처리되었다.

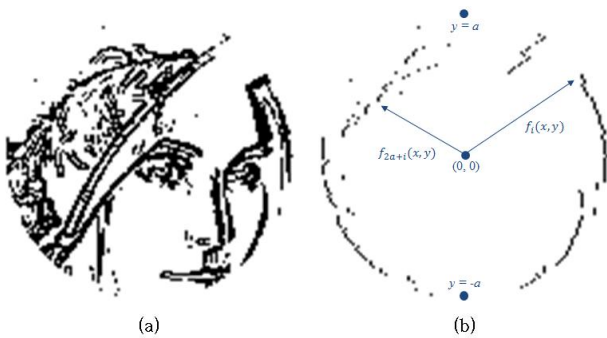


Fig. 3 (a) Binary image (b) ECP image  
그림 3. 이진화 처리 영상 (b) ECP 처리 영상

### 4. ECP filtering

그림 3(a)의 이진화 영상에도 불구하고 여전히 불필요한 정보들이 있으며, 추가적인 필터링 과정이 필요하며, 이 방법이 ECP이다. 추출 방법은 그림 3(b)에서와 같이 그림 3(a)의 이진화 영상으로부터 회전축을 중심으로 각 y축에 대하여 x축 선상에 놓인 픽셀들의 최대값과 최소값의 최외곽 픽셀에 대하여 회전축을 중심으로 거리의 제곱  $r^2$

의 정보로 추출 하는 방법이다. 그림 3(a)에서의 픽셀들은 y축의 최대값에 놓인 픽셀을 기준으로 y축이 최소값으로 진행되는 방향에 대한 각 x축의 최대값에 해당 되는 픽셀의 정보를 시계방향으로 순차적으로 표현되며 이에 대한 표현은 수식 (1)과 같으며, ECP 집합은 이미지 회전에 불변 특성을 갖는 것을 가정한다.

$$f_{ECP} = \{f_0, f_1, \dots, f_{2a}, \dots, f_{4a-1}\} \quad (1)$$

수식 (1)의 ECP 집합이 회전 변환 행렬에 의해 회전되어질 때, 이것에 의한 회전된 이미지의 집합과 비교하는 것은 비효율 적이다. 이 때문에, 수식 (2)와 같이 Permutation 행렬  $\hat{P}$  를 고려한다. 이것을 수식 (1)과의 연산으로 ECP 집합 내에서의 각 성분이 Permutation order 횟수만큼 오른쪽으로 순환되어 성분의 위치가 변화하게 된다.

$$\hat{P} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

즉 다시 말해서, 수식 (3)의  $\alpha$ 가 양수 일때  $\alpha=1$ 의 조건에서  $\{f_0, f_1, f_2, \dots, f_{2a}, \dots, f_{4a-1}\}$ 는  $\{f_{4a-1}, f_0, f_1, f_2, \dots, f_{2a}, \dots, f_{4a-2}\}$ 로써 변화 되어진다.

$$\hat{P}^\alpha f_{ECP} = f_{ECP}' \quad (3)$$

이 방법은 각각 픽셀에 대하여 각도를 산출하고, 그 산출된 각도를 추적하는 비효율적인 방법에 대하여, 전체 이미지의 회전 불변의 특징을 가진 성분들에 대하여 회전된 이미지의 각도를 산출하는 것이며, 삼각함수를 비롯한 복잡한 계산 없이 원본 이미지와 회전된 이미지의 ECP 집합간의 차이를 단순 비교함으로써 HD 영상을 처리하기에 매우 효과적이다. [5] 즉, 임의의  $\alpha$ 에서 두 영상간의 매칭되는 조건은 회전된 각도를 의미하며,  $\alpha=1$ 이 1도에 해당하는 각도를 정의하기 위하여 그림 3의  $r=a$ 에 대하여  $r=57$ 로 정의 하였다.

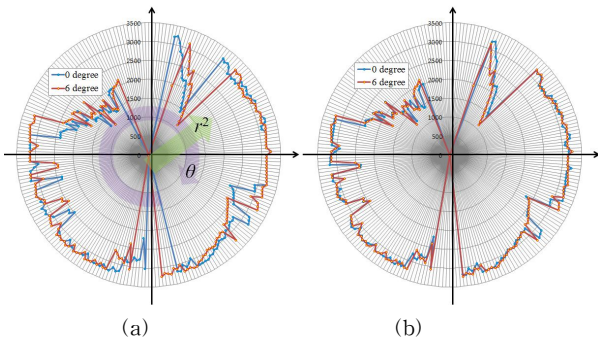


Fig. 4. (a) ECP histogram between original image and rotated image of 6 degree (b) ECP histogram between changed image with  $\alpha=6$  from original image and rotated image of 6 degree.

그림 4. (a) 원본과 6도 회전된 ECP histogram 이미지 (b) 원본이미지에  $\alpha=6$ 를 적용한 이미지와 6도 회전된 이미지의 ECP histogram.

그림 4는 원본 영상과 6도 회전된 영상에 대하여 수식 (3)의 결과를 통하여 도출된 ECP histogram이다. 그림 4(a)의 원본 영상에 대하여  $\alpha=6$ 를 적용하였을 때, 그림 4(b)에서와 같이 6도 회전된 이미지와 잘 매칭 하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 부분적으로 원본 영상과 회전된 영상의 차이가 발생하게 되는 것은 전처리를 위한 Sobel edge 때문이다. Sobel edge는  $x$ 와  $y$ 축에 대한 mask를 각각 적용하게 되어, 영상이 회전되어 질 경우 원본 영상 대비 부분적으로 왜곡되는 현상이 발생되어진다.[6]

이 때문에 ECP는 완벽한 회전 불변 특성을 갖는 것이 아닌 준 회전 불변 특성을 갖게 된다. [5]

### III. FPGA Implementation

#### 1. Circular boundary extraction

Image data 정보가 입력으로 들어올 시 수식 (1)의 ECP set의 구성을 위하여 그림 5의 block diagram과 같이 Horizontal sync과 Vertical sync 신호의 중앙을 기준으로 120x120 pixels 크기의 영상을 Line buffer에 저장하도록 설계하였다. 영상의 정보 제어는 설계된 ECP controller의 Enable 신호를 통해 제어되며, 입력되어야 할 범위에서는 Enable 신호가 '1'의 값을 출력하여 영상 정보를 받고 입력되어야 하지 않을 범위에서는 Enable 신호가 '0'의 값을 출력하여 영상 정보를 받지 않게 된다.

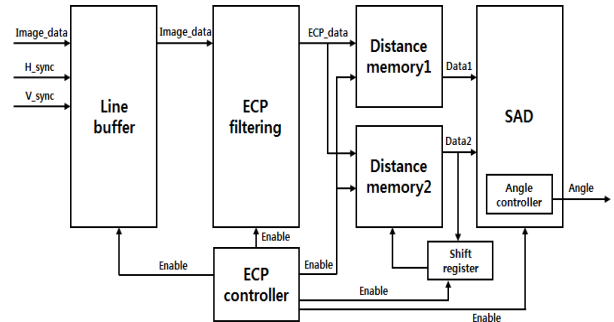


Fig. 5. ECP algorithm hardware block diagram

그림 5. ECP algorithm의 하드웨어 블록도

#### 2. ECP filtering

그림 5의 각 sync 신호에 대하여 Line buffer로부터 Line별로 데이터를 받게 되고 ECP filtering의 동작은 ECP controller의 Enable 신호가 '1'이 될시 동작이 시작되게 된다. ECP filtering은  $x$  좌표의 중앙을 기준으로 가장 좌/우측의 '0' 값인 검정 픽셀만 남겨야 하므로, Line의 픽셀 값을 카운트 하면서 처음으로 감지된 검정색 픽셀 및 마지막 검정색 픽셀을 제외한 나머지를 '255'값인 흰색 픽셀로 채우게 된다. 카운트를 하는 동시에 검정색 픽셀로 정해진 값의  $x$ 와  $y$  좌표를 실시간으로 카운팅하여 거리의 제곱 값을 구한 뒤 Distance memory에 저장을 한다.

#### 3. Original & Rotated image distance memory

ECP filtering block에서 연산된 거리 값들을 Line별로 계산이 완료됨과 동시에 실시간으로 Distance memory로 전달되어지며, 데이터를 받는 Enable 신호는 ECP controller에 의하여 결정되어진다. 그림 5와 같이 Distance memory1에 첫 프레임의 거리 값이 모두 저장한 후 ECP controller는 Distance memory1의 Enable 신호를 '0'으로 출력하고 Distance memory2의 Enable 신호를 '1'로 출력하여 다음 프레임의 거리 값은 Distance memory2에 저장되게 된다.

#### 4. Sum of Absolute Difference calculation

Distance memory1과 Distance memory2에 모든 값이 저장된 후 두 메모리에 있는 데이터는 Sum of Absolute Difference Calculation (SAD) 연산을 진행하게 되며, 그림 5의 첫 SAD 연산을 진행 후 결과 값을

Angle controller block에서 저장하게 되며 SAD 연산이 한 번 진행 될 때마다 Distance memory2의 값은 우측으로 한 번 shift 되며 각도 값이 0부터 1도씩 증가하게 되도록 고안되었다. 지속적으로 SAD 연산과 각도 값은 증가하게 되며, 최종 연산이 끝난 후 가장 최소값으로 검출 된 값이 각도로 결정된다.

**5. ECP algorithm 상태도**

그림 6은 설계 된 ECP algorithm 순차회로도의 상태를 나타낸다. A 상태에서 대기 를 하며, 입력 신호가 들어오게 되면B 상태로 넘어가게 된다.

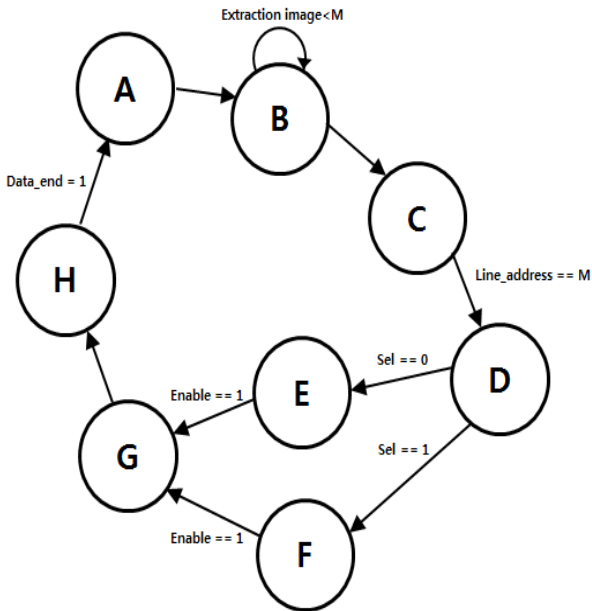


Fig. 6. Finite State Machine of ECP algorithm  
그림 6. ECP algorithm의 상태도

B 상태에서 각 Line의 영상 정보를 저장하는 것으로 시작하여 C 상태에서 ECP filtering을 시작하게 된다. ECP filtering이 Line마다 연산이 될 시 동시에 실시간으로 D 상태에서 E 상태의 Distance memory1에 저장을 하게 된다. 첫 프레임의 ECP filtering 값이 E 상태에 저장이 완료됨과 동시에 F 상태에서 Distance memory2에 저장을 시작하게 된다. 모든 첫 프레임과 다음프레임의 Distance 값이 모두 저장 된 후 G 상태로 넘어가게 되고, SAD 연산을 진행하고 H 상태에서 실시간으로 SAD 연산을 참조하여 최소값을 검출하여 최종 각도 값을 출력하게 된다. 각 상태에 대한 동작은 표 1에 나타내었다.

Table 1. Lists of States

표 1. 상태에 따른 리스트

No.	States	Remark
1	A	Idle
2	B	Write image data on Line buffer
3	C	If(Line_address == x_min) x = 0;
		If(Line_address == x_max) x = 0;
4	D	ECP distance memory
5	E	Distance memory1
6	F	Distance memory2
7	G	SAD calculation
8	H	Angle Data output

**IV. 실험 결과**

ECP 알고리즘의 하드웨어 처리 속도와 합성결과는 각도 검출에 대표적인 하드웨어 알고리즘 방법인 CORDIC의 설계된 결과와 함께 XC7Z020 xc7z020-3clg400 FPGA 보드와 xilinx 14.2 Tool을 사용하여 검증 하였다. [7] CORDIC의 구현은 그림 2(a)의 ECP에서 사용된 동일한 원형 경계 안의 정보들에 대하여 이진화 처리에 대한 픽셀 정보들로 처리 되었다. 표 2는 CORDIC과 ECP의 하드웨어 설계된 합성 결과의 동작 속도이며, 최소 주기가 CORDIC에서는 4.132ns 이고, ECP에서는 4.363ns로써 두 알고리즘은 유사한 결과를 나타낸 것을 확인할 수 있다.

표 3은 CORDIC과 ECP의 하드웨어 합성 결과를 비교하였다. 합성 결과에서 ECP가 CORDIC 방법보다 Registers는 108%, Look up tables (LUT)는 91% 감소되었다.

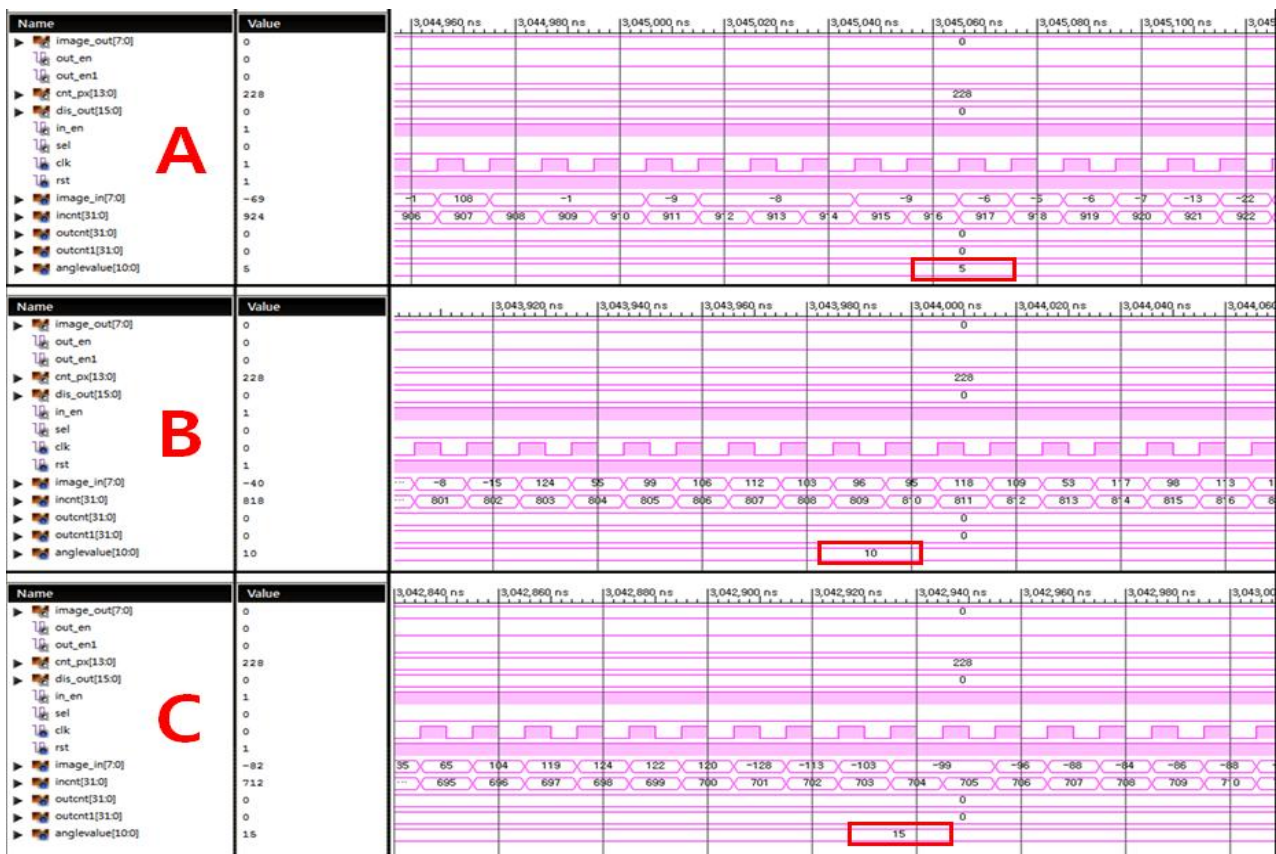


Fig.7 FPGA simulation result of ECP algorithm

그림 7. ECP algorithm의 FPGA 시뮬레이션 결과

10도 마지막 C부분은 15도 회전 된 영상과의 비교 결과이다. 오른쪽 결과에서 볼 수 있듯이 회전 된 출력 각도 값이 5도, 10도, 15도로 정확하게 검출이 되는 것을 확인 할 수 있다.

Table 2. Speed Performance of the previous methods and our proposed method

표 2. 기존 방법과 제안하는 방법의 속도 성능

Parameter		Value
Minimum Period	ECP	4.363ns
	CORDIC	4.132ns
Maximum Frequency	ECP	229.218MHz
	CORDIC	242.026MHz

본 논문에서 제안한 ECP 알고리즘이 전체 이미지의 데이터를 사용하는 것이 아닌 회전 불변 특징을 위한 최적화된 정보들만을 사용하였고, 그에 따른 각도를 산출하기 위해 많은 반복 연산 없이 단순하게 처리되어 짐으로써 CORDIC보다 메모리 측면에서 상당히 우수함을 확인 할 수 있었다.

그림 7은 본 논문에서 제안한 ECP의 하드웨어 시뮬레이션 결과이다. 그림 7은 전체적인 시뮬레이션 흐름이며 A부분은 5도 회전 되었을 경우의 결과, B부분은

Table 3. Synthesis Result of the previous methods and our proposed method

표 3. 기존 방법과 제안하는 방법의 합성결과

Resources		Used	Available	Utilization
Number of Slice Registers	ECP	110	106400	0%
	CORDIC	115529		108%
Number of Slice LUTs	ECP	537	53200	1%
	CORDIC	48979		92%
Number of bonded IOBs	ECP	44	125	35%
	CORDIC	123		98%
Number of BUFG/BUFGCTRLs	ECP	1	32	3%
	CORDIC	1		3%

## V. Conclusion

본 논문에서는 HD 영상의 회전된 영상의 고속 각도 추출을 위한 Extreme Contour Point 알고리즘의 최적화된 하드웨어 설계 방법을 제안하였다. 순차적으로 입력되는 영상 정보에서 임의의 영역만을 Line buffer에 저장하고, Line 별로 ECP 연산을 수행할 수 있도록 또한 실시간으로 모든 Block들이 Clock에 동기화 되어 진행되어짐에 따라 발생 할 수 있는 Clock delay 현상을 방지하기 위해 표 1의 상태를 적용하였다. XC7Z020 xc7z020-3clg400 FPGA 보드와 xilinx 14.2 Tool을 기반으로 잘 알려진 각도 검출 알고리즘인 CORDIC과 비교하여 약 4ns의 유사한 동작 속도 안에서, CORDIC 대비 Registers는 108%, LUTs는 91% 감소하는 우수한 결과를 확인 하였다. 향후 연구 과제로는 ECP 알고리즘의 정확도 개선을 비롯하여, 그에 따른 최적화된 하드웨어 설계를 진행하고 자 한다.

## References

- [1] J. McCall and M. Trivedi, "Video-Based Lane Estimation and Tracking for Driver Assistance: Survey, System, and Evaluation," *IEEE Trans. Intel. Trans. Syst.*, vol. 7, no.1, pp. 20-37, 2006.
- [2] D. Kim, S. Moon, J. Park, H. Kim and K. Yi, "Design of an Adaptive Cruise Control / Collision Avoidance with Lane Change Support for Vehicle Autonomous Driving," *Proceedings of ICRO-SCIE International Joint Conference*, pp. 2938-2943, 2009
- [3] K. Shimura, K. ohtsuka, G. Vizzari, K. Nishinari and S. Bandini, "Mobility analysis of the aged pedestrians by experiment and simulation," *Patt. Recognit. Lett.* vol. 44, pp. 58-63, 2014.
- [4] L. Oliveriara and U. Nunes, "Context-aware Pedestrian Detection Using LIDAR," *Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 773-778, 2010.
- [5] D. Han, M. Jeong, and H. Kim, "A Novel

Implementation of Rotation Detection Algorithm using a polar Representation of Extreme Contour Point based on Sobel Edge," *Journal of Semiconductor Technology and Science*, In press, 2016.

- [6] C. Park and H. Kim, "FPGA Implementation for Real Time Sobel Edge Detector Block Using 3-Line Buffers," *j.inst.Korean.electr.electron.eng*, vol.19, no. 1, pp. 10-17, 2015.
- [7] J. Volder, "The CORDIC Computing Technique," *IRE Trans. Electron. Comput*, vol. 8, no. 3, pp. 330-334, 1959.

## BIOGRAPHY

**MinWoo Jeong** (Student Member)



2015 : BS degree in Electronics Engineering, Cheongju University.  
2016 : MS course in Electronics Engineering, Cheongju University.

**ChanSu Park** (Student Member)



2013 : BS degree in Electronics Engineering, Cheongju University.  
2015 : MS degree in Electronics Engineering, Cheongju University

2015 : PhD course in Electronics Engineering, Cheongju University.

**HiSeok Kim** (Member)



1977 : BS degree in Electronics Engineering, Hanyang University.  
1980 : MS degree in Electronics Engineering, Hanyang University.

1985 : PhD degree in Electronics Engineering, Hanyang University.

1987~current : Professor, Dept. of Electronics Engineering, Cheongju University