

차선이탈 경보시스템을 위한 실시간 영상처리 하드웨어 구현

이운근

*부산경상대학 디지털애니메이션과

A Real-Time Onboard Image Processing System for Lane Departure Warning

Un-Kun Yi

*Dept. of Digital Animation, Busan Kyungsang College

Abstract - 지능형 안전자동차에 비전센서를 채택하여 이의 응용시스템을 개발하기 위해서는 궁극적으로 많은 양의 영상데이터를 시스템의 제어목적에 부합하도록 실시간으로 처리하기 위한 노력과 구현하고자 하는 영상처리시스템을 정적인 실내환경과 달리 열악한 환경의 차량에 탑재가 용이하게 하기 위한 소형화의 노력이 요구된다. 본 논문에서 구현된 실시간 영상처리 하드웨어는 에지 연산 등의 반복된 전처리는 FPGA에서 처리하고, 상위단계의 영상처리는 RISC에서 수행하는 구조이다. 구현된 영상처리 하드웨어는 에지정보 기반의 차선정보추출 및 차선이탈 경보알고리즘을 적용하여 그 성능을 평가하였으며, 초당 25프레임 이상의 영상처리를 수행할 수 있는 연산속도를 보여 성공적인 결과를 얻을 수 있었다.

운전자에게 경보를 내보냄으로써 운전자의 경각심(alertness)을 고취시키기 위한 차선이탈 경보시스템의 하드웨어를 구현한다. 구현된 실시간 영상처리 하드웨어는 에지 연산 등의 반복된 전처리는 FPGA에서 처리하고, 상위단계의 영상처리는 RISC에서 수행하는 구조이다. FPGA와 RISC의 조합에 의해 최적 설계된 실시간 전용 하드웨어의 성능을 검증하기 위하여 본 논문에서는 에지정보에 기반한 차선정보추출 및 차선이탈 경보알고리즘을 적용하여 그 성능을 평가하였다.

2. 실시간 영상처리 하드웨어의 구성

본 논문에서 설계 및 제작된 실시간 영상처리 하드웨어는 궁극적으로 비전센서를 이용한 차선이탈 경보시스템의 구현에 있다. 차선이탈 경보시스템을 구현하기 위해서는 차선정보추출 및 이탈경보 알고리즘의 소프트웨어의 이를 실시간 처리하기 위한 소형의 전용 하드웨어가 필요를 한다. 이들 중에서 본 논문에서는 실시간 영상처리 하드웨어의 개발에 한정을 할 것이다. 차선이탈 경보시스템 구현에 사용된 소프트웨어 알고리즘은 크게 에지정보에 기반한 차선정보추출 알고리즘과 추출된 차선관련 정보의 활용으로 얻어진 차선이탈계수에 의한 경보알고리즘으로 나누어지며, 알고리즘의 자세한 사항은 참고문헌 [2,3]에 제시되어 있다.

본 논문에서는 차선이탈 경보시스템 구현을 위해 앞에서 언급한 알고리즘을 효율적으로 실시간 처리하기 위한 영상처리 하드웨어를 구성하였으며, 이의 구성은 그림 2

1. 서 론

최근 자동차 보유량이 급격히 증가하면서 운송수단으로서의 중요성이 부각되고 있고, 운전자의 계층이나 그 용도 또한 다양해지고 있다. 이에 보다 편하고 안전한 차량의 운행을 위해 이미 여러 자동차 선진국에서는 80년대 중반부터 국가적 또는 지역적 프로젝트를 통하여 ITS(Intelligent Transport System)분야에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 상황에서 가장 중요하게 다루어져야 할 요인 가운데 하나인 안전성은 인간의 능력에만 의존해 왔던 기존의 수동적인 방법에서 탈피해 인간의 시각 및 지각의 한계를 보완해 줄 수 있는 시스템을 요구하고 있다.[1]

차선이탈 경보 및 방지기술은 차량 스스로가 운전자, 타차량, 차선, 기타 장애물 등 차량주행에 관련된 주위의 객체들의 상태를 자동으로 인지하고, 사고발생 가능성여부를 예측하여 운전자의 행동과 상관없이 차량을 제어함으로써 사고를 미연에 방지할 수 있는 능동안전기술(active safety technology)이다. 이러한 기술을 실현시키기 위해서는 주행정보의 실시간 획득 및 처리가 이루어져야 한다.

차선이탈 경보시스템을 위한 차량 주행정보의 획득방법으로는 초음파, 레이더, 비전센서 등 다양한 센서가 있으며, 그 중에서도 비전센서를 채택하는 것이 최근의 추세이다. 이는 외부환경 변화에 민감하여 정보추출의 어려움이 따름에도 불구하고, 정보량이 크고 인간에게 친근한 시각정보를 제공한다는 장점에 기인한다. 그러나, 지능형 안전자동차에 비전센서를 채택하여 이를 구현하기 위해서는 궁극적으로 많은 양의 영상 데이터를 시스템의 제어목적에 부합하도록 실시간으로 처리하기 위한 노력과 구현하고자 하는 영상처리시스템을 정적인 실내환경과 달리 열악한 환경의 차량에 탑재가 용이하게 하기 위한 소형화의 노력이 요구되어진다.

본 논문에서는 비전센서를 사용하여 운전자가 줄거나 부주의한 상황에서 주행 중에 있는 자차량이 순간적으로 원치 않는 차선이탈을 함으로써 야기될 수 있는 안전사고를 사전에 예방하기 위해 차선이탈 직전 혹은 직후에

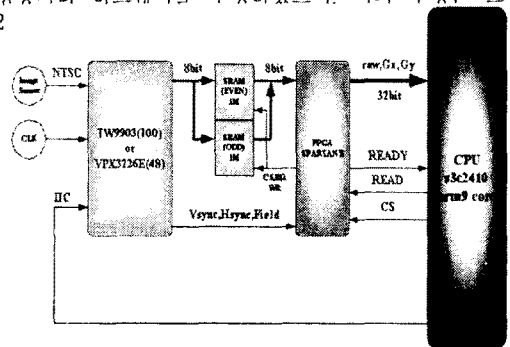


그림 2.1 영상처리 하드웨어의 구성

그림 2.1에 나타낸 것과 같이 B/W CCD 카메라를 비전센서로 채택하고, B/W CCD 카메라에서 출력된 아날로그 NTSC 신호를 비디오 디코더를 통하여 디지털 신호로 변환한다. 이때 사용된 비디오 디코더는 부가 회로가 간단하고, 다양한 크기의 영상을 하드웨어적으로 설정 가능한 장점이 있는 Techwell사의 전용칩을 사용하였다. 비디오 디코더에서 디지털 데이터로 변환된 영상 데이터는 차선정보추출 등을 위해 필요로 하는 영상

신호의 잡음제거 및 에지연산 등의 영상전처리를 위해 SRAM에 저장된 후 지연시간 없이 FPGA에서 전처리 가 수행된다. 본 논문에서 사용된 FPGA의 역할은 영상 전처리의 수행, 각종 처리 시간 제어, 그리고 어드레스 디코딩 등이다. FPGA에서 영상전처리를 통하여 출력된 정보는 원영상(raw image) 데이터와 에지정보인 G_x , G_y 이다. 이는 영상 후처리 프로세서인 ARM9 프로세서에 입력된다. ARM9 프로세서는 200MHz로 동작하는 RISC 칩이며, 차선정보추출 및 차선이탈 경보알고리즘을 수행한다. 그리고, 그림 2.1에는 나타나지 않았지만, 프로그램의 디버깅을 위해 영상 출력용 메모리와 비디오 인코더가 포함된다.

3. 차선정보추출 및 이탈경보 알고리즘

3.1 차선정보추출 알고리즘

본 논문에서 사용된 차선정보추출 알고리즘은 소벨에지 연산에 의한 에지분포함수(EDF) 기반의 알고리즘이다. EDF는 에지의 방향각에 관련된 에지크기의 히스토그램을 나타내며, 이의 자세한 사항은 참고문헌 [2]에 제시되어 있다. EDF를 구축하기 위해서는 에지연산에서 얻어진 크기(magnitude)와 방향(orientation) 정보를 필요로 한다. 에지추출은 기본적으로 시간을 많이 요하는 연산이므로 이를 CPU에서 전과정을 처리하면 실시간 처리가 불가능하다. 따라서, 단순 반복적인 에지연산의 경우 병렬처리가 가능한 하드웨어로 구현하는 것이 타당하다. 에지연산을 하드웨어로 구현할 경우 고려해야 할 사항은 전처리 프로세서인 FPGA에서 얻어진 값이 최종적으로 어떤 값인지를 결정하는 것이다. 만약 FPGA에서 에지의 크기와 방향정보의 값을 최종으로 얻는다면 많은 양의 FPGA 게이트가 필요하고, 이로 인해 코스트가 높아질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 FPGA의 최종 에지연산 결과는 G_x , G_y 를 얻고, 에지 크기와 방향값의 계산은 후처리 프로세서인 ARM9에서 수행하는 구조로 설계하였다. FPGA에서 G_x , G_y 를 추출하는 전처리 과정은 참고문헌 [4,5]에 제시되어 있다.

다음은 FPGA에서 출력된 G_x , G_y 값을 이용해서 ARM9에서 에지의 크기와 방향값 정보를 구하는 방법에 대해 설명한다. 본 논문에서는 에지의 크기를 계산할 때 근호(square root)를 취하지 않고, $\sqrt{f(x,y)} = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \approx |G_x| + |G_y|$ 와 같이 절대값을 취한다. 특히 탄젠트연산인 방향값 계산은 많은 시간을 요하므로 처리시간을 줄이기 위해 LUT(Look-Up Table)를 미리 구축해 놓고, 이것을 이용하면 에지 추출시 매 픽셀마다 $\alpha(x,y) = \tan^{-1}(G_y/G_x)$ 에 의해 방향값을 계산하지 않고, $G_x = z_3 + 2z_2 + z_1 - (z_1 + 2z_2 + z_3)$ 와 $G_y = z_3 + 2z_2 + z_1 - (z_1 + 2z_2 + z_3)$ 의 G_x , G_y 에 의해 곧바로 LUT에서 대응되는 값을 찾아 에지픽셀의 방향값으로 할 수 있다. 문제는 LUT의 메모리 크기를 정하는 것인데, 이 때 검토해야 할 사항은 G_x , G_y 의 값의 범위와 이에 따른 아크탄젠트의 값의 범위이다. G_x , G_y 가 취할 수 있는 값의 최대범위는 -1020~1020이다. 아크탄젠트 값의 범위는 프로그램에서 사용하는 함수에 따라 달라지는데, 본 논문에서는 C언어의 atan()함수를 사용하므로 $-\pi/2 \sim \pi/2$ 까지이며 실수값을 돌려준다. LUT의 크기를 정하기 위해 수학적으로 고찰해 볼 간단한 사항은 탄젠트값의 부호결정이다. G_x , G_y 의 부호가 같을 때, 즉 1사분면과 3사분면에서는 양이고, G_x , G_y 가 부호가 다를 때, 즉 2사분면과 4사분면에서는 음이다. 따라서 일단 LUT에는 양의 값인 경우만 저장해 놓고 에지추출 과정에서 G_x , G_y 의 부호를 고려하여 탄젠트값의 부호를 결정한다. 남은 문제는 LUT의 소요메모리인데 본 논문에서는 아크탄젠트값을 정수(integer)화했고, G_x , G_y 의 값도 정규화(normalization)시켜 가질 수 있는 값의 범위를 -25

5~255까지로 했다. 이렇게 하면 그림 3.1에 보인 바와 같은 2차원 배열형태의 LUT가 형성되고, 메모리는 64Kbyte로 정할 수 있다. LUT를 구축하는 C-code는 다음과 같다.

```
#define R2A 180.0/3.141592654 //Radian to Angle

for(int Gx = 0; Gx < 256; Gx++) {
  for(int Gy = 0; Gy < 256; Gy++) {
    AngLUT[Gx][Gy] =
      (BYTE)(atan((Gy+1.e-6)/(Gx+1.e-6))*R2A+.5);
  }
}
```

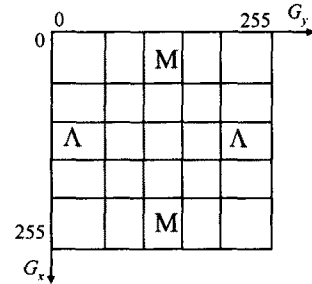


그림 3.1 에지방향 계산용 LUT

3.2 차선이탈 경보알고리즘

본 논문에서 차량이 자기 주행차선을 이탈했는지의 여부를 판단할 목적으로 다음과 같은 차선이탈계수(departure index)를 정의하여 사용한다.

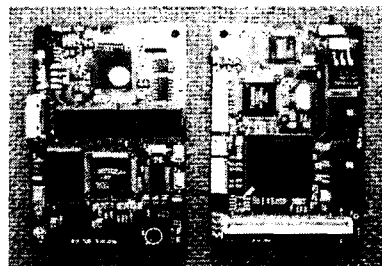
$$\xi = \frac{x_i^*}{x_j^*} \quad (1)$$

여기에서 x_i^* 과 x_j^* 은 차선의 우측 경계와 좌측 경계의 특징을 나타내는 파라미터이며, 이는 EDF와 잘 알려진 하프변환에 의해 추출된다. 이의 자세한 사항은 참고문헌 [2,3]에 제시되어 있다.

4. 실시간 영상처리 하드웨어의 구현 및 적용 실험

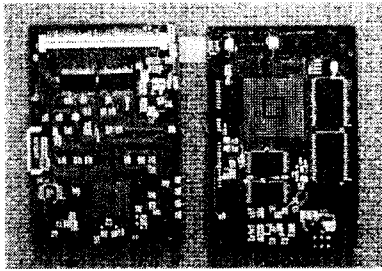
4.1 하드웨어 구현

그림 4.1은 차선이탈경보 시스템을 위해 구현된 실시간 영상처리 하드웨어를 나타낸다. 그림에 나타난 것과 같이 향후 확장성을 고려하여 전처리 프로세서와 후처리 프로세서를 분리하여 개발하였다. 기본적인 하드웨어 디버깅은 JTAG 포트를 통하여 이루어지며, 차량 장착실험을 위하여 별도의 모니터링 프로그램을 작성하였다.



(a) 앞면

그림 4.1 구현된 실시간 영상처리 하드웨어



(b) 뒷면

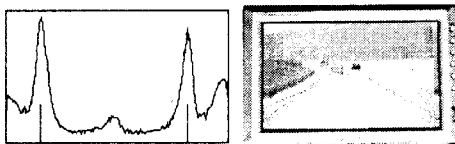
그림 4.1 구현된 실시간 영상처리 하드웨어(계속)

4.2 차선정보추출 및 차선이탈 경보알고리즘의 하드웨어 적용 실험

본 논문에서는 구현된 하드웨어의 성능을 검증하기 위하여 차선정보추출 및 차선이탈 경보알고리즘을 적용하였으며, 그 결과는 그림 4.2와 같다. 그림 4.2(a)는 B/W CCD 카메라에서 획득된 샘플영상과 본 시스템에서 소벨 에지연산의 전처리 과정을 거쳐 생성된 에지영상을 나타낸 것이며, (b)는 알고리즘에서 제시된 에지분포함수인 EDF를 구축한 것이다. EDF에서 극부최대값은 차선의 방향과 잘 일치함을 알 수 있다. 그리고, (c)는 차선정보추출의 결과를 나타낸다.



(a) 샘플 영상 및 에지 영상



(b) EDF (c) 차선정보추출

그림 4.2 알고리즘 적용 실험

그림 4.3과 4.4는 구현된 하드웨어에 차선정보추출 및 차선이탈 경보알고리즘을 적용하여 실험한 결과를 나타낸다. 실험은 직선도로에서의 이탈상황과 S자 곡선도로에서의 주행실험을 나타낸다. 제안된 영상처리 하드웨어는 실시간으로 차선정보추출 및 경보알고리즘을 수행하였으며, 연산속도는 초당 25프레임의 처리 결과를 나타내었다.

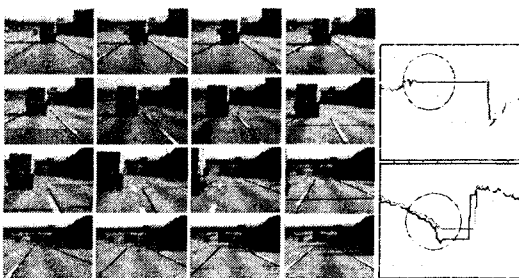


그림 4.3 직선도로에서의 이탈 상황

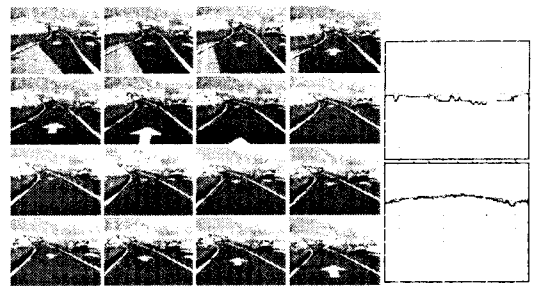


그림 4.4 S자 곡선도로에서의 주행

그림 4.3은 직선 도로에서의 이탈상황을 연속적으로 나타낸 그림이다. 직선도로에서의 이탈은 좌·우측 차선의 각도 변화율이 크므로 이를 이용하여 이탈 경보를 하게 된다. 그림 4.3의 우측 상단의 그래프는 좌측차선의 방향각을 나타내며, 하단 그래프는 우측차선의 방향각을 나타낸다. 그림 4.3에서 원(O)으로 표시한 지점이 차선이탈의 경우를 나타내며, 차선의 방향각 변화율이 큰 것을 알 수 있다. 이때 우측차선으로 이탈하는 것을 알 수 있다.

그림 4.4는 S자 곡선도로에서의 주행실험을 나타내며, 그림에서 나타낸 것과 같이 곡선도로에서는 차선을 직선으로 근사화하여 신뢰성 있게 인식함을 알 수가 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 차선이탈 경보시스템의 구현을 목적으로 에지분포함수에 기반한 차선정보추출 알고리즘 및 추출된 차선관련 정보의 활용으로 얻어진 차선이탈계수에 의한 경보알고리즘을 효율적으로 실시간 처리하기 위한 전용의 온보드 하드웨어를 제작하였다. 이는 영상 필터링 및 에지추출을 담당하는 영상 전처리 프로세서인 FPGA와 후처리 프로세서인 RISC로 구성된다. 구현된 영상처리 하드웨어는 초당 25프레임의 영상처리를 수행할 수 있는 연산속도를 가지며, 특히 탄젠트 연산인 에지 방향각의 계산을 저비용으로 효과적으로 실현할 수 있다. 이러한 연산 처리속도는 오늘날 대부분의 영상처리 분야에서 처리할 정보량의 증가로 인한 실시간 고속 데이터 처리를 요구하는 실정에서 성공적인 결과라 할 수 있다.

본 논문에서 구현된 실시간 영상처리시스템의 하드웨어 구성은 차선이탈경보 시스템에 한정된 것이 아니라 에지정보를 이용하는 다양한 영상처리분야에 직접적인 적용이 가능하리라 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. Ozawa, "Image Processing for Intelligent Transport Systems," *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol. E82 D, No. 3, pp. 629-636, 1999.
- [2] J. W. Lee, U. K. Yi, and K. R. Baek, "A Cumulative Distribution Function of Edge Direction for Road Lane Detection," *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E84 D, No. 9, pp. 1206-1216, 2001.
- [3] J. W. Lee, C. D. Kee and U. K. Yi, "A New Approach for Lane Departure Identification," *IEEE IT'2003*, pp. 100-105, 2003.
- [4] 이윤근, 이준영, 조석빈, 고덕화 백광렬, "도로교통 영상 처리를 위한 고속 영상처리시스템의 하드웨어 구현," 제어자동화시스템공학 논문지, 제9권, 제7호, pp.498-506, 2003.
- [5] 조석빈, 이윤근, 백광렬, "라인 스캔 카메라를 위한 고속 영상 처리 시스템 설계," 제어자동화시스템공학 논문지, 제10권, 제2호, pp.178-181, 2004.