

논문 2018-13-03

군사용 적외선 영상의 안정화 성능 개선 및 Zynq SoC 구현

(Improve Stability of Military Infrared Image and Implement Zynq SoC)

최 현, 김 영 민, 강 석 훈, 조 중 휘*

(Hyun Choi, Joong-Hwee Cho, Young-Min Kim, Seok-Hoon Kang)

Abstract : Military camera equipment has a problem that observability is inferior due to various shaking factors. In this paper, we propose an image stabilization algorithm considering performance and execution time to solve this problem and implemented it in Zynq SoC. We stabilized both the simple shaking in the fixed observation position and the sudden shaking in the moving observation position. The feature of the input image is extracted by the Sobel edge algorithm, the subblock with the large edge data is selected, and the motion vector, which is the compensation reference, is calculated through template matching using the 3-step search algorithm of the region of interest. In addition, the proposed algorithm can distinguish the shaking caused by the simple shaking and the movement by using the Kalman filter, and the stabilized image can be obtained by minimizing the loss of image information. To demonstrate the effectiveness of the proposed algorithm, experiments on various images were performed. In comparison, PSNR is improved in the range of 2.6725~3.1629 (dB) and image loss is reduced from 41% to 15%. On the other hand, we implemented the hardware- software integrated design using HLS of Xilinx SDSoC tool and confirmed that it operates at 32 fps on the Zynq board, and realized SoC that operates with real-time processing.

Keywords : Sobel edge, 3-step search, Motion vector, Kalman filter, Zynq SDSoC

I. 서 론

군사용 휴대용 카메라 장비는 고배율 특성으로 큰 중량을 갖는데 관측자의 손 떨림 잡음과 카메라의 급격한 이동인 경우에 화면 흔들림으로 과측 효과가 왜곡되는 문제점이 있어 이를 해결하기 위하여 다양한 영상 안정화 방법이 채택되고 있다 [1-4].

PA (Projection Algorithm) 기법은 투영 형태에

*Corresponding Author (joonghwee.cho@gmail.com)

Received: Nov. 7 2017, Revised: Nov. 20 2017,

Accepted: Nov. 23 2017.

H. Choi, J.H. Cho, S.H. Kang: Incheon National University

Y.M. Kim: EO SYSTEM

※ 본 논문은 인천대학교 2017년도 자체 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

따른 성능의 차이가 크다는 단점이 있다 [1-3]. 특징 추출 기반 영상 안정화 알고리즘은 열 영상의 특징 영상을 생성하고 특징 영상을 기반으로 BMA (Block Matching Algorithm)를 수행해서 영상을 안정화 하는데 [3], 떨림에서 각 프레임마다 특징의 차이가 큰 경우 BMA를 통해 좋은 성능을 얻을 수 없고 카메라를 크게 이동하는 경우의 초기 영상은 불안정화되는 문제점이 있다. [4]에서는 캐니 (Canny) 알고리즘에 의하여 에지를 추출하고 추출된 에지에 대하여 TM (Template Matching)을 사용하여 단순 떨림을 안정화하고, 칼만 필터를 이용한 카메라 이동에 따른 안정화를 수행하였다. 그러나 캐니 알고리즘은 다량의 에지를 추출함에 따라 관측 영역에 바다, 하늘 등의 다량의 에지가 포함되는 경우 관심영역 (Region Of Interest)이 잘못 선정되어 안정화 성능이 떨어지고 칼만 필터 적용 오류로 영상 정보 손실이 크며, 연산량 증가로 실시간

처리에 문제점이 있다. 본 논문에서는 입력 영상의 에지 추출을 보다 간단한 소벨 (Sobel) 에지 알고리즘을 사용하여 특징을 추출하고 이 특징 영상을 관심영역으로 선정하고 TM을 수행하는 방법과 계산된 움직임 벡터에 칼만 필터를 적용하여 단순 흔들림과 이동에 따른 급격한 흔들림을 구분해서 안정화를 진행해 영상 정보 손실을 개선하는 새로운 영상 안정화 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 처리 속도 향상을 위하여 Xilinx의 HLS (High Level Synthesis) 기법에 따른 하드웨어-소프트웨어 동시 설계 방법을 사용하여 ARM과 FPGA를 내장한 Zynq 디바이스에 구현하여 실시간 동작을 확인한다.

II. 기존 알고리즘 분석

1. 특징 영상 추출과 BMA에 의한 안정화 [3]

[3]에서 제안한 열영상에 적합한 특징 추출과 BMA 방법에 따라 계산된 움직임 벡터를 사용하여 영상 안정화를 수행하는데 다음과 같은 문제점이 지적된다. 첫째, [3]에서 제안한 가중치 사용에 따라 특징을 추출하는 경우 그림 1과 같이 프레임 차이가 적은 경우에도 과도한 특징을 추출함으로써 안정화 성능을 저하 시키는 움직임 벡터를 추출하는 경우가 있다. 그림 1 (a)와 (b)는 정지영상에 가까워 프레임차이가 매우 적으나, [3]의 특징 추출에 따라 (e)와 같이 과도한 특징 차이를 나타내어 움직임 벡터가 (0, 0)이어야 하는데 (3, 0)으로 계산되는 문제점을 발견하였다. 둘째, BMA를 수행할 때 서브-블록 중 가장 작은 SAD (Sum of Absolute Differences) 값을 갖는 움직임 벡터만을 추출하고 그 벡터만을 사용하여 안정화를 수행하여 성능 저하의 요인으로 분석된다. 셋째, 영상의 이동과 같은 급격한 떨림을 고려하지 않았기 때문에 이와 같은 경우 안정화 결과 그림 2와 같이 나타난다. 영상의 이동이 진행될수록 과도하게 영상이 잘려 영상이 검은색으로 표현되는 영상 정보 손실이 평균 41%로 확인된다.

2. 캐니 에지추출과 TM에 의한 안정화 [4]

[4]에서는 캐니 에지를 추출하고 에지 데이터가 가장 많은 서브-블록을 관심영역으로 선택하여 이를 바탕으로 TM을 통해 움직임 벡터를 계산하여 영상 안정화를 수행한다. 그리고 칼만필터를 사용하여 영상의 이동과 같은 급격한 떨림을 고려하여 안정화를 수행하는데 다음과 같은 문제점이 지적된다.

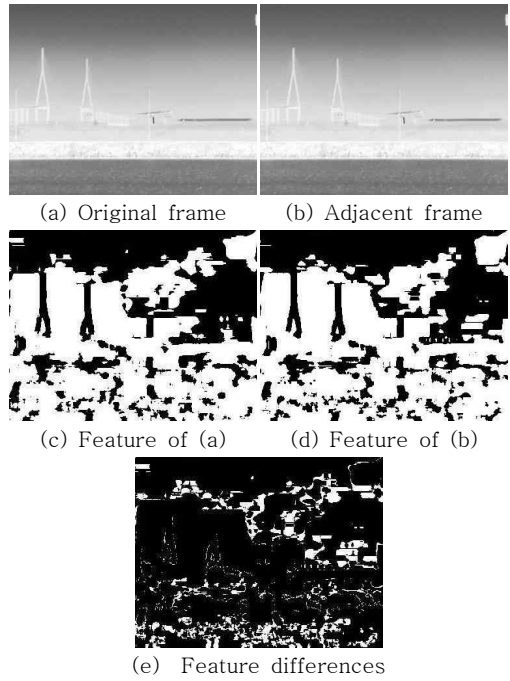


그림 1. 특징 추출 알고리즘의 문제점
Fig. 1 Problem of feature extraction algorithm



그림 2. 이동하는 영상의 영상 정보 손실
Fig. 2 Video information loss of moving video

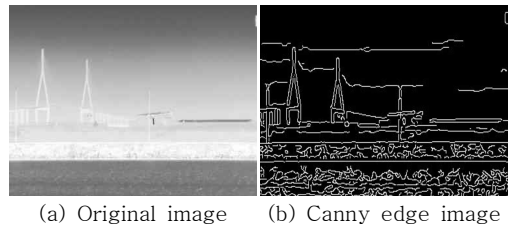


그림 3. 캐니 에지 알고리즘 수행 결과
Fig. 3 Canny edge

첫째, 캐니 에지 알고리즘은 그림 3의 하늘 또는 바다와 같은 동일한 피사체의 미세한 변화조차도 다량의 에지로 추출하여 이와 같은 영역이 관심영역

으로 선택되는 경우 안정화 성능이 감소된다.

이와 같은 이유로 그림 1에 대한 실험 결과 [3]과 [4]는 동일하게 안정화 성능이 떨어짐을 확인하였다. 둘째, 칼만 필터를 이용하여 영상의 이동과 같은 급격한 떨림을 고려했지만 작은 흔들림의 경우에도 필터를 적용하여 안정화 성능이 저하된다. 셋째, 캐니 에지 알고리즘에 의해 다량의 에지 추출로 인하여 안정화 시간이 증가하는 문제점도 있다.

III. 본 논문 제안 알고리즘

안정화 성능 향상을 위하여 본 논문에서는 그림 4와 같은 NS 차트로 표현되는 알고리즘을 제안한다.

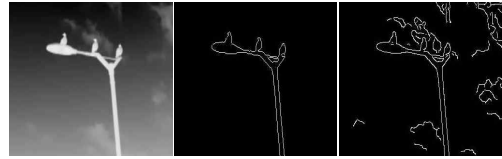
1. 에지 추출 방법의 선택

관심영역 선정에 적합한 에지 추출 알고리즘을 선택하기 위해 캐니 에지 및 소벨 에지 추출 알고리즘을 비교해 보았다. 두 에지 추출 알고리즘의 결과를 그림 5에 나타내었다.

캐니 에지 알고리즘은 소벨 보다 많은 에지 검출 결과를 보이지만 관심영역 선정에 불필요한 에지까지 추출하고, 연산 복잡도가 소벨 에지보다 높아 실시간 처리에 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 실험을 바탕으로 설정한 임계값을 바탕으로 소벨 필터링 값을 이진화 하여 사용한다.

| | |
|---|---|
| Read Frame | |
| Sobel edge extraction | |
| Selecting The region of interest | |
| Template matching (3-Step-Search) & Global vector calculation | |
| Kalman filter | |
| (Global vector - filter value) > threshold | |
| True | False |
| Image stabilization Using filter value | Image stabilization Using Global vector |
| Write frame | |

그림 4. 제안 알고리즘의 NS 차트
Fig. 4 Nassi-Schneiderman chart of proposed algorithm



(a) Original (b) Sobel edge (c) Canny edge

그림 5. 두 가지 에지 추출 방법의 비교
Fig. 5 Comparison of edge images

2. 관심영역 선정

이진화된 소벨 에지 영상을 $N \times N$ 서브-블록으로 나눈 후 블록에 포함된 에지 성분을 계산하고 에지 성분이 실험을 바탕으로 설정한 임계값 보다 큰 서브-블록을 관심영역으로 선정한다. N 값은 다양한 실험을 통하여 본 논문에서는 41으로 설정하였다.

3. TM 및 움직임 벡터 계산

그림 6과 같이 선정된 관심영역을 템플릿 (Template)으로 지정하고 다음 프레임에서 해당 템플릿이 어디에 위치하는지 움직임 벡터를 계산한다. 움직임 벡터를 계산하기 위해 SAD를 이용한 TM을 수행한다. TM을 수행할 때 프레임 전체를 탐색 (Full-Search)하게 되면 탐색 결과는 정확하지만 넓은 탐색 범위로 실시간 처리에 적합하지 않다. 이를 개선하기 위해 탐색 영역은 좁히면서 유사한 탐색 정확도를 갖는 3-Step-Search (3-SS) 기법을 사용한다. 3-SS는 그림 7과 같이 총 3단계에 걸쳐 탐색 횟수를 줄이고 새로운 중심을 찾아가며 수행하는 탐색 방법이다 [4, 5].

3-SS를 통해 각 템플릿에 따른 지역 움직임 벡터 (Local Motion Vector, LMV)가 계산이 된다.

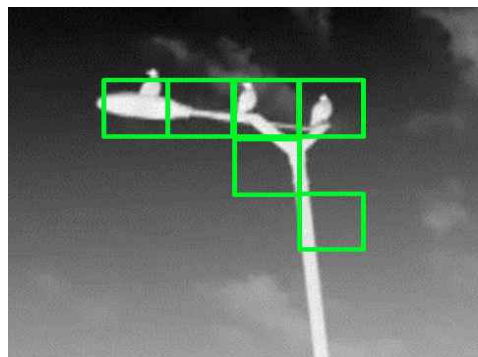


그림 6. 관심영역 선정
Fig. 6. Selecting region of interest

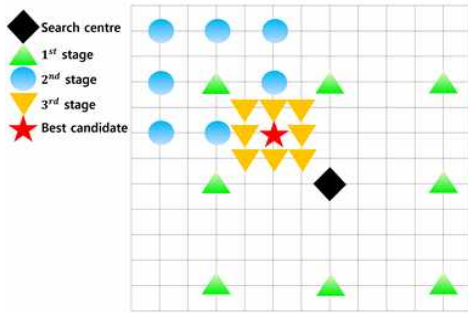


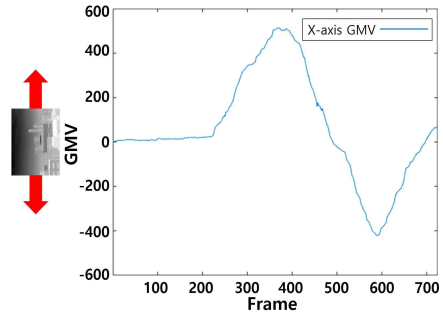
그림 7. 3-단계-검색
Fig. 7 3-Step-Search

하지만 계산된 LMV에는 해당 픽셀의 밝기변화, 노이즈 그리고 객체의 움직임 때문에 LMV의 편차가 표준편차보다 큰 아웃라이어 LMV가 존재할 수 있다. 아웃라이어가 제거된 LMV의 평균값을 전역 움직임 벡터 (Global Motion Vector, GMV)로 정의한다.

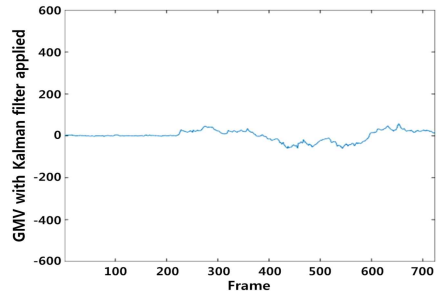
4. 칼만필터를 사용한 떨림과 이동 구분

본 논문에서의 영상의 떨림 및 이동과 같은 급격한 흔들림을 모두 고려하기 위해 칼만필터를 사용한다. 칼만필터는 측정 데이터나 신호에서 잡음을 제외하고 원하는 정보를 추출하는 알고리즘이다 [4]. 그림 8에서 (a)는 계산된 X축 (width) 방향의 GMV 값으로 영상의 전체적인 움직임을 나타낸다. (b)는 GMV에 칼만 필터를 적용한 값으로 노이즈가 제거된 데이터를 보여준다. 계산된 GMV에서 이동과 같은 급격한 흔들림을 노이즈라고 했을 때 칼만 필터를 적용하면 노이즈가 제거된 작은 떨림에 대한 데이터가 남게 된다. 본 논문에서는 GMV와 칼만 필터를 적용한 값의 차를 바탕으로 영상의 떨림 및 이동과 같은 급격한 흔들림을 구분하여 안정화를 진행한다.

그림 9 (a)는 GMV와 칼만 필터를 적용한 값의 차이가 설정값 보다 작은 경우를 0으로 큰 경우를 1로 나타낸 것이다. 실제 영상의 전체적인 움직임과 비교하였을 때 설정값 보다 큰 구간은 영상이 급격하게 움직이는 구간이다. 따라서 0인 경우 작은 떨림으로 판단하여 GMV 값으로, 1인 경우 이동과 같은 급격한 흔들림으로 판단하여 칼만 필터를 적용한 값으로 안정화를 진행한다. 안정화 결과 기존 작은 떨림만 고려했을 때의 성능을 유지하면서 영상의 이동과 같은 급격한 흔들림 또한 고려한다.

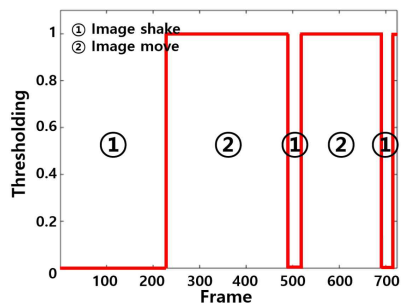


(a) Before applying Kalman filter

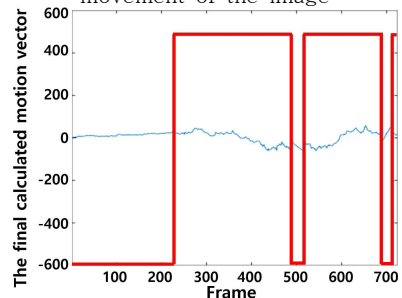


(b) After applying Kalman filter

그림 8. 칼만 필터 사용에 따른 움직임 벡터
Fig. 8 Motion vectors with use of Kalman filter



(a) Consideration of shaking and movement of the image



(b) The final motion vector

그림 9. 본 논문에서 사용된 움직임 벡터
Fig. 9 Motion vectors used in this paper

IV. 소프트웨어 구현 및 성능 비교

본 논문에서 제안하는 알고리즘을 이오시스템에서 제공한 열 영상을 입력으로 Visual C++을 이용하여 시뮬레이션을 진행했다. 안정화 결과를 하나의 예에 대해서 기존 프레임과 겹쳐서 그림 10에 나타내었다. [3]에서 제안한 알고리즘보다 더 정확한 안정화 결과를 확인할 수 있다.

기존 기법과의 성능 비교를 위해 640X480 해상도의 7가지 종류의 열영상을 입력으로 사용했다. 실험에 사용된 1-5까지의 열영상은 카메라의 떨림이 존재하는 영상이고 6, 7의 열영상은 카메라를 삼각대에 고정하여 떨림이 없을 것으로 예상되는 영상이다.



(a) Before stabilization



(b) Algorithm result in [3]



(c) Proposed algorithm result

그림 10. 영상 안정화 결과 비교

Fig. 10 Comparison of video stabilization results

표 1. 제안 기법의 PSNR 값

Table 1. PSNR values for proposed method

| Stabilization Algorithm \ Input IR video | [3] Algorithm | [4] Algorithm | Proposed Algorithm |
|--|----------------|----------------|--------------------|
| 1 | 33.0209 | 30.9628 | 34.2566 |
| 2 | 36.9693 | 35.2836 | 39.0738 |
| 3 | 36.8118 | 34.2953 | 39.0501 |
| 4 | 37.9149 | 39.5233 | 41.7623 |
| 5 | 35.3301 | 34.5612 | 36.7143 |
| 1-5 Average PSNR | 36.0094 | 34.9252 | 38.1714 |
| 6 | 33.4461 | 38.3349 | 40.7158 |
| 7 | 44.3709 | 48.3357 | 48.4310 |
| 6-7 Average PSNR | 38.9085 | 43.3353 | 44.5734 |
| Total average PSNR | 36.8377 | 37.3281 | 40.0006 |

각각 동영상에서 첫째 프레임의 중앙 320x240 영역을 기준 영역으로 지정하고 기준 영역과 이후 200 프레임의 동일 영역 사이의 PSNR (Peak Signal-to-Noise-Ratio)를 계산하여 표 1에 제시하였다.

실험 결과 기존기법 보다 PSNR이 1-5입력 영상에 대해 평균 2.1620~3.2462 (dB) 개선되고, 6-7영상에 대해 1.2381~5.6649 (dB) 개선되었다. 전체적으로 평균 2.6725~3.1629 (dB) 개선되어 제안 기법이 기존 방법보다 우수함을 확인하였다.

다음으로 급격한 움직임이 존재하는 영상을 입력으로 안정화 결과를 그림 11에 나타내었다.

그림 11에서와 같이 제안하는 알고리즘은 칼만 필터를 사용하여 영상 정보 손실이 그림 2의 기존 기법결과 평균 41%에 비해 15%로 감소하여 문제 점을 개선하였다.



그림 11. 이동하는 영상의 안정화 결과

Fig. 11 Stabilization result of moving image

표 2. PC 플랫폼에서의 초당 프레임

Table 2. Frames per second on the PC platform

| | | | |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| | [3] | [4] | Algorithm |
| | Algorithm | Algorithm | Algorithm |
| fps | 0.17 | 11 | 22 |

또한 수행시간 비교를 위하여 동일 PC환경에서 MATLAB을 사용해 기존 기법과 제안 기법의 초당 프레임 수를 표 2와 같이 비교하여 제안하는 기법이 22fps로 기존 기법보다 우수함을 확인하였다.

V. Zynq 플랫폼을 이용한 고속화 구현

제안 알고리즘의 실시간 동작을 위하여는 30fps 이상으로 동작하여야 하므로 하드웨어 기반의 고속화가 요구되는 부분을 RTL (Register-Transfer Level) 아키텍처로 추출하고 Verilog 또는 VHDL을 사용한다. 이와 같은 방법은 설계자의 경험 수준에 따라 성능 차이가 나며 설계 시간이 오래 걸리는 문제점도 있어 최근에는 C언어를 수정하여 하드웨어로 구현하는 HLS (High-Level Synthesis) 방법이 채택되고 있다. 본 논문에서는 HLS[6] 개발 도구중 하나인 Xilinx SDSoC (Software-Defined SoC) 개발 환경에서 고속화 구현을 진행하였다. SDSoC는 개발자가 C 언어로 동작을 기술하면 선택된 Zynq 디바이스에 하드웨어 및 소프트웨어 시스템을 구현하는 유용한 SoC 개발 환경이다.

개발 타겟 보드는 Zynq-7000 AP SoC ZC702로 1GB DDR3 Memory, Dual ARM Cortex-A9, CPU Clock 667MHz를 갖는다. ZC702 환경에서 제안 알고리즘의 초당 프레임은 11fps로 고속화의 필요성을 확인했다. 따라서 프로파일링을 통해 병목 현상이 생기는 함수를 파악하고 HLS를 사용하여 고속화를 진행했다. 640x480 입력 영상의 실시간 처리 (30fps)를 목표로 한다. 해당 플랫폼에서 한 프레임을 처리하는데 필요한 주요 함수들의 수행시간은 표 3와 같다.

프로파일링 결과 소벨 에지 검출이 병목지점으로 확인 되었다. 따라서 소벨 에지 검출 함수를 HLS를 통해 고속화를 진행한다. HLS를 사용하여 영상처리 고속화를 진행하기 위해서는 영상 데이터를 저장할 라인버퍼 및 필터 처리를 위해 필터 마스크 사이즈 크기의 윈도우버퍼를 사용하여 영상 데이터를 다룬다. 이는 메모리 접근 횟수를 감소시켜 수행시간 단축을 위함이다. 그리고 루프 파이프

표 3. 프레임 당 함수의 수행 시간

Table 3. Execution time per frame by function

| | | |
|--------------|----------------|-----------------|
| | Execution time | Occupancy ratio |
| Sobel_edge | 0.085초 | 95.8% |
| Select_ROI | 0.00322초 | 3.6% |
| 3step_search | 0.000537초 | 0.6% |

표 4. HLS를 사용한 고속화 결과

Table 4. Accelerated results using HLS

| | | | |
|-----------------|---------------------|----------------|-----------------|
| | Acceleration method | Loop Unrolling | Loop Pipelining |
| Target function | | | |
| Sobel_edge | | 0.1145sec | 0.0274sec |

라이닝 (Loop-Pipelining)과 루프 언롤링 (Loop-Unrolling) 방법을 사용하여 고속화를 수행할 수 있다 [6]. 두 기법에 따른 고속화 결과를 표 4에 나타내었다.

기존 소프트웨어로만 동작 했을 경우 0.085초에 비해 루프 언롤링을 적용 했을 경우 0.1145초로 오히려 수행시간이 증가했고 루프 파이프라이닝을 적용 했을 경우 0.0274초로 약 3배 수행시간이 감소한 것을 확인 했다. 따라서 본 논문에서는 루프 파이프라이닝 기법을 사용하여 고속화를 진행했다.

그림 12은 소벨 에지 알고리즘의 HLS를 사용한 슈도코드이다.

```
void sobel_filter(unsigned short in[ROW*COL], unsigned short out[ROW*COL])
#pragma HLS INTERFACE ap_fifo port=in
#pragma HLS INTERFACE ap_fifo port=out
LINE_BUFFER buff_A;
WINDOW buff_B;
for(row = 0; row < ROW+1; row++){
    for(col = 0; col < COL+1; col++){
#pragma HLS PIPELINE II = 1
        //Line buffer and Window are used to reduce the number of memory accesses.
        /* buff_A, buff_B */
        //Sobel edge operation using Window.
        if (row < 1 || col < 1 || row > (ROW-1) || col > (COL-1) )
            edge = 0;
        else
            edge = sobel_operator(&buff_B);
        //Output
        if(row > 0 && col > 0)
            out[ (row-1)*COL+(col-1) ] = edge;
    }
}
```

그림 12. 소벨 에지 SDSoC 슈도코드

Fig. 12 SDSoC pseudo-code for the Sobel edge

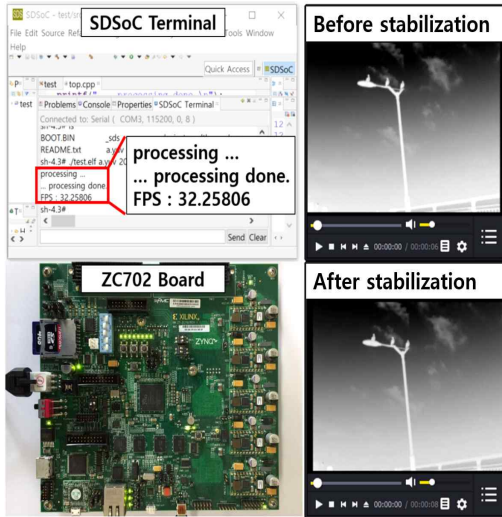


그림 13. Zynq 플랫폼 실험 환경

Fig. 13 Zynq platform experimental environment

표 5. 하드웨어 리소스 사용률

Table 5. Resource utilization for hardware

| | DSP | BRAM | LUT | FF |
|---------------|------|-------|------|------|
| % Utilization | 1.36 | 13.57 | 11.1 | 6.51 |

그림 13와 같이 SDSoc에서 HLS를 사용하여 고속화를 진행하고 SDSoc 터미널을 통해 결과를 확인했다. 하드웨어 리소스 사용률은 표 5에 나타내었다. 고속화 결과 한 프레임을 처리하는 데 수행 시간은 기존 0.089초에서 0.031초로 고속화 되어 초당 프레임 처리 수가 약 32프레임으로 보편적 실시간 처리 (30fps) 요구조건을 만족한다.

IV. 결론

본 논문에서는 열 영상 관측 시 떨림과 이동에 따른 영상 흔들림을 보정하기 위한 새로운 방법을 제안하였다. 기존 알고리즘의 문제점을 해결하기 위해 소벨 에지 검출 및 3SS를 사용하여 움직임 벡터를 계산하고 칼만 필터를 통해 영상 손실을 줄이면서 영상의 이동과 떨림 안정화를 개선한 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통해 제안 기법이 기존 알고리즘보다 2~3dB 성능이 개선됨을 확인 하였고 손실률도 평균 26% 개선됨을 확인하였다. 또한 실시간 처리 성능을 만족시키기 위해 Xilinx Zynq-7000

AP SoC ZC702 플랫폼에서 병목지점인 소벨 에지 알고리즘을 HLS를 사용하여 고속화 하였고, 초당 약 32프레임을 처리하여 실시간 처리가 가능함을 확인하였다.

References

- [1] S. Lew, W.J. Lee, H.C., Kang “A Study on an Image Stabilization for Car Vision System,” Journal of the Korea Institute of Information And Communication Engineering, Vol. 15, No. 4, pp. 957-964, 2011 (in Korean).
- [2] W. Yang, Z. Zhang, Y. Zhang, X. Lu, J. Li, Z. Shi, “A Real-time Gray Projection Algorithm for Electronic Image Stabilization,” Proceedings of SPIE International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging, Vol. 8193, pp. 81932G, 2011.
- [3] J. Kim, “Electronic Image Stabilization for Portable Thermal Image Camera,” Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 19, No. 3, pp. 288-293, 2016 (in Korean).
- [4] C.H. Park, “Using Motion Estimation Video Stabilization for Thermal Imaginary Video,” Incheon National University Graduate School, 2015 (in Korean).
- [5] J.N. Kim, T.S. Choi, “A Fast Three-step Search Algorithm With Minimum Checking Points Using Unimodal Error Surface Assumption,” IEEE Transactions on consumer Electronics, Vol. 44, No. 3, pp. 638-648, 1998.
- [6] P. Coussy, A. Morawiec, High-level Synthesis, Springer, 2010.

Hyun Choi (최 현)

He is received B.S. degree from the department of Embedded Systems Engineering, Incheon National University, Korea, in 2016.

Email: guswk0816@inu.ac.kr

Young-Min Kim (김 영 민)

He is received B.S. and M.S. degrees from the department of Embedded Systems Engineering, Incheon National University, Korea, in 2011, and 2013. He is

currently working at eosystem Co., Ltd.

Email: ym.kim@eosystem.com

Seok-Hoon Kang (강 석 훈)

He is an professor with the department of Embedded Systems Engineering, in Incheon National University.

He received B.S, M.S, and Ph.D. degrees from

the department of Electronics Engineering, Hanyang University, Korea, in 1989, 1991, and 1995, respectively.

Email: hana@inu.ac.kr

Joong-Hwee Cho (조 중 휘)

He is an professor with the department of Embedded Systems Engineering, in Incheon National University.

He received B.S, M.S, and Ph.D. degrees from

the department of Electronics Engineering, Hanyang University, Korea, in 1981, 1983, and 1986, respectively.

Email: joonghwee.cho@gmail.com