JANT 한국항행학회논문지
Journal of Advanced Navigation Technology

응용 및 융합 기술

J. Adv. Navig. Technol. 21(5): 485-490, Oct. 2017

그래픽 프로세서를 이용한 병렬연산 기반 해무 제거 고속화

Acceleration for Removing Sea-fog using Graphic Processors and Parallel Processing

김 영 두[1] · 곽 재 민[1] · 서 영 호[2] · 최 현 준[1*]
[1]목포해양대학교 해양전자·통신·컴퓨터공학과
[2]광운대학교 교양학부

Young-doo Kim[1] · Jae-min Kwak[1] · Young-ho Seo[2] · Hyun-jun Choi[1*]

[1]Department of Marine Electronic, Communication and Computer Engineering, Mokpo Maritime University, Jeollanam-do, 58628, Korea
[2]Ingenium College of Liberal Arts, Kwangwoon University, Seoul, 01879, Korea

[요 약]

본 논문에서는 그래픽 프로세서를 이용하여 고속으로 해무를 제거하는 기술을 제안한다. 이 기술은 호스트 프로세서(CPU)와 병렬처리가 가능한 여러 개의 그래픽 프로세서를 이용하여 입력영상에서 해무를 제거하는 것이다. 해무를 제거하는 과정 중에서 다크 채널 추출, 최대 밝기 채널 추출, 전달량 계산은 호스트 프로세서에서 수행하고, 양방향 필터를 적용하여 전달량을 정제하는 과정을 그래픽 프로세서를 기반으로 병렬처리하여 연산속도를 높였다. 제안한 병렬처리 기법의 검증을 위해 NVIDIA사의 GTX 1070 GPU를 3개를 사용하여 검증환경을 구성하였다. 구현결과 하나의 그래픽 프로세서로 구현하였을 때는 평균 140ms가 소요되고, OpenMP와 다중 GPGPU를 이용하여 구현하였을 때 26ms 소요되었다. 본 논문에서 제안하는 그래픽 프로세서 기반의 병렬연산 해무제거 기술은 선박의 안전항해, 항만 관제 분야에 사용될 수 있을 것이다.

[Abstract]

In this paper, we propose a technique for high speed removal of sea-fog using a graphic processor. This technique uses a host processor(CPU) and several graphics processors(GPU) capable of parallel processing to remove sea-fog from the input image. In the process of removing sea-fog, the dark channel extraction, the maximum brightness channel extraction, and the calculation of the transmission are performed by the host processor, and the process of refining the transmission by applying the bidirectional filter is performed in parallel through the graphic processor. To verify the proposed parallel processing method, three NVIDIA GTX 1070 GPUs were used to construct the verification environment. As a result, it takes about 140ms when implemented with one graphics processor, and 26ms when implemented using OpenMP and multiple GPGPUs. The proposed a parallel processing algorithm based on the graphics processor unit can be used for safe navigation, port control and monitoring system.

Key word : Sea-fog remove, Graphic processor, Parallel processing, OpenMP, Safe navigation.

https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.5.485

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(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.

Received 8 August 2017; **Revised** 25 August 2017
Accepted (Publication) 25 September 2017 (30 October 2017)

***Corresponding Author; Hyun-jun Choi**

Tel: +82-61-240-7273
E-mail: hjchoi@mmu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

연안 해상에는 수많은 중소형 선박들이 운항하기 때문에 해무가 발생하는 경우 운항요원들의 전방 견시를 위한 시야가 확보되지 않아 선박 간 충돌사고가 발생할 가능성이 높다[1].

특히, 새벽과 일출 전·후의 시간대에 연안에서 주로 해무가 발생하고 있어, 이 시간대에 연안을 항해하는 선박들의 운항에 영향을 미치고 있다. 즉, 연안 해역의 경우 수 많은 섬과 인근 항만 출입항 선박으로 인한 교차지점이 많아 해상교통이 매우 혼잡한 실정이다. 최근 기상 이변의 영향으로 해무가 자주 발생하여 운항 선박들의 항해위험도가 증가하고 있다[2]. 더욱이, 기상 온난화 현상으로 계절에 관계없이 빈번히 발생하는 해무로 인한 선박 충돌, 좌초 등의 안전사고가 우려되고 있다.

최근 연안에서 발생하는 상선에 의한 해양사고는 점차 감소하는 경향을 보이고 있으나, 어선의 경우는 반대로 증가하는 추세를 보이고 있다. 서해와 남해 영해에서 발생한 충돌사고 중 어선관련 충돌사고(어선간, 어선-상선간 충돌)가 대부분을 차지하고 있고, 인명피해 역시 어선과 같은 중소형 선박에서 대부분 발생하고 있다[2].

그러나 연안에서 가장 빈번하게 일어나고 있는 해양사고는 근접거리 물체에 대한 레이더의 검출 불능에 따른 충돌사고로 운항자의 실수가 충돌 원인에서 차지하는 비중이 크다. 또한, 사고가 발생한 선종의 경우 중소형 어선이 가장 많았다. 사고의 원인으로는 운항 부주의, 정비 불량 등으로 보고되고 있다. 즉, 선박 운항 관계자들이 느끼는 위해요소를 파악하는 이전의 연구보고를 보면 어선의 불법어로와 통신장비가 미 탑재된 선박으로 인한 사고의 위험이 높은 것으로 보고되고 있다. 따라서 해무에 의해 전방시야가 저하된 경우 운항 중인 선박의 안전항해를 위해서는 당직사관의 전방 시각정보가 매우 중요하다.

상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 정부 당국에서 연안에 레이더와 선박자동위치추적시스템(AIS; automatic identification system)에 의한 안전관리체제를 확대하고 있다. 또한, 해무가 발생하기 전에 예측하는 기술 혹은 발생한 해무를 감시하는 모니터링 기술 등이 많이 연구되고 있다[2,3].

국외에서는 선박용 항해 관측 장비에 대한 연구와 관심이 늘어나고 있다. 일본에서 최근 RADAR의 자동충돌예방장치(ARPA; automatic radar plotting aids) 정보를 이용한 관측 장비에 대한 개발이 이루어지고 있다. 또한, 국제해사기구(IMO; international maritime organization,)의 E-Navigation의 전략이행계획에 따르면 안전항해를 위한 항해상황인식의 중요성이 크게 강조되고 있다.

그러나 현 단계의 항해상황은 레이더, ARPA 및 AIS에 추가하여 시각적 견시도구로서 쌍안경에 의존하고 있다. 또한, 상기와 같은 선박용 항해 관측 장비나 충돌회피 시스템 등은 고가의 장비이기 때문에, 어선과 같은 중소형 선박에는 장착하기 어렵다는 문제점이 있다. 연안에서 잦은 조업으로 선박충돌사고의 대부분을 차지하고 있는 소형 어선들에도 쉽게 설치하여, 사고비율을 낮출 수 있는 기술이 절실하다.

이를 위해, 선박에 카메라 등을 설치하여 선박의 항해 방향을 촬영하고, 촬영된 영상에서 해무를 제거하여 운항요원들에게 적절한 형태의 영상정보로 제공할 수 있다면 충돌 위험 등을 사전에 인식할 수 있을 것이다. 이와 같은 기술이 선박에 실제로 적용되기 위해서는 촬영된 영상으로부터 실시간으로 해무 성분을 제거하여 운항요원들에게 제공하는 기술이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 해무영상으로부터 실시간으로 해무를 제거할 수 있는 GPU(graphic processor unit) 기반의 병렬처리 기술을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 해무제거기술에 대하여 소개하고, 3장에서 제안하는 해무제거 병렬처리 기술을 소개한다. 4장에서 실험결과를 보이고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 해무제거 기술

그림 1과 같이 해무제거 대상이 되는 영상은 선박 혹은 항만 등에 설치된 카메라에 의해 촬영된 영상이다[2]. 이때, 해상이나 연안 인근의 영상은 해무, 연기, 황사 등 대기 중에 존재하는 미세한 입자들로 인해 빛의 산란 현상이 발생한다. 빛의 산란이란 빛이 공기 중의 입자들과 충돌하여 진행방향이 바뀌는 것이다. 이러한 다양한 날씨에도 영상 처리 기술 적용을 위해 깨끗한 영상을 얻기 위한 연구가 진행되고 있다[3,4]. 특히, 잘 알려진 DCP(dark channel prior) 알고리즘[5]은 해무가 없는 영상에서는 일정 구역 내에 항상 '0'에 가까운 밝기를 가지는 화소 값이 존재한다는 확률을 기반으로 한다. 해무가 짙은 영역일수록 일정 구역 내에 존재하는 가장 어두운 화소가 밝아진다는 성질을 이용하여 전달량을 구하고 이를 통해 영상을 복원한다.

해무가 낀 영상은 Narsimhan이 처음 제안한 알고리즘[3]에서 모델링 되었고, 아래의 수식 (1)과 같이 표현된다.

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \tag{1}$$

여기서 I(x)는 입력된 영상, A는 해무의 밝기 정도를 나타내며, t(x)는 전달량으로 빛이 산란되지 않고 카메라까지 도달된 정도를 나타낸다. J(x)는 연무가 제거된 영상의 밝기 값이다. x는 화소의 위치를 나타낸다.

그림 2에서 해무가 발생한 상황에서 촬영한 영상과 이 영상을 대상으로 DCP 알고리즘을 적용하여 해무를 제거한 영상의 예를 보이고 있다. 그림 2에서 보이고 있는 예제영상의 해상도는 700×459 [pixel^2]로 비교적 낮은 해상도의 영상이다. 하지만, 일반적인 PC 환경에서 DCP 알고리즘을 수행할 경우, 해무를 제거하는데 약 10초 내외의 연산시간이 소요된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 GPU를 이용한 병렬처리 기법을 제안한다.

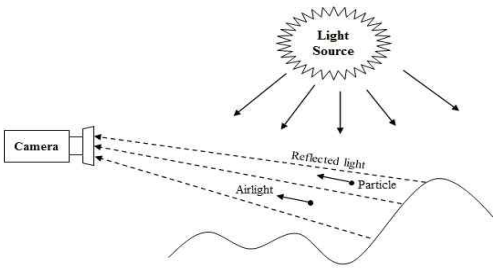
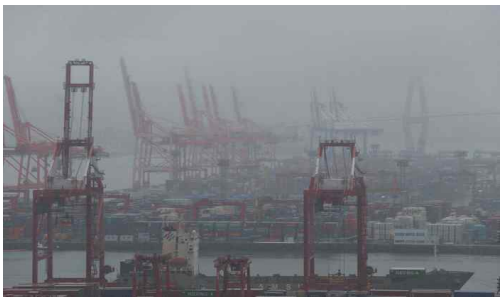


그림 1. 해무영상 획득
Fig. 1. Acquisition of sea-fog image.



(a)

(b)

그림 2. 해무제거의 예; (a) 해무영상, (b) 해무제거 영상
Fig. 2. Example image; (a) sea-fog image, (b) sea-fog removing result.

Ⅲ. 제안하는 해무제거 병렬처리 기술

그림 3에서는 DCP 알고리즘의 전체적인 동작순서를 보이고 있다. 그림 3과 같이 본 논문에서 제안하는 그래픽 프로세서를 이용한 병렬연산 기반 해무 제거 기법은 입력영상에서 다크 채널(dark channel)을 검색하는 단계, 다크 채널에서 최대 밝기 채널을 검색하는 단계, 입력영상을 정규화하고 정규화된 영상에서 다크 채널을 재검색하는 단계, 재검색된 다크 채널을 이용하여 전달량을 계산하는 단계, 양방향 필터를 이용하여 전달량을 정제 및 반복하는 단계 및 전달량을 이용하여 해무를 제거한 영상으로 복원하는 단계로 구성된다.

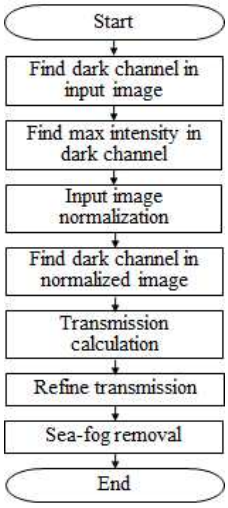


그림 3. 해무제거 연산의 전체적인 순서
Fig. 3. Whole procedure of seg-fog algorithm.

표 1에서는 그림 3에서 설명한 해무 제거 기법의 각 단계별 수행시간을 측정하여 나타내었다. 전달량 반복 정제 단계(Level 4, refine transmission)은 양방향 필터(bi-lateral filter)를 이용하고 반복적인 연산이 수행된다. 따라서 표 1과 같이 다른 단계들에 비하여 많은 수행시간을 필요로 한다. 본 논문에서는 이 전달량 정제 연산을 다중 그래픽 프로세서(multi-GPU)를 사용하여 병렬 프로그래밍하여 연산속도를 높이는 기술을 제안한다.

3-1 단일 GPU를 이용한 구현

그림 4는 단일 GPU를 이용할 때 호스트(CPU)와 디바이스(GPU)의 타이밍도를 나타내었다. GPU를 이용하기 위해서 호스트에서는 표 1의 1~3 단계를 거쳐 나온 전달량 데이터를 GPU내의 글로벌 메모리(global memory)로 복사를 해야 한다. 복사된 전달량을 양방향 필터를 이용하여 반복 정제 과정을 GPU에서 수행한 후 결과를 GPU내의 글로벌 메모리로 저장한다. 글로벌 메모리에 저장된 결과를 다시 호스트로 복사한 후 5단계 과정인 해무 제거를 수행한다. 그림 4에서는 표 1의 1~3단계를 Pre-processing으로 나타내었고 4단계를 bi-lateral filter, 5단계를 Post-processing으로 나타내었다[7].

표 1. 각 단계별 연산시간
Table 1. CPU time of each function.

Level	Function	CPU time [ms]
1	Find dark channel	1
2	Find max intensity	4
3	Find dark channel & transmission calculation (normalized image)	2
4	Refine transmission	5,000
5	Sea-fog removal	5

그림 4의 기법에서 호스트는 GPU의 연산이 종료되고 데이터 복사가 완료 될 때까지 전혀 동작하지 않고 기다려야한다. 이런 상황은 매우 비효율적이다. 따라서 그림 5와 같이 비동기 실행을 통하여 GPU 연산중 다음 프레임에 pre-processing을 동시에 실행하는 기법을 제안한다. 이 기법은 첫 프레임의 GPU 동작은 계산된 결과가 없기 때문에 동기화 시키지 않고 다음 두 번째 프레임의 전처리 과정을 수행한 후 두 번째 프레임이 GPU 동작을 수행 전에 동기화하여 호스트로 데이터를 복사한다. 이후 두 번째 프레임이 GPU 연산을 수행하는 동안 첫 프레임의 후처리 과정과 세 번째 프레임의 전처리 과정을 호스트에서 수행한다. 이와 같이 비동기 실행을 통하여 호스트에서 대기하는 시간을 줄일 수 있다.

3-2 다중 GPU를 이용한 구현

그림 6은 다중 GPU를 이용한 구현 방법을 보이고 있다[8]. 다중 GPU를 이용하기 위하여 앞서 설명한 비동기 실행과정을 kernel load, synchronous로 분할하였다. 또한 OpenMP를 이용하여 호스트에서도 쓰레드를 분할하여 병렬 처리를 수행하도록 하였다. 호스트의 첫 번째 쓰레드에서는 각 프레임의 전처리 과정 후에 디바이스 순서대로 데이터를 전송한 후 비동기식 실행을 시작한다. 두 번째 쓰레드는 GPU의 순서대로 동기식 동작을 수행하며 동기화가 완료되면 후처리과정 후에 다음 GPU의 동기화 동작을 수행한다. 그림 7에서는 그림 6에서 설명한 연산 수행 절차를 타이밍도로 나타내었다.

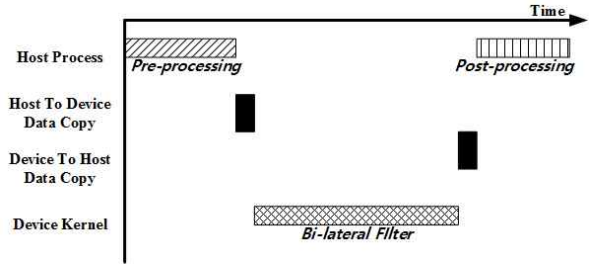


그림 4. 단일 GPU를 이용한 타이밍도
Fig. 4. Timing diagram using one GPU.

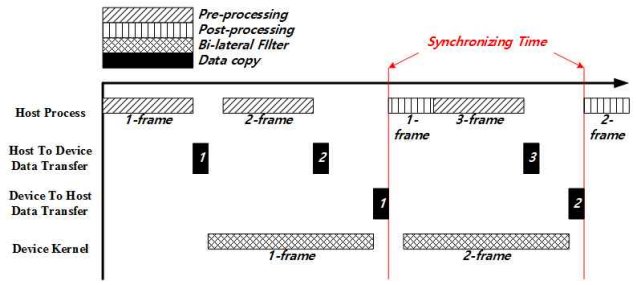


그림 5. 비동기 실행
Fig. 5. Asynchronous operation.

Ⅳ. 실험 결과

본 논문에서 제안한 다중 GPU를 이용한 고속 해무제거 기술을 검증하기 위해 그림 8과 같은 실험영상들을 이용하여 연산시간을 측정하였다. 실험영상은 신속한 동작속도 측정을 위해 480×270 [pixel^2] 해상도의 컬러영상을 사용하였다.

실험을 위한 환경구축은 그림 9와 같다. OS는 윈도우 10(64-bit), CPU는 Intel i7-6700 3.4 GHz, 32 GB 메모리를 사용하였고, GPU는 NVIDIA사의 GeForce GTX 1070을 사용하였다.

표 2에서는 실험영상을 대상으로 각 5회씩 연산속도를 측정한 결과를 보이고 있다. 표 2에서 확인할 수 있듯이 연산속도는 프로그램을 실행할 때마다 다소 차이가 있지만, 평균 26.5 ms로 측정되어 이전 연구결과[6]에 비해 약 2.6배 향상되었다. 이전 연구의 경우 실험영상의 해상도가 320×240 [pixel^2]으로 본 논문의 실험영상보다 더 낮은 해상도의 영상이 사용되었지만, 평균 연산속도는 약 82 ms를 보였다. 그림 8과 표 2를 함께 살펴보면, 영상의 복잡도가 높고, 영상 내의 명암 대비가 클수록 연산시간이 길어지는 것을 확인할 수 있다. 향후 이와 같은 특성을 이용하여 연산시간을 좀 더 단축할 수 있는 기술개발도 가능할 것으로 보인다.

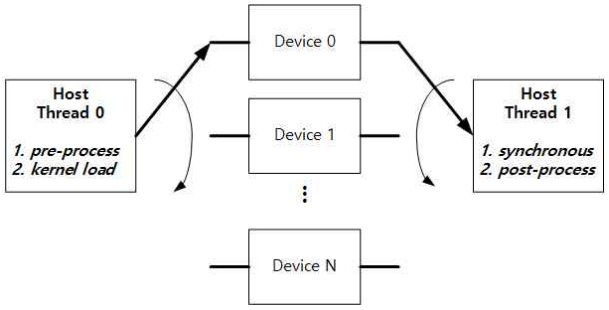


그림 6. OpenMP와 Multi-GPU를 이용한 구현
Fig. 6. Implementation using OpenMP and Multi-GPU.

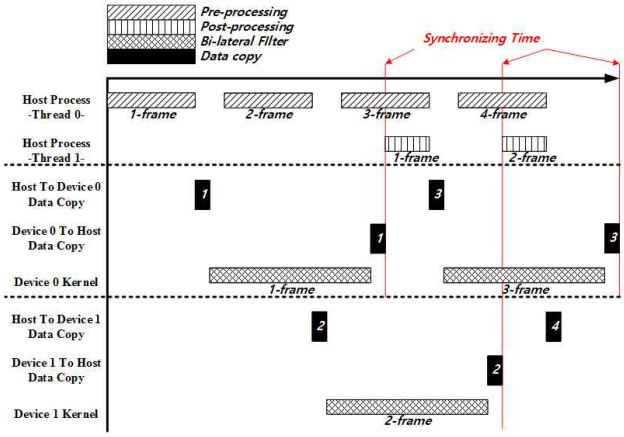
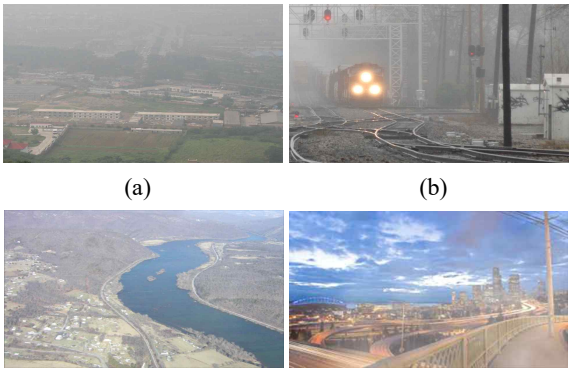


그림 7. 그림 6의 타이밍도
Fig. 7. Timing diagram of Fig. 6.



(a) (b)

(c) (d)

그림 8. 실험 영상; (a) park, (b) train, (c) river, (d) city
Fig. 8. Test images; (a) park, (b) train, (c) river, (d) city.

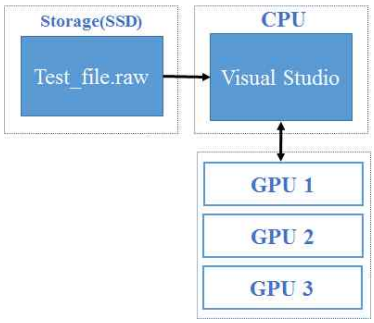


그림 9. 실험 환경
Fig. 9. Test environment.

표 2. 실험결과
Table 2. Test results.

Image	# of times	CPU Time [ms]	
park	1	15	23.0
	2	20	
	3	25	
	4	29	
	5	26	
train	1	27	27.2
	2	27	
	3	27	
	4	28	
	5	27	
river	1	28	27.4
	2	26	
	3	28	
	4	27	
	5	28	
city	1	29	28.4
	2	26	
	3	27	
	4	33	
	5	27	
Average CPU tim	26.5		

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 연안을 항해하는 선박이나 항만 등의 해상안전 및 보안을 위한 시스템에 적용될 수 있는 고속 해무제거 기술을 제안하였다. 이 기술은 기존 해무제거 기술이 가지고 있던 과도한 연산시간이 소요되는 문제점을 다수의 GPU를 이용한 병렬처리 기법을 이용하여 개선한 것이다. 제안한 기술을 3개의 다중 GPU를 이용하여 구현한 결과 이전연구에 비해 약 2.6배 정도 연산속도가 증가한 것을 확인할 수 있었다.

향후 본 논문에서 제안한 기술은 해양 항만 관제 시스템, 운항 선박의 블랙박스 및 항로 모니터링 시스템 등에 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

Acknowledgments

이 논문은 2016년 전라남도와 전남테크노파크의 지역수요맞춤형연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

References

[1] National Metrics Framework [Internet]. Available: http://www.index.go.kr.

[2] W. S. Choi, “Image based real time sea fog removal technology for safe navigation of coast sailing,” M.S dissertation, Mokpo Maritime University, Mokpo, KR, 2016.

[3] S. G. Narasimhan, and S. K. Nayar, “Contrast restoration of weather degraded images,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* Vol. 9, no. 6, pp. 713-724, June 2003.

[4] S. H. Kim and G. Y. Hong, “Performance Improvement of Aerial Images Taken by UAV Using Daubechies Stationary Wavelet,” *Journal of Advanced Navigation Technology,* Vol. 20, no. 6, pp. 539-543, Dec. 2016.

[5] C. Tomasi, R. Manduchi, “Bilateral filtering for gray and color images,” in *Proceeding of the Sixth International Conference on Computer Vision* , India: IN pp. 839-846, Jan. 1998.

[6] W. S. Choi, Y. H. Lee, Y. H. Seo, and H. J. Choi, “Digital image based real-time sea fog removal technique using GPU,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering,* Vol. 20, no. 12, pp. 2355-2362, Dec. 2016.

[7] Y. H. Lee, E. S. Kim, Y. H. Seo, G. C. Kim, and H. J. Choi, “Accelerated Dehazing Technique using GPGPU,” in *Proceedings of the Korean Society of Marine Environment & Safety Conference*, Mokpo: KR, p. 263, 2017.

[8] E. S. Kim, Y. H. Lee, Y. H. Seo, and H. J. Choi, “Sea-fog Dehazing technique base on GPU for CCTV monitoring

and controlling system," in *Proceedings of the Korea Contents Association Conference,* Daejeon: KR, pp. 459-460, 2017.

김 영 두 (Young-Doo Kim)
2000년 2월 : 목포해양대학교 대학원 (공학석사)
2000년 8월 ~ 현재 : 미르텍(주) 기술이사
2017년 3월 현재 : 목포해양대학교 대학원 박사과정
※관심분야 : 해양영상처리, CCTV 시스템

곽 재 민 (Jae-Min Kwak)
2002년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과(공학박사)
2002년 7월~2003년 7월 : 한국전자통신연구원 네트워크 연구소 (Post-doc.)
2003년 7월~2008년 2월 : 전자부품연구원 SoC 연구센터 책임연구원
2008년 3월~현재 : 목포해양대학교 해양정보통신공학과 부교수
※관심분야 : 디지털 통신 시스템, 유무선 통신신호처리

서 영 호 (Young-Ho Seo)
2004년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학박사)
2003년 ~ 2004년 : 한국전기연구원 연구원
2005년 ~ 2008년 : 한성대학교 조교수
2008년 ~ 현재 : 광운대학교 인제니움학부대학 교수
※관심분야 : 실감미디어. 2D/3D영상 신호처리, 디지털 홀로그램

최 현 준 (Hyun-Jun Choi)
2009년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학박사)
2010년 3월 ~ 2011년 8월 : 안양대학교 정보통신공학과 조교수
2015년 1월 ~ 2016년 2월 : 네브라스카주립대(UNO) 방문교수
2011년 8월 ~ 현재 : 목포해양대학교 전자공학과 부교수
※관심분야 : 하이브리드(디지털/광) 영상신호처리, 디지털 회로(FPGA/ASIC) 설계