

# 스마트 시티 환경에서 대규모 영상 모니터링을 위한 IP 비디오 월 시스템의 설계 및 구현

양선진<sup>1\*</sup>, 박재표<sup>2</sup>, 양승민<sup>1</sup>

<sup>1</sup>송실대학교 컴퓨터학과, <sup>2</sup>송실대학교 정보과학대학원

## Design and Implementation of IP Video Wall System for Large-scale Video Monitoring in Smart City Environments

Sun-Jin Yang<sup>1\*</sup>, Jae-Pyo Park<sup>2</sup>, Seung-Min Yang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Computing, Soongsil University

<sup>2</sup>Graduated School of Information Sciences, Soongsil University

**요약** 일반적인 비디오 월 시스템과 달리 스마트 시티 환경에서 통합 모니터링에 사용하는 비디오 월 시스템은 다양하고 많은 영상과 이미지, 텍스트를 동시에 표시할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 동시에 모니터링 가능한 영상 개수에 제한이 없고 모니터 화면 배치를 제약 없이 구성할 수 있는 IP 기반 비디오 월 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 다수의 디스플레이 서버와 월 제어기, 영상 공급 장치로 구성되어 IP 네트워크를 통해 서로 통신한다. 디스플레이 서버는 영상 공급 장치로부터 직접 영상 스트림을 수신하고 디코딩한 후 장착된 모니터 화면에 표출하기 때문에 비디오 월 전체 화면에 더 많은 영상을 동시에 표시할 수 있다. 한 영상을 복수의 디스플레이 서버에 장착된 여러 화면에 걸쳐 표시할 때는 한 디스플레이 서버만 영상 스트림을 수신해서 IP 멀티캐스트 통신을 이용해 다른 디스플레이 서버에게 전달하는 방식을 이용해 네트워크 부하를 줄이고 영상 프레임 동기화한다. 실험 결과, 영상 개수가 증가함에 따라 더 많은 수의 디스플레이 서버로 구성된 시스템이 더 나은 디코딩과 렌더링 성능을 보이고 디스플레이 서버를 계속 확장해도 성능 저하가 없음을 확인했다.

**Abstract** Unlike a typical video wall system, video wall systems used for integrated monitoring in smart city environments should be able to display various videos, images, and texts simultaneously. In this paper, we propose an Internet Protocol (IP)-based video wall system that has no limit on the number of videos that can be monitored simultaneously, and that can arrange the monitor screen layout without restrictions. The proposed system is composed of multiple display servers, a wall controller, and video source providers, and they communicate with each other through an IP network. Since the display server receives and decodes the video stream directly from the video source devices, and displays it on the attached monitor screens, more videos can be simultaneously displayed on the entire video wall. When one video is displayed over several screens attached to multiple display servers, only one display server receives the video stream and transmits it to the other display servers by using IP multicast communications, thereby reducing the network load and synchronizing the video frames. Experiments show that as the number of videos increases, a system consisting of more display servers shows better decoding and rendering performance, and there is no performance degradation, even if the display server continues to be expanded.

**Keywords** : CCTV, IP Camera, Monitoring System, Multicast, Video Wall

\*Corresponding Author : Sun-Jin Yang(Soongsil Univ.)

email: lethean@realtime.ssu.ac.kr

Received August 9, 2019

Accepted September 6, 2019

Revised September 4, 2019

Published September 30, 2019

## 1. 서론

스마트 시티 구축의 주요 관점은 효율적인 도시 통합 센터의 운영 및 통합 플랫폼이다. 이를 위해 각 도시 및 지자체별로 통합 관제센터를 운영한다[1,2]. 통합 관제센터에서 주로 사용하는 비디오 월 시스템은 영상과 이미지, 텍스트의 식별을 용이하게 하고, 다양한 정보를 한눈에 볼 수 있어야 한다.

본 논문에서는 모니터 화면 구성의 제약이 없고 동시 모니터링 가능한 영상 개수에 한계를 가지지 않는 IP 기반 비디오 월 시스템을 설계하고 구현한다. 제안하는 시스템은 복수의 디스플레이 서버에 연결된 모니터가 하나의 큰 비디오 월 화면을 구성하면서 영상 및 텍스트, 이미지를 표출한다. 월 제어기가 영상 정보를 디스플레이 서버에게 전달하면 디스플레이 서버가 직접 영상 공급 장치에 연결하여 수신한 영상 프레임을 디코딩하고 장착된 모니터 화면에 표출해서 비디오 서버를 추가적으로 구성할수록 비디오 월 전체 화면에 표출되는 영상의 개수도 늘어난다. 한 영상을 여러 화면에 걸쳐 표시할 때는 한 디스플레이 서버만 영상 스트림을 수신해서 IP 멀티캐스트 통신을 이용해 다른 디스플레이 서버에게 전달하여 네트워크 부하를 줄이고 영상 프레임 동기화를 수행한다.

본 논문의 구성은 2장에서 비디오 월과 관련 연구에 대해 살펴보고 3장에서는 제안하는 시스템을 설계한다. 4장에서 시스템 구현 및 실험을 검증하고, 5장에서 결론 및 향후 연구 방향을 기술한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 IP 비디오 월

IP 비디오 월 시스템은 다수의 상황판이나 대형 디스플레이 장치에 여러 영상을 동시에 자유롭게 재생하거나 표시할 수 있는 솔루션을 의미한다. 주로 IP 카메라로부터 전달되는 영상이나 IoT 장치로부터 전달된 메타데이터가 보안 및 컨트롤 룸에 적용되어 재난, 빌딩 관리, 아파트 단지 관리, 데이터 센터, 교통관제 시스템 등에 많이 사용된다[3,4]. 하지만 기존 비디오 월 시스템은 대부분 하나의 디스플레이 서버가 모든 인코딩된 영상을 복호화해서 연결된 다수 모니터에 표출하거나 다수의 렌더링 노드에게 전달해서 표출하는 방식이기 때문에[5,6] 하드웨어 사양으로 인해 동시에 많은 영상 스트림을 디코딩하고 표출하는데 제약이 있다.

### 2.2 CCTV 카메라 감시

CCTV 통합 관제 시스템은 원격지 현장으로부터 전송된 CCTV 카메라 영상을 중앙 관제센터에서 관리하기 위한 시스템으로 통신 회선 망을 기반으로 한 운용 컴퓨터와 관리 서버, 녹화 서버, 대용량 저장 장치와 상황 디스플레이 및 모니터링을 위한 통합 비디오 월로 구성된다. 전국적으로 각 지방 자치 단체들은 방범, 교통, 재난 감시, 쓰레기 무단 투기 감시등의 다양한 목적으로 400 ~ 600대 규모의 CCTV를 구축하고 이를 관리하기 위한 통합 관제센터를 구축하고 있다[7]. 게다가 최근 수년간 아날로그 CCTV가 고화질 CCTV로 전환되고 있다[8].

따라서 스마트 시티에 적용되는 통합 관제 센터는 자유롭게 확장 가능한 매트릭스 형태로 구성할 수 있어야 하고, 디스플레이 서버 추가만으로 모니터 화면 구성과 고화질 영상 스트림을 동시에 재생하는데 제약이 없어야 한다.

## 3. IP 비디오 월 시스템 설계

본 장에서는 제안하는 IP 비디오 월 시스템의 전체 구조와 각 구성 요소, 동작 방식을 설명한다.

### 3.1 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 IP 비디오 월 시스템은 디스플레이 서버와 월 제어기, 영상 공급 장치로 구성된다. 모든 구성 요소는 IP 네트워크를 통해 서로 연결되어 동작한다. (Fig. 1 참조)

IP 비디오 월 시스템에서 영상 스트림을 화면에 표시하는 전체 흐름은 Fig. 2와 같다. 월 제어기는 사용자가 선택한 IP 카메라 목록의 영상 소스 URI를 수집하고, IP 카메라 영상의 화면 좌표를 모니터 화면 배치(layout) 안에서 계산한다. 계산된 결과를 토대로 영상이 위치할 디스플레이 서버와 모니터 화면 목록을 추출하고, 각 모니터 화면에 표시할 소스 영역을 계산한다. 월 제어기는 디스플레이 서버에게 영상 객체 정보를 전달해서 객체 생성을 요청한다. 디스플레이 서버는 전달받은 영상 객체 정보를 이용해 화면에 렌더링 영역을 할당하고, 영상 소스에 지정된 영상 공급 장치에 ONVIF[9] 등과 같은 프로토콜을 이용해 영상 스트림 수신을 시작한다. 수신된 영상 프레임은 디코딩 후에 화면에 렌더링 된다. 마지막으로, 월 제어기가 영상 객체 제거를 요청하면 디스플레이

이 서버는 영상 공급 장치에 대한 연결을 해제하고 화면 렌더링 영역을 제거해서 영상 객체를 제거한다.

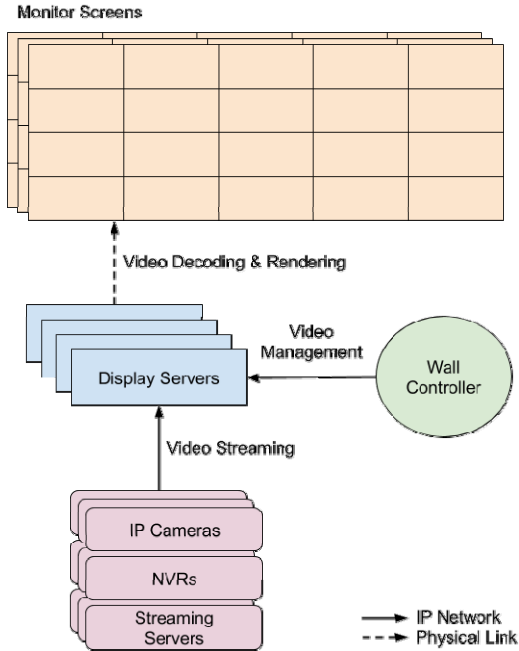


Fig. 1. IP Video Wall System Architecture

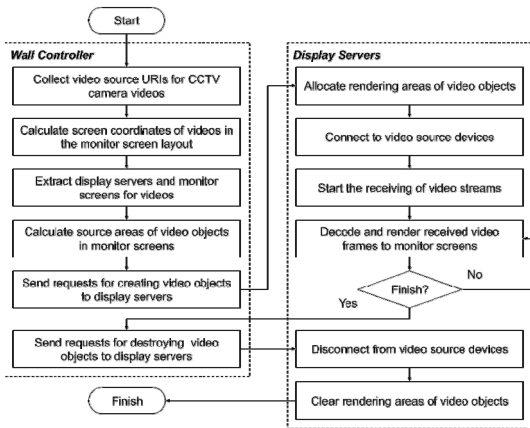


Fig. 2. Video Streaming Flow in IP Video Wall

본 논문에서 제안하는 IP 비디오 월 시스템은 모니터 화면 개수와 배치에 따라 제약 없이 복수의 디스플레이 서버를 배치할 수 있다. 디스플레이 서버는 할당된 IP 카메라 영상의 인코딩 프레임을 각각 직접 수신하고 디코딩해서 모니터 화면에 렌더링하기 때문에, 네트워크 대역

폭을 효율적으로 절약하고 대규모 영상을 동시에 여러 화면에 표시할 수 있다.

### 3.2 디스플레이 객체 관리

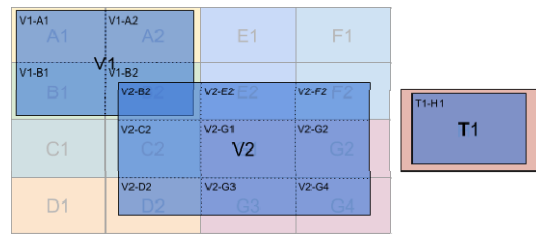
비디오 월 시스템은 여러 모니터 화면에 영상을 표시한다. 여러 모니터 화면이 전체 화면처럼 한 영상을 표시하거나 모니터 화면마다 각각 다른 영상을 표시하기도 하고, 한 모니터 화면에 여러 IP 카메라 영상을 표시할 수도 있다. 예를 들어 Fig. 3은 8대의 디스플레이 서버 (A~H)와 각각에 연결된 모니터 화면을 이용해 4x4+1 형태의 모니터 화면 배치를 나타낸다.



\* A~H: Display Servers  
\* 1~4: Monitor Screen Numbers

Fig. 3. Monitor Screen Layout

월 제어기는 모니터 화면 배치(monitor screen layout)를 통해 디스플레이 서버에 연결된 모니터 화면의 상대 좌표와 크기 정보를 구성해서 디스플레이 객체를 생성하는데 사용한다. 디스플레이 객체는 디스플레이 서버의 모니터 화면 안에 표시되는 객체를 의미한다.



\* Vn: Video, Tn: Text  
\* On-Sn: Display Objects

Fig. 4. Display Objects on Monitor Screen Layout

디스플레이 서버에서 디스플레이 객체는 여러 모니터 화면에 걸쳐서 존재할 수 없다. 월 제어기는 객체가 여러 모니터 화면에 걸쳐 있으면 화면마다 디스플레이 객체를 생성한다. 예를 들어, Fig. 4에서 V1 영상은 A1, A2, B1,

B2 모니터 화면에 속하기 때문에 V1-A1, V1-A2, V1-B1, V1-B2 4개의 영상 객체로 구성되어, 월 제어기는 A 서버에 V1-A1, V1-A2 영상 객체를 만들고 B 디스플레이 서버에 V1-B1, V1-B2 영상 객체를 만든다. 마찬가지로 V2 영상은 9개의 영상 객체로 구성되고, T1 텍스트는 1개의 텍스트 객체로 구성되어 해당 디스플레이 서버에게 각각 필요한 정보만 전달되어 객체가 생성된다.

### 3.3 영상 프레임 동기화

한 영상을 비디오 월 전체 화면이나 복수의 화면에 걸쳐서 표시하면 여러 디스플레이 서버가 각각 독립적으로 영상 공급 장치로부터 중복된 영상 프레임을 수신해서 디코딩하고 표시한다. 이로 인해 추가적인 네트워크 부하가 발생할 뿐 아니라 네트워크 패킷의 불규칙한 도착 순서로 인해 영상을 표시할 때 동기화가 안 되는 현상이 발생한다.

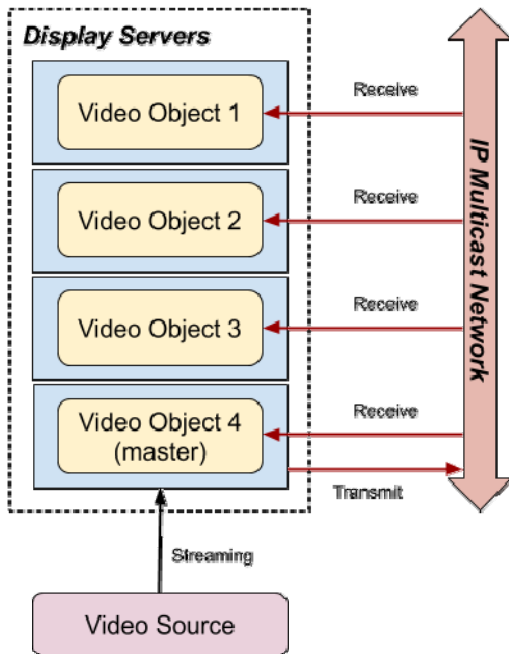


Fig. 5. Video Frame Synchronization in IP Video Wall

이 문제를 해결하기 위해 월 제어기는 한 영상을 구성하는 복수의 영상 객체를 생성할 때, 임의의 영상 프레임 동기화 ID 한 개를 생성해서 모든 구성 객체에게 할당하고, 마지막 영상 객체를 마스터로 지정한다. 모든 영상 객체가 생성되면 마스터로 지정된 영상 객체만 영상 스트

림을 수신하고, 영상 프레임은 동기화 ID와 타임스탬프를 포함한 패킷으로 변환되어 고정된 IP 멀티캐스트 주소로 전송된다. 모든 디스플레이 서버는 고정된 IP 멀티캐스트 주소에서 영상 프레임 패킷을 수신하지만, 패킷에 포함된 ID와 동일한 ID가 할당된 영상 객체에게만 프레임이 전달되고, 그 다음은 일반적인 영상 프레임처럼 디코딩해서 화면에 렌더링 한다. (Fig. 5 참고)

동일한 하드웨어 사양으로 구성된 모든 디스플레이 서버가 동시에 멀티캐스트 패킷을 수신해서 영상 프레임을 디코딩하고 렌더링 한다. 이 과정에서 약간의 시간차가 발생하지만 평균 모니터 수직 주사율 60Hz 범위 안에서 처리되기 때문에 사람의 눈으로는 감지하기 어렵다. 복수 모니터에서 완벽하게 영상 프레임을 동기화하려면 모니터의 수직 주사율 동기화(gen-lock)도 필요하지만 별도의 특수 하드웨어가 필요하므로 본 논문에서는 다루지 않는다[10].

## 4. 구현 및 실험

본 장에서는 제안한 IP 비디오 월 시스템의 디스플레이 서버와 월 제어기를 구현하고 성능 실험을 통해 확장성을 검증한다.

### 4.1 구현

디스플레이 서버는 특정 하드웨어에 종속되지 않는 구조로 설계되었지만, 본 논문에서는 GPU 가속 비디오 디코딩과 OpenGL을 이용하기 위해 GPU가 내장된 인텔 CPU가 탑재된 범용 PC 하드웨어 기반으로 구현했다.

디스플레이 서버 소프트웨어는 모니터 화면 관리 모듈과 비디오, 텍스트, 이미지 등의 디스플레이 객체를 OpenGL을 이용해 렌더링하고 관리하는 모듈, H.264 / H.265 영상 프레임을 디코딩하는 모듈, 네트워크 영상 소스에 접속해서 영상 스트리밍을 수신하는 모듈, IP 멀티캐스트 프로토콜을 이용한 영상 프레임 동기화 모듈, 시스템 설정 관리와 장치 검색 관련 모듈, 월 제어기와 통신을 위한 HTTP REST API 서버로 구성된다.

Fig. 6은 실제 동작 중인 IP 비디오 월 화면을 나타낸다. 총 8개의 모니터를 4x2 형태로 배치하고 4대의 디스플레이 서버에 각각 2개씩 연결했다. (a)는 디스플레이 객체가 하나도 없는 초기 실험 상태이고, (b)는 2개의 카메라 영상이 2x2 모니터 화면에 스케일링되어 표출되는 상태를 보여준다. (c)는 8개의 모니터 화면 별로 16개의

카메라 영상이 4x4 형태로 표출되어 총 128개의 카메라를 동시에 모니터링 하는 상태를 보여준다.



Fig. 6. IP Video Wall in Action  
 (a) Initial 4x2 monitor screens  
 (b) 2 videos in 2x2 scaling mode  
 (c) 16x8 videos in 8 monitor screens

#### 4.2 실험

IP 비디오 월 시스템의 확장성을 확인하기 위해 동시에 모니터링 하는 IP 카메라 영상 채널 개수와 이를 처리하는 디스플레이 서버 개수를 변경하면서 디코딩 / 렌더링 성능을 측정했다. 실험 영상은 H.264 코덱으로 인코딩된 Full HD (1920x1080) 해상도 30FPS 4Mbps CBR(constant bitrate)의 IP 카메라를 사용했다. 초당 프레임 수(FPS: Frames per Second, 이하 FPS)는 일정 시간 동안의 평균값을 측정하고 2대 이상의 디스플레이 서버로 구성된 시스템은 모든 서버의 FPS를 합산했다. 영상 채널 개수는 정확한 영상 분할 화면을 얻기 위한 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81 채널과 32, 64, 96, 128 채널을 사용했다. 실험에 사용한 하드웨어의 최대 사양이 약 960 FPS, 즉 32 채널이어서 비교점으로 적합하기 때문이다.

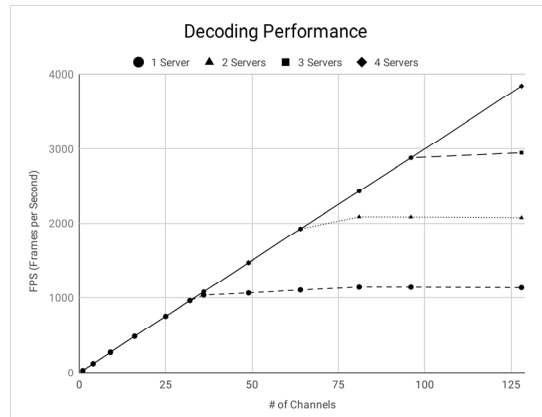


Fig. 7. Comparison of Decoding Performance

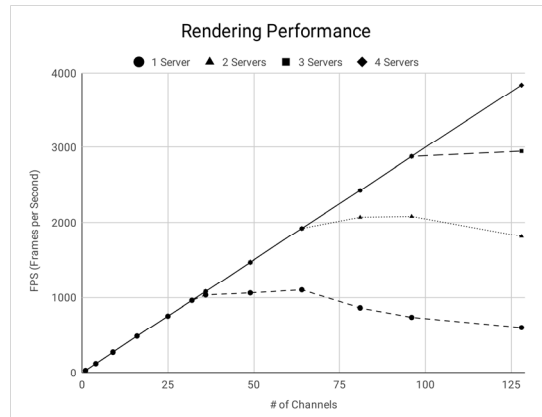


Fig. 8. Comparison of Rendering Performance

실험 결과는 디코딩 성능 비교 그래프(Fig. 7)와 렌더링 성능 비교 그래프(Fig. 8)에서 보이는 것처럼 영상 채널 개수가 증가할수록 더 많은 수의 디스플레이 서버로 구성된 시스템이 좋은 성능을 보인다. 영상 채널 개수가 디스플레이 서버의 최대 성능을 넘어가면 렌더링 성능이 저하되는 경향도 보이지만, 디스플레이 서버가 계속 확장되어도 성능 저하가 발생하지 않음을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 대규모 영상을 동시에 모니터링하는데 적합하고, 다양한 모니터 화면 배치를 제약 없이 구성할 수 있는 IP 비디오 월 시스템을 설계하고 구현했다. 또한 네트워크 부하를 최소화하면서 여러 모니터 화면에 걸쳐 표시되는 영상을 표출하기 위한 프레임 동기화 기법을

제시했다.

본 논문에서 설계한 디스플레이 서버와 월 제어기는 특정 하드웨어 사양에 의존하지 않는다. 이로 인해 다양한 하드웨어에 구현이 가능하고 더 다양한 환경에 확장이 가능하다.

향후에는 다수의 화면에서 영상을 표시할 때 사용한 영상 프레임 동기화 기법을 더 보강해야 한다. 영상 전환이 심하거나 빠른 움직임의 객체를 표출할 때 화면이 어긋나는 현상이 발생한다. 따라서 SoftGenLock[11] 같은 소프트웨어 기법으로 IP 네트워크로 연결된 디스플레이 서버들이 정확한 기준 클럭을 기준으로 수직 주사율(VSYNC) 동기화와 OpenGL 버퍼 스왑(SWAP) 동기화를 수행하기 위한 연구가 더 필요한 것으로 사료된다.

## References

[1] Han, Min-keying, Park, Hyson-ho, C. W. R. Webster, Robert Carr, "The practice of CCTV surveillance for crime prevention : Budgeting and placing open-street cameras in Korea", Korean Institute of Criminology, pp. 1-366, 2018.

[2] Minju Kim, Seunghyun Jung, "Current Trend of Smart City Service Application in Korea", Journal of the Korea Contents Association, vol. 19, no. 2, pp. 194-203, Feb. 2019.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2017.18.6.1135>

[3] Jeeing-Rae Cho, He-Sus Kim, Dow-Keel Chap, Sus-JAL Lim, "Smart CCTV Security Service in Riot(Internet of Things) Environment", Journal of Digital Contents Society, vol. 18, no. 6, pp. 1135-1142, Oct. 2017.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2017.18.6.1135>

[4] Chung, Yookyung, "Case Analysis of Multi Display and A Study on Management Interface", Journal of Korea Design Knowledge, vol. 18, pp. 180-189, Jun. 2011.

[5] N. Nirnimesh, P. Harish, and P. J. Narayanan, "Garuda: A Scalable Tiled Display Wall Using Commodity PCs," IEEE Trans. Vis. Comput. Graph., vol. 13, no. 5, pp. 864-877, 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2007.1049>

[6] Y. Chen, H. Chen, D. W. Clark, Z. Liu, G. Wallace, and K. Li, "Software environments for cluster-based display systems", Proceedings First IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, pp. 202-210, 2001.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/CCGRID.2001.923194>

[7] Soonduck Yoo, Daehyun Ryu, "A Study on the Promotion Method of Domestic Video Security Industry", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 17, no. 3, pp. 9-12, Jun. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.3.9>

[8] Dong-Su Lee, "Cost Analysis for the Reformation of CCTV Transmission Systems", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 23, no. 6, pp. 748-755, Jun. 2019.  
DOI: <http://doi.org/10.6109/ikiice.2019.23.6.748>

[9] Yu-Dong Hwang, Dong-Gue Park, "Design of OnVIF Based Secure Application Framework", The Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 15, no. 10, pp. 35-42, Dec. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.14801/ikiit.2017.15.10.35>

[10] S. Nam, S. Deshpande, V. Vishwanath, B. Jeong, L. Renambot, and J. Leigh, "Multi-application Inter-tile Synchronization on Ultra-high-resolution Display Walls", Proceedings of the First Annual ACM SIGMM Conference on Multimedia Systems, pp. 145-156, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1145/1730836.1730854>

[11] J. Allard, V. Gouranton, G. Lamarque, E. Melin, and B. Raffin, "SoftGenLock: Active Stereo and Genlock for PC Cluster", Proceedings of the Workshop on Virtual Environments 2003, pp. 255-260, 2003.  
DOI: <https://doi.org/10.1145/769953.769983>

### 양 선 진(Sun-Jin Yang)

[정회원]



- 2002년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학 석사)
- 2014년 8월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (박사 수료)

<관심분야>

실시간 시스템, 운영체제, 영상 보안

### 박 재 표(Jae-Pyo Park)

[총신회원]



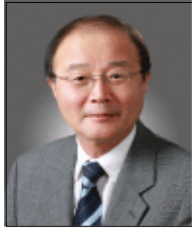
- 1998년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학박사)
- 2008년 3월 ~ 2009년 2월 : 숭실대학교 정보미디어 기술연구소 선임연구원
- 2010년 3월 ~ 현재 : 숭실대학교 정보과학대학원 교수

<관심분야>

컴퓨터 통신, 보안, 암호학, 멀티미디어 통신

양 승 민(Seung-Min Yang)

[정회원]



- 1983년 2월 : University of South Florida, Dept. of Computer Science (MS.)
- 1986년 8월 : University of South Florida, Dept. of Computer Science (Ph.D.)

- 1987년 3월 ~ 1991년 2월 : Profess in the Dept. of Computer Science, University of Texas at Arlington
- 1993년 3월 ~ 현재 : 숭실대학교 컴퓨터학부 교수

<관심분야>

실시간 시스템, 결합 허용, 운영체제