

연구실 소개

서울대학교 정보신호처리연구실

조남익 교수 / 서울대학교 전기정보공학부

요약

본고에서는 서울대학교 정보신호처리연구실, 영문명 ISPL(Intelligent Signal Processing Lab)을 소개하고, 향후 신호처리의 연구 방향을 전망해 본다. ISPL은 1999년 서울대학교 전기공학부에 설치하였고, 지금까지 34명의 박사 와 20명의 석사를 배출하였으며, 졸업생들은 현재 삼성전자, LG, 네이버, NCSoft, SK hynix, 삼성SDS, 한국생 산기술연구원, 한국전자기술연구원, KT, SAP, Apple, Meta AI, 한양대, 명지대, 아주대, 숭실대 등으로 진출하여 연구 활동을 하고 있다. 1장에서는 ISPL의 초기부터 현재까지의 연구 분야를 대략 세 단계로 나누어서 소개하고, 2장에서는 딥 러닝과 AI 시대에 신호처리의 역할과 연구 방향을 전망한다.

I. ISPL 연구 역사

ISPL에서 수행한 연구들은, <그림 1>에서 보는 바와 같이 초기(2000~2010)에는 주로 디지털 신호처리(DSP) 분야에서 통신 채널의 잡음제거용 필터, DSP 알고리즘, FFT, DCT, 디지털 필터링의 고속 구현을 연구하였고, 중기(2011~2015)에는 영상 화질 개선(image enhancement), 영상 잡음 제거(image denoising), 계산 영상(computational photography) 분야 중 실시간 파노라마 영상 합성과 고계조도 영상(high dynamic range imaging)에 대한 연구를 했으며, 2015년부터는 딥 러닝을 기반으로 이상에서 언급한 영상처리 분야를 연구하고 있고, 전 기간에 걸쳐서 영상/비디오 압축과 문서 영상 처리/인식을 수행해 오고 있다.

초기 연구들 중 언급할 만한 내용으로는, ISPL에서 수행한 잡음제거 연구의 목적이 통신 채널에서 반송파 신호를 추출하거나 방해파 신호를 제거할 목적이었고 이 분야에서 어느 정도 성공적이었는데, 그 이후 예상치 않았던 의료/생체신호 분야의 잡음 제거에 우리 연구가 많이 응용되는 것을 보고 통신용으로 사용하는 것보다 더 가치 있게 사용되고 있다는 생각에 보람을 느꼈던 것이다. 이를 통해서, 어느 연구를 하고 나서 매우 성공적이든 아니든 연관 분야를 더 넓게 살펴봐야 다양한 분야, 그리고 보다 사회에 도움이 되는 곳에 적용이 될 수 있는지를 더 적극적으로 찾아보고 있다.

중반에는 영상처리를 보다 적극적으로 연구하였고, 특히 스마트폰에서 실시간으로 동작하는 파노라마 합성, 카메라

2000~2010 통신/신호처리 고속 구현 오디오처리, 영상압축, 문서영상 처리					
통신채널/생체신호에서 방해신호 제거 알고리즘 [1,2,3]	디지털 필터 / FFT의 CORDIC 고속 구현 [4,5,6]	Multi-channel 오디오 캡처장치 [7,8]	영상/비디오 코딩 / Error-Resilient 코딩 [9,10,11]	문서영상 처리[12,13]	
2010~2015 계산 영상: 파노라마 영상, HDR 영상 영상압축 캡처장치					
스마트폰 기반 실시간 파노라마 영상 제작 [14,15]	영상압축[16,17]	문서영상 처리/합성 [18,19]	HDR 영상 생성 [20,21]	캡처장치[22,23]	
2016~현재 딥 러닝 기반의 영상 처리: 잡음 제거, super-resolution, HDR, 영상/비디오압축					
잡음제거[24,25]	고속 영상 검색 [26,27]	High Dynamic Range Imaging [28]	영상 압축[29,30]	Super-resolution [31,32]	

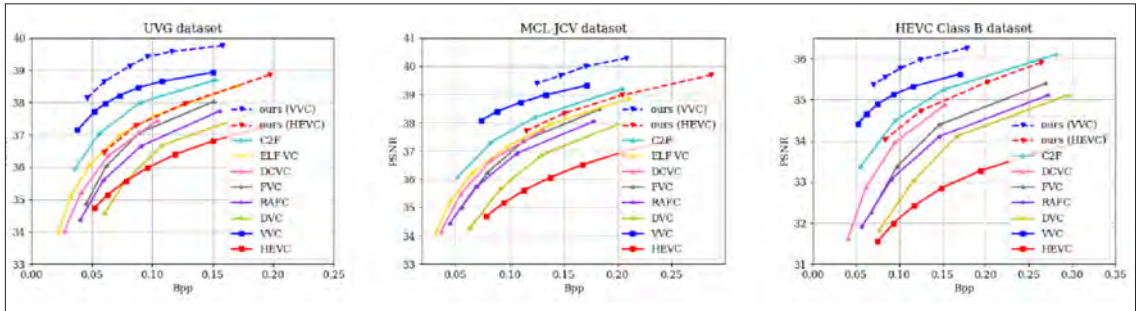
<그림 1> ISPL의 연구 역사

로 찍은 어려운 환경에서의 OCR, 화질 개선에 대한 연구를 하였다. 2015년 이후에는 초기부터 연구하고 있던 손실/무손실 영상 압축 연구와 함께, 중반부터 연구해 오고 있는 여러 가지 영상처리를 딥 러닝을 통하여 더욱 개선하는 연구들을 수행하고 있다. 기존의 딥 러닝을 활용하고, 영상처리에 맞는 새로운 딥 러닝 구조를 활용하면서, 잡음 제거, 영상 개선, 영상 압축문제에서 기존의 전통적인 신호처리를 이용하는 경우보다 수 dB 높은 우수한 성능들이 나와서 앞으로의 연구개발은 딥 러닝 방법으로 가야 함을 체험할 수 있었다.

II. 딥 러닝과 AI 시대의 신호처리 연구 방향

앞에서 언급한 바와 같이 딥 러닝을 활용하여 거의 모든 분야의 영상처리 성능을 높일 수 있지만, 이를 구현하기 위해서는 큰 전력소비와 하드웨어 비용/공간이 필요하여 실용화 단계에서 문제가 있음을 모든 연구개발자들이 공감하고 있다. 또한 딥 러닝을 주로 연구하는 사람들은 소위 “end-to-end” 구조를 선호하여, 완전히 신경망 구조로 시스템을 만드는 것이 깔끔하고 앞으로의 연구가 가야할 길이라 주장하지만, 복잡도나 구현 비용을 고려할 때 전통적인 방법들도 그동안 많은 이론과 노하우가 축적되어 온 것이므로 이를 함께 활용한 “하이브리드” 방식이 실용적인 방향이라 생각하며, ISPL에서는 앞으로 이러한 연구에 집중할 계획이다.

<그림 1>에서 언급한 모든 영상처리 분야에서 이러한 경향이 보이는데, 예를 들어 잡음 제거, HDR, 얼굴인식 등에서 전통적인 wavelet 피쳐와 신경망을 함께 활용함으로써 시스템을 더 간단하게 할 수 있고, DSP에서 오래전부터 연구되어 온 fixed-point 구현 기술을 이용하여 신경망을 더 가볍게 하고 있으며, 영상 압축 기술이 신경망의 피쳐를 간략화하여 효율을 높이고 있고, wavelet/DFT/DCT를 통한 주파수 영역에서의 딥 러닝이 학습 속도와 성능을 높이며, 동시에 최근의



<그림 2> 신경망으로만 구현한 비디오 압축 시스템과 HEVC/VVC 비교. 빨간색/파란색 실선: HEVC/VVC, 나머지 실선: end-to-end. 신경망, 점선: HEVC/VVC와 신경망의 하이브리드 구현

Transformer에 의한 전역 어텐션을 DFT로 대신할 수 있다는 연구도 보고되고 있다. 하이브리드 방식이 성능이 우수하고, 앞으로 갈 길임을 보이는 보다 구체적인 예로서, <그림 2>의 비디오 압축 성능의 예를 보도록 하겠다. <그림 2>에서 여러 가지 HEVC/VVC를 제외하 여러 가지 약어들이 최근까지 개발된 end-to-end 딥 러닝 구조에 의한 성능인데, 그림에서 보다시피 완전 신경망 구조들이 HEVC보다 살짝 앞서기는 하지만 아직 VVC 성능에는 한참 미치지 못함을 볼 수 있다.

III. 결론

여러가지 신호처리 분야에서 “End-to-End Deep Neural Network”의 성능이 전통적인 방법들의 성능을 크게 앞서고 있다. 그러나 실용적인 구현과 보다 높은 성능을 위하여 신경망과 기존의 기술과 노하우를 함께 사용하는 신호처리-신경망 하이브리드 방식이 여러 분야에서 필요하다는 연구도 많이 나오고 있다. 또한, 신경망 학습과 구현에 있어서 FFT를 활용한 고속 계산이 널리 사용되고 있어서 전통적인 신호처리 연구가 AI와 딥 러닝 시대의 연구개발에 있



<그림 3> ISPL 연구원 (2022년 7월 현재) 덕유산 MT

어서 중요한 근간을 이루고 있다. ISPL에서는 신경망 기반의 신호처리 연구를 위의 내용과 경향을 고려하여 지속적으로 연구할 것이며, 그동안 ISPL에서 신호처리의 기본을 잘 공부하고 연구개발 현장에 나간 졸업생들이 앞으로 AI와 딥러닝 시대에 필요한 영상/신호 연구를 위해서 많은 기여를 할 것으로 기대하고 있다. 마지막으로, 이상에서 소개한 연구를 수행해 왔고, 앞으로의 연구를 이끌어 나갈 ISPL 연구원들(<그림 3>)께 감사와 격려의 말씀을 드린다.

참 고 문 헌

- [1] Jun Won Choi, and Nam Ik Cho. "Suppression of narrow-band interference in DS-spread spectrum systems using adaptive IIR notch filter." *Signal Processing* 82.12 (2002): 2003-2013.
- [2] Jun Won Choi et al. "Improved linear soft-input soft-output detection via soft feedback successive interference cancellation." *IEEE Transactions on Communications* 58.3 (2010): 986-996.
- [3] Jun Won Choi et al. "Low-complexity decoding via reduced dimension maximum-likelihood search." *IEEE Transactions on Signal Processing* 58.3 (2009): 1780-1793.
- [4] Sang Yoon Park, and Nam Ik Cho. "Fixed-point error analysis of CORDIC processor based on the variance propagation formula." *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* 51.3 (2004): 573-584.
- [5] Sang Yoon Park et al. "Design of 2K/4K/8K-point FFT processor based on CORDIC algorithm in OFDM receiver." 2001 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (IEEE Cat. No. 01CH37233). Vol. 2. IEEE, 2001.
- [6] Sang Yoon Park, and Nam Ik Cho. "Design of multiplierless lattice QMF: Structure and algorithm development." *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs* 55.2 (2008): 173-177.
- [7] Gibak Kim, and Nam Ik Cho. "Voice activity detection using the phase vector in microphone array." Eighth Annual Conference of the International Speech Communication Association. 2007.
- [8] Gibak Kim, and Nam Ik Cho. "Frequency domain multi-channel noise reduction based on the spatial subspace decomposition and noise eigenvalue modification." *Speech communication* 50.5 (2008): 382-391.
- [9] Nam Ik Cho, and Sanjit K. Mitra. "Warped discrete cosine transform and its application in image compression." *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 10.8 (2000): 1364-1373.
- [10] Il Koo Kim, Nam Ik Cho, and Sanjit K. Mitra. "Rate-distortion optimization of the image compression algorithm based on the warped discrete cosine transform." *Signal processing* 83.9 (2003): 1919-1928.
- [11] Il Koo Kim, and Nam Ik Cho. "Error resilient video coding using optimal multiple description of DCT coefficients." *Proceedings 2003 International Conference on Image Processing (Cat. No. 03CH37429)*. Vol. 2. IEEE, 2003.
- [12] Hyung Il Koo, Jinho Kim, and Nam Ik Cho. "Composition of a dewarped and enhanced document image from two view images." *IEEE Transactions on Image Processing* 18.7 (2009): 1551-1562.
- [13] Hyung Il Koo, and Nam Ik Cho. "State estimation in a document image and its application in text block identification and text line extraction." *Computer Vision-ECCV 2010: 11th European Conference on Computer Vision, Heraklion, Crete, Greece, September 5-11, 2010, Proceedings, Part II* 11. Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [14] Kyoung-Ju Park et al. "Method for taking panorama mosaic photograph with a portable terminal." U.S. Patent No. 7,881,559. 1 Feb. 2011.

참 고 문 헌

- [15] Beom Su Kim, Sang Hwa Lee, and Nam Ik Cho. "Real-time panorama canvas of natural images." *IEEE transactions on consumer electronics* 57.4 (2011): 1961-1968.
- [16] Seyun Kim, and Nam Ik Cho. "Hierarchical prediction and context adaptive coding for lossless color image compression." *IEEE Transactions on image processing* 23.1 (2013): 445-449.
- [17] Seyun Kim, and Nam Ik Cho. "Lossless compression of color filter array images by hierarchical prediction and context modeling." *IEEE transactions on circuits and systems for video technology* 24.6 (2014): 1040-1046.
- [18] Jewoong Ryu, Hyung Il Koo, and Nam Ik Cho. "Language-independent text-line extraction algorithm for handwritten documents." *IEEE Signal processing letters* 21.9 (2014): 1115-1119.
- [19] Hyung Il Koo, and Nam Ik Cho. "Text-line extraction in handwritten Chinese documents based on an energy minimization framework." *IEEE Transactions on Image Processing* 21.3 (2011): 1169-1175.
- [20] Jaehyun An, Seong Jong Ha, and Nam Ik Cho. "Probabilistic motion pixel detection for the reduction of ghost artifacts in high dynamic range images from multiple exposures." *EURASIP Journal on Image and Video Processing* 2014 (2014): 1-15.
- [21] Jung Gap Kuk, Nam Ik Cho, and Sang Uk Lee. "High dynamic range (HDR) imaging by gradient domain fusion." 2011 *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. IEEE, 2011.
- [22] Bora Jin, Su Jeong You, and Nam Ik Cho. "Bilateral image denoising in the Laplacian subbands." *EURASIP Journal on Image and Video Processing* 2015 (2015): 1-12.
- [23] Su Jeong You, and Nam Ik Cho. "A new image denoising method based on the wavelet domain nonlocal means filtering." 2011 *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. IEEE, 2011.
- [24] Kim, Yoonsik, et al. "Transfer learning from synthetic to real-noise denoising with adaptive instance normalization." *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (CVPR)*. 2020.
- [25] Yeong Il Jang, Yoonsik Kim, and Nam Ik Cho. "Dual path denoising network for real photographic noise." *IEEE Signal Processing Letters* 27 (2020): 860-864.
- [26] Young Kyun Jang et al. "Deep hash distillation for image retrieval." *Computer Vision-ECCV 2022: 17th European Conference, Tel Aviv, Israel, October 23-27, 2022, Proceedings, Part XIV*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022.
- [27] Jang, Young Kyun, and Nam Ik Cho. "Self-supervised product quantization for deep unsupervised image retrieval." *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*. 2021.
- [28] Haesoo Chung, and Nam Ik Cho. "High dynamic range imaging of dynamic scenes with saturation compensation but without explicit motion compensation." *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision*. 2022.
- [29] Hochang Rhee et al. "LC-FDNet: Learned Lossless Image Compression with Frequency Decomposition Network." *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2022.
- [30] Hochang Rhee et al. "Channel-wise progressive learning for lossless image compression." 2020 *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. IEEE, 2020.
- [31] Jae Woong Soh, Sunwoo Cho, and Nam Ik Cho. "Meta-transfer learning for zero-shot super-resolution." *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2020.
- [32] Seung Ho Park, Young Su Moon, and Nam Ik Cho. "Perception-Oriented Single Image Super-Resolution using Optimal Objective Estimation." *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2023.

저 자 소 개



조 남 익

- 1994년 ~ 1998년 : 서울시립대학교 전자전기공학부 조교수
- 1999년 ~ 현재 : 서울대학교 전기전자공학부 조교수/부교수/교수
- 2011년 ~ 2013년 : 서울대학교 공과대학 연구지원소 소장
- 2015년 ~ 2017년 : 서울대학교 뉴미디어통신공동연구소 소장
- 2021년 ~ 현재 : APSIPA, Board of Governor
- 2022년 ~ 현재 : KBS 시청자위원회 위원
- 2023년 ~ 현재 : 한국방송·미디어공학회 회장
- 2023년 ~ 현재 : 국가과학기술자문회의(심의회의) ICT융합전문위원 위원장