

산업 (인공)지능 – 기회와 도전

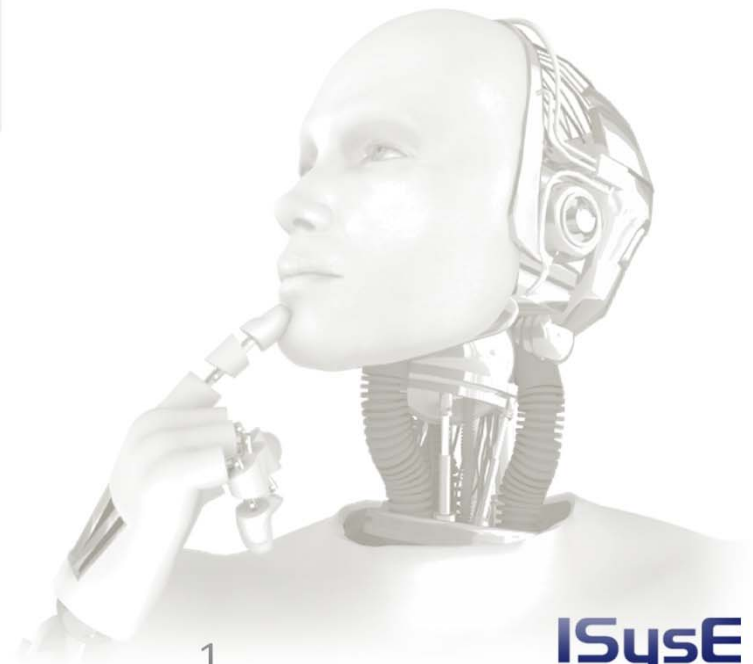
Industrial AI – Challenges & Opportunities

KAIST

장영재

산업 및 시스템 공학과

yjang@kaist.ac.kr



장영재

- 현 카이스트 산업 및 시스템 공학과 부교수
- 신성-카이스트 인공지능 자동화 시스템 연구센터 센터장
- 한국타이어-카이스트 디지털 미래 혁신 연구센터 센터장
- 학력
 - MIT 공대 기계 공학과 박사 (2007)
 - MIT 공대 경영과학과 석사 (2001)
 - MIT 공대 기계 공학과 석사 (1999)
 - 보스턴 대학교 항공우주공학과 학사 (1997)
- 대표 경력
 - 마이크론 테크놀로지 (Micron Technology) 미국 본사 프로젝트 매니저, 2007~2010
 - Computers and Industrial Engineering 저널 (SCIE) 부편집장 (Associate Editor), 2016~2020
 - IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 저널 (SCIE) 부편집장 (Associate Editor), 2019~2022
- 대표저서
 - 경영학콘서트
 - 인튜이션 (역)



SDM (JYJ) 연구실

- SDM.KAIST.AC.KR

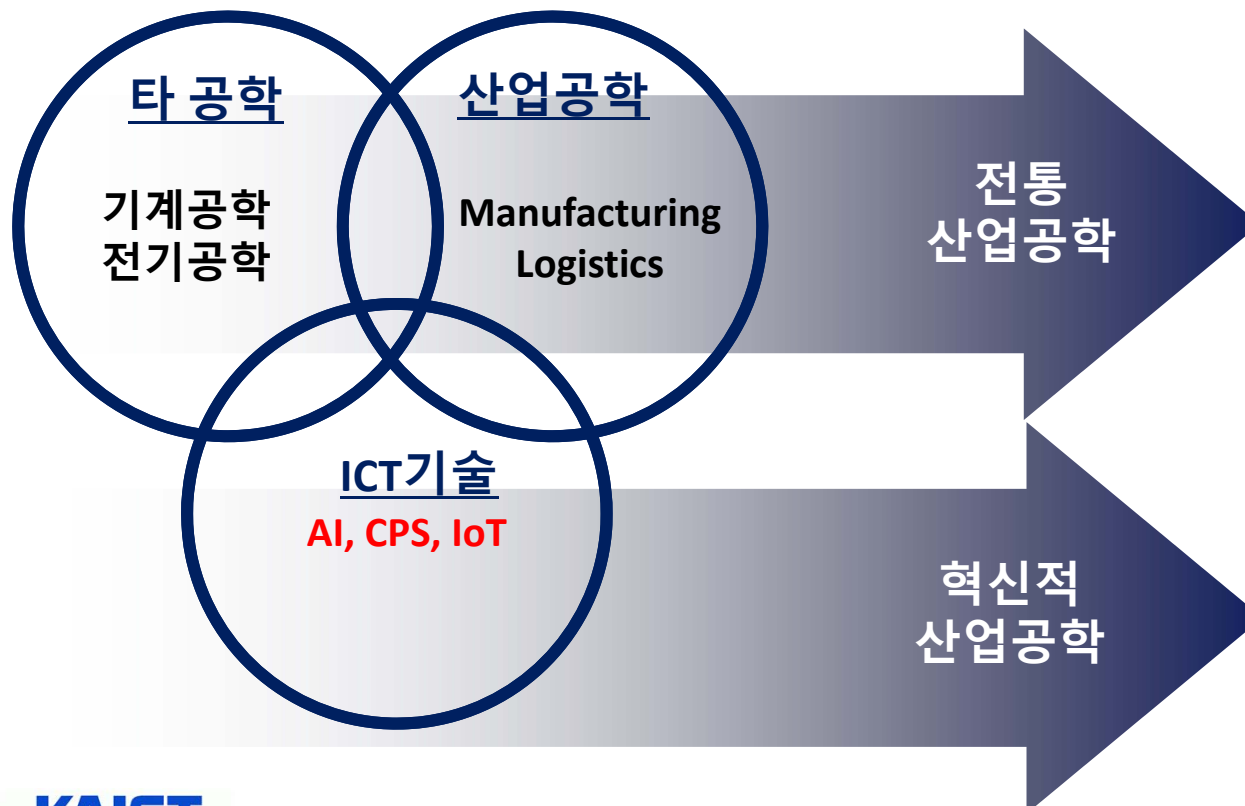


SDM (JYJ) 연구실 소개

연구 철학

“사냥을 하려면 동물원이 아닌 정글로 가라!” - 산업계 임팩트!

- 산업 현장의 실제 문제를 해결하며 학문적 의미를 찾아 연구
- IT기술과 타 공학을 접목한 연구는 새로운 학문 분야 개척을 목적으로 진행 중
- <http://www.sdm.kaist.ac.kr>



산업계 문제 해결



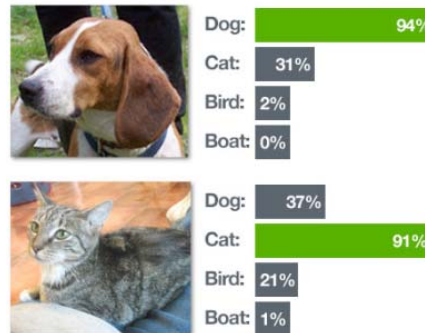
새로운 학문 개척

- Industrial AI
- Automated Systems
- Learning based Optimization

대부분의 AI 응용분야 ...

- 음성인식?
- 영상인식?
- 예측?

산업 시스템?



산업 인공지능 (Industrial AI)

- 첨단 제조업과 인공지능을 결합 산업의 활용
- “앤드류 응” AI의 미래는 산업 활용
 - 팩스콘과 손잡고 디지털 전환



“산업계 문제를 해결!”

AI기반 패션 배분

KAIST – AI기반 패션 상품 배분

“고객이 원하는 사이즈 옷 2시간內 매장에 보내드려요”

복잡한 유통문제, 수학 이용해 간단히 해결

KAIST ‘빅데이터 시스템’ 활용
코오롱스포츠 배송서비스 연내 도입

산뜻한 봄옷을 마련할 생각에 옷가게에 들른 A 씨. 마음에 드는 디자인을 발견한 뒤 조금 큰 몸집을 편하게 감싸줄 XXL(투 엑스라지) 사이즈를 입어보기로 마음먹었다. 하지만 때마다 품질된 사이즈, 매장 직원이 다른 매장에 옷이 있는지 알아보거나 본사에 주문해 주겠다고 했지만 이 경우엔 최소 하루는 기다려야 한다. 좀 기다리더라도 옷을 입어보고 싶지 않지 않겠냐고 싶은데... A 씨는 결국 옷을 사지 못하고 발걸음을 돌렸다.

유통 현장에서 늘 벌어지는 이런 문제를 해결할 방법이 없을까. 장영재 KAIST 산업 및 시스템공학과 교수팀은 수학 이론으로 해결책을 찾아냈다. 장 교수팀이 사용한 원리는 ‘집합 덮개 문제’로 불리는 수학 이론이다. 집합 덮개 문제는 조건을 만족하는 다양한 경우 중에서 겹치는 부분을 최대한 제외해 가장 적은 경우만으로 전체를 만족시킬 수 있도록 하는 방법이다.

실제로 코오롱스포츠는 고객이 원하는 옷을 2시간 안에 방문 매장에서 받아볼 수 있게 해달라고 장 교수팀에 의뢰했고, 연구진은 집합 덮개 문제를 활용해 전국의 220개 매장 중에서 2시간 안에 물품을 배송할 수 있는 매장을 정한 뒤 겹치는 매장을 제외해 최적의 매장을 최소한으로 선정하는 프로그램 ‘빅데이터 로지스틱 시스템’을 개발했다. 장 교수는 “다른 매장의 재고 상황을 확인할 수 있는 이 시스템을 갖추면 물품을 2시간 내

에 다른 매장으로 보내줄 수 있어 최적의 장소에 있는 매장의 재고 관리가 한결 수월해질 수 있다”고 설명했다. 코오롱스포츠는 올해 이 시스템을 선보일 예정이다.

세계 최대 온라인 유통기업인 아마존도 넓은 미국에서 고객이 원하는 상품을 빠르게 배송하는 경쟁력을 갖추기 위해 집합 덮개 문제를 활용했다. 아마존은 이를 이용해 미국에서 이들 안에 구매한 상품을 받을 수 있는 ‘프리미엄 서비스’를 제공하고 있다.

복잡한 체계를 갖춘 대중교통의 시간표를 짜고, 미국 메이저리그 야구 경기의 일정을 짜는 등 산업 및 서비스 현장 곳곳에서 발생하는 문제를 해결하는 데도 수학 이론이 활용되고 있다.

조가현 동아사이언스 기자 gahyun@donga.com



코오롱스포츠는 수학 이론을 활용해 고객이 원하면 2시간 안에 매장에서 옷을 받아볼 수 있는 시스템을 개발했다. 세계 최대 온라인 쇼핑몰인 아마존도 동일한 이론으로 미국 내에서 이들 안에 책을 배송하는 프리미엄 서비스를 제공하고 있다. 코오롱스포츠 제공

인공지능

- 모라벡의 역설

- “사람이 잘하는 것은 컴퓨터가 못하고,”
- “컴퓨터가 잘 하는 것은 사람이 못한다”

문제1) $163,023 \times 239,347 = ?$

문제2)



어느쪽이 개? 고양이?

Lesson from the Project

- “현문현답” – 문제는 현장에, 답도 현장에

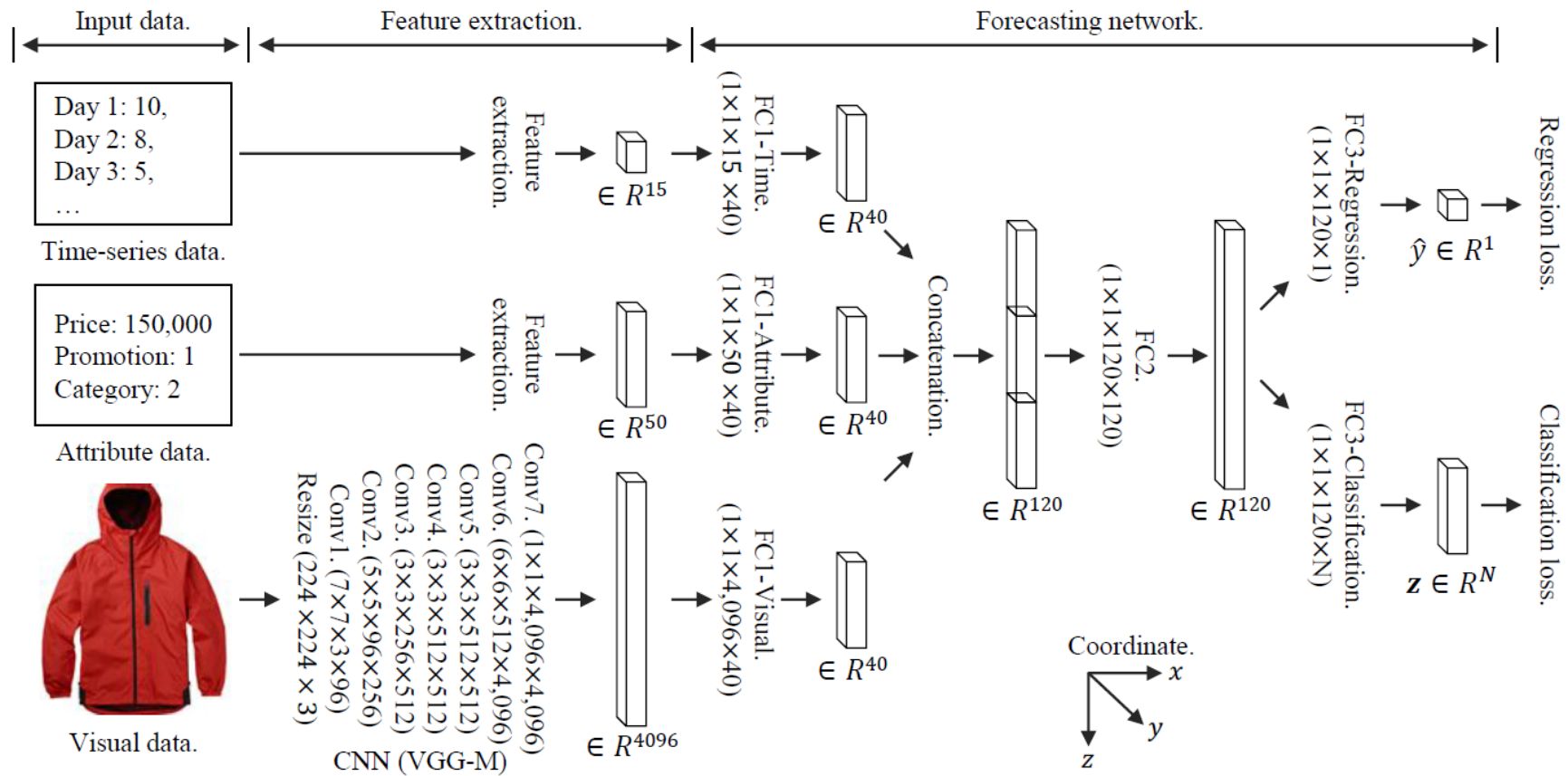


이번 시즌 우리
매장에는 붉은색
계열만
들어왔어!!!!!!

... 코오롱 xx 매장 점주 “이x영”

딥러닝

• 이미지 인식 활용

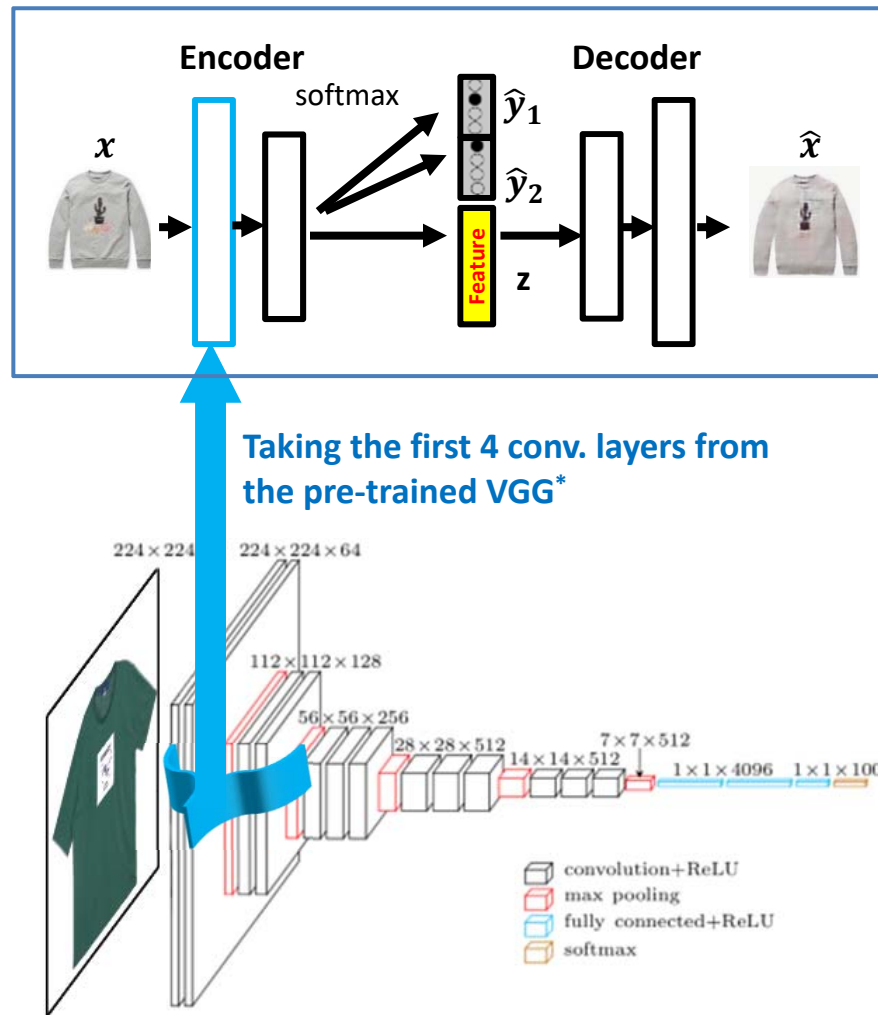


딥러닝 기반 상품 분류

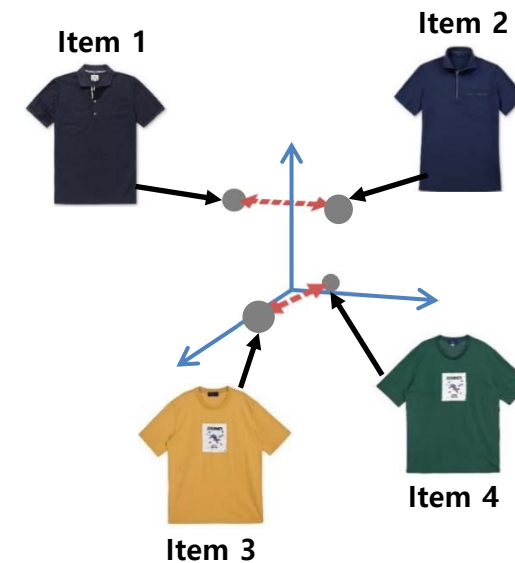
Query Image



딥러닝



- 딥러닝을 통해 각 제품간 거리 계산



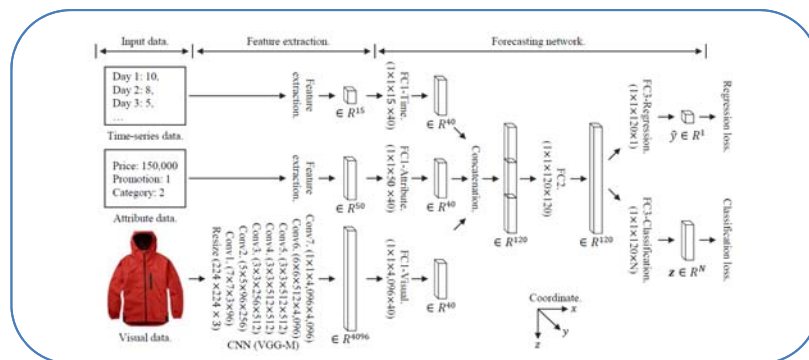
수학적 최적화를 통한 배분

- *Maximize* $\sum_s v_s$
- *Subject to*
 - $\sum_i x_{is} \leq (1 + \alpha) \sum_i q_{is} \quad \forall s$ Deviation constraint
 - $(1 - \alpha) \sum_i q_{is} \leq \sum_i x_{is} \quad \forall s$
 - $\sum_s x_{is} \leq p_i \quad \forall i$ Resource constraint
 - $x_{is} \geq m_i y_{is} \quad \forall i, s$
 - $x_{is} \leq M_1 y_{is} \quad \forall i, s$ Minimum distribution quantity constraint
 - $\sum_i y_{is} \geq 2 \quad \forall s$
 - $w_{is} \leq d_{ij}(M_2(2 - y_{is} - y_{js}) + 1) \quad \forall i, j, s (i \neq j)$
 - $w_{is} \leq M_2 y_{is} \quad \forall i, s$ Definition of variety (MaxSumMin)
 - $v_s = \sum_i w_{is} \quad \forall s$
 - $x_{is} \geq 0, \text{ integer} \quad \forall i, s$
 - $y_{is} \in \{0, 1\} \quad \forall i, s$

패션운영의 첨단화 (산업 인공지능)

- AI 기법 활용 (기존 사람은 잘하지만 기계는 못했던 것)
- 수학적 최적화 알고리즘 (기계는 잘하지만 사람은 못하는 것)

분류 문제 - AI기반 기술



배분문제 - 수학적 최적화 기술

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{a \in A} \sum_{s \in S} (u_{asi} + o_{asi}) + \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} (u_{si} + o_{si}) + \sum_{i \in I} \sum_{a \in A} (u_{ai} + o_{ai})$$

subject to

$$x_{asi} - o_{asi} + u_{asi} = d_{asi} \quad (d_{asi} \in D^+, a \in A, s \in S, i \in I)$$

$$\sum_{i \in I} x_{asi} - \sum_{i \in I} o_{asi} + \sum_{i \in I} u_{asi} = p \quad (d_{asi} \in D^-, a \in A, s \in S, i \in I^+)$$

$$\sum_{a \in A} x_{asi} - \sum_{a \in A} d_{asi} = o_{si} - u_{si} \quad (s \in S, i \in I)$$

$$\sum_{a \in A} x_{ai} - \sum_{a \in A} d_{ai} = o_{ai} - u_{ai} \quad (a \in A, i \in I)$$

$$z_{asi} - z_{ai} \geq 0 \quad (a \in A, s \in S)$$

$$z_{asi} \leq \sum_{i \in I} y_{si} \leq M \cdot z_{si} \quad (a \in A, s \in S, i \in I)$$

$$y_{si} \leq x_{si} \leq M \cdot y_{si} \quad (d_{si} \in D^+, a \in A, s \in S, i \in I)$$

$$x_{si} = p \cdot y_{si} \quad (d_{si} \in D^-, a \in A, s \in S, i \in I)$$

$$\sum_{i \in I} x_{asi} \geq p \cdot z_{asi} \quad (a \in A, s \in S)$$

$$\alpha \cdot P_{si} \leq \sum_{a \in A} x_{asi} \leq \beta \cdot P_{si} \quad (i \in I, a \in A)$$

$$\sum_{a \in A} y_{ai} \geq k' \quad (i \in S)$$

$$z_{asi} \in (0,1), z_{ai} \in (0,1), y_{ai} \in (0,1), y_{si} \in (0,1)$$

$$z_{asi}, x_{asi} \text{ are all integers } (a \in A, s \in S, i \in I^+, i \in I^-)$$

모라벡의 역설 (Moravec's Paradox)

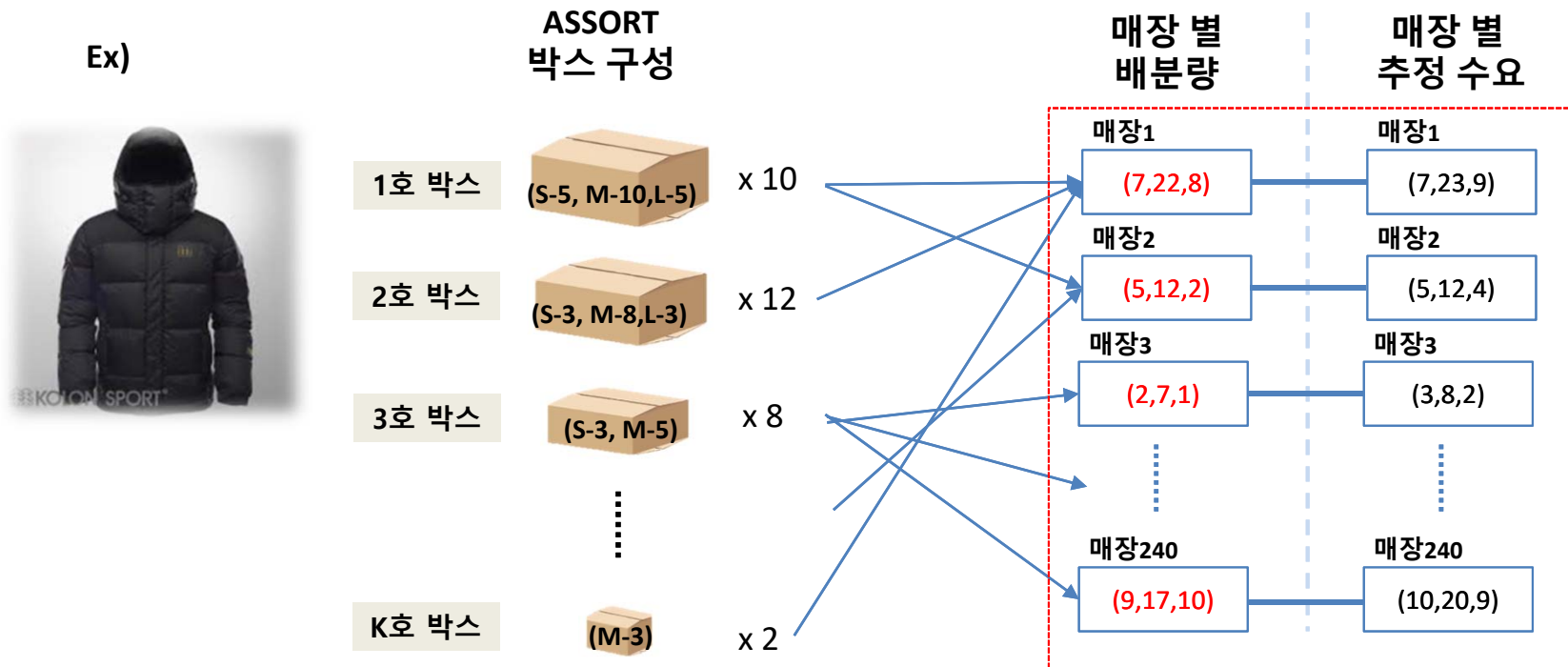
- “사람이 잘하는 것은 기계가 못하고 기계가 잘 하는 것은 사람이 못한다”

Shin Woong Sung, Young Jae Jang, “Image-Based Inventory Distribution System for Fashion Products Using Convolutional Neural Network,” *INFORMS Annual Meeting*, October, 2017

ASSORT 박스 최적 조합 및 배분 모델

• ASSORT박스 최적 조합 및 배분 모델

- 물류센터 가용 용량 및 인력 부족으로 인해 매장 별로 서로 다른 ASSORT 구성을 배분할 수 없는 상황
- 제한된 수(최대 36개)의 ASSORT 박스를 이용하여, 매장 별 예측 수요 패턴에 최대한 근접 가능하도록 ASSORT 박스 조합 구성 및 배분 최적화하는 것이 목적

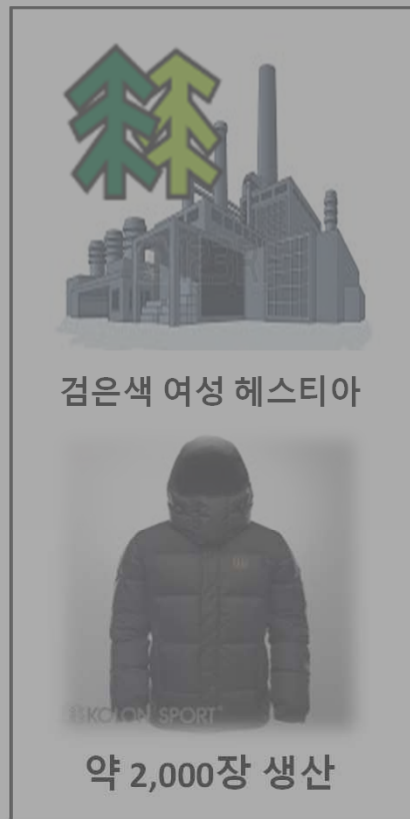


ASSORT 박스 최적 조합 및 배분 모델

- 현 코오롱스포츠 ASSORT 배분 상황

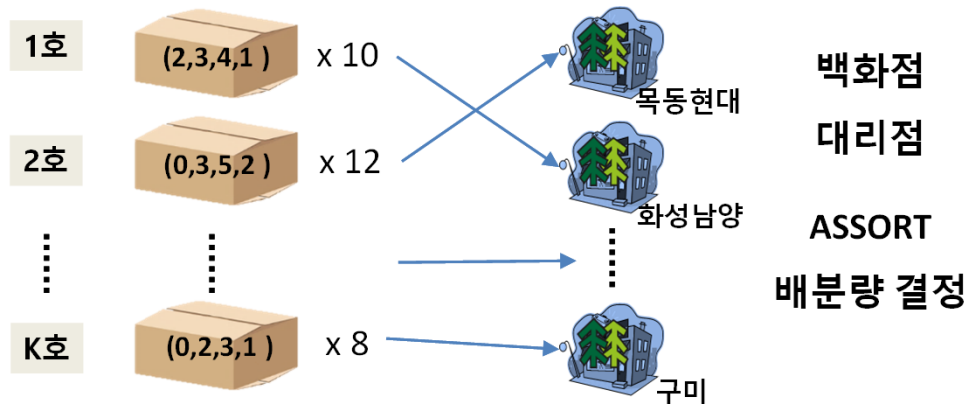
- 전체 생산량 중 약 80%에 해당하는 물량을 ASSORT 박스로 배분
- 남은 20%에 해당하는 물량은 직영점/신규오픈 매장의 ASSORT 배분 혹은 DO 물량으로 이용

1. 제품 총 생산량 결정



2. ASSORT 박스 배분 결정

약 1,600장 ASSORT 박스 배분 (총 생산량의 80%)



배분최적화 대상
제품 물량 및 매장

3. 직영점/신규오픈 매장 ASSORT 배분

나머지 20% 중 직영점/신규 오픈 매장 ASSORT 박스 배분



Distribution Optimization

MILP PrePack optimization model

– Formulation

$$\text{Minimize } \sum_{s \in S} \sum_{i \in I} (o_{si} + u_{si}) \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{b \in B} x_{sb} C_{bi} - o_{si} + u_{si} = D_{si} \quad \text{for } s \in S, i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{b \in B} x_{sb} \leq A_{max} \quad \text{for } s \in S \quad (3)$$

$$\sum_{b \in B} x_{sb} \geq A_{min} \quad \text{for } s \in S \quad (4)$$

$$M \cdot y_b \geq \sum_{s \in S} x_{sb} \quad \text{for } b \in B \quad (5)$$

$$y_b \leq \sum_{s \in S} x_{sb} \quad \text{for } b \in B \quad (6)$$

$$\sum_{b \in B} y_b = B_{type} \quad (7)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{b \in B} x_{sb} \leq T_{max} \quad (8)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{b \in B} x_{sb} C_{bi} \leq P_i \quad \text{for } i \in I \quad (9)$$

$$x_{sb} \geq 0 \text{ and Integer} \quad \text{for } s \in S, b \in B \quad (10)$$

$$y_b \text{ is Binary} \quad \text{for } b \in B \quad (11)$$

$$o_{si}, u_{si} \geq 0 \text{ and Integer} \quad \text{for } s \in S, i \in I \quad (11)$$

2018년 가장 많이 다운로드 된 논문 Top 10



<http://pubsonline.informs.org/journal/inte/>

INTERFACES

Vol. 47, No. 6, November–December 2017, pp. 555–573

ISSN 0092-2102 (print), ISSN 1526-551X (online)

Business Analytics for Streamlined Assort Packing and Distribution of Fashion Goods at Kolon Sport

Shin Woong Sung,^a Young Jae Jang,^a Jung Hoon Kim,^b Juyeong Lee^c

^a Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 34141, South Korea; ^b Kolon Industries Inc, Seoul 06168, South Korea;

^c SK Telecom, Seoul 04539, South Korea

Contact: sw.sung@kaist.ac.kr,  <http://orcid.org/0000-0001-9757-2109> (SWS); yjang@kaist.ac.kr,

 <http://orcid.org/0000-0002-2342-1444> (YJJ); justsayit@kolon.com,  <http://orcid.org/0000-0003-1986-6536> (JHK);

skt.juyeonglee@sk.com,  <http://orcid.org/0000-0002-0270-7777> (JL)

Received: March 28, 2016

Revised: September 16, 2016; January 28, 2017

Accepted: February 15, 2017

Published Online in Articles in Advance:
September 18, 2017

<https://doi.org/10.1287/inte.2017.0904>

Copyright: © 2017 The Author(s)

Abstract. Kolon Sport (K/S), a leading outdoor fashion brand in South Korea, must deal with a large variety of items during each selling season. In doing so, the company has encountered a challenging operational problem—the assort-packing and distribution problem. The problem involves making decisions on the optimal method to use in packing a set of different items in a box and allocating the boxes to stores to meet the stores' demands. In this paper, we introduce an analytics project initiated to improve the assort-packing and distribution process, and we describe the formulation and solution approach we developed to solve this industrial problem in a timely manner. We validated the proposed approach by computational and onsite pilot testing, which demonstrated that the decisions made using this approach are superior to those made with the manual method K/S used previously. Inventory is distributed to all stores in a more balanced way by considering the demands of the stores. K/S, which implemented the proposed approach into its internal system in July 2015, estimates that the new system improves sales by approximately eight percent.

<https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/inte.2017.0904>

알파고가 응용된 공장 시스템

Overhead Hoist Transport (OHT)

물류 자동화 새로운 도전

- 공장의 “초” 대형화 – 기존 공장의 2~3배
- 제품의 복잡도 증가
- 물류 반송량 기존 5~10배 증가!

수 천대 규모 자동 대차 운영 필수!

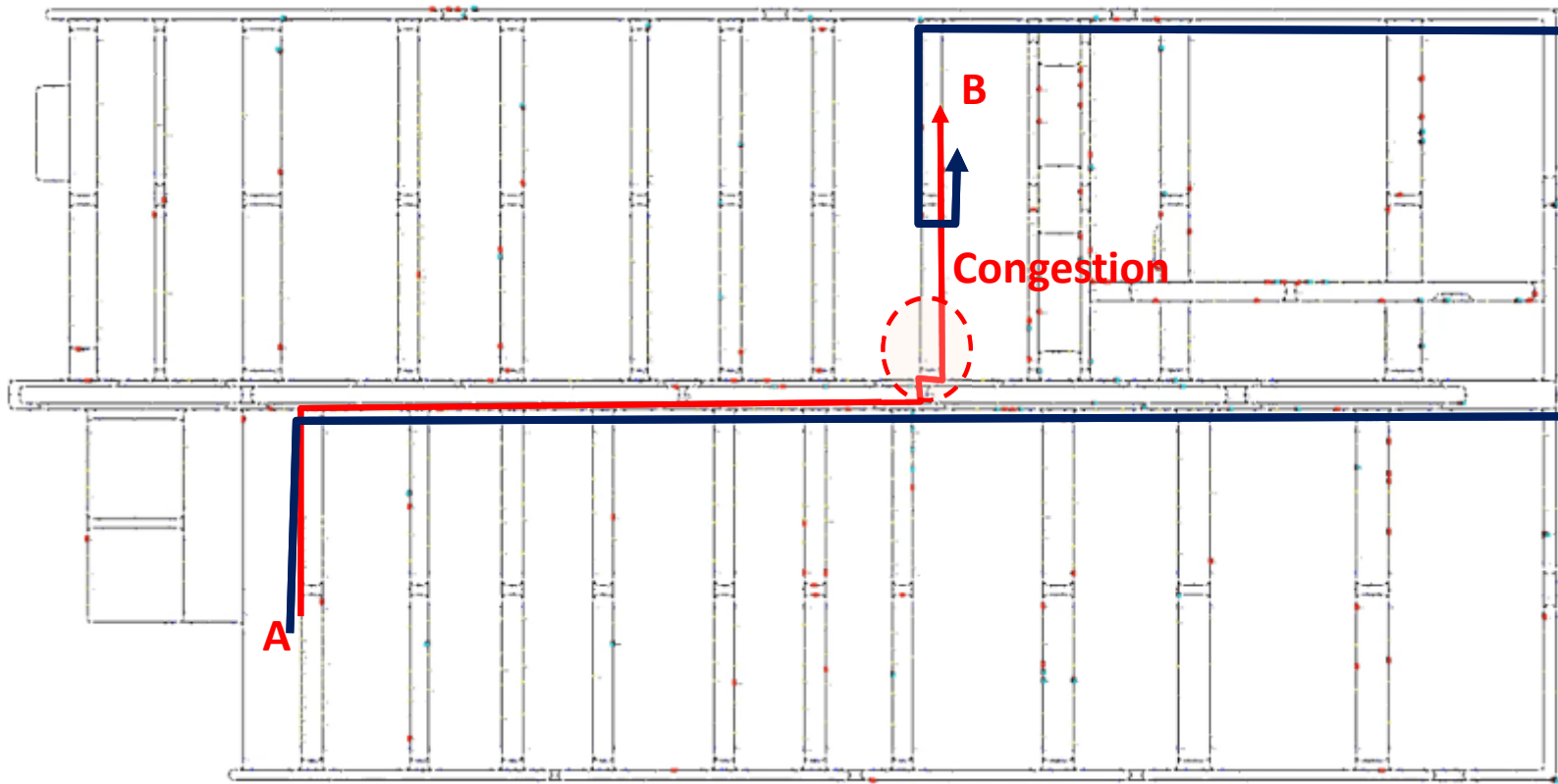
수 천대 규모 자동 대차 운영?

- 물류 “혼잡” 대응
- 고장 상황 대응
- 기존 사람이 건 별 수작업 대응 방식으로는 불가능

Automation (자동화) → Autonomous (자율화)

기존 운영 방식

- 수 많은 엔지니어들이 상황 별 “임기응변” 대응
- 1000대 이상 OHT 운영 상황에서는 불가능



혁신적 방법론 필요성

- 기존 방식

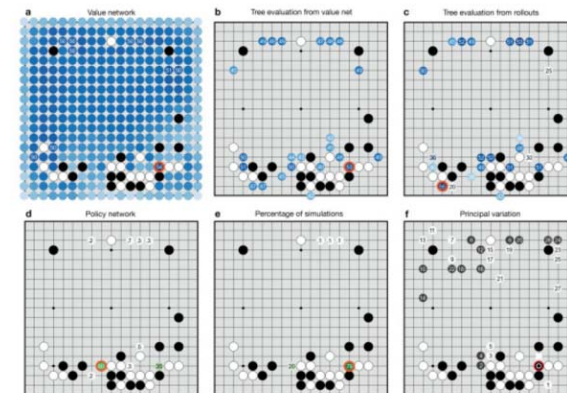
- 사전 계획된 운영 (불확실성 고려 안함)
- 사람이 자의적으로 건 별 대응방식

- 데이터 기반 기계 학습 방식

- 대용량 데이터 처리 – 과거 및 현재 상황 인식
- 기계가 스스로 학습 (learning)을 통해 최적 의사 결정

강화학습 (Reinforcement Learning)

- 기계학습 (Machine learning)
 - 지도학습 (Supervised learning)
 - 비지도학습 (Unsupervised learning)
 - 강화학습 (Reinforcement learning)
 - 전혀 데이터가 존재하지 않은 상황에서는 판단을 내리거나 행동을 했을 때 결과치를 통해 학습해야 할 경우
 - 스스로 행동하며 시행착오 (trial-error)를 통해 학습하는 방식



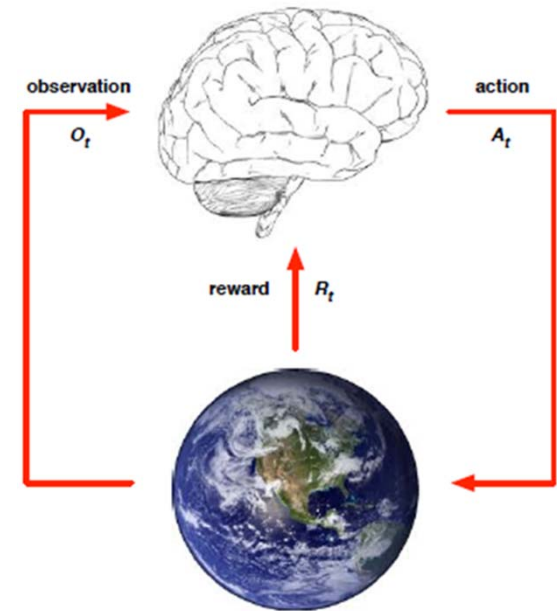
강화학습

- 환경에 대한 반응을 기반 학습
- 확률 모델 적용 (Markov decision process)
- 최적제어 이론 (Optimal control)기반

$$J_{k+1}(i) = \min_{u \in U(i)} \left[g(i, u) + \sum_{j=1}^n p_{ij}(u) J_k(j) \right]$$

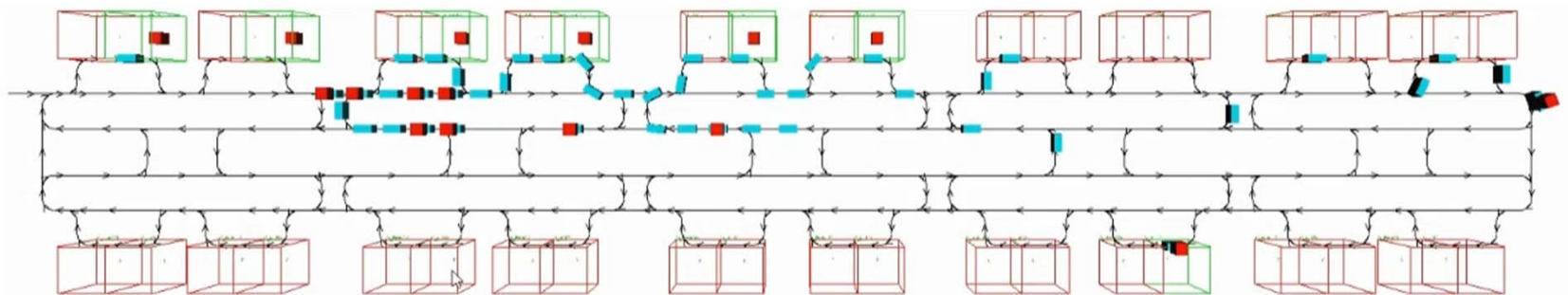
$$Q_{k+1}(i, u) = \sum_{j=1}^n p_{ij}(u) \left(g(i, u, j) + \alpha \min_{v \in U(j)} Q_k(j, v) \right)$$

$$\hat{R}(x) = \min_{u \in U} \left[\hat{g}(x, u) + \alpha \sum_y \hat{p}_{xy}(u) \hat{R}(y) \right]$$

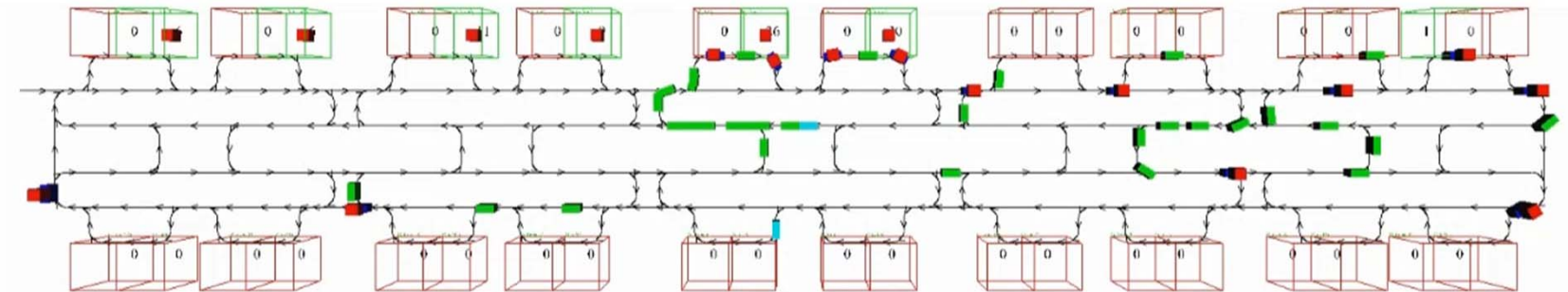


인공지능 기반 반송시스템

기존 알고리즘 (산업계 활용)



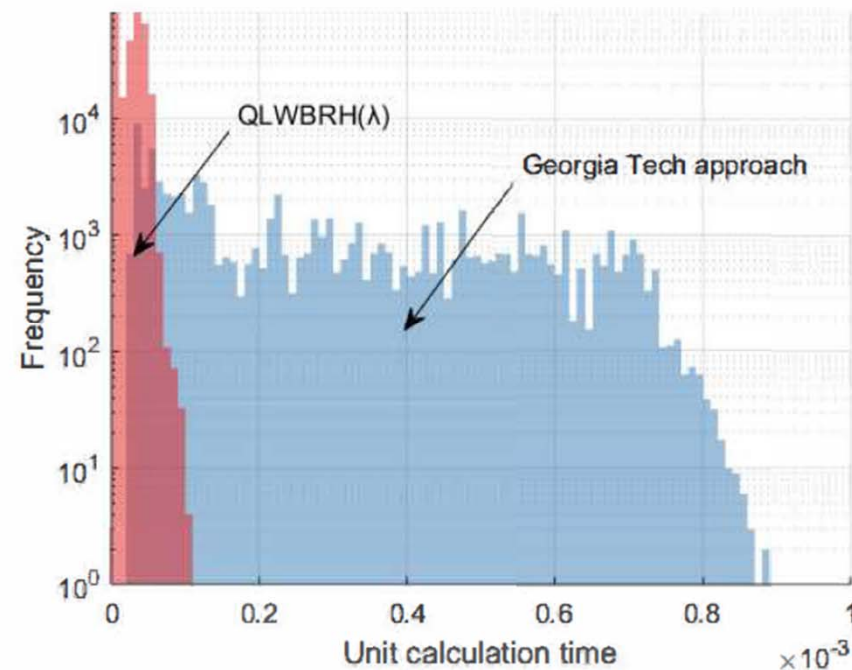
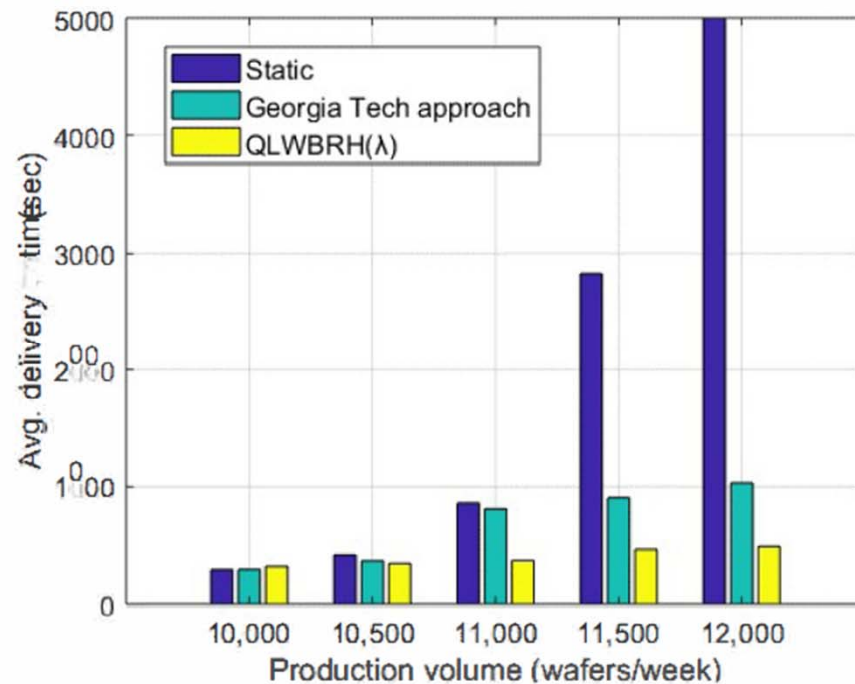
KAIST개발 Q-Learning 기반 알고리즘 (2017.12)



Ilhwe Hwang, Sang Pyo Hong, Young Jae Jang, Sunil Kim and In-Ho Moon, "System Design and Development of the Q-Learning Based Overhead Hoist Transport (OHT) for Semiconductor Fabs," The 24th International Conference on Production Research, 2017, Poland.

OHT 시스템 결과 – 반송시간 및 연산시간 분석

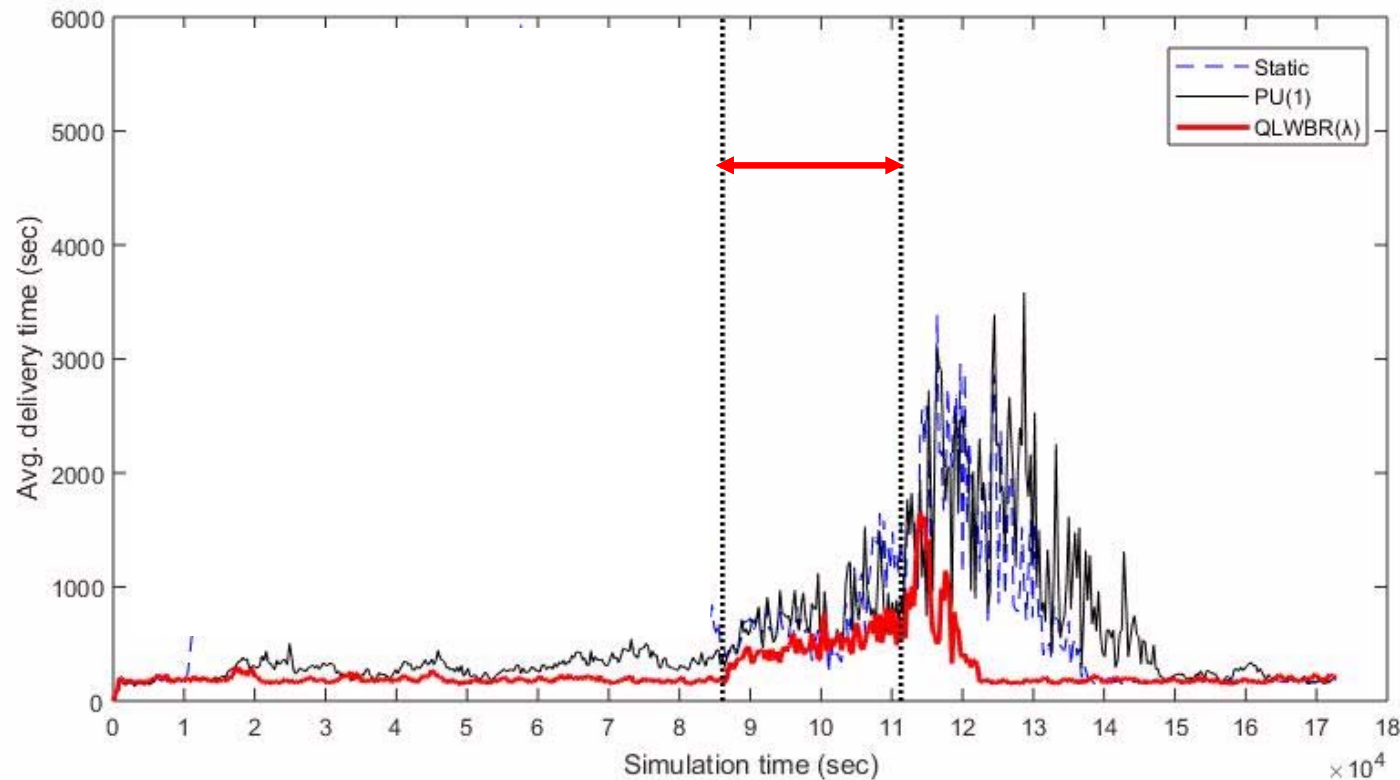
- 현존하는 연구 중 100여대 이상 routing 구현한 연구는 조지아텍 (Georgia Tech) 이 2012~2014년 진행한 연구가 유일
- 조지아텍 연구 벤치마킹 비교
 - 카이스트 알고리즘이 월등한 성능 도출 (delivery time 및 computation time)



OHT 시스템 결과 – 예상치 못한 사고 발생시 자동으로 안정화

- 임의로 물량은 급격하게 늘렸을 경우 자동으로 적응하는 테스트
- s-전자-조지아텍 연구 벤치마킹 비교
 - 카이스트 알고리즘이 월등히 안정적으로 작업 수행

급격한 물량 증가



인공지능 기반 반송 시스템

- 기존 “룰” 기반 방식과 비교해 “상상도 할 수 없었던” 성능 향상
- 그러나...
 - 실제 어떻게 이렇게 좋은 성능을 낼 수 있는지는 ??????
 - 논리적 모델과 인공지능 기법이 함께 융합되어야 산업계 적용 가능

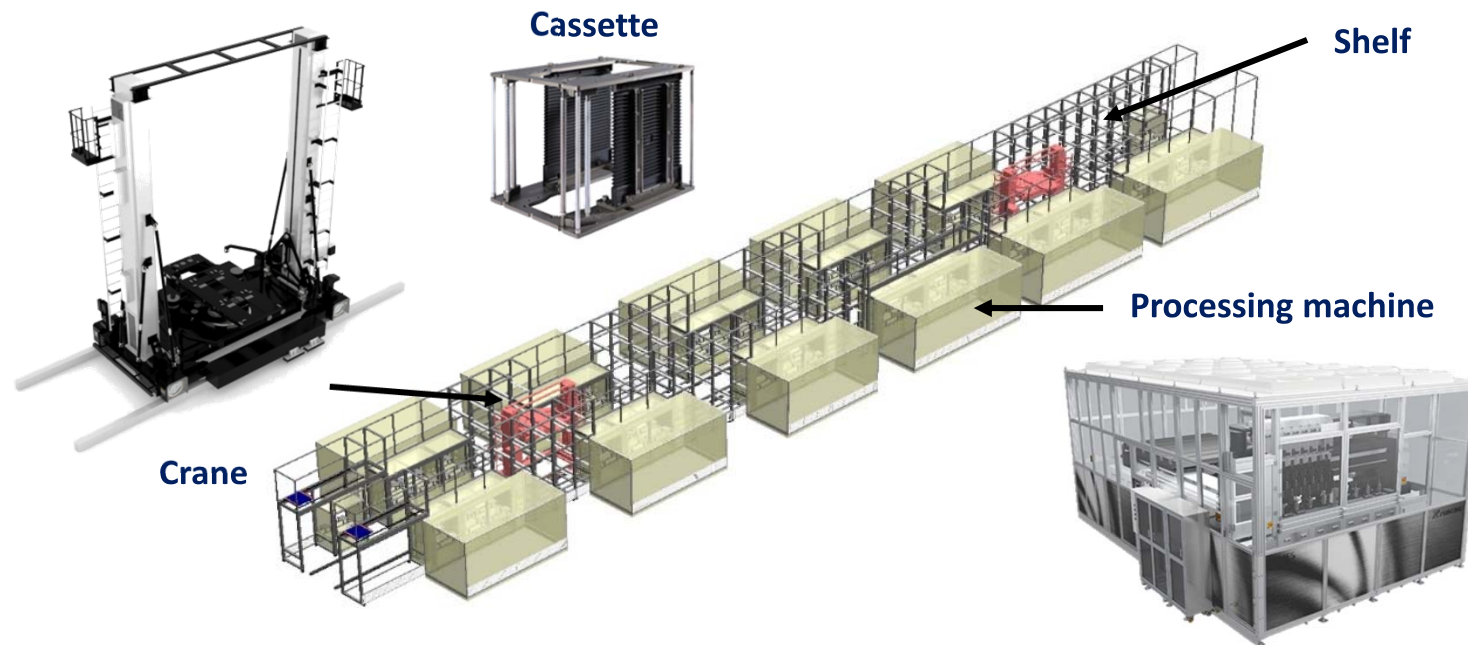
신성-카이스트 AI 자동화시스템 연구소



디스플레이 반송 시스템

FPD Stacker 시스템

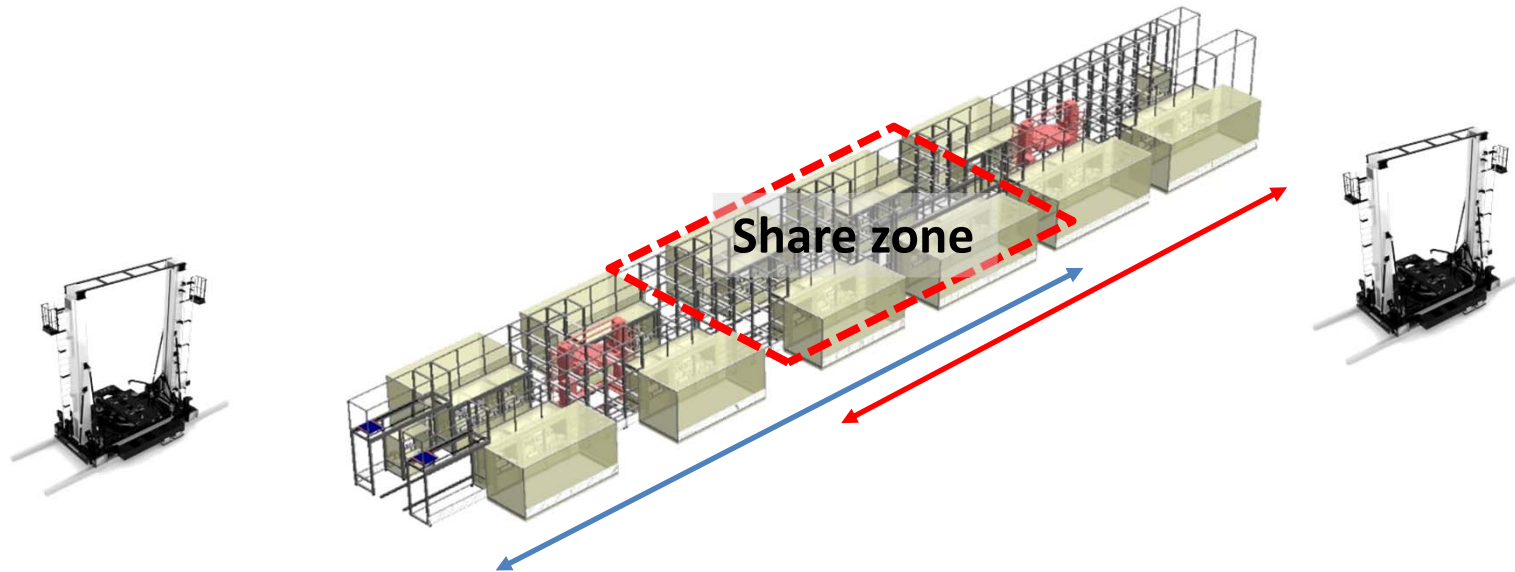
- 기존 반송 시스템 운영



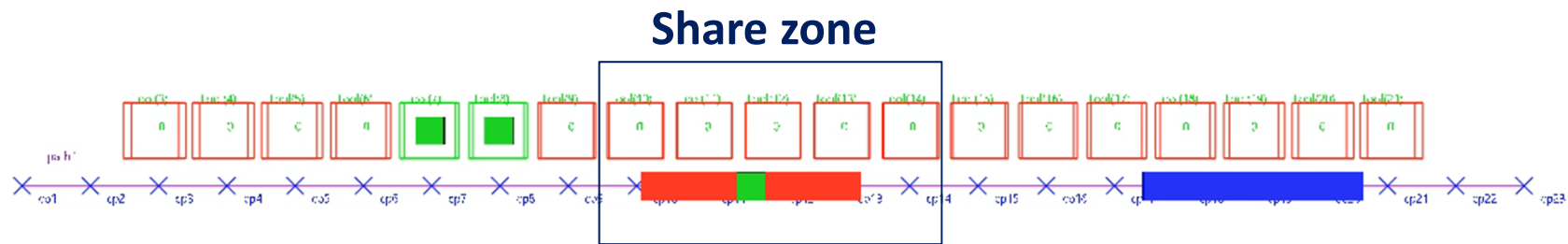
FPD Stacker 시스템

- Dual Stacker

- 두대의 Stacker가 하나의 레일을 사용함으로 버퍼존 (Buffer or Shared Zone)을 정해서 운영
- 문제점?

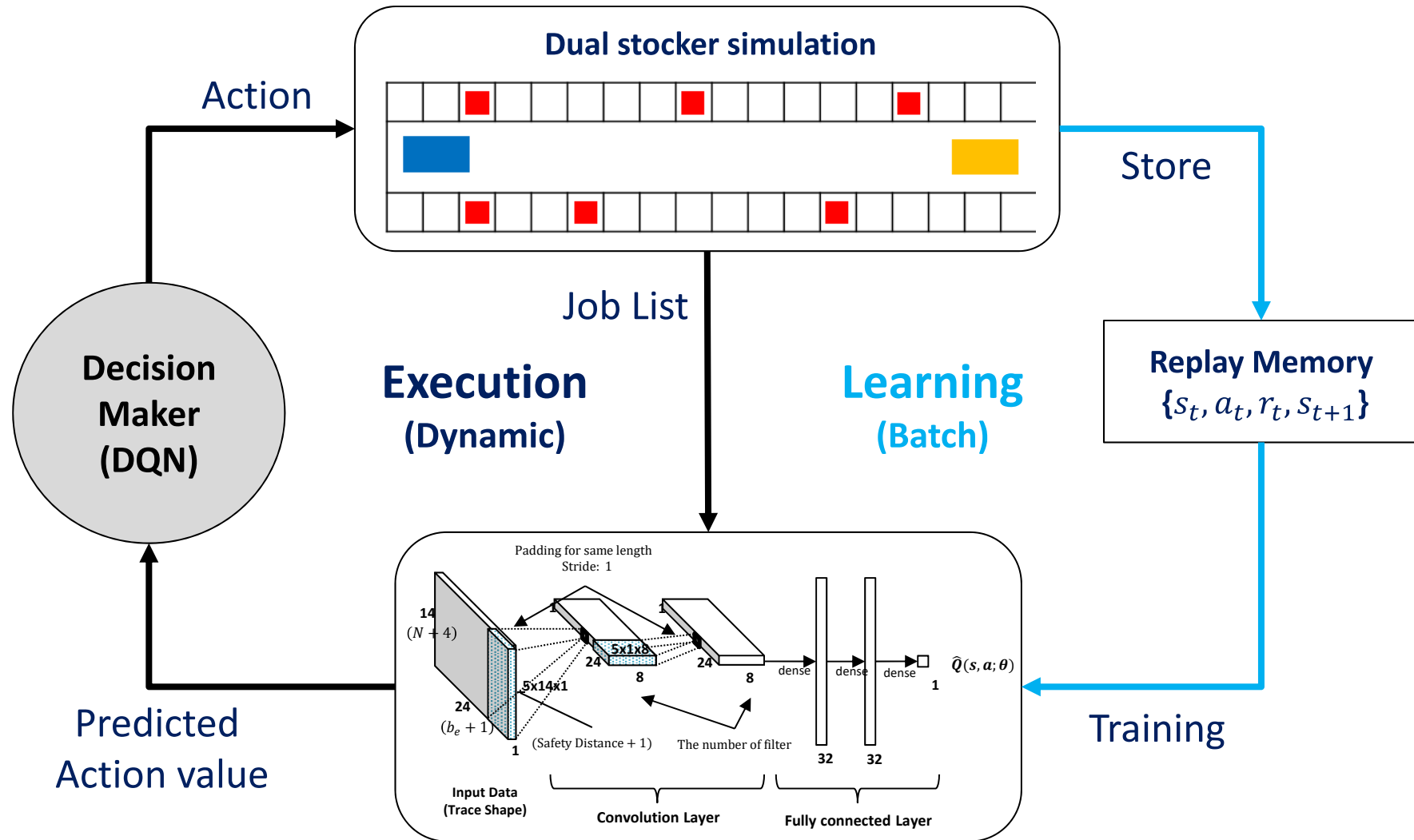


시뮬레이션



딥 Q-강화학습

- Overall procedure



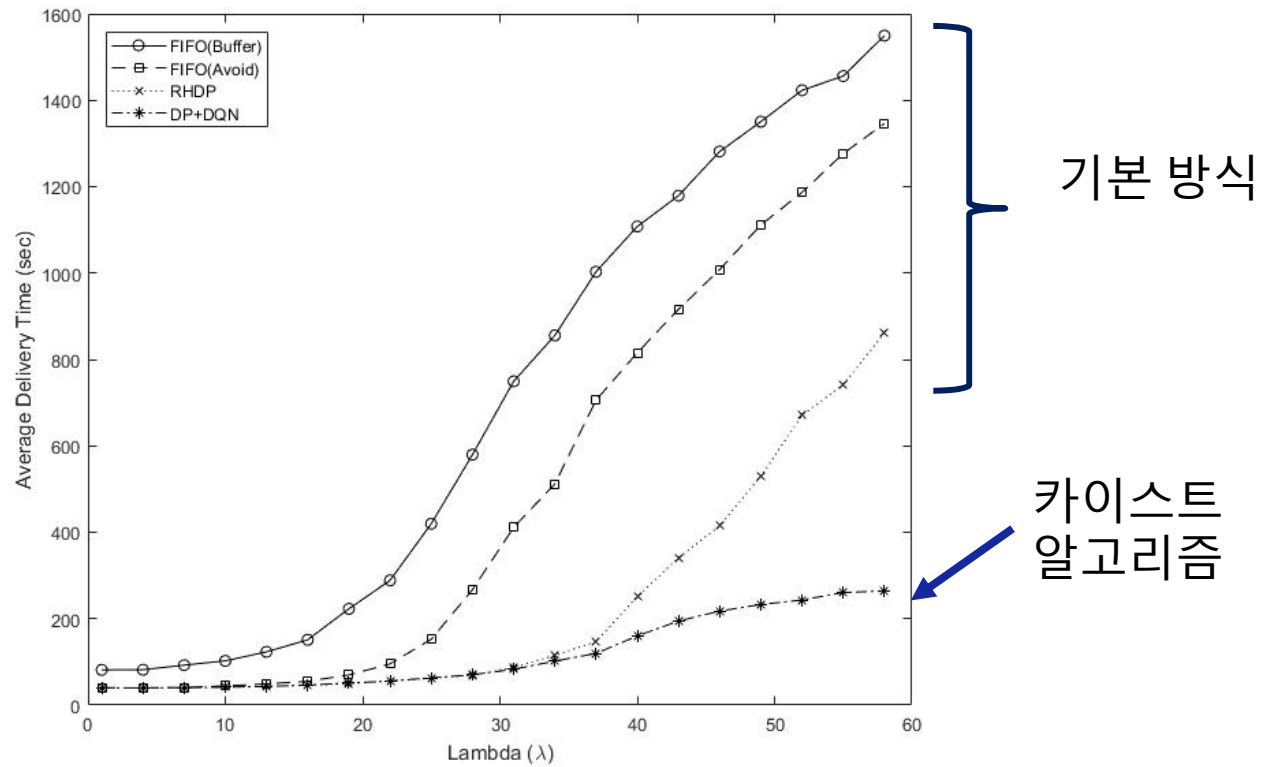
Deep Q Network

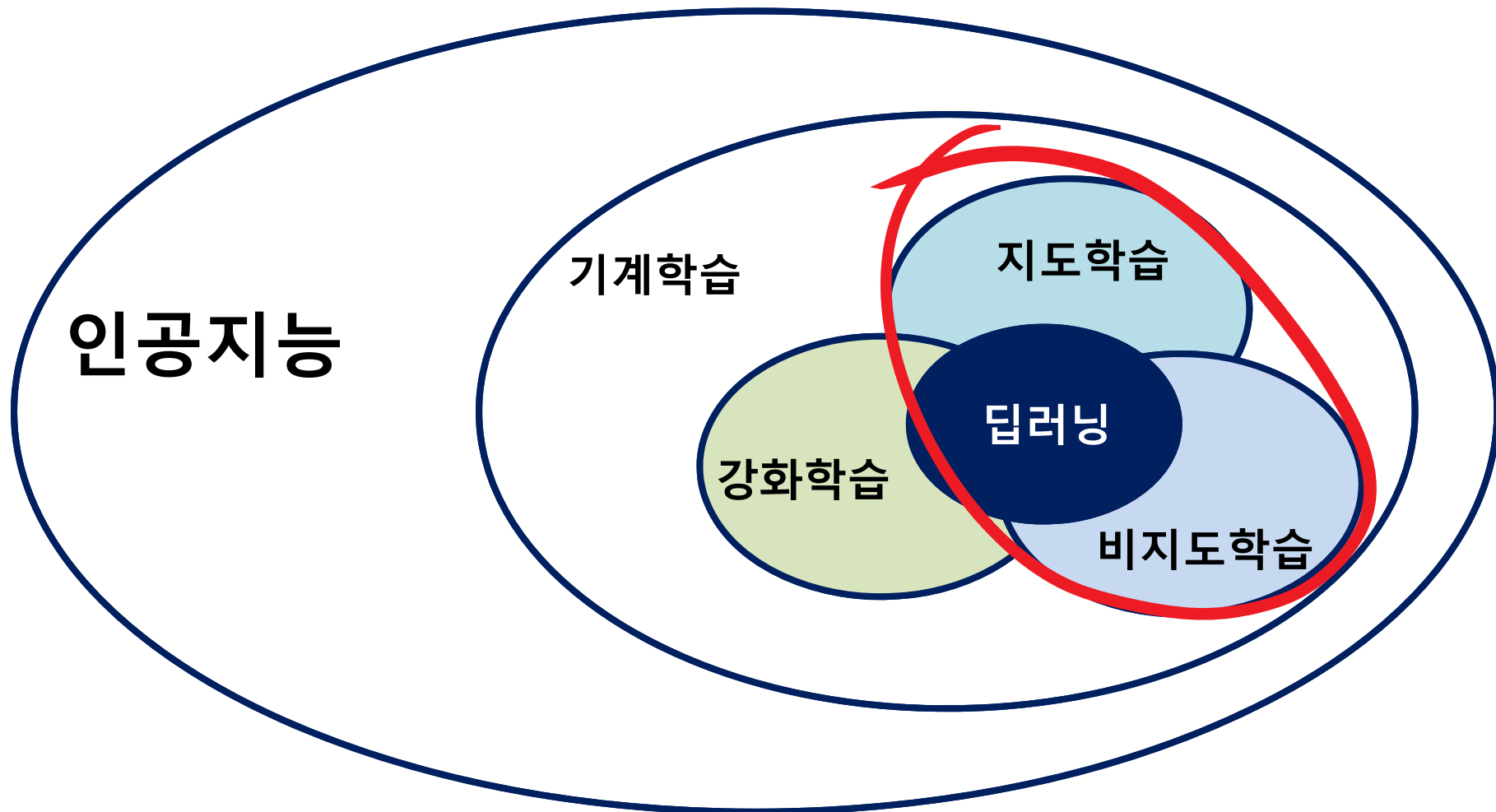
- Simulation video
 - AutoMod + Python



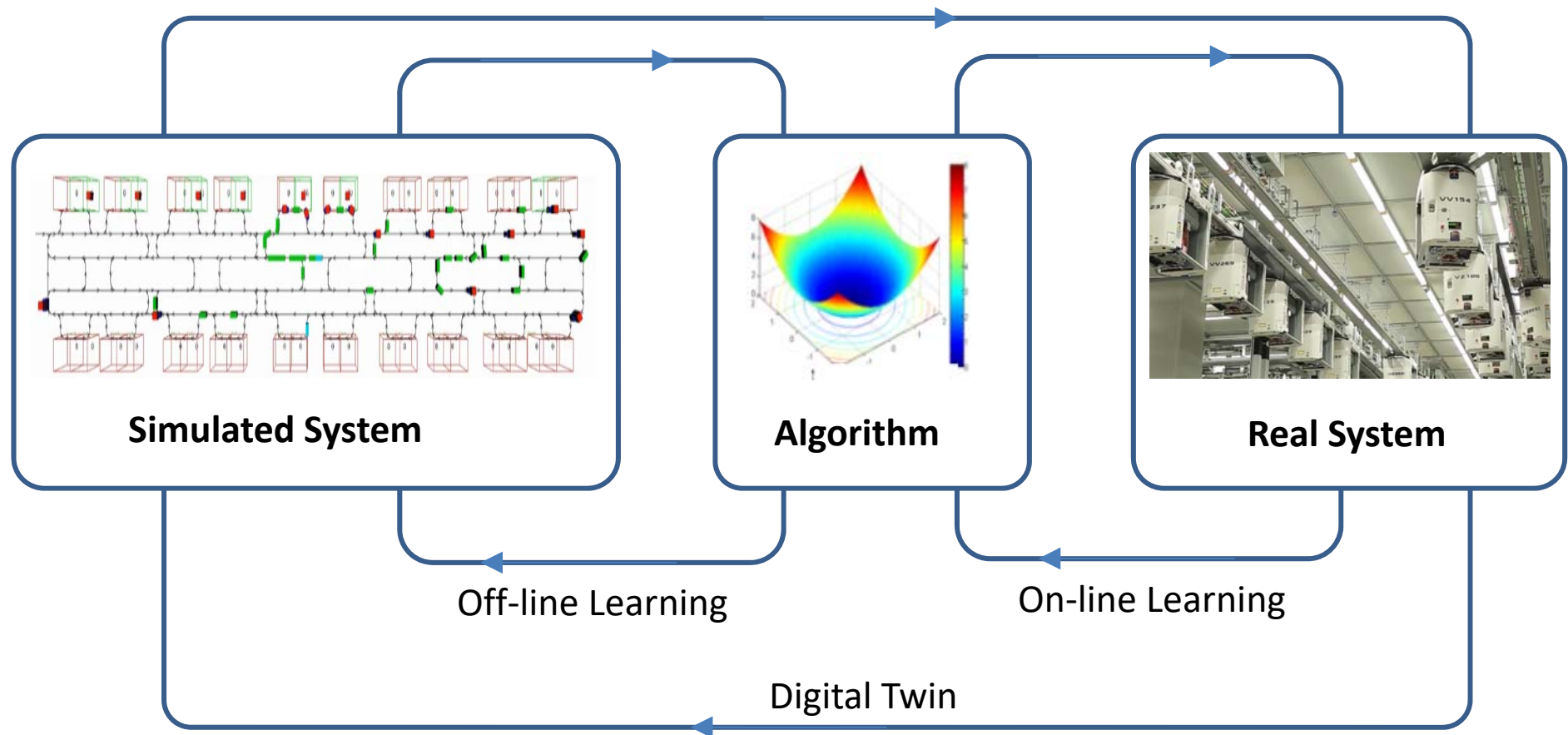
- 시뮬레이션 결과

- 기존 학계에서 알려진 최적의 방식보다 **4배 이상 Throughput 향상!**





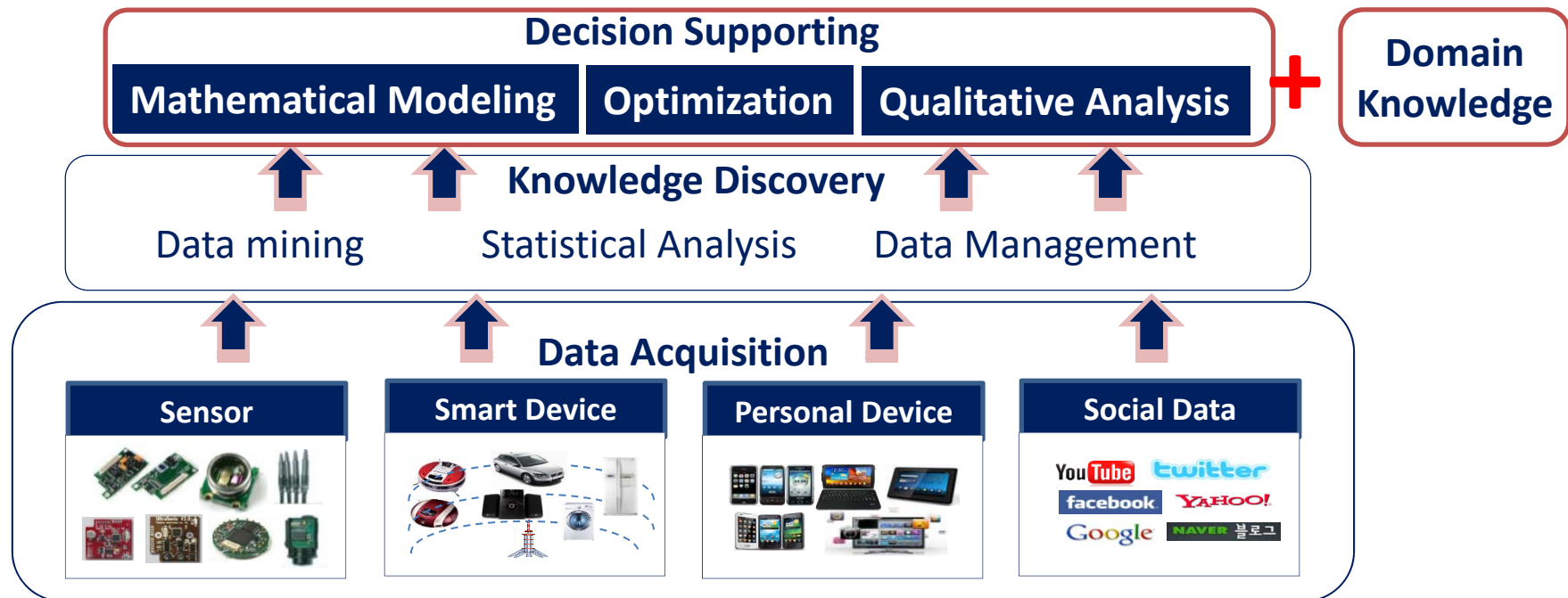
- System Architecture & Frame



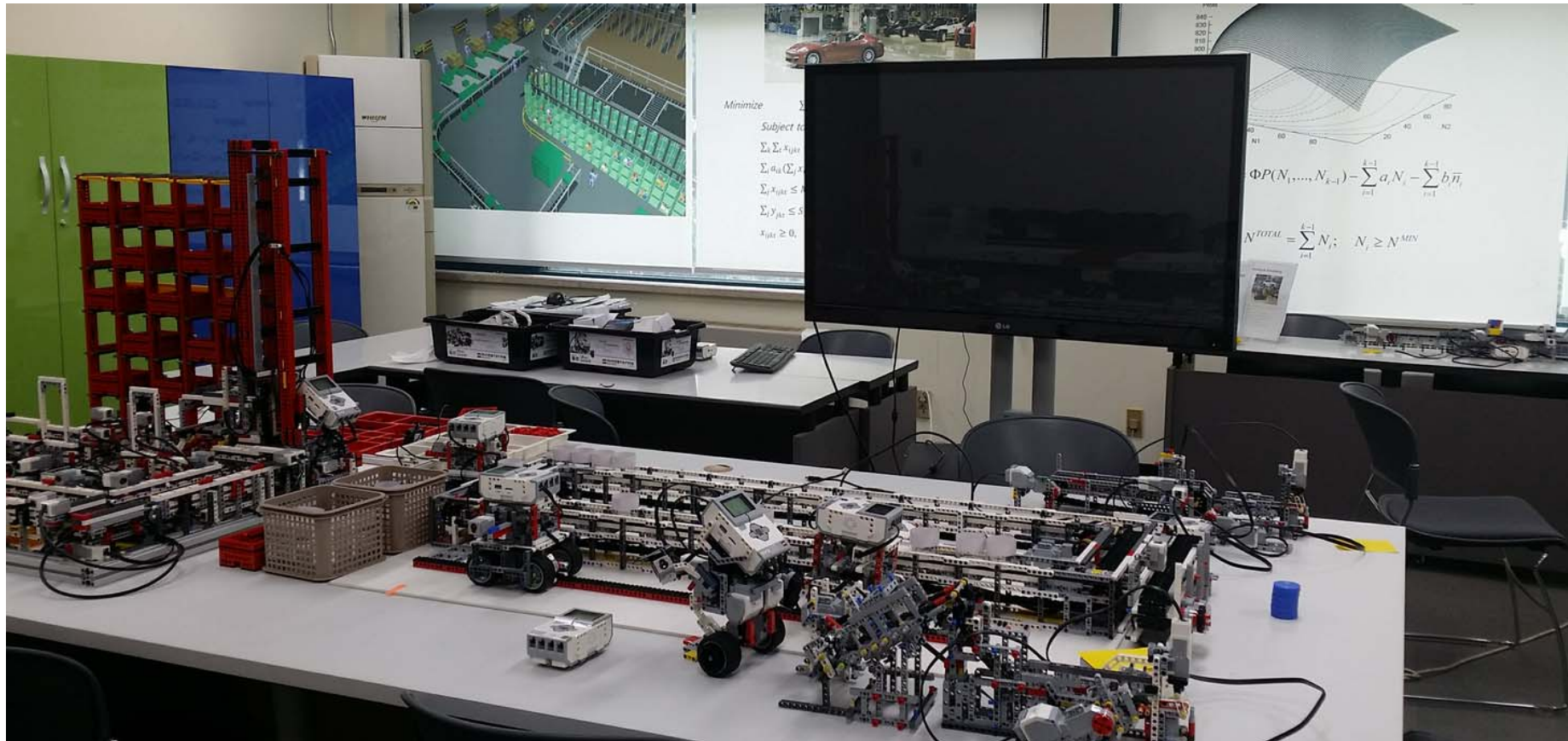
AI시대의 교육

데이터 사이언티스트 교육

- Data Scientist Education
 - 데이터를 행동 가능한 (actionable knowledge) 지식 (knowledge)으로 승화시키는 작업
- 통계/데이터마이닝/의사결정 방법론

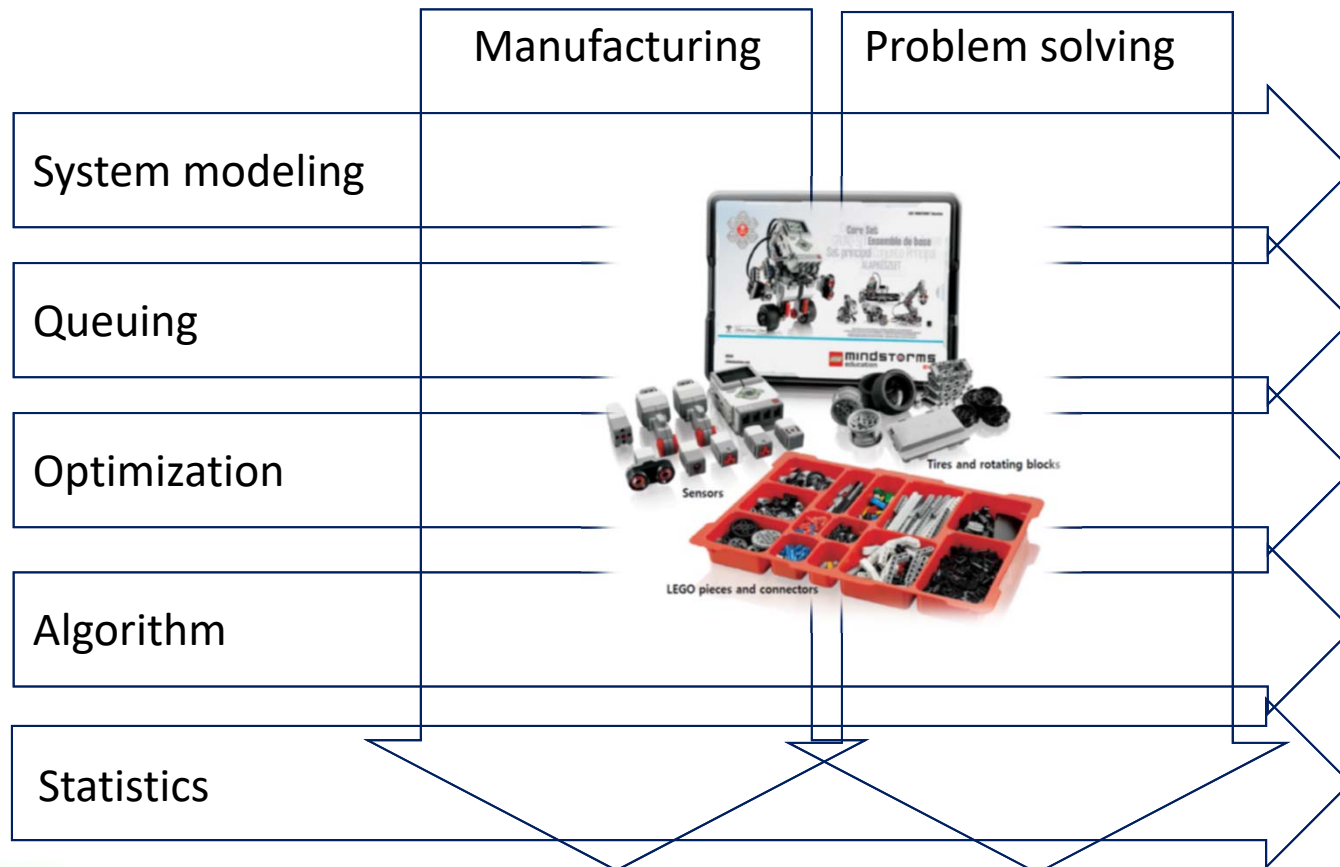


KAIST LEGO Manufacturing System (KLMS)



KAIST LEGO Manufacturing System

- Dept. of Industrial and Systems Engineering at KAIST recently developed the KAIST-LEGO Manufacturing System (KLMS)

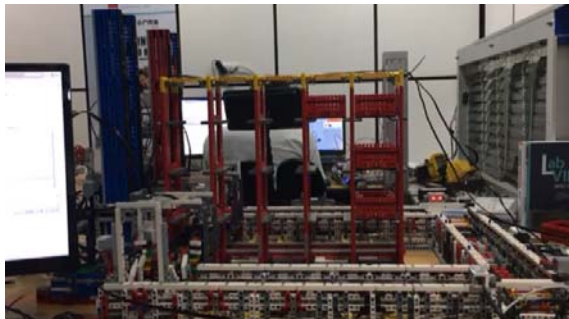


실험2 디지털 트윈 (CPS)

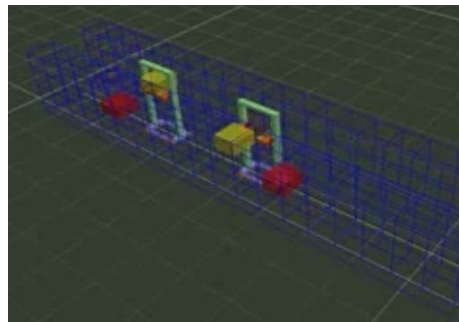
- 학습 목표

- 강화학습 기반 의사결정 이해
- 불확실한 상황에서의 의사결정 개념 이해
- Static vs. Dynamic 의사결정 알고리즘 차이점 이해
- 시뮬레이션의 이해와 활용 및 Cyber Physical System (CPS) 파악

실제 시스템



가상 시뮬레이션



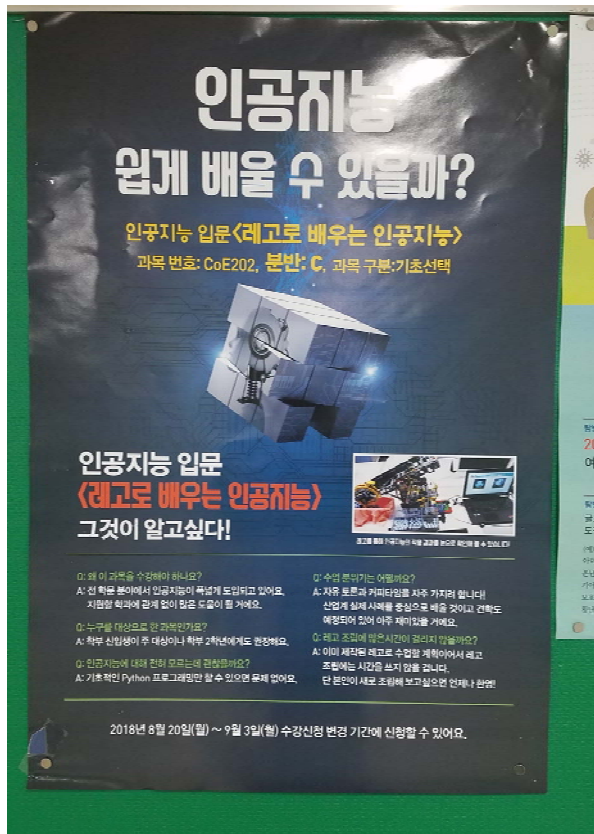
학습

실제운영 재생

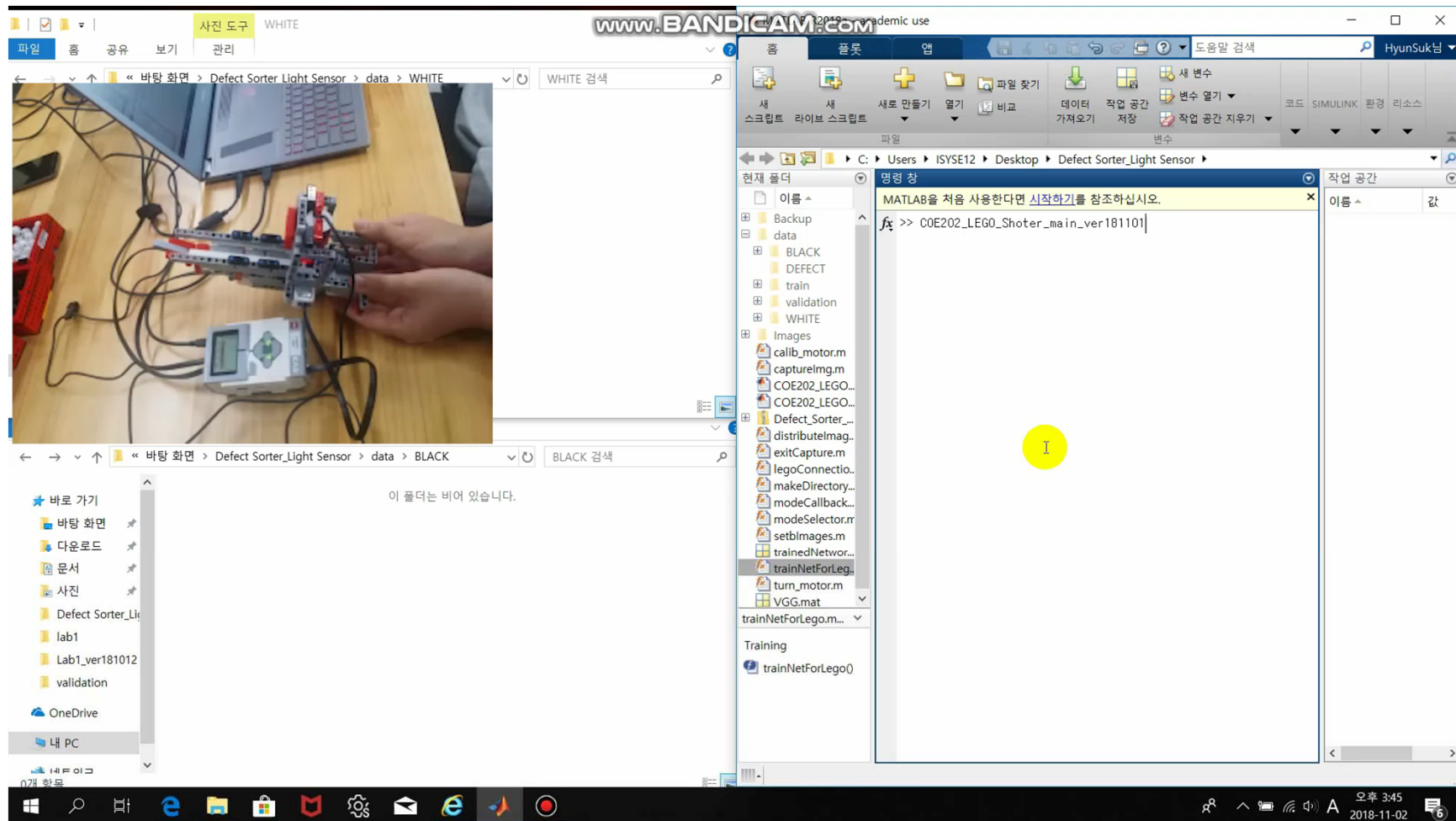
- CPS 개념 파악
- 모델링 기법에 대한 기본적인 개념 이해
- 실제 실험을 통한 효과 검증

KAIST 1학년 기초 AI

• “레고로 배우는 AI수업”



KAIST 1학년 기초 AI 수업 (CNN)

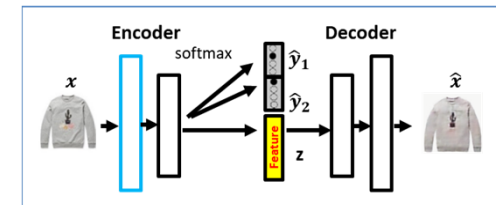


정리

산업 AI

- 일부 자동화가 불가능했던 프로세스를 자동화 함으로서 전체 프로세스 자동화 가능

- 코오롱 사례



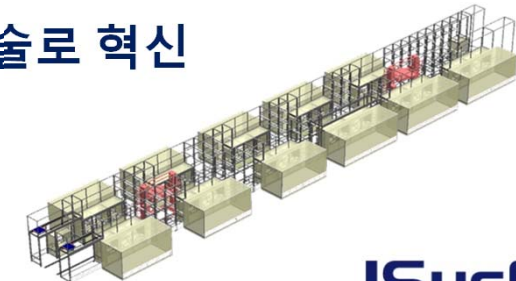
- 기존 불확실성을 AI기술로 혁신

- 신성 OHT 시스템 개발



- 기존 complexity 로 논리적 모델이 불가능한 부분을 AI기술로 혁신

- LG CNS 스택커 시스템



AI 프랜즈

- 시대정신의 변화
- 문화의 변화

THE Infinite

FEBRUARY 2019



School of
Engineering

Dear members of the MIT community,

I was inspired by the depth and imagination of your responses to last month's question, "How could MIT positively impact the transportation of the future?" Alumni urged MIT to play a role in specific ways, such as helping society maximize the adoption of self-driving cars and high-speed rail transport. Many of you pointed to untapped efficiency opportunities that would streamline transportation and reduce carbon emissions.

But above all, I was struck by the common refrain that a revolution in transportation is overdue — and MIT must continue to play a major role in this change. Alumni noted many present-day technological opportunities and asked, in essence, "How do we use technology to change the zeitgeist?" Or as Andrew "Tippy" Knoedler '90, SM '91 wrote: "If we don't start working on the culture now, then it will take generations after the tech is available for people to accept it."

- “기업이 망하는 이유는 뭔가를 잘못했기 때문이 아니라, 비즈니스의 근본적인 변화를 이해하지 못했기 때문이다.”

- 피터 드러커

참고문헌

- 패션 분류-배분 문제

- Shin Woong Sung, Young Jae Jang, “Image-Based Inventory Distribution System for Fashion Products Using Convolutional Neural Network,” INFORMS Annual Meeting, October, 2017.

- 인공지능 자동화 시스템

- Ilhoe Hwang, Sang Pyo Hong, Young Jae Jang, Sunil Kim and In-Ho Moon, “System Design and Development of the Q-Learning Based Overhead Hoist Transport (OHT) for Semiconductor Fabs,” *The 24th International Conference on Production Research*, 2017, Poland.

- 레고 교육

- Young Jae Jang and Vina S. Yosephine, “LEGO Robotics Based Project for Industrial Engineering Education,” *International Journal of Engineering Education*,” 32(3A), 2016.