

논문 2020-15-32

# TRT Pose를 이용한 모바일 로봇의 사람 추종 기법 (Development of Human Following Method of Mobile Robot Using TRT Pose)

최준현, 주경진, 윤상석, 김종욱\*

(Jun-Hyeon Choi, Kyeong-Jin Joo, Sang-Seok Yun, Jong-Wook Kim)

Abstract : In this paper, we propose a method for estimating a walking direction by which a mobile robots follows a person using TRT (Tensor RT) pose, which is motion recognition based on deep learning. Mobile robots can measure individual movements by recognizing key points on the person's pelvis and determine the direction in which the person tries to move. Using these information and the distance between robot and human, the mobile robot can follow the person stably keeping a safe distance from people. The TRT Pose only extracts key point information to prevent privacy issues while a camera in the mobile robot records video. To validate the proposed technology, experiment is carried out successfully where human walks away or toward the mobile robot in zigzag form and the robot continuously follows human with prescribed distance.

Keywords : Trt pose, Realsense, ROS, Humanoid robot model, Walking direction estimation

## 1. 서론

4차 산업혁명 시대의 도래와 함께 로봇공학과 하드웨어, 소프트웨어 기술의 발전으로 최근 다양한 로봇 활용 서비스가 제공되고 있다. 로봇은 노약자나 어린이 등 보호자를 필요로 하는 신체적, 사회적 약자를 위해 여러 가지 서비스에 적용될 수 있다. 예를 들어, 로봇은 보호자의 역할을 대신하여 사용자를 추종하며 관찰할 수 있고, 사용자에게 문제 발생 시 스스로 문제를 판단 후 여러 방식으로 주변에 위험 사항을 알려 주변 사람 또는 보호자에게

도움을 요청할 수 있다. 특히 사람을 도와주는 서비스를 제공하는 재활 로봇, 보조 로봇 등은 다양한 환경에서 사용자의 위치를 정확히 인식하는 동시에 사용자의 행동 패턴을 관찰하여 적절한 판단을 해야 한다.

본 논문에서는 모바일 로봇이 사람의 골격을 인식하여 사람을 추종하는 데 필요한 기술을 제시한다. 기존의 연구에서도 다양한 방법으로 사람을 인식하고 패턴을 분석하는 연구가 진행되었다 [1-4]. 로봇에 부착된 2차원 또는 3차원 카메라를 사용해 영상으로 대상인의 얼굴과 동작을 인식하고 관찰하는 연구가 많이 이뤄져 왔으나, 대상인을 촬영한 영상을 직접적으로 분석하고 처리하는 과정에서 사생활을 침해하는 문제점이 있다 [5-7]. 이를 완화하는 방법으로 QR코드를 이용하여 사람을 추종하는 연구가 수행되었는데 [8], 정확한 인식을 위해 사람의 신체에 QR코드를 붙여야 하고 QR코드를 붙인 방향을 제외한 다른 방향에서 인식 할 수 없다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 NVIDIA 플랫폼에서 제공하는 실시간 자세 추정 오픈소스인 TRT (Tensor RT) pose를 모바일 로봇에 탑재하여 실시간으로 대상인의 키포인트를 인식

\*Corresponding Author (kjwook@dau.ac.kr)

Received: Nov. 5, 2020, Revised: Nov. 10, 2020, Accepted: Nov. 24, 2020.

J.-H. Choi, K.-J. Joo: Donga-A University (B. Student)

S.-S. Yun: Silla University (Professor)

J.-W. Kim: Donga-A University (Professor)

※ 본 논문은 산업통상자원부 산업기술혁신사업 (No. 20004720)과 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원 지원 사업 (No. 20000515)에 서 지원하여 연구하였음.



그림 1. trt pose를 이용한 사람인식

Fig. 1 Human recognition using trt pose

하고, 이로부터 대상인의 보행 방향을 추정하는 방법을 새롭게 제안한다. TRT pose는 카메라로 찍은 2차원 이미지로부터 사람의 신체 주요 관절과 얼굴 특징점 들을 키포인트 (key point)로서 인식하고 이를 기반으로 2차원 골격모델을 추출하기 때문에 사용자의 사생활과 개인정보를 보호할 수 있다. 또한 depth 카메라와 골격 모델을 이용하여 사용자의 각 키포인트의 거리정보와 픽셀 좌표를 추출하여 로봇과 사용자 간의 거리를 측정하고 키포인트를 이용하여 사용자의 위치와 이동하는 방향을 예측하고 판단하여 더욱 안정적인 추종을 할 수 있다. 그림 1은 TRT pose로 인식한 사람의 키포인트들을 보여준다. 본 논문에서는 TRT pose 기반 골격 인식 기술을 모바일 로봇의 사람 추종 분야에 적용해 대상인의 관절 좌표와 보행 방향을 관찰한 후 모바일 로봇이 대상인을 추종하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 사람을 16개의 키포인트로 인식하는 방법을 제시하고 3장은 인식한 키포인트를 이용하여 사람을 추종하는 방법을 제시한다. 4장은 본 논문의 알고리즘을 증명하는 실험 결과를 보여준다.

## II. 사람 인식

본 논문에서 제안하는 추종 기법의 목적은 추종 대상자의 골격데이터와 depth 정보만을 이용하여 안정적으로 대상을 추종하는 것이다. 본 논문에서는 실시간으로 카메라 이미지에서 사람의 관절과 얼굴의 키포인트를 감지하는 오픈소스인 TRT pose와 3D depth 카메라 intel 프레임을 이용한다.

본 논문에서 사용된 실시간 포즈 추정 모델은 NVIDIA Jetson Community Projects에서 제공한 trt\_pose project를 사용하였다 [9]. trt\_pose는 NVIDIA Jetson 환경에서 실시간으로 인간의 포즈를 추정하는 것을 목표로 개발되었으며 TensorRT로 가속화 되었다. 또한, trt\_pose에서 포즈 추정이기 위해 사용된 데이터 셋은 MSCOCO dataset 형식이며 Jetson Xavier에서 높은 FPS로 실시간 포즈 추정을 위해 resnet18\_baseline\_att\_224x224\_A 네트워크 모델을 사용하였다. 가벼운 네트워크 모델을 사용하고, tensorRT 모델을 변환할 수 있어서 복잡하고 큰 네트워크 모델도 고속으로 처리할 수 있다 [10]. 그 결과, 모바일 로봇에 적용할 수 있는 최적화 된 사람 포즈를 16개의 키포인트로 추정할 수 있다.

본 논문에서는 각 장면에 대해, 변조된 광신호의 지연을 측정하여 거리정보를 측정하는 ToF (Time of Flight)방식을 적용하여 depth 프레임을 얻으며, PyrealSense2 패키지를 이용하여 RGB 프레임에서 TRT pose로 추출된 16개의 키포인트 픽셀 정보를 이 depth 프레임에 적용하여 해당 키포인트의 거리 정보를 획득한다 [11].

본 논문에서는 실생활에서 로봇이 영상을 이용하여 사람을 추종할 때 발생하는 여러 가지 문제에 대해 고려하여 사용자의 각 신체의 키포인트 정보를 저장하고 분석해 사용자의 사생활 보호에 초점을 맞춘 연구를 진행하였다.

## III. 사람 추종 시스템

### 3.1 추종 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 TRT pose를 이용하여 사람의 골격을 인식하고 추출한 골격 정보와 depth 정보를 이용하여 대상을 추종한다. 알고리즘은 크게 두 가지 원리로 나눌 수 있다.

첫 번째, 사람과 로봇 간의 거리를 판단하고 로봇은 안전거리를 유지하며 추종한다. 본 논문에서는 로봇과 사람 간의 기준거리를 2m로 지정하였다. TRT pose로 인식한 사람의 골반 중심의 depth 정보를 이용하여 현재 사람과 로봇 간의 거리를 인식하고, 정해진 기준거리와 로봇이 멀어지면 전진하며 가까워질 경우 후진을 한다. 기준거리와 실제 거리의 차이에 비례하여 선속도를 변화시켜 로봇의 속도를 제어함으로써 보다 안정적으로 추종할 수 있다.



그림 2. 화면 중심부 범위  
Fig. 2 Screen center range

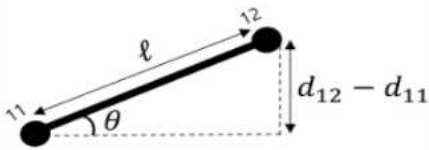


그림 3. 키포인트를 이용해 사람의 각도 계산  
Fig. 3 Calculate a person's angle using key points

두 번째, 로봇은 사람이 카메라 시야각 밖으로 벗어나지 않게 화면의 중심부의 특정 범위 내에 사람이 위치할 수 있도록 좌우 방향을 제어한다. 본 논문의 시스템에서는 640x480 해상도 기준  $x$ 축 픽셀 좌표 220에서 420까지를 시야범위로 지정하였다. 트래킹 과정에서 사람과 로봇 사이의 거리측정에 기준이 되는 골반 중심의 픽셀 좌표를 지정된 시야범위에 위치할 수 있도록 각속도를 조정하여 사람을 추종한다. 그림 2의 사각형은 본 논문에서 지정한 시야범위를 나타낸다.

또한 사람이 시야범위 내에 있을 때 골반의 depth 정보를 추출하여 사람이 향하는 방향과 각도를 추정하여 미리 방향을 틀게 함으로써 사람이 시야범위 밖으로 벗어나는 것을 방지한다. 사람의 각도를 계산하기 위해 키포인트 11번 (왼쪽 고관절)과 12번 (오른쪽 고관절)의 depth 정보와 실제 사람의 골반 길이를 이용한다. 키포인트 11번과 12번의 depth 정보를  $d_{11}$ 과  $d_{12}$ 라고 명명하면,  $d_{11}$ 과  $d_{12}$ 의 차이값이 0에 가깝다면 사람은 정면을 향하고 있다고 볼 수 있다. 또한  $d_{11}$ 과  $d_{12}$ 의 값이 다르다면 사람이 향하는 방향은 정면이 아닌 것을 알 수 있다. 이때 실제 사람의 골반 길이  $l$ 을 이용하여 사람이 향하는 각도  $\theta$ 를 계산할 수 있다. 그림 3은 실제 골반의 길이를 빗변으로 하고  $d_{12}$ 와  $d_{11}$ 의 차

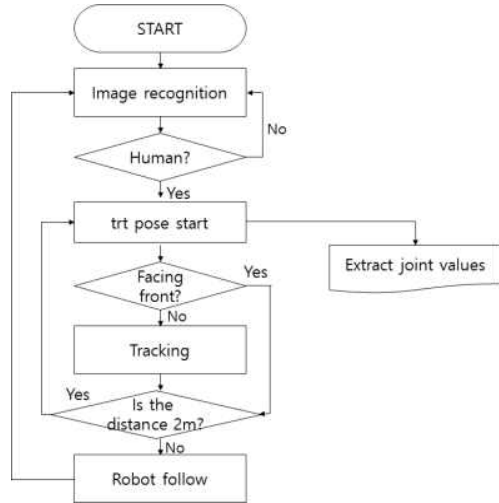


그림 4. 알고리즘 구성도  
Fig. 4 Algorithm flow chart

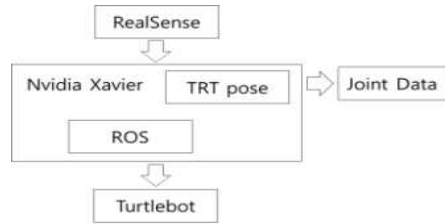


그림 5. 시스템 구성도  
Fig. 5 System configuration diagram

이값을 높이로 하는 직각삼각형을 나타내며, 이 그림으로부터 사람이 향하는 각도  $\theta$ 를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{d_{12} - d_{11}}{l}\right). \quad (1)$$

이 방법으로 구한 각도는 카메라의 시야각에 따라 오차가 발생 할 수 있다.

본 논문에서는 사람이 향하는 정확한 각도를 계산하는 것이 중요한 것이 아니라, 사람이 향하는 방향을 예측하고 미리 대비함으로써 사람이 로봇의 시야범위 밖으로 벗어나는 것을 방지하는 것이 주요 목적이다. 그림 4는 본 시스템의 전체 알고리즘 구성도를 나타낸다. 로봇은 시각 데이터를 받아 사람일 경우 각 키포인트를 추출하여 사람과 로봇 간의 거리, 각도 화면의 기준범위에 위치하는지를 확인하여 거리와 방향을 제어한다.



그림 6. RQT 그래프  
Fig. 6 RQT graph



그림 7. 하드웨어 외관  
Fig. 7 Hardware

3.2 로봇 시스템

그림 5는 본 시스템의 전체 시스템 구성을 보인다. 본 논문에서는 Intel D435i depth카메라와 Nvidia사의 Xavier NX를 이용하고, Ubuntu 18.04 환경에서 ROS를 이용하여 사람과 로봇간 거리를 인식하고 로봇의 바퀴를 제어하여 사용자를 추종한다.

그림 6은 ROS topic의 동적 이동과 각각의 노드를 보여주는 RQT 그래프이다. trt\_pose 노드에서 추출한 데이터 trt\_pose\_data를 trt\_tracker 노드에서 계산하여 ROS의 표준 메시지인 Twist\_msg로 로봇을 제어한다. 로봇은 ROBOTIS사의 모바일 로봇인 TurtleBot3 burger를 본 논문의 시스템에 맞게 개조하여 사용하였다 [12]. 카메라는 로봇이 약 2m 간격으로 사람을 추종할 때 사람의 골반이 화면에 나올 수 있는 높이에 인텔 D435i Depth 카메라를 장착하였다. 본 논문의 시스템 구동부는 ROBOTIS사의 로봇 컨트롤러인 OpenCR을 기반으로 하여 ROS Serial통신을 이용하여 제어했다. 그림 7은 본 시스템에서 사용한 로봇의 하드웨어 외관이다.

본 시스템에서는 분석된 사람의 속도와 각도에 대한 선속도와 각속도를 이용하여 모바일 로봇을 구동한다. 전송받은 선속도  $v$ 와 각속도  $\omega$ 를 이용하여 각 모터의 RPM (Rotate per minute)을 계산하여 각 모터에 계산된 RPM에 맞는 pulse를 전송하여 PWM (pulse width modulation) 제어를 하여 구동한다. 이때 RPM은 다음과 같은 방법으로 계산한다.

$$RPM_l = \frac{v - \omega R}{2\pi r}, \tag{2}$$

$$RPM_r = \frac{v + \omega R}{2\pi r}. \tag{3}$$

본 논문의 시스템의 제어부에서는 ROS의 표준 msg인 Twist\_msg를 식 (2)와 식 (3)을 이용하여 RPM으로 변환하여 로봇의 움직임을 제어한다. ROS의 표준 메시지를 이용하여 제어함으로써 본 시스템에서 사용한 모바일 로봇이 아닌 같은 ROS의 표준 메시지를 사용하는 어떠한 로봇에서도 간단한 파라메타 조정 후 사용할 수 있도록 구현하여 확장성을 증가시켰다.

IV. 실험결과

본 논문에서 제안한 방법의 정확성을 확인하기 위해 사람이 왼쪽으로 30°와 40°, 오른쪽으로 30°와 40°로 지그재그 형태로 걸어갈 때 로봇과 사람 사이 거리와 추종하기 위해 회전한 각도를 먼저 측정했다.

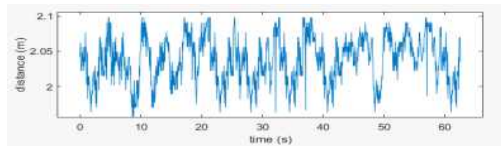


그림 8. 사람과 로봇사이 거리  
Fig. 8 Distance between human and robot

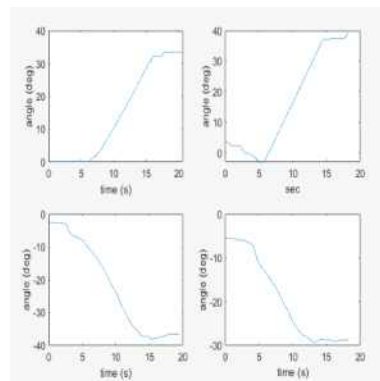


그림 9. 보행 각도에 따른 로봇의 각도  
Fig. 9 Angle of the robot according to the walking angle



그림 10. 사람이 멀어질 경우  
Fig. 10 Follow when people get away



그림 11. 사람이 가까워질 경우  
Fig. 11 Follow when people close

그림 8은 사람이 걸어갈 때 로봇과 사람사이의 거리를 보여준다. 로봇의 안정적인 정지를 위해 10cm의 오차범위를 허용했다.

그림 9는 사람의 보행 각도에 따른 로봇의 각도를 IMU센서를 이용하여 측정하는 것이다. 사람의 골반 각도를 이용하여 방향을 측정하여 로봇이 추종하는 것을 확인할 수 있다.

그림 10은 실제 로봇이 지그재그로 걸어가는 사람을 추종하는 모습을 보여준다. 로봇은 TRT Pose로 추출한 골반의 키포인트의 depth정보를 이용하여 사람의 골반각도를 계산하여 사람의 이동 방향을 예측한다. 사람을 트래킹하여 방향을 제어하는 과정에서 사람의 이동 방향을 예측함으로써 사람이 카메라의 시야각 밖으로 벗어나는 것을 방지하여 더욱 안정적으로 사람을 추종할 수 있다.

그림 11은 사람이 로봇에게 지그재그로 다가오는 경우로서 사람이 로봇과 가까워질 경우 사람과 로봇간의 충돌을 방지하기 위해 로봇은 후진하여

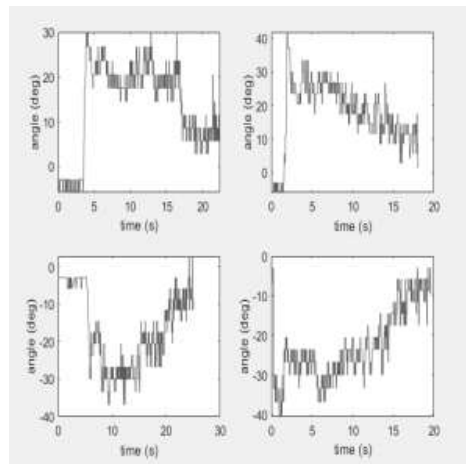


그림 12. 추종 시 사람의 골반 각도 변화량  
Fig. 12 The amount of change in the angle of a person when following

안전거리를 유지하는 모습을 보여준다. 지그재그로 이동하면서 사람이 여러 방향으로 이동할 때 로봇의 추종을 보여준다. 그림 12는 이렇게 사람이 방향을 변화하며 걸어갈 때 로봇이 추종하며 사람의 골반 각도를 측정할 것을 보인다.

## V. 결 론

본 논문에서는 TRT pose를 이용해 사람의 행동패턴을 인식하여 추종하는 방법을 제시하였다. depth 카메라를 통해 사람의 키포인트를 추출하고 사람과 로봇 사이의 거리를 계산해 로봇이 안전거리를 유지하며 사람을 추종할 수 있도록 했다. 이때 TRT pose는 영상이 아닌 사람의 키포인트만을 추출하여 개인의 사생활 보호를 강화하고 사용자가 더욱 안심하고 로봇을 사용할 수 있도록 하였다.

추후 추종과정에서 키포인트를 이용하여 사람의 보행 패턴을 인식하고 넘어짐 등 위험한 상황을 판단하여 노약자나 환자의 안전을 확보할 수 있는 쪽으로 연구를 할 예정이다. 또한 초음파 또는 LiDAR를 이용한 회피 알고리즘을 추가하여 추종 과정에서 장애물을 만나면 회피하여 안정적으로 추종을 지속할 수 있도록 개선하고, 키포인트를 이용하여 사람의 보행 패턴을 분석하여 거리정보와 더불어 더욱 정확한 보행속도를 예측하고 현재의 골반만을 이용하여 방향을 예측하는 방식 뿐 아니라 사람의 골격 전체의 정보를 분석하여 추종 대상인의 방향을 예측할 예정이다.

더 나아가 사람 인식률을 높이고 사람의 행동패턴을 분석하여 사람이 넘어지는 경우를 넘어 다른 위험한 행동을 한 경우도 조치를 할 수 있는 기술과 사람의 방향을 보고 추종하는 것이 아닌 행동패턴을 분석하여 사람의 방향을 보다 정확하게 예측할 수 있는 방향으로 개선할 예정이다. 최종적으로는 추종 대상인의 보행 패턴을 분석하여 사람의 이미지 정보 없이 골격 정보만으로 그 대상인의 고유 패턴을 분석하고 학습하여 여러 사람 중 자신이 추종해야 하는 대상인을 스스로 판단하고 추종할 수 있게 연구할 예정이다.

## References

- [1] A.Glandon, L.Vidyaratne, N. Sadeghzadehyazdi, Nibir K. Dhar, Jide O. Familoni, Scott T. Acton, K. M. Iftekharuddin, "3D Skeleton Estimation and Human Identity Recognition Using Lidar Full Motion Video," Proceedings of 2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), pp. N-20332, 2019.
- [2] A. Jinguji, T. Fujii, S. Sato, H. Nakahara, "An FPGA Realization of OpenPose Based on a Sparse Weight Convolutional Neural Network," Proceedings of International Conference on Field-Programmable Technology (FPT), pp. 313-316, 2018.
- [3] S. Qiao, Y. Wang, J. Li, "Real-time Human Gesture Grading Based on OpenPose," Proceedings of 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI), pp. 14-16, 2017.
- [4] S. Liu, G. Hua, Y. Li, "2.5D Human Pose Estimation for Shadow Puppet Animation," KSII Transactions on Internet and Information Systems, Vol. 13, No. 4, pp. 2042-2059, 2019.
- [5] S. Park, D. Lee, "A Development of Visual Human Tracking System for Path Guidance Robot," The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 39-40, 2019 (in Korean).
- [6] Y. Xiao, V.R. Kamat, C.C. Menassa, "Human Tracking from Single RGB-D Camera Using Online Learning," Image and Vision Computing, Vol. 88, pp. 67-75, 2019.
- [7] R. Algabri, M.-T. Choi, "Deep-learning-based Indoor Human Following of Mobile Robot Using Color Feature," Sensors, Vol. 20, No. 2699, pp. 1-19, 2020.
- [8] S. Lee, J.W. Choi, C.V. Dang, J.-W. Kim, "Development of Human Following Method of Mobile Robot Using QR Code and 2D LiDAR Sensor," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 15, No. 1, pp. 35-42, 2019 (in Korean).
- [9] <https://developer.nvidia.com/embedded/community/jetson-projects>
- [10] [https://github.com/NVIDIA-AI-IOT/trt\\_pose](https://github.com/NVIDIA-AI-IOT/trt_pose)
- [11] <https://www.intelrealsense.com/developers/>
- [12] <https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/overview/>

[1] A.Glandon, L.Vidyaratne, N. Sadeghzadehyazdi, Nibir K. Dhar, Jide O. Familoni, Scott T. Acton, K. M. Iftekharuddin,

**Jun-Hyeon Choi (최 준 현)**

He will receive B.E. degree in department of Electronic Engineering at Dong-A University in 2021. His research interests include Robotics and Artificial

intelligence.

Email: ggp032177@naver.com

**Kyeong-Jin Joo (주 경 진)**

He will receive B.E. degree in department of Electronic Engineering at Dong-A University in 2021. His research interests include Computer Vision and Artificial intellig

ence.

Email: jookj96@naver.com

**Sang-Seok Yun (윤 상 석)**

He received the B.S. in Mechanical Engineering from Inje University in 2002, and his M.S. in Mechatronics Engineering from GIST, Korea, in 2005. He

received his Ph.D. in Mechanical Engineering from Korea University in 2013. He is currently an assistant professor at the Division of Mechanical Convergence Engineering, Silla University, Korea. His research interests include cognitive control system, human-robot interaction, and socially assistive robots.

Email: ssyun@silla.ac.kr

**Jong-Wook Kim (김 종 욱)**

He received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Electronics and Electrical Engineering from POSTECH, Pohang, Korea in 1997, 2000 and 2004. He is

currently a professor in the department of Electronic Engineering at Dong-A University, Busan, Korea. His Research Interests include Embedded system, Optimization algorithm, Robotics and Artificial intelligence.

Email: kjwook@dau.ac.kr