

독거노인 케어를 위한 개선된 YOLO-KCF 기반 낙상감지 알고리즘

강경원^{1*}, 박수영²

¹동명대학교 정보통신소프트웨어공학과, ²경기대학교 대학원 청소년학과

The Modified Fall Detection Algorithm based on YOLO-KCF for Elderly Living Alone Care

Kyoung-Won Kang^{1*}, Soo-Young Park²

¹Dept. of Information, Communication & Software Engineering, Tongmyong University

²Dept. of Youth Science, Kyonggi University

요약 독거노인이 증가하면서 낙상 사고 빈도도 높아지고 있다. 낙상은 노인들의 건강을 위협할 뿐만 아니라, 독립적인 생활을 위협할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해서는 독거노인의 위급한 상태를 인식하고 대응할 수 있는 실시간 기술이 필요하다. 따라서 본 논문은 독거노인을 위해 긴급 상황 중 하나인 낙상을 실시간으로 확인할 수 있는 YOLO-KCF를 기반 개선된 낙상 감지 알고리즘을 제안한다. YOLO는 물체의 검출뿐 아니라 서 있는 행동과 쓰러지는 행동 유형을 감지할 수 있다. 따라서 본 논문은 서 있는 행동 유형과 쓰러지는 행동 유형간의 경계 박스의 형태 변화를 이용하여 낙하를 검출할 수 있으며, KCF의 단점을 개선할 수 있다.

• 주제어 : 낙상 검출, 객체 검출, 객체 추적, YOLO, KCF

Abstract As the number of elderly people living alone increases, the frequency of fall accidents is also increasing. Falls are a threat to the health of older adults and can reduce their ability to remain independent. To solve this problem, we need real-time technology to recognize and respond to the critical condition of the elderly living alone. Therefore, this paper proposes a modified fall detection algorithm based on YOLO-KCF that can check one of the emergency situations in real time for the elderly living alone. YOLO can detect not only the detection of objects, but also the behavior of objects, namely stand and fall. Therefore, this paper can detect fall using the ratio of change of boundary box between stand and falling situation, and this algorithm can improve the shortcomings of KCF.

• Key Words : Fall detection, Object detection, Object tracking, YOLO, KCF

Received 23 March 2020, Revised 12 April 2020, Accepted 09 June 2020

* Corresponding Author Kyung-Won Kang, Dept. of Information and Communication Engineering, Tongmyong University, 428, Sinseon-ro, Nam-gu, Busan, Korea. E-mail: kangkw@tu.ac.kr

I. 서론

독거노인은 현재 140만 명에서 2035년 300만 명으로 빠른 속도로 증가할 것으로 예상되며 이와 함께 독거노인의 낙상으로 인한 손상은 계속 증가하고 있다. 독거노인뿐만 아니라 지역 사회에 거주하는 65세 이상 노인의 약 30% 정도와 요양 시설에 있는 노인의 50% 정도가 매년 낙상을 경험하며 이들 중 절반은 반복적으로 낙상을 경험한다. 모든 낙상이 신체적 손상으로 이어지지는 않지만 낙상의 약 20% 정도는 의료적 처치를 필요로 하고 5%는 골절이 발생하며, 5-10%는 두부 외상, 관절의 탈구, 연부 조직의 좌상 또는 열상 등을 유발한다. 한편 골절의 90%는 낙상에 의해서 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 낙상 등 독거노인 케어 문제가 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 실시간적으로 독거노인의 안전과 건강 상태를 인지하고 대응할 수 있는 실시간 객체 인식 기술뿐만 아니라 행동인식 기술이 요구된다. 본 논문은 독거노인 케어를 위해 응급상황 중의 하나인 낙상 감지 기법을 제안한다. 제안한 방법은 현재 탐지 속도가 가장 우수한 딥러닝 기반 고속 객체 검출 알고리즘을 활용하여 서있는 행동 유형과 누워있는 행동 유형의 검출하고, 검출된 경계박스(boundary box) 정보의 특성과 행동 유형의 변화를 이용해 낙상을 감지한다. 또한 낙상에 따른 추가적인 2차 피해를 예방하기 위해 딥러닝과 추적 알고리즘을 접목하여 실시간 처리가 가능하다.

II. 관련 연구

2.1 YOLO(You Only Look Once)

최근에는 영상에서 객체 인식하기 위해 인공지능을 활용한 기법이 자주 사용되고 있다. 그중 가장 폭넓게 활용되는 방식은 슬라이딩 윈도우(sliding window)를 사용하는 R-CNN 계열의 알고리즘을 들 수 있다[1-3]. 간단하게 인공지능 모델을 확보할 수 있는 장점이 있지만, 선택적 탐색(selective search) 알고리즘을 통해 다수의 관심 영역 경계 상자 후보군을 생성하기 때문에 시간이 소요된다는 단점이 있다. 이 점을 개선하기 위하여 YOLO, SSD와 같은 알고리즘이 제안되었다[4-6].

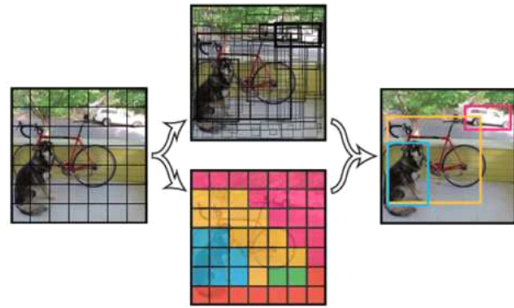


Fig. 1. Object Detect based on YOLO Network

YOLO는 딥러닝 기반 실시간 객체 검출 및 인식 알고리즘으로 그림 1과 같이 원본 이미지를 동일한 크기의 S×S개로 분할한 후, 각 영역 중앙을 중심으로 미리 정의된 형태로 지정된 경계박스의 수를 예측하고 이를 기반으로 신뢰도를 계산하여 객체의 클래스와 그 위치를 찾는 네트워크이다. 하나의 컨볼루션은 특징 지도를 생성하는 용도로 활용되며, 이 특징 지도는 여러 개의 분할된 영역 마다 대상 객체의 종류와 위치를 동시에 결정할 수 있기 때문에 실시간 탐지가 가능하다.

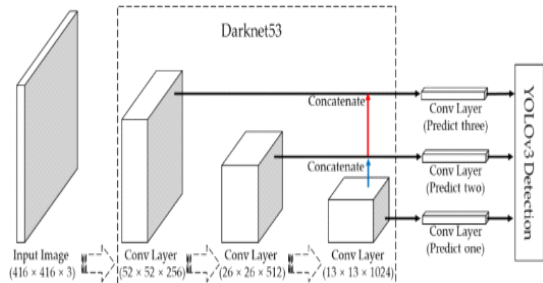


Fig. 2. YOLOv3 Network Architecture

그림 2는 YOLO 버전 3(YOLOv3) 네트워크 구조를 나타낸 것이다[7, 8]. YOLO 버전 3은 그림에서 보는 바와 같이 3개의 다른 스케일로 탐지를 수행하기 때문에 기존의 YOLO 방식보다 작은 물체를 더 잘 감지할 수 있으며, 더 많은 경계 상자를 예측할 수 있다. 그리고 식 (1)은 손실함수를 나타낸 것이다. 기존의 YOLO의 손실함수의 제곱 오차 항목이 교차 엔트로피 오차 항목으로 대체되어 객체 신뢰도와 클래스 예측이 로지스틱 회귀를 통해 예측하게 되었다.

$$\begin{aligned}
 & \lambda_{obj}^{coord} \sum_i \sum_j^B \sum_{responsible_obj} (x_{ij}^{pred} - x_{ij}^{obj})^2 + (y_{ij}^{pred} - y_{ij}^{obj})^2 \\
 & \quad + (w_{ij}^{pred} - w_{ij}^{obj})^2 + (h_{ij}^{pred} - h_{ij}^{obj})^2 \\
 & + \lambda_{obj}^{coord} \sum_i \sum_j^B \sum_{1no_responsible_obj} (x_{ij}^{pred} - x_{anchor_center})^2 + (y_{ij}^{pred} - y_{anchor_center})^2 \\
 & \quad + (w_{ij}^{pred} - w_{anchor_def})^2 + (h_{ij}^{pred} - h_{anchor_def})^2 \quad (1) \\
 & + \lambda_{obj}^{conf} \sum_i \sum_j^B \sum_{responsible_obj} \{Conf_{ij}^{pred} - iou(Box_{ij}^{pred}, Box_{ij}^{truth})\}^2 \\
 & + \lambda_{noobj}^{conf} \sum_i \sum_j^B \sum_{noobj}
 \end{aligned}$$

$$A = \frac{X_{max} + Y_{min}}{2} \quad (2)$$

$$B = \frac{X_{min} + Y_{max}}{2} \quad (3)$$

2.2 KCF(Kernelized Correlation Filter)

KCF는 객체의 모양 측면에서 학습에 사용한 객체 데이터를 닮은 대상과의 상관 필터링 응답을 최대화하는 최상의 필터 탭을 찾는다[9]. 이때 오버샘플링 전략으로 찾고자 하는 대상 이미지에 대한 무작위 표본들을 학습하는 대신 대상 이미지에서의 윈도우 내 가능한 모든 변환을 고려한다. 이 방법은 많은 수의 중복 표본들이 있어야 하므로 이전에는 단점으로 간주하였으나 이들이 적절하게 구성될 시 대상 이미지를 잘 표현하는 순환 행렬을 형성하게 되며, 이에 대한 대각화는 DFT(Discrete Fourier Transform) 행렬을 사용할 시 효율적으로 계산될 수 있다는 이점을 갖게 된다. 따라서 오버샘플링 전략을 사용하여 DFT 대각화 후, 고정 회귀문제(Ridge Regression)를 주파수 도메인에서 해결함으로써 적은 연산량으로 높은 정확도의 객체 추적이 가능하다. 그러나 KCF의 가장 큰 결점은 고정 크기의 템플릿 사용으로 인해 스케일 변화에 대한 대처가 미흡하다는 것이다. 이 문제는 YOLO를 이용해 객체에 대한 새로운 스케일을 찾아 적용함으로써 해결한다.



Fig. 3. Defined X_{min} , X_{max} , Y_{min} , Y_{max}

III. YOLO 기반 낙상 감지 알고리즘

YOLO는 단일 단계 방식의 객체 검출을 위한 고속 네트워크로, 객체의 위치(x, y), 객체의 크기(w, h)를 나타내는 경계박스(BBox, boundary box)와 객체 포함 가능성을 나타내는 신뢰 점수(box confidence score)를 인자로 가지고 있다. 낙상 감지를 위해 경계박스 정보를 이용하여 그림 3과 같이 $X_{min}(=x)$, $X_{max}(=x+w)$, $Y_{min}(=y)$, $Y_{max}(=y+h)$ 를 정의한 후 식 (2)와 식 (3)과 같이 A, B 를 정의한다[10].

서 있는 행동 유형이나 앉은 행동 유형은 $B > A$ 이며, 쓰러지는 행동 유형은 $A > B$ 를 나타내기 때문에 낙상 여부를 판단하기 위해 경계박스의 비(A/B)를 이용한다. 그림 4는 낙상이 발생한 5가지 사례에 대해 프레임이 지속되는 시간에 따른 경계박스 비를 나타낸 것이다. 낙상이 발생할 때 경계박스 비가 급속히 변경되면서 1 이상의 값을 유지하는 것을 보여 준다. 따라서 경계박스 비가 1보다 큰 경우 낙상의 시작으로 판단하며, 이 상태의 지속 여부에 따라 최종적인 낙상 여부를 판단할 수 있다.

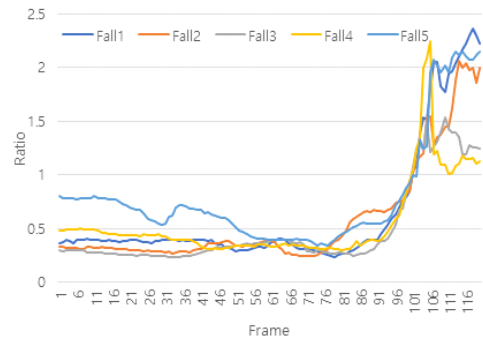


Fig. 4. Change of the ratio of the BBox

일반적으로 경계박스는 시간에 따라 연속적으로 변하기 때문에 경계박스 비가 급격히 변화는 경우에는

객체를 정확히 찾지 못한 예외적인 경우이기 때문에 이런 부분을 제거하기 위해 1초 분량의 프레임을 저장할 수는 있는 배열(Ratio) 공간을 생성하여 저장된 값의 평균 경계박스 비(BBox Ratio)를 최종적인 낙상 판단을 위한 비교 값으로 사용한다.

제안한 낙상 감지를 위한 알고리즘의 순서도는 그림 5와 같다. YOLO 네트워크가 객체를 검출할 때 생성된 경계박스(BBox)를 이용해 경계박스 비를 얻을 수 있다. 객체 검출시 발생하는 예외적인 경우를 제거하기 위해 단일 경계박스 비를 이용하는 것이 아니라 1초 동안의 경계박스 비의 평균값을 이용한다. 이 경우 비정상적인 경계박스 비가 검출되어도 그 영향을 최소화하여 최종적인 낙상 여부를 감지할 수 있다.

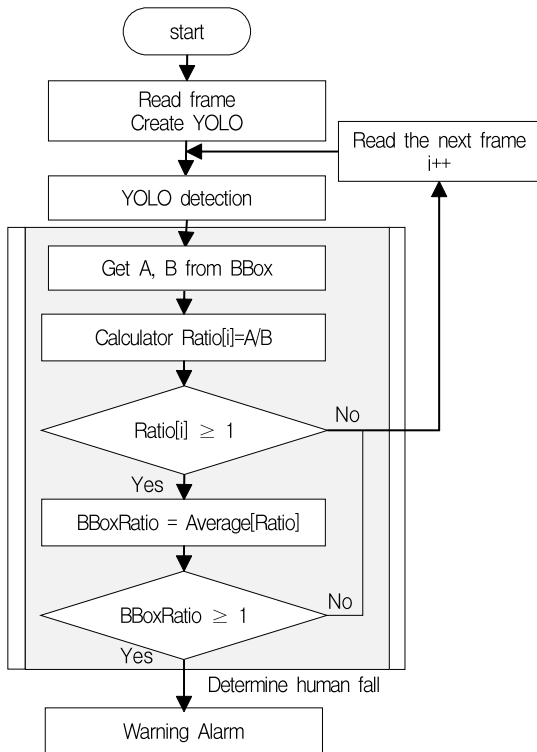


Fig. 5. Flowchart of human fall detection

IV. YOLO-KCF 기반 객체 검출 알고리즘

본 논문에서는 서 있는 행동 유형과 쓰러지는 행동 유형을 검출하기 위해 YOLO 네트워크만을 활용하면 많은 계산량이 필요하다. 실시간으로 행위를 검출하기 위해서는 보다 효과적인 방법이 필요하다. 일반적으로

추적 알고리즘은 그 시점까지 물체에 대한 모든 정보를 사용하기 때문에 항상 처음부터 시작하는 감지 알고리즘보다 빠르게 대상을 감지할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 독거노인의 서 있는 행동 유형과 쓰러진 행동 유형을 검출하기 위해 YOLO의 객체 검출 기법과 추적 알고리즘이 결합하여 효율적 운영이 가능하다. 그림 6은 제안한 방법의 알고리즘 구조를 나타낸 것이다. 매 프레임에 대해 객체 검출을 수행하는 대신 24 프레임 주기마다 검출을 수행하고, 그 사이의 프레임에 대해서는 KCF 기반을 추적 알고리즘을 사용한다.

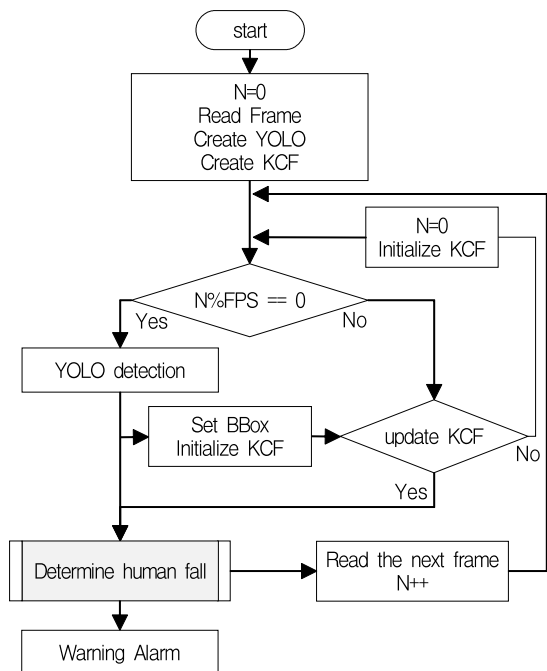


Fig. 6. Flowchart of proposed method

KCF 알고리즘의 상관 필터를 이용한 객체 추적 방법으로, 객체의 모양 측면에서 학습에 사용한 객체 데이터를 닮은 대상과의 상관 필터링 응답을 최대화하는 최상의 필터 템플릿을 찾는다. 그러나 KCF의 단점인 고정된 경계박스에 의해 스케일 변환에 대한 대처가 어렵다. 제안한 방법은 YOLO 네트워크에 의해 주기적으로 경계박스의 크기를 갱신할 뿐만 아니라 KCF가 탐색에서 실패할 때도 YOLO 네트워크에 의해 경계박스를 갱신하기 때문에 빠르고 강인한 추적이 가능하다.



(a) BBox Ratio=0.4 (stand)



(b) BBox Ratio=0.9 (stand)



(c) BBox Ratio=1.0 (fall)



(d) BBox Ratio=1.2 (fall)

Fig. 7. YOLO-KCF detection result

그림 7은 YOLO-KCF에 의해 검출된 결과 영상의 일부이다. 서 있는 행동인 경우 경계박스 비가 그림 7 (a)와 같이 1보다 작은 값을 나타낸다. 그러나 넘어지는 경우에는 그림 7 (b)와 그림 7 (c)와 같이 경계박스 비가 점점 커지게 되어 최종적으로 그림 7 (d)와 같이 1보다 큰 값을 가지게 된다.

V. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 낙상을 감지하기 Le2i의 fall detection 데이터셋 중 “Coffee room” 범주의 27,569 프레임으로 구성된 70개의 실험 영상을 사용하였다 [11]. 실험 영상의 해상도는 320×240 픽셀이고, 프레임 속도는 25fps이다. 현재 적합한 공개 데이터셋이 없어서 결과를 이전 결과와 직접 비교할 수는 없으나, 70개의 실험 영상에 대한 낙상 검출률은 표 1에 나타내었다. 검출률은 낙상과 유사한 행동 유형인 스스로 높은 행동이나 웅크리고 앉는 행동을 배제한 단순한 낙상 영상에 대해 검출 여부를 확인한 결과이다.

Table 1. Accuracy of fall detection of Le2i dataset

number of video class	Accuracy of fall detection
70	84 %

표 2는 제안한 YOLO-KCF 알고리즘과 객체 검출 기법인 YOLO 알고리즘의 성능을 비교한 것이다. 성능 비교를 위해 GPU가 있는 환경과 GPU가 없는 환경에 대해서 재생 가능한 프레임 수를 비교하였다. 표 2에서 보이는 바와 같이 YOLO만 사용할 때에는 GPU가 없는 경우에는 4fps, GPU가 있는 경우에는 27fps를 유지하였으나, 제안한 방법은 검출률의 저하 없이 GPU가 없는 경우에는 재생속도가 15.5배 향상되었으며, GPU가 있는 환경에서는 4배 향상됨을 알 수 있었다.

Table 2. Speed Comparison between proposed method and YOLO

	YOLO	Proposed Method
FPS w/o GPU	4 fps	62 fps
FPS w GPU	27 fps	106 fps

VI. 실험 결과 및 고찰

본 논문은 독거노인 케어를 위해 응급상황 중의 하나인 낙상을 실시간으로 감지하기 위해 YOLO-KCF 기반 추적 및 낙상 감지 알고리즘을 제안하였다. 제안한 YOLO-KCF 추적기법은 서 있는 행동과 쓰러지는 행동 사이의 경계박스 비를 고려하기 때문에 검출률 감소 없이 단순히 YOLO만 사용할 경우보다 4배~15.5배의 검색 성능 향상을 얻을 수 있어서 실시간 낙상 감지를 수행할 수 있으므로, 낙상에 의한 추가 피해를 예방할 수 있다.

향후 향상된 낙상 감지를 위해 유사한 행동에 대한 검증뿐만 아니라 프레임 간의 시간적 특성을 고려한 3D CNN 기반 행동 인식 기술의 접목을 통해 검출률을 더욱 향상 시킬 예정이다.

REFERENCES

[1] S. Ren, K. He, R. Girshick, J. Sun, "Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks," Proc. of the Int'l Conf. on Neural Information Processing Systems, pp. 91-99, 2015.

[2] J. Dai, Y. Li, K. He, J. Sun, "R-FCN: Object detection via region-based fully convolutional networks," Proc. of the Int'l Conf. on Neural Information Processing Systems, pp. 379-387, 2016.

[3] T. Y. Lin, P. Dollar, R. Girshick, K. He, B. Hariharan, S. Belongie, "Feature pyramid networks for object detection," Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 2117-2125, 2017.

[4] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 779-788, 2016.

[5] W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reed, C. Y. Fu, A. C. Berg, "SSD: Single shot multibox detector," European Conf. on Computer Vision, pp. 21-37, 2016.

[6] T. Y. Lin, P. Goyal, R. Girshick, K. He, P. Dollar, "Focal loss for dense object detection," Int'l Conf. on Computer Vision, pp. 2980-2988, 2017.

[7] J. Redmon, A. Farhadi, "YOLO9000: Better, faster,

stronger," Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 6517-6525, 2017.

[8] Redom, Darknet: Open source neural networks in C, <http://pjreddie.com/darknet/>

[9] J. H. Henriques, R. Caseiro, P. Martins, J. Batista, "High-speed tracking with kernelized correlation filters," TPAMI, vol. 37, no. 3, pp. 583-596, 2015.

[10] S. H. Hwang, S. B. Pan, "Fall detection system using the open source hardware and RGB camera," Journal of KIIT, vol. 16, no. 4, pp. 19-24, 2016.

[11] Fall detection Dataset, <http://le2i.cnrs.fr/Fall-detection-Dataset>.

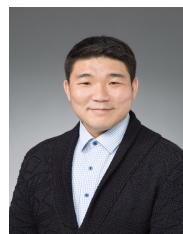
저자 소개

강 경 원 (Kyung_Won Kang)



1996년 2월 : 부경대학교
전자공학과(공학사)
1998년 2월 : 부경대학교
전자공학과(공학석사)
2002년 2월 : 부경대학교
전자공학과(공학박사)
2016년~2014년 : ㈜홈케스트
2018년~현재 : 동명대학교 정보통신공학과 조교수
관심 분야 : 영상 신호 처리, 머신러닝

박 수 영 (Soo-Young Park)



2007년 2월 : 동명대학교
경영정보학과(경영학사)
2014년 2월 : 경기대학교
청소년학과(청소년학석사)
2018년 2월 : 경기대학교
청소년학과 박사 수료
2019년~현재 : 동명대학교

상담심리학과 초빙교수
관심 분야 : 청소년활동, 청소년복지