

Individual Pig Detection Using Kinect Depth Information

Jangmin Choi[†] · Jonguk Lee^{**} · Yongwha Chung^{***} · Daihee Park^{****}

ABSTRACT

Abnormal situation caused by aggressive behavior of pigs adversely affects the growth of pigs, and comes with an economic loss in intensive pigsties. Therefore, IT-based video surveillance system is needed to monitor the abnormal situations in pigsty continuously in order to minimize the economic damage. In this paper, we propose a new Kinect camera-based monitoring system for the detection of the individual pigs. The proposed system is characterized as follows. 1) The background subtraction method and depth-threshold are used to detect only standing-pigs in the Kinect-depth image. 2) The moving-pigs are labeled as regions of interest. 3) A contour method is proposed and applied to solve the touching-pigs problem in the Kinect-depth image. The experimental results with the depth videos obtained from a pig farm located in Sejong illustrate the efficiency of the proposed method.

Keywords : Individual Pig Detection, Touching Problem, Kinect Camera, Monitoring System

키넥트 깊이 정보를 이용한 개별 돼지의 탐지

최 장 민[†] · 이 종 욱^{**} · 정 용 화^{***} · 박 대 희^{****}

요 약

밀집된 돈방에서 사육되는 돼지의 공격적 행동들은 돼지의 성장에 심각한 악영향을 주고, 이는 농가의 경제적 손실로 이어진다. 따라서 농가의 생산성 하락에 따른 경제적 손실과 직결되는 돈방 내의 비정상 상황들을 지속적으로 모니터링 할 수 있는 IT기반의 영상 감시 시스템이 요구된다. 본 논문에서는 돼지의 행동 분석 이전에 필수적으로 선행되어야만 하는 개별 돼지의 탐지를 위한 키넥트 카메라 기반의 새로운 모니터링 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 다음과 같다. 1) 키넥트 카메라로부터 취득한 깊이 영상에서 배경 차영상 기법과 깊이 임계값을 이용하여 서있는 돼지만을 탐지함으로써 영상 내의 탐색영역을 축소한다, 2) 서있는 돼지들 중에서 움직임이 있는 돼지들만을 관심영역으로 설정하여 탐지한다. 3) 서서 움직이는 돼지들 사이에서 발생하는 근접 문제를 깊이정보를 이용한 등고선기법을 제안·적용하여 돼지객체 탐지를 완성한다. 실제 세종에 위치한 한 돈사에서 취득한 깊이 영상 정보를 이용하여 본 논문에서 제안하는 시스템의 성능을 실험적으로 검증한다.

키워드 : 개별 돼지 탐지, 근접 문제, 키넥트 카메라, 모니터링 시스템

1. 서 론

국내 상업적 축산농가에서는 효율적인 가축관리를 위해 어미에게서 젖을 떼는 이유자돈들을 어미와 분리한 후 이유자돈들만을 따로 합사하여 관리한다. 이때, 낯선 환경 및 다른 자돈들과의 만남은 이유자돈들 사이에서 서열 결정을 위한

공격적 행동등과 같은 돈방 내의 사회적 충돌을 야기한다 [1-3]. 이와 같은 돈방 내의 비정상 상황 등은 이유자돈들 서로에게 물리적 상처를 입히게 되고, 결국 이유자돈들의 늦은 발육 및 폐사에까지 이르게 된다. 따라서 축산농가의 생산성 하락에 따른 경제적 손실과 직결되는 돈방 내의 비정상 상황들을 지속적으로 모니터링 할 수 있는 IT기반의 영상 감시 시스템이 요구된다[4].

돈방 내의 비정상 상황을 모니터링하는 IT기반의 영상 감시 시스템에 관한 연구동향을 살펴보면, 대부분의 연구들이 RGB 정보에 기반한 동영상 카메라를 이용하고 있음을 알 수 있다[2, 3, 5-7]. 그러나 RGB 카메라만을 이용하여 돈사의 이유자돈들을 모니터링할 경우 다음과 같은 문제점들이 발생한다[8, 9]. 첫째, RGB 영상의 특성상 조명이나 햇빛

* This research was supported by Basic Science Research Program through NRF funded by MEST (2015R1D1A1A 09060594) and Leading Human Resource Training Program of Regional Neo Industry through NRF funded by MSIP (2016H1D5A1910730).

[†] 준 회원 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 석사과정

^{**} 정 회원 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 조빙교수

^{***} 종신회원 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 교수

^{****} 정 회원 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 교수

Manuscript Received : August 9, 2016

Accepted : August 29, 2016

* Corresponding Author : Daihee Park(dhpark@korea.ac.kr)

과 같은 빛에 의한 영향을 많이 받는다. 둘째, 배경과 객체의 색상이 비슷할 경우 객체탐지가 어렵다. 셋째, 대부분의 돈사의 경우 이유자돈의 발육을 위해 밤에는 돈사 내부의 불을 끈다. 돈사의 불을 끌 경우 RGB 카메라의 특성상 영상을 획득할 수 없다. 마지막으로 두 마리 이상의 돼지가 근접할 경우 두 마리의 개체를 개별 개체가 아닌 한 마리로 인식하는 근접 문제가 발생할 수 있다(Fig. 1 참조). 한편, 2009년 마이크로소프트사에서 개발한 키넥트 카메라는 RGB 센서 뿐만 아니라 적외선 카메라에 사용되는 IR(Infrared sensor) 센서를 통한 깊이 정보까지 제공한다. 최근의 연구 동향은 위에서 언급한 RGB 카메라의 한계점을 극복하는 차원에서 키넥트 카메라 기반으로 진화하고 있다[5, 6].

본 논문에서는 가축의 행동 분석 이전에 필수적으로 선행되어야만 하는 움직이는 개별 돼지의 탐지를 위한 키넥트 카메라 기반의 새로운 모니터링 시스템을 제안한다. 특히, 돈방에서 촬영된 영상을 처리하는 과정에서 발생하는 어려움 중 혼잡한 돈방에서 움직이는 근접한 돼지들(touching pigs)을 개별 객체로 식별하기 위한 해결책을 강조한다. 먼저, 제안하는 시스템은 키넥트 카메라에서 취득하는 깊이 정보로부터 배경 차영상 기법과 깊이 임계값을 적용하여 서있는 돼지만을 탐지한다. 이는 관심 대상이 아닌 엎드려서 쉬거나 자고 있는 돼지 객체들을 제외함으로써, 영상 내의 탐색영역을 축소한다. 둘째, 이전 프레임에서 탐지된 개별 돼지의 움직임 정보를 이용하여 서있는 돼지들 중 움직임이 없거나 적은 돼지들은 탐지 대상에서 제외한 후, 움직임이 있는 돼지들만을 관심영역(ROI:Region of Interest)으로 설정하여 탐지한다. 이전 프레임에서 탐지된 서서 움직임이 없는 돼지에 관한 정보는 이미 확보되어 있기에 매 프레임마다 이들을 계속 탐지한다는 것은 불필요한 자원 낭비일 뿐만 아니라 추후 어려운 근접 문제를 유발할 수도 있다. 마지막으로, 서서 움직이는 돼지들 사이에서 발생하는 근접 문제를 깊이정보를 이용한 등고선 기법을 제안·적용하여 돼지 객체 탐지를 완성한다. 결국, 본 연구의 핵심 아이디어는 돼지 객체의 탐지 시, 가장 어려운 문제로 알려진 근접 돼지의 탐지문제를 돼지의 움직임 정보와 키넥트 카메라로부터 얻어지는 깊이 정보를 활용하여 보다 다루기 쉬운 문제로 변환하여 서서 움직이는 개별 돼지들을 탐지하고자 한다. 실제 세종시에 위치한 한 돈사에서 취득한 키넥트 영상을 이용하여 본 논문에서 제안하는 모니터링 시스템의 성능을 실험적으로 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 돈방 내의 모니터링 시스템에 관련한 최근 연구방법론의 문헌고찰을 간략하게 소개하고, 3장에서는 본 연구에서 제안하는 키넥트 카메라에서 취득한 깊이 영상을 이용하여 개별 돼지를 탐지하는 모니터링 시스템에 대해 상세히 기술한다. 4장에서는 실험 결과 및 성능 분석을, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해 논한다.

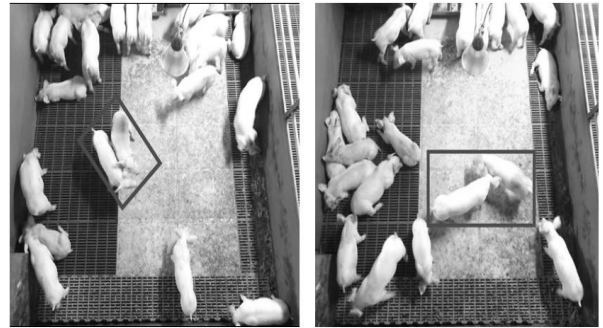


Fig. 1. Touching Problem of Adjoining Pigs with a RGB Camera

2. 관련 연구

본 연구의 주제인 돼지 모니터링 시스템에 관한 최신의 선행 연구들을 살펴보면 다음과 같다[4, 7, 8, 10-13]. Lee 등[4]은 키넥트 카메라를 이용하여 이유자돈의 공격적 행동을 조기에 탐지 및 분류하는 SVM(Support Vector Machine) 기반의 모니터링 시스템을 제안하였고, Kashiha 등[7]은 RGB 카메라 환경에서 이미지 프로세싱 기법을 이용하여 돈사 내의 개별 돼지들을 탐지하는 연구를 진행하였다. Kulikov 등[8]은 키넥트 카메라 기반의 영상 감시 시스템에서 배경 차영상 기법을 이용하여 무리지어 생활한 자돈 그룹과 격리되어 생활한 자돈 그룹의 행동을 분석하는 연구를 진행하였고, Stavrakakis 등[10]은 자돈의 성장에 심각한 영향을 주는 절뚝거림을 탐지하기 위해 키넥트 카메라를 이용하여 정상 돼지와 절뚝거리는 돼지를 지속적으로 추적하였다. 또한, Lao 등[11]은 키넥트 카메라로부터 취득한 깊이 정보와 이미지 프로세싱 기법을 이용하여 수유 중인 모돈의 다양한 행동들을 인식하는 연구를 진행하였으며, Zhu [12]등은 키넥트 카메라 기반의 돼지 모니터링 시스템에서 취득한 영상에 깊이 임계값을 적용하여 돈사 내의 개별 돼지를 탐지하고, 탐지된 돼지의 크기를 바탕으로 돼지의 성장정도를 확인하는 연구를 진행하였다. 마지막으로 Guo [13]등은 RGB 카메라 기반의 모니터링 시스템 환경에서 이미지 프로세싱 기법을 이용하여 개별 돼지를 탐지하는 연구를 진행하였다. 이상에서 살펴본 바와 같이, 키넥트 카메라 기반의 돼지 모니터링 시스템에 관한 최신의 선행 연구들이 다수 수행되었지만 돼지의 행동 분석 이전에 필수적으로 선행되어야만 하는 움직이는 개별 돼지의 탐지 시 발생하는 돼지의 근접 문제에 대한 구체적인 해결책을 제시하는 연구는 발견되지 않는다.

3. 제안 시스템

본 논문에서 제안하는 키넥트 카메라 기반 모니터링 시스템은 크게 “서있는 돼지 탐지 모듈”, “움직이는 돼지 탐지 모듈”, 그리고 “근접 문제 처리 모듈”로 구성된다(Fig. 2 참조).

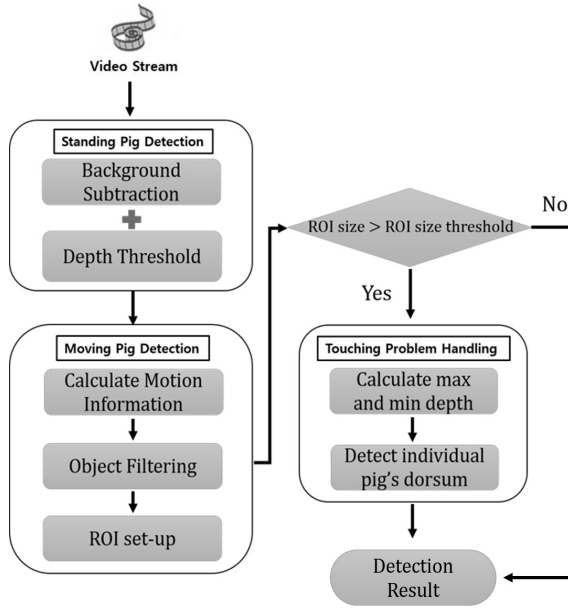


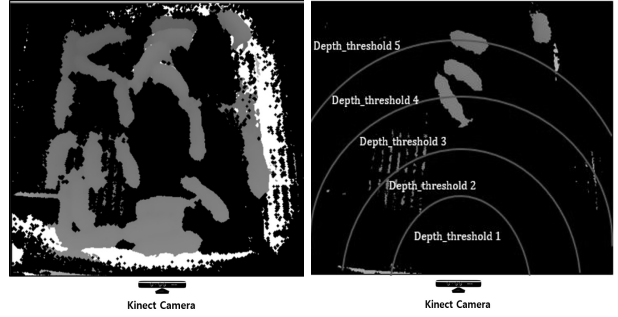
Fig. 2. Overall Structure of the Proposed Detection System

3.1 서있는 돼지 탐지(Standing Pig Detection)

“서있는 돼지 탐지 모듈”에서는 배경 차영상 기법과 깊이 정보 임계값(T_h)을 적용하여 엎드려서 쉬거나 자고 있는 돼지 객체들을 제외한 서있는 돼지만을 탐지한다. 이때, tilt-down 카메라로부터 멀리 위치한 영역은 가까이 위치한 영역보다 상대적으로 깊이 정보가 작게 측정되므로, 영상 내의 영역을 5개의 지역으로 나누고, 각 지역마다 서로 다른 깊이 임계값을 적용하여 엎드려있는 돼지들을 제거한다(Fig. 3 참조). 서있는 돼지 탐지를 위해 Equation (1)을 이용하였으며, Equation (1)에서 돼지 객체의 영상 깊이 정보($Pig_{(x,y)}$)와 배경 영상의 깊이 정보($Floor_{(x,y)}$)의 차이가 깊이 임계값보다 크면 돼지 객체로 분류하고, 깊이 임계값보다 작으면 배경으로 처리함으로써 서있는 돼지 객체를 탐지한다. Fig. 3(a)는 배경 차영상 기법을 이용하여 영상 내에 존재하는 모든 돼지들을 보여주며, Fig. 3(b)는 깊이 임계값을 적용하여 서있는 돼지들만을 탐지한 결과를 보여준다.

3.2 움직이는 돼지 탐지(Moving-Pig Detection)

“움직이는 돼지 탐지 모듈”에서는 이전 프레임에서 탐지된 개별 돼지의 움직임 정보를 이용하여 서있는 돼지들 중 움직임이 없거나 적은 돼지들을 탐지 대상에서 제외한 후, 움직임이 있는 돼지들만을 탐지한다. 이때, 탐지된 돼지들을 관심영역으로 설정하고, 관심영역의 위치정보와 면적 등 특징정보들을 추출한다. 이전 프레임에서 탐지된 움직임이 없는 돼지에 관한 정보는 이미 확보되어 있기에 매 프레임마다 이들을 계속 탐지한다는 것은 불필요한 자원 낭비일 뿐만 아니라 주위를 지나가는 돼지에 의해 근접 문제를 발생시킬 수도 있다.



(a) Image using background subtraction method (b) Image using depth threshold method

Fig. 3. Image Using Background Subtraction and Depth Threshold Method

$$B_i(x,y) = \begin{cases} 1 (pig), & \text{if } Pig(x,y) - Floor(x,y) \geq T_h \\ 0 (background), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

본 연구에서는 서있는 돼지들을 탐지할 때 발생할 수 있는 근접 문제를 예방하고, 탐지의 효율성을 높이기 위하여 개별 돼지의 사전 움직임 정보를 이용하여 서있는 돼지만을 탐지한다. 먼저, 현재 프레임을 t 프레임이라고 가정하면, t-2 프레임과 t-1 프레임에서 탐지된 개별 돼지의 중심 좌표와 유클리디안 거리 공식을 이용하여 두 프레임에서 같은 개체들이 움직인 거리(D)를 구한다(Equation (2) 참조). Equation (2)에서 p와 q는 각각 t-2 프레임과 t-1 프레임에서 계산된 이차원 공간의 개체 중심 좌표이다.

$$D(p_{(x,y)},q_{(x,y)}) = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2} \quad (2)$$

둘째, 유클리디안 거리 공식을 통해 계산된 두 중심 좌표 사이의 거리(D)가 반복 실험을 통해 설정된 거리 임계값을 만족하면, 두 프레임에서 탐지된 돼지는 같은 개체라고 판단하고, 계산된 중심 좌표 사이의 거리를 움직인 거리로 결정한다. 마지막으로 움직인 거리가 반복 실험을 통해 설정한 거리 임계값 보다 작으면 움직임이 없는 돼지라고 판단하고, 이전 프레임에서의 위치 정보를 이용하여 돼지 객체가 위치한 영역을 탐지 영역에서 제외한다. Fig. 4(a), 4(b), 4(c)의 상단 3프레임은 움직임이 적은 돼지에 의해 발생하는 근접 문제들을 보여주며, 하단 3프레임은 움직임이 적은 돼지 객체들을 탐지 영상에서 제외함으로써 각 근접 문제들을 다루기 쉬운 비근접 문제로 변환하는 예시를 보여준다.

이후, 서서 움직이는 돼지들의 지속적인 객체 탐지를 위해 탐지된 개별 개체들을 관심영역으로 지정한다. 이때, 탐지된 관심영역의 크기가 반복 실험을 통해 설정한 돼지 한 마리 면적 임계값(T_s)을 만족하면 정상 탐지로 판단하고, 특징정보를 추출한다(Equation (3) 참조). Fig. 5는 정상 탐지된 돼지들을 관심영역으로 표현한 결과이다.

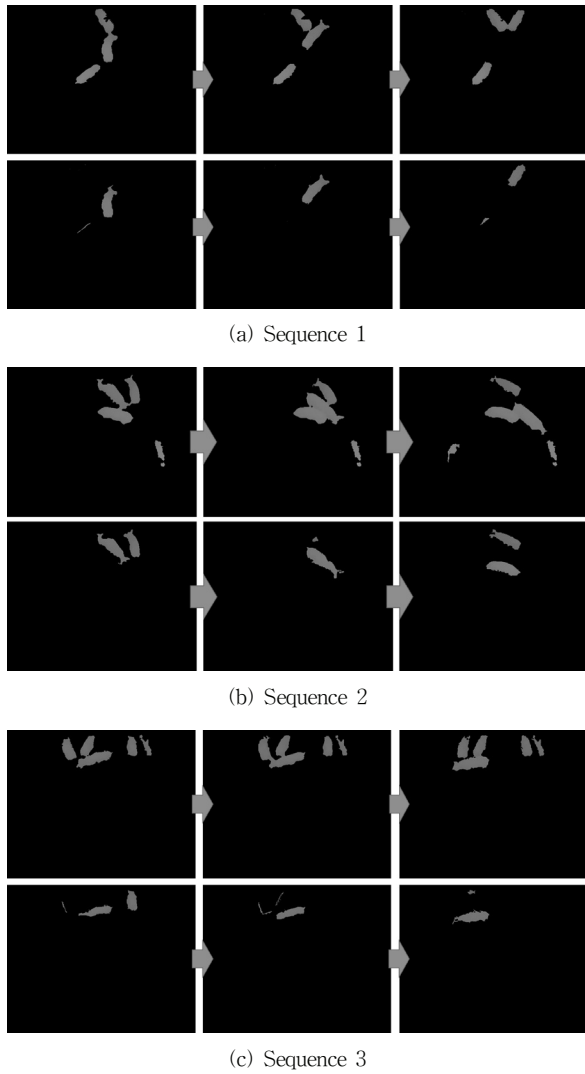


Fig. 4. Sequence Examples of Converting Touching Problem into Non-Touching Problem

$$Pig(x,y) = h_i \times w_i \leq T_s \quad (3)$$

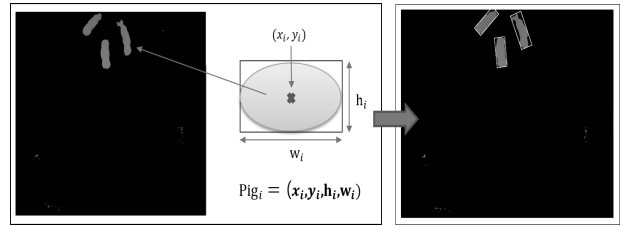


Fig. 5. Region of Interest

3.3 근접 문제 처리(Touching Problem Handling)

선행 모듈에서 움직임이 없는 돼지 객체들을 탐지 영상에서 제외함으로써 근접 문제를 일부 해결하였으나, 이는 모든 근접 문제들을 원초적으로 해결한 것은 아니다. “근접 문제 처리 모듈”에서는 돼지 객체의 탐지 시, 가장 어려운 문제로 알려진 근접 돼지의 탐지문제를 키넥트 카메라로부터 얻어지는 깊이 정보를 활용하여 보다 다루기 쉬운 비근접 문제로 변환하여 서서 움직이는 개별 돼지들을 탐지하는 등 고선 알고리즘(contour-line algorithm)을 제안한다.

먼저, 선행 모듈들에서 탐지된 서서 움직이는 돼지 객체들의 관심영역으로부터 관심영역의 크기를 이용하여 근접 문제 발생 여부를 확인한다. 근접 문제가 발생하면 둘 이상의 돼지가 근접해 있으므로, 탐지된 관심영역의 면적 크기가 돼지 한 마리의 면적 크기보다 커진다. 이러한 특징을 이용하여 탐지된 관심영역의 면적 크기가 돼지 한 마리 면적 임계값보다 크면 근접 문제가 발생한 것으로 판단한다. 둘째, 근접 문제가 발생하면 근접이 발생한 관심영역 내부를 탐색하여 깊이 정보를 추출한다. 마지막으로, 해당 관심영역 내부에서 추출한 최대깊이 정보의 일정 영역만을 탐지한다. 결국, 최대 깊이 정보의 일정 영역(주로 돼지의 등부분)만을 선택함으로써 돼지들이 겹치는 근접 발생 영역은 지워지고, 근접문제가 비근접문제로 변환되어 개별 돼지들로 탐지된다. Fig. 6은 제안된 알고리즘의 기본 아이디어를 그림으로 설명하고 있으며, Fig. 7은 실제 근접 문제가 비근접 문제로 변환되어 개별적 개체로 탐지되는 예시를 보여준

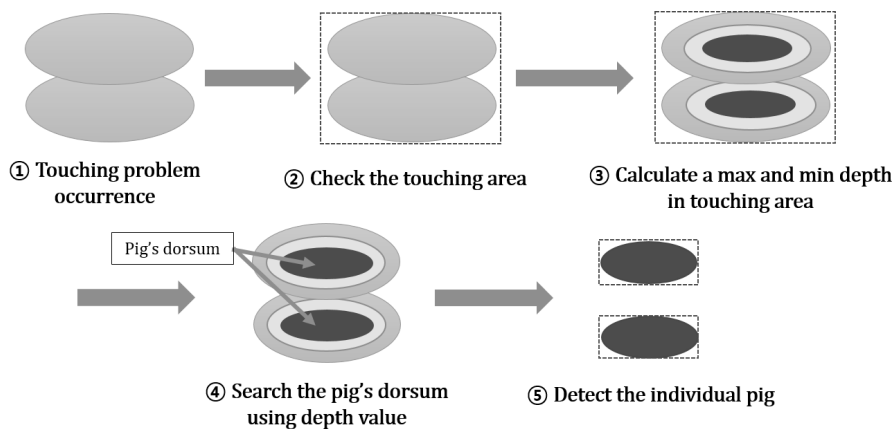
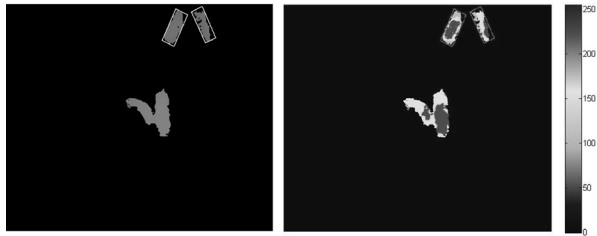
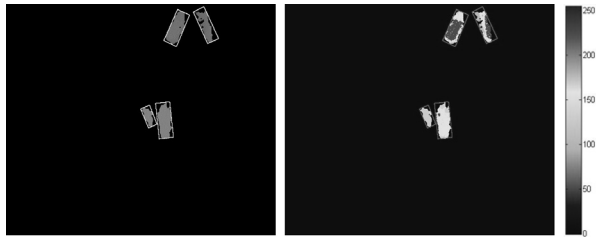


Fig. 6. Step of Contour-line Algorithm

다. Fig. 7의 (a)는 돼지 탐지 시 발생하는 근접 문제와 관심영역 내 최대 깊이 정보가 돼지의 등이 위치한 중심 영역에 존재함을 보여준다. 탐지된 돼지의 관심영역에서 빨간색으로 표현된 부분이 최대 깊이 정보와 가까운 값을 가지는 영역을 나타내며, 빨간색 영역에서 벗어나 멀어질수록 노란색과 파란색 순으로 표현된다. Fig. 7(b)는 등고선 알고리즘을 적용하여 근접 문제를 해결한 결과를 보여주며, Fig. 8은 본 논문에서 제안하는 등고선 알고리즘의 의사코드이다.



(a) Kinect depth image (left) and 3-channel image (right) of touching-pigs problem



(b) Segmentation result of touching-pigs

Fig. 7. Segmentation Result of Touching-pigs Problem by a Contour-line Algorithm

<p>Input I_{cur} : Input current image</p> <p>Output S_{cur} : Segmented current image</p>
<p>Algorithm</p> <p>Step 1: Extract ROI size from I_{cur}</p> <p>Step 2: Check ROI size if $ROI_{size} > T_s$ extract depth information from ROI</p> <p>Step 3: Detect pig's dorsum using maximum depth information in ROI for $y \leftarrow 1$ to $y \leftarrow ROI_{height} - 1$ do for $x \leftarrow 1$ to $x \leftarrow ROI_{width} - 1$ do if $Pig_{(x,y)}$ is not similar to maximum depth, classify $B_i(x,y)$ as background in I_{cur}</p> <p>Step 4: Copy image I_{cur} into S_{cur}</p>

Fig. 8. Pseudo-code of Contour-line Algorithm

4. 실험 및 결과 분석

4.1 실험 환경 및 영상 데이터

본 논문에서 제안하는 키넥트 카메라 기반의 모니터링 시스템의 성능 평가를 위해 세종에 위치한 한 돈사에서 취득한 깊이 영상 정보를 이용하여 실험하였다. 깊이 영상을 획득하기 위해 돈사의 바닥으로부터 약 3m 높이의 천장에 키넥트 카메라를 설치하였고, 돈방 내 20마리 이유자돈의 움직임을 512×424의 해상도와 초당 30프레임 속도(30fps)로 이루어진 깊이 영상으로 획득하였다. 실험은 3.6GHz의 Intel i7-4790 프로세서와 8GB RAM, 그리고 Visual Studio 2013 과 영상처리 라이브러리로 알려진 OpenCV 2.4.10을 이용하여 수행하였다. Fig. 9는 돈사 내부의 환경과 깊이 영상 취득을 위해 돈사 내에 설치한 키넥트 카메라를 보여준다.



Fig. 9. Pig Housing Installed with a Kinect Camera

실험에 사용된 영상은 돈사에서 키넥트 카메라를 이용하여 10분 간격으로 촬영한 영상 중 샘플 영상 3개를 선택하여 총 30분의 영상에 대해 실험을 진행하였다. 초당 30 프레임으로 구성된 깊이 영상의 특성상 프레임 간 객체의 움직임에 변화가 크지 않기 때문에 매 프레임마다 개별 돼지 탐지를 수행하지 않고, 5 프레임마다 개별 돼지를 탐지하여 시스템의 성능을 평가하였다. 실험에 사용된 영상은 돈사 내에서 돼지들이 근접 문제를 일으키지 않는 장면과 근접 문제를 일으키는 장면을 포함한 영상으로 구성되어 있다. Table 1은 실험에 사용한 영상의 프레임 수와 그 중 근접 문제를 포함하는 프레임 수를 나타낸다. 탐지 정확도 측정에 사용된 총 프레임 수는 10,800 프레임이며, 서있는 돼지 탐지 모듈 적용 시 3개의 영상에서 근접 문제를 포함하는 프레임 수는 각각 971프레임, 907프레임, 824프레임으로 총 2,702 프레임이다.

Table 1. Experimental Data

	Total Frame(s)	Touching Problem Frame(s)
Data1	3,600	971
Data2	3,600	907
Data3	3,600	824
Total	10,800	2,702

4.2 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제안하는 모니터링 시스템의 성능을 평가하기 위하여 개별 돼지를 정확하게 탐지한 프레임의 개수를 총 프레임의 개수로 나누어 총 프레임 수 대비 정확한 탐지가 이루어진 프레임 수의 비율을 탐지 정확도로 정의하여 제안하는 모니터링 시스템의 성능을 평가하였다. Table 2는 제안된 시스템의 성능평가를 보여준다. Table 2에 의하면 본 논문에서 제안하는 모니터링 시스템의 개별 돼지 탐지 정확도가 94.6%로 높은 탐지 정확도를 보임을 확인하였다. 또한 본 논문에서 제안한 모니터링 시스템의 성능과 기존에 선행되었던 연구 방법론을 비교하면 Table 3과 같다. 키넥트 카메라 기반으로 개별 돼지를 탐지하는 연구는 발견되지 않으므로, RGB 카메라 기반의 시스템과 비교하였다. 선행연구 [7]의 경우는 성능 측정을 위해 사용한 영상은 돼지 10마리를 포함하는 영상이며, 탐지 정확도는 89.8%로 상대적으로 낮은 탐지 정확도를 보였으며, 선행연구 [13]의 경우는 92.5%의 탐지 정확도로 비교적 높은 성능을 보이지만, 7마리의 돼지를 포함하는 영상으로 실험한 것을 고려하면 본 논문에서 제안하는 시스템이 보다 우월함을 알 수 있다.

본 연구에서 제안하는 시스템의 우수성을 실험적으로 검증하였으나, 제안된 방법만으로는 해결하기 어려운 근접 문제들이 여전히 존재한다. 첫째, 다수의 개체사이에서 근접 문제가 발생하거나 개체사이의 근접이 매우 심하게 발생한 경우; 둘째, 최대 깊이 정보의 인접 영역의 분포가 여러 개 분리되어 존재할 경우. Fig. 10(a)는 다수의 개체사이에서 근접 문제가 발생하고 근접의 정도가 매우 심한 경우로 세 마리의 객체 탐지에 실패한 경우를 보여주며, Fig. 10(b)는 관심영역 내의 최대 깊이 정보와 가까운 값들이 머리와 등 주변 두 곳에 따로 분포하여, 결국 두 마리의 돼지가 세 마리의 돼지로 과분할 탐지되는 결과를 보여준다.

5. 결론 및 향후 연구

키넥트 카메라 기반의 돼지 모니터링 시스템에 관한 최신의 선행 연구들을 분석해보면, 개별 돼지의 탐지 시 발생하는 돼지의 근접 문제에 대한 해결책을 제시하는 구체적인 연구는 발견되지 않는다. 따라서 본 논문에서는 돼지의 행동 분석 이전에 필수적으로 선행되어야만 하는 개별 돼지의 탐지를 위한 키넥트 카메라 기반의 새로운 모니터링 시스템을 제안하였다. 특히, 돈방에서 촬영된 영상을 처리하는 과정에

서 발생하는 어려움 중 혼잡한 돈방에서 움직이는 근접한 돼지 객체들을 개별 객체로 식별하기 위한 해결책을 강조하였다. 실제 세종시에 위치한 한 돈사에서 취득한 키넥트 영상을 이용하여 본 논문에서 제안하는 모니터링 시스템의 성능을 실험적으로 검증하였으며, 기존 방법론과의 성능 비교를 통해 본 연구의 우수성을 검증하였다.

향후 연구 과제로는 앞에서 언급한 본 연구의 한계점을 극복하기 위해 탐지 대상의 형태학적 특징을 고려하는 convex-hull 기법 등을 추가하여 시스템의 성능을 향상시키는 알고리즘적 접근방법과 동시에 본 논문에서 제안한 프로토타입의 시스템을 실제계에서 구현·운용하기 위한 실용화 차원의 후속 연구들이 요구되며, 키넥트의 RGB 정보와 깊이 정보를 동시에 사용하는 멀티모달 기반의 융합 연구를 통한 시스템의 성능 개선이 기대된다.

Table 2. Performance Evaluation of the Proposed Method

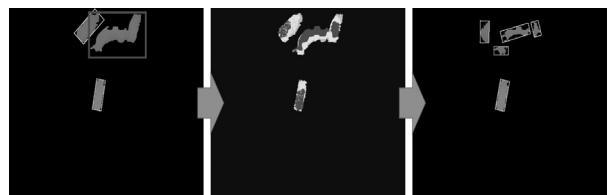
	Detection Frame(s)	Detection Accuracy (%)
Data1	3,385	94.0%
Data2	3,356	93.2%
Data3	3,476	96.5%
Average	3,405	94.6%

Table 3. Performance Comparison with Existing Detection Methods

	Kashilha et al. [7]	Guo et al. [13]	Proposed Method
Camera Type	RGB	RGB	Depth
Total Frame(s)	14,400	9,000	10,800
Number of Pigs	10	7	20
Touching-Pigs Processing	No	Yes	Yes
Detection Accuracy (%)	89.8%	92.5%	94.6%



(a) Difficult case of touching-pig problem 1



(b) Difficult case of touching-pigs problem 2

Fig. 10. Examples of Difficult Touching-pigs Problem

References

[1] W. Hong, A. Kennedy, X. P. Burgos-Artizzu, M. Zelikowsky, S. G. Navonne, P. Perona, and D. J. Anderson, "Automated measurement of mouse social behaviors using depth sensing, video tracking, and machine learning," in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, pp.351-360, 2015.

[2] X. Zheng, Y. Zhao, N. Li, and H. Wu, "An automatic moving object detection algorithm for video surveillance applications," in *Proceeding of International Conference on Embedded Software Systems*, pp.541-543, 2009.

[3] S. Zuo, L. Jin, Y. Chung, and D. Park, "An index algorithm for tracking pigs in pigsty," in *Proceedings of the International Conference on Information Technology and Management Science*, pp.797-803, 2014.

[4] J. Lee, L. Jin, D. Park, and Y. Chung, "Automatic recognition of aggressive behavior in pigs using a Kinect depth sensor," *Sensors*, Vol.16, No.5, pp.631-641, 2016.

[5] A. Nasirahmadi, O. Hensel, S. A. Edwards, and B. Sturm, "Automatic detection of mounting behaviours among pigs using image analysis," *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.124, pp.295-302, 2016.

[6] Y. Guo, W. Zhu, P. Jiao, and J. Chen, "Foreground detection of group-housed pigs based on the combination of mixture of Gaussians using prediction mechanism and threshold segmentation," *Biosystems Engineering*, Vol.125, pp.98-104, 2014.

[7] M. A. Kashiha, C. Bahr, S. Ott, C. P. Moons, T. A. Niewold, F. Tuytens, and D. Berckmans, "Automatic monitoring of pig locomotion using image analysis," *Livestock Science*, Vol.159, pp.141-148, 2014.

[8] V. A. Kulikov, N. V. Khotkin, S. V. Nikitin, V. S. Lankin, A. V. Kulikov, and O. V. Trapezov, "Application of 3-D imaging sensor for tracking minipigs in the open field test," *Journal of Neuroscience Methods*, Vol.235, pp.219-225, 2014.

[9] I. Camerlink, S. P. Turner, W. W. Ursinus, I. Reimert, and J. E. Bolhuis, "Aggression and affiliation during social conflict in pigs," *PLoS ONE*, Vol.9, No.11, e113502, 2014.

[10] S. Stavrakakis, W. Li, J. H. Guy, G. Morgan, G. Ushaw, G. R. Johnson, and S. A. Edwards, "Validity of the Microsoft Kinect sensor for assessment of normal walking patterns in pigs," *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.117, pp.1-7, 2015.

[11] F. Lao, T. Brown-Brandl, J. P. Stinn, K. Liu, G. Teng, and H. Xin, "Automatic recognition of lactating sow behaviors through depth image processing," *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.125, pp.56-62, 2016.

[12] Q. Zhu, J. Ren, D. Barclay, S. McCormack, and W. Thomson, "Automatic animal detection from Kinect sensed images for livestock monitoring and assessment," in *Proceedings of the International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing*, pp.1154-1157, 2015.

[13] Y. Z. Guo, W. X. Zhu, P. P. Jiao, C. H. Ma, and J. J. Yang, "Multi-object extraction from topview group-housed pig images based on adaptive partitioning and multilevel thresholding segmentation," *Biosystems Engineering*, Vol.135, pp.54-60, 2015.



최 장 민

e-mail : vertica@korea.ac.kr

2015년 고려대학교 컴퓨터정보학과(학사)

2015년~현 재 고려대학교 컴퓨터정보학과 석사과정

관심분야: 데이터마이닝, 영상처리



이 중 옥

e-mail : eastwest9@korea.ac.kr

2002년 고려대학교 전산학과(학사)

2005년 고려대학교 전산학과(석사)

2014년 고려대학교 전산학과(박사)

2014년~현 재 고려대학교 컴퓨터정보학과 초빙교수

관심분야: 딥러닝, 기계학습, 멀티미디어 마이닝, 융합 IT



정 용 화

e-mail : ychungy@korea.ac.kr

1984년 한양대학교 전자통신공학과(학사)

1986년 한양대학교 전자통신공학과(석사)

1997년 U. of Southern California(박사)

1986년~2003년 한국전자통신연구원 생체인식기술연구팀(팀장)

2003년~현 재 고려대학교 컴퓨터정보학과 교수

관심분야: 병렬처리, 영상처리, 융합 IT



박 대 희

e-mail : dhpark@korea.ac.kr

1982년 고려대학교 수학과(학사)

1984년 고려대학교 수학과(석사)

1989년 플로리다 주립대학 전산학과(석사)

1992년 플로리다 주립대학 전산학과(박사)

1993년~현 재 고려대학교 컴퓨터정보학과
교수

관심분야: 데이터마이닝, 인공지능, 융합 IT