



Büyükbaş Hayvancılıkta Görüntü İşleme ile Sağlık ve Refah Tespiti

Arda AYDIN^{1*}

<https://orcid.org/0000-0001-9670-5061>

Cihan Demir²

<https://orcid.org/0000-0002-2866-4074>

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği

² Kırklareli Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

*Sorumlu yazar: araydin@comu.edu.tr

Özet

Hayvancılık üretimi, et ve süt ürünlerine artan talep ile birlikte sürekli olarak artan dünya nüfusuna gıda sağlamak için küresel ölçekte, sığır işletmelerin kapasitelerinde hızlı bir büyümeye yol açmıştır. Bununla birlikte, tüketiciler, çiftlik hayvanlarının sağlığı ve refahı ile çiftliğin çevre koşullarına önemli derecede ilgi duymaktadırlar. Hayvan ihtiyaçlarının farkındalığı, hayvan sağlığı ve refahı için yeni üretim standartlarının temelini oluşturmaktadır. Sığır davranışları, ahır çevre durumu, gıda ve su yeterliliği, sağlık, refah ve üretim verimliliği hakkında bilgi sağlayabilir. Sığır davranışlarının gerçek zamanlı olarak belirlenmesi oldukça zordur, ancak teknolojinin artan kullanılabilirliği ve kabiliyeti, hayvan davranışlarının otomatik olarak izlenmesini pratik hale getirmektedir. Yeni teknolojiler olarak görüntü işleme teknikleri, hayvan davranışı izleme gereksinimlerini elde etmek için otomatik, temassız, stressiz ve uygun maliyetli bir yol sağlayabilir. 3D görüntüleme sistemleri ve hayvan davranışlarını etkin bir şekilde tanımlamak için daha fazla kullanılmış olan 2D kameralar ile geliştirilen sistemlerin performansı analiz edilerek, son teknoloji sistemlerin büyükbaşların beslenme, su içme, yatma, hareket etme, agresiflik düzeyi ve üreme davranışları bakımından değerlendirilmiştir. Hayvanların sağlık ve refah durumlarıyla birebir ilişkili olan bu davranışların erken tespiti, veterinerler ve çiftçiler bakımından oldukça önemli kazançların elde edilmesini sağlamaktadır. Bu teknolojiler, özellikle büyük ölçekli işletmelerde hayvanları 7/24 izleyerek anormal davranışları ve sağlık sorunlarını erken tespit edip çiftçiye zamanında müdahale şansı tanıyarak destek olabilir. Bu sayede hem hastalıkların yayılımı engellenmiş olacak hem de hastalıklarla mücadele maliyetleri azaltılmış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü işleme, erken tespit, hayvan refahı, hayvan sağlığı

Health and Welfare Detection with Image Processing in Cattle Livestock

Abstract

Livestock production, together with raising demand for dairy foods, has entail a fast growing in the capacities of cow holdings on a global scale to provide food for the ever-increasing world population. However, consumers are seriously interested with the farm animals' health and welfare and the environmental conditions of the barn. Awareness of farm animals need forms the basis of new standards for health, welfare and production of animals. It can provide information on cattle behaviour, barn living conditions, feeding and drinking adequacy, production, health and welfare. Determining cattle behaviour in real time is quite difficult, but the increased availability and capability of the technology is making automatic monitoring practical for animal behaviour. As new technologies, image processing techniques may obtain an automatic, contactless, stress-free and cheap ways to ensure monitoring requirements in animal behaviour. The performance of the systems developed with 3D monitoring systems and 2D cameras, which have been used more and more to effectively describe animal behaviour, is reviewed by analysing, and the state-of-the-art systems are designed to help cattle feed, drink, lie, move, evaluated in terms of aggressiveness level and reproductive behaviour. Early detection of these behaviours, which are directly related to the health and welfare of animals, provides very important gains for veterinarians and farmers. These technologies may assist the farmer by tracing animals 24/7, detecting abnormal behaviour and health problems early, and giving the farmer a chance to intervene in a timely manner, especially in large-scale farms. In this way, both the spread of diseases will be prevented and the costs of fighting against diseases will be reduced

Keywords: Image processing, early detection, animal welfare, animal health

Giriş

Dünya genelindeki arazilerin büyük çoğunluğu, otlama, yemlik ve tahıl üretimi amacıyla hayvancılık sektörü tarafından kullanılmaktadır. Bununla birlikte, nüfus artışı, artan gelirler ve kentleşme nedeniyle hayvancılık ürünlerine yönelik küresel talebin daha da artması beklenmektedir (Bruinsma, 2003). Artan nüfusa gıda sağlamak için et ve süt ürünlerine yönelik pazar talebindeki artış, küresel ölçekte sığır işletmelerinin ölçeğinde hızlı bir büyümeye yol açmıştır. Dünya genelinde hayvancılığın ölçeği büyüdükçe, hayvan refahı konusunun ele alınması daha önemli hale gelmektedir. İnsanların hayvanlarla olan ilişkisi ve bakımları altındaki hayvanlara doğru davranılmasını sağlamakla yükümlü oldukları görev, hayvan refahı için esastır. Mevcut üretim ölçeği nedeniyle, hayvanların izlenmesinin artık çiftçiler tarafından geleneksel şekilde yapılamayacağı ve yeni dijital teknolojilerin benimsenmesini gerektirdiği konusunda artan bir farkındalık oluşmuştur.

Hayvan sağlığı ve refahı, davranışları, fizyolojileri, klinik durumları ve performansları gibi parametreler kullanılarak tanımlanabilir (Averós ve ark., 2010; Costa ve ark., 2014; Nasirahmadi ve ark., 2015). Hayvan davranışı, sağlık ve iyi refah arasında birçok bağlantı olduğu ortaya konmuştur (Broom, 2006; Bracke ve Spoolder, 2011; Murphy ve ark., 2014; Nasirahmadi ve ark., 2017). Hayvanların normal davranışlarının (yatma, beslenme ve su içme) ve anormal davranışlarının (saldırganlık ve topallık) erken ve gerçek zamanlı tespiti, hayvansal üretim maliyetini düşürmekte, hastalıklardan ve ölümlerden kaynaklanan kayıpları sınırlandırmakta ve çiftçilerin iş memnuniyetini arttırmaktadır. İçinde bulunduğumuz yüzyılda bilgi ve teknolojinin ilerlemesi, yüksek kaliteli hayvancılık ürünlerinin yeterliliği için insan beklentileri ile birlikte, gelişmiş üretim izleme talebini arttırmıştır. Yeni teknolojilerin gelişmesiyle, yeni sensörlerin uygulanması ve birden çok sistemden gelen verilerin işlem sürelerini azaltarak yorumlanması, çiftçiler ve araştırmacılar için bilgi temininin kolaylaşması anlamını taşımaktadır (Barkema ve ark., 2015).

Literatürde, bu tür teknolojilerin hayvanların hem normal hem de anormal davranışlarının gözlemlenmesine nasıl yardımcı olabileceğini gösteren birçok çalışma bulunmaktadır. Örnek olarak, hayvanların yerini belirlemek için radyo frekans sistemlerinin kullanılması ve bu konum verilerinin sığırların beslenme ve su içme davranışları hakkında bilgi sağlaması gösterilebilir (Sowell ve ark., 1998; Quimby ve ark., 2001; Wolfger ve ark., 2015; Shane ve ark., 2016). Bu teknik, ayrıca hareket ve topallık değerlendirmesi için de geniş çapta uygulanmıştır (Nielsen ve ark., 2010; Grégoire ve ark., 2013; Conte ve ark., 2014; Rutten ve ark., ark., 2013; Schlageter-Tello ve ark., 2014; Van Nuffel ve ark., 2015).

Bununla birlikte, hayvan davranışlarını izlemek için sensörlerin hayvanlara bağlanması strese neden olabilir ve bazı durumlarda, maliyetleri ve kırılabilirlikleri nedeniyle grup davranışlarını belirlemek için kullanılması pratik değildir. Birçok tarımsal ve endüstriyel süreçte yaygın olarak kabul edilen alternatif çözüm, makine vizyonudur (Shao ve Xin, 2008; Costa ve ark., 2014; Nasirahmadi ve ark., 2016b; Oczak ve ark., 2016). Otomatik bilgisayar görüntüleme sistemleri hem çiftçilerin hem de araştırmacıların hayvanları izleme sorunlarına çözüm bulmasına yardımcı olabilir. Örneğin hem zaman alıcı hem de maliyetli olan manuel yöntemler yerine görüntü işleme teknikleri aracılığıyla daha objektif ve sürekli ölçümler yapılarak hayvanların canlı ağırlıkları ve refah düzeyleri tespit edilebilir. Bilgisayarlı görme veya diğer adıyla yapay görme yaklaşımı, hayvanların doğal özelliklerini (şekil, renk, hareket) kullanarak hem iç hem de dış ortamlarda farklı hayvanlara uyarlanabilen, ucuz, kolay, stressiz ve temassız bir yöntemdir.

Bu derleme, sığır özelliklerini ve davranışlarını otomatik olarak ölçmek için görüntü işleme tekniklerini özetlemekte ve bu tekniklerle hayvanların sağlık ve refah düzeyinin nasıl belirlendiğini ortaya koymaktadır. Makale 8 bölüm olarak yapılandırılmıştır. Bölüm 1 çalışma hakkındaki genel bilgileri içerirken, Bölüm 2, bu alanda kullanılan farklı kamera ve görüntüleme sistemlerini kapsamaktadır. Bölüm 3 sığırlarda sağlık düzeyi ve hastalık tespiti için görüntü işlemenin kullanımını göstermektedir. Bölüm 4, hareket takibi ve beslenme davranışlarını ele almaktadır. Bölüm 5'te, yatma davranışı ve topallık ilişkisi tartışılmıştır. Bölüm 6, hayvanların saldırgan davranışlarının otomatik olarak izlenmesini ve kızgınlık tespiti için görüntü işlemenin nasıl kullanıldığını açıklarken, Bölüm 7 ise otomatik izleme sistemlerinde yaşanan sorunlar ve gelecekteki araştırma ihtiyaçlarını ortaya koymaktadır. Son olarak, sonuçlar Bölüm 8'de sunulmuştur.

Görüntüleme sistemleri

Herhangi bir yapay görme sisteminin ilk adımı olan görüntü alımı, kameradan gelen sinyallerin sayısal bir forma aktarılması olarak tanımlanmaktadır. Kameralar, yapay görme uygulamalarında çok önemli bir unsurdur, ancak her kamera türü, görüntünün parametreleri hakkında farklı bilgiler sunar. Bu literatür taramasının amaçları doğrultusunda, sığır davranış tespitinde uygulanan kameralar, (Charge Coupled Device) CCD kameralar, kızılötesi kameralar ve derinlik sensörlü 3 boyutlu kameralara ayrılabilir. CCD kameralar iki boyutlu görüntüler oluşturur ve nesnelere yansıyan görünür dalga boyu bantlarına duyarlıdır (Mendoza ve ark., 2006).

Bu tür kameralar, görüntüyü görünür kılmak için ek bir ışık kaynağına ihtiyaç duyar ve yapay görme sistemi tek veya birden fazla kameradan oluşmaktadır. Bu tür kameraların çiftlik hayvanlarının davranışlarının tespitinde kullanılmasına ilişkin örnekler çoktur (Shao ve ark., 1998; Hu ve Xin, 2000; Porto ve ark., 2015; Nasirahmadi ve ark., 2016b). Yakalanan görüntüler, renk, şekil ve doku özelliklerine dayalı görüntü özelliklerini çıkarmak için görüntü işleme algoritmaları tarafından analiz edilmektedir. CCD kameralar, ayrıca nesnelere piksellerini kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) bantlarında sağlama yeteneğine sahiptir. Günümüzde farklı görüntü işleme algoritmaları bu bantları gri, ton, doygunluk, yoğunluk ve diğer parametrelere ilişkin bilgilere dönüştürmeye yardımcı olmaktadır.

Kızılötesi veya termal kameralar da optik veya yaygın olarak kullanılan 2 boyutlu CCD kameralara benzer şekilde çalışmaktadırlar. Burada bir lens, bir görüntü üretmek için enerjiyi bir dizi reseptöre odaklar. Kamera, bir nesnenin yüzeyinden kızılötesi radyasyonu alıp ölçerek, nesnenin yaydığı ısı hakkında bilgi yakalar ve ardından bunu bir radyan sıcaklık okumasına dönüştürür (James ve ark., 2014; Matzner ve ark., 2015). Bu nedenle, CCD kameralar görünür bantların radyasyonunu ölçerken, termal kameralar nesnelere karakteristik yakın kızılötesi radyasyonunu 8–12 µm dalga boyları aralığında tespit etmektedir (McCafferty ve ark., 2011). Termal görüntüleme endüstriyel, tıbbi ve askeri uygulamalar için geliştirilmiştir ancak birçok hayvancılık üretim çalışmasında da başarıyla uygulanmıştır (Gauthreaux ve Livingston, 2006; McCafferty, 2007). Tüm canlı hayvanlar kızılötesi radyasyon yayar ve bir nesnenin sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, yayılan radyasyonun yoğunluğu da o kadar yüksek olur ve dolayısıyla ortaya çıkan görüntü o kadar parlak olur (Kastberger ve Stachl, 2003; Hristov ve ark., 2008).

Son on yılda, gelişen teknoloji ve azalan maliyet sayesinde, yapay görmede 3D görüntüleme sistemleri ile ilgili uygulamaların sayısı hızla artmaktadır. Bu tip görüntüleme sisteminin tarım ürünlerinde kullanımı da yakın zamanda Vázquez-Arellano ve ark., (2016) tarafından açıklanmıştır. Derinlik görüntüleme, birçok yapay görme sisteminin temel bir bileşenidir ve bu teknoloji kapsamında, Kinect kameralar hayvancılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. 3D kameralar, bir ışık yayarak ve ardından yayılan ışığın bir nesneye ve bir dedektöre geri gitmesi için zaman farkını ölçerek derinliği algılar. Kızılötesi ışık kaynağı ve CCD dedektörü kullanarak bir 3D görüntü sağlanabilir (Kolb ve ark., 2010; Pycinski ve ark., 2016). 3D kameralar ile gerçekleştirilen derinlik algılama, 2D görüntüleme sistemlerinde arka plan kaldırma, segmentasyon, özellik çıkarma ve aydınlatma varyansına duyarlılık gibi sorunlara neden olan yaygın sorunların üstesinden gelmeyi mümkün kılmaktadır. Time of flying (TOF) sistemleri, belirli bir zamanda yakaladıkları veri noktalarının sayısı ve nispeten sınırlı görüş alanı ile sınırlıdır. Bu sebeple derinlik algılama sistemleri doğruluk hatalarına sahiptirler (Shelley, 2013). Çiftlik ortamlarında, 3D kameraların yaygın alternatifleri olan stereo görüş, lazer veya 2D kameralar yerine kullanılması çok daha kolay ve ucuz olsa da derinlik görüntüleri halen istenmeyen bazı nesnelere (arka plan) algılayabilir ve bazı durumlarda daha iyi sonuçlar elde etmek için kalibrasyona ihtiyaç duymaktadırlar.

TOF (time of flying) ilkesine dayanan Kinect derinlik sensörü, yazılım geliştiricilerin gerçek zamanlı olarak nesnenin iskelet modelinin elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Han ve ark., 2013). Kinect sensörü, bir RGB kamera ve kızılötesi projektörden alınan verileri kullanarak makinenin, nesnenin ve ortamın üçüncü boyutunu (derinliğini) algılamasını sağlamaktadır (Nathan ve ark., 2015; Westlund ve ark., 2015; Marinello ve ark., 2015). Derinlik bilgisi, yükseklik ölçümlerini çıkarmak veya gerçek dünya koordinatlarını 2D görüntüleme sistemlerine kıyasla çok daha kolay bir şekilde hesaplamak için faydalı olmaktadır. Ayrıca, derinlik bilgisi, hayvanlardan ilgilenilen bölgenin temel özelliklerinin çıkarılmasına da yardımcı olabilmektedir. Örneğin, Abdul Jabbar et al. (2017), süt

sığırlarında yüksek tespit oranıyla (%100) omurga ve kanca kemiklerini izlemek için bir eğrilik özelliği çıkarmak amacıyla derinlik bilgisini kullanmıştır. Bu gibi farklı kamera sistemlerinden temel görüntüler alındıktan sonra, görüntüden gelen bilgileri yorumlamak için görüntü analiz teknikleri gerçekleştirilmektedir.

Çiftlik hayvanları genellikle gruplar halinde yaşasa da birçok görevde tek tek hayvanların izlenmesi ana hedeflerden biridir. Sığırlar üzerinde yapılan bireysel çalışmaların çoğu, ağırlıklarının ve vücut durumlarının izlenmesi ve hayvanlarla ilişkili fiziksel veya fizyolojik değişiklikler yoluyla ineklerde mastitis gibi sağlık sorunlarının tespiti ile ilgilidir. Bu tür özelliklerin örnekleri, uygulanan görüntü analizi stratejileri ile birlikte aşağıdaki paragraflarda ele alınmıştır.

Sağlık düzeyi ve hastalık tespiti

Sığırların canlı ağırlığının bilinmesi, sürünün çıktısını etkileyen performansla ilgili parametrelerin (hayvan büyümesi, tek biçimlilik, yem dönüşüm verimliliği, yer tahsisi, sağlık ve pazara hazır olma durumu) kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, süt ve et üretimi için canlı ağırlık izlemenin önemi de büyüktür. Hayvanlarda stres nedeniyle çiftlikte canlı ağırlığın manuel olarak belirlenmesinin zorluğu ve bunların hayvanlara zarar verme potansiyeli nedeniyle, görüntü işleme, sığır canlı ağırlığını ölçmek için birçok kez kullanılmıştır. Görüntülerden elde edilen kalça yüksekliği, vücut uzunluğu, kalça genişliği ve göğüs derinliği gibi özelliklerin yanı sıra çoklu doğrusal regresyon kullanarak inek canlı ağırlığı tespiti için üst ve yan görüş kameraları ve algoritmalar kullanılmıştır (Taşdemir ve ark., 2011; Özkaya, 2012). Daha önce, bireysel olarak boğaların canlı ağırlığının ölçümü için Stajnko ve ark. (2008) tarafından termografi ve görüntü analizine dayalı bir yöntem geliştirilmiştir. Termal kamera, boğayı çevreden doğru bir şekilde ayırabilmiştir. Ayrıca, son zamanlarda ineklerin vücut ağırlığı tespiti için 3D vücut ve kontur özelliklerine dayalı olarak bir TOF kamera yöntemi uygulanmıştır (Anglart, 2016).

Canlı bir ineğin vücut şekli ve durumu, sağlığı, üreme potansiyeli ve değeri, üreme veya karkas kalitesi açısından önemli bir göstergedir (Bercovich ve ark., 2013; Fischer ve ark., 2015). Canlı hayvan vücut durumunun gözle veya elle değerlendirilmesi zaman ve emek yoğunudur ayrıca büyük ölçüde bakıcının öznel görüşüne bağlıdır. Ancak bilgisayarlı görüntüleme yöntemleri, çiftlik içi uygulamalar için daha uygun maliyetli, hassas ve hızlı alternatifler haline gelmiştir. Aynı zamanda bakıcı veya çiftçi subjektifliğini de ortadan kaldırmıştır. Bazı çalışmalarda ise, sığır gövdesinin şekil tespiti için 3D kameralar (Wu ve ark., 2004), şekil ve vücut konturu tespiti için termal kameralar (Liu ve Zhu, 2013) kullanılmıştır. Görüntü işleme, üstten görünüm CCD kameraları (Bewley ve ark., 2008; Azzaro ve ark., 2011) ve termal kamera ölçümü ile tespit edilen anatomik noktalara (kanca ve kuyruk etrafındaki noktalar) dayalı olarak ineklerin vücut durumunun değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin bir çalışmada, yağ ve kas tabakalarının kalınlığını değerlendirmek ve vücut kondisyon skoru oluşturmak için kullanılmıştır (Halachmi ve ark., 2008). Bir diğer araştırmada, vücut şekli puanlaması için, ineğin sırtındaki 5 anatomik nokta arasındaki açılar ve mesafeler ile normalize edilmiş kuyruk-kafa konturundaki her noktadan şekil merkezine olan mesafeler vücut şekli puanlaması için kullanılmıştır (Bercovich ve ark., 2013). Ayrıca, RGB görüntülerine ve vücut özelliklerine dayalı olarak ineklerin vücut şeklinin yakalanması için yan görünüm görüntüleri de kullanılmıştır (González-Velasco ve ark., 2011; Hertem ve ark., 2013). Bir ineğin vücudunun 3D şeklini belirlemek için, 3D görüntülerde vücut özelliklerinin veya sırt duruşlarının çıkarılmasına dayanan TOF ve Kinect kameralar son yıllarda daha yoğun kullanılmaya başlanmıştır. (Weber ve ark., 2014; Salau ve ark., 2014; Fischer ve ark., 2015; Kuzuhara ve ark., 2015; Spoliansky ve ark., 2016).

Sığırlarda hayvan refahı ve hastalıklarla etkin bir şekilde başa çıkmak için hastalık semptomlarının veya anormal davranışların erken tespiti esastır, üretim kaybını ve hatta çiftlik hayvanlarının ölümünü en aza indirmeye yardımcı olabilir. Vücut sıcaklığının ölçülmesi, bir hayvanın sağlığını izlemek için yaygın bir yöntemdir (Hoffmann ve ark., 2013). Sonuç olarak, sağlık tespiti konusundaki araştırmaların çoğu termal kameralar kullanılarak yüzey sıcaklığı ölçümüne dayanmaktadır (Schaefer ve ark., 2004; Montanholi ve ark., 2008; Rainwater-Lovett ve ark., 2009; Wirthgen ve ark., 2011; Gloster ve ark., 2011). Örneğin, ineklerde en sık görülen hastalıklardan biri olan ve süt çiftçileri için büyük ekonomik kayıplara neden olan mastitis, meme yüzey sıcaklıklarına göre tespit edilmiştir (Hovinen ve ark., 2008; Çolak ve ark., 2008). Son zamanlarda, sağlık ve refahlarını

iyileştirmek için sığır gövdelerinde otomatik ektoparazit sayımı için bir termografi yöntemi geliştirilmiştir. Kene ve sinek gibi ektoparazitler ile ineğin vücut ısısı arasındaki sıcaklık farkı, bu parazitlerin görüntülerde tespit edilmesini mümkün kılmıştır (Cortivo ve ark., 2016). Bununla birlikte, hayvan yüzey sıcaklığının yorumlanmasındaki zorluklarla birlikte, birçok harici parametre (yüksek veya düşük sıcaklıklar, kirli yüzeyler ve nesneden merceğe olan değişken mesafe), termografi kullanılarak sağlık ve hastalığın gerçek zamanlı izlenmesini daha zor hale getirmektedir. Sonuç olarak, çalışmaların çoğunda diğer yöntemler (klinik belirtiler) sağlık sorunlarının saptanmasında güvenilirlikleri açısından doğrulama yöntemi olarak kullanılmıştır.

Hareket takibi ve beslenme davranışları

Hayvanların sağlık ve refahının izlenmesini otomatik hale getirmek için hayvan türlerine ve yetiştirilme durumlarına göre farklılık gösteren izleme yöntemleri geliştirilmiştir. Hayvana takılan tanımlama cihazlarına dayalı canlı hayvan takip araçlarının başında Bluetoothlar, WiFi ağları, radyo frekans yöntemleri ve GPS'ler yer almaktadır (Huhtala, 2007). Genel olarak, hayvan sağlığını, refahını ve üretim verimliliğini iyileştirmek için, çiftlik yönetiminde bireysel olarak hayvanların izlenmesi önemli bir rol oynar. Robotik sağımda süt ineklerinin bireysel ağırlığını, süt verimini ve topallığını ölçmek ve sağlık tespiti için hayvan hareketini değerlendirmek amacıyla radyo frekans yöntemlerini kullanmak bu teknoloji uygulamalarına örnektir. Çiftlik hayvanlarının bireysel olarak izlenmesi için, görüntü işleme teknikleri, alternatif yöntemlerin dezavantajları (fiyat, uygulama stresi ve hayvanla temas ihtiyacı) nedeniyle her geçen gün daha popüler hale gelmektedir. Görüntüleme ve sensör yaklaşımlarının kombinasyonu bazı durumlarda daha da faydalı olabilir. Örneğin, bireysel hayvan bir sensör (yani radyo frekansı tanımlaması) kullanılarak tanımlanabilirken, sağlık parametreleri de görüntü özellikleri kullanılarak izlenebilir. Bununla birlikte, bazı bireysel özelliklerin izlenmesi, özellikle sürüdeki hayvan sayısının fazla olduğu durumlar için hala zorludur ve ticari uygulamalardaki sorunları ele almak için görüntü işleme yöntemlerinin daha fazla geliştirilmesi gerekmektedir.

Literatürden elde edilen bilgiler, sığır yetiştiriciliğinde görüntü analiz yöntemlerinin çeşitli kullanımlarını göstermektedir. Bu makalenin ilerleyen kısımlarında ele alınacak davranış tespiti dışında, örnekler arasında robotik sağım ve süt inekleri için renk ve morfoloji özelliklerine dayalı meme başı konum tespiti ve meme alanına dayalı verim tahmini yer almaktadır (Bull ve ark., 1996; Zwervaegher ve ark., 2011). Bu bölümde, sığırların görüntü işleme teknikleri ile bireysel karakterizasyonu gözden geçirilmiştir. Grup içinde meydana gelebilecek davranışların tespiti ilerleyen bölümlerde ele alınacaktır. Bir yapay görme algılama tekniğini ve bir davranış algılama sisteminin performansını değerlendirmek için kullanılan doğrulama ölçekleri, duyarlılık, özgüllük, hata oranı, kesinlik ve doğruluk olarak tanımlanabilir. Burada bildirilen tüm doğruluk sonuçları, temel gerçekle korelasyona dayanmaktadır. Temel gerçek, görüntü işleme tarafından sağlanan bilgilere kıyasla doğrudan gözlem tarafından elde edilen verilere atıfta bulunmak için makine görüşünde kullanılmaktadır.

Beslenme ve su içme davranışları, hayvanların daha iyi yönetilmesini ve problemlerin tespit edilmesini sağlayabilecek önemli bilgiler içermektedir (Boutreau ve ark., 2007; Chapinal ve ark., 2007; Brown-Brandl ve ark., 2013a, 2013b). Bu davranışların tespit edilmesi et ve süt üretiminde önemli bir rol oynar ve hayvancılıkta ekonomi ve refah açısından önemlidir. Süt sığırlarının yem alım miktarı ve su kullanımı sağım verimliliğini etkilemektedir (Azizi ve ark., 2009; Appuhamy ve ark., 2016). Geleneksel olarak, beslenme davranışı doğrudan insan gözlemi yoluyla veya hızlandırılmış video kayıt teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Bach ve ark., 2004; Meiszberg ve ark., 2009). Ancak artık beslenme veya içme davranışlarını kaydetmek için bilgisayar kontrollü besleme istasyonları kullanılmakta ve radyo frekansı ile elektronik etiketleme yöntemlerini kullanarak hayvanların bireysel olarak incelenmesi mümkün olmaktadır (Rushen ve ark., 2012). Bununla birlikte, bu tür ekipmanlar pahalıdır ve hayvanların sınırlı sayıda besleme yerlerini paylaşmalarını gerektirir.

Son zamanlarda, sığırlarda beslenme ve içme davranışlarının tespiti için alternatif bir yöntem olarak bilgisayarlı görme kullanılmıştır. Bir besleme alanındaki süt ineklerinin varlığını kaydetmek ve besleme davranışını tespit etmek için, Porto ve ark. (2012, 2015) tarafından yukarıdan aşağıya görüntü elde eden çok kameralı bir video sistemi uygulanmıştır. Bir diğer çalışmada, bitişik dikkörtgenlerden oluşan şekilleri kullanarak Viola-Jones algoritmasına (Viola ve Jones, 2004) dayalı bir sınıflandırıcı geliştirilmiştir. İneği içeren bir görüntü, pozitif bir görüntü olarak kabul edilirken, negatif bir görüntü

ise yalnızca görüntünün arka planını içermektedir ve ineği içermemektedir. Sistemin inek besleme davranışını tespit etme yeteneğinin görsel tanıma ile karşılaştırıldığında %87 hassasiyete sahip olduğu bildirilmiştir.

Başka bir çalışmada, Shelley (2013) tarafından bireysel bir ineğe ne kadar yemin dağıtıldığını ve tüketildiğini ölçen bir yem alımı izleme sistemi geliştirilmiştir. Yemleme öncesi ve sonrası yem bidonlarındaki değişimi kaydetmek ve izlemek için 3D görüntüleme sistemi uygulanmıştır. İzleme ekipmanı, bir ineğin kendi günlük yemini tüketmesinden önce ve sonra 3D görüntüyü kaydederek değerlendirilen hacimdeki değişikliklerle yem alımını ölçmüştür. Haznedeki yemin şekil ve kontur verileri kullanılarak yem hacimsel miktarı belirlenmiştir. Besleme hacmi ve görüntü verileri arasındaki korelasyon elde edildikten sonra süreç, tek bir ağırlığa dayalı değer elde etmek için doğrusal regresyon aracılığıyla hacim-ağırlık doğrusal eşlemesi kullanılarak, yem kutusu için bir çıktı değeri (ağırlık) belirlemek üzere ilerletilmiştir.

Özetle, besleme ve içme davranışlarını görüntü işleme yaklaşımlarıyla izlemek için hem 2D hem de 3D kameralar kullanılmıştır. 2D izleme esas olarak hayvanın şekil ve renk özelliklerine dayanmasına rağmen, süreci geliştirmek için bazı sınıflandırma modelleri uygulanmıştır. Bununla birlikte, hayvanların 3D hareket algılaması için nesneden kameraya olan mesafe ana ilkedir. Beslenme ve su içme zamanlarında birden fazla hayvanın aynı anda tanımlanması, özellikle sürünün kalabalık olduğu durumlarda, bu alandaki araştırmacılar tarafından henüz tam olarak çözülmemiş ek bir sorundur.

Yatma davranışı ve topallık ilişkisi

Yatma davranışı, hayvan sağlığı ve refahının belirlenmesinde kritik bir öneme sahiptir. Süt sığırlarında yatma davranışı süt üretimini etkilemekte ve yeterli yatma süresinden yoksun kalma refahı azaltmaktadır (Bewley ve ark., 2010). Yatma nöbetlerinin süresi ve sıklığı inek konforunun davranışsal göstergelerinden biridir ve yeterli dinlenme fırsatının et ve süt üretimini en üst düzeye çıkarmak için önemli olduğu düşünülmektedir (Porto ve ark., 2013; Haley ve ark., 2000). Cangar ve ark., (2008), tarafından ineklerin yatma davranışlarını gerçek zamanlı olarak tespit etmek için yukarıdan aşağıya bir CCD kamera sistemi geliştirilmiştir. İlk görüntüde merkez noktası ve ineğin oryantasyonu hesaplanarak bir yatma tespit algoritmasına gönderilmiştir. Bir ineğin yatma ve ayakta durma davranışları, hayvanın geometrik merkezinin x-y koordinatlarına, ineğin arka alanına (m²) ve kümülatif yürüdüğü mesafeye göre zamanın bir fonksiyonu olarak sınıflandırılmıştır. Yatma ve ayakta durma davranışlarının ortalama %85'i doğru olarak sınıflandırılmıştır. Porto ve ark., (2013) ise CCD kameraları ve Viola ve Jones algoritmasına dayalı görüntü işlemeyi kullanarak ineklerin yatma davranışını yüksek bir hassasiyetle (%92) saptamıştır. Panoramik olarak yukarıdan aşağıya görünümü izlemek için çok kameralı bir video kayıt sistemi kurulmuş ve ahırın panoramik olarak yukarıdan aşağıya görünümünden olumlu ve olumsuz görüntüler kırılmıştır. Pozitif ve negatif görüntüler, Viola-Jones algoritmasına dayalı bir sınıflandırıcıyı eğitmek için kullanılmış ve ardından her eğitilen sınıflandırıcı test aşamasında test edilmiştir. Ahır görüntü alanlarının piksel parlaklık değerleri gündüz saatlerinde oldukça değişken olmasına rağmen, sonuçlar, yatış davranışı dedektörünün eğitimi ve yürütülmesi için kullanılan görüntülerin sınıflandırma yöntemi sayesinde herhangi bir görüntü iyileştirme gerektirmediğini göstermiştir.

Ayrıca, ivmeölçerler, esas olarak sığırlar için, çiftlik hayvanlarının postüral davranışındaki değişiklikleri karakterize etmek için sensörler olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak, sığırların yatma davranışlarının izlenmesi için sınıflandırıcılarla birlikte CCD kameralar da kullanılmıştır. Sığırlarda, bireysel inekler için yapay görme hareket değerlendirmesi yapılmıştır. Yatma davranışı nitelemesi için görüntü işleme çalışmaları, farklı matematiksel modellerle birlikte, görüntülerdeki şekil özelliklerine (yani x-y koordinatları, alan, çevre, uzunluk ve genişlik) dayanmaktadır.

Hayvanların hareketliliği, refah, sağlık durumu ve davranış bozukluklarındaki değişikliklerle ilişkilendirilebilir (Brendle ve Hoy, 2011). Manuel hareket skorlaması sığırlarda topallığı tespit etmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu, bir ineğin ayakta duruşunu veya yürüyüşünü görsel olarak inceleyerek yapılmaktadır (Sprecher ve ark., 1997). İnekler, ağrı veya rahatsızlığa tepki olarak yürüyüş anormallikleri sergileme eğilimindedirler. Bu topallık davranışı tespiti için sensörlerin ve farklı puanlama yöntemlerinin kullanımı Rutten ve ark. (2013) tarafından gözden geçirilmiştir. İnek topallık tespitini otomatikleştirmek için farklı yapay görme sistemleri geliştirilmiştir (Schlageter-Tello ve ark.

2014; Van Nuffel ve ark., 2015; Caja ve ark., 2016). Song ve ark. (2008) tarafından geliştirilen sistemde, çiftlikte sürekli algılama ve topallığın tahmini için yandan görünüşlü bir CCD kamera kullanmıştır.

Görüntülere bir arka plan çıkarma yöntemi uygulanmış ve ineğin dört toynaklarının merkez noktaları ayrılarak görüntüde aralarındaki farklı mesafelere göre farklı yönlerde (sol ön, sol arka, sağ ön ve sağ arka) tanımlamalar yapılmıştır. Dikey değerler (y) önceden tanımlanmış bir standart sınır değeri ve her gövde tarafında iki yatay değer (x) ile karşılaştırılarak, ön toynak ve arka toynak etiketlenmiştir. Yöntemin doğruluğunu kontrol etmek için tırnak izi yolu ile görsel hareket puanlaması arasındaki korelasyon elde edilmiş ve sonuçlar yüksek bir ortalama korelasyon katsayısını (%94,8) göstermiştir. Sunulan yöntem, küçük değişiklikleri, yani Skor 1 ve Skor 2'yi ayırt edememiştir. Kamera koruma sorunlarının yanı sıra sonuçlar, adım örtüşmesindeki değişikliklerin yürüyüş skorundaki değişikliklerle tutarlı bir şekilde eşleşmediğini de göstermiştir. Adım çakışması, manuel yürüme skorları ile ilişki gösteren bir değişkendir ancak tüm ineklerde topallık için tek bir sınıflandırıcı olarak kullanılacak kadar güçlü değildir.

Başka bir çalışmada, ineklerin duruş ve hareketlerini kaydetmek için, Pluk ve ark., (2012) tarafından bir kamera ve basınca duyarlı mat kullanılmıştır. Tırnağın zemine yerleştirilmesinin tam zamanlaması ve konumu, baskı matından elde edilmiştir. Konum bilgisi ile birlikte kameradan alınan görüntüler, belirlenen bacak için dokunma ve bırakma açılarını otomatik olarak hesaplamak için görüntü işleme amacıyla kullanılmıştır. Sonuçlar, hareket aralığındaki bir azalmayı veya ön toynakların serbest bırakma açısındaki bir artışı tespit ederek, ineklerin büyük bir yüzdesinin erken topallık tespiti için otomatik olarak doğru bir şekilde belirlenebileceğini göstermiştir. Topallığın postüral bir göstergesi olarak arka arka çıkarmak için Poursaberi ve ark. (2010), standart arka plan çıkarma teknikleri uygulamıştır. Daha sonra her bir ineğin ayakta ve yürürken sırtının eğriliği hesaplanarak sırt postür analizi yapılmıştır. Ardından ortalama ters ark yarıçapı topallık puanlaması için kullanılmıştır. Yöntemin duyarlılığı, hata oranı, özgüllüğü ve doğruluğu sırasıyla %100, %5,26, %97,6 ve %94,7 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, Viazzi ve ark. (2013), Poursaberi ve ark. (2010) tarafından önerilen yöntemin daha da geliştirilmesi için kabul edilebilir bir sınıflandırma oranıyla (%85'ten fazla) sırt postürü kullanmıştır. Bu grup tarafından yapılan daha ileri araştırmalarda (Viazzi ve ark., 2014), anormal hareket veya topallık tespiti için sırt duruşunu ölçmek için bir 2D (CCD) ve bir Kinect derinlik sensörü kullanılmıştır. 2D kamera için kullanılan algoritma, sırt postür tanımaya dayalıdır (Poursaberi ve ark., 2010; Viazzi ve ark., 2013), 3D görüntü işleme yaklaşımı için ise her bir inek kayıt alanına ayrı ayrı sokulmuştur. Burada, iki ardışık ineği ayırmak için, Kinect derinlik sensörü inek ile sensör arasındaki mesafeyi hesaplarken boylamsal yön boyunca minimum mesafe uygulanmıştır. Daha sonra, topallık tespiti için 3 boyutlu görüntüde bulunan inek sırt konturu ve vücut yönelimi kullanılmıştır. İneğin konturu hesaplanmış ve ikili görüntünün simetrik eksenleri arasındaki mesafe, ineğin vücudundan kafasını çıkarmak için kullanılmıştır. Vücudun tepe noktası tespit edilerek görüntüde ineğin sırt ve boynu elde edilmiştir. Vücut oryantasyonu, vücut özellikleri kullanılarak hesaplanmış ve ardından oryantasyon eksenleri etrafındaki en yüksek pikseller (inek genişliğinin %10'u) arka omurgayı temsil etmiştir. Başlangıç noktası için hayvanın sırtının eğriliğindeki en yüksek nokta kullanılmış ve daha sonra hareket modeli hesaplaması için daha önce tartışılan prosedürün aynısı uygulanmıştır.

Son yıllarda gerçekleştirilen başka bir çalışmada, süt ineklerinde erken topallığı tespit etmek için 3D derinlikli video uygulanmıştır (Abdul Jabbar ve ark., 2017). İnek vücudunun yukarıdan aşağıya elde edilen 3D görüntüsü, kemiklerinin ve omurganın yüksek eğrilik özelliklerini segmentlere ayırmak için kullanılmıştır. Ardından, bölümlere ayrılmış bölgeleri izleyerek, izlenen bölgelerden yükseklik ölçümleri şeklinde bir hareket değeri elde edilmiştir. Bu değer, hareketliliği değerlendirmek ve erken topallığı tespit etmek için yürüyüş asimetrisi şeklinde ayrıca analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, Destek Vektör Makinesi (SVM) sınıflandırıcısı kullanılarak total ineklerin tespitinde %100 duyarlılık, total olmayan ineklerin tespitinde %75 özgüllük ve genel başarı oranı olarak %95,7 doğruluk elde edilmiştir.

Agresiflik ve kızgınlık tespiti

Hayvanlarda saldırgan davranış, diğer hayvanlara fiili veya potansiyel zarara (korkutma-tehdit) neden olan davranış olarak tanımlanmaktadır. Çiftlik hayvanlarının çoğu gruplar halinde yaşamaktadır ve yeni hayvanların karıştırılmasından sonraki ilk günlerde veya beslenme zamanlarında yiyecek

kaynakları için rekabet olduğunda saldırgan davranışlar gösterebilirler. Bu davranış, hayvanların büyümesini, sağlığını ve refahını etkileyebilir ve düşük performanstan kaynaklanan ekonomik kayıplara yol açabilir. Önceki yıllarda gerçekleştirilmiş olan çoğu saldırganlık çalışmasında, manuel olarak davranışları doğrudan gözlemleyen veya video kaydı alarak ardından bu kayıtların manuel olarak uzmanlar tarafından izlenmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir.

Bununla birlikte, son zamanlarda görüntü işleme yöntemlerine dayalı olarak hayvancılıkta saldırgan davranışların otomatik olarak izlenmesini sağlayan çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Guzhva ve ark., (2016) tarafından inekler arasındaki etkileşimleri (vücut itme, kafa atma) izlemek için CCD tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. Her bir inek çiftinden geometrik özellikler (mesafeler) çıkarılmış, ardından değerler yaklaşık %85'lik bir tespit doğruluğu ile bir SVM'nin girdileri olarak kullanılmıştır. Başka bir çalışmada, aktivite indeksi (hareket eden hayvanların piksel sayısı/toplam piksel sayısı) yüzdesine dayalı olarak saldırgan davranış tespiti için farklı bir yöntemin uygulanabilirliği test edilmiştir (Oczak ve ark., 2014). Çalışma sonucunda, etkinlik indeksinin beş özelliği (ortalama, maksimum, minimum, toplam ve varyans) farklı zaman aralıklarında kaydedilen videolardan hesaplanmış ve yüksek saldırganlık olaylarını %96,1 duyarlılık, %94,2 özgüllük ve %99,8 doğrulukla sınıflandırmıştır. Özetle, bazı çalışmalarda agresif davranış tespitini ele almak maksadıyla CCD ve Kinect kameraları uygulanmış olsa da ticari koşullarda güvenilir bir alarm sistemi geliştirmek için daha fazla çabaya ihtiyaç olduğu açıktır.

Bir hayvanın iki ön bacağını kaldırıp bunları veya göğüs kemiğini başka bir hayvanın vücudunun herhangi bir yerine veya kafasına koyması olarak tanımlanan binme davranışı, kızgınlık tespiti için üreme davranışının en yaygın olarak kullanılan göstergelerinden biridir (Rydhmer ve ark., 2006). Tsai ve Huang, (2014) tarafından inekler arasındaki teması tespit etmek için üstten görünüm sağlayan bir yapay görme sistemi geliştirilmiştir. Bir biniş olayında, başlangıçta bir inek birkaç saniye boyunca başka bir ineği yakından takip etmektedir. Bu nedenle, sıralı çerçevelerdeki ikili görüntülerde hareketli nesne uzunluklarındaki değişikliklere dayalı olarak binme davranışları tanımlanmıştır. Görüntülerdeki 2 inek uzunluğunda hareketli nesnenin uzunluğu, daha sonra, binme davranışını gerçekleştirirken kabaca 1,5 inek olarak değişmiştir. Son olarak, bir bakıcının (çiftçinin), tespit edilen sonuçların gerçek kızgınlık olayları olduğunu doğrulamak için kaydedilen video karelerini izlemesi sağlanmıştır. Binme davranışının otomatik olarak algılanması potansiyeli, pratikte şimdiye kadar çok az kullanılmıştır. Binme davranışı, saldırganlık davranış gibi, birden fazla hayvanı içeren daha karmaşık dizi analizine dayanır ve bu nedenle diğer davranış kategorileri için kullanılabilir basit şekil veya konum saptama görevlerinden daha zordur. Manuel olarak kızgınlık tespitindeki başarıda gözlem sayısı kadar gözlem zamanı da önemlidir. Çünkü bu konuda gerçekleştirilen çalışmalarda ineklerin büyük çoğunluğunun gece kızgınlık belirtileri gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu durum net olarak tam otomatik kızgınlık izleme ve tespit sistemlerinin önemini ortaya koymaktadır. Çünkü çiftçi veya bakıcılar genellikle geceleri uyuduğundan kızgınlık belirtilerini zamanında tespit edemezler. Bu bakımdan uyku veya dinlenme ihtiyacı bulunmayan 7/24 esasına göre çalışabilen 2D ve 3D kameraların kullanıldığı tam otomatik kızgınlık izleme ve tespit sistemlerinin önemi özellikle sürüdeki hayvan sayısı çoğaldıkça daha da artmaktadır.

Otomatik izleme sistemlerinde yaşanan sorunlar ve gelecekteki araştırma ihtiyaçları

Bu çalışma hem 2D hem de 3D bilgisayarlı yapay görme sistemlerinin sığırlarda davranışı, bireysel ve grup özelliklerini tespit etmek, sağlık ve refah seviyelerini belirlemek için ucuz, temassız ve müdahalesiz bir yol olarak en yaygın şekilde uygulandığını göstermektedir. Bazı durumlarda araştırmacılar, sistemleri ticari durumda geliştirmiş ve test etmiştir.

Hayvanlar büyüdükçe veya üreme durumu değiştiğinde algoritmaların otomatik olarak ayarlanmasıyla, doğumdan kesime kadar çiftlik hayvanlarının değişen özelliklerine uyum sağlayabilen tam otomatik izleme ve tespit sistemleri geliştirilmiştir ve bu sistemlerin sahip oldukları kısıtların gelecekteki çalışmalarda ele alınması gerekmektedir. Hayvancılık çiftliklerinde çalışan izleme sistemleri, farklı sıcaklık, nem, toz ve ışık değişikliklerine maruz kalabilir ve bu nedenle, önceki çalışmalarda genel olarak dikkate alınmayan daha yüksek derecede esneklik ve daha geniş çalışma aralığı gerektirir. Çevresel değişiklikleri kaydetmek için yapay görme ve çok sensörlü yaklaşımların

kombinasyonu, yapay görme sistemlerindeki bazı ayırım sınırlamalarını telafi edebileceğinden, daha fazla sensör, sorun algılama performansının iyileşmesini sağlayabilir. Örneğin, 2D ve 3D kameralar ile 7/24 takip gerçekleştirilirken hayvan seslerini kaydetmek için akustik sensörlerin eşzamanlı uygulanması, hayvan refahı değerlendirmesini daha doğru hale getirebilir.

Ayrıca, çiftlik hayvanlarının bireysel olarak izlenmesinin otomasyonunda önemli pratik zorluklar vardır. Bireysel hayvan tanımlamada, bir gruptaki hayvanların oldukça benzer olabileceği gerçeğiyle birlikte, iç ve dış çiftlik ortamlarındaki çeşitli kontrolsüz koşullar nedeniyle görüntü analiziyle birlikte görüntü işlemeden daha fazla güvenilirlik sağlayan radyo frekansı etiketleri veya mikrofonlar gibi ekstra sensörler kullanılarak geliştirilebilir. Gelecekte, hali hazırda vahşi hayvanların dış ortamlarda izlenmesinde yaygın olarak kullanılan drone monteli kameralar gibi diğer görüntüleme sistemleri, sürüdeki hayvan sayısının fazla olduğu çiftliklerde farklı amaçlar için kullanılabilir. Bununla birlikte, drone vb. sistemler, tanıdık olmayan gürültü ve baş üstü varlığı nedeniyle hayvanları ürkütebilir ve normal davranışlarını bozabilir. Bu nedenle, yeni makine öğrenimi yöntemlerine dayalı ve gelişmiş teknolojilerin kullanıldığı daha fazla araştırmaya ihtiyaç olmakla birlikte hayvanların normal davranışlarını etkilemeyecek teknikler veya yöntemler konusunda yoğunlaşılması gerekmektedir.

Gelecekteki araştırma konuları, hayvan davranışlarını doğal biyolojilerine göre izlemek için eksiksiz ve gerçek zamanlı sistemlerin geliştirilmesi ve davranış değişikliklerinin saptanmasına izin vermek için çevresel parametrelerdeki değişiklikleri tespit etmek olabilir. Hayvancılık izleme üzerine yapılan çalışmaların çoğu karmaşık programlama algoritmalarına dayanmaktadır ve bilgisayar kullanma bilgisi gerektirmektedir. Sistemin işlerliği, özellikle çiftçiler için ne kadar kolay ve dostane bir kullanım olduğunun gösterilmesi, gelecekte geliştirilebilecek konuların başında yer almaktadır. Günümüzde, çiftliklerdeki ağların ve akıllı telefon cihazlarının geniş erişilebilirliği sayesinde, gerçek zamanlı çevrimiçi takip ve tespit sistemleri ile çiftçiler için anlık alarm sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çok daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Hayvancılık takip sistemlerinde, büyük miktarlarda video kaydı yapılması gerekir. Bu yüksek boyuttaki verileri derlemek ve analiz etmek, çoğu araştırmacının bulgularını değerlendirirken karşılaştığı büyük bir zorluktur. Bu gibi durumlarda maliyetleri ve zamanlama taleplerini azaltmak için büyük ölçekli değerlendirme veri tabanları veya otomatik veri temizleme programları kullanılabilir. Bununla birlikte, gelecekte, hala zorlu olan bireysel hayvancılık davranışlarının izlenmesine yönelik hem 2D hem de 3D makine görme yaklaşımlarının daha etkili ve daha pratik şekilde uygulaması için daha fazla çaba harcanmalıdır. Çok sayıda hayvanın bulunduğu çiftliklerde verimliliği, işgücünü ve enerji maliyetini iyileştirmek amacıyla gerçekleştirilecek olan çalışmalarda, çiftlik ortamını otomatik izleme amacıyla daha uygun hale getirmede yapı tasarımcılarının, hayvan gereksinimlerini tanımlamak ve yanıtları yorumlamada hayvan biyologlarının ve mevcut araçları iyileştirmede için kontrol, süreç modelleme ve yapay görme uzmanlarının iş birliğine ihtiyaç vardır.

Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak, modern teknolojinin kullanılması, çiftlik sahiplerinin ve çalışanların hayvan üretimini ve refahını iyileştirmelerine yardımcı olmaktadır. Literatürde, ticari olarak uygulanabilir durumda bulunan yeni çiftlik yönetim sistemlerinde kullanılabilecek birçok farklı türde görüntü işleme sistemleri ve davranış analiz araçları bulunmaktadır. Bu incelemenin sonuçları, sığırların yatma, beslenme, su içme, hareket, saldırganlık ve kızgınlık davranışlarının tespiti için 2D ve 3D görüntüleme teknikleri kullanılan görüntü işleme sistemlerinin faydalı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bugüne kadar gerçekleştirilen çalışmaların çoğunda, matematiksel analiz yöntemleriyle birlikte üstten görünüm görüntülerini kullanarak çiftlik hayvanlarının davranışlarını izlemek için 2 boyutlu kameraların kullanımına odaklanılmıştır.

Modern dijital teknolojilerin ve geliştirilen algoritmaların Kinect ve TOF (time of flying) kameralar gibi 3D görüntüleme sistemlerinden elde edilen verilerin analizinde uygulanması, mevcut sistemlerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için araştırmacılara daha fazla olanak sunmaktadır. Ayrıca çiftçi veya veteriner, çiftlik hayvanlarının davranışları hakkında doğru ve zamanında elde ettiği bilgilerle sorunları çözmek için çok daha erken ve hızlı bir şekilde hareket edebilir. Ek olarak, hayvanlardaki bazı anormal davranışların zaman akışının ve sıklığının otomatik olarak izlenmesi, davranış probleminin önlenmesi veya hafifletilmesi için farklı yöntemler araştıran bilim insanlarının çalışmalarını da

Büyükbaş Hayvancılıkta Görüntü İşleme ile Sağlık ve Refah Tespiti

kolaylaştırabilir. Son zamanlarda araştırmacılar tarafından hayvan davranışlarının tespiti için birçok görüntü işleme tekniği geliştirilmiş olsa da bu tekniklerin daha fazla detaylandırılması ve farklı sensörler ile güçlendirilmesi hayvanların davranışlarını algılayabilen ve olağandışı durumlarda en iyi çözüme veya anlık uyarı alarmına karar verebilen otomatik yönetim sistemlerin geliştirilmesine büyük katkı sağlayacaktır. Ancak bu tarz bir yönetim sisteminin oluşturulması, sadece fizyoloji, zooloji ve teknoloji gibi farklı araştırma alanlarından oluşan ekipler kurulduğunda mümkündür. Tek kelime ile özetlemek gerekirse, bunu başarmak için, teknoloji bilimi ile hayvancılık bilimi iş birliği yapmalıdır!

Kaynakça

- Abdul Jabbar, K., Hansen, M.F., Smith, M.L., 2017. Early and non-intrusive lameness detection in dairy cows using 3-dimensional video. *Biosyst. Eng.* 153, 63–69.
- Anglart, D., 2016. Automatic Estimation of Body Weight and Body Condition Score in Dairy Cows Using 3D imaging technique. Second cycle A2E SLU, Dept. of Animal Nutrition and Management, Uppsala.
- Appuhamy, J.A.D.R.N., Judy, J.V., Kebreab, E., Kononoff, P.J., 2016. Prediction of drinking water intake by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99 (9), 7191–7205.
- Averós, X., Brossard, L., Dourmad, J.Y., de Greef, K.H., Edge, H.L., Edwards, S.A., Meunier-Salaün, M.C., 2010. A meta-analysis of the combined effect of housing and environmental enrichment characteristics on the behaviour and performance of pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 127 (3–4), 73–85.
- Azizi, O., Kaufmann, O., Hasselmann, L., 2009. Relationship between feeding behaviour and feed intake of dairy cows depending on their parity and milk yield. *Livest. Sci.* 122 (2), 156–161.
- Azzaro, G., Caccamo, M., Ferguson, J.D., Battiato, S., Farinella, G.M., Guarnera, G.C., Puglisi, G., Petriglieri, R., Licitra, G., 2011. Objective estimation of body condition score by modelling cow body shape from digital images. *J. Dairy Sci.* 94 (4), 2126–2137.
- Bach, A., Iglesias, C., Busto, I., 2004. Technical note: a computerized system for monitoring feeding behavior and individual feed intake of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87 (12), 4207–4209.
- Barkema, H.W., von Keyserlingk, M.A.G., Kastelic, J.P., Lam, T.J.G.M., Luby, C., Roy, J.P., LeBlanc, S.J., Keefe, G.P., Kelton, D.F., 2015. Invited review: changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *J. Dairy Sci.* 98 (11), 7426–7445.
- Bercovich, A., Edan, Y., Alchanatis, V., Moallem, U., Parmet, Y., Honig, H., Maltz, E., Antler, A., Halachmi, I., 2013. Development of an automatic cow body condition scoring using body shape signature and Fourier descriptors. *J. Dairy Sci.* 96 (12), 8047–8059.
- Bewley, J.M., Boyce, R.E., Hockin, J., Munksgaard, L., Eicher, S.D., Einstein, M.E., Schutz, M.M., 2010. Influence of milk yield, stage of lactation, and body condition on dairy cattle lying behaviour measured using an automated activity monitoring sensor. *J. Dairy Res.* 77 (01), 1–6.
- Bewley, J.M., Peacock, A.M., Lewis, O., Boyce, R.E., Roberts, D.J., Coffey, M.P., Kenyon, S.J., Schutz, M.M., 2008. Potential for estimation of body condition scores in dairy cattle from digital images. *J. Dairy Sci.* 91 (9), 3439–3453.
- Botreau, R., Veissier, I., Butterworth, A., Bracke, M.B.M., Keeling, L.J., 2007. Definition of criteria for overall assessment of animal welfare. *Anim. Welf.* 16 (2), 225–228.
- Bracke, M.B.M., Spoolder, H.A.M., 2011. Review of wallowing in pigs: implications for animal welfare. *Anim. Welf.* 20 (3), 347–363.
- Brendle, J. & Hoy, S. Investigation of distances covered by fattening pigs measured with VideoMotionTracker®. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 132, 27–32 (2011).
- Broom, D.M., 2006. Behaviour and welfare in relation to pathology. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 97 (1), 73–83.
- Brown-Brandl, T.M., Eigenberg, R.A., Purswell, J.L., 2013a. Using thermal imaging as a method of investigating thermal thresholds in finishing pigs. *Biosyst. Eng.* 114 (3), 327–333.
- Brown-Brandl, T.M., Rohrer, G.A., Eigenberg, R.A., 2013b. Analysis of feeding behavior of group housed growing–finishing pigs. *Comput. Electron. Agric.* 96, 246–252.
- Bruinsma, J., 2003. *World Agriculture: Towards 2015/2030: An FAO Perspective*. Earthscan, London, pp. 2030.
- Bull, C.R., McFarlane, N.J.B., Zwiiggelaar, R., Allen, C.J., Mottram, T.T., 1996. Inspection of teats by colour image analysis for automatic milking systems. *Comput. Electron. Agric.* 15 (1), 15–26.
- Caja, G., Castro-Costa, A., Knight, C.H., 2016. Engineering to support wellbeing of dairy animals. *J. Dairy Res.* 83 (2), 136–147.
- Cangar, Ö., Leroy, T., Guarino, M., Vranken, E., Fallon, R., Lenehan, J., Mee, J., Berckmans, D., 2008. Automatic real-time monitoring of locomotion and posture behaviour of pregnant cows prior to calving using online image analysis. *Comput. Electron. Agric.* 64 (1), 53–60.

- Chapinal, N., Veira, D.M., Weary, D.M., Von Keyserlingk, M.A.G., 2007. Technical note: validation of a system for monitoring individual feeding and drinking behavior and intake in group-housed cattle. *J. Dairy Sci.* 90 (12), 5732–5736.
- Colak A, Polat B, Okumus Z, Kaya M, Yanmaz LE, Hayirli A (2008). Early detection of mastitis using infrared thermography in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91(11): 4244-4248.
- Conte, S., Bergeron, R., Gonyou, H., Brown, J., Rioja-Lang, F.C., Connor, L., Devillers, N., 2014. Measure and characterization of lameness in gestating sows using force plate, kinematic, and accelerometer methods. *J. Anim. Sci.* 92 (12), 5693–5703.
- Cortivo, P.D., Dias, E., Barcellos, J.O.J., Peripolli, V., Costa Jr, J.B.G., Dallago, B.S.L., McManus, C.M., 2016. Use of thermographic images to detect external parasite load in cattle. *Comput. Electron. Agric.* 127, 413–417.
- Costa, A., Ismayilova, G., Borgonovo, F., Viazzi, S., Berckmans, D., Guarino, M., 2014. Image-processing technique to measure pig activity in response to climatic variation in a pig barn. *Anim. Prod. Sci.* 54 (8), 1075–1083.
- Fischer, A., Luginbühl, T., Delattre, L., Delouard, J.M., Favardin, P., 2015. Rear shape in 3 dimensions summarized by principal component analysis is a good predictor of body condition score in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98 (7), 4465–4476.
- Gauthreaux, S.A., Livingston, J.W., 2006. Monitoring bird migration with a fixed-beam radar and a thermal-imaging camera. *J. Field Ornithol.* 77 (3), 319–328.
- Gloster, J., Ebert, K., Gubbins, S., Bashiruddin, J., Paton, D.J., 2011. Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. *BMC Vet. Res.* 7 (1), 1.
- González-Velasco, H.M., García-Orellana, C.J., Macías-Macías, M., Gallardo-Caballero, R., García-Manso, A., 2011. A morphological assessment system for ‘show quality’ bovine livestock based on image analysis. *Comput. Electron. Agric.* 78 (1), 80–87.
- Grégoire, J., Bergeron, R., D’Allaire, S., Meunier-Salaün, M.C., Devillers, N., 2013. Assessment of lameness in sows using gait, footprints, postural behaviour and foot lesion analysis. *Animal* 7 (07), 1163–1173.
- Guzhva, O., Ardö, H., Herlin, A., Nilsson, M., Åström, K., Bergsten, C., 2016. Feasibility study for the implementation of an automatic system for the detection of social interactions in the waiting area of automatic milking stations by using a video surveillance system. *Comput. Electron. Agric.* 127, 506–509.
- Halachmi, I., Polak, P., Roberts, D.J., Klopčič, M., 2008. Cow body shape and automation of condition scoring. *J. Dairy Sci.* 91 (11), 4444–4451.
- Haley, D.B., Rushen, J., Passillé, A.D., 2000. Behavioural indicators of cow comfort: activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing. *Can. J. Anim. Sci.* 80 (2), 257–263.
- Han, J., Shao, L., Xu, D., Shotton, J., 2013. Enhanced computer vision with Microsoft Kinect sensor: a review. *IEEE Trans. Cybern.* 43 (5), 1318–1334.
- Hertem, V.T., Alchanatis, V., Antler, A., Maltz, E., Halachmi, I., Schlageter-Tello, A., Lokhorst, C., Viazzi, S., Romanini, C.E.B., Pluk, A., Bahr, C., 2013. Comparison of segmentation algorithms for cow contour extraction from natural barn background inside view images. *Comput. Electron. Agric.* 91, 65–74.
- Hoffmann, G., Schmidt, M., Ammon, C., Rose-Meierhöfer, S., Burfeind, O., Heuwieser, W., Berg, W., 2013. Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. *Vet. Res. Commun.* 37 (2), 91–99.
- Hovinen, M., Siivonen, J., Taponen, S., Hänninen, L., Pastell, M., Aisla, A.M., Pyörälä, S., 2008. Detection of clinical mastitis with the help of a thermal camera. *J. Dairy Sci.* 91 (12), 4592–4598.
- Hristov, N.I., Betke, M., Kunz, T.H., 2008. Applications of thermal infrared imaging for research in aeroecology. *Integr. Comp. Biol.* 48 (1), 50–59.
- Hu, J., Xin, H., 2000. Image-processing algorithms for behavior analysis of group-housed pigs. *Behav. Res. Methods Instrum. Comput.* 32 (1), 72–85.
- Huhtala, A., Suhonen, K., Mäkelä, P., Hakojärvi, M., Ahokas, J., 2007. Evaluation of instrumentation for cow positioning and tracking indoors. *Biosyst. Eng.* 96 (3), 399–405.

- James, C.A., Richardson, A.J., Watt, P.W., Maxwell, N.S., 2014. Reliability and validity of skin temperature measurement by telemetry thermistors and a thermal camera during exercise in the heat. *J. Therm. Biol.* 45, 141–149.
- Kastberger, G., Stachl, R., 2003. Infrared imaging technology and biological applications. *Behav. Res. Methods Instrum. Comput.* 35 (3), 429–439.
- Kolb, A., Barth, E., Koch, R., Larsen, R., 2010. Time-of-flight cameras in computer graphics. *Comput. Gr. Forum* 29 (1), 141–159.
- Kuzuhara, Y., Kawamura, K., Yoshitoshi, R., Tamaki, T., Sugai, S., Ikegami, M., Kurokawa, Y., Obitsu, T., Okita, M., Sugino, T., Yasuda, T., 2015. A preliminary study for predicting body weight and milk properties in lactating Holstein cows using a three-dimensional camera system. *Comput. Electron. Agric.* 111, 186–193.
- Liu, B., Zhu, W., 2013. Segmentation improvement of pig contour based on registration and fusion of IR thermal and optical images. In 2013 Ninth International Conference on Natural Computation (ICNC), 1424–1428.
- Marinello, F., Pezzuolo, A., Gasparini, F., Arvidsson, J., Sartori, L., 2015. Application of the Kinect sensor for dynamic soil surface characterization. *Precis. Agric.* 16 (6), 601–612.
- Matzner, S., Cullinan, V.I., Duberstein, C.A., 2015. Two-dimensional thermal video analysis of offshore bird and bat flight. *Ecol. Inf.* 30, 20–28.
- McCafferty, D.J., 2007. The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. *Mamm. Rev.* 37 (3), 207–223.
- McCafferty, D.J., Gilbert, C., Paterson, W., Pomeroy, P.P., Thompson, D., Currie, J.I., Ancel, A., 2011. Estimating metabolic heat loss in birds and mammals by combining infrared thermography with biophysical modelling. *Comp. Biochem. Physiol. A: Mol. Integr. Physiol.* 158 (3), 337–345.
- Meiszberg, A.M., Johnson, A.K., Sadler, L.J., Carroll, J.A., Dailey, J.W., Krebs, N., 2009. Drinking behavior in nursery pigs: determining the accuracy between an automatic water meter versus human observers. *J. Anim. Sci.* 87 (12), 4173–4180.
- Mendoza, F., Dejmek, P., Aguilera, J.M., 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biol. Technol.* 41 (3), 285–295.
- Montanholi, Y.R., Odongo, N.E., Swanson, K.C., Schenkel, F.S., McBride, B.W., Miller, S.P., 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *J. Therm. Biol.* 33 (8), 468–475.
- Murphy, E., Nordquist, R.E., van der Staay, F.J., 2014. A review of behavioural methods to study emotion and mood in pigs, *Sus scrofa*. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 159, 9–28.
- Nasirahmadi, A., Hensel, O., Edwards, S.A., Sturm, B., 2017. A new approach for categorizing pig lying behaviour based on a Delaunay triangulation method. *Animal* 11 (1), 131–139.
- Nasirahmadi, A., Hensel, O., Edwards, S.A., Sturm, B., 2016b. Automatic detection of mounting behaviours among pigs using image analysis. *Comput. Electron. Agric.* 124, 295–302.
- Nasirahmadi, A., Richter, U., Hensel, O., Edwards, S., Sturm, B., 2015. Using machine vision for investigation of changes in pig group lying patterns. *Comput. Electron. Agric.* 119, 184–190.
- Nathan, D., Huynh, D.Q., Rubenson, J., Rosenberg, M., 2015. Estimating physical activity energy expenditure with the kinect sensor in an exergaming environment. *PLoS One* 10, 5.
- Nielsen, L.R., Pedersen, A.R., Herskin, M.S., Munksgaard, L., 2010. Quantifying walking and standing behaviour of dairy cows using a moving average based on output from an accelerometer. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 127 (1), 12–19.
- Oczak, M., Maschat, K., Berckmans, D., Vranken, E., Baumgartner, J., 2016. Automatic estimation of number of piglets in a pen during farrowing, using image analysis. *Biosyst. Eng.* 151, 81–89.
- Oczak, M., Viazzi, S., Ismayilova, G., Sonoda, L.T., Roulston, N., Fels, M., Bahr, C., Hartung, J., Guarino, M., Berckmans, D., Vranken, E., 2014. Classification of aggressive behaviour in pigs by activity index and multilayer feed forward neural network. *Biosyst. Eng.* 119, 89–97.

- Ozkaya, S. 2012. Accuracy of body measurements using digital image analysis in female Holstein calves. *Animal Production Science*, 52: 917-920.
- Pluk, A., Bahr, C., Poursaberi, A., Maertens, W., Van Nuffel, A., Berckmans, D., 2012. Automatic measurement of touch and release angles of the fetlock joint for lameness detection in dairy cattle using vision techniques. *J. Dairy Sci.* 95 (4), 1738–1748.
- Porto, S.M., Arcidiacono, C., Anguzza, U., Cascone, G., 2015. The automatic detection of dairy cow feeding and standing behaviours in free-stall barns by a computer vision-based system. *Biosyst. Eng.* 133, 46–55.
- Porto, S.M., Arcidiacono, C., Anguzza, U., Cascone, G., 2013. A computer vision-based system for the automatic detection of lying behaviour of dairy cows in free-stall barns. *Biosyst. Eng.* 115 (2), 184–194.
- Porto, S.M., Arcidiacono, C., Guarnera, G.C., Cascone, G., 2012. Preliminary study for the implementation of an image analysis algorithm to detect dairy cow presence at the feed barrier. *J. Agric. Eng. Res.* 42 (4), 17–24.
- Poursaberi, A., Bahr, C., Pluk, A., Van Nuffel, A., Berckmans, D., 2010. Real-time automatic lameness detection based on back posture extraction in dairy cattle: shape analysis of cow with image processing techniques. *Comput. Electron. Agric.* 74 (1), 110–119.
- Pycinski, B., Czajkowska, J., Badura, P., Juszczak, J., Pietka, E., 2016. Time-of-flight camera, optical tracker and computed tomography in pairwise data registration. *PLoS One* 11, 7.
- Quimby, W.F., Sowell, B.F., Bowman, J.G.P., Branine, M.E., Hubbert, M.E., Sherwood, H.W., 2001. Application of feeding behaviour to predict morbidity of newly received calves in a commercial feedlot. *Can. J. Anim. Rydhmer Sci.* 81 (3), 315–320.
- Rainwater-Lovett, K., Pacheco, J.M., Packer, C., Rodriguez, L.L., 2009. Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. *Vet. J.* 180 (3), 317–324.
- Rushen, J., Chapinal, N., De Passille, A.M., 2012. Automated monitoring of behavioural based animal welfare indicators. *Anim. Welf.* 21 (3), 339.
- Rutten, C.J., Velthuis, A.G.J., Steeneveld, W., Hogeveen, H., 2013. Invited review: sensors to support health management on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 96 (4), 1928–1952.
- Rydhmer, L., Zamaratskaia, G., Andersson, H.K., Algers, B., Guillemet, R., Lundström, K., 2006. Aggressive and sexual behaviour of growing and finishing pigs reared in groups, without castration. *Acta Agric. Scand. Sect.* 56 (2), 109–119.
- Salau, J., Haas, J.H., Junge, W., Bauer, U., Harms, J., Bielecki, S., 2014. Feasibility of automated body trait determination using the SR4K time-of-flight camera in cow A. Nasirahmadi et al. *Livestock Science* 202 (2017) 25–38 37 barns. *SpringerPlus* 3 (1), 1.
- Schaefer, A.L., Cook, N., Tessaro, S.V., Deregt, D., Desroches, G., Dubeski, P.L., Tong, A.K.W., Godson, D.L., 2004. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *Can. J. Anim. Sci.* 84 (1), 73–80.
- Schlageter-Tello, A., Bokkers, E.A., Koerkamp, P.W.G., Van Hertem, T., Viazzi, S., Romanini, C.E., Halachmi, I., Bahr, C., Berckmans, D., Lokhorst, K., 2014. Manual and automatic locomotion scoring systems in dairy cows: a review. *Prev. Vet. Med.* 116 (1), 12–25.
- Shane, D.D., White, B.J., Larson, R.L., Amrine, D.E., Kramer, J.L., 2016. Probabilities of cattle participating in eating and drinking behavior when located at feeding and watering locations by a real time location system. *Comput. Electron. Agric.* 127, 460–466.
- Shao, B., Xin, H., 2008. A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs. *Comput. Electron. Agric.* 62 (1), 15–21.
- Shao, J., Xin, H., Harmon, J.D., 1998. Comparison of image feature extraction for classification of swine thermal comfort behavior. *Comput. Electron. Agric.* 19 (3), 223–232.
- Shelley, Anthony N., 2013. Monitoring Dairy Cow Feed Intake Using Machine Vision. *Electrical and Computer Engineering, University of Kentucky (Theses and Dissertations)*.
- Song, X., Leroy, T., Vranken, E., Maertens, W., Sonck, B., Berckmans, D., 2008. Automatic detection of lameness in dairy cattle—Vision-based trackway analysis in cow's locomotion. *Comput. Electron. Agric.* 64 (1), 39–44.

- Sowell, B.F., Bowman, J.G.P., Branine, M.E., Hubbert, M.E., 1998. Radio frequency technology to measure feeding behavior and health of feedlot steers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 59 (4), 277–284.
- Spoliansky, R., Edan, Y., Parmet, Y., Halachmi, I., 2016. Development of automatic body condition scoring using a low-cost 3-dimensional Kinect camera. *J. Dairy Sci.* 99 (9), 7714–7725.
- Sprecher, D.J., Hostetler, D.E., Kaneene, J.B., 1997. A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. *Theriogenology* 47 (6), 1179–1187.
- Stajanko, D., Brus, M., Hočevár, M., 2008. Estimation of bull live weight through thermographically measured body dimensions. *Comput. Electron. Agric.* 61 (2), 233–240.
- Tasdemir, S., Urkmez, A., Inal, S., 2011. Determination of body measurements on the Holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76, 189–197.
- Tsai, D.M., Huang, C.Y., 2014. A motion and image analysis method for automatic detection of estrus and mating behavior in cattle. *Comput. Electron. Agric.* 104, 25–31.
- Van Nuffel, A., Zwervaegher, I., Van Weyenberg, S., Pastell, M., Thorup, V.M., Bahr, C., Sonck, B., Saeys, W., 2015. Lameness detection in dairy cows: part 2. Use of sensors to automatically register changes in locomotion or behavior. *Animal* 5 (3), 861–885.
- Vázquez-Arellano, M., Griepentrog, H.W., Reiser, D., Paraforos, D.S., 2016. 3-D imaging systems for agricultural applications - a review. *Sensors* 16 (5), 618.
- Viazzi, S., Bahr, C., Schlageter-Tello, A., Van Hertem, T., Romanini, C.E.B., Pluk, A., Halachmi, I., Lokhorst, C., Berckmans, D., 2013. Analysis of individual classification of lameness using automatic measurement of back posture in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 96 (1), 257–266.
- Viazzi, S., Bahr, C., Van Hertem, T., Schlageter-Tello, A., Romanini, C.E.B., Halachmi, I., Lokhorst, C., Berckmans, D., 2014. Comparison of a three-dimensional and two-dimensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows. *Comput. Electron. Agric.* 100, 139–147.
- Viola, P., Jones, M.J., 2004. Robust real-time face detection. *Int. J. Comput. Vision.* 57 (2), 137–154.
- Weber, A., Salau, J., Haas, J.H., Junge, W., Bauer, U., Harms, J., Suhr, O., Schönrock, K., Rothfuß, H., Bielecki, S., Thaller, G., 2014. Estimation of backfat thickness using extracted traits from an automatic 3D optical system in lactating Holstein-Friesian cows. *Livest. Sci.* 165, 129–137.
- Westlund, J.K., D’Mello, S.K., Olney, A.M., 2015. Motion tracker: camera-based monitoring of bodily movements using motion silhouettes. *PLoS One* 10, 6.
- Wirthgen, T., Zipser, S., Franze, U., Geidel, S., Lempe, G., 2011. Automatic infrared-based temperature measuring system for health monitoring in veterinary applications. *IEEE SENSORS Proceedings, Limerick*, 1800–1803.
- Wolfger, B., Manns, B.J., Barkema, H.W., Schwartzkopf-Genswein, K.S., Dorin, C., Orsel, K., 2015. Evaluating the cost implications of a radio frequency identification feeding system for early detection of bovine respiratory disease in feedlot cattle. *Prev. Vet. Med.* 118 (4), 285–292.
- Wu, J., Tillet, R., McFarlane, N., Ju, X., Siebert, J.P., Schofield, P., 2004. Extracting the three-dimensional shape of live pigs using stereo photogrammetry. *Comput. Electron. Agric.* 44 (3), 203–222.
- Zwertvaegher, I., Baert, J., Vangeyte, J., Genbrugge, A., Van Weyenberg, S., 2011. Objective measuring technique for teat dimensions of dairy cows. *Biosyst. Eng.* 110 (2), 206–212. Wright, J., “A Bright Idea: Manipulating Photoperiod to Improve Milk Production”, *Dairy, Livestock & Field Crops*, 20(10), 1-3, 2011.