

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：17601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23658218

研究課題名(和文)非接触画像計測による和牛の体重推定システムの開発

研究課題名(英文)Weight estimation system of Japanese black cattle using non-contact computer vision

研究代表者

川末 紀功仁(Kawasue, Kikuhito)

宮崎大学・工学部・教授

研究者番号：20214645

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：画像計測技術を用いた和牛の計測システムを開発した。黒毛和牛の成長過程において、定期的に和牛の状態を評価する必要がある。体重やサイズだけでなく、和牛の姿勢や形状も重要な評価項目である。本研究においては、三次元計測器により異なる方向から同時に三次元点群データを取得する。これらの三次元計測システムは座標系を統一するために、前もって校正されている。異なる方向から得られた点群データは同一座標系で再構成される。コンピュータ上で和牛の方向を考慮することでデジタルモデルが生成される。このモデルから和牛から姿勢などの評価がなされる。これらのデータは和牛の体重を推定するのに重要な指標となる。

研究成果の概要(英文)：A measurement system for cattle using a computer vision technique has been developed. It is important to evaluate the quality of Japanese black cattle periodically during the growth process. Not only the weight and size of cattle, but also the posture and shape, are checked as the primary evaluation criteria. In this study, the digital point cloud data of cattle are obtained by three-dimensional computer vision devices from different angles simultaneously. These devices are calibrated in advance to have a common coordinate system. The point cloud data obtained from different angles is reconstructed on a common coordinate system, and digital cattle are generated in the computer considering the orientation of the cattle. The important specifications for evaluating the cattle posture are estimated from the reconstructed cattle model on the computer. The obtained data will be an important parameter for estimate the weight of the cattle.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：畜産学・草地学

キーワード：画像計測 家畜計測

1. 研究開始当初の背景

本学における研究で、宮崎県および鹿児島県畜産試験場における 1986 年から 1993 年の黒毛和種産肉能力検定間接法調査牛 801 頭のデータから体長、体高、後躯の幅など局所的な箇所を計測することで、牛の体重を 96.1% の確度で推定できることを確認している(原田(研究分担者)ら, Estimating Body Weight by Use of Body Measurements of Fattening Japanese Black Beef Steers). 計測位置が限定されることから、画像計測技術によってこれらの箇所を計測することで体重推定の自動化が可能と判断している。牛を移動させる必要がなく、カメラに写る距離であれば離れた位置から計測することに特徴がある。CCD カメラで撮影することで和牛の三次元形状が測定できる。研究期間内に体長、体高、後躯の幅など基本的な箇所の長さとして併せて、肩、尻などの断面形状のデータをもとに体重算出式と組み合わせ牛の体重を推定することが可能になる。

2. 研究の目的

肉用牛において体重を測定することは重要であるが、牛衡器を保有している農家はほとんど無く、一般的には熟練した人が目視で重量を推定するか、局所的な体各部測定値から体重を推定する方法がとられている。そのため、可搬性があり簡便な牛の体重測定方法の開発が期待されている。そこで画像計測技術を用い、非接触で和牛の体重を自動推定するシステムを試作する。三次元位置を計測し、体重算出式を用いて体重を求める小型の計測システムを開発することを目的とする。肉牛の飼育において、生産者は飼育牛の品質や体調管理などに配慮している。特に成長の度合いを定期的に計測し、評価することは品質を管理する上で重要であり、牛の体重や大きさだけでなく、姿勢や体型も重要な評価基準となっている。しかし、牛用の計量機は大型であり所有している飼育農家が少ないため、品質評価は一般的に熟練者の目視や経験に頼って行われている。このような評価方法では測定者の感覚により評価結果に個人差が生じてしまうため、定量的で持ち運びが可能な計測システムの開発が望まれている。カメラを用いたコンピュータビジョンシステムが工学の分野で既に実用化されている。動物科学の分野でもこの技術の応用例が数多く報告されているが、そのほとんどが色情報の解析や、画像中から動物を抽出するなど二次元解析に限定されている。動物科学の分野では動物を定量的に三次元計測するほうが望ましいが、一般的に三次元計測に用いられるスリット光で物体の表面を走査する手法は、計測対象が静止している必要があるため、動物などの動く対象物を計測することは困難である。近年、KINECT などの三次元点群データをリアルタイムで検出する装置が容易に入手できるようになった。KINECT は十数万点もの点群データを 30fps で取得する

ため、計測対象物の動きの影響を受けることなく三次元計測を行うことができる。

本研究では、KINECT を用いて異なる視点から牛の全体を計測し、コンピュータ上で牛のデジタルモデルを構築して、このデジタルモデルから牛の体型を数値化する計測システムを開発した。また、KINECT とレーザスキャナを組み合わせ、牛の計測部位を異なる視点から計測し、対象部の断面形状を抽出するシステムも開発した。開発した計測システムのうち前者は折りたたみの可能なフレーム型、後者はハンディ型のシステムでいずれも容易に持ち運ぶことができる様に設計した。

3. 研究の方法

計測システムとして、フレーム型のシステムとハンディ型のシステムを試作した。

(1) フレーム型計測システムの概要

図1にフレーム型計測システムの概略図とワールド座標系を示す。本計測システムは3台の KINECT と傾きセンサ、アルミ製フレーム、スタンド、PC などで構成され、牛を上方と両側面方向の3視点から計測する。KINECT-0 と KINECT-2 は牛から 2m 離れた位置に、KINECT-1 は地面から 3m の位置に設置した。KINECT-0 と KINECT-1、傾きセンサは同一のアルミ製フレームに取り付け、KINECT-2 は独立したスタンドに取り付けた。3台の KINECT と傾きセンサは、同一の PC で制御され、三次元点群データと傾きを同時に取得する。

各 KINECT は個々に座標系を持っているため、共通の座標系(ワールド座標系)に変換する必要がある。ワールド座標系は KINECT-0 の座標系に設定し、水平面に対するフレームの傾きを考慮して、傾きセンサを取り付けた。フレーム型計測システムでは、ワールド座標系と各 KINECT の座標系との関係性をそれぞれパラメータとして算出(キャリブレーション)し、各座標系をワールド座標系に変換する。これにより各 KINECT で検出された点群データを統合し、コンピュータ上で牛のデジタルモデルを構築する。モデルは計測システムの水平面に対する傾きや、計測システムに対する牛の傾きの影響を受けワールド座標系に対し傾いてしまうため、これらの傾きを検出し修正する。牛の品質評価に必要な計測データはコンピュータ上で再構築されたデジタルモデルから抽出する。

フレーム型計測システムでは前述のとおり、キャリブレーションを行う必要がある。球体を2個ずつ取り付けた4つのポールを配置し、各 KINECT で球体の三次元点群データを取得する。取得した球の点群データと、原点周りに作成した半球の点群データに ICP アルゴリズムを適用し各球の三次元位置を推定する。推定した位置を各 KINECT 間の基準点としてパラメータを算出する。

KINECT-1,2 の座標系を (x_k, y_k, z_k) 、KINECT-0 座標系(ワールド座標系)を (x_0, y_0, z_0) とし、パ

ラメータを $h_{11} \sim h_{43}$ とすると関係式は式(1)のようになる．また，KINECT-1,2 の座標系をワールド座標系に変換する式は，式(2)で表される．

$$\lambda \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \\ h_{41} & h_{42} & h_{43} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} - h_{41}x_k & h_{12} - h_{42}x_k & h_{13} - h_{43}x_k \\ h_{21} - h_{41}y_k & h_{22} - h_{42}y_k & h_{23} - h_{43}y_k \\ h_{31} - h_{41}z_k & h_{32} - h_{42}z_k & h_{33} - h_{43}z_k \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_k - h_{14} \\ y_k - h_{24} \\ z_k - h_{34} \end{bmatrix}$$

(2)

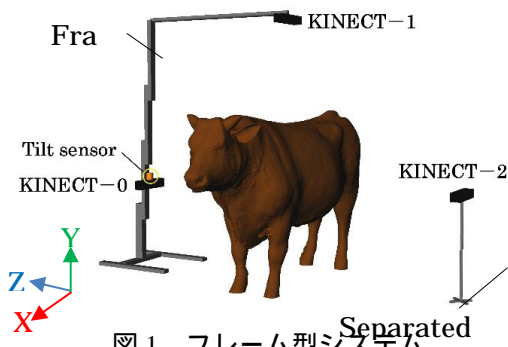


図1 フレーム型システム

取得した点群データから胸高や体長など牛の体型を推定するためには，牛の体の向きをワールド座標系にそろえる必要がある．計測システムが水平面に対し傾いた際に，X軸周りのロールとZ軸周りのピッチが計測データに生じる．これら傾きは傾きセンサで検出する．

図2に牛の体型データの例を示す．Hは牛の地上から最も高い位置，胴体の水平領域(A-A')は2/3Hの高さに設定されている．

Y軸周りのヨーは計測システムに対し牛が傾いた際に生じる．この傾きを検出するために，図2に示す位置A-A'で水平方向断面を抽出する．抽出した水平方向断面を図3に示す．図3に示すように胴体はY軸回りに θ_y 傾いており，この傾きの角度を求めるために断面に最小近似法を用いて楕円近似を行う．これにより牛の胴体断面の傾きを楕円の傾きとして検出することができる．この楕円近似をA-A'断面の上下100mmごとの断面に対しても適用し，各楕円の傾きの平均値をY軸周りの回転角として検出する．

検出した各軸周りの傾きを元に牛のデジタルモデルを回転させ，ワールド座標系に対する傾きを補正した．

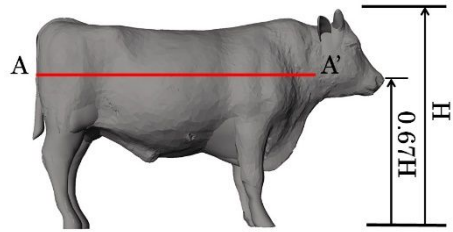


図2 牛の体型データの例.

Cross section A-A'

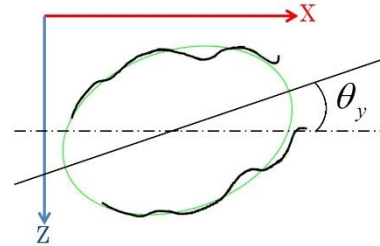


図3 水平方向断面

(2) ハンディ型計測システムの概要

図4にハンディ型計測システムの概略図と座標系を示す．本計測システムは，フレーム型計測システムで計測することの難しい部位(足や関節)を計測するために開発した．本システムは KINECT とレーザスキャナ，スリットレーザ，センサ取り付けジグ兼持ち手部で構成され，牛の計測対象部位を重点的に計測する．レーザスキャナは対象部位の二次元断面形状を，KINECT は対象部位を含む広範囲の三次元点群データを取得する．スリットレーザは計測位置の標準機として取り付けられた．

ハンディ型計測システムでは，計測対象部位を異なる視点から複数回計測し，レーザスキャナで計測対象部位の二次元断面形状を，KINECT で対象部位を含む広範囲の三次元点群データをそれぞれ同時に取得する．各視点において KINECT で取得された点群データに対し ICP アルゴリズムを適用し位置合わせを行う．位置合わせに必要な点群の平行移動量と回転角度から，各計測点におけるシステムの移動量と姿勢を推定する．これらの情報を元に各視点においてレーザスキャナで取得した対象部位の二次元断面形状を合成する．

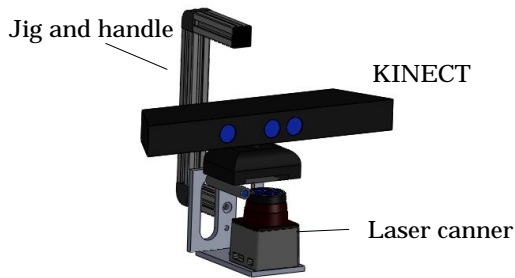


図4 ハンディ型システム

4. 研究成果

(1) フレーム型システムの性能評価

フレーム型計測システムで寸法が既知の対象物を計測し、キャリブレーションの精度評価を行った。計測装置と対象物との距離を1000mm, から2200mmまで300mmずつ離し、各距離でキャリブレーションを行って対象物の形状をコンピュータ上で構成した。構成したデータから抽出した対象物の寸法と、実際の寸法から各距離におけるRMS誤差を算出した。その結果図5に示すように、計測装置と計測対象物が離れるほど誤差が大きくなる傾向があることが分かった。

(2) ハンディ型システムの性能評価

ハンディ型計測システムにおける姿勢(回転角度)推定の精度評価を行った。計測装置をY軸回りに0度, 5度, 10度回転させ、各角度において計測装置と計測対象の距離をZ軸方向に1000mmから2500mmまで500mmずつ変化させて回転角推定を行い、RMS誤差を求めた。その結果、図6に示すように回転角度が増加する場合と、計測装置と計測対象が離れる場合に誤差が大きくなる傾向があることが分かった。

ハンディ型計測システムにおける移動量(平行移動量)推定の精度評価を行った。計測装置をX軸方向に0mm, 100mm, 200mm, 計測装置と計測対象の距離をZ軸方向に1000mmから2500mmまで500mmずつ移動させて平行移動量推定を行い、RMS誤差を求めた。その結果、図7に示すように計測装置と計測対象が離れると誤差が大きくなる傾向があることが分かった。

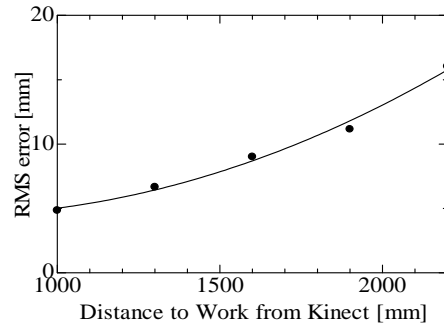


図5 精度評価(寸法)

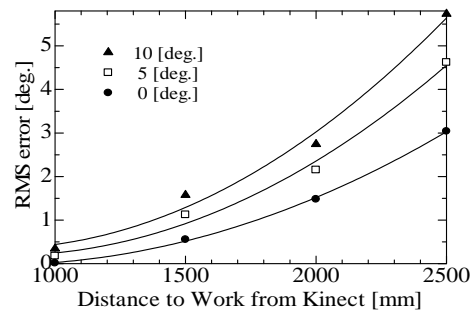


図6 精度評価(回転)

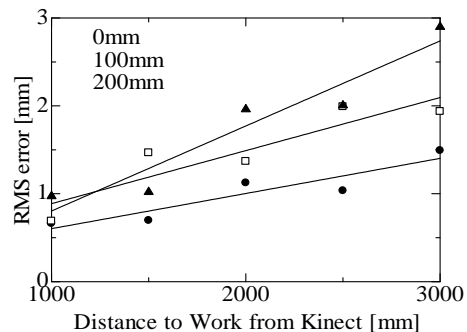


図7 精度評価(移動量)

(3) フレーム型計測システムの計測結果
フレーム型計測システムで月齢13.9ヶ月、体重326kgの牛を計測し、デジタルモデルを構築した。牛のデジタルモデルを図8に示す。図8より各KINECTの座標系がワールド座標系に変換され、点群が合成されていることが確認できる。

(4) ハンディ型計測システムの計測結果
ハンディ型計測システムを用いて異なる5視点から牛の足部を計測した。取得した各点群データにICPアルゴリズムを適用して位置合わせを行った結果を図9に示す。図9の青色点群は位置合わせ後の点群データを、赤色点はICPアルゴリズムの結果算出されたシステムの移動経路(移動量)を示す図9からICPアルゴリズムによる点群の位置合わせとシステムの移動量の算出が実現されていることが確認できる。

ICPアルゴリズムによって算出された各視点におけるシステムの移動量と姿勢をもとに、レーザスキャナの検出結果を合成したも

のを図10に示す。図10から合成後のデータにばらつきが生じていることが確認できる。本計測システムで使用したレーザスキャナで黒色の対象物を計測すると、計測結果に誤差やノイズが生じることが検証実験から確認された。この実験により黒毛の牛を対象に計測をしたことが、図10に示すデータのばらつきの原因のひとつであることを特定した。

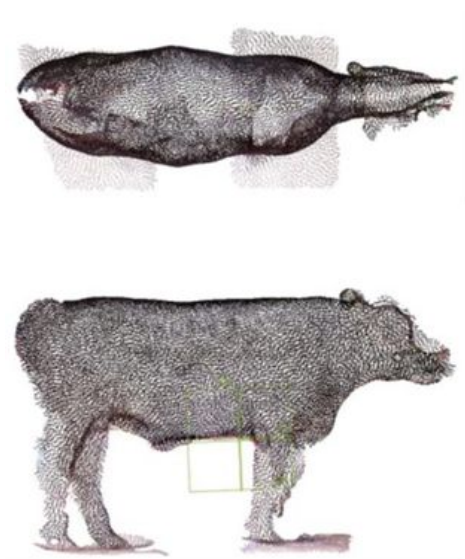


図8 取得された三次元点群データ(フレーム型)

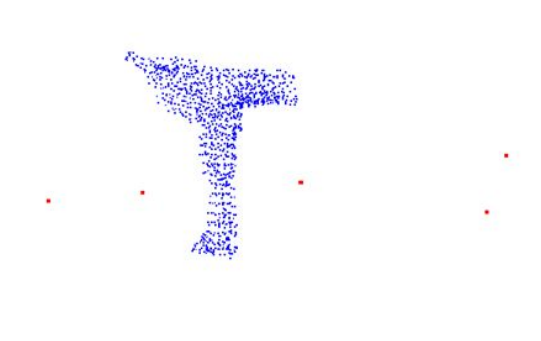


図9 取得された点群データ(ハンディ型)



図10 合成結果

本研究では、KINECTを用いて複数の視点から牛の体型を計測する2種類のシステムを開発した。フレーム型計測システムでは、牛の体を3台のKINECTで異なるから同時に計測した。各KINECTが持つ座標系を、傾きを考

慮した共通のワールド座標系に変換することで計測データを統合し、コンピュータ上に牛のデジタルモデルを構築した。キャリブレーションの精度評価の結果、計測装置と牛までの距離が離れるほどRMS誤差が大きくなる傾向が確認されたが、実際の計測距離2mでの誤差は10mm程度であるので牛の体型計測には十分な精度であった。

ハンディ型計測システムでは、KINECTとレーザスキャナを併用し複数の視点から牛の計測部位を計測した。KINECTで取得された点群データからシステムの移動量と姿勢の変化を算出し、これを元にレーザスキャナのデータを合成した。断面形状の合成結果にばらつきが生じた原因のひとつはレーザスキャナの計測結果にノイズが含まれていたためである。移動量と姿勢検出の精度評価実験の結果、対象物までの距離が離れるほど誤差が大きくなる傾向が確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

K. Kawasue, T. Ikeda, T. Tokunaga, and H. Harada, Three-Dimensional Shape Measurement System for Black Cattle Using KINECT Sensor, International Journal of Circuit and Signal Processing, Issue4, Volume 7.2013, pp. 222-230 (査読あり)

〔学会発表〕(計 1 件)

Kikuhito Kawasue, Takafumi Ikeda, Tadaaki Tokunaga, Hiroshi Harada, Three-Dimensional Measurement System for Japanese Black Cattle Using Computer Vision, Proceedings of the 1st WSEAS International Conference on Agricultural science, biotechnology, food and animal science, 2012.9. 22, pp.229-234

6. 研究組織

(1)研究代表者

川末 紀功仁(KAWSEUE, Kikuhito)
宮崎大学・工学部・教授
研究者番号：20214645

(2)研究分担者

原田 宏(HARADA, Hiroshi)
宮崎大学・理事
研究者番号：90041061

(3)連携研究者

徳永 忠昭(TOKUNAGA, Tadaaki)
宮崎大学・農学部・助教
研究者番号：00619512