

团体标准

T/CAAMM XXXX—202X

奶牛跛行自动检测 机器视觉法

Automatic detection of lameness in dairy cows—Machine
vision method

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国农业机械工业协会 发布

目 次

前 言	II
1 范 围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 跛行数据采集	2
5 跛行联动特征提取	3
6 跛行运动特征提取	5

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的提出和发布单位不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业机械工业协会提出。

本文件由中国农业机械工业协会归口。

本文件起草单位：河南科技大学、东北农业大学、山东农业大学、西北农林科技大学、宁夏金宇智慧科技有限公司。

本文件主要起草人：赵凯旋，张瑞红，王俊，沈维政，宋怀波、戴百生，田富洋、于镇伟、马军。

本文件为首次发布。

奶牛跛行自动检测 机器视觉法

1 范围

本文件规定了基于机器视觉的奶牛跛行参数提取方法，包括相关的术语与定义、跛行数据采集方法、跛行联动特征和跛行运动特征的提取方法。

本标准适用于奶牛跛行参数检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期的对应版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 16568-2006 奶牛场卫生规范

GB/T 20014.8-2013 良好农业规范 第8部分：奶牛控制点与符合性规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

奶牛跛行 cow lameness

奶牛跛行是指由趾皮炎、蹄底溃疡、白线病等蹄部损伤引起的奶牛病肢运动能力下降的现象。

3.2

机器视觉 machine vision

机器视觉技术是通过机器视觉产品将被摄取目标转换成图像信号，传送给专用的图像处理系统，得到被摄目标的形态信息，根据像素分布和亮度、颜色等信息，转变成数字化信号；图像系统对这些信号进行各种运算来抽取目标的特征，进而获取想要的目标信息。

3.3

支撑相 support phase

支撑相被定义为奶牛蹄部与地面有接触这一阶段的全过程。

3.4

摆动相 swing phase

摆动相用于描述奶牛蹄部与地面无接触，肢蹄向前移动这一时期。

3.5

运动周期 motion cycle

运动周期定义为奶牛某只肢蹄开始离地到该肢蹄再次离地的全过程。

3.6

头部-四蹄联动特征 head-hoof linkage feature

头部-四蹄联动特征用于描述后蹄落地瞬间奶牛头部的摆动幅度是否正常。

3.7

背部-四蹄联动特征 back-hoof linkage feature

背部-四蹄联动特征是指后蹄落地瞬间的奶牛背弓曲率。

3.8

步长不一致性 asymmetry of stride length

步长不一致性定义为奶牛前蹄步幅差的绝对值与后蹄步幅差的绝对值之中的最大值。

3.9

跟踪性能 tracking up

跟踪性能定义为牛蹄左侧牛蹄落地点间隔与右侧牛蹄落地点间隔中的最大值。

3.10

着地速度 landing speed

着地速度定义为奶牛从牛蹄准备落地到停止运动期间的平均速度。

3.11

运动速度 moving speed

运动速度定义为一个运动周期内奶牛头部前进的平均速度。

4 跛行数据采集

4.1 奶牛跛行视频采集

在奶牛直线行走时采集视频，相机高度为 1.5m，调整相机与奶牛间的距离，确保视频包含 2 个奶牛运动周期，相机中轴线与奶牛行走方向垂直。拍摄效果如图 1 所示。在数据采集过程中按照 GB/T 16568-2006 和 GB/T 20014.8-2013 规范保障奶牛场卫生和奶牛福利。



图 1 奶牛侧视行走视频示例

4.2 奶牛身体关键点定位

对帧图像中奶牛四蹄及口部位置进行标记，效果结果如图 2 所示，图中 RH, RF, LH, LF, head 分别代表右后蹄，右前蹄，左后蹄，左前蹄以及奶牛头部。得到并绘制如图 3 所示的奶牛运动曲线。

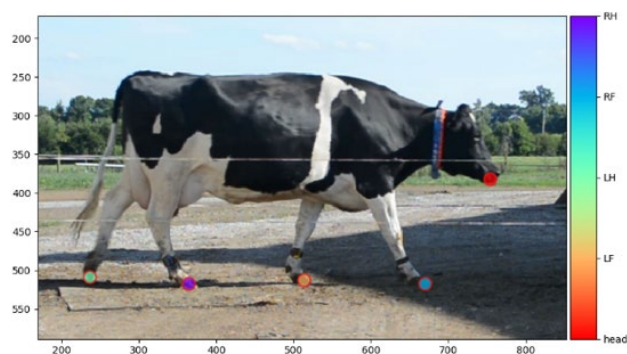


图2 奶牛身体关键点定位

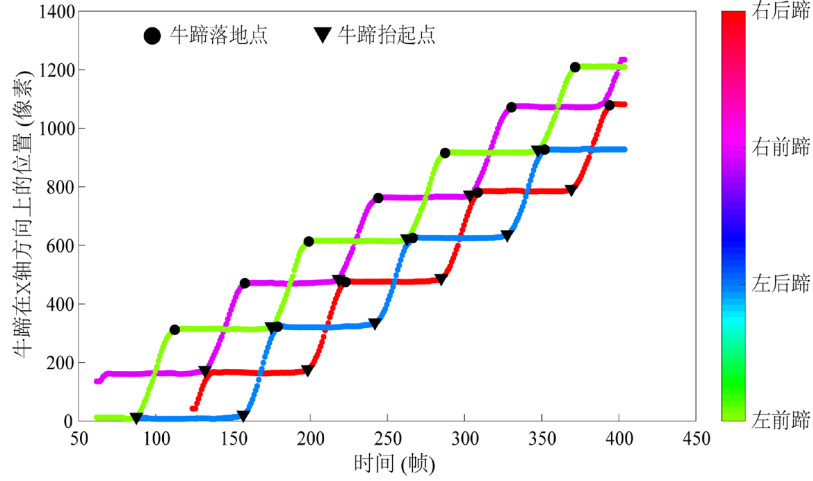


图3 X轴方向上的牛蹄运动曲线

5 跛行联动特征提取

5.1 头部-四蹄联动特征提取

当奶牛满足以下1、2、3或1、2、4两种组合条件时，奶牛具备跛行的头部-四蹄联动特征：

1. 每次蹄部触地均伴随有牛头下垂动作；
2. 蹄部着地可能略早于头部下垂摆动；
3. 任意连续的两个头部下垂区间内，左右两后蹄对应的头部摆动幅度差异较大；
4. 任意连续的两个头部下垂区间内，左右两后蹄对应的头部摆动幅度均较大。

根据牛头位置绘制奶牛头部摆动曲线，如图4所示。在奶牛头部摆动曲线中找到曲线中的局部极大点 $Q_{ih}(Q_{ih}t, Q_{ih}y)$ 和后续最近的极小点 $Q_{il}(Q_{il}t, Q_{il}y)$ 。当满足公式(1)时，说明找到与四蹄联动的头部下垂区间 $[Q_{ih}t, Q_{il}t]$ ：

$$(C_i > Q_{ih}t - Tt) \cap (C_i < Q_{il}t) \quad (1)$$

其中， $Q_{ih}t$ 为头部摆动曲线中第*i*个极大点出现的时刻， $Q_{il}t$ 为头部摆动曲线中第*i*个极小点出现的时刻， C_i 为牛蹄着地时刻， Tt 为牛蹄触地提前时间(此处为5帧)，即有可能牛蹄触地早于头部向下摆动。

对连续的下垂区间进行分析，若均满足公式(2)或公式(3)，则说明该奶牛具备头部-四蹄联动特征， F_i 为1，否则 F_i 为0。

$$(w_1 - w_2) \times (w_3 - w_4) > 0 \wedge |w_1 - w_2| > dt \wedge |w_3 - w_4| > dt \quad (2)$$

$$\min(w_1, w_2, w_3, w_4) > wt \quad (3)$$

其中： $w_i = Q_{ih}y - Q_{il}y$ ，定义为第*i*个头部下垂区间的头部摆动幅度， $Q_{ih}y$ 为头部摆动曲线中第*i*个极大点对应的y值， $Q_{il}y$ 为头部摆动曲线中第*i*个极小点对应的y值， dt 为差值阈值(此处为1个像素值)， wt 为头部摆动幅度阈值(此处为10个像素值)。

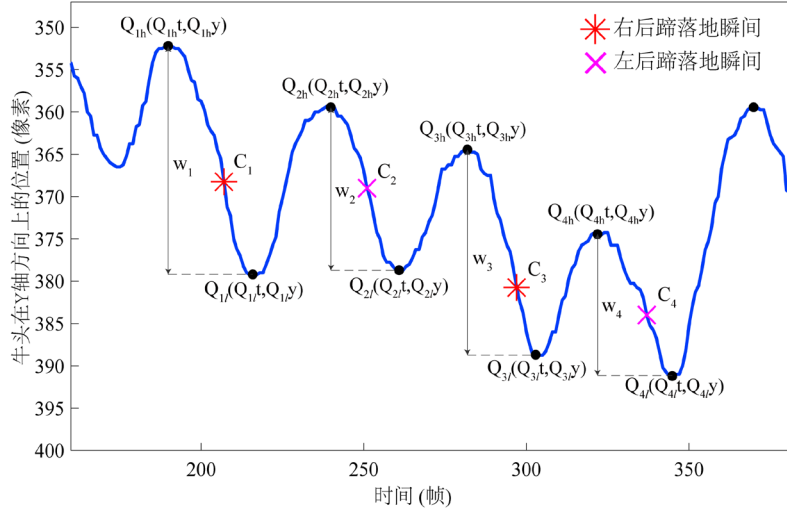


图4 头部摆动曲线

5.2 背部-四蹄联动特征提取

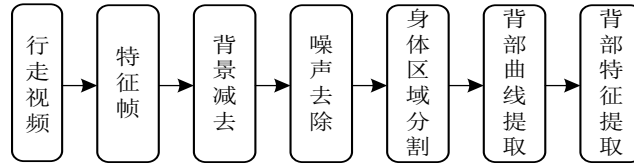


图5 背部-四蹄联动特征提取流程图

获取包含奶牛形状的二值图像后，定位整个牛体(不包含腿部)，构造奶牛身体的外接矩形，并提取背部-四蹄联动特征。图6为所构造的奶牛身体的外接矩形。计算从奶牛尾巴到颈部之间背部曲线上最高像素点与背部曲线上所有像素点之间的平均距离作为背部-四蹄联动特征 $F_2(\text{pixel})$ 用于跛行评估。

$$F_2 = \frac{\sum_{l1}^{l2} h(x)}{l2 - l1} = \frac{\sum_{l1}^{l2} (B(x) - Ay)}{l2 - l1} \quad (4)$$

其中： $h(x)$ 表示背部曲线上最高像素点所在行数与背部曲线上第 x 列像素点所在行数之间的差值， $B(x)$ 表示背部曲线上第 x 列像素点对应的行数， Ay 表示背部曲线上最高像素点对应的行数， $l1$ 表示尾巴所在的列数， $l2$ 表示颈部所在的列数。

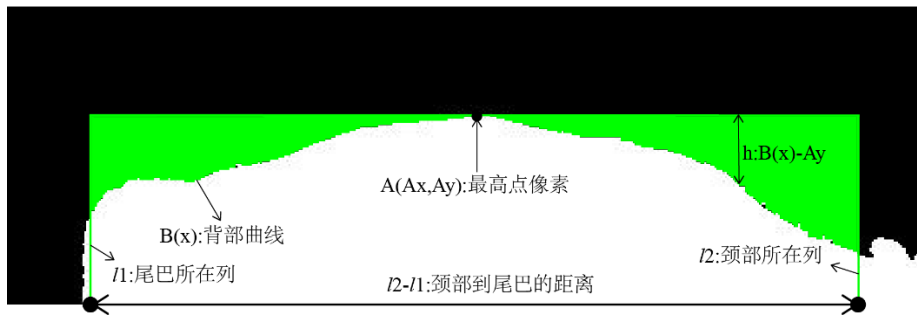


图6 奶牛背部-四蹄联动特征的提取方法

6 跛行运动特征提取

6.1 步长不一致性与跟踪性能

图 7 为奶牛一个运动周期内四只牛蹄的运动曲线，将奶牛四蹄全部抬起并落地一次定义为一个运动周期，对每头奶牛的右后，右前，左后，左前四只牛蹄分别编号为 1, 2, 3, 4。步幅 $d_i(\text{pixel})$ 定义为 i 号牛蹄相邻两个落地点之间的距离，计算公式为：

$$d_i = \begin{cases} E_i - B_i & i = 1, 4 \\ E'_i - B'_i & i = 2, 3 \end{cases} \quad (5)$$

其中： B_i 、 E_i 分别为一个运动周期内 i 号牛蹄第一个抬起点和落地点位置， B'_i 、 E'_i 分别为 i 号牛蹄第二个抬起点和落地点位置。

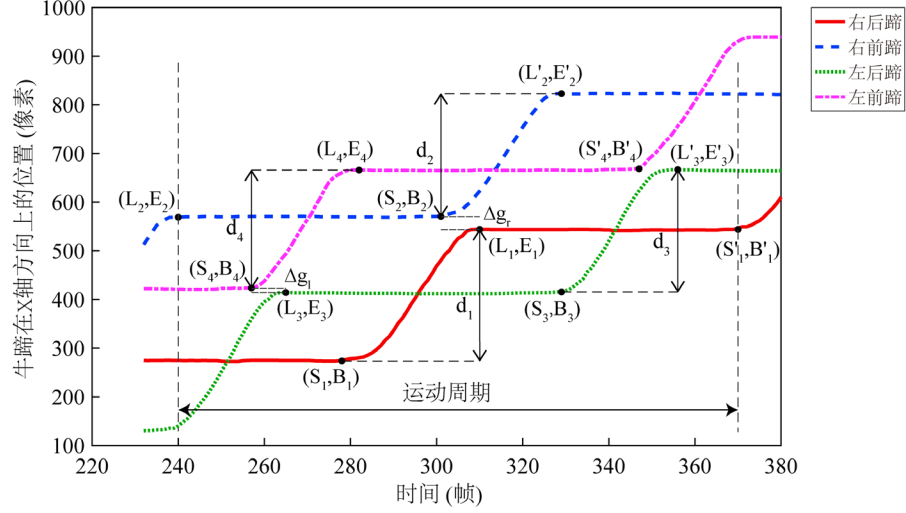


图 7 奶牛一个运动周期内四只牛蹄的运动曲线

步长不一致性 $F_3(\text{pixel})$ 定义为奶牛前蹄步幅差的绝对值与后蹄步幅差的绝对值之中的最大值。跟踪性能 $F_4(\text{pixel})$ 定义为牛蹄左侧牛蹄落地点间隔与右侧牛蹄落地点间隔中的最大值，其中，牛蹄落地点间隔定义为一个运动周期内相邻前蹄落地点和后蹄落地点在 x 轴方向上相差的距离，图 8 为奶牛右侧牛蹄落地点间隔的示意图。 F_3 和 F_4 可以通过公式 (6) 和公式 (7) 计算：

$$F_3 = \max(|d_1 - d_3|, |d_2 - d_4|) \quad (6)$$

$$F_4 = \max(\Delta g_l, \Delta g_r) = \max(|B_4 - E_3|, |B_2 - E_1|) \quad (7)$$

其中：其中 $\Delta g_l(\text{pixel})$ 为左侧牛蹄落地点间隔， $\Delta g_r(\text{pixel})$ 为右侧牛蹄落地点间隔。

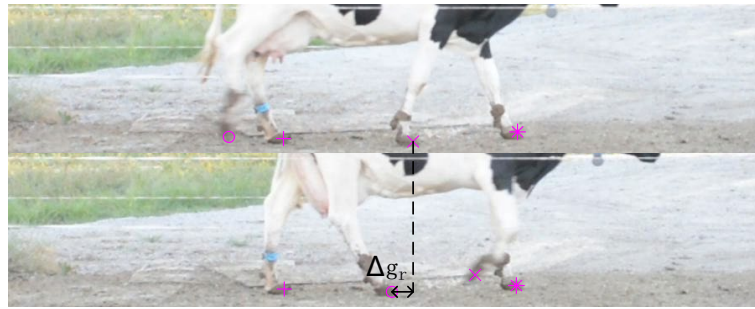


图 8 右侧牛蹄落地点间隔示意图

6.2 着地速度

对每头奶牛的右后，右前，左后，左前四只牛蹄分别编号为 1, 2, 3, 4。奶牛的牛蹄着地速度 $F_5(\text{pixel/frame})$ 的计算公式为：

$$F_5 = \min(s_1, s_2, s_3, s_4) = \min\left(\frac{E_1 - E_{1-15}}{15}, \frac{E_2 - E_{2-15}}{15}, \frac{E_3 - E_{3-15}}{15}, \frac{E_4 - E_{4-15}}{15}\right) \quad (8)$$

其中： s_i 为第 i 号牛蹄的着地速度， E_{i-15} 表示第 i 号牛蹄第一个落地点前 15 帧时牛蹄所在位置。

6.3 支撑相占比不一致性

图9为奶牛四蹄运动曲线中支撑相和摆动相的划分，支撑相与摆动相之和定义为每只牛蹄的步态周期。

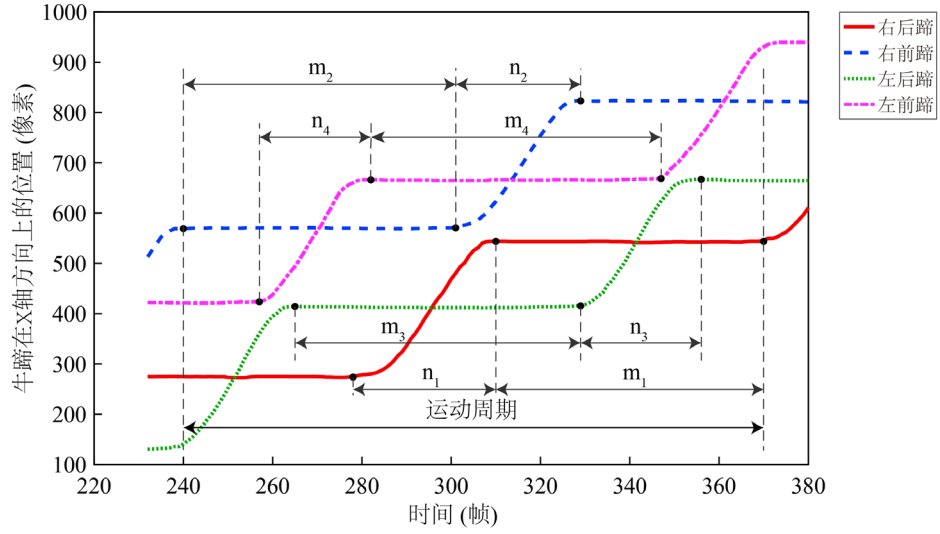


图 9 牛蹄支撑相和摆动相的划分

支撑相占比定义为牛蹄支撑相与步态周期的比值，跛行特征支撑相占比不一致性(F_6)定义为两个前蹄支撑相占比差的绝对值和两个后蹄支撑相占比差的绝对值之间的最大值，计算公式为：

$$m_i = \begin{cases} S'_i - L'_i & i = 1, 4 \\ S_i - L_i & i = 2, 3 \end{cases} \quad (9)$$

$$n_i = \begin{cases} L_i - S_i & i = 1, 4 \\ L'_i - S'_i & i = 2, 3 \end{cases} \quad (10)$$

$$T_i = m_i + n_i \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (11)$$

$$T'_i = \frac{m_i}{T_i} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (12)$$

$$F_6 = \max(|T'_1 - T'_3|, |T'_2 - T'_4|) \quad (13)$$

其中： S_i 、 L_i 分别为一个运动周期内*i*号牛蹄第一个抬起点和落地点的帧号， S'_i 、 L'_i 分别为*i*号牛蹄第二个抬起点和落地点的帧号， m_i 为一个运动周期内*i*号牛蹄的支撑相， n_i 为*i*号牛蹄的摆动相。 T_i 为*i*号牛蹄的步态周期。 T'_i 为*i*号牛蹄的支撑相占比。

6.4 运动速度

根据奶牛头部坐标绘制了一个运动周期内奶牛头部在 X 轴方向上的运动曲线（如图 10 所示），奶牛的运动速度 F_7 (pixel/frame) 定义为一个运动周期内奶牛头部前进的平均速度，计算公式为：

$$F_7 = \frac{u_E - u_B}{u_L - u_S} \quad (14)$$

其中： u_B 为奶牛头部的起始位置， u_E 为奶牛头部的终止位置， u_S 为奶牛头部起始位置所对应的时间， u_L 为奶牛头部终止位置所对应的时间。

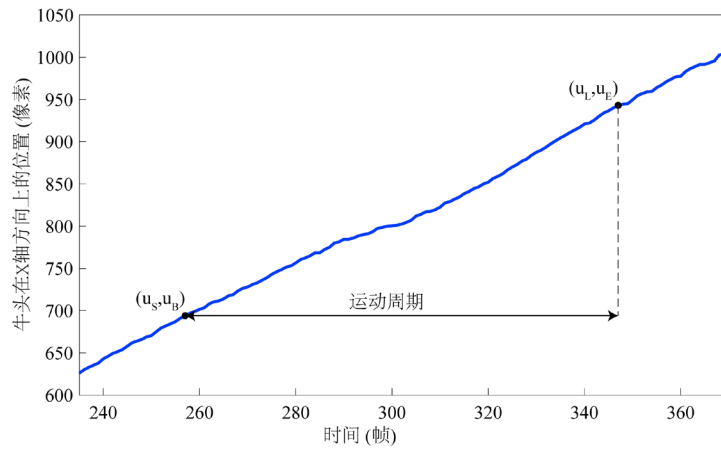


图 10 一个运动周期内奶牛头部在 X 轴方向上的运动曲线

表 1 跛行联动特征的定义及公式

跛行特征	定义	公式
头部-四蹄联动特征(F1)	后蹄落地瞬间奶牛头部的摆动幅度是否正常	$(w_1 - w_2) \times (w_3 - w_4) > 0 \wedge w_1 - w_2 > dt \wedge w_3 - w_4 > dt$ <p>或 $\min(w_1, w_2, w_3, w_4) > wt$</p>
背部-四蹄联动特征(F2)	后蹄落地瞬间的奶牛背弓曲率	$\frac{\sum_{l1}^{l2} h(x)}{l2 - l1}$

表 2 跛行运动特征的定义及公式

跛行特征	定义	公式
步长不一致性(F3)	前、后蹄步幅差的绝对值之间的最大值	$\max(d_1 - d_3 , d_2 - d_4)$
跟踪性能(F4)	左、右侧牛蹄落地点间隔之间的最大值	$\max(\Delta g_l, \Delta g_r)$
着地速度(F5)	四蹄中着地速度的最小值	$\min(s_1, s_2, s_3, s_4)$
支撑相占比不一致性(F6)	前后蹄支撑相占比差的绝对值间的最大值	$\max(T'_1 - T'_3 , T'_2 - T'_4)$
运动速度(F7)	奶牛头部前进的平均速度	$(u_E - u_B) / (u_L - u_S)$