

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 5 月 22 日 (22.05.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/098299 A1

(51) 国际专利分类号:
G06K 9/00 (2006.01) **G06T 7/20** (2017.01)
G01F 1/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/096143

(22) 国际申请日: 2019 年 7 月 16 日 (16.07.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201811365784.2 2018 年 11 月 16 日 (16.11.2018) CN

(71) 申请人: 中南大学 (CENTRAL SOUTH UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国湖南省长沙市麓山南路 932 号, Hunan 410000 (CN)。

(72) 发明人: 蒋朝辉 (JIANG, Zhao-hui); 中国湖南省长沙市麓山南路 932 号, Hunan 410000 (CN)。 何磊 (HE, Lei); 中国湖南省长沙市麓山南路 932 号, Hunan 410000 (CN)。 陈致蓬 (CHEN, Zhi-peng); 中国湖南省长沙市麓山南路 932 号, Hunan 410000 (CN)。 桂卫华 (GUI, Wei-hua); 中国湖南省长沙市麓山南路 932 号, Hunan 410000 (CN)。 潘冬 (PAN, Dong); 中国湖南省长沙市麓山南路 932 号, Hunan 410000 (CN)。 阳春华 (YANG, Chun-hua); 中国湖南省长沙市麓山南路 932 号, Hunan 410000 (CN)。 谢永芳 (XIE, Yong-fang); 中国湖南省长沙市麓山南路 932 号, Hunan 410000 (CN)。 张海峰 (ZHANG, Hai-feng); 中国湖南省长沙市麓山南路 932 号, Hunan 410000 (CN)。

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR DETECTING FLOW RATE OF HIGH-TEMPERATURE MOLTEN FLUID

(54) 发明名称: 一种高温熔融流体流速检测方法及系统

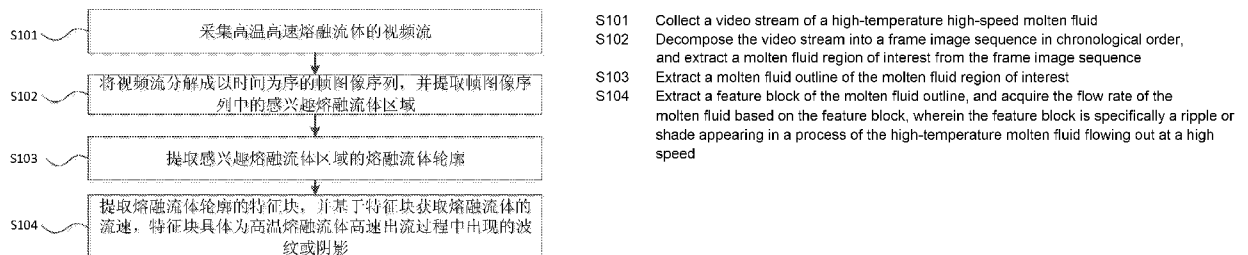


图 1

(57) Abstract: Disclosed are a method and system for detecting the flow rate of a high-temperature molten fluid. The method comprises: collecting a video stream of a high-temperature high-speed molten fluid (S101); decomposing the video stream into a frame image sequence in chronological order, and extracting a molten fluid region of interest from the frame image sequence (S102); extracting a molten fluid outline of the molten fluid region of interest (S103); and extracting a feature block of the molten fluid outline, and acquiring the flow rate of the molten fluid based on the feature block (S104). The technical problem of the detection accuracy of the flow rate of a molten fluid with a high temperature, a high speed and a high brightness being low is solved. A high frame-rate video stream of the outflow of a high-temperature molten fluid is acquired in a non-intrusive manner, and a small target significant feature block on the molten fluid is accurately tracked and positioned in real time, thus realizing detection of the flow rate of a molten fluid with a high temperature, a high speed and a high brightness. The method and system have the advantages of high accuracy, strong stability, long periodicity, being applicable to a high-temperature high-speed fluid, low investment cost, etc.

(57) 摘要: 一种高温熔融流体流速检测方法及系统, 通过采集高温高速熔融流体的视频流(S101), 将视频流分解成以时间为序的帧图像序列, 并提取帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域(S102), 提取感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓(S103), 提取熔融流体轮廓的特征块, 并基于特征块获取熔融流体的流速(S104), 解决了对具有高温、高速、高光的熔融流体的流速检测精度不高的技术问题, 通过利用非侵入式获取高温熔融流体流出的高帧率视频流, 通过实时精确跟踪定位熔融流体上的小目标显著性特征块, 从而实现对具有高温、高速、高光的熔融流体的流速检测。该方法及系统具有高精确性, 强稳定性, 长周期性, 适用于高温高速流体, 具有投资成本少等优点。

(74) 代理人：长沙朕扬知识产权代理事务所（普通合伙）(CHANGSHA ZONEYOUNG INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国湖南省长沙市天心区芙蓉中路三段 266 号弘林大厦 1006 室马家骏, Hunan 410000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种高温熔融流体流速检测方法及系统

技术领域

本发明主要涉及高温熔融流体流速检测技术领域，特指一种高温熔融流体流速检测方法及系统。

背景技术

冶金行业中，黑色金属和有色金属多是在高温条件下通过火法冶金的方法从矿石或精矿中提取，产出熔融态的粗金属或金属富集物和炉渣从高温密闭的反应炉内高速流出，如在钢铁工业流程中铁水从高炉出铁口流出，在火法炼铜工业流程中冰铜从反射炉流出，在火法炼锌流程中粗锌从熔炼炉流出等。反应炉内压力的变化趋势是表征反应炉是否平稳顺行的重要指标，但由于反应炉内环境恶劣导致难以直接检测反应炉内压力的变化情况，检测反应炉出口处熔融流体的流速能表征反应炉炉内的压力，同时也能反映产出的金属和渣之间的比例关系，助于及时发现并排除异常工况，改善反应炉透气性，保证反应炉平稳顺行生产。因此，检测反应炉出口处熔融流体的流速对于反应炉安全生产、提质提量的意义尤为重要。

本发明检测对象为反应炉出口处出流的高温高光熔融流体，同时检测现场存在不可避免的震动及大量分布不均的粉尘，极大地增加了检测的难度。现有技术中，其主流检测的方法分为接触式测量法和非接触式测量法两种，检测高温熔融流体的接触式检测方法需要采用耐高温的材质与高温熔融流体直接接触，高速流动的高温流体会逐渐磨损侵蚀耐高温材质，导致装置重复性差、使用周期短，不仅如此，在大量粉尘及高温的恶劣环境下同样会影响装置的使用寿命和使用性能，投资成本高，检测准确度低，使得接触式检测方法受到了较大的限制；非接触式的检测方法主要是通过建立机理模型的方式来达到非侵入式地检测流速目的，但同样会因检测对象的超高温性及环境的恶劣性严重影响检测的准确性。

专利公开号 CN103480813A 发明专利是一种连铸结晶器高温钢液流速测量装置及测量方法，其工作原理是轴承通过固定轴固定在固定装置上，轴承上、下对称位置分别安装弹簧和测量杆，弹簧安装“T”型固定装置上，轴承安装轴承套，通过联轴器连接轴承套和角度位移传感器，角度位移传感器由电源供电，记录测量杆在流动钢液中的实时偏转角度，并通过数据线传输到数据采集分析系统，将角度数据转化为钢液流速值。但该专利根据装置检测对象的不同进行重新配准，使用前需将装置预热至 1200~1400℃，使用复杂，检测量程较小，对于流速过大的流体检测误差较大，且检测结束后装置不能直接检测下一个对象，在使用的可重复性上受到限制。

专利公开号 CN104131126A 发明专利是一种基于模糊模型的高炉熔渣流量检测方法，该专

利建立高炉熔渣流量的模糊推理模型，结合第 i 时刻的渣面高度的大小对高炉熔渣流量的影响特性，设定关于第 i 时刻的渣面高度的模糊隶属函数，利用模糊推理模型与模糊隶属函数，建立高炉熔渣流量计算模型，使用高炉熔渣流量计算模型进行高炉实时熔渣总流量的在线检测。但该专利中的初始值是通过工艺人员由人工操作经验知识中获得的，人为因素影响较大，主观性强，且设计流程是一个开环，无法保证长期运行结果的准确性。

发明内容

本发明提供的高温熔融流体流速检测方法及系统，解决了现有对具有高温、高速、高光的熔融流体的流速检测精度不高的技术问题。

为解决上述技术问题，本发明提出的高温熔融流体流速检测方法包括：

采集高温高速熔融流体的视频流；

将视频流分解成以时间为序的帧图像序列，并提取帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域；

提取感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓；

提取熔融流体轮廓的特征块，并基于特征块获取熔融流体的流速，特征块具体为高温熔融流体高速出流过程中出现的波纹或阴影。

进一步地，提取感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓包括：

对感兴趣熔融流体区域进行预处理，获得预处理图像；

采用一阶偏导有限差分计算预处理图像的梯度幅值和方向，并对梯度幅值进行非极大值抑制；

采用双阈值算法检测和连接感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓，并利用骨架提取算法细化熔融流体轮廓。

进一步地，提取熔融流体轮廓的特征块包括：

剔除熔融流体轮廓中类水平分布的像素点，保留与水平成预设倾角的特征块像素点，从熔融流体轮廓中分离出特征块轮廓；

计算特征块轮廓中两条相邻曲线之间的最小距离、上端点高度差以及夹角差，并基于最小距离、上端点高度差以及夹角差对熔融流体轮廓的特征块进行粗定位；

基于熔融流体轮廓对特征块的轮廓进行补全，并基于补全轮廓后的特征块的质心，对熔融流体轮廓的特征块进行精确定位。

进一步地，基于特征块获取熔融流体的流速包括：

获取特征块的特征，特征包括大小特征、角度特征和位置特征；

在相邻两帧之间利用特征块的特征进行相似性匹配，得到特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离；

根据现场的安装参数对采集高温高速熔融流体的视频流的高速相机进行标定，建立图像坐标系与世界坐标系之间的关系；

求解特征块在世界坐标系中的移动距离，且计算移动距离的计算公式为：

$$S_w = \frac{R}{R_c} S_c, \text{ 其中 } S_w \text{ 为特征块在世界坐标系中的移动距离, } R \text{ 为反应炉出口圆孔的直径,}$$

R_c 为反应炉出口在图像上的直径像素, S_c 为熔融流体上的特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离；

基于移动距离以及速度公式获得高温高速熔融流体的流速。

进一步地，获取特征块的特征包括：

计算特征块边界点的 $i+j$ 阶矩，计算公式具体为：

$$\mu_{ij} = \sum_{m=0}^M (x_m - x_t)^i (y_m - y_t)^j$$

其中 μ_{ij} 为特征块边界点的 $i+j$ 阶矩， M 为特征块边界像素点的个数， $m=0,2,\dots,M$ ，

(x_m, y_m) 为特征块边界上第 m 个像素点， (x_t, y_t) 为质心坐标；

根据 $i+j$ 阶矩计算特征块的等效椭圆的长半轴 r_1 和短半轴 r_2 ，计算公式具体为：

$$\begin{cases} r_1 = \sqrt{2(\mu_{2,0} + \mu_{0,2} + \sqrt{(\mu_{2,0} - \mu_{0,2})^2 + 4\mu_{1,1}^2})} \\ r_2 = \sqrt{2(\mu_{2,0} + \mu_{0,2} - \sqrt{(\mu_{2,0} - \mu_{0,2})^2 + 4\mu_{1,1}^2})} \end{cases}$$

其中， r_1 和 r_2 分别为特征块的等效椭圆的长半轴和短半轴， $\mu_{2,0}$ 为 $i=2, j=0$ 时 μ_{ij} 的取值， $\mu_{0,2}$ 为 $i=0, j=2$ 时 μ_{ij} 的取值， $\mu_{1,1}$ 为 $i=1, j=1$ 时 μ_{ij} 的取值；

基于 $i+j$ 阶矩计算特征块的等效椭圆与水平方向的夹角，计算公式具体为：

$$\beta = -\frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\mu_{1,1}}{\mu_{0,2} - \mu_{2,0}}\right),$$

其中 β 为特征块的等效椭圆与水平方向的夹角；

利用质心公式计算特征块的质心，具体为：

$$\begin{cases} x_t = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \\ y_t = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y_n \end{cases}$$

其中 (x_i, y_i) 为特征块的质心， N 为连通域像素点的个数， (x_n, y_n) 为连通域中第 n 个像素点的坐标；

根据长半轴 r_1 、短半轴 r_2 、夹角 β 和质心 (x_i, y_i) ，获得特征块的特征。

进一步地，在相邻两帧之间利用特征块的特征进行相似性匹配，得到特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离包括：

step1: 以前一帧图像 $T(x, y)$ 的特征块质心的横坐标 x_i 为起点，在下一帧图像 $T'(x, y)$ 沿横坐标向后搜索特征块质心 x'_i ；

step2: 在图像 $T'(x, y)$ 中，将满足 $x'_i - x_i < l$ 条件的质心标记， l 为根据观察设定的阈值；

step3: 判断标记的质心纵坐标是否满足 $|y'_i - y_i| \leq h'$ ，其中 h' 为设定的阈值， y'_i 和 y_i 分别为下一帧图像特征块质心纵坐标和前一帧图像特征块质心纵坐标，并在判定为否时去除特征块的标记，并跳转图像 $T(x, y)$ 的下一个质心坐标，继续步骤 step1；

step4: 计算图像 $T'(x, y)$ 被标记特征块的长半轴 r'_1 、短半轴 r'_2 和夹角 β' ，转化成量纲相同的三个参数 $(r'_1 \cos \beta', r'_1 \sin \beta', r'_2)$ ，特征块参数记为 (x'_1, x'_2, x'_3) ，同理，图像 $T(x, y)$ 的特征块参数记为 (x_1, x_2, x_3) ；

step5: 为了在线实时评判两个特征块的相似度，计算相似度系数，具体为：

$$\rho = \frac{\sum_{k=1}^3 x_k x'_k}{\sqrt{\sum_{k=1}^3 x_k^2} \sqrt{\sum_{k=1}^3 x'^2_k}}$$

其中 ρ 为相似度系数， ρ 的取值范围为 $[-1, 1]$ ， x_k 为图像 $T(x, y)$ 的第 k 个特征块参数， x'_k 为图像 $T'(x, y)$ 的第 k 个特征块参数，图像 $T'(x, y)$ 中匹配相似度 ρ 最大且满足 $\rho > \xi$ 的特征块则认定为匹配成功，从而得到特征块移动的水平像素距离 S_c ，跳转图像 $T(x, y)$ 的下一个质心坐标，继续步骤 step1，其中 S_c 的计算公式为：

$$S_c = x'_i - x_i。$$

本发明提出的高温熔融流体流速检测系统包括：

高速相机捕捉视频单元、与高速相机捕捉视频单元依次连接的视频采集单元、轮廓提取单元以及熔融流体流速检测单元，其中，

高速相机捕捉视频单元，用于采集高温高速熔融流体的视频流；

视频采集单元，用于将视频流分解成以时间为序的帧图像序列，并提取帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域；

轮廓提取单元，用于提取感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓；

熔融流体流速检测单元，用于提取熔融流体轮廓的特征块，并基于特征块获取熔融流体的流速，特征块具体为高温熔融流体高速出流过程中出现的波纹或阴影。

进一步地，高速相机捕捉视频单元包括用于采集高温高速熔融流体的视频流的高速相机以及设置于高速相机上的镜头防尘清扫模块以及高速相机风冷模块，其中，

镜头防尘清扫模块，用于在高速相机未工作时对高速相机的镜头进行清扫处理；

高速相机风冷模块，用于将高速相机机身完全覆盖，通过外接风机加快风冷装置与高速相机机身之间空气的流动速率达到散热冷却。

进一步地，视频采集单元包括视频采集模块和视频处理模块，其中视频采集模块包括：

A/D 模块，用于将高速相机捕捉视频单元的视频源模拟信号转换成数字信号；

存储器模块，用于存储视频信号；

视频压缩模块，用于对视频信号进行压缩，并将已压缩的视频信号送至视频处理模块；

视频处理模块包括：

视频流分解模块，用于将视频采集模块传递过来的压缩视频流分割成以时间为序的帧图像；

帧图像感兴趣区域提取模块，用于提取帧图像中感兴趣熔融流体区域，并将提取后的帧图像组传送至轮廓提取单元。

进一步地，熔融流体流速检测单元包括特征块精细定位模块、与特征块精细定位模块依次连接的特征块匹配模块以及流速检测模块；

特征块精细定位模块包括剔除类水平像素子模块、特征块识别及粗定位子模块、特征块精确定位子模块，其中，

剔除类水平像素子模块用于剔除熔融流体轮廓中类水平分布的像素点，保留与水平成较大倾角的特征块像素点，从熔融流体轮廓线条中分离出特征块轮廓；

特征块识别及粗定位子模块用于计算特征块轮廓中两条相邻曲线之间的最小距离、上端点高度差以及夹角差，并基于最小距离、上端点高度差以及夹角差对熔融流体轮廓的特征块进行粗定位；

特征块精确定位子模块用于基于熔融流体轮廓对特征块的轮廓进行补全，并基于补全轮廓后的特征块的质心，对熔融流体轮廓的特征块进行精确定位；

特征块匹配模块，用于在相邻两帧之间利用特征块的特征进行相似性匹配，得到特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离；

流速检测模块包括相机标定子模块和流速输出子模块，相机标定子模块用于对高速相机进行标定并求解特征块在世界坐标系移动距离，流速输出子模块用于计算并输出熔融流体的流速。

与现有技术相比，本发明的优点在于：

本发明提供的高温熔融流体流速检测方法及系统，通过采集高温高速熔融流体的视频流，将视频流分解成以时间为序的帧图像序列，并提取帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域，提取感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓，提取熔融流体轮廓的特征块，并基于特征块获取熔融流体的流速，特征块具体为高温熔融流体高速出流过程中出现的波纹或阴影，解决了现有对具有高温、高速、高光的熔融流体的流速检测精度不高的技术问题，通过利用非侵入式获取高温熔融流体出流的高帧率视频流，通过实时精确跟踪定位熔融流体上的小目标显著性特征块，从而实现对具有高温、高速、高光的熔融流体的流速检测过程。该方法及系统具有高精确性，强稳定性，长周期性，适用于高温或过高温的高速流动的流体，投资成本少等优点。

附图说明

图 1 为本发明实施例一的高温熔融流体流速检测方法的流程图；

图 2 为本发明实施例二的高温熔融流体流速检测方法的流程图；

图 3 为本发明实施例二的提取感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓方法的流程图；

图 4 为本发明实施例二的类水平像素剔除模块的矩阵示意图；

图 5 为本发明实施例二的特征块和倒置特征块相邻曲线的状态图；

图 6 为本发明实施例二的特征块精细定位模块的程序框图；

图 7 为本发明的高温熔融流体流速检测系统的结构框图；

图 8 为本发明的熔融流体流速检测装置及现场示意图。

附图标记：

10、高速相机捕捉视频单元；20、视频采集单元；30、轮廓提取单元；40、熔融流体流速检测单元；101、高速相机；102、镜头防尘清扫模块；103、高速相机风冷模块；201、视频采集模块；202、视频处理模块；401、特征块精细定位模块；402、特征块匹配模块；403、流速检测模块。

具体实施方式

为了便于理解本发明，下文将结合说明书附图和较佳的实施例对本发明作更全面、细致地描述，但本发明的保护范围并不限于以下具体的实施例。

以下结合附图对本发明的实施例进行详细说明，但是本发明可以由权利要求限定和覆盖的多种不同方式实施。

实施例一

参照图 1，本发明实施例一提供的高温熔融流体流速检测方法，包括：

步骤 S101，采集高温高速熔融流体的视频流；

步骤 S102，将视频流分解成以时间为序的帧图像序列，并提取帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域；

步骤 S103，提取感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓；

步骤 S104，提取熔融流体轮廓的特征块，并基于特征块获取熔融流体的流速，特征块具体为高温熔融流体高速出流过程中出现的波纹或阴影。

本发明实施例提供的高温熔融流体流速检测方法，通过采集高温高速熔融流体的视频流，将视频流分解成以时间为序的帧图像序列，并提取帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域，提取感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓，提取熔融流体轮廓的特征块，并基于特征块获取熔融流体的流速，特征块具体为高温熔融流体高速出流过程中出现的波纹或阴影，解决了现有对具有高温、高速、高光的熔融流体的流速检测精度不高的技术问题，通过利用非侵入式获取高温熔融流体出流的高帧率视频流，通过实时精确跟踪定位熔融流体上的小目标显著性特征块，从而实现对具有高温、高速、高光的熔融流体的流速检测过程。

具体地，由于现有技术不管是采用接触式还是非接触式检测高温熔融流体流速视，都会因检测对象的超高温性及环境的恶劣性严重影响检测的准确性，而本发明实施例较新颖地提出通过提取熔融流体轮廓的特征块，也即高温熔融流体高速出流过程中出现的波纹或阴影，并通过实时精确跟踪定位熔融流体上的小目标显著性特征块，从而实现对具有高温、高速、高光的熔融流体的流速检测过程。该方法具有高精确性，强稳定性，长周期性，适用于高温或过高温的高速流动的流体，投资成本少等优点。

实施例二

参照图 2，本发明实施例二提供的高温熔融流体流速检测方法，包括：

步骤 S201，采集高温高速熔融流体的视频流。

具体地，本发明实施例是通过高速相机采集高温高速熔融流体的视频流。

步骤 S202，将视频流分解成以时间为序的帧图像序列，并提取帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域。

具体地，本实施例通过高速相机采集到高温高速熔融流体对象的视频流信息后；将所采集的一段时间视频流分解成以时间为序的帧图像序列并提取帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域；随后，对感兴趣区域进行图像增强操作并通过单像素轮廓提取模块提取出熔融流体特征块的轮廓，得到熔融流体的二值帧轮廓图像。

步骤 S203，提取感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓。

具体地，首先对帧图像组进行预处理，包含灰度化处理及图像增强处理。对于彩色图像，存在多种色彩空间，其中采用 RGB 数据处理最方便转换至灰度空间。对传输至 FPGA 的待处理

帧图像组信号首先经过 RGB 转灰度空间变换, 得到一路灰度信号供后续处理, 转换公式如下,

$$gray = 0.3 \times R + 0.59 \times G + 0.11 \times B \quad (1)$$

图像的边缘在图像的频域上对应于图像傅里叶变换的高频部分, 而图像的背景区域则对应于低频部分, 因此可利用频域高通滤波法使图像中的高频分量顺利通过, 以增强图像的细节信息。图像增强程序是通过指数高通滤波器实现的, 其传递函数为:

$$H(u, v) = \exp\{-[D_0/D(u, v)]^n\} \quad (2)$$

其中, $D(u, v)$ 是距 $gray(x, y)$ 傅里叶变换中心原点的距离, D_0 为截止频率。图像 $gray(x, y)$ 傅里叶变换后得到 $Gray(u, v)$, 与 $H(u, v)$ 乘积后进行傅里叶反变换, 得到高通滤波的图像, 即,

$$N(x, y) = \mathcal{F}^{-1}[H(u, v) * Gray(u, v)] \quad (3)$$

本发明实施例对帧图像组进行预处理后, 提取感兴趣熔融流体区域的单像素轮廓。在经典轮廓检测算子中, Canny 算子在检测轮廓方面, 具有定位精度高、检测准确、抗干扰能力强等优点, 但提取的轮廓为非单像素轮廓, 为此, 在 Canny 算子输出后加入形态学处理的骨架提取程序以细化轮廓。本发明实施例提取感兴趣熔融流体区域的单像素轮廓主要包括高斯滤波 U521、梯度及梯度方向计算 U522、非极大值抑制 U523、双阈值分割 U524 和骨架提取 U525 五个步骤, 如图 3 所示, 首先用高斯滤波器平滑图像以减少噪声的干扰, 然后用一阶偏导有限差分计算图像的梯度幅值和方向并对梯度幅值进行非极大值抑制, 使用双阈值算法检测和连接轮廓, 最后利用骨架提取算法细化轮廓。

步骤 S204, 提取熔融流体轮廓的特征块。

具体地, 本发明实施例提取熔融流体轮廓的特征块包括:

步骤 S2041, 剔除熔融流体轮廓中类水平分布的像素点, 保留与水平成预设倾角的特征块像素点, 从熔融流体轮廓中分离出特征块轮廓。

具体地, 由于本实施例检测的熔融流体的轮廓线条大致处于水平状态, 而特征块与熔融流体的轮廓线条之间较大的夹角, 对此特点, 本实施例通过剔除图像中类水平分布的像素点, 保留与水平成较大倾角的特征块像素点, 从熔融流体轮廓线条分离出特征块的轮廓。

二值化熔融流体图像 $E(x, y)$, 以图像 $E(x, y)$ 中的像素点 $e(x, y)$ 为中心, 与其八邻域组成 3×3 的灰度值矩阵 X , 设定权重矩阵 A , 如图 4, 图 4 中 (a) 为灰度值矩阵 X ; (b) 为权重矩阵 A , 搜寻目标像素点集合 Ω , 表达式为:

$$\Omega = \arg \max_{\Omega} [A * X] \quad (4)$$

得到图像的像素点灰度值 $b(x, y)$ 被集合 Ω 决定, 即,

$$b(x, y) = \begin{cases} 0, & (x, y) \in \Omega \\ e(x, y), & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

对图像进行离散小区域像素点去除, 得到处理后的图像 $B(x, y)$, 熔融流体轮廓非特征块部分的类水平像素点基本消除, 保留了完整的特征块轮廓, 特征块顶部部分线条像素是类水平的, 不可避免地被去除, 特征块被分成了两条曲线。

步骤 S2042, 计算特征块轮廓中两条相邻曲线之间的最小距离、上端点高度差以及夹角差, 并基于最小距离、上端点高度差以及夹角差对熔融流体轮廓的特征块进行粗定位。

要对特征块进行识别定位须对特征块进行特征分析, 从而须将特征块的特征数字化。对于特征块被分裂成两条曲线, 如图 5 显示了特征块及倒置特征块的两条曲线可能状态, 特征块的两条相邻曲线之间有一定的特征关系: 最小距离、上端点高度差、夹角差。其中最小距离表示相邻两曲线最小的像素距离, 夹角差表示相邻两曲线的等效直线与水平的夹角, 上端点高度差表示相邻两曲线最高两点的高度差, 即纵坐标之差。

为计算夹角差特征关系, 现假设曲线的等效直线为,

$$Y_j = \tan(\theta)X_i + a \quad (6)$$

其中 θ 为等效直线与水平的夹角。 X_i, Y_i 分别为曲线上像素点 i 的横坐标和纵坐标, 为确定等效直线的 θ 值, 将实际值与等效直线的计算值的差分平方和最小作为优化判据, 求取夹角 θ 值的表达式为,

$$\theta = \arg \min_{\theta} \sum (Y_i - \tan(\theta)X_i - a)^2 \quad (7)$$

将图像中完整保留下来的特征块和倒置的特征块最高点及最低点的像素点灰度值置为零, 使完整保留下来的特征块和倒置的特征块分裂成了两条曲线。经以上处理后的图像为 $B'(x, y)$ 。特征块的两条曲线最小距离始终在一定的小阈值内, 上端点也是近乎处于同一高度, 即上端点高度差也处于小阈值内, 同时倒置特征块和特征块的两曲线在夹角差上有较大的差别, 对此, 特征块识别的实现程序框图如图 6 所示, 详细步骤如下:

step1: 图像 $B'(x, y)$ 中的有多个连通域, 并对连通域从左至右编号为 $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ (S611)。

step2: 取单个连通域 r_k (S612), 计算 r_k 和 r_{k+1} 之间的最小距离, 表达式为,

$$d_k = \min \|r_k(i) - r_{k+1}(j)\| \quad (8)$$

其中, $r_k(i)$ 是连通域 r_k 中的一个像素点位置, 若满足 $d_k < \lambda$, 则继续下面步骤, 否则转

到 r_{k+1} ，执行步骤 step2;

step3:若上端点高度差 h_k 满足 $h_k < \tau$ ，则继续下面步骤，否则转到 r_{k+1} ，执行步骤 step2;

step4:利用公式(6)(7)计算连通域 r_k 和 r_{k+1} 之间的夹角差 $\theta_k - \theta_{k+1}$ ，若满足 $\theta_k - \theta_{k+1} < \alpha$ ，则标记连通域 r_k 和 r_{k+1} 为特征块曲线对 (r_k, r_{k+1}) (S613)，保持 (r_k, r_{k+1}) 的下部分平齐并转到 r_{k+1} ，执行步骤 step2，否则转到 r_{k+1} ，执行步骤 step2，直至遍历所有连通域后结束。

step5:将未被标记的连通域的像素点灰度值置为零 (S614)。

识别特征块的两条曲线后得到特征块图像 $T(x, y)$ 以及特征块曲线对集和 $\{(r_k, r_{k+1}), \dots\}$ ，完成特征块的识别及粗定位过程。

步骤 S2043，基于熔融流体轮廓对特征块的轮廓进行补全，并基于补全轮廓后的特征块的质心，对熔融流体轮廓的特征块进行精确定位。

上一个步骤中在损失了大量像素信息的图像 $B(x, y)$ 中实现了特征块的粗定位功能，本步骤将在完整的轮廓图像 $E(x, y)$ 上补全特征块轮廓及进一步筛选特征块。将图像 $E(x, y)$ 和图像 $T(x, y)$ 作差，图像 $T(x, y)$ 对应到差分图像中，特征块曲线对 (r_k, r_{k+1}) 的两最高点之间在差分图像中搜寻连通域，若存在连通域能连通特征块曲线对，将该连通域填充到图像 $T(x, y)$ 中，补全特征块的轮廓，若不存在，则剔除该特征块曲线对。

最后，利用质心公式计算特征块的质心 (x_t, y_t) ，对特征块精确定位，实现在高帧率视频中小目标特征块的快速精细定位，表达式为，

$$\begin{cases} x_t = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \\ y_t = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y_n \end{cases} \quad (9)$$

这里 N 为连通域像素点的个数， (x_n, y_n) 为连通域中一个像素点的坐标。

本发明实施例通过提取熔融流体轮廓的特征块，可以识别每一帧图像中的特征块并将特征块完整轮廓保留下来。且本实施例充分利用熔融流体的轮廓线条大致处于水平状态，且特征块与熔融流体的轮廓线条之间有较大的夹角的特点从熔融流体轮廓线条分离出特征块的轮廓，且分离准确、轮廓完整度高。

步骤 S205，获取特征块的特征，并在相邻两帧之间利用特征块的特征进行相似性匹配，得到特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离，特征包括大小特征、角度特征和位置特征。

具体地, 本实施例为了得到特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离, 首先获取特征块的特征, 并利用特征块的特征在相邻两帧之间进行相似性匹配。本实施例中特征块的特征分别是大小特征、角度特征和位置特征。大小特征表示特征块的正交轴向长度, 即最大长度和宽度, 角度特征表示特征块与水平方向的夹角, 位置特征表示特征块质心的位置坐标。

为计算大小特征及角度特征, 先计算特征块边界点的 $i+j$ 阶矩, 其定义为,

$$\mu_{ij} = \sum_{m=0}^M (x_m - x_t)^i (y_m - y_t)^j \quad (10)$$

这里 M 为特征块边界像素点的个数, 特征块边界上的像素点表示为 (x_m, y_m) 。根据 $i+j$ 阶矩可计算特征块等效椭圆的长半轴 r_1 和短半轴 r_2 , 即特征块的正交轴向长度, 表达式为,

$$\begin{cases} r_1 = \sqrt{2(\mu_{2,0} + \mu_{0,2} + \sqrt{(\mu_{2,0} - \mu_{0,2})^2 + 4\mu_{1,1}^2})} \\ r_2 = \sqrt{2(\mu_{2,0} + \mu_{0,2} - \sqrt{(\mu_{2,0} - \mu_{0,2})^2 + 4\mu_{1,1}^2})} \end{cases} \quad (11)$$

利用 $i+j$ 阶矩还可得到特征块等效椭圆的与水平方向的夹角 β , 即特征块的角度特征, 其表达式为,

$$\beta = -\frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\mu_{1,1}}{\mu_{0,2} - \mu_{2,0}}\right) \quad (12)$$

根据长半轴 r_1 、短半轴 r_2 、夹角 β 和质心 (x_t, y_t) 等特征块特征, 即可确定特征块的位置形状和方向, 利用以下搜寻算法确定前一帧图像 $T(x, y)$ 与后一帧图像 $T'(x, y)$ 中相似的特征块, 该算法步骤如下:

step1: 图像 $T(x, y)$ 特征块质心的横坐标 x_t 为起点, 在图像 $T'(x, y)$ 沿横坐标向后搜索特征块质心 x'_t 。

step2: 在图像 $T'(x, y)$ 中, 将满足 $x'_t - x_t < l$ 条件的质心标记, l 为根据观察设定的阈值。

step3: 短时间内, 特征块的形状没有发生较大的变化, 质心的高度只会微小波动。标记的质心纵坐标若存在满足 $|y'_t - y_t| \leq h'$, 表明两特征块可能相似, 将不满足条件的特征块的标记去除, 若不存在, 去除所有标记, 并跳转图像 $T(x, y)$ 的下一个质心坐标, 继续步骤 step1。

step4: 利用公式 (11) (12) 计算图像 $T'(x, y)$ 被标记特征块的长半轴 r'_1 、短半轴 r'_2 和夹角 β' , 转化成量纲相同的三个参数 $(r'_1 \cos \beta', r'_1 \sin \beta', r'_2)$, 特征块参数记为 (x'_1, x'_2, x'_3) , 同理, 图

像 $T(x, y)$ 的特征块参数记为 (x_1, x_2, x_3) 。

step5: 为了在线实时评判两个特征块的相似度, 给出一个相似度系数 ρ , 即,

$$\rho = \frac{\sum_{k=1}^3 x_k x'_k}{\sqrt{\sum_{k=1}^3 x_k^2} \sqrt{\sum_{k=1}^3 x'_k{}^2}} \quad (13)$$

ρ 的取值范围为 $[-1, 1]$, ρ 的值越大, 相似性越好。图像 $T'(x, y)$ 中匹配相似度 ρ 最大且满足 $\rho > \xi$ 的特征块则认定为匹配成功, 从而得到特征块移动的水平像素距离 S_c , 跳转图像 $T(x, y)$ 的下一个质心坐标, 继续步骤 step1。其中 S_c 表达式可写为,

$$S_c = x'_t - x_t \quad (14)$$

本实施例通过利用特征块大小特征、角度特征和位置特征, 从多角度对特征块定位结果在相邻帧之间进行相似性匹配, 从而能精准地识别跟踪定位特征块, 进一步精准地获取特征块在两相邻帧时间内移动的像素距离, 大大提高了后续流速检测的精确性。

步骤 S206, 根据现场的安装参数对采集高温高速熔融流体的视频流的高速相机进行标定, 建立图像坐标系与世界坐标系之间的关系。

步骤 S207, 求解特征块在世界坐标系中的移动距离, 且计算移动距离的计算公式为:

$$S_w = \frac{R}{R_c} S_c \quad (15)$$

其中 S_w 为特征块在世界坐标系中的移动距离, R 为反应炉出口圆孔的直径, R_c 为反应炉出口在图像上的直径像素, S_c 为熔融流体上的特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离。

步骤 S208, 基于移动距离以及速度公式获得高温高速熔融流体的流速。

本实施例通过图像坐标系与世界坐标系之间的关系, 可以得到相邻两帧图像中多个特征块在真实世界坐标系移动的水平距离 S_{wj} , 此处 $j = 1, 2, \dots, J$, 对 S_{wj} 取平均值, 即,

$$\bar{S}_w = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J S_{wj} \quad (16)$$

根据速度公式得到铁水流水平方向的流速 V_x , 即,

$$V_x = \bar{S}_w f \quad (17)$$

这里 f 是相机拍摄视频的帧率。根据现场出铁口的实际仰角 ϕ , 出铁口铁水流速表达为,

$$V = \frac{V_x}{\cos \phi} \quad (18)$$

从而最终完成整个工作流程。

本发明实施例提供的高温熔融流体流速检测方法，通过采集高温高速熔融流体的视频流，将视频流分解成以时间为序的帧图像序列，并提取帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域，提取感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓，提取熔融流体轮廓的特征块，并基于特征块获取熔融流体的流速，特征块具体为高温熔融流体高速出流过程中出现的波纹或阴影，解决了现有对具有高温、高速、高光的熔融流体的流速检测精度不高的技术问题，通过利用非侵入式获取高温熔融流体出流的高帧率视频流，通过实时精确跟踪定位熔融流体上的小目标显著性特征块，从而实现对具有高温、高速、高光的熔融流体的流速检测过程。该方法具有高精度性，强稳定性，长周期性，适用于高温或过高温的高速流动的流体，投资成本少等优点。

本发明的目的在于提供一种在熔融流体高速出流的轮廓图像中实现高帧率视频中小目标显著性特征块快速精细化定位的方法。本发明的目的在于提供一种利用熔融流体上特征块的特征在相邻两帧图像中实现显著性特征块瞬态匹配的方法。本发明的目的在于专利中提到的熔融流体流速检测算法，平行的移植到并行编程模型和多 GPU 通用计算架构上，极大的提高算法执行效率，满足了流速检测的实时性要求。

参照图 7，本发明实施例提出的高温熔融流体流速检测系统，包括：高速相机捕捉视频单元 10、与高速相机捕捉视频单元 10 依次连接的视频采集单元 20、轮廓提取单元 30 以及熔融流体流速检测单元 40，其中，

高速相机捕捉视频单元 10，用于采集高温高速熔融流体的视频流；

视频采集单元 20，用于将视频流分解成以时间为序的帧图像序列，并提取帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域；

轮廓提取单元 30，用于提取感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓；

熔融流体流速检测单元 40，用于提取熔融流体轮廓的特征块，并基于特征块获取熔融流体的流速，特征块具体为高温熔融流体高速出流过程中出现的波纹或阴影。

可选地，高速相机捕捉视频单元 10 包括用于采集高温高速熔融流体的视频流的高速相机 101 以及设置于高速相机 101 上的镜头防尘清扫模块 102 以及高速相机风冷模块 103，其中，

镜头防尘清扫模块 102，用于在高速相机 101 未工作时对高速相机 101 的镜头进行清扫处理；

高速相机风冷模块 103，用于将高速相机机身完全覆盖，通过外接风机加快风冷装置与高速相机机身之间空气的流动速率达到散热冷却。

本实施例中镜头防尘清扫装置 102 在高速相机未工作时对高速相机的镜头进行清扫处理，清扫结束后，自动将保护镜头盖盖上以防止粉尘的掉落至镜头，直至高速相机开始工作；高

速相机风冷装置 103 是将高速相机机身完全覆盖，通过外接风机加快风冷装置与高速相机机身之间空气的流动速率达到散热冷却的目的。为满足测速需求，最主要是高速相机帧率和分辨率的参数选择，合适的帧率保证能跟踪高速流动熔融流体的特征块而不丢失，足够的分辨率在图像上能提供更多的特征块细节信息。其次，高速相机需安装于与熔融流体相距一定的位置，中间有一个金属挡板隔开以减弱热辐射，相机镜头通过挡板的窗口采集视频图像。

在冶炼现场，反应炉出口熔融流体出流的过程中，熔融流体向外散发强烈的热辐射，而且现场存在较多的粉尘，粉尘覆盖在高速相机 101 的镜头将造成成像出现黑影，对此必须在高速相机的镜头安装镜头冷却装置 102 和防尘清扫装置 103，以保证高速相机在复杂恶劣的现场长期稳定运行的要求。

可选地，视频采集单元 20 包括视频采集模块 201 和视频处理模块 202，其中视频采集模块 201 包括：

A/D 模块，用于将高速相机捕捉视频单元 10 的视频源模拟信号转换成数字信号；

存储器模块，用于存储视频信号；

视频压缩模块，用于对视频信号进行压缩，并将已压缩的视频信号送至视频处理模块 202；

视频处理模块 202 包括：

视频流分解模块，用于将视频采集模块 201 传递过来的压缩视频流分割成以时间为序的帧图像；

帧图像感兴趣区域提取模块，用于提取帧图像中感兴趣熔融流体区域，并将提取后的帧图像组传送至轮廓提取单元 30。

本实施例中的视频采集模块 201 由视频采集卡将高速相机 101 捕捉视频单元的视频源模拟信号通过高速采集卡上的 A/D 转换模块转换成数字信号，然后送至板卡自带的存储器模块中，存储一段时间后再由视频采集卡上自带的视频压缩模块将大量的视频信号压缩，并将已压缩的视频信号送至视频处理模块 202 处理，与此同时，视频采集卡将当前的所采集的视频流在存储器开辟新的存储空间存储当前视频流，并释放前一段视频流的存储空间。

本实施例中的视频处理模块通过一个预载了视频流分解程序及帧图像 ROI 提取程序硬件逻辑电路的 FPGA (Field-Programmable Gate Array) 可编程硬件平台，将视频采集模块 201 传递过来的压缩视频流分割成以时间为序的帧图像的同时，提取出帧图像中感兴趣熔融流体区域，以减少后期处理的时间，然后将 ROI 提取后的帧图像组送至轮廓提取单元 30，得到待处理的帧图像组，完成该单元的工作流程。

为提高装置集成度，本实施例的轮廓提取单元与视频采集单元在同一个 FPGA 可编程硬件平台实现。且轮廓提取单元由图像预处理模块和单像素轮廓提取模块构成。

可选地，熔融流体流速检测单元 40 包括特征块精细定位模块 401、与特征块精细定位模块 401 依次连接的特征块匹配模块 402 以及流速检测模块 403；

特征块精细定位模块 401 包括剔除类水平像素子模块、特征块识别及粗定位子模块、特征块精确定位子模块，其中，

剔除类水平像素子模块用于剔除熔融流体轮廓中类水平分布的像素点，保留与水平成较大倾角的特征块像素点，从熔融流体轮廓线条中分离出特征块轮廓；

特征块识别及粗定位子模块用于计算特征块轮廓中两条相邻曲线之间的最小距离、上端点高度差以及夹角差，并基于最小距离、上端点高度差以及夹角差对熔融流体轮廓的特征块进行粗定位；

特征块精确定位子模块用于基于熔融流体轮廓对特征块的轮廓进行补全，并基于补全轮廓后的特征块的质心，对熔融流体轮廓的特征块进行精确定位；

特征块匹配模块 402，用于在相邻两帧之间利用特征块的特征进行相似性匹配，得到特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离；

流速检测模块 403 包括相机标定子模块和流速输出子模块，相机标定子模块用于对高速相机进行标定并求解特征块在世界坐标系移动距离，流速输出子模块用于计算并输出熔融流体的流速。

熔融流体流速检测单元为本发明的关键单元，其主要目的是通过对轮廓中的特征块进行识别定位之后，分析每一帧的特征块并在相邻两帧图像中对特征块进行相似性匹配，完成检测过程。该单元是以多 GPU (Graphics Processing Units) 为硬件平台的架构图像处理软件系统，该硬件平台具有平行计算处理架构，实现对熔融流体流速的实时检测。该单元是由特征块精细定位模块 401、特征块匹配模块 402 及流速检测模块 403 三个模块组成。

流速检测模块 403 是本发明实施例的最后结果输出部分，其功能是利用熔融流体流速检测单元的前两个模块处理完一个帧图像组之后整合处理，根据实际现场情况计算出熔融流体的流速。该模块由相机标定子模块和流速输出子模块两个功能子模块构成。

结合附图对本发明具体实施方案情况进一步说明，本发明应用于国内某 2650m³ 高炉上，在高炉上的三个出铁口的其中一处依照图 8 安装高速相机及其他装置。在相机选型上，最主要是帧率和分辨率的参数选择，合适的帧率能捕获铁水流的运动信息，足够的分辨率在图像上提供更多的细节信息。据现场工人估计，高炉出铁口铁水流速为 5~6m/s。为满足流速检测需求，高速相机分辨率为 1280*720，帧率为 240。具体完成熔融流体流速的整个检测过程的实施方案步骤如下：

步骤 1，根据高速相机的安装参数及现场数据，对相机进行标定，确定图像坐标系与世

界坐标系之间的关系；

步骤 2，在高炉出铁的一个周期内，高速相机视频捕捉单元实时捕获铁水流出流视频。视频采集单元 20 实时采集一分钟时间的铁水流出流视频，压缩存储后送至视频处理单元，随后视频采集单元 20 重新采集当前的视频，重复该过程；

步骤 3，视频处理单元将铁水流压缩后的视频分解成帧图像，并提取帧图像中感兴趣的铁水流区域，得到待处理的帧图像组；

步骤 4，步骤 3 得到的帧图像组经灰度变换及图像增强处理后，完成了图像预处理过程（U51），然后通过 Canny 轮廓检测算法及骨架提取处理完成的铁水流轮廓提取过程，得到单像素铁水流轮廓图像，以便后续的处理；

步骤 5，对得到的二值铁水流轮廓图像进行类水平像素剔除处理，最后将目标特征块分裂成两条相邻曲线，针对于这两相邻的曲线，存在最小距离、夹角差和上端点高度差这三种特征，分析显著性特征块独有的形状特征后可完成特征块识别及粗定位过程，然后依据特征块精确定位模块将铁水流的特征块粗定位的结果可选地筛选，剔除识别错误的特征块，实现特征块的精细定位；

步骤 6，利用特征块的大小、角度及位置三种特征，在相邻两帧图像上对特征块进行瞬态匹配过程，匹配相似度 $\rho > 0.6$ 的特征块，由式（14）得到特征块在两帧时间内移动的水平像素距离，然后，根据步骤 1 相机标定获取图像坐标系与世界坐标系之间的关系，将像素距离转换成真实世界距离；

步骤 7，以上步骤将一个帧图像组处理完之后，剔除所有距离数据中的异常值，取平均值，根据反应炉出口处的仰角，从而得到当前帧图像组所在时间段内铁水流出流的平均流速值。

本实施例的高温熔融流体流速检测系统的具体工作过程和工作原理可参照本实施例中的高温熔融流体流速检测方法的工作过程和工作原理。

以上仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种高温熔融流体流速检测方法，其特征在于，所述方法包括：

采集高温高速熔融流体的视频流；

将所述视频流分解成以时间为序的帧图像序列，并提取所述帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域；

提取所述感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓；

提取所述熔融流体轮廓的特征块，并基于所述特征块获取熔融流体的流速，所述特征块具体为高温熔融流体高速出流过程中出现的波纹或阴影。

2. 根据权利要求 1 所述的高温熔融流体流速检测方法，其特征在于，提取所述感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓包括：

对所述感兴趣熔融流体区域进行预处理，获得预处理图像；

采用一阶偏导有限差分计算所述预处理图像的梯度幅值和方向，并对所述梯度幅值进行非极大值抑制；

采用双阈值算法检测和连接所述感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓，并利用骨架提取算法细化所述熔融流体轮廓。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的高温熔融流体流速检测方法，其特征在于，提取所述熔融流体轮廓的特征块包括：

剔除所述熔融流体轮廓中类水平分布的像素点，保留与水平成预设倾角的特征块像素点，从所述熔融流体轮廓中分离出特征块轮廓；

计算所述特征块轮廓中两条相邻曲线之间的最小距离、上端点高度差以及夹角差，并基于所述最小距离、上端点高度差以及夹角差对所述熔融流体轮廓的特征块进行粗定位；

基于所述熔融流体轮廓对所述特征块的轮廓进行补全，并基于补全轮廓后的所述特征块的质心，对所述熔融流体轮廓的特征块进行精确定位。

4. 根据权利要求 3 所述的高温熔融流体流速检测方法，其特征在于，基于所述特征块获取熔融流体的流速包括：

获取所述特征块的特征，所述特征包括大小特征、角度特征和位置特征；

在相邻两帧之间利用所述特征块的特征进行相似性匹配，得到特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离；

根据现场的安装参数对采集高温高速熔融流体的视频流的高速相机进行标定，建立图像坐标系与世界坐标系之间的关系；

求解所述特征块在世界坐标系中的移动距离，且计算所述移动距离的计算公式为：

$S_w = \frac{R}{R_c} S_c$ ，其中 S_w 为所述特征块在世界坐标系中的移动距离， R 为反应炉出口圆孔的直径， R_c 为反应炉出口在图像上的直径像素， S_c 为熔融流体上的特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离；

基于所述移动距离以及速度公式获得高温高速熔融流体的流速。

5. 根据权利要求 4 所述的高温熔融流体流速检测方法，其特征在于，获取所述特征块的特征包括：

计算所述特征块边界点的 $i+j$ 阶矩，计算公式具体为：

$$\mu_{ij} = \sum_{m=0}^M (x_m - x_t)^i (y_m - y_t)^j$$

其中 μ_{ij} 为所述特征块边界点的 $i+j$ 阶矩， M 为所述特征块边界像素点的个数， $m=0,2,\dots,M$ ， (x_m, y_m) 为所述特征块边界上第 m 个像素点， (x_t, y_t) 为质心坐标；

根据所述 $i+j$ 阶矩计算所述特征块的等效椭圆的长半轴 r_1 和短半轴 r_2 ，计算公式具体为：

$$\begin{cases} r_1 = \sqrt{2(\mu_{2,0} + \mu_{0,2} + \sqrt{(\mu_{2,0} - \mu_{0,2})^2 + 4\mu_{1,1}^2})} \\ r_2 = \sqrt{2(\mu_{2,0} + \mu_{0,2} - \sqrt{(\mu_{2,0} - \mu_{0,2})^2 + 4\mu_{1,1}^2})} \end{cases}$$

其中， r_1 和 r_2 分别为所述特征块的等效椭圆的长半轴和短半轴， $\mu_{2,0}$ 为 $i=2$ ， $j=0$ 时 μ_{ij} 的取值， $\mu_{0,2}$ 为 $i=0$ ， $j=2$ 时 μ_{ij} 的取值， $\mu_{1,1}$ 为 $i=1$ ， $j=1$ 时 μ_{ij} 的取值；

基于所述 $i+j$ 阶矩计算所述特征块的等效椭圆与水平方向的夹角，计算公式具体为：

$$\beta = -\frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\mu_{1,1}}{\mu_{0,2} - \mu_{2,0}}\right),$$

其中 β 为所述特征块的等效椭圆与水平方向的夹角；

利用质心公式计算所述特征块的质心，具体为：

$$\begin{cases} x_t = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \\ y_t = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y_n \end{cases}$$

其中 (x_t, y_t) 为所述特征块的质心， N 为连通域像素点的个数， (x_n, y_n) 为连通域中第 n 个像素点的坐标；

根据所述长半轴 r_1 、短半轴 r_2 、夹角 β 和质心 (x_t, y_t) ，获得所述特征块的特征。

6. 根据权利要求 5 所述的高温熔融流体流速检测方法，其特征在于，在相邻两帧之间利用所述特征块的特征进行相似性匹配，得到特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离包括：

step1: 以前一帧图像 $T(x, y)$ 的特征块质心的横坐标 x_t 为起点，在后一帧图像 $T'(x, y)$ 沿横坐标向后搜索特征块质心 x'_t ；

step2: 在图像 $T'(x, y)$ 中，将满足 $x'_t - x_t < l$ 条件的质心标记， l 为根据观察设定的阈值；

step3: 判断标记的质心纵坐标是否满足 $|y'_t - y_t| \leq h'$ ，其中 h' 为设定的阈值， y'_t 和 y_t 分别为后一帧图像特征块质心纵坐标和前一帧图像特征块质心纵坐标，并在判定为否时去除特征块的标记，并跳转图像 $T(x, y)$ 的下一个质心坐标，继续步骤 step1；

step4: 计算图像 $T'(x, y)$ 被标记特征块的长半轴 r'_1 、短半轴 r'_2 和夹角 β' ，转化成量纲相同的三个参数 $(r'_1 \cos \beta', r'_1 \sin \beta', r'_2)$ ，特征块参数记为 (x'_1, x'_2, x'_3) ，同理，图像 $T(x, y)$ 的特征块参数记为 (x_1, x_2, x_3) ；

step5: 为了在线实时评判两个特征块的相似度，计算相似度系数，具体为：

$$\rho = \frac{\sum_{k=1}^3 x_k x'_k}{\sqrt{\sum_{k=1}^3 x_k^2} \sqrt{\sum_{k=1}^3 x'^2_k}}$$

其中 ρ 为相似度系数， ρ 的取值范围为 $[-1, 1]$ ， x_k 为图像 $T(x, y)$ 的第 k 个特征块参数， x'_k 为图像 $T'(x, y)$ 的第 k 个特征块参数，图像 $T'(x, y)$ 中匹配相似度 ρ 最大且满足 $\rho > \xi$ 的特征块则认定为匹配成功，从而得到特征块移动的水平像素距离 S_C ，跳转图像 $T(x, y)$ 的下一个质心坐标，继续步骤 step1，其中 S_C 的计算公式为：

$$S_C = x'_t - x_t。$$

7. 一种高温熔融流体流速检测系统，其特征在于，所述系统包括高速相机捕捉视频单元 (10)、与所述高速相机捕捉视频单元 (10) 依次连接的视频采集单元 (20)、轮廓提取单元 (30) 以及熔融流体流速检测单元 (40)，其中，

所述高速相机捕捉视频单元 (10)，用于采集高温高速熔融流体的视频流；

所述视频采集单元 (20)，用于将所述视频流分解成以时间为序的帧图像序列，并提取所述帧图像序列中的感兴趣熔融流体区域；

所述轮廓提取单元 (30)，用于提取所述感兴趣熔融流体区域的熔融流体轮廓；

所述熔融流体流速检测单元 (40)，用于提取所述熔融流体轮廓的特征块，并基于所述特征块获取熔融流体的流速，所述特征块具体为高温熔融流体高速出流过程中出现的波纹或阴影。

8. 根据权利要求 7 所述的高温熔融流体流速检测系统，其特征在于，

所述高速相机捕捉视频单元（10）包括用于采集高温高速熔融流体的视频流的高速相机（101）以及设置于所述高速相机（101）上的镜头防尘清扫模块（102）以及高速相机风冷模块（103），其中，

所述镜头防尘清扫模块（102），用于在高速相机（101）未工作时对高速相机（101）的镜头进行清扫处理；

所述高速相机风冷模块（103），用于将高速相机机身完全覆盖，通过外接风机加快风冷装置与高速相机机身之间空气的流动速率达到散热冷却。

9. 根据权利要求 8 所述的高温熔融流体流速检测系统，其特征在于，所述视频采集单元（20）包括视频采集模块（201）和视频处理模块（202），其中所述视频采集模块（201）包括：

A/D 模块，用于将高速相机捕捉视频单元（10）的视频源模拟信号转换成数字信号；

存储器模块，用于存储视频信号；

视频压缩模块，用于对所述视频信号进行压缩，并将已压缩的视频信号送至所述视频处理模块（202）；

所述视频处理模块（202）包括：

视频流分解模块，用于将所述视频采集模块（201）传递过来的压缩视频流分割成以时间有序的帧图像；

帧图像感兴趣区域提取模块，用于提取所述帧图像中感兴趣熔融流体区域，并将提取后的帧图像组传送至所述轮廓提取单元（30）。

10. 根据权利要求 9 所述的高温熔融流体流速检测系统，其特征在于，所述熔融流体流速检测单元（40）包括特征块精细定位模块（401）、与所述特征块精细定位模块（401）依次连接的特征块匹配模块（402）以及流速检测模块（403）；

所述特征块精细定位模块（401）包括剔除类水平像素子模块、特征块识别及粗定位子模块、特征块精确定位子模块，其中，

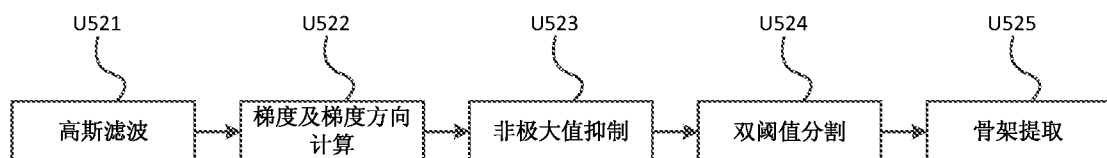
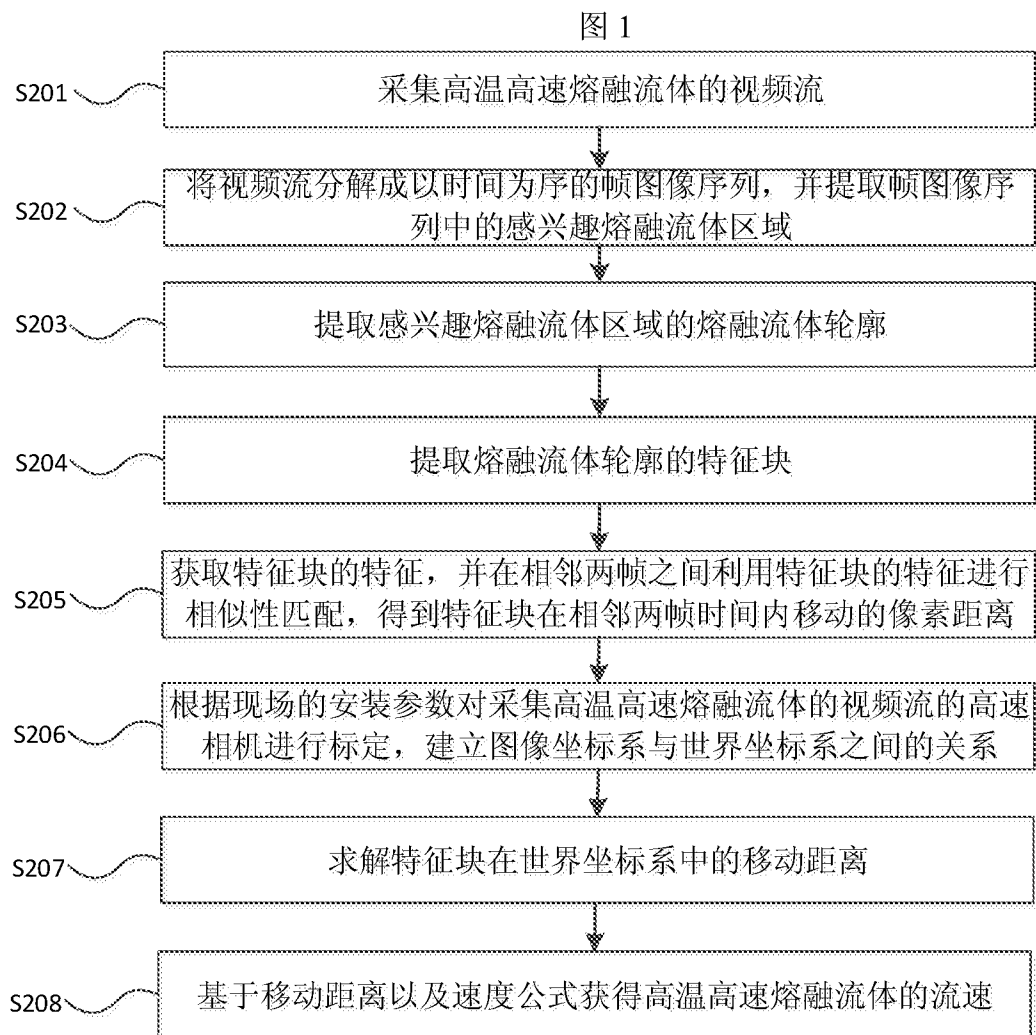
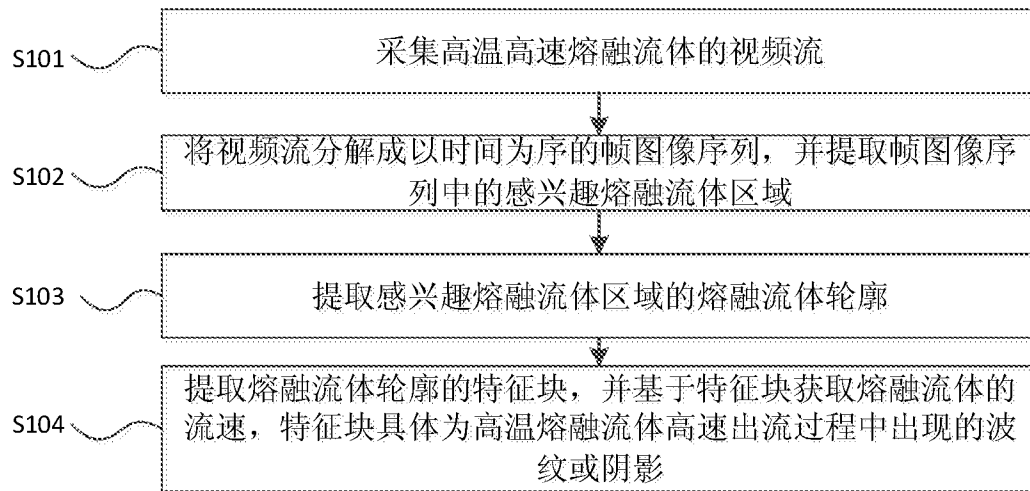
所述剔除类水平像素子模块用于剔除所述熔融流体轮廓中类水平分布的像素点，保留与水平成较大倾角的特征块像素点，从所述熔融流体轮廓线条中分离出特征块轮廓；

所述特征块识别及粗定位子模块用于计算所述特征块轮廓中两条相邻曲线之间的最小距离、上端点高度差以及夹角差，并基于所述最小距离、上端点高度差以及夹角差对所述熔融流体轮廓的特征块进行粗定位；

所述特征块精确定位子模块用于基于所述熔融流体轮廓对所述特征块的轮廓进行补全，并基于补全轮廓后的所述特征块的质心，对所述熔融流体轮廓的特征块进行精确定位；

所述特征块匹配模块（402），用于在相邻两帧之间利用所述特征块的特征进行相似性匹配，得到特征块在相邻两帧时间内移动的像素距离；

所述流速检测模块（403）包括相机标定子模块和流速输出子模块，所述相机标定子模块用于对高速相机（101）进行标定并求解特征块在世界坐标系移动距离，所述流速输出子模块用于计算并输出熔融流体的流速。



$e(x-1, y-1)$	$e(x, y-1)$	$e(x+1, y-1)$	0	0	0
$e(x-1, y)$	$e(x, y)$	$e(x+1, y)$	1	1	0
$e(x-1, y+1)$	$e(x, y+1)$	$e(x+1, y+1)$	0	0	0

(a) (b)

图 4

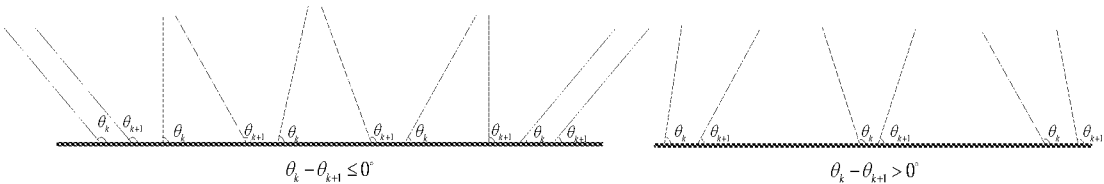


图 5

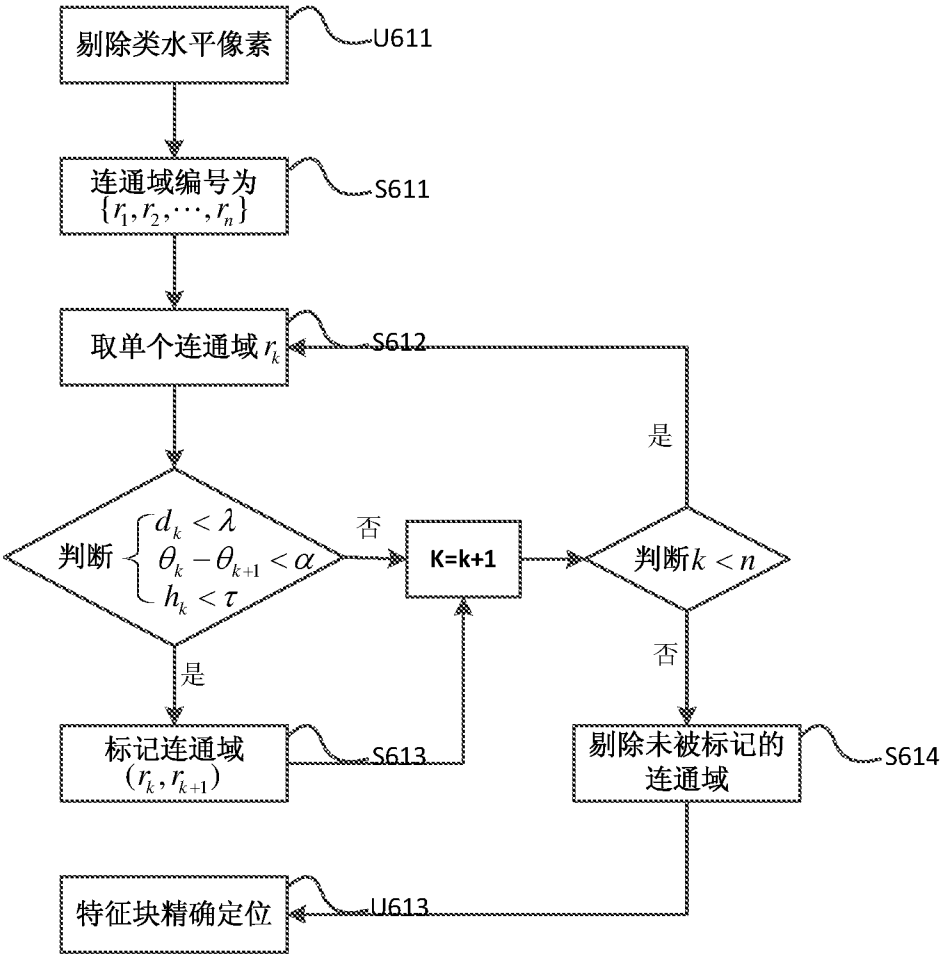


图 6

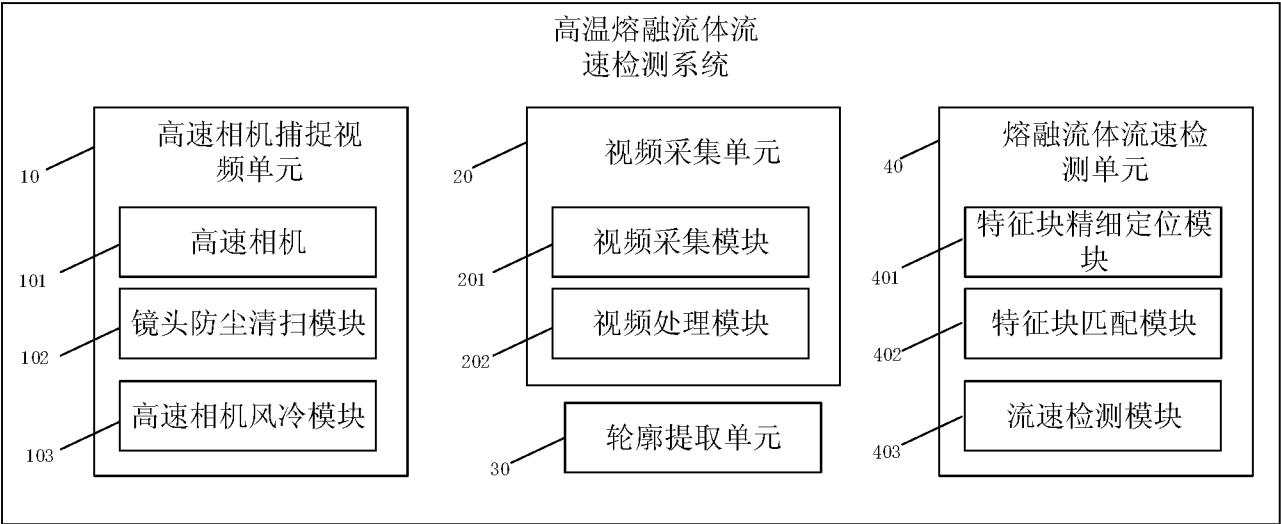


图 7

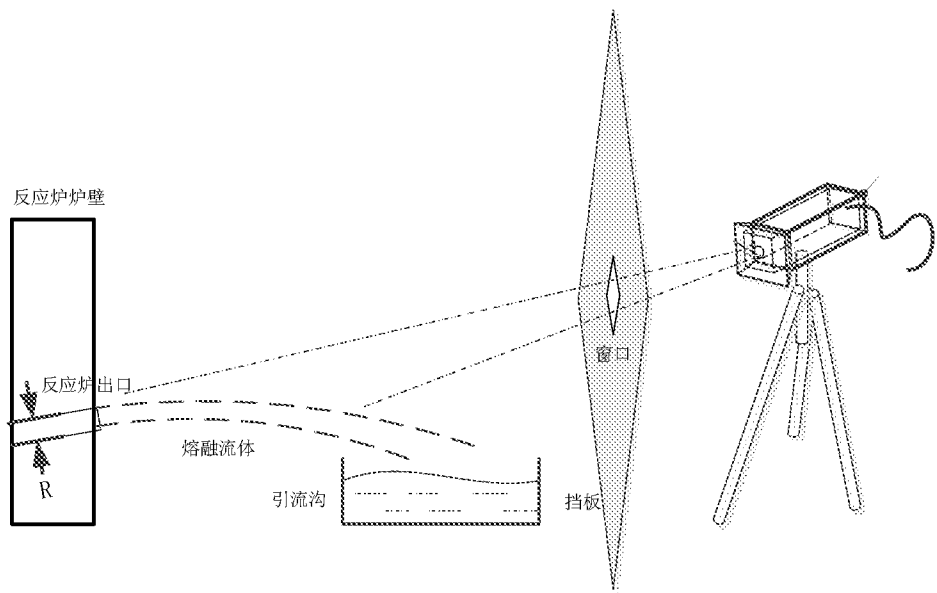


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/096143

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06K 9/00(2006.01)i; G01F 1/00(2006.01)i; G06T 7/20(2017.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 谢永芳, 潘冬, 蒋朝辉, 何磊, 张海峰, 阳春华, 桂卫华, 陈致蓬, 相机, 视频, 图像, 轮廓, 特征块, 特征点, 速度, 流速, 运动, line, feature, block, orient+, outline, profile, contour, flowrate, flow, rate, velocity, extract+, candy

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109543587 A (CENTRAL SOUTH UNIVERSITY) 29 March 2019 (2019-03-29) claims 1-10	1-10
X	CN 105488816 A (CENTRAL SOUTH UNIVERSITY) 13 April 2016 (2016-04-13) description, paragraphs [0004]-[0084] and [0096], and figures 1-6	1, 2, 7-9
X	CN 104198752 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 10 December 2014 (2014-12-10) description, paragraphs [0006]-[0041], and figures 1-3b	1, 2, 7-9
A	CN 102103753 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 22 June 2011 (2011-06-22) entire document	1-10
A	CN 107093187 A (SHANGHAI TOPXGUN ROBOT CO., LTD.) 25 August 2017 (2017-08-25) entire document	1-10
A	KR 20110131678 A (TAE SUNG ELECTRO-CIRCUIT SYSTEMS et al.) 07 December 2011 (2011-12-07) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 September 2019

Date of mailing of the international search report

14 October 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/096143

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109543587	A	29 March 2019	None			
CN	105488816	A	13 April 2016	CN	105488816	B	11 September 2018
CN	104198752	A	10 December 2014	CN	104198752	B	08 September 2017
CN	102103753	A	22 June 2011	US	8611595	B2	17 December 2013
				US	2014078313	A1	20 March 2014
				EP	2357614	B1	11 September 2019
				KR	101183781	B1	17 September 2012
				CN	102103753	B	28 September 2016
				US	2011150284	A1	23 June 2011
				KR	20110072426	A	29 June 2011
				EP	2357614	A1	17 August 2011
CN	107093187	A	25 August 2017	None			
KR	20110131678	A	07 December 2011	KR	101191308	B1	16 October 2012

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/096143

A. 主题的分类

G06K 9/00(2006.01)i; G01F 1/00(2006.01)i; G06T 7/20(2017.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G06K

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNKI, CNPAT, WPI, EPDOC: 谢永芳, 潘冬, 蒋朝辉, 何磊, 张海峰, 阳春华, 桂卫华, 陈致蓬, 相机, 视频, 图像, 轮廓, 特征块, 特征点, 速度, 流速, 运动, line, feature, block, orient+, outline, profile, contour, flowrate, flow, rate, velocity, extract+, candy

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 109543587 A (中南大学) 2019年 3月 29日 (2019 - 03 - 29) 权利要求1-10	1-10
X	CN 105488816 A (中南大学) 2016年 4月 13日 (2016 - 04 - 13) 说明书第[0004]-[0084], [0096]段、附图1-6	1-2, 7-9
X	CN 104198752 A (浙江大学) 2014年 12月 10日 (2014 - 12 - 10) 说明书第[0006]-[0041]段、附图1-3b	1-2, 7-9
A	CN 102103753 A (三星电子株式会社) 2011年 6月 22日 (2011 - 06 - 22) 全文	1-10
A	CN 107093187 A (上海拓攻机器人有限公司) 2017年 8月 25日 (2017 - 08 - 25) 全文	1-10
A	KR 20110131678 A (TAE SUNG ELECTRO CIRCUIT SYSTEMS 等) 2011年 12月 7日 (2011 - 12 - 07) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2019年 9月 25日

国际检索报告邮寄日期

2019年 10月 14日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

向薇

电话号码 86-(10)-53962455

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/096143

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109543587	A	2019年 3月 29日	无	
CN	105488816	A	2016年 4月 13日	CN	105488816 B 2018年 9月 11日
CN	104198752	A	2014年 12月 10日	CN	104198752 B 2017年 9月 8日
CN	102103753	A	2011年 6月 22日	US	8611595 B2 2013年 12月 17日
				US	2014078313 A1 2014年 3月 20日
				EP	2357614 B1 2019年 9月 11日
				KR	101183781 B1 2012年 9月 17日
				CN	102103753 B 2016年 9月 28日
				US	2011150284 A1 2011年 6月 23日
				KR	20110072426 A 2011年 6月 29日
				EP	2357614 A1 2011年 8月 17日
CN	107093187	A	2017年 8月 25日	无	
KR	20110131678	A	2011年 12月 7日	KR	101191308 B1 2012年 10月 16日