



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102778684 A

(43) 申请公布日 2012. 11. 14

(21) 申请号 201210245517. 8

(22) 申请日 2012. 07. 16

(71) 申请人 西安电子科技大学  
地址 710071 陕西省西安市太白南路 2 号

(72) 发明人 王陆 何天祥 付小宁

(74) 专利代理机构 陕西电子工业专利中心  
61205

代理人 王品华 朱红星

(51) Int. Cl.

G01S 19/42(2010. 01)

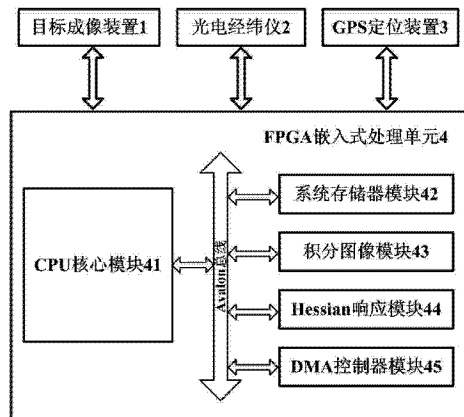
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

基于 FPGA 的嵌入式单目被动目标跟踪定位系统及方法

(57) 摘要

本发明提出了一种基于 FPGA 的嵌入式单目被动目标跟踪定位系统及方法,主要解决现有技术在实际应用中可靠性和实时性差的问题。该系统包括目标成像装置、光电经纬仪、GPS 定位装置和 FPGA 嵌入式处理单元,其中 FPGA 嵌入式处理单元的功能模块包括 CPU 核心模块、系统存储器模块、积分图像模块、Hessian 响应模块和 DMA 控制器模块。目标成像装置、光电经纬仪和 GPS 定位装置分别与 FPGA 嵌入式处理单元连接,目标成像装置对目标成像后,送入 FPGA 嵌入式处理单元估计出目标距离,再结合光电经纬仪测得的目标角度信息和 GPS 定位装置测得的系统自身空间位置信息,完成对目标的定位。本发明具有可靠性强和实时性好的优点,可用于对面成像目标的实时跟踪定位。



1. 一种基于 FPGA 的嵌入式单目被动目标跟踪定位系统,包括:  
 目标成像装置,用于对目标进行光学成像;  
 光电经纬仪,用于获得目标的角度方位信息;  
 GPS 定位装置,用于确定系统自身的空间位置;  
 FPGA 嵌入式处理单元,用于对目标的图像进行处理,提取距离相关特征并完成测距,进而对目标进行定位;

所述的 FPGA 嵌入式处理单元,包括功能模块:

CPU 核心模块,用于控制和完成定位过程中的数学运算;

系统存储器模块,用于存储 CPU 程序和数据,以及对运算过程中的临时数据进行缓存;

积分图像模块,用于提取图像特征点时的积分操作,读入图像的灰度数据,输出积分图像数据;

Hessian 响应模块,用于在提取图像特征点时计算 Hessian 响应,即对于图像上的每个像素点,Hessian 响应模块读取该像素点的相关积分图像数据,输出该像素点的 Hessian 响应;

DMA 控制器模块,用于控制系统存储器模块和积分图像模块以及系统存储器模块和 Hessian 响应模块之间的数据传输。

2. 根据权利要求 1 中所述的目标跟踪定位系统,其中积分图像模块使用 Verilog 硬件描述语言开发,在 FPGA 硬件上实现了对图像的积分操作。

3. 根据权利要求 1 中所述的目标跟踪定位系统,其中 Hessian 响应模块使用 Verilog 硬件描述语言开发,在 FPGA 硬件上实现了计算像素点的 Hessian 响应。

4. 一种基于 FPGA 的嵌入式单目被动目标跟踪定位方法,包括如下步骤:

(1) 对目标进行连续成像,得到目标图像序列,该图像序列的灰度格式为 8 位,分辨率为 256\*256,每次读取序列中的一幅图像计算其对比度  $\sigma^2$ ;

$$\sigma^2 = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f(i, j) - \mu)^2,$$

其中,M 和 N 分别为图像像素的行数和列数,(i, j) 表示横坐标为 i,纵坐标为 j 的像素点,f(i, j) 是像素点 (i, j) 的灰度值, $\mu$  为整幅图像的平均值;

(2) 根据计算得到的对比度  $\sigma^2$ ,决定是否对图像进行预处理,若  $65 < \sigma^2 < 75$  则不需对图像进行预处理,进入第(4)步,否则进入第(3)步;

(3) 对图像进行预处理,即根据自适应图像增强策略,选择改进的 Lee 方法或对数锐化法对图像进行增强;

(4) 对图像进行积分并计算每个像素点的 Hessian 响应,根据 Hessian 响应提取图像的特征点;

(5) 将图像的特征点与图像序列中前一幅图像的特征点进行匹配,得到图像的匹配点;

(6) 判断匹配点是否符合要求,其判断依据为:若在图像上能够找到 3 个匹配点,且这 3 个匹配点构成的三角形的每条边都不小于图像宽度的一半,则匹配点符合要求,进入第(8)步,否则进入第(7)步;

(7) 调整自适应图像增强策略,若后续连续两幅图像的匹配点不符合要求,则采用对数

锐化法对图像进行增强,否则采用改进的 Lee 方法对图像进行增强,调整后返回第(1)步;

(8)根据匹配点计算距离相关特征,在三个符合要求的匹配点构成的三角形 $\triangle P_1P_2P_3$ 的三条边外部作正三角形 $\triangle P_1AP_2$ , $\triangle P_2BP_3$ , $\triangle P_3CP_1$ ,得到三角形的三个顶点 A,B,C,以三角形 $\triangle ABC$ 的外接圆直径作为目标的距离相关特征;

(9)根据距离相关特征对目标进行测距,并结合目标角度信息以及系统自身空间位置信息,完成对目标的最终定位操作,完成后返回第(1)步。

5. 根据权利要求 4 所述的目标跟踪定位方法,其中第(4)步所述的根据 Hessian 响应提取图像的特征点,按如下步骤进行:

(4a)对于图像的每个像素点 $(i, j)$ ,计算该点的积分图像值 $I(i, j)$ :

$$I(i, j) = \sum_{m=0}^i \sum_{n=0}^j f(m, n),$$

其中 $m$ 和 $n$ 为求和运算的中间变量, $f(m, n)$ 为像素点 $(m, n)$ 的灰度值;

(4b)对于图像的每个像素点 $(i, j)$ ,利用相关积分图像数据进行三组高斯-拉普拉斯滤波,得到三个方向上的滤波响应 $D_{xx}(i, j)$ , $D_{yy}(i, j)$ , $D_{xy}(i, j)$ ;根据三个方向上的滤波响应,得到像素点 $(i, j)$ 的 Hessian 响应:

$$H(i, j) = D_{xx}(i, j) \times D_{yy}(i, j) - \omega^2 D_{xy}^2(i, j),$$

其中 $\omega^2$ 为权重系数,取值为 0.875;

(4c)根据像素点 $(i, j)$ 的 Hessian 响应 $H(i, j)$ 的大小判断该像素点是否为一个特征点:若 $H(i, j)$ 的绝对值大于预设的阈值 $T$ ,即 $|H(i, j)| > T$ ,且该点的 Hessian 响应的绝对值大于周围像素点的 Hessian 响应的绝对值,则该点为一个提取的特征点。

## 基于 FPGA 的嵌入式单目被动目标跟踪定位系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于光电探测技术领域,涉及一种基于 FPGA 实现的嵌入式单目被动目标跟踪定位系统及方法,可用于对面成像目标的定位和跟踪。

### 背景技术

[0002] 目标的跟踪定位主要涉及到对目标的测距。定位系统自身的位置可以通过 GPS 定位装置得到,目标相对定位系统的角度方位可以通过角度传感器得到,因此要对目标进行跟踪定位就要在一段时间内对其进行连续测距。被动测距由于不需要向目标发射探测信号,具有隐蔽性好的特点。单目测距相对于双目和多目测距具有实现方案简单的特点。单目被动测距的主要方法有图像分析法。图像分析法的原理是通过目标图像进行处理,提取和分析图像中的距离相关特征,并利用该特征对目标进行测距。目前这一领域比较有代表性的理论研究成果有以下几篇文献:[1]Lepetit V.,Fua P.:Monocular Model Based 3D Tracking Rigid Objects(2005),[2]Raghuveer R.,Seungsin L.:A Video Processing Approach for Distance Estimation(2006)和[3]de Visser M.:Passive Ranging Using an Infrared Search and Track Sensor(2006)。文献[1]提出了一种基于单目成像模型的 3D 重建方法,可用于对目标的跟踪定位,但是该方法由于涉及 3D 重建,因而较为复杂,不适用于嵌入式目标跟踪定位系统;文献[2]提出了一种利用目标成像的尺度变化和小波分析来估计目标距离的方法,但是该方法需要目标在成像尺度上发生变化,因而适用范围较小,实用性不强,同时计算也相对复杂;文献[3]提出了一种基于大气传输特性、目标成像面和目标运动分析的被动测距方法,但是由于该方法涉及的计算参数过多,因而较为复杂,不适合于在嵌入式设备上实现。此外,目前的单目被动目标跟踪定位方法在实际应用中都会遇到一些问题。首先是目标的成像过程容易受到背景光和噪声的干扰,导致无法从目标图像中提取出距离相关特征,定位过程的可靠性会受到影响;其次目标的跟踪对系统的实时性要求比较高,但由于目标图像中的距离相关特征的提取过程一般较复杂,而嵌入式设备的计算能力较为有限,因此单目被动目标跟踪定位方法不易在嵌入式设备上得到实时实现。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的在于针对上述现有技术的不足,提供一种基于 FPGA 的嵌入式单目被动目标跟踪定位系统及方法,以提升定位跟踪的可靠性和实时性。

[0004] 为实现上述目的,本发明基于 FPGA 的嵌入式单目被动目标跟踪定位系统,包括:

[0005] 目标成像装置,用于对目标进行光学成像;

[0006] 光电经纬仪,用于获得目标的角度方位信息;

[0007] GPS 定位装置,用于确定系统自身的空间位置;

[0008] FPGA 嵌入式处理单元,用于对目标的图像进行处理,提取距离相关特征并完成测距,进而对目标进行定位;

[0009] 所述的 FPGA 嵌入式处理单元,包括功能模块:

[0010] CPU 核心模块,用于控制和完成定位过程中的数学运算;

[0011] 系统存储器模块,用于存储 CPU 程序和数据,以及对运算过程中的临时数据进行缓存;

[0012] 积分图像模块,用于提取图像特征点时的积分操作,读入图像的灰度数据,输出积分图像数据;

[0013] Hessian 响应模块,用于在提取图像特征点时计算 Hessian 响应,即对于图像上的每个像素点, Hessian 响应模块读取该像素点的相关积分图像数据,输出该像素点的 Hessian 响应;

[0014] DMA 控制器模块,用于控制系统存储器模块和积分图像模块以及系统存储器模块和 Hessian 响应模块之间的数据传输。

[0015] 为实现上述目的,本发明基于 FPGi 的嵌入式单目被动目标跟踪定位方法,包括如下步骤:

[0016] (1) 对目标进行连续成像,得到目标图像序列,该图像序列的灰度格式为 8 位,分辨率为 256\*256,每次读取序列中的一幅图像计算其对比度  $\sigma^2$ ;

$$[0017] \quad \sigma^2 = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f(i, j) - \mu)^2,$$

[0018] 其中, M 和 N 分别为图像像素的行数和列数, (i, j) 表示横坐标为 i, 纵坐标为 j 的像素点, f(i, j) 是像素点 (i, j) 的灰度值,  $\mu$  为整幅图像的平均值;

[0019] (2) 根据计算得到的对比度  $\sigma^2$ , 决定是否对图像进行预处理, 若  $65 < \sigma^2 < 75$  则不需对图像进行预处理, 进入第(4)步, 否则进入第(3)步;

[0020] (3) 对图像进行预处理, 即根据自适应图像增强策略, 选择改进的 Lee 方法或对数锐化法对图像进行增强;

[0021] (4) 对图像进行积分并计算每个像素点的 Hessian 响应, 根据 Hessian 响应提取图像的特征点;

[0022] (5) 将图像的特征点与图像序列中前一幅图像的特征点进行匹配, 得到图像的匹配点;

[0023] (6) 判断匹配点是否符合要求, 其判断依据为: 若在图像上能够找到 3 个匹配点, 且这 3 个匹配点构成的三角形的每条边都不小于图像宽度的一半, 则匹配点符合要求, 进入第(8)步, 否则进入第(7)步;

[0024] (7) 调整自适应图像增强策略, 若后续连续两幅图像的匹配点不符合要求, 则采用对数锐化法对图像进行增强, 否则采用改进的 Lee 方法对图像进行增强, 调整后返回第(1)步;

[0025] (8) 根据匹配点计算距离相关特征, 在三个符合要求的匹配点构成的三角形  $\triangle P_1P_2P_3$  的三条边外部作正三角形  $\triangle P_1AP_2$ ,  $\triangle P_2BP_3$ ,  $\triangle P_3CP_1$ , 得到三角形的三个顶点 A, B, C, 以三角形  $\triangle ABC$  的外接圆直径作为目标的距离相关特征;

[0026] (9) 根据距离相关特征对目标进行测距, 并结合目标角度信息以及系统自身空间位置信息, 完成对目标的最终定位操作, 完成后返回第(1)步。

[0027] 本发明具有如下优点:

[0028] 第一, 本发明通过对图像进行自适应增强的预处理操作, 有效消除了目标成像过

程中的背景光和噪声干扰,增强后的图像的特征点匹配率较高且得到的匹配点能很好的符合要求,提升了定位过程的可靠性;

[0029] 第二,本发明通过选取适当的距离相关特征,降低了计算量,提升了跟踪定位速度。本发明在 FPGA 硬件电路上实现了积分图像操作和计算像素点的 Hessian 响应,进一步提升了计算距离相关特征的速度。本发明可以实现每秒完成对目标的 20 次定位,对目标进行跟踪定位的实时性较好。

#### 附图说明

[0030] 图 1 为本发明的定位系统结构图;

[0031] 图 2 为本发明的定位方法流程图;

[0032] 图 3 为本发明的定位方法中的距离相关特征示意图。

#### 具体实施方式

[0033] 参照图 1,本发明的定位系统包括目标成像装置 1、光电经纬仪 2、GPS 定位装置 3 和 FPGA 嵌入式处理单元 4。目标成像装置 1 使用 400 线或以上分辨率的黑白 CCD 摄像机,用于对目标进行光学成像;光电经纬仪 2 使用 DJ1 或以上等级的光电经纬仪,用于获得目标相对于系统的角度信息;GPS 定位装置 3 使用串口型通用 GPS 接收器,用于获得系统自身的空间位置信息。目标成像装置 1、光电经纬仪 2 和 GPS 定位装置 3 分别与 FPGA 嵌入式处理单元 4 连接,获得的目标图像、目标角度信息和系统自身的空间位置信息被传输到 FPGA 嵌入式处理单元 4 中。

[0034] FPGA 嵌入式处理单元 4 为系统的核心,用于对目标的图像进行处理,提取距离相关特征并完成测距,进而对目标进行定位。FPGA 嵌入式处理单元 4 的硬件由 AlteraEP3CLS150 或更高等级的 FPGA 芯片、512KB SRAM 存储器芯片和其他外围电路构成。

[0035] 所述 FPGA 嵌入式处理单元 4 包含以下几个功能模块:

[0036] CPU 核心模块 41,使用 Altera Nios II 软核 CPU 构建,是哈佛架构的精简指令集处理器,用于控制和定位过程中的数学运算;

[0037] 系统存储器模块 42,包括外部存储器和 FPGA 片上高速缓存。该外部存储器位于 SRAM 存储器芯片上,用于存储 CPU 的程序和数据。该 FPGA 片上高速缓存位于 FPGA 芯片上,用于存储处理过程中的临时数据,可以加快处理速度;

[0038] 积分图像模块 43,使用 Verilog 硬件描述语言开发,在 FPGA 硬件电路上实现了对图像的积分操作,该积分图像模块 43 用于读取图像的灰度数据,输出积分图像数据;

[0039] Hessian 响应模块 44,使用 Verilog 硬件描述语言开发,在 FPGA 硬件电路上实现计算像素点的 Hessian 响应。对于图像上的每个像素点,Hessian 响应模块 44 读取该像素点的相关积分图像数据,输出该像素点的 Hessian 响应,Hessian 响应是用于判断该像素点是否为一个特征点的数字量;

[0040] DMA 控制器模块 45,用于控制系统存储器模块 42 和积分图像模块 43,以及系统存储器模块 42 与 Hessian 响应模块 44 之间的数据传输。

[0041] 所述的 CPU 核心模块 41、系统存储器模块 42、积分图像模块 43、Hessian 响应模块 44 和 DMA 控制器模块 45 分别与 Avalon 总线相连接,互相之间的访问是通过 Avalon 总线进

行的。其中 Hessian 响应模块 44 通过流传输接口连接到 Avalon 总线,其他模块通过内存映射接口连接到 Avalon 总线。

[0042] 本发明的定位系统的工作原理是:目标成像装置 1 对目标进行连续成像,得到目标图像序列,FPGA 嵌入式处理单元 4 每次读取序列中的一幅图像存储在系统存储器模块 42 中。CPU 核心模块 41 读取系统存储器模块 42 中的图像并计算其对比度,并根据对比度大小判断是否需要图像进行预处理。DMA 控制器模块 45 控制积分图像模块 43 和 Hessian 响应模块 44 计算图像每个像素点的 Hessian 响应,CPU 核心模块 41 根据 Hessian 响应提取图像的特征点并与序列中前一幅图像的特征点进行匹配,得到图像的匹配点。CPU 核心模块 41 判断匹配点是否符合要求,其判断依据为:若能够找到 3 个图像的匹配点,且这 3 个匹配点构成的三角形的每条边都不小于图像宽度的一半,则匹配点符合要求。若匹配点不符合要求,则调整自适应图像增强策略;若匹配点符合要求,则根据匹配点计算距离相关特征,对目标进行测距,并结合从光电经纬仪 2 得到的目标角度信息和从 GPS 定位装置 3 得到的系统自身空间位置信息,完成对目标的定位。

[0043] 参照图 2,本发明的定位方法,其实现步骤如下:

[0044] 步骤 1 读取目标图像序列中的一幅图像并计算其对比度  $\sigma^2$ 。

[0045] 对目标进行连续成像,得到目标图像序列,该图像序列的灰度格式为 8 位,分辨率为  $256 \times 256$ ,每次读取序列中的一幅图像计算对比度  $\sigma^2$ ;

$$[0046] \quad \sigma^2 = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f(i, j) - \mu)^2,$$

[0047] 其中, M 和 N 分别是图像的行数和列数, (i, j) 表示横坐标为 i,纵坐标为 j 的像素点, f(i, j) 是像素点 (i, j) 的灰度值,  $\mu$  为整幅图像的平均值。

[0048] 步骤 2. 根据对比度  $\sigma^2$  的值确定是否需要图像进行预处理,若  $65 < \sigma^2 < 75$  则不需对图像进行预处理,进入步骤 4,否则进入步骤 3。

[0049] 步骤 3. 根据自适应图像增强策略,选择改进的 Lee 方法或对数锐化法对图像进行增强处理。

[0050] 步骤 4. 提取图像特征点。

[0051] (4.1) 对图像进行积分操作,计算每个像素点 (i, j) 的积分图像值 I(i, j):

$$[0052] \quad I(i, j) = \sum_{m=0}^i \sum_{n=0}^j f(m, n),$$

[0053] 其中 m 和 n 为求和运算的中间变量, f(m, n) 为像素点 (m, n) 的灰度值;

[0054] (4.2) 对于图像的每个像素点 (i, j),利用相关积分图像数据进行三组高斯-拉普拉斯滤波,得到三个方向上的滤波响应  $D_{xx}(i, j)$ ,  $D_{yy}(i, j)$ ,  $D_{xy}(i, j)$ ;根据三个方向上的滤波响应,得到像素点 (i, j) 的 Hessian 响应:

$$[0055] \quad H(i, j) = D_{xx}(i, j) \times D_{yy}(i, j) - \omega^2 D_{xy}^2(i, j),$$

[0056] 其中  $\omega^2$  为权重系数,取值为 0.875;

[0057] (4.3) 根据像素点 (i, j) 的 Hessian 响应 H(i, j) 的大小判断该像素点是否为一个特征点:若 H(i, j) 的绝对值大于预设的阈值 T,即  $|H(i, j)| > T$ ,且该点的 Hessian 响应的绝对值大于周围像素点的 Hessian 响应的绝对值,则该点为一个提取的特征点。

[0058] 步骤 5. 得到图像的特征点后,通过相关匹配法将其与图像序列中前一幅图像的

特征点进行匹配,得到图像的匹配点。

[0059] 步骤 6. 判断匹配点是否符合要求。

[0060] 其判断依据为:若在图像上能够找到 3 个匹配点,且这 3 个匹配点构成的三角形的每条边都不小于该图像宽度的一半,则匹配点符合要求,执行步骤 8;否则,匹配点不符合要求,执行步骤 7,否则。

[0061] 步骤 7. 调整自适应图像增强策略。

[0062] 自适应图像增强采用动态统计选优的策略,即默认选用改进的 Lee 图像增强法,并根据后续连续两幅图像的匹配点是否符合要求,来决定是否改变图像增强方法。若后续连续两幅图像与相应前一幅图像的匹配点不符合要求,则改用对数锐化法进行增强,调整后返回步骤 1。

[0063] 步骤 8. 根据匹配点计算距离相关特征。

[0064] 距离相关特征如图 3 所示,图 3 中  $P_1, P_2, P_3$  为三个符合要求的匹配点,在其构成的三角形  $\triangle P_1P_2P_3$  的三条边外部作正三角形  $\triangle P_1AP_2, \triangle P_2BP_3, \triangle P_3CP_1$ , 得到三角形的三个顶点 A, B, C, 以三角形  $\triangle ABC$  的外接圆直径作为目标的距离相关特征。

[0065] 步骤 9. 对目标进行测距并定位。

[0066] (9.1) 根据步骤 8 中得到的距离相关特征,通过基于光电成像的单站被动测距算法,得到目标的距离估计值,该基于光电成像的单站被动测距算法见文献《基于光电成像的单站被动测距》(付小宁,刘上乾;《光电工程》2007 年第 5 期);

[0067] (9.2) 根据目标的距离估计值,结合目标的角度信息,得到目标的相对空间位置;

[0068] (9.3) 根据目标的相对空间位置和通过 GPS 测量的本系统自身的空间位置信息,得到目标的绝对空间位置,从而完成对目标的定位;

[0069] (9.4) 由于目标处于运动状态,其位置实时发生变化,因此为了对目标进行实时跟踪定位,在本次定位操作完成后,返回步骤 1 继续进行定位操作。

[0070] 以上仅是本发明的两个优选实例,不构成对本发明的任何限制,显然在本发明的基础上可以进行适当的扩展和改进,但这些都属于本发明的权利保护范围。



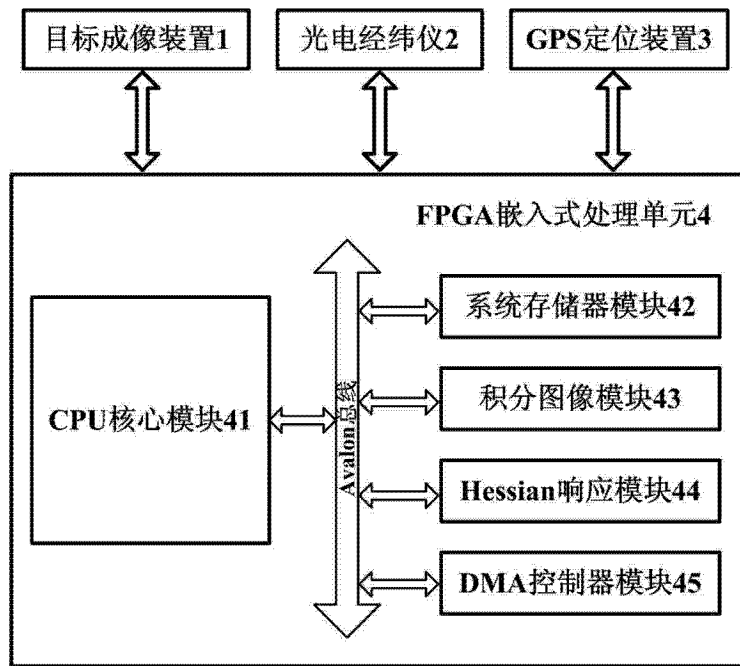


图 1

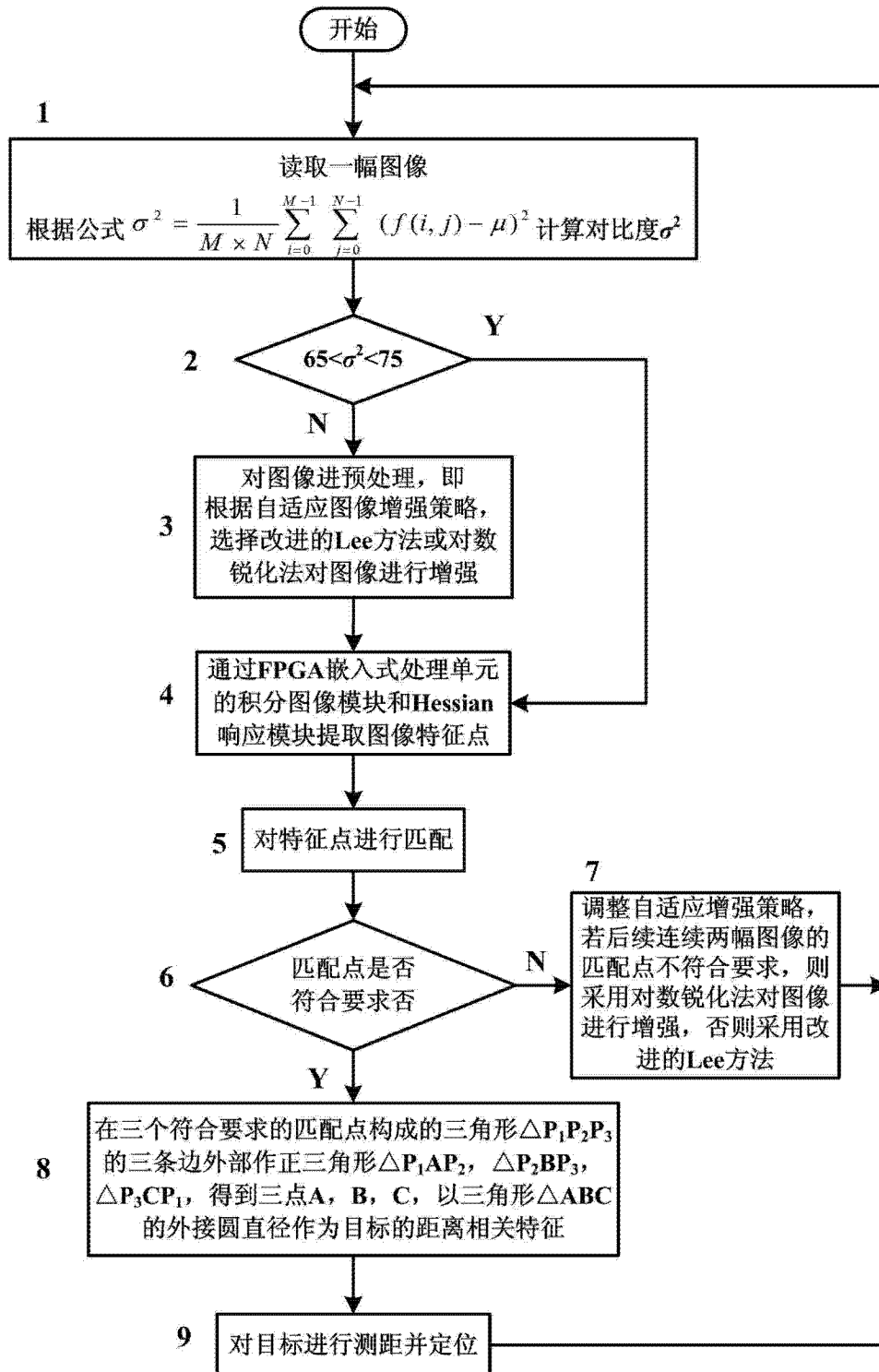


图 2

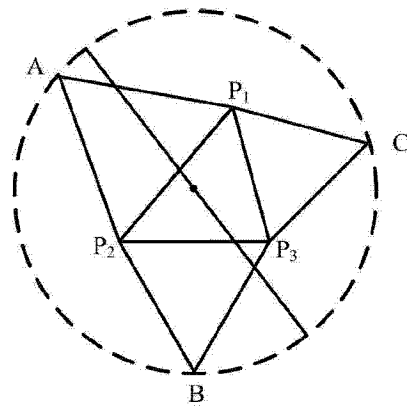


图 3