



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110662164 A

(43)申请公布日 2020.01.07

(21)申请号 201910912423.3

(22)申请日 2019.09.25

(71)申请人 太原科技大学

地址 030000 山西省太原市万柏林区瓦流  
路66号

(72)发明人 乔建华 张雪英 高巨帅 胡远  
张兵 侯筠

(74)专利代理机构 太原景誉专利代理事务所  
(普通合伙) 14113

代理人 郑景华

(51)Int.Cl.

H04W 4/02(2018.01)

H04W 64/00(2009.01)

H04W 84/18(2009.01)

G01S 11/06(2006.01)

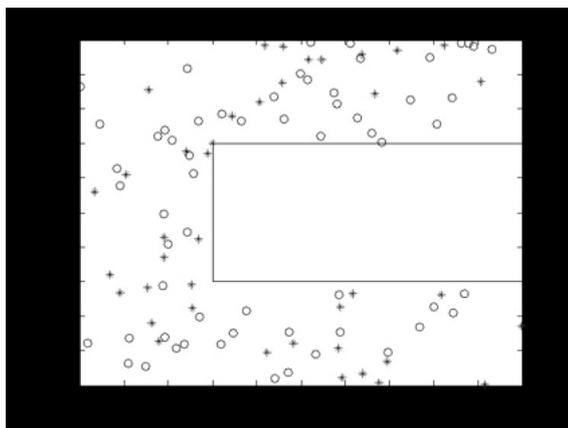
权利要求书2页 说明书6页 附图12页

### (54)发明名称

一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法

### (57)摘要

本发明公开了一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法,包括以下步骤:(1)确定通信半径、传播模型和三个邻居信标节点;(2)将信标节点接收的信号强度指示转化为未知节点到信标节点的距离;(3)采用三边测量法计算未知节点的坐标 $(x,y)$ ; (4)对于通信半径内信标节点小于三个的其他未知节点,将步骤(3)定位到的节点作为新的信标节点定位其他未知节点;(5)重复上述步骤,即可实现传感器网络内所有节点的精准定位。本发明所提供的基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法不受初始设置的信标节点数量的限制,无论初始设置的信标节点占比为多少,只要满足能够让该算法运行起来的信标节点数量便可以定位出具有连通性的同一网络范围内的全部节点。



1. 一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 确定通信半径、传播模型及三个邻居信标节点A( $x_a, y_a$ )、B( $x_b, y_b$ )和C( $x_c, y_c$ ),未知节点D;

(2) 根据信标节点A、B、C接收的信号强度指示(RSSI)分别计算未知节点到信标节点A的距离 $d_a$ 、到信标节点B的距离 $d_b$ 和到信标节点C的距离 $d_c$ :

$$d = d_0 - 10^{\frac{P(d_0) - P(d)}{10n}}$$

其中, $P_R(d)$ 为接收信号功率,单位为dBm; $P(d_0)$ 为无线收发节点相距 $d_0$ m时,接收节点接收信号的强度值,单位为dBm; $n$ 为路径损耗指数; $d$ 为发送端和接收端的距离。 $P(d_0) = P_T - PL(d_0)$ , $P_T$ 为发送信号功率, $PL(d_0)$ 为参考距离 $d_0$ 的损耗路径功率。对于确定的场景和节点位置, $P_T$ 和 $PL(d_0)$ 是确定的。 $d_0$ 可设为1m,则可测量得到收发节点相距1米时的 $P(d_0)$ ,以及各个信标节点接收的信号强度指示值 $P_R(d)$ ,即可求出各信标节点到未知节点的距离;

路径损耗指数 $n$ 可取值2~4,为提高环境经验值的精度,降低RSSI值到距离的转换精度,可通过对信标节点的RSSI值的测量取得参数 $n$ 。设信标节点A<sub>1</sub>和A<sub>2</sub>接收到固定节点A<sub>0</sub>的信号

强度平均值为 $P_1$ 和 $P_2$ ,信标节点A<sub>1</sub>和A<sub>2</sub>到固定节点A<sub>0</sub>的距离为 $d_1$ 和 $d_2$ ,则根据  $P_R(d) = \frac{P(d_0)}{\left(\frac{d}{d_0}\right)^n}$ ,

又  $10 \lg P(d) = RSSI$ , 则

$$n = \frac{\lg \frac{P_1}{P_2}}{\lg \frac{d_2}{d_1}}$$

(3) 设未知节点D的坐标为( $x, y$ ),则A( $x_a, y_a$ )、B( $x_b, y_b$ )、C( $x_c, y_c$ )、D( $x, y$ )、 $d_a$ 、 $d_b$ 和 $d_c$ 之间的存在如下关系:

$$\begin{cases} \sqrt{(x-x_a)^2 + (y-y_a)^2} = d_a \\ \sqrt{(x-x_b)^2 + (y-y_b)^2} = d_b; \\ \sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2} = d_c \end{cases}$$

(4) 通过步骤(3)中的公式可以求解D的坐标( $x, y$ )为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_a - x_c) & 2(y_a - y_c) \\ 2(x_b - x_c) & 2(y_b - y_c) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_a^2 - x_c^2 + y_a^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_a^2 \\ x_b^2 - x_c^2 + y_b^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_b^2 \end{bmatrix};$$

(5) 对于通信半径内信标节点小于三个的未知节点E,将步骤(4)定位到的节点D作为新的信标节点定位未知节点E;

(6) 将步骤(1)、步骤(2)、步骤(3)、步骤(4)和步骤(5)多次重复,即可实现监测区域内具有连通性的无线传感器网络中所有节点的精准定位。

2. 根据权利要求1所述的一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法,其特征在

于,本发明公开的一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法通过MATLAB进行仿真。在应用系统设计中,可采用CC2530芯片,它内部含有RSS模块,可以直接得到RSSI值,便于应用。

3. 根据权利要求2所述的一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法,其特征在于,所述MATLAB仿真过程中设定的通信模型为Regular Model、DOI Model、Logarithmic Attenuation Model和RIM Model中的一种。Logarithmic Attenuation Model不需要参数,DOI Model需要参数,这两种是不规则模型,RIM Model是极不规则模型。

## 一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及网络定位算法技术领域,具体涉及一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法。

### 背景技术

[0002] 无线通信、微电子和计算机技术的发展,使得低能耗多用途传感器被各个领域广泛的应用,无线传感器网络(WSN)由大量价格低廉、体积微小的传感器节点组成,这些传感器节点被放置在被监测范围中,利用无线通信自组织成为具有多跳的系统,WSN能够感应、获取被监测范围内的数据,并将这些数据发送给监测人员,传感技术的任务是获取数据,通信技术的任务发送数据,计算机技术的任务是分析处理数据,在真实的应用环境中,获得数据会遇到以下难题:定位不准确、获取信息的面积过大、障碍物影响传输精度等难题。

[0003] 无线传感器网络的节点位置信息对传感器网络的监测活动至关重要,传感器节点首先必须知道自己的地理位置信息,其传送的数据才有意义,定位信息除了用作报告事件发生的地点外,还可以进行目标实时跟踪、监测目标的行动路线、预测目标的前进轨迹等,因此在传感器网络中,传感器节点的精准、快速定位对各种应用有着重要作用。

[0004] 一般情况下,如果在无线传感器网络中的节点配备了全球定位系统(GPS),那么在几米的精度内确定其自身位置是有可能的,但是在实际情况中,在涉及数个节点的WSN中使用GPS是不合适的,第一个原因是,GPS接收器很昂贵,且每个节点都配置GPS会增加网络部署的成本,第二个原因是,每个节点都使用GPS不是一种节能的方法,因为这些网络本身就有能量限制,GPS室内环境也不适用,且较大建筑物等环境因素也会影响GPS的性能,考虑到传感器节点在价格、环境、体积、能量等方面的因素,可知GPS不适用于WSN,设计出适合WSN中使用的定位算法就显得尤为重要了。

[0005] 现有的网络定位算法主要分为基于测距的算法和非基于测距的算法,基于测距的算法有三边测量法,非基于测距的算法包括质心算法、包围盒算法、GirdScan、APIT算法等,在WSN中,节点可以通过使用外部辅助定位或者自我定位技术来确定自己的地理位置,在这种网络中,大多数的节点都是静态的,并且可以在网络的初始化阶段就可以确定其位置。在WSN中,比较通用的方法是三边测量法和三角测量法,这些方法利用到了3个或者4个信标节点的相对测量来计算节点的位置信息,其他的方法有包围盒算法、多维尺度分析法和基于跳跃计数的方法。

[0006] 每个传感器节点都会有一个接收方,那么这个接收方可以用来测量任意两个节点的距离,而距离的计算共有两种类型,第一种是基于接收信号强度的指示(RSSI),而另一种便是基于跳变数。

[0007] RSSI是指接收信号强度指示,当有信号通过介质进行传输时,无线电的信号能量也会随之降低。其强度的衰减和传播距离的平方成正比。因此,接收方可以通过接收端和信号源端的信号强度来估计自身与信号发送端的距离。距离和接收功率的关系可以通过

$P_r = kd^{-n}$  得出,其中  $P_r$  是接收信号的功率,k依赖于频率和传输功率, $k=P_T-PL(d_0)$ ,d是接收

方与发送方的距离, $n$ 是衰减指数。

[0008] 基于RSSI测距技术的三边测量法最大的限制便是总节点密度问题以及信标节点占比。总节点密度问题很好理解,每一个传感器节点都有自己的通信范围,一旦超出了这个范围,就无法联系起来,而增大节点密度便会减小任意两个节点之间的距离,因此增大密度就使得定位到的节点增多。由于三边测量法是利用3个信标节点去定位的,因此提高信标节点占比会提高其定位效率,同时也由于该算法是用信标节点去测量其它未知节点的,一旦未知节点附近没有3个信标节点就造成了会有部分未知节点无法定位。综上所述,对于信标节点占比一定的无线传感器网络,RSSI方法定位误差小,但未定位出的节点数比较多。

[0009] 将RSSI算法与其它定位算法Mds-map算法、包围盒算法、质心算法、Grid Scan算法、DV-Hop算法、Amorphous算法、APIT算法在不同总节点密度和不同信标节点占比的情况下,比较其定位误差和未定位节点数的结果如图1和图2所示,可见:

(1) 基于RSSI测距技术的三边测量法无论总节点密度或者信标节点占比的变化,其定位误差均无限接近于0。可以发现该算法虽然能精准定位到未知节点,但是却存在大量的节点定位不到,而随着其总节点密度以及信标节点比例的增加其定位不到的节点总数量在下降,到最后全部能定位到所有节点。因此可以认为其是一个精准度很高的定位算法。

[0010] (2) Mds-map算法则是当其密度大于或等于200总节点时,该算法无论其信标节点占比为多大比例,其定位误差都很小。而在其密度为100总节点时,则是信标节点占比为0.3比例时定位误差小。且该算法均能定位到被监测范围内的所有节点。该算法在密度达到200总节点时,可以认为是一个定位精度很高的算法。但该算法复杂度较高。

[0011] (3) 包围盒算法总体上来看,随着总节点密度的提升,该算法的定位精度在逐渐提高,反而其受不同信标节点占比影响较低。说明提升该算法定位精度最有效的方法便是提高其被监测范围内的总节点密度。而几乎在任何状态下都存在其定位不到的节点,而且该算法在同等总节点密度下,随着信标节点占比的增加,其定位不到的节点数量在逐渐增加。说明该算法依赖于信标节点的比例,提高其信标节点占比可以提高其定位节点的能力。

[0012] (4) 质心算法在200总节点密度时信标节点占比为0.5时达到最佳效果,此后增加其总结点的数量或者增加其信标节点占比其定位误差最多维持在了0.22左右,且该算法是不需要测距的算法,且能定位到被监测范围中所有节点。但要求总节点数和信标节点占比高。

[0013] (5) Grid Scan算法在300总节点密度时信标节点占比为0.6时达到该算法的最佳效果。但考虑到成本问题,且该算法在200总节点信标节点占比为0.5时定位误差与该算法最佳定位误差相差不多,且该算法比质心算法效果更好。但是该算法在100总节点密度时会有部分定位不到的节点,当总节点密度增加时,该算法能定位到所有节点。

[0014] (6) DV-Hop算法是在300总节点密度信标节点占比为0.5时达到该算法的最佳效果,该算法唯一的优点便是能定位到被监测范围内的所有节点,但相比较于其他算法该算法的定位误差较大。

[0015] (7) Amorphous算法则是在400总节点密度信标节点占比为0.2时达到了该算法的最佳效果,但其定位误差仍较大,该算法与dv-hop算法算法类似。

[0016] (8) APIT算法在400总节点密度信标节点占比为0.4时达到了最佳效果,但是该算法仍是这几个算法当中定位误差最大的那个,同时,该算法在定位不到节点的数量上和基

于RSSI测距的三边测量法类似,却远不如RSSI测距的三边测量法定位精准。

[0017] 通过上述分析可见基于RSSI测距技术的三边测量法定位精度最高,同时该算法受地形的影响较小,但该算法存在大量定位不到的节点。

### 发明内容

[0018] 本发明的目的就是针对RSSI算法定位精度高,但未定位节点数多的问题,提供了一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法。

[0019] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法,包括以下步骤:

(1) 确定通信半径、传播模型及三个邻居信标节点A( $x_a, y_a$ )、B( $x_b, y_b$ )和C( $x_c, y_c$ ),未知节点D;

(2) 根据信标节点A、B、C接收的信号强度指示(RSSI)分别计算未知节点到信标节点A的距离 $d_a$ 、到信标节点B的距离 $d_b$ 和到信标节点C的距离 $d_c$ ;

$$d = d_0 - 10 \frac{P(d) - P(d_0)}{10n}$$

其中, $P_R(d)$ 为接收信号功率,单位为dBm; $P(d_0)$ 为无线收发节点相距 $d_0$ m时,接收节点接收信号的强度值,单位为dBm; $n$ 为路径损耗指数; $d$ 为发送端和接收端的距离。 $P(d_0) = P_T - PL(d_0)$ , $P_T$ 为发送信号功率, $PL(d_0)$ 为参考距离 $d_0$ 的损耗路径功率。对于确定的场景和节点位置, $P_T$ 和 $PL(d_0)$ 是确定的。 $d_0$ 可设为1m,则可测量得到收发节点相距1米时的 $P(d_0)$ ,以及各个信标节点接收的信号强度指示值 $P_R(d)$ ,即可求出各信标节点到未知节点的距离。

[0020] 路径损耗指数 $n$ 可取值2~4,为提高环境经验值的精度,降低RSSI值到距离的转换精度,可通过对信标节点的RSSI值的测量取得参数 $n$ 。设信标节点 $A_1$ 和 $A_2$ 接收到固定节点 $A_0$ 的信号强度平均值为 $P_1$ 和 $P_2$ ,信标节点 $A_1$ 和 $A_2$ 到固定节点 $A_0$ 的距离为 $d_1$ 和 $d_2$ ,则根据

$$P_R(d) = \frac{P(d_0)}{\left(\frac{d}{d_0}\right)^n}, \text{ 又 } 10 \lg P(d) = \text{RSSI}, \text{ 则}$$

$$n = \frac{\lg \frac{P_1}{P_2}}{\lg \frac{d_2}{d_1}}。$$

[0021] (3) 设未知节点D的坐标为( $x, y$ ),则A( $x_a, y_a$ )、B( $x_b, y_b$ )、C( $x_c, y_c$ )、D( $x, y$ )、 $d_a$ 、 $d_b$ 和 $d_c$ 之间的存在如下关系:

$$\begin{cases} \sqrt{(x-x_a)^2 + (y-y_a)^2} = d_a \\ \sqrt{(x-x_b)^2 + (y-y_b)^2} = d_b ; \\ \sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2} = d_c \end{cases}$$

(4) 通过步骤(3)中的公式可以求解D的坐标( $x, y$ )为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_a - x_c) & 2(y_a - y_c) \\ 2(x_b - x_c) & 2(y_b - y_c) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_a^2 - x_c^2 + y_a^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_a^2 \\ x_b^2 - x_c^2 + y_b^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_b^2 \end{bmatrix};$$

(5) 对于通信半径内信标节点小于三个的未知节点E,将步骤(4)定位到的节点D作为新的信标节点定位未知节点E;

(6) 将步骤(1)、步骤(2)、步骤(3)、步骤(4)和步骤(5)多次重复,即可实现监测区域内具有连通性的无线传感器网络中所有节点的精准定位。

[0022] 进一步的,本发明公开的一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法通过MATLAB进行仿真。

[0023] 进一步的,所述MATLAB仿真过程中设定的通信模型为Regular Model、DOI Model、Logarithmic Attenuation Model和RIM Model中的一种。

[0024] 本发明的有益效果是:本发明公开的基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法将已经定位出来的未知节点去当做新的信标节点去定位其它未被定位出来的未知节点,节省了信标节点的数量,除了最开始设置的信标节点外,其它未知节点只要被定位出来就是新的信标节点,那么信标节点的占比将有可能达到100%,意味着所有的节点都会被精准的定位出来,同时该算法将不受初始设置的信标节点数量的限制,无论初始设置的信标节点占比为多少,只要给足能够让该算法运行起来的信标节点数量便可以达到同样的效果。

## 附图说明

[0025] 图1为各算法在不同总节点密度不同信标节点占比下的定位误差图。

[0026] 图2为各算法在不同密度不同信标节点占比下无法被定位到的节点数量图。

[0027] 图3为MATLAB仿真中100个节点0.2信标节点占比的节点分布图。

[0028] 图4为MATLAB仿真中100个节点0.2信标节点占比的RSSI定位效果图。

[0029] 图5为MATLAB仿真中100个节点0.2信标节点占比的E-RSSI定位效果图。

[0030] 图6为MATLAB仿真中100个节点0.4信标节点占比的节点分布图。

[0031] 图7为MATLAB仿真中100个节点0.4信标节点占比的RSSI定位效果图。

[0032] 图8为MATLAB仿真中100个节点0.4信标节点占比的E-RSSI定位效果图。

[0033] 图9为MATLAB仿真中100个节点0.4信标节点占比在C型区域的RSSI定位效果图。

[0034] 图10为MATLAB仿真中100个节点0.4信标节点占比在C型区域的E-RSSI定位效果图。

[0035] 图11为MATLAB仿真中121个节点0.4信标节点占比在网格型区域的RSSI定位效果图。

[0036] 图12为MATLAB仿真中121个节点0.4信标节点占比在网格型区域的E-RSSI定位效果图。

[0037] 图13为MATLAB仿真中100个节点0.4信标节点占比在网格C型区域的RSSI定位效果图。

[0038] 图14为MATLAB仿真中100个节点0.4信标节点占比在网格C型区域的E-RSSI定位效果图。

[0039] 图15为RSSI算法与E-RSSI算法无法被定位到节点数量的总体对比图。

### 具体实施方式

[0040] 下面的实施例可以使本领域技术人员更全面地理解本发明,但不以任何方式限制本发明。

[0041] 一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法,包括以下步骤:

(1) 确定通信半径、传播模型及三个邻居信标节点A $(x_a, y_a)$ 、B $(x_b, y_b)$ 和C $(x_c, y_c)$ ,未知节点D;

(2) 根据信标节点A、B、C接收的信号强度指示(RSSI)分别计算未知节点到信标节点A的距离 $d_a$ 、到信标节点B的距离 $d_b$ 和到信标节点C的距离 $d_c$ :

$$d = d_0 - 10 \frac{P(d_0) - P(d)}{10n}$$

其中, $P_R(d)$ 为接收信号功率,单位为dBm; $P(d_0)$ 为无线收发节点相距 $d_0$ m时,接收节点接收信号的强度值,单位为dBm; $n$ 为路径损耗指数; $d$ 为发送端和接收端的距离。 $P(d_0) = P_T - PL(d_0)$ , $P_T$ 为发送信号功率, $PL(d_0)$ 为参考距离 $d_0$ 的损耗路径功率。对于确定的场景和节点位置, $P_T$ 和 $PL(d_0)$ 是确定的。 $d_0$ 可设为1m,则可测量得到收发节点相距1米时的 $P(d_0)$ ,以及各个信标节点接收的信号强度指示值 $P_R(d)$ ,即可求出各信标节点到未知节点的距离。

[0042] 路径损耗指数 $n$ 可取值2~4,为提高环境经验值的精度,降低RSSI值到距离的转换精度,可通过对信标节点的RSSI值的测量取得参数 $n$ 。设信标节点A $_1$ 和A $_2$ 接收到固定节点A $_0$ 的信号强度平均值为 $P_1$ 和 $P_2$ ,信标节点A $_1$ 和A $_2$ 到固定节点A $_0$ 的距离为 $d_1$ 和 $d_2$ ,则根据

$$P_R(d) = \frac{P(d_0)}{\left(\frac{d}{d_0}\right)^n}, \text{ 又 } 10 \lg P(d) = \text{RSSI}, \text{ 则}$$

$$n = \frac{\lg \frac{P_1}{P_2}}{\lg \frac{d_2}{d_1}}。$$

[0043] (3) 设未知节点D的坐标为 $(x, y)$ ,则A $(x_a, y_a)$ 、B $(x_b, y_b)$ 、C $(x_c, y_c)$ 、D $(x, y)$ 、 $d_a$ 、 $d_b$ 和 $d_c$ 之间的存在如下关系:

$$\begin{cases} \sqrt{(x-x_a)^2 + (y-y_a)^2} = d_a \\ \sqrt{(x-x_b)^2 + (y-y_b)^2} = d_b ; \\ \sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2} = d_c \end{cases}$$

(4) 通过步骤(3)中的公式可以求解D的坐标 $(x, y)$ 为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_a - x_c) & 2(y_a - y_c) \\ 2(x_b - x_c) & 2(y_b - y_c) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_a^2 - x_c^2 + y_a^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_a^2 \\ x_b^2 - x_c^2 + y_b^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_b^2 \end{bmatrix};$$

(5) 对于通信半径内信标节点小于三个的未知节点E,将步骤(4)定位到的节点D作为新的信标节点定位未知节点E;

(6) 将步骤(1)、步骤(2)、步骤(3)、步骤(4)和步骤(5)多次重复,即可实现监测区域内具有连通性的无线传感器网络中所有节点的精准定位。

[0044] 本优选实施例中,本发明公开的一种基于E-RSSI的无线传感器网络精准定位算法通过MATLAB进行仿真。

[0045] 本优选实施例中,所述MATLAB仿真过程中设定的通信模型为Regular Model、DOI Model、Logarithmic Attenuation Model和RIM Model中的一种。

[0046] 在应用系统设计中,可采用CC2530芯片,它内部含有RSS模块,可以直接得到RSSI值,便于应用。

[0047] 图1和图2可见,RSSI算法与Mds-map算法、DV-Hop算法等其它7种定位算法在不同总节点密度和不同信标节点占比的情况下比较,RSSI的定位误差较小,但未定位节点数最高。

[0048] 图3、图4和图5对比可知,在100总节点0.2信标节点占比下,使用原算法有57个不能被定位的未知节点,其定位误差为 $3.0495e-15$ ,使用本申请改进后的算法有1个不能被定位的未知节点,其定位误差为 $1.5545e-14$ ,由此可以看出在0.2信标节点占比时改进后的算法可以定位到被监测区域中所有节点,其定位精度比原算法略低,但也是非常精确的,远超其他算法。

[0049] 图6、图7和图8对比可知,在100总节点0.4信标节点占比下,使用原算法有14个不能被定位的未知节点,其定位误差为 $1.8901e-15$ ,使用本申请改进后的算法有3个不能被定位的未知节点,其定位误差为 $2.0059e-15$ ,由此可以看出在0.4信标节点占比时改进后的算法可以定位到被监测区域中所有节点,其定位精度比原算法略低,但也是非常精确的,远超其他算法。

[0050] 图9、图10、图11、图12、图13和图14对比可知,本申请改进后的算法在C型区域、网格型区域以及网格C型区域中仍然适用,其在C型区域中的效果好于网格区域中的效果。

[0051] 本领域技术人员应理解,以上实施例仅是示例性实施例,在不背离本发明的精神和范围的情况下,可以进行多种变化、替换以及改变。

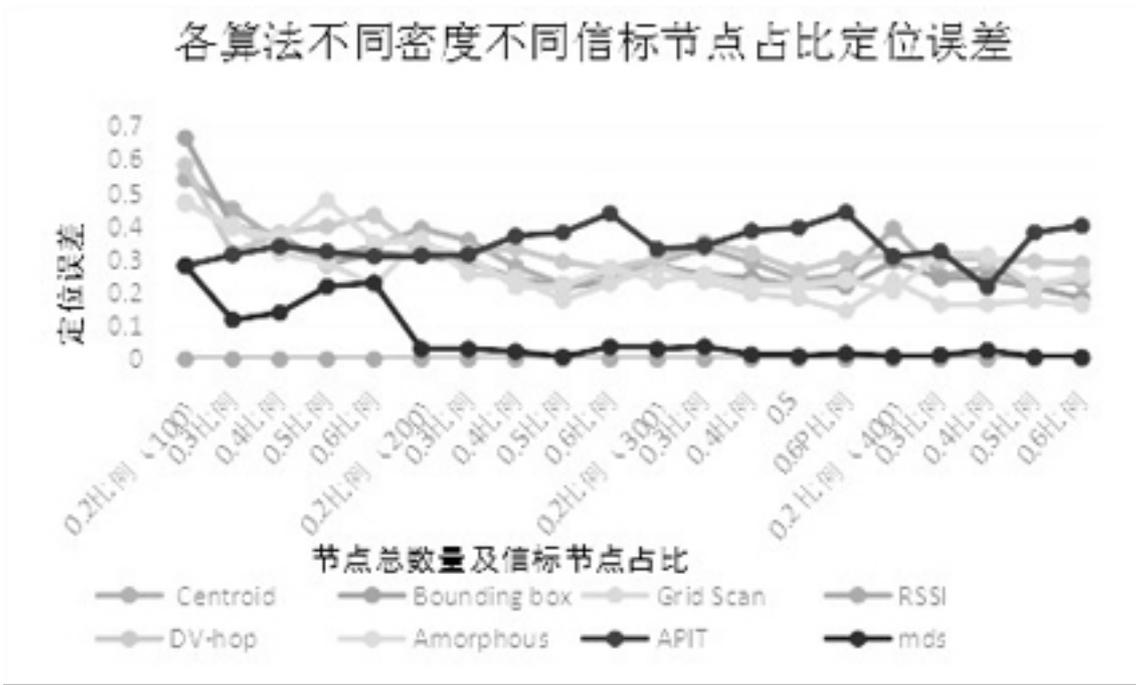


图 1

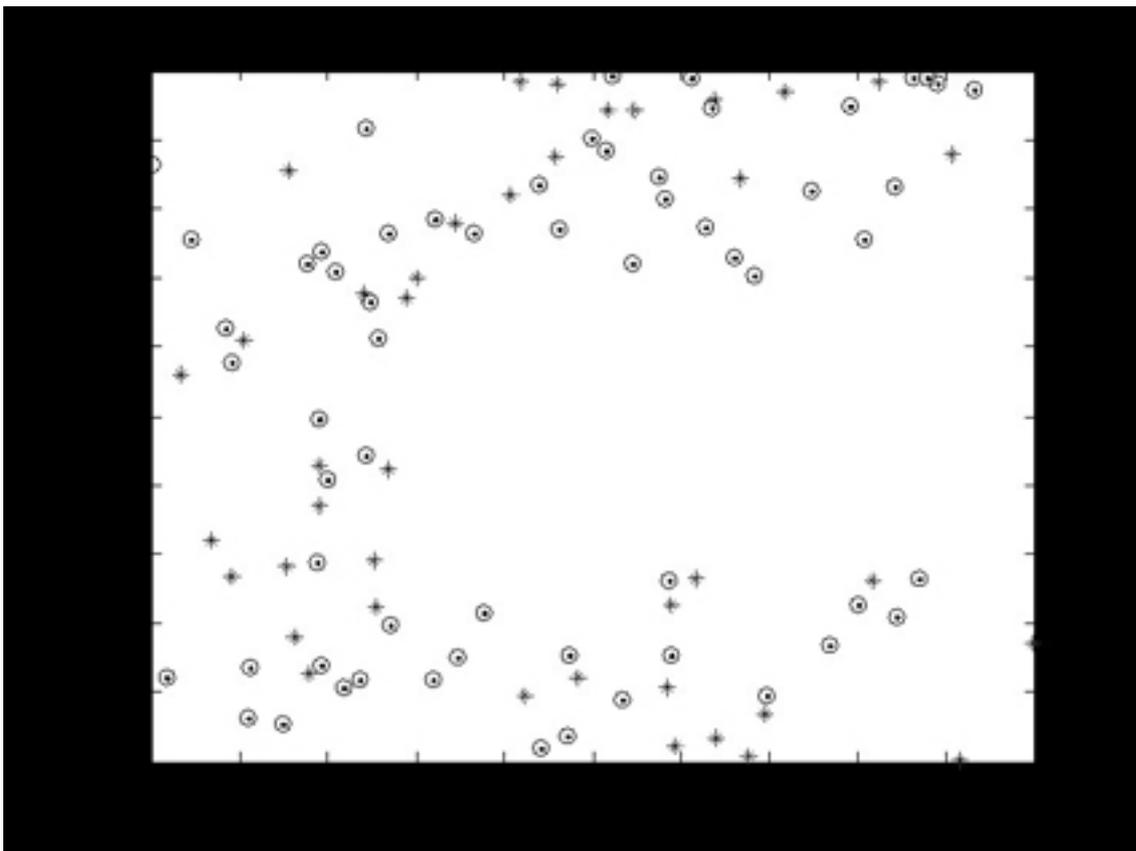


图 2

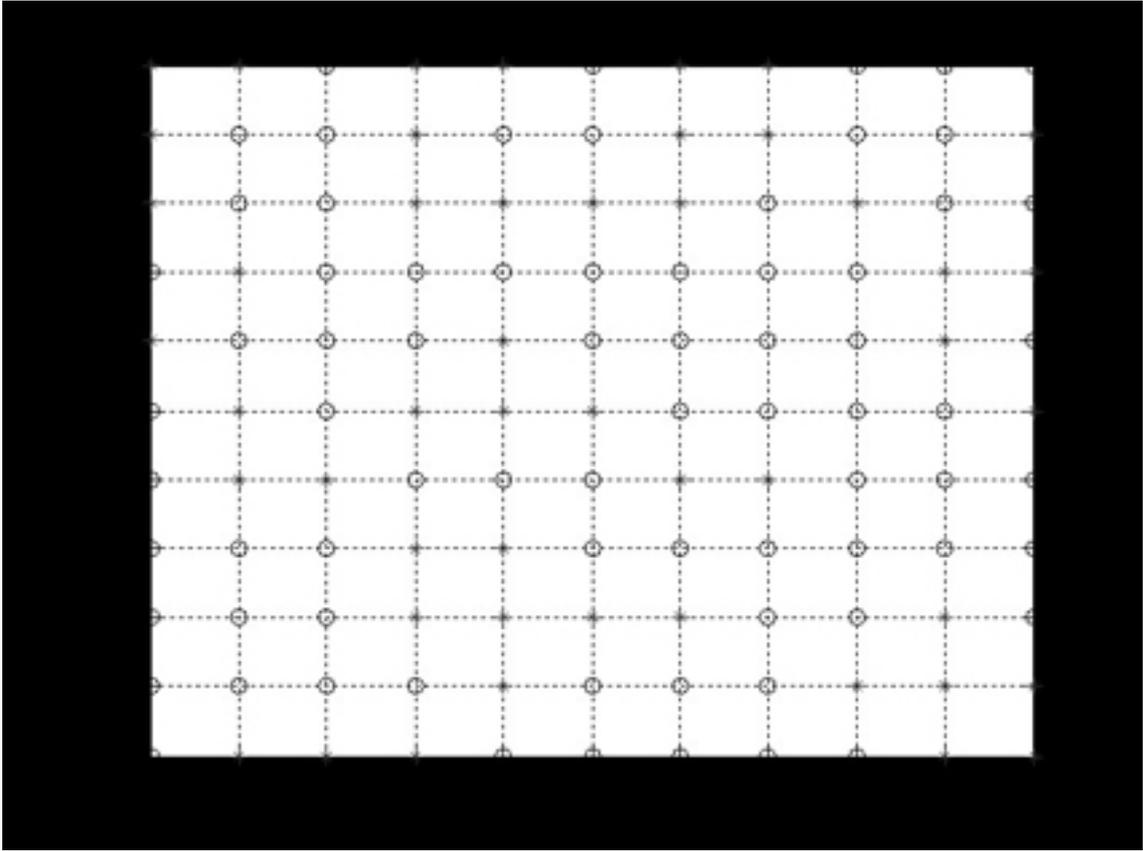


图 3

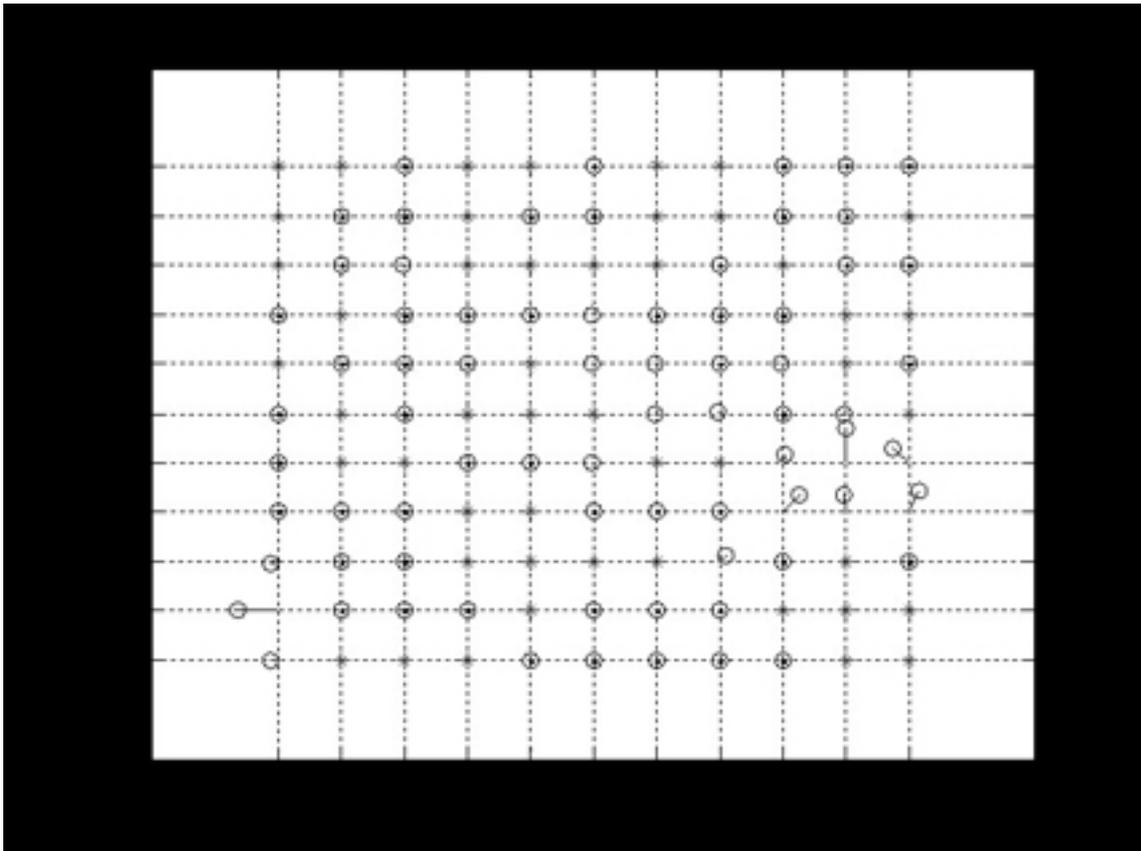


图 4

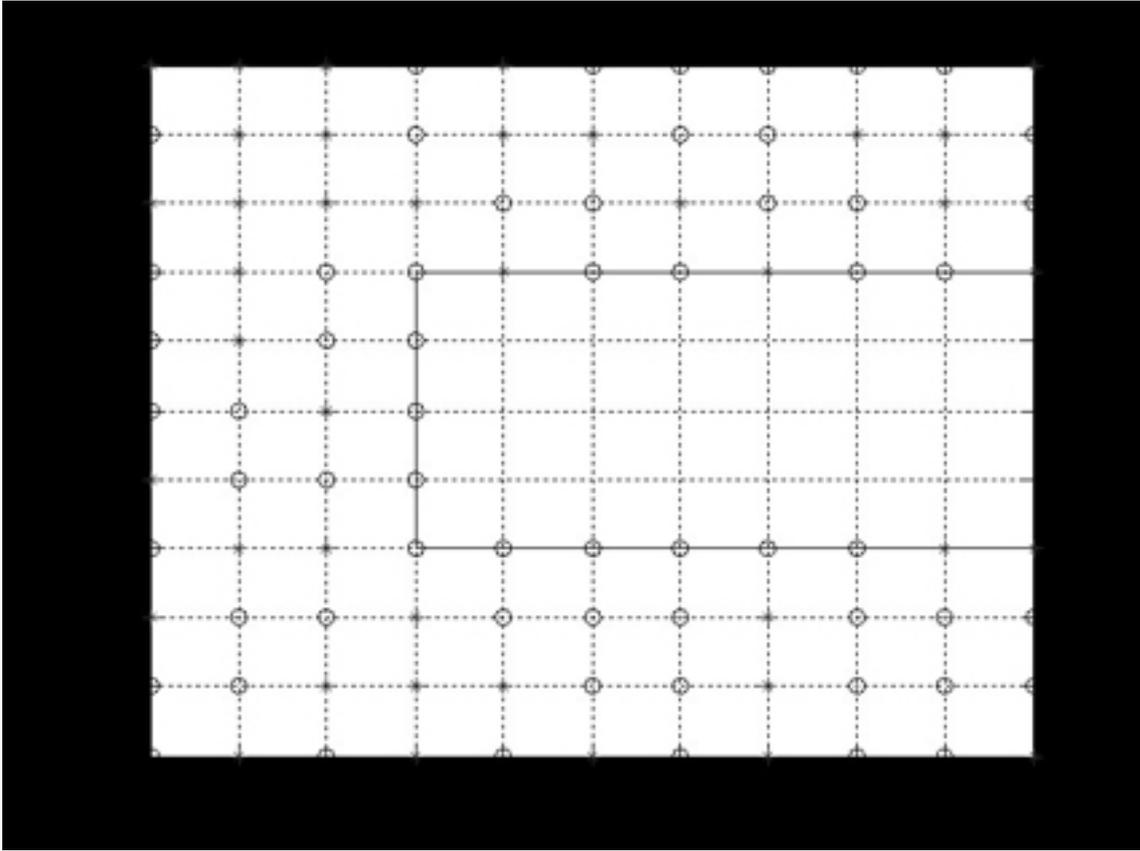


图 5

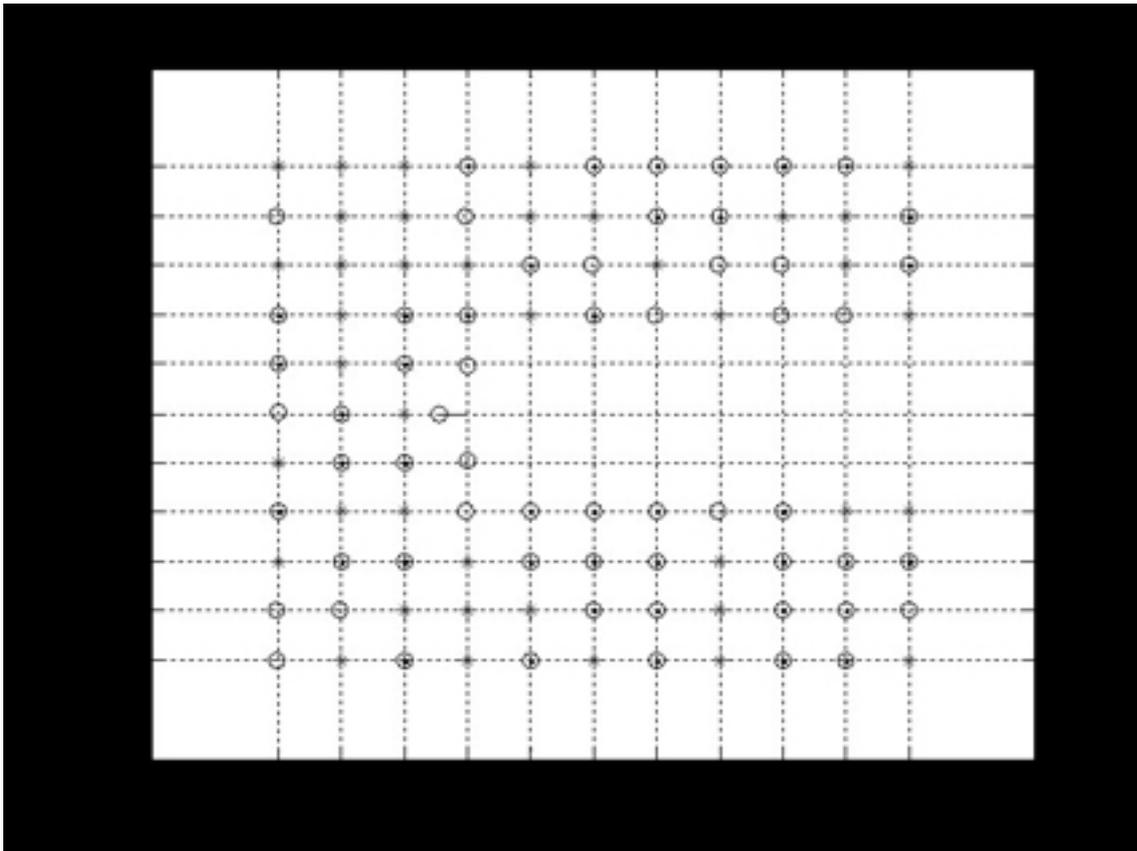


图 6

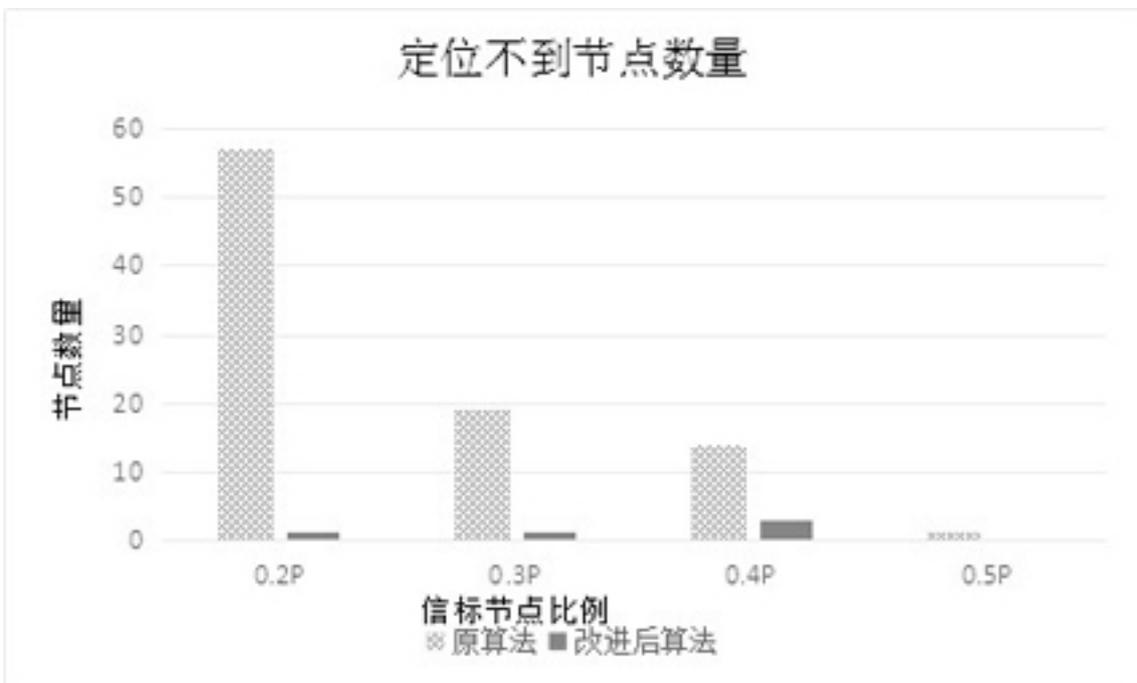


图 7

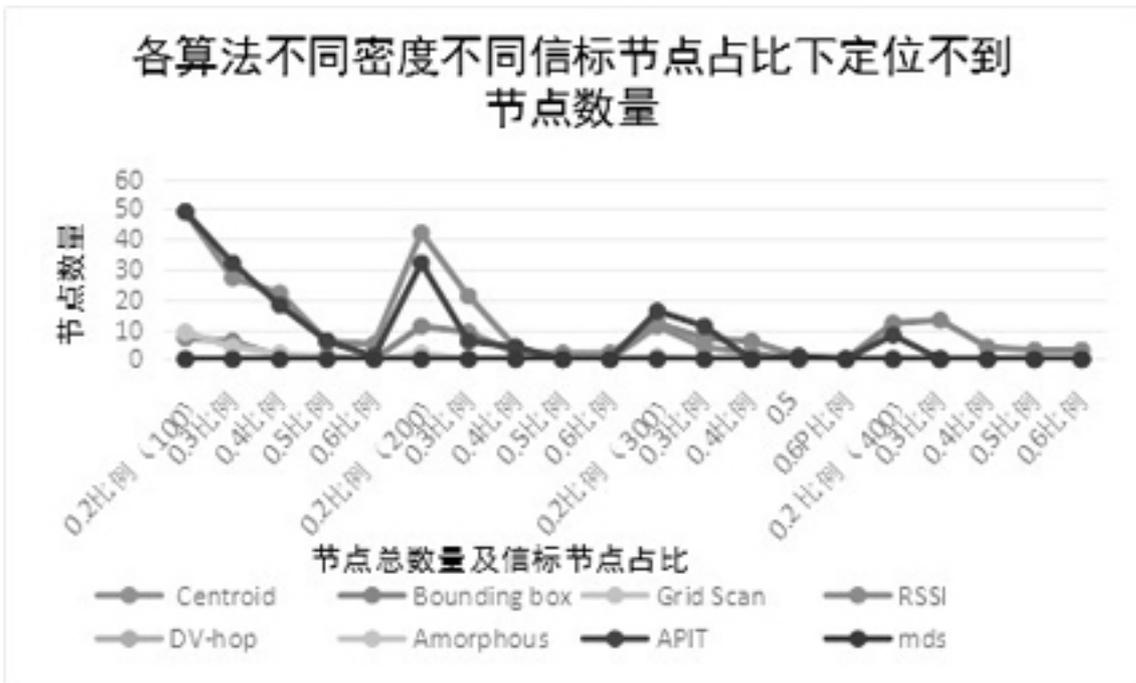


图 8

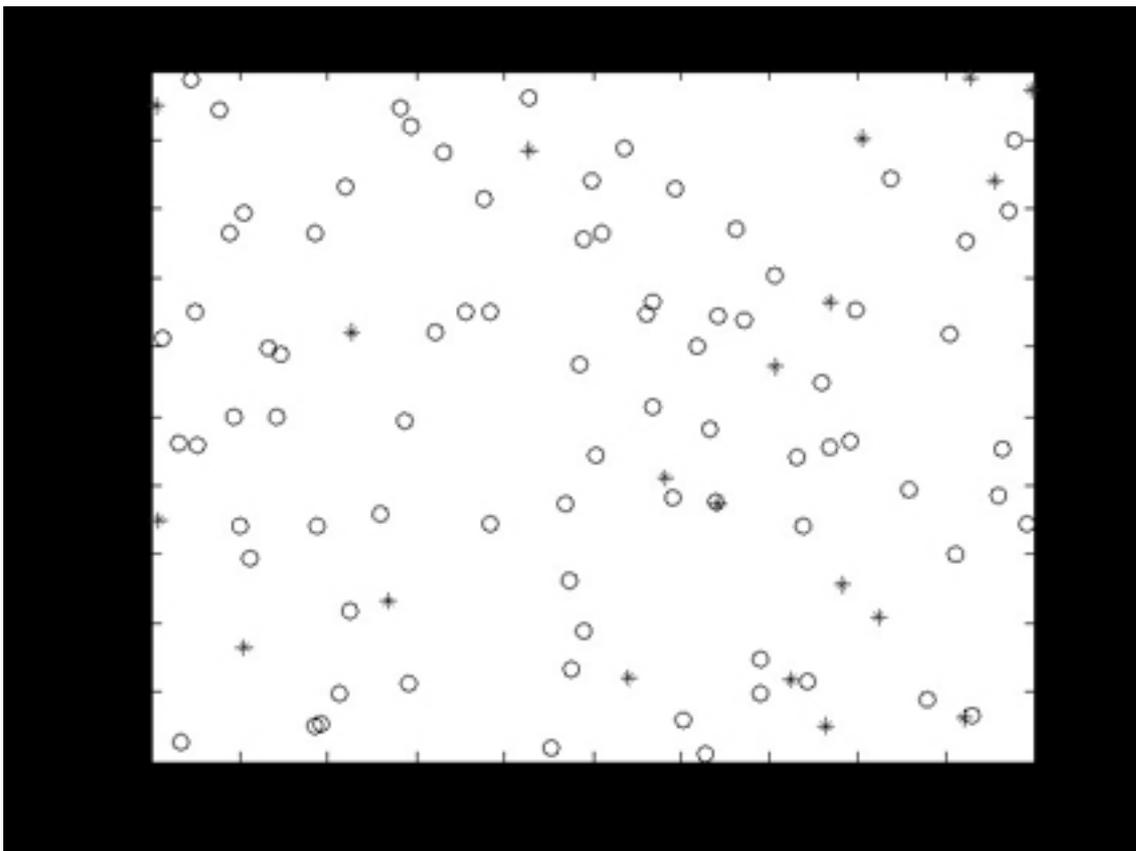


图 9

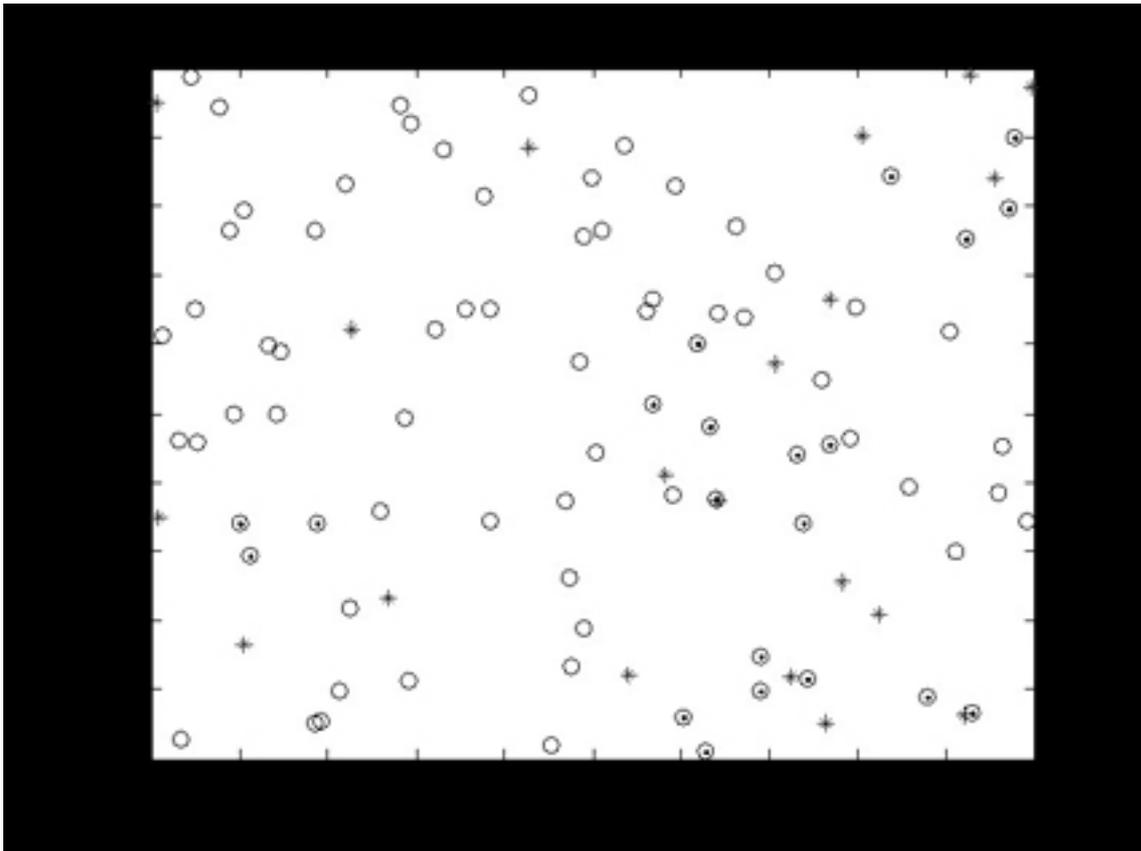


图 10

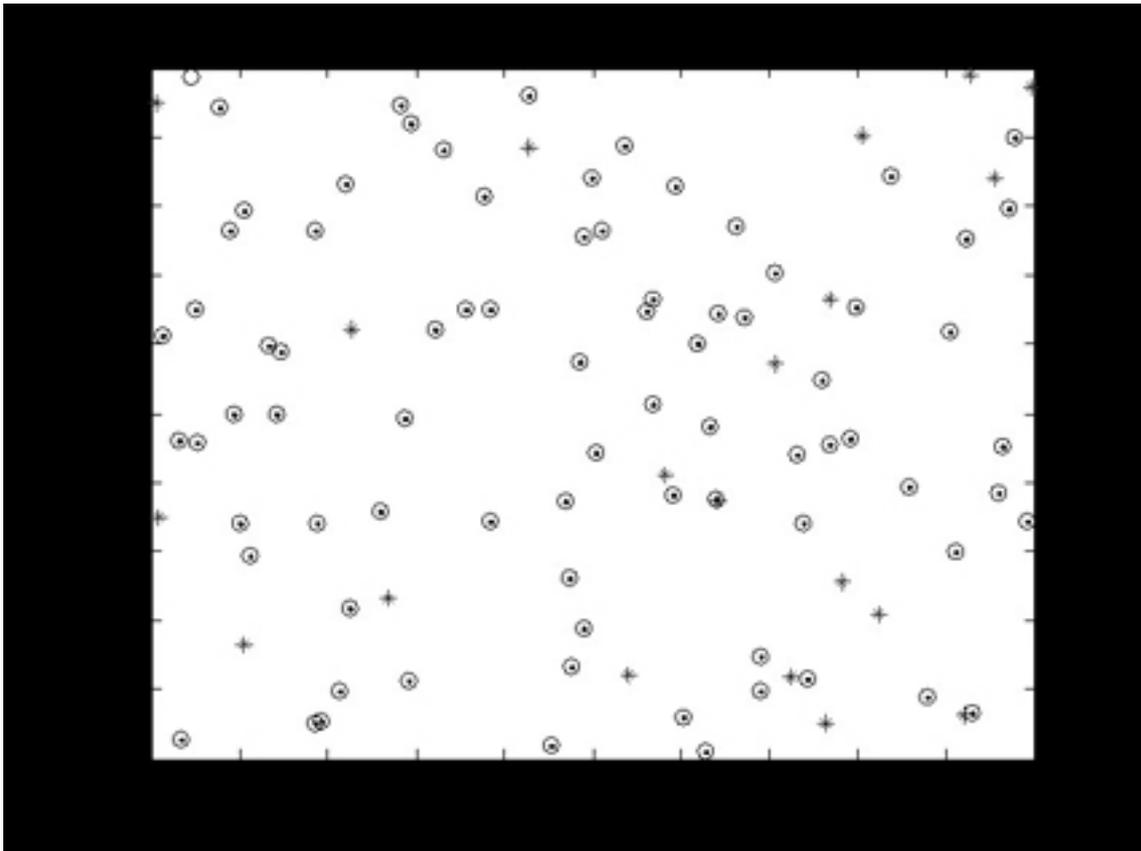


图 11

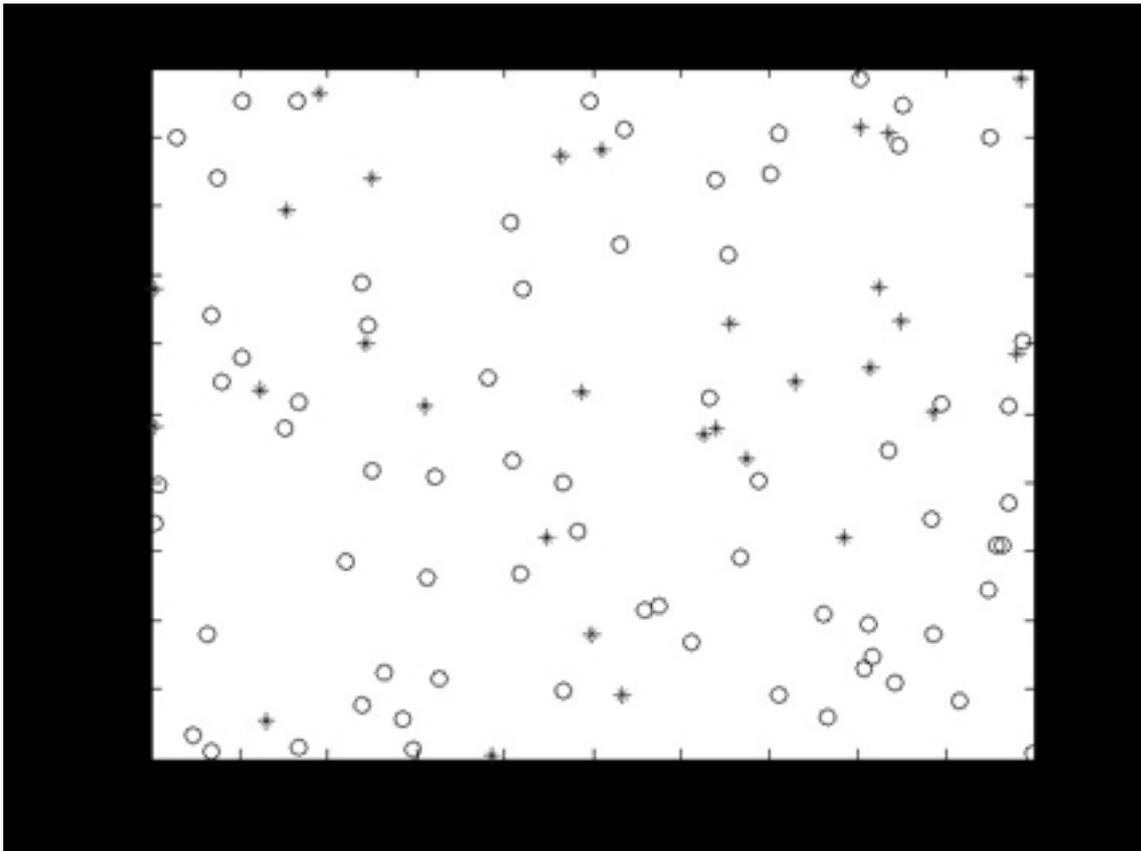


图 12

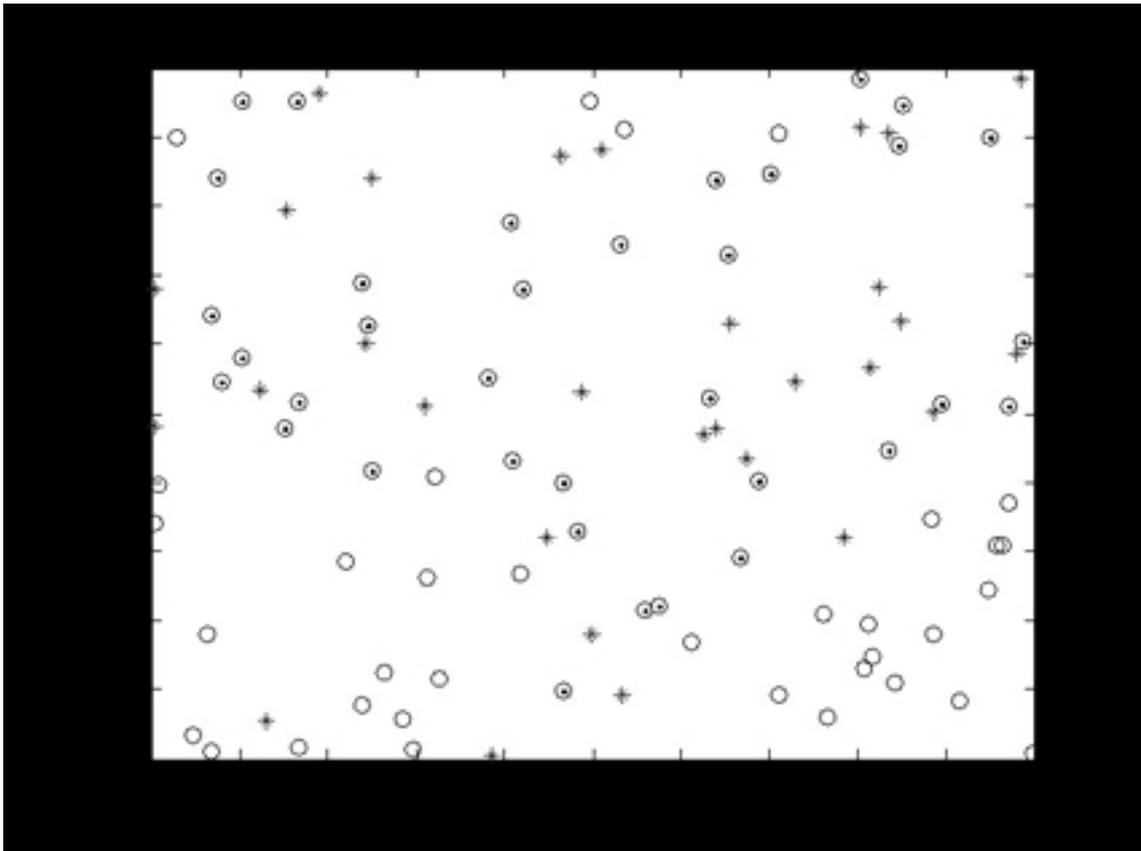


图 13

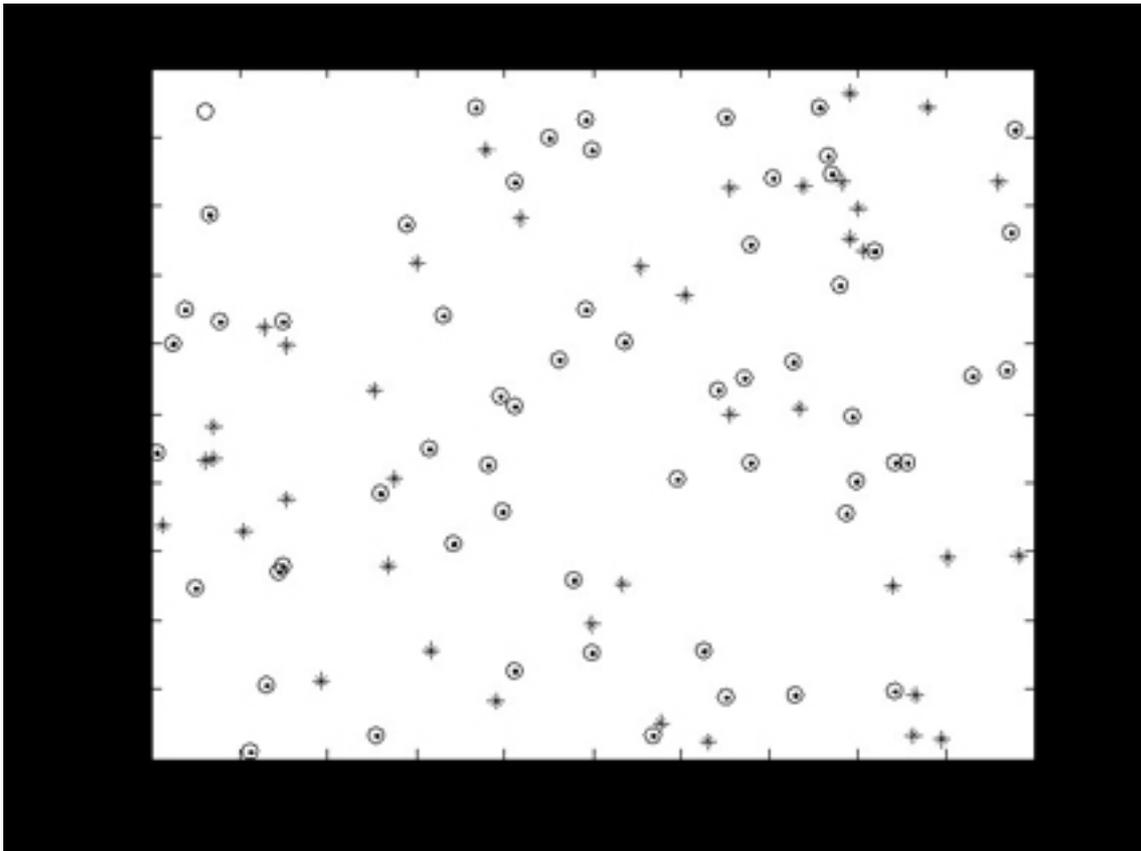


图 14

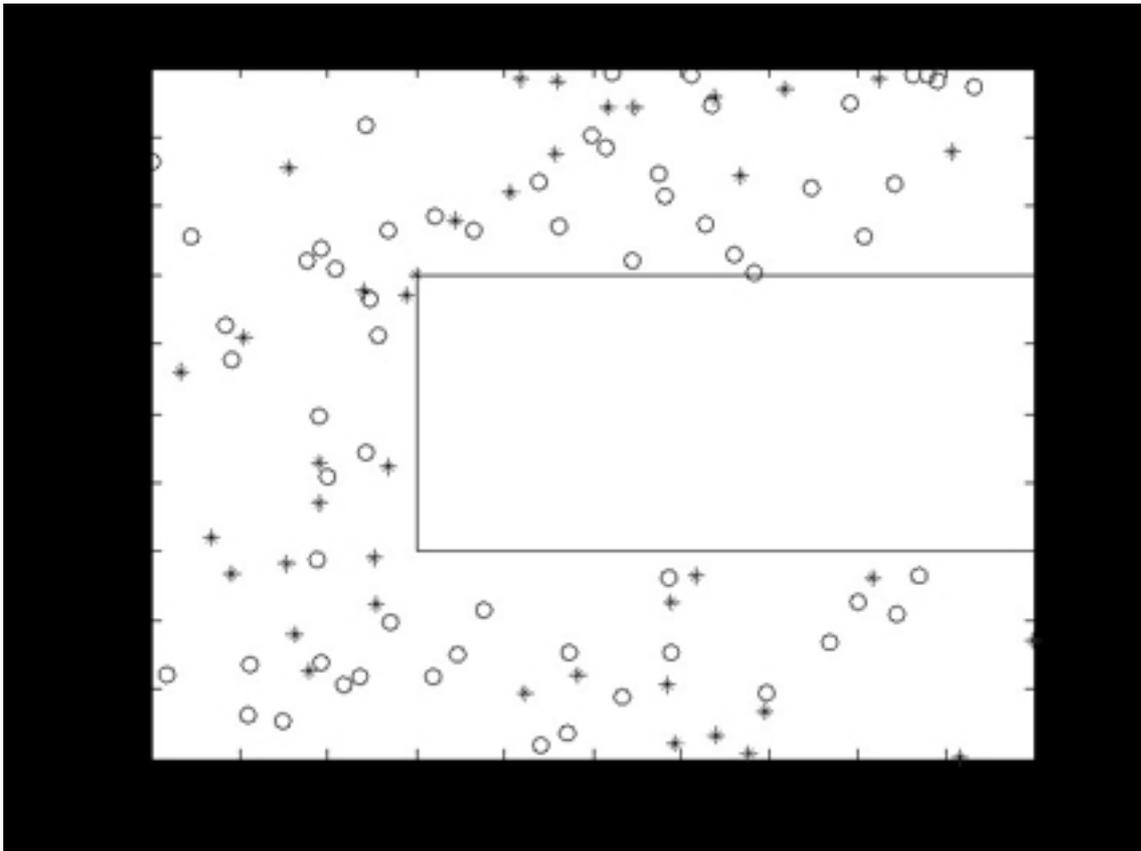


图 15