



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113343728 B

(45) 授权公告日 2022. 08. 30

(21) 申请号 202110544106.8

审查员 李现鹏

(22) 申请日 2021.05.19

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113343728 A

(43) 申请公布日 2021.09.03

(73) 专利权人 天津大学  
地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72) 发明人 马永涛 付艳喜

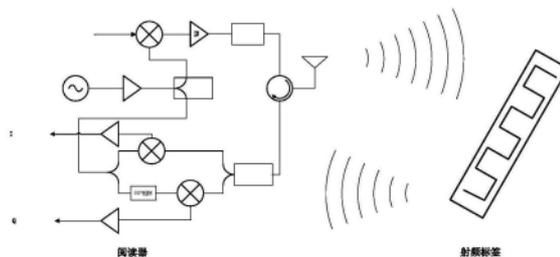
(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代  
理事务所 12201  
专利代理师 程毓英

(51) Int. Cl.  
G06K 7/10 (2006.01)  
H04W 4/80 (2018.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称  
一种基于非线性优化方法的RFID定位方法

(57) 摘要  
本发明涉及一种基于非线性优化方法的RFID定位方法,包括下列步骤:第一步建立RFID相位模型;第二步代价函数设计:标签位置固定且未知,阅读器天线以确定的轨迹和速度运动形成合成孔径;利用相位差与距离差的关系,构建代价函数,将定位问题转化为求解优化问题,代价函数的最小值对应的解即为目标位置;第三步求解上述优化问题的最优解,得到待定位目标的位置。



1. 一种基于非线性优化方法的RFID定位方法,包括下列步骤:

第一步 建立RFID相位模型

阅读器控制天线向空间辐射射频信号,被选中标签的射频前端从电磁场中获得能量从而被激活,标签通过变换输入阻抗对反向散射信号进行调制进而将所储存的数据发送回阅读器,阅读器对反向散射信号进行解调后获得相位信息;设阅读器天线与标签间的距离为 $d$ ,相位值为 $\varphi$ , $\varphi_{ini}$ 为与硬件因素有关的相位偏移;

第二步 代价函数设计

标签位置固定且未知,阅读器天线以确定的轨迹和速度运动形成合成孔径;在运动过程中,阅读器随机访问标签,记录每个访问时刻 $t = \{t_0, t_1, \dots, t_i, \dots, t_N\}$ 和相位值 $\varphi = \{\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_N\}$ ;阅读器天线初始位置 $z_0 = [x_0, y_0]$ 已知,设阅读器沿着x轴运动,速度为 $v$ ,则 $t_i$ 时刻阅读器的位置表示为 $z_i = [x_i, y_i] = [x_0 + v(t_i - t_0), 0]$ ,阅读器与标签的距离为 $d_i = \|z_i - z_t\|_2$ ,其中 $z_t = [x_t, y_t]$ 表示标签坐标;

将相位值 $\varphi$ 重写成:

$$\varphi + 2k\pi = \frac{4\pi d}{\lambda} + \varphi_{ini}$$

其中, $k$ 代表模糊的相位周期数;

为了消除与硬件有关的相位偏移 $\varphi_{ini}$ ,以相邻两次的相位值作差,第 $i$ 个相位差表示为:

$$\Delta\varphi_i + 2\Delta k_i\pi = \frac{4\pi\Delta d_i}{\lambda}$$

$$\Delta\varphi_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i$$

$$\Delta k_i = k_{i+1} - k_i$$

$$\Delta d_i = d_{i+1} - d_i, i = 1, 2, 3, \dots, N-1$$

限制天线的采样间隔小于 $\lambda/4$ ,以 $\pi$ 为标准,得到如下确定 $\Delta k_i$ 的方法:

$$\begin{cases} \Delta k_i = -1 & , \Delta\varphi_i > \pi \\ \Delta k_i = 0 & , |\Delta\varphi_i| < \pi \\ \Delta k_i = 1 & , \Delta\varphi_i < -\pi \end{cases}$$

利用相位差与距离差的关系,构建代价函数如下:

$$\sum_{i=1}^{N-1} \left( \Delta\varphi_i + 2\Delta k_i\pi - \frac{4\pi\Delta d_i}{\lambda} \right)^2$$

$$\text{其中 } \Delta d_i = \|z_{i+1} - z_t\|_2 - \|z_i - z_t\|_2$$

将定位问题转化为求解优化问题,上述代价函数的最小值对应的解即为目标位置;

第三步 求解上述优化问题的最优解,得到待定位目标的位置。

2. 根据权利要求1所述的基于非线性优化方法的RFID定位方法,其特征在于,第一步中,相位值 $\varphi$ 由下式表示:

$$\begin{cases} \varphi = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} + \varphi_{ini} \right) \bmod 2\pi \\ \varphi_{ini} = \varphi_T + \varphi_R + \varphi_{TAG} \end{cases}$$

其中 $\lambda$ 表示波长, $\varphi_{ini}$ ,包括三部分: $\varphi_T$ 、 $\varphi_R$ 、 $\varphi_{TAG}$ 分别为阅读器发送单元、标签单元、阅读器接收单元带来的相位偏移。

3.根据权利要求1所述的基于非线性优化方法的RFID定位方法,其特征在于,第三步中,使用高斯-牛顿方法求解优化问题。

## 一种基于非线性优化方法的RFID定位方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种RFID定位方法。

### 背景技术

[0002] 无源超高频RFID技术以其独特的优势(低功耗、电子标签的唯一性、标签数据的批量盘点)已经成为了物联网技术在工业上成功应用的典范。基于射频(RF)的定位技术在移动计算、资源管理和人机交互领域具有广阔的发展潜力,引起了业界极大的研究兴趣,并且部分理论已经转化为先进的应用系统。

[0003] 合成孔径雷达(SAR)是一种高分辨的雷达成像技术,其通过目标与雷达间的相对运动形成虚拟的天线阵列,可以取代大尺寸的阵列天线而达到理想的方位分辨率的效果。近年来,许多研究将SAR概念应用于RFID定位技术,利用射频标签与阅读器天线之间的相对运动来获取更多的采样信息,从而实现高精度的定位效果。

### 发明内容

[0004] 本专利提供一种基于非线性优化方法的RFID定位方法,旨在利用现有的RFID设备,对贴有射频标签的物体实现精确定位。针对传统的基于时间测量的定位方法,如信号到达时间(TOA)、到达时间差(TDOA)等并不适用与带宽窄的RFID系统,本发明利用射频标签反向散射信号的相位信息,建立包含位置参数的代价函数,进而采用非线性优化的方法对其求解,最终给出待定位物体的位置信息。技术方案如下:

[0005] 一种基于非线性优化方法的RFID定位方法,包括下列步骤:

[0006] 第一步 建立RFID相位模型

[0007] 阅读器控制天线向空间辐射射频信号,被选中标签的射频前端从电磁场中获得能量从而被激活,标签通过变换输入阻抗对反向散射信号进行调制进而将所储存的数据发送回阅读器,阅读器对反向散射信号进行解调后获得相位信息;设阅读器天线与标签间的距离为 $d$ ,相位值为 $\phi$ , $\phi_{ini}$ 为与硬件因素有关的相位偏移。

[0008] 第二步 代价函数设计

[0009] 标签位置固定且未知,阅读器天线以确定的轨迹和速度运动形成合成孔径;在运动过程中,阅读器随机访问标签,记录每个访问时刻 $t = \{t_0, t_1, \dots, t_i, \dots, t_N\}$ 和相位值 $\phi = \{\phi_0, \phi_1, \dots, \phi_i, \dots, \phi_N\}$ ;阅读器天线初始位置 $z_0 = [x_0, y_0]$ 已知,设阅读器沿着 $x$ 轴运动,速度为 $v$ ,则 $t_i$ 时刻阅读器的位置表示为 $z_i = [x_i, y_i] = [x_0 + v(t_i - t_0), 0]$ ,阅读器与标签的距离为 $d_i = \|z_i - z_t\|_2$ ,其中 $z_t = [x_t, y_t]$ 表示标签坐标;

[0010] 将相位值 $\phi$ 重写成:

$$[0011] \quad \phi + 2k\pi = \frac{4\pi d}{\lambda} + \phi_{ini}$$

[0012] 其中, $k$ 代表模糊的相位周期数;

[0013] 为了消除与硬件有关的相位偏移 $\phi_{ini}$ ,以相邻两次的相位值作差,第 $i$ 个相位差表

示为:

$$[0014] \quad \Delta\phi_i + 2\Delta k_i\pi = \frac{4\pi\Delta d_i}{\lambda}$$

$$[0015] \quad \Delta\phi_i = \phi_{i+1} - \phi_i$$

$$[0016] \quad \Delta k_i = k_{i+1} - k_i$$

$$[0017] \quad \Delta d_i = d_{i+1} - d_i, i=1, 2, 3, \dots, N-1$$

[0018] 限制天线的采样间隔小于 $\lambda/4$ ,以 $\pi$ 为标准,得到如下确定 $\Delta k_i$ 的方法:

$$[0019] \quad \begin{cases} \Delta k_i = -1 & , \Delta\phi_i > \pi \\ \Delta k_i = 0 & , |\Delta\phi_i| < \pi \\ \Delta k_i = 1 & , \Delta\phi_i < -\pi \end{cases}$$

[0020] 利用相位差与距离差的关系,构建代价函数如下:

$$[0021] \quad \sum_{i=1}^{N-1} \left( \Delta\phi_i + 2\Delta k_i\pi - \frac{4\pi\Delta d_i}{\lambda} \right)^2$$

$$[0022] \quad \text{其中 } \Delta d_i = \left| \|z_{i+1} - z_t\|_2 - \|z_i - z_t\|_2 \right|$$

[0023] 将定位问题转化为求解优化问题,上述代价函数的最小值对应的解即为目标位置;

[0024] 第三步求解上述优化问题的最优解,得到待定位目标的位置。

[0025] 第一步中,相位值 $\phi$ 可由下式表示:

$$[0026] \quad \begin{cases} \phi = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} + \phi_{ini} \right) \bmod 2\pi \\ \phi_{ini} = \phi_T + \phi_R + \phi_{TAG} \end{cases}$$

[0027] 其中 $\lambda$ 表示波长, $\phi_{ini}$ 包括三部分: $\phi_T$ 、 $\phi_R$ 、 $\phi_{TAG}$ 分别为阅读器发送单元、标签单元、阅读器接收单元带来的相位偏移。

[0028] 第三步 求解上述优化问题的最优解,得到待定位目标的位置。

[0029] 第三步中,可使用高斯—牛顿方法求解优化问题。

[0030] 本发明为室内定位问题提供了新的解决方案。总的来说,该方法具有如下方面特点:1、将SAR方法引入RFID定位问题,利用阅读器天线与射频标签之间的相对运动,获得了更充分的测量结果。2、建立基于反向散射机制的RFID相位—距离模型,利用电磁波传播带来的相位变化,获得了比能量值更可靠的距离度量。3、利用相位差与距离差之间的对应关系建立凸优化目标函数,从而将定位问题转化为容易解决的优化问题。4、本发明所提出的方法基于现有的RFID系统,因此具有较高的实用价值。本发明所提方法的有效性经过了一系列的仿真和实验验证。

## 附图说明

[0031] 图1 RFID反向散射耦合通信机制

[0032] 图2非线性优化迭代过程

[0033] 图3对比其它定位方法的累计误差效果(CDF)曲线图

[0034] 图4对比其它定位方法的计算效率图

## 具体实施方式

[0035] 本发明基于RFID反向散射耦合机制,利用阅读器天线与射频标签之间的相对移动,使得二者之间的距离产生连续变化,与此同时,与距离直接相关的电磁波的相位也发生相应改变,通过测量相位的改变,从而实现对目标物体的定位。总的来说,本发明拟采取的技术方案如下:首先,从RFID的通信机制出发,建立距离与相位之间的联系,为定位方案的设计提供理论支撑。其次,设计包含目标位置信息的代价函数,将定位问题转化为寻找代价函数的最优解问题。最后,通过非线性优化方法求取使代价函数最小化的最优解,给出定位结果。

[0036] 技术路线如下:

[0037] 1、将阅读器天线固定在移动平台上,形成天线与射频标签间的相对运动。阅读器在运动过程中不断盘询射频标签并接收其反向散射信号。对接收信号进行解调,获得反映电磁波传播距离的相位信息。

[0038] 2、为了消除硬件因素引入的相位偏移,以相位差的形式代替直接使用相位来定位,根据相位差与距离差的对应关系设计包含目标位置信息的代价函数,使代价函数达到最小化的解即为待定位的目标位置。

[0039] 3、通过非线性优化方法,如最小二乘方法(LMS),迭代求解代价函数的最优解,从而给出定位结果。

[0040] 具体包括如下的步骤:

[0041] 1.RFID相位模型

[0042] 无源RFID系统使用反向散射无线电进行通信。标签不配备电池,依靠从阅读器发射的信号中获取能量。工作的基本过程为:阅读器控制天线向空间辐射一个射频信号,被选中标签的射频前端从电磁场中获得能量从而被激活,标签通过变换输入阻抗对反向散射信号进行调制进而将所储存的数据发送回阅读器,阅读器对反向散射信号进行解调后获得相位信息。

[0043] 假设阅读器天线与标签间的距离为 $d$ ,由于从发射到接收,电磁波信号经历了往返,所以总的传播距离为 $2d$ 。相位除了与传播距离有关外,还与系统的硬件特性有关。总的来说,相位可以由下式表示:

$$[0044] \quad \begin{cases} \varphi = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} + \varphi_{ini} \right) \bmod 2\pi \\ \varphi_{ini} = \varphi_T + \varphi_R + \varphi_{TAG} \end{cases} \quad (1)$$

[0045] 其中 $\lambda$ 表示波长, $\varphi_{ini}$ 为与硬件因素有关的相位偏移,可以视为常数,包括三部分: $\varphi_T$ 、 $\varphi_R$ 、 $\varphi_{TAG}$ 分别为阅读器发送单元、标签单元、阅读器接收单元带来的相位偏移。

[0046] 2、代价函数设计

[0047] 在SAR场景中,标签位置是固定且未知的,阅读器天线以确定的轨迹和速度运动形成合成孔径。在运动过程中,阅读器随机访问标签,记录每个访问时刻 $t = \{t_0, t_1, \dots, t_i, \dots, t_N\}$ 和相位值 $\varphi = \{\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_N\}$ 。假设阅读器天线初始位置 $z_0 = [x_0, y_0]$ ,运动速度为 $v$ ,则 $t_i$ 时刻天线的位置可以表示为 $z_i = z_0 + v(t_i - t_0)$ ,此时天线与标签之间的距离为:

$$[0048] \quad d_i = \|z_i - z_t\|_2 \quad (2)$$

[0049] 其中 $z_t$ 为待定位的标签坐标。

[0050] 由公式(1)所示,测量的相位是真实的相位值经过对 $2\pi$ 的求余运算,所以并不能反映真实的距离。为了简单起见,我们将其重写成:

$$[0051] \quad \varphi + 2k\pi = \frac{4\pi d}{\lambda} + \varphi_{ini} \quad (3)$$

[0052] 为了消除与硬件有关的相位偏移 $\varphi_{ini}$ ,我们以相邻两次的相位值作差,例如,第 $i$ 个相位差可以表示为:

$$[0053] \quad \Delta\phi_i + 2\Delta k_i\pi = \frac{4\pi\Delta d_i}{\lambda}$$

$$[0054] \quad \Delta\phi_i = \phi_{i+1} - \phi_i$$

$$[0055] \quad \Delta k_i = k_{i+1} - k_i$$

$$[0056] \quad \Delta d_i = d_{i+1} - d_i, i=1, 2, 3, \dots, N-1 \quad (4)$$

[0057] 如上式所示,为了得到相位差与距离差的关系还需要确定 $\Delta k_i$ ,下面我们介绍确定 $\Delta k_i$ 的方法。

[0058] 根据三角形法则,不难得到标签与相邻两次天线采样位置距离的差值不大于天线两次采样位置之间的距离,因此,如果限制天线的采样间隔小于 $\lambda/4$ ,理论上相位的变化应小于 $\pi$ ,因此,我们以 $\pi$ 为标准,得到如下确定 $\Delta k_i$ 的方法:

$$[0059] \quad \begin{cases} \Delta k_i = -1 & , \Delta\phi_i > \pi \\ \Delta k_i = 0 & , |\Delta\phi_i| < \pi \\ \Delta k_i = 1 & , \Delta\phi_i < -\pi \end{cases} \quad (5)$$

[0060] 再确定出 $\Delta k_i$ 后,利用相位差与距离差的关系,构建代价函数如下:

$$[0061] \quad \sum_{i=1}^{N-1} \left( \Delta\phi_i + 2\Delta k_i\pi - \frac{4\pi\Delta d_i}{\lambda} \right)^2 \quad (6)$$

[0062] 其中 $\Delta d_i = \|z_{i+1} - z_t\|_2 - \|z_i - z_t\|_2$

[0063] 至此,我们将定位问题转化为求解优化问题,上述代价函数的最小值对应的解即为目标位置。

[0064] 3. 求解最优解

[0065] 上述优化问题对应的最优解可表示为:

$$[0066] \quad z_t = \arg \min_{z_t} \sum_{i=1}^{N-1} \left( \Delta\phi_i + 2\Delta k_i\pi - \frac{4\pi\Delta d_i(z_t)}{\lambda} \right)^2 \quad (7)$$

[0067] 非线性优化问题的求解方法有很多,在这里,我们使用经典的高斯-牛顿方法对其求解,具体的求解步骤如下:

[0068] (1) 给定解的初始估计 $x^{(1)}$ ,置 $k=1$ ;

[0069] (2) 解方程组 $A_k^T A_k \delta = -A_k^T r_k$ ,得 $\delta^{(k)}$ ;

[0070] 其中, $r_k$ 满足 $\frac{1}{2} r_k^T r_k = \sum_{i=1}^{N-1} \left( \Delta\phi_i + 2\Delta k_i\pi - \frac{4\pi\Delta d_i(z_k)}{\lambda} \right)^2$ , $A_k$ 为向量 $r$ 的雅克比矩阵在 $z_t = x^{(k)}$ 处的值。

[0071] (3) 置  $x^{(k+1)} = x^{(k)} + \delta^{(k)}$ ;

[0072] (4) 如果  $|x^{(k+1)} - x^{(k)}| < \varepsilon$ , 停止迭代, 得到定位结果  $z_t = x^{(k+1)}$ ; 否则, 置  $k = k + 1$ , 转步 (2);

[0073] 至此, 经过迭代后求得的优化问题的解就是待定位目标的位置。

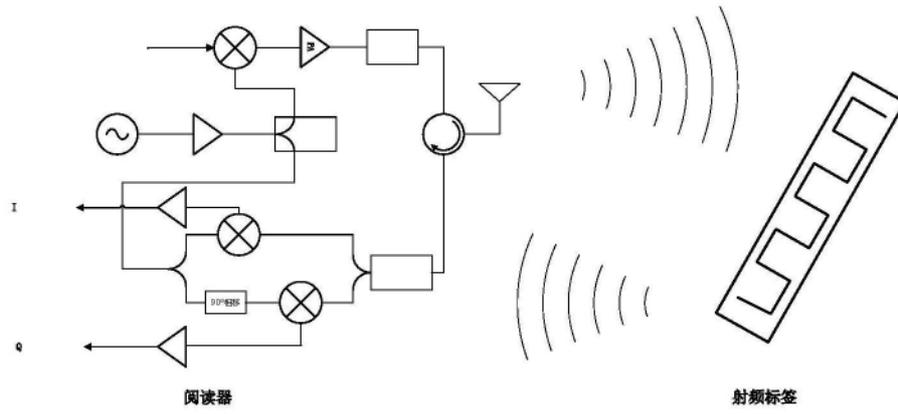


图1

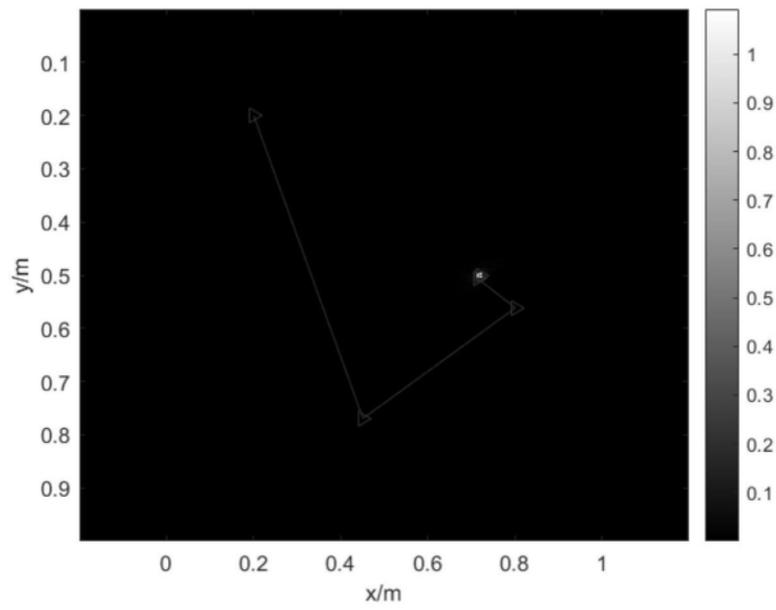


图2

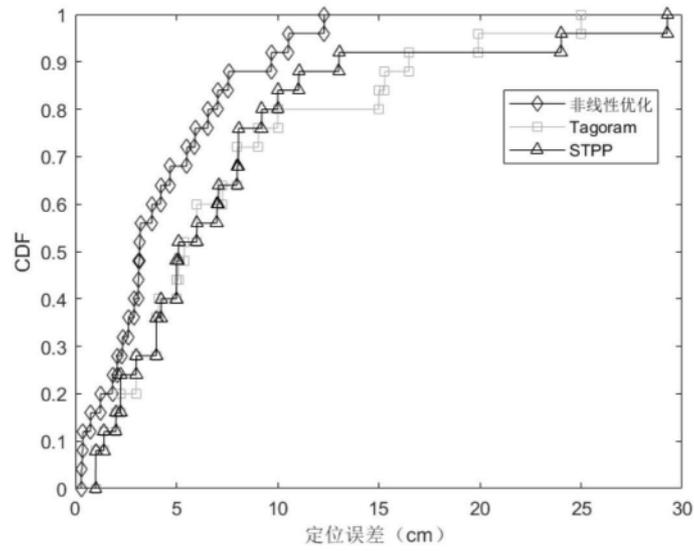


图3

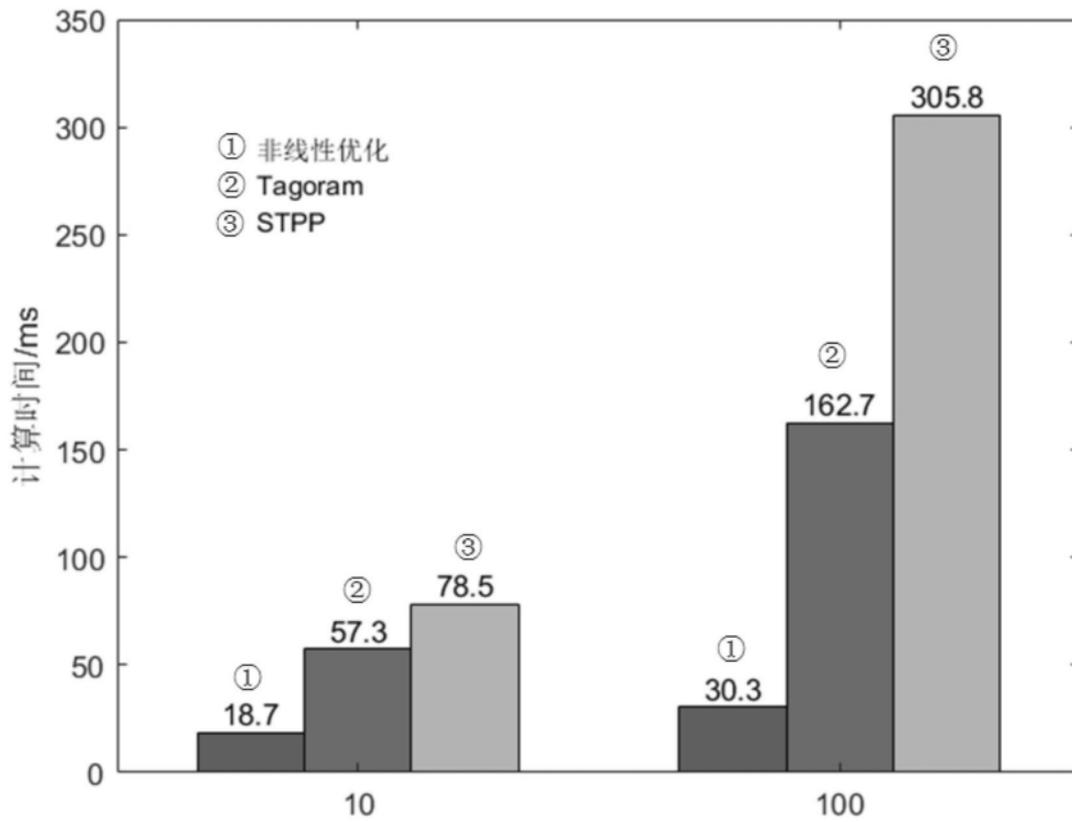


图4