

RFID 室内实时定位系统的数据滤波方法

关 焯 闫国玉 王 颖 蒋遂平

(北京计算机技术及应用研究所 北京 100854)

摘 要 在射频识别室内实时定位应用中,由于场景的复杂性和定位系统的精度有限,定位系统报告的物品的连续两个位置可能出现在不同的区域内,物品的运动轨迹可能出现穿过墙壁等异常。为此,提出了一种避免这种异常的室内定位系统的数据滤波方法。首先,将场景离散化为一幅“灰度图像”,图像像素表示场景中的点,图像像素的灰度表示不同的区域/房间、墙壁或房门;在定位过程中,将物品的连续两个场景坐标分别映射到两个图像像素,利用连接这两个像素的线段上的像素的“灰度”来判断是否出现穿墙等异常,并修正物品当前在图像上的位置;最后,将图像中的位置映射回场景坐标。实验表明,所提方法快速且高效,能有效避免物品运动轨迹中的异常。

关键词 射频识别,有源 RFID,实时定位系统,中间件,数据滤波

中图分类号 TP311 **文献标识码** A

Data Filtration Method for RFID Based Indoor RTLS

GUAN Yang YAN Guo-yu WANG Ying JIANG Sui-ping

(Beijing Institute of Computer Technology and Application, Beijing 100854, China)

Abstract In some RFID based indoor real-time locating applications, because of the complexity of the scene and the limited accuracy of the RTLS, there are some abnormalities in the object's trail reported by RTLS, such as objects going through walls. An efficient data filtration method was presented to avoid such abnormality. First, the scene is mapped into a discrete model which is represented by a “gray image”. Each pixel of the image represents a point of the scene, and the grayscale of each pixel represents different regions/rooms, walls and doors. During real time locating, two of the object's consecutive scene coordinates are mapped to two pixels respectively. The grayscales of the pixels on the segment connecting these two pixels are used to judge whether there is an abnormality or not, and the object's coordinates in image are rectified. Finally, the rectified coordinates are mapped back to the scene coordinates. Experimental results show that our method is fast and efficient, and can avoid such abnormality.

Keywords Radio frequency identification, Active RFID, Real-time location system, Middleware, Data filtration

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)的一个重要应用就是室内实时定位。在大型建筑物或封闭场景中,室内实时定位常用于确定人员或物品的位置。近年来人们已经提出了多种基于射频识别的定位算法,并开发了相应的实时定位系统^[1-4]。

在这些射频识别定位方法中,定位的精度尚未完全解决。例如,无源 RFID 定位方法利用基准标签或标签的反射特性进行定位,定位精度从最初的 LAND-MARC 的 1~2m^[5] 提高到 Tagoram 的 10cm 级^[6],但要求标签或物品的运动轨迹会受到限制,不能自由移动;此外,其定位的范围也有限。采用超宽带(Ultra Wide Band, UWB)技术进行定位时,定位范围达到了 100m,定位精度达到了 10cm,但由于要求标签与定位读写器之间不能存在较多的遮挡物,其无法应用于具有复杂结构的建筑物内部。有源 RFID 通常采用 2.45GHz 频率的载波,标签携带电池,载波可以穿透墙壁,定位范围可以达到 30m 左右,定位精度能达到 1m 左右。因此,在结构较为复杂的室内进行定位时常采用有源 RFID。

在有源 RFID 室内实时定位应用中,一个定位系统的场景范围可达数百平方米,场景中包含多个房间或区域。由于定位系统的精度有限,定位系统报告的标签场景坐标或运动轨迹与标签的实际坐标或运动轨迹并不一致。例如,在某个时刻 t_1 ,定位系统报告的标签位置位于房间 A,在下一个时刻 t_2 ,定位系统报告的标签位置位于房间 B,而在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内,标签无法从房间 A 达到房间 B,即出现了标签穿越墙壁等违反物理规律的现象。在监狱服刑人员管理等特殊人员管理的定位应用中,如果佩戴标签的人员实际所在房间和定位系统报告的房间不一致,将触发某个特定事件,可能产生大量的虚警。为解决这一问题,可以在各个区域内安装其他频率的射频识别读写器或其他类型的传感器,但这将会增加定位系统的成本。由于定位系统通常是通用的系统,若没有应用场景的知识,在定位系统中解决标签区域的异常就比较困难。一种解决方法就是在现有的定位系统之上对定位数据进行滤波并进行区域定位。

目前,针对实时定位系统中标签坐标数据的异常进行检

关 焯(1985—),男,硕士,工程师,主要研究方向为 RFID、电路设计,E-mail:guanyang_706@163.com;闫国玉(1981—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为 RFID、集成电路设计;王 颖(1986—),女,硕士,高级工程师,主要研究方向为 RFID、集成电路设计;蒋遂平(1966—),男,博士,研究员,主要研究方向为 RFID、物联网等。

测和校正并进行区域定位的研究还比较少。已有的射频识别数据滤波方法主要是针对标签的漏读、错读、冗余和其他异常情况。本文根据实际 RFID 定位应用研究,提出一种 RFID 室内实时定位系统的数据滤波方法,它根据定位场景的信息,建立一个关于场景的类似于灰度图像的离散模型,在离散模型中进行定位数据的滤波可以有效避免物品穿越墙壁和区域定位异常。该方法可以用于 RFID 中间件的数据滤波组件,数据滤波的结果可以作为复杂事件检测组件的输入。

本文第 1 节给出数据滤波方法;第 2 节给出方法的实现和实验结果;最后是结论和未来工作的展望。

1 数据滤波方法

射频识别室内实时定位的数据滤波方法包括两个步骤:

1)将场景模型映射到用“灰度图像”表示的离散模型;2)在实时定位过程中,将物品的场景坐标转换到离散坐标,在离散模型中进行校正后,再映射回场景坐标。其中,步骤 1)离线运行,步骤 2)在线实时运行。

1.1 模型映射

实时定位系统主要针对一个楼层的多个房间中的物品进行定位,因此场景模型可以看成是一个表示定位系统作用范围的矩形,由 (X_{\min}, Y_{\min}) 和 (X_{\max}, Y_{\max}) 限定,矩形内包含顶点、线段和区域,其中,线段由两个顶点定义,表示墙、房门或区域边界;区域是由线段围成的凸多边形。线段类型为“墙”时,表示物品不可穿越;线段类型为“区域边界”时,表示物品可以自由穿越的门或其他人为确定的区域边界。在建立场景模型时,为确保区域为凸多边形,需要人为地确定一些区域边界,将一个非凸多边形区域划分为多个凸多边形区域,这样的区域边界也是可以穿越的。

已知场景模型后,可以直接将物品(标签)的定位坐标映射到场景模型中。由于已经将墙表示成线段,因此可以直接利用直线相交、点与区域的关系等方法来计算物品的运动轨迹是否穿墙。但在实际中发现,这种方法需要大量的浮点运算,不适合需要同时定位多个目标的应用。此外,由于浮点运算的精度原因,在物品轨迹与墙接近平行的情况下,滤波修正后的物品坐标与实际差别较大。因此,我们决定将场景模型离散化,以避免大量的浮点运算以及浮点运算误差造成的问题。

离散模型是一幅“灰度图像” $I(x, y)$,其宽度为 W 个像素,高度为 H 个像素, W 和 H 由用户指定。模型映射主要有 4 个步骤:顶点映射、线段映射、区域映射和区域灰度分配。模型映射前,需要将离散模型的像素“灰度”初始化为 0。

(1)顶点映射。顶点映射比较简单,场景顶点 $V(X, Y)$ 到离散模型像素点 $v(x, y)$ 的映射方法为:

$$x = (\text{int})(W * (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}))$$

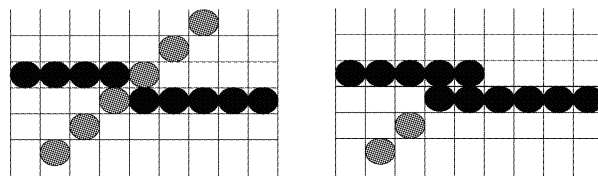
$$y = (\text{int})(H * (Y - Y_{\min}) / (Y_{\max} - Y_{\min}))$$

(2)线段映射。线段映射的思想为:先将线段的两个顶点 (X_1, Y_1) 和 (X_2, Y_2) 分别映射到离散模型中的像素点 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) ;然后,使用计算机图形学中的线段离散化算法^[7]计算出离散模型上 (x_1, y_1) 到 (x_2, y_2) 的直线上所有像素点的坐标,从而得到一个像素点坐标序列 $(x_1, y_1) \dots (x_i, y_i) \dots (x_j, y_j) \dots (x_2, y_2)$ 。

在这个像素点的序列中,任意相邻的两个像素点坐标

(x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 应该满足条件: $x_i = x_j$ 或者 $y_i = y_j$,即要求满足条件: $|x_i - x_j| + |y_i - y_j| < 2$ 。如果不满足这个条件,就在 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 之间插入两个像素点 (x_k, y_k) 和 (x_l, y_l) ,得到 $(x_i, y_i)(x_k, y_k)(x_l, y_l)(x_j, y_j)$,使得 $x_k = x_i$ 且 $y_k = y_j$,以及 $x_l = x_j$ 且 $y_l = y_i$ 。

经过这样的处理后,在离散模型中任何一个区域内的像素 p 的 8 邻域像素点 q 都在 p 所在的区域内,或者 q 是墙或区域边界的像素点。这样就可以使用区域填充算法来将同一个区域的像素设置为相同的灰度值,并能阻止不同区域的连线穿过墙像素点而不受阻挡,如图 1 所示。



(a)插入墙像素之前,两个位置之间的连线(灰色圆点)可能穿过墙(黑色圆点) (b)插入 2 个墙像素后,两个位置之间的连线(灰色圆点)不能穿过墙(黑色圆点)

图 1 线段的映射方法

这种处理方法的一个缺点是增加了墙的“厚度”。为缓解这个问题,可以采用尺寸较大的离散模型,使得一个像素表示的“厚度”减小。

在线段映射中,如果“图像”的灰度级为 G ,则墙像素的灰度映射为 $G-1$,边界像素的灰度映射为 $G-2$ 。

(3)区域映射。区域映射用于将同一个区域内的所有像素设置为相同的灰度值。由于所有区域都是凸多边形,通过计算一个凸多边形的全部顶点坐标的平均坐标,就可得到这个凸多边形的中心,将该中心映射到图像上,并为其中心像素分配灰度值,灰度值为初始化区域编号 $i(i \geq 1)$ 。

(4)区域灰度分配。经过灰度分配,一个区域内的所有像素将被分配相同的灰度值。区域灰度分配可以采用计算机图形学中的区域填充算法来将同一个区域中的像素设置为相同的灰度值^[7]。

在经过场景模型离散化并为离散模型的每个像素分配灰度值后,可能还有一些像素的灰度值为 0,这些像素所在的区域称为背景区域。背景区域不是凸多边形区域,且位于其他所有区域的外面。

1.2 定位坐标的过滤

在实时定位过程中,从射频识别定位系统获取物品的场景坐标 (X, Y) 后,按照算法 1 的方法进行数据过滤。

算法 1 DataFiltration

```

Input:  $(X_i, Y_i)$  //物品在时刻  $t_i$  的场景坐标
        $(x_{i-1}, y_{i-1}), R_{i-1}$  //物品在时刻  $t_{i-1}$  的离散坐标和区域
        $I(x, y)$  //离散模型
Output:  $R_i, (x_i, y_i), (X_i, Y_i)$  //物品在时刻  $t_i$  的区域、离散坐标和场景坐标
BEGIN
1.  $x_i = (\text{int})(W * (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}))$ 
2.  $y_i = (\text{int})(H * (Y_i - Y_{\min}) / (Y_{\max} - Y_{\min}))$ 
3.  $R_i = I(x_i, y_i)$ 
4. IF  $R_i = R_{i-1}$  THEN //连续两点在同一区域
5.   RETURN
6. END IF

```

```

7. IF  $R_i \neq R_{i-1}$  THEN //连续两点不在同一区域
8.   Get all pixels on line segment from  $(x_{i-1}, y_{i-1})$  to  $(x_i, y_i)$  as:
9.    $(x_{i-1}, y_{i-1}) \dots (x_j, y_j) (x_k, y_k) \dots (x_i, y_i)$ 
10.  IF  $0 < I(x_p, y_p) \in \{(x_{i-1}, y_{i-1}) \dots (x_j, y_j) (x_k, y_k) \dots (x_i, y_i)\} < (G-1)$  THEN
11.    RETURN
12.  END IF
13.  IF  $I(x_k, y_k) = 0$  &&  $0 < I(x_p, y_p) \in \{(x_{i-1}, y_{i-1}) \dots (x_j, y_j) (x_k, y_k) \dots (x_i, y_i)\} < (G-1)$  THEN
14.    done=0
15.    WHILE !done DO
16.      done=1
17.      d2=distance from  $(x_j, y_j)$  to  $(x_i, y_i)$ 
18.      FOR each 8-neighbor non-wall pixel  $(x_q, y_q)$  of  $(x_j, y_j)$  DO
19.        d1=distance from  $(x_q, y_q)$  to  $(x_i, y_i)$ 
20.        IF  $d1 < d2$  THEN
21.           $(x_p, y_p) = (x_q, y_q)$ 
22.          d2=d1
23.        done=0
24.      END IF
25.    END FOR
26.    IF done=0 THEN
27.       $(x_j, y_j) = (x_p, y_p)$ 
28.    END IF
29.  END WHILE
30.   $R_i = I(x_j, y_j)$ 
31.   $(x_i, y_i) = (x_j, y_j)$ 
32.   $X_i = x_i * (X_{max} - X_{min}) / W + X_{min}$ 
33.   $Y_i = y_i * (Y_{max} - Y_{min}) / H + Y_{min}$ 
34. END IF
END

```

算法 1 的基本思想如下:

(1)第 1—3 行中,将场景坐标 (X_i, Y_i) 映射到离散坐标 (x_i, y_i) ,则初步区域 $R_i = I(x_i, y_i)$ 。

(2)第 4—6 行中,如果 $R_i = R_{i-1}$,则表示物品仍在原来的区域内, $R_i, (x_i, y_i)$ 和 (X_i, Y_i) 不必修正,保持不变,本次坐标滤波结束,如图 2 所示。

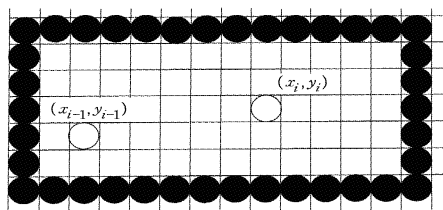


图 2 物品的坐标在相邻两个时刻位于同一个区域

(3)如果 $R_i \neq R_{i-1}$,即物品的区域发生了改变,则在第 8 行和第 9 行中使用计算机图形学中的线段离散化算法计算出离散模型上 (x_{i-1}, y_{i-1}) 到 (x_i, y_i) 的线段上所有像素点的坐标,得到一个像素点坐标序列 $(x_{i-1}, y_{i-1}) \dots (x_j, y_j) (x_k, y_k) \dots (x_i, y_i)$ 。

(4)第 10—12 行中,如果从 (x_{i-1}, y_{i-1}) 到 (x_i, y_i) 的所有像素点都是区域像素点或区域边界像素点,则表示物品穿过了房门或区域边界,改变了所在的区域, $R_i, (x_i, y_i)$ 和 (X_i, Y_i) 不必修正,保持不变,本次坐标滤波结束,如图 3 所示。

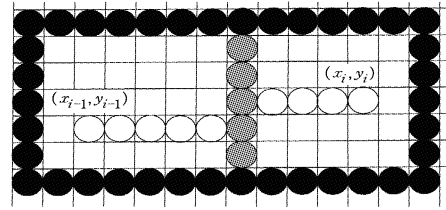


图 3 物品的坐标在相邻两个时刻穿过房门或边界(位于不同的区域)

(5)第 13—33 行中,如果从 (x_{i-1}, y_{i-1}) 到 (x_i, y_i) 的网格点中存在墙像素点,则从 (x_{i-1}, y_{i-1}) 到 (x_i, y_i) 的第一个墙像素点为 (x_k, y_k) , (x_k, y_k) 紧前的像素点 (x_j, y_j) 不是墙像素点,则将 (x_j, y_j) 作为候选的结束点。然后,在 (x_j, y_j) 的 8 邻域内寻找距 (x_i, y_i) 最近的非墙像素点 (x_p, y_p) ,用 (x_p, y_p) 代替 (x_j, y_j) 后,按此继续寻找,直到不能找到距 (x_i, y_i) 更近的像素点为止。最后, R_i 为 (x_p, y_p) 所在区域, $(x_i, y_i) = (x_p, y_p)$, 并对 (X_i, Y_i) 进行相应修正。在图 4 中, (x_j, y_j) 本身就是距 (x_i, y_i) 最近的非墙点;在图 5 中,寻找到了距 (x_i, y_i) 更近的的非墙点,因此 (x_j, y_j) 就移动到该点。

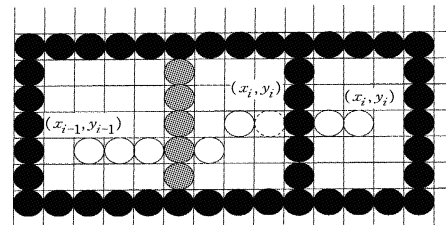


图 4 物品的坐标在相邻两个时刻穿过墙,可以前进到距离墙最近的位置 (x_j, y_j) (虚圆圈)

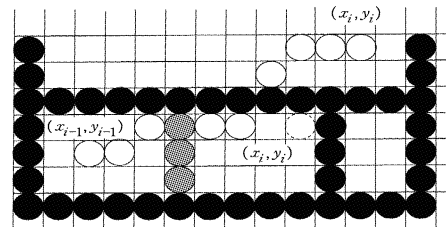


图 5 物品的坐标在相邻两个时刻穿过墙,可以前进到距离 (x_i, y_i) 最近的位置 (x_j, y_j) (虚圆圈)

如果墙是圆弧形, (x_i, y_i) 是圆心, (x_{i-1}, y_{i-1}) 到 (x_i, y_i) 的网格点中存在墙像素点,则可能存在多个距 (x_i, y_i) 最近的非墙像素点 (x_p, y_p) ,此时可以根据实际需要设定终止条件。例如,非墙像素点 (x_q, y_q) 到 (x_i, y_i) 的距离并不小于 (x_p, y_p) 到 (x_i, y_i) 的距离,但 (x_q, y_q) 到 (x_{i-1}, y_{i-1}) 和 (x_i, y_i) 形成的直线的距离大于或等于 (x_p, y_p) 到这条直线的距离时,就选择 (x_p, y_p) 。

2 实验结果

利用德国 Nanotron 公司的实时定位系统组建了实验环境^[8]。这个定位系统由 4 个作为定位基站(Anchor)的读写器和一个定位引擎 nanoLES 组成,采用达波时差(Time Difference of Arrival, TDOA)定位方法对 30m×30m 范围内的物品进行二维的实时定位,系统的组成如图 6 所示。该定位系统采用 2.4GHz 的射频频率,有源标签安装在被定位的物品上。

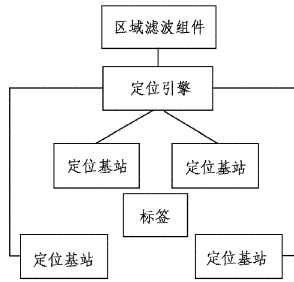


图6 实验设置

本文提出的数据滤波方法作为射频识别中间件的数据过滤组件进行实现,它从定位引擎 nanoLES 获取标签的位置信息,在进行数据滤波后传递给复杂事件检测系统。过滤组件采用 Visual C++ 2005 实现,运行在安装有 Windows XP 的计算机上,计算机的 CPU 主频为 3.02GHz,内存为 4GB。进行一个位置的数据滤波需要 6ms。

第一个实验场景是一个约 20m×10m 的大厅,大厅中间有两个柱子,如图 7 所示。在图 7 中,实线表示墙,虚线表示人为划定的区域边界,柱子表示封闭的区域,分别为区域 R8 和 R9。实验过程中,物品的运动轨迹是从区域 R1 开始,沿场景四周的墙运动一周,先后经过区域 R4,R2,R6,R3,R7,R2,R5,最后回到 R1,物品始终在室内运动。图 7(a)和图 7(b)分别显示了定位系统给出的一个物品的轨迹和滤波后的轨迹。物品在从 R1 到 R2 移动,R4 到 R2 移动时,定位系统指示物品穿越了墙壁,到了室外。但经过数据滤波,物品的轨迹被有效限制在室内。

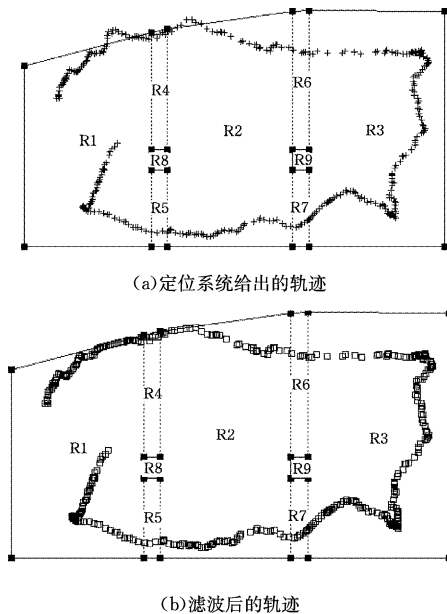


图7 物品在大厅中的运动轨迹

第二个实验场景是一个有 5 个小房间的公寓,约 8m×10m,图 8 显示了其中 3 个房间。实验过程中,物品先在 R1 中移动,在经过区域 R1 和 R2 之间的门后,移动到 R2。由于公寓中的电磁环境比较复杂,定位系统给出的物品场景坐标发生了严重的漂移,物品在 R1 中移动时,定位系统给出的坐

标漂移到了 R2 房间中,指示物品穿越了墙壁。图 8(a)和图 8(b)分别显示了定位系统给出的一个物品的轨迹和滤波后的轨迹。可以看出,经过数据滤波后该异常被消除。

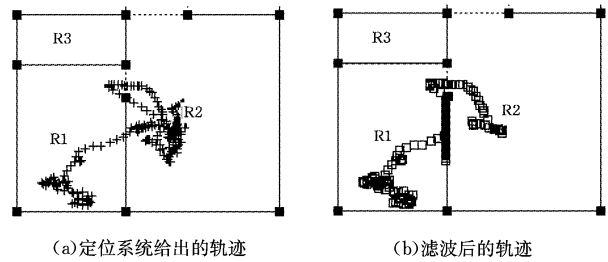


图8 物品在公寓中的运动轨迹

结束语 针对射频识别室内实时定位应用中定位系统报告的物品运动轨迹容易出现穿过墙壁等异常,提出一种室内定位系统的数据滤波方法。首先,通过离线方式将场景模型映射到用“灰度图像”表示的离散模型;然后,在定位过程中将定位系统报告的物品场景坐标映射到离散坐标,再根据离散模型和物品的前一次的离散坐标来修正物品的当前离散坐标,并映射回场景坐标。本方法已作为射频识别中间件的数据过滤组件进行实现,实验表明,其能有效避免物品运动轨迹中的异常。

在场景模型和离散模型之间的相互转换会降低最后的定位精度,但能有效避免区域定位异常,对某些强调精确区域定位的应用而言是可以接受的。采用离散模型可以避免大量的浮点运算,特别适合于需要同时定位多个目标的应用。此外,采用较大尺寸的离散模型可以改善定位精度。

参考文献

- [1] LIU H,DARABI H,BANERJEE P, et al. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews, 2007, 37(6): 1067-1080.
- [2] KOYUNCU H, YANG S H. A survey of indoor positioning and object locating systems[J]. International Journal of Computer Science and Network Security, 2010, 10(5): 121-127.
- [3] PIRZADA N, et al, Comparative analysis of active and passive indoor localization systems[J]. AASRI, 2013, 5: 92-97.
- [4] 金培权,汪娜,张晓翔,等. 面向室内空间的移动对象数据管理[J]. 计算机学报, 2015, 38(9): 1777-1795.
- [5] LIONEL M N, LIU Y H, LAU Y C, et al. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID [J]. Wireless Networks, 2004, 10(6): 701-710.
- [6] YANG L, CHEN K, LI X Y, et al. Tagoram: real-time tracking of mobile RFID tags to high precision using COTS devices[C]// Proceeding of ACM Conference on Mobile Computing. Hawaii, USA, 2014: 238-248.
- [7] ROGERS D F. Procedural elements for computer graphics(2nd Edition)[M]. 北京:机械工业出版社, 2002.
- [8] nanotron. nanoLes location engine and server[OL]. http://nanotron.com/EN/index.php.