

WSNs中考虑障碍物的定位计算框架

程序框架

整套程序由若干模块组成，第一是节点坐标生成模块，第二是衰减常数插值模块，第三是电磁波功率衰减计算模块，第四是定位计算模块。

节点坐标生成模块

节点坐标生成模块的目标是生成节点的坐标，节点包括锚节点(Anchor)和未知节点(Node)，锚节点在一些文献中也被称为信标(Beacon)，未知节点在一般情况下就是待定位节点。本文的节点坐标通过随机数产生，程序中由类"ToolNodesGenerator"完成。"ToolNodesGenerator"支持在2D或3D空间下进行坐标生成，用户需要在构造函数中提供空间维度信息，并通过成员函数

数 `SetBoundaryX`、`SetBoundaryY`、`SetBoundaryZ` 提供各个维度的边界信息，2D空间例子如下

```
ToolNodesGenerator * ng = new ToolNodesGenerator("ng", 20, 10, "2D");
ng->SetBoundaryX(-100,100);
ng->SetBoundaryY(-100,100);
ng->Initialize();

vector<double> Nxs, Nys, Nzs;
ng->GetAnchors(Nxs, Nys, Nzs);
```

其中，函数 `GetAnchors` 用于获取节点坐标，节点坐标按照维度分开，通过对应维度的容器保存，虽然在2D空间下只包含两个维度，但依然需要提供三个容器，这是与3D空间通用的操作。

衰减常数插值模块

衰减常数指Wi-Fi功率在介质中传播时的衰减公式中的常数，为指数项[Hu, 2017]，假设在均匀介质中，锚节点名称为 $A1$ ，未知节点名称为 $N1$ ，未知节点发射Wi-Fi信号的功率为 S_{N1} ，则锚节点接受到的Wi-Fi信号功率 $S_{A1,N1}$ 如下

$$S_{A1,N1} = E_{A1,N1} S_{N1} e^{-2\alpha_{dA1N1} d_{A1,N1}} \quad (1)$$

其中， $d_{A1,N1}$ 为距离，表示从锚节点 $A1$ 到未知节点 $N1$ 的欧式距离， $E_{A1,N1}$ 为比例因子，主要用于描述功率在 $d_{A1,N1}$ 路程上由于非材料衰减导致的功率损失， α_{dA1N1} 为衰减常数。

衰减常数的样本是计算的已知条件，样本具体指某一坐标下衰减常数的数值，由于衰减常数与坐在位置的材料有关，因此衰减常数的采样是从材料分布的地图中获得的，材料分布地图对于室内定位情况而言，就是房屋的布置图，对于室外定位，是城市规划图等。

待求点 $N_i = [x_{Ni}, y_{Ni}, z_{Ni}]^T$ 的衰减常数 α_{Ni} 通过插值得到，采用加权插值方法，考虑待求点周围的某采样点 $A_{Am} = [x_{Am}, y_{Am}, z_{Am}]^T$ ，其衰减常数 α_{Am} 对应的权重 $W_{Am, Ni}$ 遵从距离 $d_{Am, Ni}$ 的高斯分布， $N(0, \sigma_{Am, Ni})$ ， $d_{Am, Ni}$ 表示待求点 A_{Ni} 到采样点 A_{Am} 的欧式距离， $d_{Am, Ni} = \|A_{Am} - A_{Ni}\|_2$ ， $\sigma_{Am, Ni}$ 为高斯分布的标准差，目前由人工设定，但可以通过最优化计算得到。

$$\alpha_{Ni} = \frac{1}{\sum_{i \in I} W_{Am, Ni}} \sum_{m \in M} \alpha_{Am} W_{Am, Ni} \quad (2)$$

$$A_{Ni} = [x_{Ni}, y_{Ni}, z_{Ni}]^T, i \in \{1, 2, \dots, N_I\} = I \quad (3)$$

$$A_{Am} = [x_{Am}, y_{Am}, z_{Am}]^T, m \in \{1, 2, \dots, N_M\} = M$$

$$d_{Am, Ni} = \|A_{Ni} - A_{Am}\|_2 = \sqrt{(x_{Ni} - x_{Am})^2 + (y_{Ni} - y_{Am})^2 + (z_{Ni} - z_{Am})^2} \quad (4)$$

$$W_{Am, Ni} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{d_{Am, Ni}^2}{2\sigma^2}} \sim N(0, \sigma_{Am, Ni}) \quad (5)$$

电磁波功率衰减计算模块

物理介绍

电磁波功率衰减计算模块在观测数据的生成阶段和定位计算阶段都有应用，其基本功能是计算锚节点 A_{Am} 所接收到的，来自于未知节点 A_{Ni} 的Wi-Fi信号功率 $S_{Am, Ni}$ ，未知节点 A_{Ni} 发射时的功率为 S_{Ni} 。该功率数值与两节点距离 $d_{Am, Ni}$ 以及两节点连线上的衰减常数 $\alpha_{Am, Ni}$ 有关，其中，衰减常数与电磁波所穿过的材料有关，而本文所考虑的空间中，材料分布不均匀，由此导致介于两节点之间，由电磁波穿过的材料不均匀，进而导致衰减常数不一致。为了计算锚节点 A_{Am} 所接收到的电磁波功率，需要将衰减常数作为坐标 $A = [x, y, z]^T$ 的函数 $\alpha_{Am, Ni}(A)$ ， l 表示电磁波离开未知节点 A_{Ni} 后行径的坐标，为当前坐标 $A = [x, y, z]^T$ 的函数，如下

$$l(A) = \|A - A_{Ni}\|_2 = \sqrt{(x - x_{Ni})^2 + (y - y_{Ni})^2 + (z - z_{Ni})^2} \quad (6)$$

Wi-Fi信号功率衰减的全部过程通过积分表示，

$$S_{Am, Ni} = S_{Ni} \cdot E_{Am, Ni} \cdot e^{\int_{A_{Ni}}^{A_{Am}} -2\sigma_{Am, Ni}(A) dl(A)} \quad (7)$$

实际编程计算中，上式通过数值方法求解，

$$\begin{aligned} S_{Am, Ni} &= S_{Ni} \cdot E_{Am, Ni} \cdot \prod_{k \in K} e^{-2 \cdot \sigma_{Am, Ni}(A_k) \cdot \Delta l} \\ &= S_{Ni} \cdot E_{Am, Ni} \cdot e^{\sum_{k \in K} -2 \cdot \sigma_{Am, Ni}(A_k) \cdot \Delta l} \end{aligned} \quad (8)$$

设定将电磁波从未知节点 A_i 向锚节点 A_m 行径的过程均等划分为 N_K 份，方程中， A_k 表示电磁波在从未知节点 A_i 向锚节点 A_m 行径的过程中的第 k 个位置（为便于程序计算， k 从0开始编号）， Δl 表示行径一次所经过的距离，

$$A_k = A_{Ni} + (k + 0.5) \frac{A_{Am} - A_{Ni}}{N_K}, k = \{0, 1, \dots, N_K - 1\} \in K \quad (9)$$

$$\Delta l = \frac{\|A_{Am} - A_{Ni}\|_2}{N_k} \quad (10)$$

比例因子 $E_{Am, Ni}$ 的计算如下,

$$E_{Am, Ni} = \frac{C}{4\pi d_{Am, Ni}^2} \quad (11)$$

其中, C 与锚节点自身属性相关, 在假设无线传感器网络所有节点的硬件特性相同时, 认为 C 为常量。

程序介绍

电磁波衰减的计算由类"ToolSignalPowerGenerator"完成, 用户通过调用成员函数 `GetSignalPower` 进行衰减常数的计算, 实例如下

```
ToolSignalPowerGenerator * spg = new ToolSignalPowerGenerator("spg");
spg->SetToolMapGenerator(map);

vector<double> A_anchor, A_node;
A_anchor.push_back(-100);
A_anchor.push_back(-100);
A_anchor.push_back(0);
A_node.push_back(100);
A_node.push_back(100);
A_node.push_back(0);

double power = spg->GetSignalPower(A_anchor, A_node);
```

注意, 计算中不区分2D或3D空间, 如果是在2D空间下进行计算, 仍然需要提供锚节点"A_anchor"与未知节点"A_node"的三维坐标, 成员函数 `GetSignalPower` 会在积分计算之前检查两个坐标的维度, 即检查代表两个坐标的容器"A_anchor"和"A_node"的大小, 必须为3, 否则函数将打印出提示语句。在2D空间条件下, 只需要保证锚节点与未知节点坐标容器"A_anchor"和"A_node"的第三个元素相等即可, 一般可均设置为0。

参考文献

[Hu, 2017] 胡云. WiFi 电磁波能量在砖墙中的传播特性研究[J]. 大学物理, 2017, 36(8).