

泛网格化机场噪声感知节点布局优化研究

龚 正 肖 晓 丁伟杰 王兴虎

(南京航空航天大学 自动化学院 南京 211100)

摘要: 传统的机场噪声感知存在成本高、环境要求高、稳定性差、维护成本高,系统可扩展性差等问题,为此提出了一种基于 ZigBee 的新型机场噪声感知模式。该模式将成本低廉的传感器节点按密集非均匀的泛网格状布置于机场内部及围界,提出了一种适用于新型机场噪声感知模式的泛网格化感知节点布局优化方法,并通过一系列实验分析确定了新型机场噪声感知模式中 ZigBee 感知节点布局方案。并将得到的布局优化方案应用于天津滨海国际机场,实地验证的结果证实了新型感知模式和泛网格化布局方法的实用性与有效性。

关键词: 机场噪声;泛网格化;感知点布局;层次分析法;仿真

中图分类号: TP8 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

Optimization research on the layout of extensive noise perceptual node at airport

Gong Zheng Xiao Xiao Ding Weijie Wang Xinghu

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211100, China)

Abstract: In this paper, we present an improved, ZigBee-based, grid-enabled airport noise monitoring method, as original airport noise monitoring method is not very suitable to airport noise monitoring. The proposed method widely deploy sensor nodes in the airport and its surrounding areas as grid. The improved method has huge number of sensor nodes which are intensive and cheap, so the method can apply to airport noise monitoring business such as noise monitoring, flight track reconstruction, noise counter map portrayal. Through a series of simulation we proposed a layout method of sensor nodes in grid-enabled airport noise monitoring. Finally we implement this grid-enabled airport noise monitoring method and nodes layout method in Tianjin Binhai International Airport and evaluate the performance.

Keywords: airport noise; extensive grid; perception point layout; AHP; simulation

1 引言

近年来我国民航业持续快速发展,行业规模和效益大幅度增长,同时新建、扩建机场和持续增长的航空运输量使得机场噪声问题愈发严重,机场噪声问题正在成为影响民航业发展的障碍之一。

目前,机场噪声感知系统在许多发达国家主要机场都已推广应用,我国的主要机场也已安装了类似系统。但是,现有噪声感知系统均采用传统感知方法,特点是成本高、环境要求高、稳定性差、维护成本较高、系统可扩展性差、感知点数量较少,无法实现机场及其周边的大规模部署,所以也不能实现机场周围噪声环境的全面精确度量,不能适应现代机场发展的需要。

传统的噪声监测模式中,监测节点的布局方法始终是

国内外的研究热点。在噪声监测节点布局与优化方面的研究集中在模糊数学方法^[1-2]、物元分析法^[3]、抽样理论^[4]、主成分分析方法^[5];近年来还引入了智能算法研究监测点位优化,如神经网络^[6]、时间序列^[7]的优选法,贝叶斯网络^[8]、逆向工程^[9-10]等。

在研究了传统的机场噪声感知技术以及机场噪声感知业务后,结合近年来飞速发展的物联网技术,提出了基于 ZigBee^[11-13]的机场噪声感知模式,这种方法的感知点数量巨大、造价低廉、分布密集,能够较好的适用于机场噪声感知业务,如噪声感知^[14]、航迹再现、噪声等值线绘制等。研究机场噪声感知节点的泛网格化布局优化方法是机场噪声感知需解决的关键问题。

文章的后续章节安排如下:第 2 节介绍了感知节点泛

网格化布局方案;第 3 节主要介绍了基于层次分析法的节点布局综合评价标准;第 4 节主要介绍了基于仿真实验分析的感知节点布局方法;第 5 节给出了结论。

2 感知节点泛网格化布局方案

研究机场噪声感知的泛网格化节点布局是根据机场及周边环境以及航路的特点,结合机场噪声的时空特性,以细粒度、非均匀、广泛分布的噪声感知节点为基本单位的感知节点布局方法。感知节点的泛网格如图 1 所示,将机场及其周边环境看做 1 个平面,将该平面网格化,每个网格的交点就是 1 个噪声感知节点的基准位置。

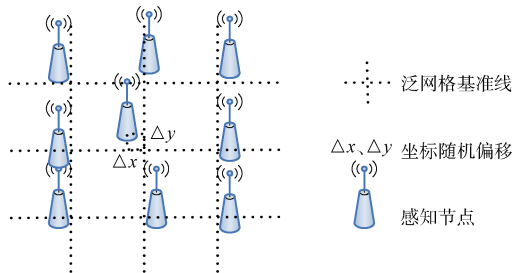


图 1 机场噪声感知泛网格示意

通过上文的研究与分析,可知机场噪声感知节点泛网格化布局方案可由泛网格的宽度、感知节点的覆盖面积以及 ZigBee 网络的拓扑结构确定:

2.1 网格宽度

网格宽度(grid width, Gw)是机场噪声感知节点泛网格化布局的重要参数。基准网格的宽度最终决定了单位面积内感知节点的数量,而感知节点的疏密程度会对 ZigBee 网络通信以及机场噪声感知业务造成一定影响,网格边长越小,监测点分布越密集,监测的精度也越高。通过实验测定本文所用 ZigBee 模块的最大可靠传输距离大概在 350 m 左右,所以在本章的研究中假定 ZigBee 信号的传输距离为 350 m。

2.2 覆盖面积

覆盖面积(coverage area, Ca)指的是机场噪声感知节点覆盖面积的总和。覆盖面积的大小决定了 ZigBee 网络的规模、节点的数量、整个组网部署方案的造价,还有机场噪声感知的全面性,覆盖面积越大,机场噪声感知越全面,机场噪声感知的数据越精确可靠。

2.3 拓扑结构

在节点以泛网格化方式部署的情况下,ZigBee 网络的拓扑结构主要由网络深度 L_m 、最大子节点个数 C_m 、子节点中最大路由节点个数 R_m 确定。在其他条件相同的情况下,拓扑结构的不同直接影响着网络性能以及泛网格化部署方案的造价。在本章中。为了便于研究,假设 $C_m = R_m$ 。

3 基于层次分析法的节点布局综合评价标准

由于感知节点的泛网格化布局好坏是由多方面因素决

定的,这些因素对总体综合评价的影响可能不同。因此,在进行综合评判时,必须给出各个因素在总评价中的权重系数(重要程度)。层次分析法(AHP)^[15]是由美国的匹斯堡大学 Saaty 教授提出的一种将定性分析与定量分析方法相结合的多属性决策分析方法,文章引入多个指标进行评价,多评价指标适用于对决策结果难以直接准确计量的问题。为了计算各项成本评估指标的权重,文章根据少量定性信息直接构建判断矩阵并采用层次单排序计算方法计算各项评估指标的权重。感知节点布局的综合评价标准(layout comprehensive evaluation, Lce)可以通过以下步骤进行确定。

3.1 层次结构模型的建立

在 AHP 中,层次结构模型的建立有以下几个步骤。首先将问题分解为元素的各个组成部分,把这些元素按属性不同分成若干个组,以形成不同的层次。按照目标层、准则层、指标层、方案层的形式进行分层排列。文章根据机场噪声感知节点泛网格化布局的特征及布局原则,结合泛网格化节点布局方案,按照综合性强、实用性好、易定量分析的原则,以感知层 ZigBee 网络通信质量、机场噪声感知全面性以及节点部署方案经济性作为机场噪声感知节点泛网格化布局的评判准则。节点布局综合评价层次结构模型如图 2 所示。

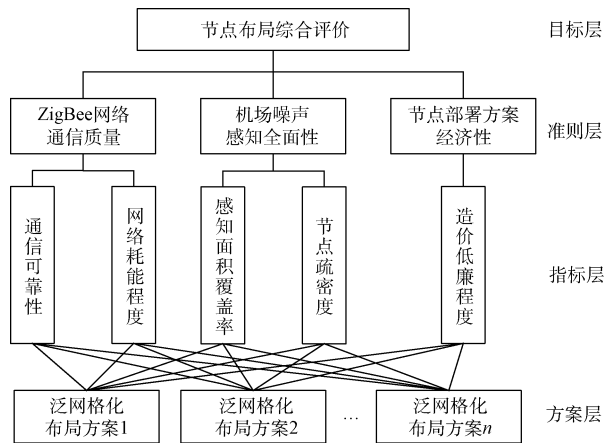


图 2 节点布局综合评价层次结构模型

1) ZigBee 网络通信质量

文章主要通过分组投递率和剩余能量比分别从可靠性和能耗方面来评价不同节点布局对 ZigBee 网络通信质量的影响。具体到指标层,评判准则体现在分组投递率和剩余能量百分比两个指标上。分组投递率是衡量网络成功接收数据分组的性能指标,常用来表示网络传输的可靠性,网络的分组投递率越大,可靠性越高。剩余能量百分比可以有效的衡量网络的能耗情况,剩余能量百分比越高,网络能耗越低。

2) 机场噪声感知全面性

文章主要通过感知面积覆盖率和节点疏密度分别从机场噪声感知的范围和细粒程度来评价不同节点布局对网络

性能的影响。其中感知面积覆盖率(coverage ratio, CR)是感知节点覆盖面积 C_a 与所有需要感知面积(total aera, T_a)的比值,可用来表征感知网络的范围,具体计算公式如式(1)所示。

$$Cr = \frac{C_a}{T_a} \tag{1}$$

节点疏密度(node density, Nd)可以有效的衡量机场噪声感知数据的细粒度,节点疏密度越高,感知数据的细粒程度也就越高。节点疏密度指的是感知节点覆盖区域内现有节点数目(node number, Nn)与最多可部署节点的数目(node max, Nmax)的比值,具体计算公式如公式(2)所示。由于声速和飞机的速度都很高,而感知节点每秒钟采集一次噪声数据,间隔小于 50 m 的感知节点之间噪声数据的差异很小,所以本文将最小的网格宽度设置为 50 m,从而确定覆盖面积内最多的节点个数。

$$Nd = \frac{Nn}{N_{max}} \tag{2}$$

3) 节点部署方案经济效率

文章主要通过经济效率(economic efficiency, Ee)从节点部署方案的经济性来评价不同节点布局的影响。造价的低廉程度是机场及其周界区域完全覆盖最少需要的感知节点数目(node minimum, Nmin)与现有节点数目 Nn 的比值。具体计算公式如式(3)所示。最大的网格宽度可以根据假定的 ZigBee 设备的最大传输距离设定,从而得到完全覆盖最少需要的节点数目。

$$Ee = \frac{N_{min}}{Nn} \tag{3}$$

在综合上述 5 个指标之后,得到感知节点布局的综合评价标准 L_{ce} 的计算公式如式(4)所示。其中所有权重的和为 1 如式(5)所示。

$$L_{ce} = \omega_1 Pdr + \omega_2 Rer + \omega_3 Cr + \omega_4 Nd + \omega_5 Ee =$$

$$\omega_1 \frac{Pr}{Ps} + \omega_2 \frac{\sum Er}{\sum Ei} + \omega_3 \frac{C_a}{T_a} + \omega_4 \frac{Nn}{N_{max}} + \omega_5 \frac{N_{min}}{Nn} \tag{4}$$

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 + \omega_5 = 1 \tag{5}$$

3.2 构造判断矩阵

层次分析法的一个重要特点就是用两两重要性程度之比的形式表示出两个指标的相应重要性程度等级。如对某一评价标准,对其下的 n 个指标进行两两对比,并按其重要性程度评定等级。记 ω_{ij} 为第 i 和第 j 指标的重要性之比 ω_{ij} 是权重 ω_i 对 ω_j 的相对重要性,表 1 列出 Saaty 给出的

表 1 比例标度表

ω_i 比 ω_j	量化值
极端重要	9
强烈重要	7
明显重要	5
稍微重要	6
同样重要	1

重要性等级及其赋值。

在 AHP 中,为了确定 $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5$ 成本评估指标的权重,通常采用如表 1 所示的比例标度法。其中 $\omega_j = 1, \omega_{ij} = 1/\omega_{ji}$, 且 $\omega_{ij} > 0 (i, j = 1, 2, 3)$ 。

$$A = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} & \omega_{14} & \omega_{15} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} & \omega_{24} & \omega_{25} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} & \omega_{34} & \omega_{35} \\ \omega_{41} & \omega_{42} & \omega_{43} & \omega_{44} & \omega_{45} \\ \omega_{51} & \omega_{52} & \omega_{53} & \omega_{54} & \omega_{55} \end{bmatrix} \tag{6}$$

对于机场噪声感知而言,机场噪声感知全面性中的两个指标:感知面积覆盖率明显比网络能耗程度重要一些,所以相应的比值赋值为 4;而节点的疏密程度相比通信可靠性为一般重要,所以赋值为 2;比布局方案造价经济性重要得多,所以赋值为 5;以此类推,得到的判断矩阵如式(7)所示:

$$A = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} & \omega_{14} & \omega_{15} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} & \omega_{24} & \omega_{25} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} & \omega_{34} & \omega_{35} \\ \omega_{41} & \omega_{42} & \omega_{43} & \omega_{44} & \omega_{45} \\ \omega_{51} & \omega_{52} & \omega_{53} & \omega_{54} & \omega_{55} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 & 1/2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 1/4 & 1/3 & 2 \\ 3 & 4 & 1 & 2 & 7 \\ 2 & 3 & 1/2 & 1 & 5 \\ 1/4 & 1/2 & 1/7 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

3.3 评估指标权重的计算

Saaty 通过求取最大特征值对应的特征向量而得到权值,为了从判断矩阵中提炼出有用的信息,为决策科学提供科学依据,就需要计算判断矩阵的权重向量。

$$A - \lambda E = 0 \tag{8}$$

$$\begin{bmatrix} \omega_{11} - \lambda & \omega_{12} & \omega_{13} & \omega_{14} & \omega_{15} \\ \omega_{21} & \omega_{22} - \lambda & \omega_{23} & \omega_{24} & \omega_{25} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} - \lambda & \omega_{34} & \omega_{35} \\ \omega_{41} & \omega_{42} & \omega_{43} & \omega_{44} - \lambda & \omega_{45} \\ \omega_{51} & \omega_{52} & \omega_{53} & \omega_{54} & \omega_{55} - \lambda \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 - \lambda & 2 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 4 \\ \frac{1}{2} & 1 - \lambda & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & 2 \\ 3 & 4 & 1 - \lambda & 2 & 7 \\ 2 & 3 & \frac{1}{2} & 1 - \lambda & 5 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{7} & \frac{1}{5} & 1 - \lambda \end{bmatrix} = 0 \tag{9}$$

计算得到 $\lambda_{max} = 5.0475, \lambda_{max}$ 是判断矩阵的最大特征根,令

$$\begin{bmatrix} \omega_{11} - \lambda_{\max} & \omega_{12} & \omega_{13} & \omega_{14} & \omega_{15} \\ \omega_{21} & \omega_{22} - \lambda_{\max} & \omega_{23} & \omega_{24} & \omega_{25} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} - \lambda_{\max} & \omega_{34} & \omega_{35} \\ \omega_{41} & \omega_{42} & \omega_{43} & \omega_{44} - \lambda_{\max} & \omega_{45} \\ \omega_{51} & \omega_{52} & \omega_{53} & \omega_{54} & \omega_{55} - \lambda_{\max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega'_1 \\ \omega'_2 \\ \omega'_3 \\ \omega'_4 \\ \omega'_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \lambda_{\max} & 2 & 1/3 & 1/2 & 4 \\ 1/2 & 1 - \lambda_{\max} & 1/4 & 1/3 & 2 \\ 3 & 4 & 1 - \lambda_{\max} & 2 & 7 \\ 1 & 3 & 1/2 & 1 - \lambda_{\max} & 5 \\ 1/4 & 1/2 & 1/7 & 1/5 & 1 - \lambda_{\max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega'_1 \\ \omega'_2 \\ \omega'_3 \\ \omega'_4 \\ \omega'_5 \end{bmatrix} = 0 \quad (10)$$

解得

$$(\omega'_1, \omega'_2, \omega'_3, \omega'_4, \omega'_5)^T = (0.302 \ 0, 0.172 \ 2, 0.794 \ 8, 0.488 \ 8, 0.092 \ 1)^T$$

最终可通过归一化如式(11)所示,计算得到评估指标权重向量。

$$\omega_i = \frac{\omega'_i}{\sum \omega'_i} \quad (11)$$

$$(\omega'_1, \omega'_2, \omega'_3, \omega'_4, \omega'_5)^T = (0.163 \ 3, 0.093 \ 1, 0.429 \ 6, 0.264 \ 2, 0.049 \ 8)^T$$

3.4 一致性检验

在实际应用中,研究者在进行两两比较级时,往往倾向于自己的价值取向和对比项的重要性,等级赋值会呈现出非等比性,当判断矩阵的阶数 $n > 2$ 时,通常难于构造出满足一致性的矩阵来。但判断矩阵又不应该过分偏离一致性条件,为此必须对是否可接受判断矩阵进行鉴别,这就是一致性检验的内涵。为了检验判断矩阵的一致性,则需要如式(12)计算矩阵的一致性指标 CI 、随机一致性比例 CR 以及平均随机一致性指标 RI 。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.011 \ 9 \quad (12)$$

随机一致性指标 RI 表示平均一致性指标,通过多次计算各阶随机判断矩阵的特征根,然后取特征根的平均值作为平均一致性指标。它的值可以根据矩阵的阶数从表 2 中查得。

表 2 矩阵的平均一致性指标

阶数	RI 指标
1	0
2	0
3	0.52
4	0.89
5	1.12
6	1.26
7	1.36
8	1.41
9	1.46

判断矩阵的一致性指标 CI 与平均随机一致性指标 RI 的比值称为随机一致性比例,记为:

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0.0106 \quad (13)$$

由式(13)可计算出一致性指标 $CR = 0.0106 \leq 0.1$, 所求结果满足一致性检验,是可以接受的。

4 基于仿真实验分析的感知节点布局方法

文章通过仿真分析的方式研究机场噪声感知节点的布局方法。仿真实验在 ubuntu12.04 环境下的 NS2.34 中运行。为了更准确的确定合适的覆盖面积,网格宽度以及网络拓扑参数的选取,本文进行 3 组实验。在网络拓扑一定,节点个数一定,网格宽度变化的情况下根据布局综合评价指标 Lce 研究覆盖面积的选取。通过这种控制变量法,再分别确定网格宽度、网络拓扑结构的选取。

1) 覆盖面积

在维持节点个数一定,网格宽度变化的实验中,文章按照 5×5 的泛网格分别布置 25 个节点,并且在网格宽度分别为 50、100、150、200、250 m 的情况下进行仿真,网络深度以及最大子节点个数设置为普遍认为具有代表性的 4 和 7,采用 CBR 数据流,数据包大小为 80 字节,节点初始能量设置为 25 J,仿真时间为 200 s。具体配置参数如表 3 所示。

表 3 节点个数确定时的仿真参数

仿真参数	参数值
通信半径/m	350
网格宽度/m	50、100、150、200、250
Lm	4
Cm, Rm	7
节点个数	25
节点初始能量/J	25
仿真时间/s	200
数据流类型	CBR
数据包大小/Byte	80
平均速率/(packets \cdot s ⁻¹)	0.5

当节点个数一定,网格宽度变化时,不同覆盖面积下各评价指标以及综合评价 Lce 如表 4 和图 3 所示。

如表 4 所示,通过仿真实验可以看出当网格宽度较小时,分组投递率和剩余能量比均较低。这说明由于通信范围彼此覆盖,经常互相占用信道,导致信息传输碰撞,很多的数据不能顺利到达汇聚节点。而随着网格宽度的增加,节点数目不变的情况下,感知网络覆盖的面积变大了,导致感知覆盖率升高,同时由于节点的间距增加,节点密度降低,但由于节点总个数始终没变,经济效率也不发生变化。

表4 节点个数确定时的指标对比

Lm, Cm	Nn	Gw/m	Pdr	Rer	Cr	Nd	Ee	Lce
4,7	25	50	0.963 1	0.831 4	0.04	1	0.64	0.547 934
4,7	25	100	0.978 9	0.854 9	0.16	0.308 6	0.64	0.359 723
4,7	25	150	0.986 3	0.863 7	0.36	0.147 9	0.64	0.467 076
4,7	25	200	0.991 9	0.874 9	0.64	0.086 5	0.64	0.573 1
4,7	25	250	0.995 6	0.887 4	1	0.056 6	0.64	0.721 645

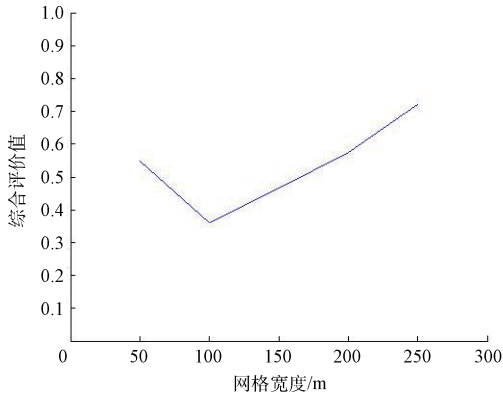


图3 覆盖范围变化时的综合评价

从图3可以看出在网格宽度较小的时候,虽然覆盖面积小,ZigBee网络的性能指标都比较差,但是网络的节点密度指标达到了1,变相的弥补了其他指标的劣势,综合评价不是最低。但由于网格宽度增加,感知面积的覆盖率的提升,综合评价逐渐升高,当需要感知的区域全部覆盖时,综合评价升至最高。由此可以得出一个指导性的准则,考虑到综合评价标准,需要感知的区域要尽可能多的覆盖。

2) 网格宽度

在保持网络覆盖范围一定,网格宽度变化的实验中,

文章选取 1 km^2 的区域,分别采用 80、100、125、160、250 等网格宽度、按照泛网格的方式部署 5×5 、 7×7 、 9×9 、 11×11 、 13×13 个节点,网络深度以及最大子节点个数设置为普遍认为具有代表性的 4 和 7,采用 CBR 数据流,数据包大小为 80 Byte,节点初始能量设置为 25 J,仿真时间为 200 s。具体配置参数如表 5 所示。

表5 网络范围确定时的仿真参数设置

仿真参数	数值
网络范围/(m×m)	1 000×1 000
通信半径/m	350
网格宽度/m	80、100、125、160、250
Lm	4
Cm, Rm	7
节点初始能量/J	25
仿真时间/s	200
数据流类型	CBR
数据包大小/Byte	80
平均速率 packets/s	0.5

当网络范围一定,网格宽度变化时,不同情境下的报文投递率(packet delivery ratio, PDR)和剩余能量比 RER 如表 6 和图 3 所示。

表6 网络范围确定时的指标变化

Lm, Cm	Nn	Gw/m	Pdr	Rer	Cr	Nd	Ee	Lce
47	169	80	0.918 9	0.811 4	1	0.383 2	0.094 6	0.761 15
47	121	100	0.943 4	0.832 7	1	0.274 3	0.132 2	0.740 235
47	81	125	0.960 7	0.858 9	1	0.183 6	0.197 5	0.724 789
47	49	160	0.983 1	0.870 2	1	0.111 1	0.326 5	0.716 768
47	25	250	0.995 6	0.887 4	1	0.056 6	0.64	0.721 624

如表 6 所示,通过仿真实验可以看出当网格宽度较小时,分组投递率和剩余能量比都较低,甚至低于实验 1 中网格宽度相同时的指标。这说明节点数目较多时,所有节点之间底层需要更大维持邻居表,更加经常互相占用信道,信息传输经常遭遇碰撞,导致很多的数据不能顺利到达目的节点。且维持越大的邻居表,需要发送越多的控制报文,消耗的能量也就越多。但随着网格宽度的增大,节

点数量下降,更大程度上减小了节点间彼此覆盖的几率。而随着网格宽度的增加,节点数目降低的情况下,感知网络覆盖的面积一定,感知面积覆盖率不变,节点密度降低,经济效率上升。

在覆盖比例保持最高的情况下,变化网格宽度意味着变化节点个数。可以看到在节点个数减小,网格宽度增大时,节点密度不断下降,意味着机场噪声感知的数据细粒

度下降。虽然经济效率以及 ZigBee 网络性能不断升高,但由于经济效率和网络性能在本综合指标中并不占有太高权重,如图 4 所示,整体的综合指标还是一直下落;虽然在极端情况下有一些回升,但此时的泛网格化感知节点布局的综合评价仍然不如网格宽度选择相对较小的 80 m 时优秀。由此可以得出一个指导性的准则,考虑到综合评价标准,在尽可能多的覆盖需要感知的区域的前提下,需要更多考虑噪声感知的细粒度,选取较小的网格宽度。

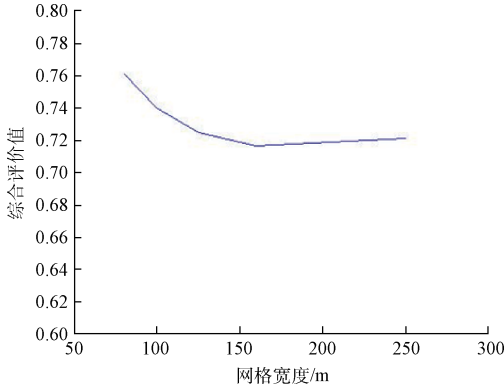


图 4 网络范围确定时的综合评价变化

3)网络拓扑结构

为了确定更适合泛网格化机场噪声感知的网络拓扑,在实验中尝试了更多可能的参数取值,并在其他条件不变的情况下分别对这些取值进行仿真实验。为了简化实验,文章假设最大子节点数等于子节点中最大路由节点数,即

$$Rm = Cm。$$

在保证除了 Lm 和 Cm 值改变,其他值不便的前提下,分别采用 125 m 的网格宽度、按照泛网格的方式部署 7×7 个节点,网络深度以及最大子节点个数设置分别设置为 3、4、5、6、和 5、6、7、8,采用 CBR 数据流,数据包大小为 80 Byte,节点初始能量设置为 25 J,仿真时间为 200 s。具体配置参数如表 7 所示。

表 7 不同拓扑结构时的仿真参数设置

仿真参数	参数值
网络范围/m×m	1 000×1 000
通信半径/m	350
网格宽度/m	160
节点个数	49
Lm	3,4,5,6
Cm, Rm	5,6,7,8
节点初始能量/J	25
仿真时间/s	200
数据流类型	CBR
数据包大小/Byte	80
平均速率/(packets · s ⁻¹)	0.5

当其他条件一定,网络拓扑变化时,不同情境下的报文投递率 (packet delivery ratio, PDR) 和剩余能量比 (residual energy ratio, RER) 如表 8 和图 5 所示。

表 8 不同网络拓扑结构下的指标变化

Lm, Cm	Nn	Gw/m	Pdr	Rer	Cr	Nd	Ee	Lce
3,5	49	160	0.907 3	0.802 4	1	0.111 1	0.326 5	0.698 078
3,6	49	160	0.936 7	0.827 7	1	0.111 1	0.326 5	0.705 234
3,7	49	160	0.952 4	0.848 9	1	0.111 1	0.326 5	0.709 772
3,8	49	160	0.968 6	0.860 7	1	0.111 1	0.326 5	0.713 516
4,5	49	160	0.978 9	0.868 9	1	0.111 1	0.326 5	0.715 961
4,6	49	160	0.977 5	0.865 4	1	0.111 1	0.326 5	0.715 407
4,7	49	160	0.983 1	0.870 2	1	0.111 1	0.326 5	0.716 768
4,8	49	160	0.982 4	0.869 9	1	0.111 1	0.326 5	0.716 626
5,5	49	160	0.980 1	0.869 4	1	0.111 1	0.326 5	0.716 204
5,6	49	160	0.986 8	0.872 1	1	0.111 1	0.326 5	0.717 549
5,7	49	160	0.978 5	0.867 1	1	0.111 1	0.326 5	0.715 728
5,8	49	160	0.984 7	0.871 3	1	0.111 1	0.326 5	0.71713 2
6,5	49	160	0.987 6	0.873 4	1	0.111 1	0.326 5	0.71780 1
6,6	49	160	0.982 7	0.868 1	1	0.1111	0.326 5	0.716 507
6,7	49	160	0.978 5	0.863 1	1	0.111 1	0.326 5	0.715 356
6,8	49	160	0.983 9	0.870 3	1	0.111 1	0.326 5	0.716 908

如表 8 和图 5 所示,通过仿真实验可以看出当 Lm 和

Cm 的取值较小时,通过式(14)~(16)可得:

$$Cskip(d) \begin{cases} 1 + C_m * (L_m - d - 1), R_m = 1 \\ \frac{1 + C_m - R_m - C_m * R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m}, R_m > 1 \end{cases} \quad (14)$$

$$A_r = A_p + 1 + (n - 1) * Cskip(d) \quad (15)$$

$$A_e = A_p + R_m * Cskip(d) + m \quad (16)$$

可以计算出整个网络能容纳的最多节点数比较小,感知节点不能全部接入网络,此时未入网的节点报文全部丢失,导致分组投递率较低。未入网节点在仿真中反复发送入网请求,也使得网络能耗变大,剩余能量比例较低。而当 L_m 与 C_m 的取值达到所有节点可以加入网络后, L_m 与 C_m 的取值对网络性能并无太大影响。而剩余 3 个衡量指标:覆盖面积比例、节点密度和经济效率由于节点个数以及网格宽度没有发生变化,这 3 个值也没有发生变化。所以综合以上结论,可以认为网络拓扑的参数设置必须满足信号范围内的节点都能接入网,之后参数设置对布局的综合评价并无本质影响。

关于网络拓扑结构的确定,本文得到的结论是应该在保证网络内尽可能多的节点能接入网络。在仍然有节点未接入网络的情况下,网络深度 L_m 和最大子节点个数 C_m 越大越好。但是当所有节点都能接入网络后, L_m 与 C_m 的取值对网络性能影响不大,可以视具体情况设置。而根据式(14)~(16)可知, L_m 和 C_m 取值越大,网络的地址空间越大,但是在节点数一定的情况下,一味的增大 L_m

和 C_m 的取值会造成地址空间的浪费。所以一般情况下 L_m 与 C_m 的取值为保证尽可能多的节点入网的最小值。

5 结 论

将泛网格化的机场噪声感知方法应用于天津滨海国际机场的噪声感知系统,按照文章提出的布局方法,此系统中的感知节点最终按照 300 m 的间隔,以泛网格的形状布局。拓扑结构的参数最终设置为最大深度为 4,最大子节点个数为 5。实验结果表明,改进的感知方法与布局方法能够更好的完成机场噪声感知的相关业务。

参考文献

- [1] 员海,任光明,张涛,等.基于模糊数学方法的某水电站边坡稳定性评价[J].路基工程,2014(1):143-147.
- [2] 李梦婕,申双和,李雨鸿,等.模糊数学方法评价南京市生态系统健康形势[J].科学技术与工程,2014,22(14):108-114.
- [3] 刘菁,赖茂宇,孙晓丹.基于物元分析法的施工项目管理绩效评价模型[J].工程管理学报,2015(1):124-128.
- [4] 刘梦飞.浅析基于计数抽样理论的软件测试用例评审过程[J].电脑知识与技术,2015,22(11):138-139.
- [5] 吴岩.基于主成分分析法的科技型中小企业技术创新能力的影响因素研究[J].科技管理与研究,2013,33(14):108-112.
- [6] 彭基伟,吕文华,行鸿彦,等.基于改进 GA-BP 神经网络的湿度传感器的温度补偿[J].仪器仪表学报,2013,34(1):154-160.
- [7] 刘翔明,石为人,范敏.一种时间序列连续分段多项式模式表示方法[J].仪器仪表学报,2014,35(5):1053-1056.
- [8] 朱坚民,张雷,翟东婷.基于声音多特征贝叶斯网络融合的话者识别研究[J].仪器仪表学报,2013,34(9):2059-2067.
- [9] 宫文峰,黄美发.逆向工程技术的应用与研究[J].机械设计与制造,2013(1):110-112.
- [10] 范钧,王雷刚.基于逆向工程的产品快速开发精度分析与控制[J].机械设计与制造,2013(1):182-184.
- [11] 周岭松,余春暄.基于 ZigBee 技术的温、湿度控制系统[J].电子测量技术,2011,34(6):47-50.
- [12] 裴勇召,朱璠璞.基于 ZigBee 的无线温湿度采集系统研究[J].国外电子测量技术,2013,32(1):33-36.
- [13] 焦尚彬,宋丹,张青.基于 ZigBee 无线传感器网络的煤矿监测系统[J].电子测量与仪器学报,2013,5(27):436-442.

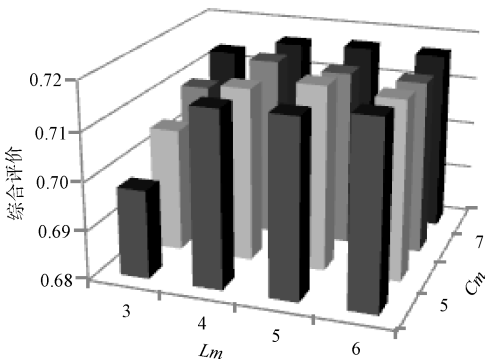


图5 不同拓扑结构下的综合评价变化

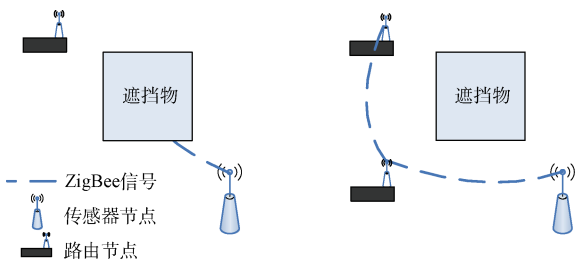


图6 信号遮挡示意图

(下转第 143 页)