

# 一种改进的无线传感器网络森林火灾报警系统

赛义德·乌拉·扬, 法扎尔·哈利克

巴基斯坦 查克达拉 马拉坎大学计算机科学与 IT 系

**摘要:** 无线传感器网络是一个自组织网络, 它由分布式数量的小型设备组成, 用于在部署的环境中执行监控活动。许多野火造成森林破坏, 影响到大量生物。本研究探讨了一种基于野火监测的无线传感器网络 (WSN) 系统设计方法。提出的解决方案的主要目标是智能地估计森林中点燃的野火的规模和强度。已经为无线传感器网络之间的数据通信实现了节能和基于优先级的技术。可以借助所提出的数据通信解决方案来创建动态路由路径。这些动态路径取决于许多参数, 如重量、能量、火灾、天气指数和安全性。为了验证, 所提出的解决方案通过使用 Microsoft Framework (工具和技术) 设计和实现原型, 以完成大量的模拟实验。结果和评估清楚地表明了我们的基于无线传感器网络的方法的效率和可靠性。

**关键词:** 能源; 野火; 山崩; 强度; 框架

## An Improved Forest Fire Alerting System Using Wireless Sensor Network

Saeed Ullah Jan, Fazal Khaliq

Department of Computer Science & IT, University of Malakand, Chakdara, Pakistan

**Abstract:** Wireless Sensor Network is a self-organization network that consists of a distributed number of minor devices for performing the monitoring activities within the deployed environment. Many wildfires cause forest damages affecting a large number of living organisms. This research study discusses a system design approach to wireless sensor network (WSN) based on the monitoring of wildfire. The main goal of the proposed solution is to intelligently estimate the scale and intensity of the wildfire which is ignited in the forest. The energy efficient and priority based techniques have been implemented for the data communication between the wireless sensor networks. The dynamic routing paths can be created with the help of the proposed data communication solution. These dynamic paths are developed depending upon a number of parameters such as weight, energy, fire, weather index and security. For the sake of validation, the proposed solution designs and implements a prototype by using Microsoft Framework (tools and technologies) to accomplish an extensive number of simulation experiments. The results and evaluations clearly show the efficiency and dependability of our proposed approach based on the wireless sensor network.

**Keywords:** Energy; Wildfire; Landslide; Intensity; Framework

### 1. 引言

信息和通信 (ICT) 技术已被用于实时监测、监视和执行许多其他任务和活动中的许多应用。在信息技术的帮助下, 许多任务在执行许多人类几乎不可能执行的活动时被自动化。借助先进的通信技术, 设计、开发和实施了许多关键解决方案。尽管如此, 在通信和网络领域已经进行了大量的研究工作。在当今世界, 市场上有许多关键转向解决方案。

无线传感器网络 (WSN) 是一种自组织网络, 由分布式数量的小型设备组成。无线传感器网络已被用于许多实时应用中。无线传感器网络 (WSN) 也用于执行各种环境监测活动。传感器用于从环境中收集不同类型的参数, 并将信息传输到汇点或基站。有许多协议被用于

无线传感器网络 (WSN) 之间的数据传输。无线传感器网络 (WSN) 的数据通信和协调标准很少。用于无线传感器网络 (WSN) 的通用传感器网络包括 ZigBee<sup>[1]</sup>、Bagheri<sup>[2]</sup> 和 6LoWPAN<sup>[3]</sup>。这些是用于 WSN 通信和协调的常见方案。实时应用的验证和认证是关键挑战, 尤其是在基于传感器网络技术的实时应用的情况下, 如洪水检测系统、家庭自动化<sup>[5]</sup>、物流<sup>[6]</sup>、滑坡检测、机器健康监测<sup>[7]</sup>、大区域防灾和监测<sup>[8]</sup>。然而, 在实现实时应用程序之前, 还设计和开发了许多仿真。所提出的模型可以部署在模拟环境中, 如一些常见的无线传感器模拟器 OPNET、NetSim、NetLogo、NS2、Win-log C#、OMNet 和许多其他应用<sup>[4]</sup>。在传感器网络应用程序的设计和开发中, 传感器网络的建模和仿真发挥着重要作用

<sup>[9]</sup>。无线传感器网络 (WSN) 还提供了许多好处, 如快速部署、低维护、高覆盖、低成本、可扩展性、无处不在的网络访问、更大的弹性、针对网络攻击的管理程序保护<sup>[10]</sup>。

无线传感器网络通常被组织为 ad hoc 网络, 这是一种网络, 使得每个节点通过向其他节点转发数据来参与路由, 而不依赖于任何集中式基础设施, 例如路由器和基站。节点可以随时加入或离开, 并且可以自由移动。路由协议是节点用来确定向目的地转发数据包的路径的算法。自组织网络通常使用距离向量路由, 因为集中式链路状态路由由于其复杂性和传播链路状态的显著成本而不可行。在距离矢量路由协议中, 每个节点维护下一跳的名称和到达目的地的跳数。自组织路由协议分为两类: 表驱动和按需<sup>[11]</sup>。路由协议是自组织网络最基本的基础设施之一。

当今市场对自动化和智能系统的需求正在动态增加, 并且观察到对决策支持系统的需求很高。上述讨论是从过去进行的现有森林火灾探测系统的角度进行的。主要差距和问题集中在如何通过基于 WSN 技术的概念框架解决这些挑战和问题的背景上。然而, 根据我们的分析, 由于每个系统都有一些可能在所述系统中可用的缺口和缺失的漏洞, 如果这些问题和挑战得到解决, 则很有可能设计和开发基于 WSN 的更好的森林火灾警报系统 (FFAS)。

## 2. 文献综述

森林火灾探测和警报系统开发被定义为复杂、关键和耗时的过程之一<sup>[18]</sup>。据分析, 随着时间的推移, 对森林火灾系统或自动化系统的需求正在增加, 全球许多发达国家正在投资于森林火灾探测系统, 如英国、美国和许多其他国家。在本研究的背景下, 本节的主题是对现有森林火灾探测系统进行深入调查, 以及<sup>[3]</sup>中提到的这些系统背景下存在的差距或挑战。根据我们的理解和分析, 可以观察到, 每一个森林火灾系统或任何系统都有某些类型的弱点或差距, 通过执行该系统, 这些差距和弱点很有可能得到解决。

这被认为是有助于发展基金会的关键部分, 通过该基金会的帮助, 可以确定和分析关键领域, 其中需要在<sup>[11]</sup>的森林火灾探测支持论据中进行扩展。在本研究的背景下, 下一节将介绍自然灾害。虽然在第 4 节中详细讨论了森林火灾探测系统, 但在讨论之后, 我们还将提出一些关于使用传统方法控制森林火灾的问题。

在分析和<sup>[19]</sup>的论证过程中, 观察到发展中国家也计划投资于信息和通信技术, 从而节约了自然资源。据联合国介绍, 一些在发展中国家工作的非政府组织 (NGO) 非常积极地参与了许多项目的开发, 这些项目有助于从灾害中拯救自然资源。据观察, 在 2000 年至 2016 年期间, 估计有数百万人受到影响, 他们的财产受到自然灾害、灾害和许多其他问题的影响, 支持<sup>[19]</sup>的论点。根据分析,

已经观察到有不同种类的范围可用于自动化系统检测, 最常见的技术是<sup>[20]</sup>中提到的基于卫星的系统。还指出, 还有许多系统也被用于灾害管理和检测, 例如地震检测。根据深入了解和调查, 有不同的方法可用于发现不同方面的自然灾害, 据观察, 在所有常见和最推荐的方法中, 使用技术 (传感器、节点和网络)。还观察到, 与传统解决方案相比, 先进的解决方案更有效, 如果技术得到适当部署, 会提供更好的结果<sup>[8, 11]</sup>。因为传统的森林火灾检测方法也被使用和构建, 但其对视觉、湿度、雾等的准确性可靠性会影响行动路线。这种任务的传统方法可分为两类, 如图 1 所示。

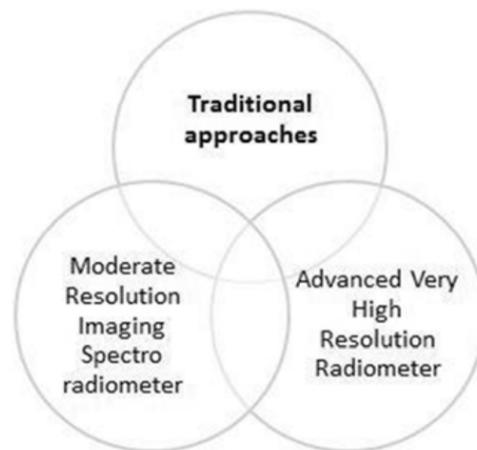


图 1. 传统方法。

最传统的方法之一包括火灾了望塔<sup>[20]</sup>。这些塔部署在森林附近的地区。该装置配有特殊装置。这些设备有助于监测森林火灾。这些特殊设备包括奥斯本火灾探测器或夜视设备辅助<sup>[20]</sup>。世界上许多国家, 包括美国、澳大利亚和加拿大, 仍在使用消防了望塔<sup>[21]</sup>。

### 2.1 自动住宅火灾探测

在本节中, 对住宅火灾自动探测系统进行了详细讨论, 并观察到, 当森林火灾发生时, 这些系统具有响应能力, 支持<sup>[8]</sup>的论点。本研究将不讨论森林火灾需要如何应对, 而是分析森林火灾的探测方法<sup>[9]</sup>。通过鼻子发出的气味被认为是一种很棒的火灾探测器, 甚至它也能通过使用人脑中存在的数百万神经元来闻到气味。人体是一个复杂的系统, 很有可能在特定区域内探测到火灾。

此外, 还有不同种类的商业产品也可用于火灾探测, 这些产品大多具有较低的测距能力。气载烟雾是利用电离和光电传感器模拟和检测的常见应用之一。这些系统主要由报警器组成, 每当检测到烟雾时, 报警器就会启动。所有的传感器都通过电线相互连接, 然后检测到保护物体免受火灾的解决方案。但由于性能较差和效率较低, 需要在改进检测的背景下设计、开发和实施这方面的新系统<sup>[22-23]</sup>。

### 2.2. 无线传感器网络方法

无线传感器网络和传感器技术在探测森林火灾方面

提供了许多传统方法无法实现的优点和许多功能。与其他技术相比，无线传感器技术的特点包括部署在现场的传感器具有高覆盖率、低成本、可扩展性、无处不在的网络访问、更大的弹性、针对网络攻击的管理程序保护以及更低的能源可维护性<sup>[24]</sup>。它是传统方法的替代方案；WSN 还具有检测和警报森林火灾的能力<sup>[20-21]</sup>，需要更少的电力、自组织、维护更少且成本低廉<sup>[13]</sup>。在过去几年中，已经开发、设计和实现了大量报警应用程序，用于使用传感器网络检测和报警森林火灾，但大多数系统都与 web 服务或在线报警系统连接。据观察，向紧急办公室发送警告消息时出现明显延迟<sup>[26]</sup>。

### 2.3. 森林火灾监测系统

这种方法和解决方案架构是为韩国山脉设计、开发和实施的。该解决方案的关键概念和目标开发是检测森林火灾，但目前还没有针对其开发响应应用程序。它利用无线传感器网络技术和通信协议在不同节点之间传输数据的上下文中获取数据和信息。森林火灾监控系统的主要组件是无线传感器网络、中间件和 web 应用<sup>[27]</sup>。在该系统中，传感器将用于检测受影响区域的三个主要参数，包括温度、湿度和烟雾。但是，由于环境和访问 web 应用程序的多变量，没有集中精力检测热量，也没有实时早期警报系统，因此，无法有效地执行此类任务。

### 2.4. 消防 WxNet

FireWxNet<sup>[19]</sup> 是一个多层便携式火灾传感器网络，用于测量已部署森林火灾应用程序的地区的天气和环境条件。它由网络摄像头、传感器技术和基站组成，通过部署 FireWxNet 帮助实现远程通信<sup>[19]</sup>。它通过网络摄像头收集半小时后的天气状况，该摄像头集成在一起，可连续查看森林火灾中可能燃烧的当前火灾状况。该系统能够为火灾行为分析提供有用的数据<sup>[28]</sup>。但一个关键问题被认为是该系统背景下的关键差距，即数据收集缺乏连续性，因此无法在实时环境下交付结果。

### 2.5. 矿井火灾探测

矿井火灾探测或识别也是一项关键挑战，因为矿井火灾的增长速度大于森林火灾。无线传感器网络也被用于识别矿井中的火灾。<sup>[27]</sup> 设计并实现了一种解决方案，其中借助部署在矿井中的传感器收集数据，并利用调度机制技术将数据传输到基站<sup>[27]</sup>，实现了快速高效的通信协议。已经观察到，这种调度机制技术有助于节省能量，并全面提高网络性能和网络优化技术。此应用程序中的其他组件包括数据处理；一旦收集到数据，信息就被传输到处理组件，并将信息发送到监控组件，在监控组件中，监控子系统生成警报<sup>[27]</sup>。

### 2.6. 天际线通道

天际线是一种智能机制和通信方法，已在无线传感器网络中用于森林火灾检测。这种方法仅将所需的消息传输到基站或汇点节点，每个传输的特定标准被定义为像具有最高温度和高风速的传感器读数一样，只能将天

际线上的数据发送到汇点以用于火灾检测。同时，sink 根据建议的算法处理数据，并以快速和节能的方式产生结果<sup>[24]</sup>。

### 2.7. 火灾指数系统

随着时间的推移，分析表明，有许多不同类型的系统可用于火灾指数系统。然而，火灾索引系统（FIS）最常用的系统如下所示：

#### 2.7.1. 火灾天气指数

它提供了基于天气条件的相对火灾可能性的计算。根据现有研究人员的工作<sup>[6-8]</sup>，分析认为这是常见系统之一，主要用于 FWI 系统和森林火灾检测及其估计机制<sup>[16]</sup>。FWI 的低值不太可能基于燃烧，而是基于<sup>[29]</sup> 的计算和研究分析，如下表 1 所示：

S/No	Ignition Potential	FFMC Value Range		Action Required	Priority
		High Value	Low Values		
1	Low	75	1	Send Alert	LOW
2	Moderate	85	76	Send Alert	LOW
3	High	89	86	Urgent Action Required	MEDIUM
4	Very High	92	90	Urgent Action Required	HIGH
5	Extreme	93+ (Can reached up to 130 depending upon the environmental conditions)	92	Urgent Action Required	HIGH

表 1. 点火电位与 FFMC 值的关系<sup>[29]</sup>。

而 FWI 的高值是根据点燃的火焰计算的；有些火可能会继续燃烧，而另一些火则需要立即扑灭。该系统的关键创新是设计用于森林火灾探测的无线传感器网络应用程序，该应用程序基于 FFMC、DMC、DC 代码和 ISI、BUI，并计算 FWI 指数<sup>[16]</sup>，如下图 2 所示：

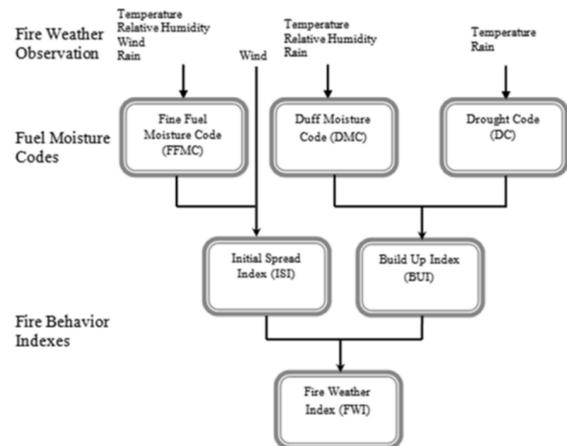


图 2. 火灾天气指数系统 (Groot, 1998)。

#### 2.7.2. 国家火灾危险等级系统 (NFDRS) 雾度指数

该方法基于多个指数，例如指示火灾发生可能性的发生指数、指定在额定区域内控制特定燃料类型中的单个火灾所需的可能努力量的燃烧指数、以及火灾负荷指数，该指数显示了在特定时间段内围绕评级区域内所有可能发生的火灾所需的总努力量<sup>[18]</sup>。

### 2.8. 现有系统的问题

如上所述，这些系统中的检测和识别问题如下：

1. 响应延迟
2. 红外相机成本高
3. 维护问题
4. 误报率高
5. 低覆盖率

### 3. 建议的系统架构和设计

系统架构和设计是关注的中心。完整的系统架构包含许多组件。每个组件都与其他组件集成在一起，以执行特定任务，从而实现所需的研究目标。所提出的解决方案基于四个核心组件：无线传感器网络、中间件、Web 应用程序和警报子系统。所有这些组成部分都是相互耦合的，因此可以实现对森林火灾的早期探测。在这方面，这些基本组件在基于无线传感器网络（WSN）方法的森林火灾早期警报系统的设计和实现的拟议解决方案中提出；a) 关于系统架构的详细讨论，b) 野火监控中间件，它是一个桌面应用程序，c) 火灾报警 web 界面，它是活动服务器页面应用程序，d) 系统组件由基站和传感器节点组成，f) 传感器之间的通信和协调的拟议架构，g) 通过 [16] 详细描述火灾天气指数的指数系统组件，包括燃料代码和火灾天气指数，h) 实时环境中应用程序部署的详细描述，以及

i) 软件需求规范包括功能和非功能需求。

#### 3.1. 系统架构

拟议系统架构的愿景是设计、开发和实施拟议解决方案，以满足拟议研究目标的所有功能需求。有许多索引系统可用于识别森林火灾；然而，在所提出的解决方案中，使用了火灾天气索引。无线传感器网络之间的通信和协调基于发送和接收的优先级数据分组。传感器网络区域分为两个主要区域，如安全和不安全。

数据分组报头由多个参数组成，这些参数有助于总体降低网络开销和用于传感器节点和基站之间的数据传输的能量。Microsoft.net 框架已用于基于中间件和 web 应用程序的拟议解决方案的设计和开发。中间件是基于桌面的应用程序，web 应用程序基于活动服务器页面。

所提出的解决方案识别森林火灾，并借助火灾天气指数进行缩放。无线传感器网络是在森林火灾中设计和部署的。然而，在实时环境中，传感器可以在直升机的帮助下部署。一旦部署了传感器网络，将选择宿节点的基站。在仿真环境中，web 服务用于基站和中间件之间的数据通信。中间件是研究的核心部分，在该研究中可以执行系统的警报和监控。报警子系统在 web 应用程序的帮助下启动。如果森林起火，系统可以将电子邮件发送给所需的管理人员。报警子系统将自动识别火灾规模。这种规模的计算基于火灾天气指数。部署在森林中的传感器网络将能够从环境中检测以下参数。这些参数将被转换为数据包，并且将在所提出的解决方案的帮助下交换信息。

所提出的解决方案的工作原理计算火灾天气指数（FWI）指数。一旦计算出这些索引，信息就被传输到 web 服务。使用简单对象访问协议（SOAP）将数据包上载到 web 服务。中间件以图形方式显示与传感器、当前火灾天气指数（FWI）和许多其他参数相关的信息。模拟环境中的经度和纬度值由 x 轴和 y 轴替换。如果火

灾在森林环境中点燃，警报子系统会发送电子邮件。中间件从部署在 web 服务器上的 web 服务访问火灾天气指数（FWI）的信息。中间件的设计和开发目的是持续监控 FWI 和 web 应用程序，它也将与中间件集成。该 web 应用程序可以帮助创建与所有其他紧急服务（如 FireBridge）的连接。

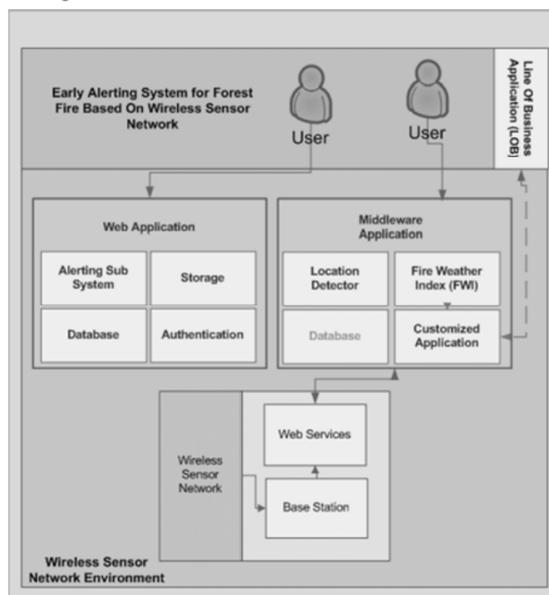


图 3. 概念框架。

如果火灾天气指数（FWI）值处于危险等级，那么中间件将向部署在 web 服务器上的 web 服务发送警告消息。网络应用程序和智能手机也连接到网络服务。此警告消息包含火灾的 x 轴和 y 轴位置、日期和时间以及许多其他参数。消息被上传到网络应用程序，也被上传到智能手机中。此信息也将保存在数据库服务器中。每当有新消息时，web 服务就会生成警报。网络应用程序受到监控，可以通过提供身份验证（登录名和密码）在紧急服务办公室访问。每当收到有关火灾的信息时，他们都会对发生火灾事故的地点作出响应。FWI 值以不同的颜色显示，如下表 2 所示：

S.No.	FWI Value	Color
1	FWI <= 10	Blue
2	FWI > 10 && FWI <= 20	Yellow
3	FWI > 20 && FWI <= 30	Brown
4	FWI > 30	Red

表 2. 火灾天气指数 (FWI) 颜色。

#### 3.2. 火灾监控中间件

它是一个在操作系统和无线传感器网络（WSN）之间工作的桌面应用程序。它被设计为在传统的台式计算机上运行，并具有便携式计算设备。中间件表示从传感器节点检索的图形信息。它在图形窗口中计算无线传感器网络位置提供的当前天气条件的火灾天气指数，以向用户显示传感器坐标的近似位置。火灾天气指数（FWI）值较高的区域，该区域的颜色将发生变化。自动消息由中间件生成，并将发送到 web 应用程序。中间件将持续扫描无线传感器网络提供的信息。该中间件（监控应用程序）的主要目标是识别起火的大致位置。它将自动生

成消息，并计算每个位置和火灾强度的火灾天气指数。

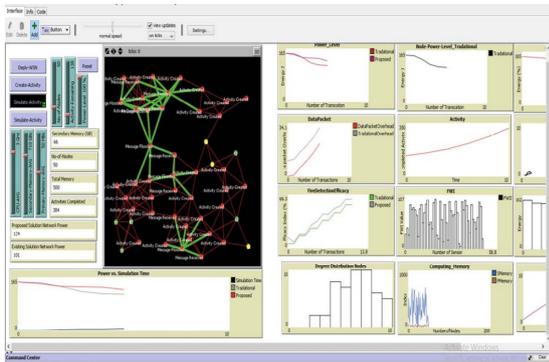


图 4. 应用程序界面。

### 3.3. 火灾报警 Web 界面

所有应急办公室的计算机都可以访问该网络应用程序。可以从该应用程序访问森林火灾和火灾事故的信息。该应用程序还将连接到森林 PC 的数据库。将以图表的形式提供有关温度的信息。该网络应用程序将向森林应急办公室的工作人员发送有关火灾事故的消息。应急服务部门可以迅速应对问题并控制火灾。

### 3.4. 客户端应用程序

前端或客户端应用程序是使用 C# 和 Asp.net 设计和开发的。该应用程序与 web 服务连接，以更新有关从无线传感器网络检索的数据的信息。如果火是在森林中点燃的，那么应用程序将识别火、其位置、索引日期、温度、时间和许多其他参数。信息也将上传到 web 应用程序。这些不同的应用程序将托管在 web 服务器上，并且可以在互联网的帮助下在任何地方访问。

这些紧急服务将在以下特定区域的 web 应用程序中访问：

#### a) 环境

环境被认为是部署传感器网络的区域。该环境包含两个主要组件，WSN 和基站。WSN 的目的是监测诸如温度 (t)、相对湿度 (h)、风速 (WS) 和降雨量 (r) 等情况参数。一旦计算出参数，就计算 FWI，然后将信息传送到特定节点或基站。在模拟环境中，数据被发送到充当基站的 web 服务。



图 5.Web 应用程序。

#### b) 数据通信协议

传感器网络之间的通信协议对网络的整体性能起着重要作用。所提出的解决方案实现了用于传感器节点或基站之间的通信的新的数据通信方法。有许多参数已用于通信，例如权重、优先级、安全性等。在森林火灾环境中，节点被视为静力学。在森林环境中部署传感器没有具体的规则。网络管理器中的每个传感器节点都有许多参数。网络中的所有节点都可以直接到达宿节点或基站。该方法的步骤如下：

在初始步骤中，借助 Dijkstra 算法计算最短距离。Dijkstra 算法使用的方程式如下：

$$D_{i,j} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}$$

在下一步中，借助于特定节点的剩余能量和半径来计算权重。在模拟环境中，半径被认为在 5 到 10 毫米的范围内。

$$P_{i,j} = \frac{E_{rem} + R}{D_{i,j}}$$

在优先级节点期间分析的许多参数包括安全性、速度、FWI 和能量因素。其方程式如下：

$$W_i = \sum (\varphi_i) P_{i,j}$$

这些方程执行不同类型的计算，并有助于设置数据包的优先级和数据传输路径的选择。这些方程也在使用 Microsoft C# 开发的定制模拟环境中进行了模拟。

但随着时间的推移，不同的研究人员设计了不同的协议，让设备在网络中共享数据包。在本研究的情况下，我们将开发定制协议，该协议将适用于无线应用协议和无线 802.11n 标准 [29]。

Steps	Sensor Nodes to Nodes Communication	Nodes Involved
1	Data Packets Transmission sending a data packet from sensor node (SN) to sensor node (SN)	SN SN
2	Data Packets Transmission (SN) → (SN)	SN → (SN)
3	Data Packets transmission sending message from Sensor Node (SN) to Base station (BS)	SN BN
4	Data Packets Transmission (SN) → (BN)	(SN) → (BN)
5	New Sensor Node (NSN) Add and Transmission the message sensor node to sensor node	NSN SN
6	Data Packets Transmission (NSN) → (SN)	(NSN) → (SN)

表 3. 数据传输。

#### c) 多动态路线

所提出的通信解决方案识别无线传感器网络中的多动态路由。借助于优先级，开发了多动态路线的识别。从两条动态路径中可以观察到，黄色和红色线表示在能量和重量优先级范围内构建的路径，而另一条带有蓝色和深蓝色线的传感器路径表示在安全和重量优先级上构建的路径。然而，也可以使用所提出的利用优先级特征的解决方案来识别多条路线。

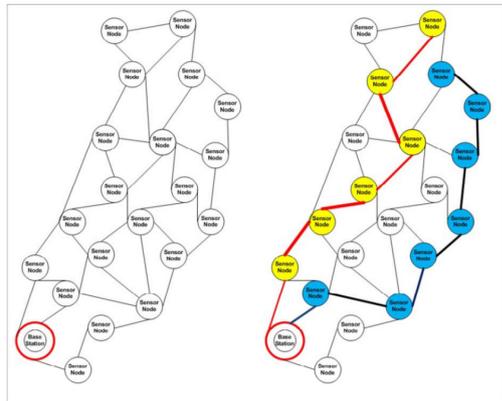


图 6. 多动态路线。

#### 4. 验证和确认

拟议解决方案的验证和确认是一个复杂且耗时的过程，因为系统架构中涉及不同类型的参数，需要进行测试和验证，如<sup>[33]</sup>所述。据分析，随着时间的推移，设计和开发了不同类型的工具、技术和方法，如编程语言、模拟语言、测试技术和许多其他用于执行测试的方法。研究表明，整个过程中的测试是一项耗时的工作，因为与测试上下文相关的不同类型的变量是关键目标，或者可以测试整个系统。据观察，如果对所提出的解决方案或架构进行了适当的测试，则很有可能从测试环境转移到实时环境，如<sup>[3-5]</sup>中所述。还观察到，基于 Microsoft 解决方案框架的架构，将在测试和本研究中予以考虑。然而，随着时间的推移，该测试将通过使用 Java 语言和程序语言 NetLogo 开发的模拟环境进行，研究人员<sup>[3, 4]</sup>将设计、开发和实现不同类型的工具、技术和方法，以测试任何类型的解决方案。大多数研究人员的分析表明，测试必须通过使用模拟机制或使用任何编程语言进行，因此，对拟议工作的分析也是基于现有研究人员的工作。分析表明，如果在实时环境中测试所提出的解决方案，则很有可能在测试失败的情况下，成本被认为是测试的关键因素；但是如果正确地执行验证和确认，则很有可能实现关键目标，并且目标与基于无线传感器网络的森林火灾预警系统的上下文相关联。

##### 4.1. 通过模拟方法进行测试

大多数研究人员的现有工作是在森林火灾探测和无线传感器网络的保护伞下进行的，强调必须利用模拟环境，但缺乏模拟环境的细节，因此需要使用 Java 和<sup>[6]</sup>中的测试技术进行设计和开发。经过分析，我们发现本节中确定的结果将让我们决定是否可以将建议的解决方案集成到实时环境中。因为采取了两个关键方面，即森林火灾检测的解决方案架构和通信协议。很有可能，考虑这些组件将直接帮助我们实现关键目标，并确定如何整合拟议解决方案的路径。

##### 4.2 仿真环境

正如本研究中已经讨论的，NetLogo 用于模拟所有关键实验，并利用 NetLogo 的上下文。据观察，选择

NetLogo 的关键原因是，在各种功能中，我们可以部署解决方案中所需的每个无线传感器节点的完整参数。正如本研究中已经讨论过的，我们还将整合火灾天气指数。有不同类型的影响可用于验证和验证所提出的解决方案。然而，有人指出，在使用 NetLogo 的场景中执行拟议解决方案测试是有关键原因的。在下一节中，我们指出了可被视为正当理由的关键点，即当 NetLogo 用于基于无线传感器网络的森林火灾预警系统的验证和确认时：

##### 1. 开源技术

a. Net Logo 是开源技术背景下的设计和开发人员，据观察，通过使用开源编程语言(技术)，可以轻松设计、开发和实现新的模块和功能。

##### 2. 行为模型

a. 据观察，语言具有行为模型的一个关键方面，使关键利益相关者或研究人员能够开发不同类型的变量，并对这些变量进行分析。

##### 3. 参数设置

a. 通过使用 NetLogo 语言，可以很容易地识别、分析和表征在该解决方案上下文中链接的代理的每个参数。

b. 观察到，如果编程在基于无线传感器网络的森林火灾早期警报系统的上下文中链接的所提出的解决方案的每个元素，则很有可能获得更好的结果。

综上所述，这些是我们提出解决方案的关键原因或理由，如果正确使用 NetLogo，很可能会获得更好的结果和结果。

##### 4.3. 模拟设计

基于无线传感器网络的森林火灾预警系统模拟设计的拟议解决方案是使用 NetLogo、参数和本研究范围内的组件开发的，如下所示：

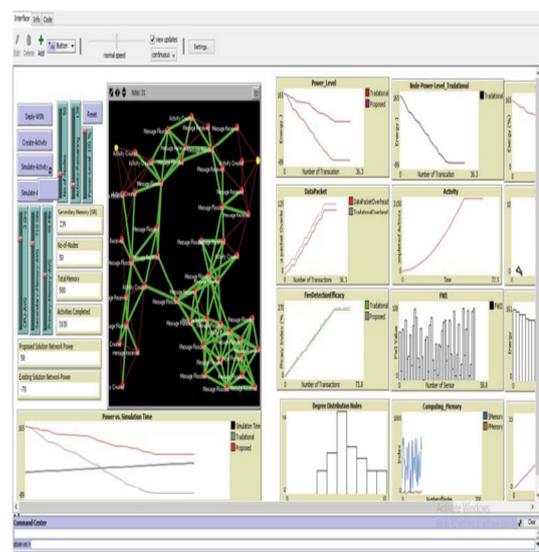


图 7. 模拟设计。

##### 1. 区域环境设置

a. 在模拟设计环境的初始阶段，选择了基于无线传感器网络的森林火灾预警系统。在 NetLogo 环境中，将在其上模拟环境的补丁和关键区域为 256 x 256。模型设置如下图所示：

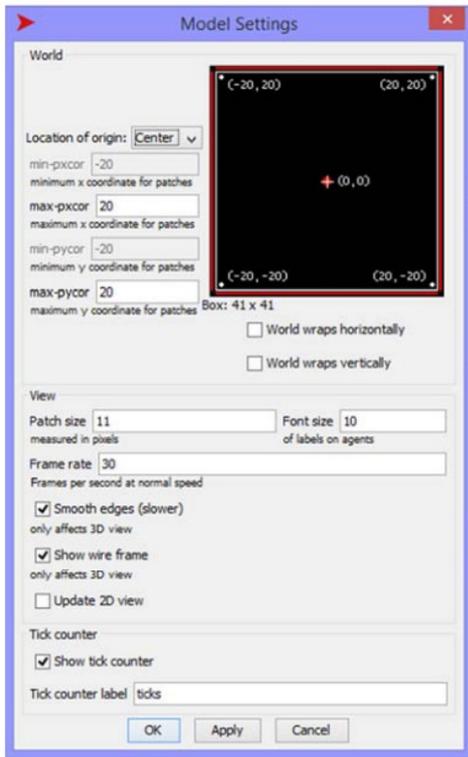


图 8. 模型设置。

## 2. 无线传感器网络的设置

a. 在此阶段，将部署无线传感器网络。据观察，在每个阶段都将进行分析，以便检测所提出解决方案的真实性能。

b. 在下图中，展示了在仿真环境中部署的无线传感器网络。

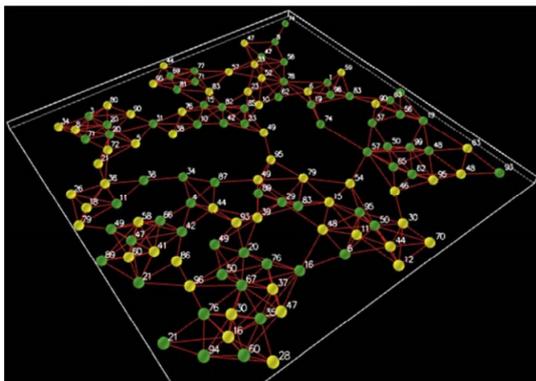


图 9. 无线传感器网络的 3D 视图。

## 3. 连接无线传感器网络

a. 作为参数之间的通信和协作，需要进行无线传感器网络。

因此，分析了在所提出的解决方案的上下文中部署

的无线传感器网络的所有节点之间的通信必须是集成的。

b. 在下图中，在 2D 场景中所显示的模拟环境中部署的传感器节点。

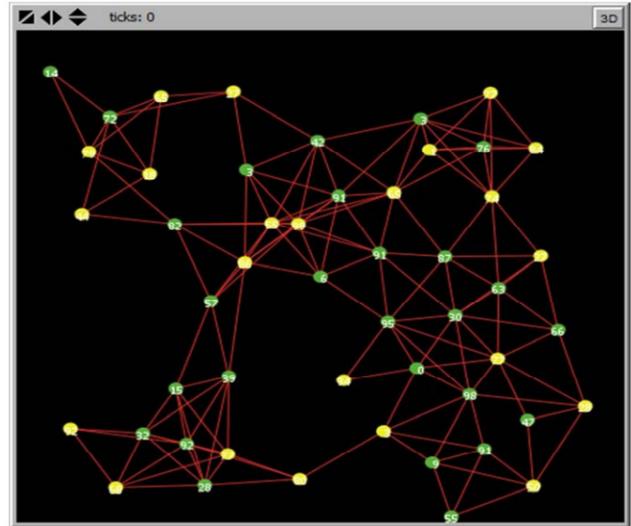


图 10.2D 网络连接。

## 4. 编制火灾天气指数

一旦实施了所提出的解决方案的部署，则在下一阶段，在无线传感器网络上部署每个火灾天气指数。特定区域中的每个节点很有可能提取关键的四个环境参数。一旦检测到所有这些参数，将获得分析火灾天气指数的目标。

## 5. 集成通信协议

a. 在该模块中，进行通信协议的编程。所有重要的多重列表技术都在 NetLogo 中编程，以便获得期望的结果。

b. 进行实验

c. 一旦完成了模拟设计和开发中的所有上述步骤，则将进行实验。

d. 下图显示了实验结果。

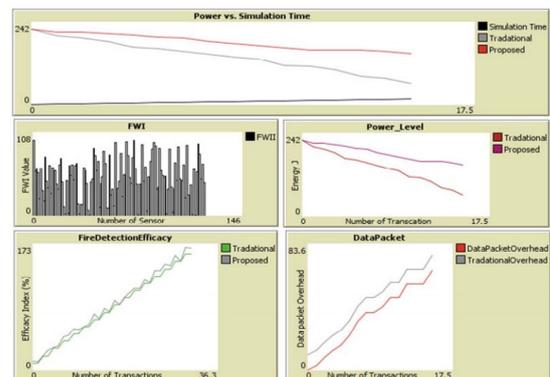


图 11. 实验。

在实验的基础上，观察到如果对森林火灾预警系统进行模拟设计，那么结果会更好。

#### 4.4. 实验通道

在一个简单的上下文中，实验方法被定义为“一种研究方法，研究人员操纵和控制一个或多个变量，然后测量其他变量的任何变化”<sup>[8]</sup>。据观察，使用实验方法，NetLogo 有能力执行所需解决方案的流程。

在基于无线传感器网络的森林火灾预警系统的情况下，可以进行以下实验。

- a. 网络功率分析，
- b. 火灾探测效果，
- c. 数据包分析，
- d. 火灾天气指数分析，
- e. 仿真时间和网络功率分析。

使用不同的参数，所有上述实验都使我们找到了解决方案。下一节将详细讨论解决方案。

#### 4.5. 网络功率分析

本实验旨在分析网络功率和<sup>[9, 2]</sup>提出的传统解决方案，并考虑了作为本研究的一部分提出的基于无线传感器网络的森林火灾预警系统的解决方案。

基于仿真环境的背景，分析了由于多列表技术的集成而提出的解决方案与传统解决方案相比是更好的解决方案。在模拟环境中，所提出的解决方案在 116 左右进行了测试。基于仿真结果，观察到在仿真环境中执行的所提出的解决方案具有更好的结果。

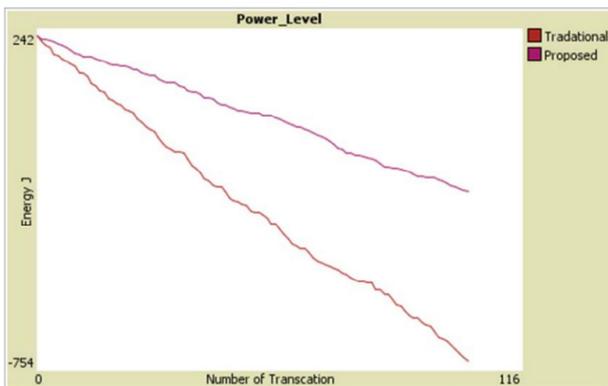


图 12. 网络功率分析。

#### 4.6. 火灾探测效果

在基于无线传感器网络的森林火灾预警系统中，进行了火灾探测效能实验，以测量所提出的解决方案中的火灾探测效能，并考虑了<sup>[10]</sup>的传统解决方案。在某种程度上，传统的和提议的火灾探测效率解决方案是相似的；然而，在基于 WSN 的森林火灾早期警报系统中，检测速度和时间的提高约为 5%。

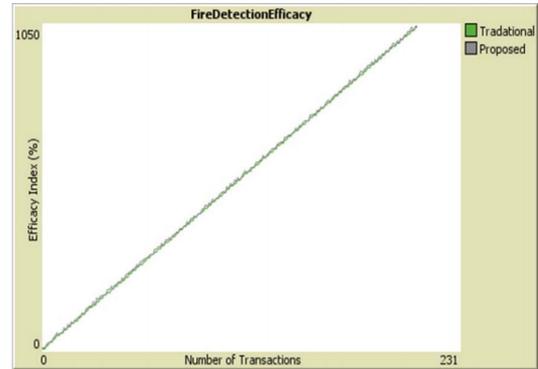


图 13. 火灾探测效果。

#### 4.7 数据包分析

每个 ad-hoc 或传统网络都需要模拟数据包。然而，本实验是为了识别和分析传统和提出的解决方案的数据包开销。在仿真结果中，分析了与所提出的解决方案相比，传统解决方案具有更多的数据包开销。由于多重列表技术，进一步的数据包分析获得了更好的结果<sup>[2]</sup>。

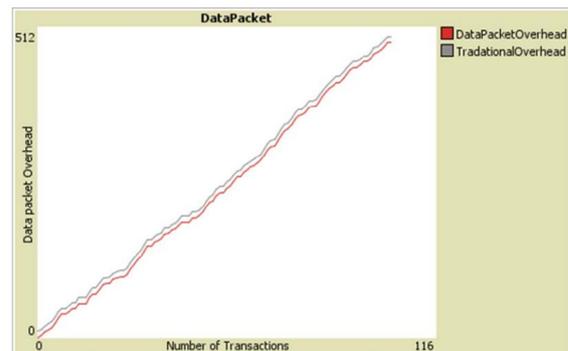


图 14. 数据包分析。

#### 4.8 火灾天气指数分析

该实验旨在识别和分析每个传感器节点收集的索引，如下图所示：

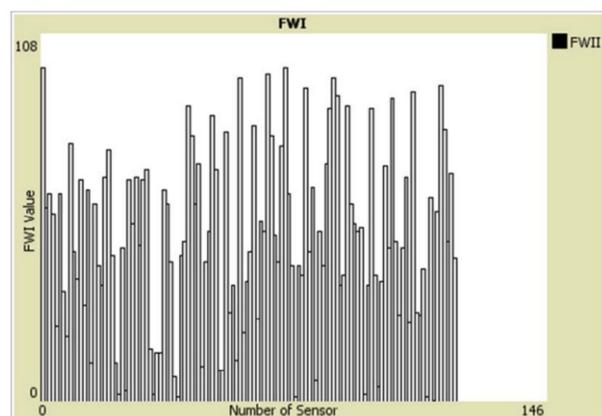


图 15. 火灾天气指数分析。

#### 4.9 仿真时间与网络功率之间的关系

本实验旨在识别和分析仿真时间与网络功率之间的关系。分析了仿真时间和网络功率同时移动。

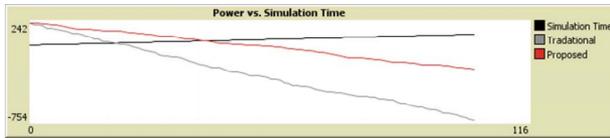


图 16. 仿真时间和网络功率。

## 5. 结论

可以总结的是, 在基于无线传感器网络的森林火灾预警系统的背景下, 已经实现了关键目标和目标。研究中提出的解决方案具有使用传感器网络技术对森林火灾进行早期检测和识别的能力。在所提出的解决方案的背景下, FWI 被集成, 观察到可以通过使用 FWI 来测量尺度和强度。根据对问题的分析和理解, 所提出的解决方案很有可能转化为实时环境。

此外, 如果采用适当的机制, 基于无线传感器网络的森林火灾预警系统的解决方案肯定会取得更好的结果和关键差距。在这方面, 必须设计和发展与所有利益攸关方的适当沟通和合作。此外, 必须整合基于代理的模型, 并考虑环境因素以进行改进。然而, NS3 是一种更好的通信和协作协议, 用于基于无线传感器网络的森林火灾预警系统, 可以提供更好的测试。

在基于无线传感器网络的森林火灾预警系统的未来领域中, 中间件应用程序必须通过利用云技术来执行。可以总结的是, 如果整合了云计算技术, 可以得到更好的结果。

## 参考文献

- [1] Alliance, Z. (2006). ZigBee specification. Document 053474r06. Retrieved from Document 053474r06, Version 1 (2006).
- [2] Bagheri, M. (2007). Efficient K-Coverage Algorithms for Wireless Sensor Networks and Their Applications to Early Detection of Forest Fires. Computing Science SIMON FRASER UNIVERSITY, MSc:75.
- [3] Bahrepour, M., Nirvana, M., & Havinga, P. J. (2008). Automatic fire detection: A survey from wireless sensor network perspective.
- [4] Breejen, & E., M. B. (1998). Autonomous forest fire detection. Third International Conference on Forest Fire Research and Fourteenth Conference.
- [5] Burgan, R. E. (1988). National Fire-Danger Rating System. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment, Res. Pap. SE-273.
- [6] Cano, A., Reig, C., Milan-Scheidig, C., & Lopez-Baeza. (2012). Automated Soil Moisture Monitoring Wireless Sensor Network for Long-Term CalVal Applications. Wireless Sensor Network, 4 (8).
- [7] Chae, M., Yoo, H., Kim, J., & Cho, M. (2006). Bridge Condition Monitoring System Using Wireless Network (CDMA and Zigbee). 23rd International Symposium on Automation

and Robotics in Construction ISARC 2006, Tokyo, Japan, 3-5 Oct.

[8] Chen, Z. (2013). A review of automated formal verification of ad hoc routing protocols for wireless sensor networks. arXiv preprint arXiv, 305.7410.

[9] Chowdhury, N., Mahabub, H., & Samiul, I. (2013). IOT: Detection of Keys, Controlling Machines, and Wireless Sensing Via Mesh Networking through Internet. Global Journal of Researches In Engineering.

[10] Cracknell, A. P. (1997). The Advanced Very High-Resolution Radiometer (AVHRR). CRC Press.

[11] Dutta, D., Dilip, K., & Arindam, K. (2013). Analysis of IEEE 802.15. 4 MAC under low duty cycle. arXiv preprint arXiv:1301.6532. edition.cnn. (2013, 20 12). <http://edition.cnn.com/2013/10/20/world/asia/australia-fires/>. Retrieved from <http://edition.cnn.com/2013/10/20/world/asia/australia-fires/>.

[12] Flannigan, M. D. (1998). Future wildfire in circumboreal forests in relation to global warming. Journal of Vegetation Science, 469-476.

[13] Fleming, G., & Robertson, R. (October 2003.). Fire Management Tech Tips: The Osborne Fire Finder. USA: Technical Report 0351 1311-SDTDC, USDA Forest Service.

[14] Forestry Division Newsdesk, N. (2008). [http://www.dfr.state.nc.us/news\\_pubs/](http://www.dfr.state.nc.us/news_pubs/). Retrieved 01 12, 2013, from [http://www.dfr.state.nc.us/news\\_pubs/](http://www.dfr.state.nc.us/news_pubs/): [http://www.dfr.state.nc.us/news\\_pubs/](http://www.dfr.state.nc.us/news_pubs/).

[15] Garc í a, H., & Ana, B. (2008). WSN Application Scenarios.London: Springer.

[16] Gat, E. (1998, Retrieved 2008-04-06). On three-layer architectures. Artificial Intelligence and Mobile Robots, 195 - 210.

[17] Groot., W. J. (1998). Interpreting the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System. In Proc. of the Fourth Central Region Fire Weather Committee Scientific and Technical Seminar, Edmonton, Canada.

[18] Gungor, V. C., & Gerhard, P. (2013). Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards.CRC Press.

[19] Hussain, A., & Niazi, M. (2010). A novel agent-based simulation framework for sensing in complex adaptive environments. IEEE Sensors Journal, 11 (0), doi:10.1109/JSEN.2010.2068044.

[20] J. San-Miguel-Ayanz, J. C. (2003). Section 2: Current methods to assess fire danger potential. In Wildland Fire Danger Estimation and Mapping The Role of Remote Sensing Data. World Scientific Publishing Co. Pte Ltd.

[21] Karali, A. (2013). Evaluation of the Canadian Fire

Weather Index in Greece and Future Climate Projections. *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*. Springer Berlin Heidelberg, 501–508.

[22] Knuth, D. E. (1977). A generalization of Dijkstra's algorithm. In *Information Processing Letters* 6.1 (pp. 1–5).

[23] Lee, & Tsung-Han. (2013). Modeling and Performance Analysis of Route-Over and Mesh-Under Routing Schemes in 6LoWPAN under Error-Prone Channel Condition. *Journal of Applied Mathematics* 2013.

[24] Lee, S.-J., Gerla, M., & Toh, C.-K. (1999). A simulation study of table-driven and on-demand routing protocols for mobile ad hoc networks. *Network, IEEE*, 13 (4), 48–54.

[25] Lim, Y.-s., & S. Lim, e. a. (2007). A Fire Detection and Rescue Support Framework with Wireless Sensor Networks. *Convergence Information Technology*.

[26] Milke, J. A., & McAvoy, T. J. (1995). Analysis of signature patterns for discriminating.

[27] Muller, H. C., & Fischer, A. (1995). A robust fire detection algorithm for temperature and optical smoke density using fuzzy logic. *Security Technology, Sanderstead*.

[28] Niazi, M., & Hussain, A. (2009). Agent-based tools for modeling and simulation of self-organization in peer-to-peer, ad-hoc and other complex networks. *IEEE Communications Magazine*, 47 (3), 163 – 173.

[29] Okayama, Y. (1991). A primitive study of a fire detection method controlled by the artificial neural net. *Fire Safety Journal*, 17 (6), 535–553.

[30] PAK, M. (2012, 06 06). <http://www.microsoft.com/enpk/default.aspx>. Retrieved from <http://www.microsoft.com>.

[31] Pripužic, K. H. (2008). Early Forest Fire Detection with Sensor Networks: Sliding Windows Skylines Approach. Faculty of Electrical Engineering and Computing, Department of Telecommunication, White Paper.

[32] Silberschatz, A., Galvin, P. B., & Gagne, G. (2010). *Process Scheduling*. (J. (Asia), Ed.) *Operating System Concepts* (8th ed.).

[33] Son, B., Yong-sork, H., & J, K. (2008). A design and implementation of a forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for South Korea mountains. *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, 12 (6.9), 124–130.

[34] Thuillard, M. (2000). Application of Fuzzy Wavelets and Wavelets in Soft Computing.

[35] Tiwari, A., Ballal, P., & Frank, L. (2007). Lewis Energyefficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN) archive*, Volume 3, Issue 1.

[36] Tymstra, C., Bryce, R., & Wotton, B. (2009). Development and structure of Prometheus: the Canadian wildland fire growth simulation model. *Nat. Resour. Can., can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, AB. Inf. Rep. NOR-X-417*.

[37] Vescoukis, V., & T. Olma, e. a. (2007). Experience from a Pilot Implementation of an “InSitu Forest Temperature Measurement Network. *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*” .

[38] Viani, F., Rocca, P., Oliveri, G., & Massa, A. (2012). Pervasive remote sensing through WSNs. *Antennas and Propagation (EUCAP), 2012 6th European Conference on*, (pp. 49–50).

[39] Yu, L., & Wang. (2005). Real-time forest fire detection with a wireless sensor.

[40] Zhiping, L., & Q. Huibin, e. a. (2006). The Design of Wireless Sensor Networks for Forest Fire Monitoring System. School of Electronics and Information, Hangzhou Dianzi University.