

地下管网管线安装设备温度智能远程监测系统设计与研究

徐浩然¹, 方坤礼²

¹浙江金浙工业设备安装有限公司, 浙江 衢州

²衢州职业技术学院, 浙江 衢州

Email: qzct20@126.com

收稿日期: 2021年7月28日; 录用日期: 2021年8月24日; 发布日期: 2021年8月31日

摘 要

结合端到端的物联网开发, 从原理、方法、设计等多方面, 对地下管网安装设备温度实时在线监测进行了设计研究。根据管网内的建筑结构, 设备分布, 电缆走向等特点, 基于物联网技术建立无线管网温度监测网络技术, 将地下管网的环境信息如环境温度传至网关进行测量数据统整, 最后通过有线或无线网络将测量数据封包上传至分布式云端数据库中, 最后通过数据分析与人工智能技术, 分析出地下管网温场分布情况, 借由环境温度与输电线的热性能计算出地下输电线路的线温, 最后配合IEEE 738与材质最高温度上限, 得出该线路建议的配电参考值, 由此也可建立出地下管网维修与监测的相关服务, 所研发系统最终通过了系列测试, 达到了预期目的。

关键词

设备安装, 物联网, 温度监测, 管网管线

Design and Research of Intelligent Remote Monitoring System for Temperature of Underground Pipe Network Installation Equipment

Haoran Xu¹, Kunli Fang²

¹Zhejiang Jinzhe Industrial Equipment Installation Co., Ltd., Quzhou Zhejiang

²Quzhou College of Technology, Quzhou Zhejiang

Email: qzct20@126.com

Abstract

Based on the end-to-end development of the Internet of Things, this paper conducts a design study on the real-time online monitoring of the temperature of the underground pipeline network installation equipment from the principles, methods, design and other aspects. According to the characteristics of the building structure, equipment distribution, and cable direction in the pipe network, the wireless pipe network temperature monitoring network technology is established based on the Internet of Things technology, and the environmental information of the underground pipe network, such as the ambient temperature, is transmitted to the gateway for measurement data integration, and finally passed wired or wireless network to upload the measurement data package to the distributed cloud database, and finally uses data analysis and artificial intelligence technology to analyze the temperature field distribution of the underground pipeline network, and calculates the underground transmission line based on the ambient temperature and the thermal performance of the transmission line. Finally, in conjunction with IEEE 738 and the maximum temperature limit of the material, the recommended power distribution reference value for the line can be obtained. From this, the underground pipeline network maintenance and monitoring related services can also be established. The developed system finally passed a series of tests and achieved the expected purpose.

Keywords

Equipment Installation, Internet of Things, Temperature Monitoring, Pipe Network Pipeline

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电力管线是现代城市地下管网的主要组成部分, 是维系城市地上地下空间有效利用的重要方式, 是一个城市重要的基础设施, 担负着信息传输、电力输送等工作, 是城市赖以生存和发展的物质基础, 有效地保障了城市经济发展和整体运行。随着我国城市发展进程的加快, 城市电力管线种类和数量也逐年增加。城市电网电缆化率逐年提升, 北京、上海、南京、太原及西安等城市电缆化率均已达 60%以上, 地下电缆正逐渐取代架空导线成为城市电网的主要输配电通道形式。

目前, 随着传感器技术、测量技术以及信息技术的不断进步, 结构健康监测技术获得了迅速发展。管线是非常关键的基础设施, 在民用和国防工业中应用非常广泛。所以针对管线的各种失效情况和管线的结构健康监测是十分必要的, 可以尽早发现问题并防患于未然。管线监测任务中的难点之一是如何在早期发现泄漏、层间变形、腐蚀等异常情况, 另一个难点是如何保证地下管线监测数据的实时传输。因此迫切需要一种能够在线高效监测管线失效的智能化系统, 确保管线的健康情况能够及时被多终端、多用户访问。积累的监测数据可以为后期的分析预测作为数据基础, 提高系统的智能化程度。本文利用这些技术实现基于物联网的智能管线监测系统, 该系统的实现主要采用物联网与无线传感器网络的相关技术, 系统整体分为三个层次, 主要进行数据的感知、数据的传输、数据的处理与展示[1] [2]。在系统结构

设计方面, 通过传感器技术完成各项数据的采集, 通过无线传感相关技术来完成节点的部署和无线通信, 针对采集数据的汇聚节点进行处理和逻辑软件的设计, 再通过网络透传与软件平台进行通信, 并且将底层汇聚的数据直接存入到数据库中, 通过配套的软件平台用户界面进行展示, 最终实现多参数实时监测的目的[3]。

2. 系统设计与实验

2.1. 现有地下电缆分析

考虑到城市计划需求, 电缆地下化也应运而生, 现有地下管网的空间相当狭隘, 因此地下电缆的设计主要以电缆线的绝缘为考虑, 以避免维修人员在维修过程中距离过近而发生意外。交联 PE 地下电缆主要可分为下列 7 个部份, 如图 1 所示, 主要为导体、导体遮蔽层、绝缘体、绝缘体遮蔽、基础层、金属被覆与被覆。除了电缆线的设计外, 仍需要进行地下电缆的维护, 除了电缆绝缘层的外覆层检查外, 电缆绝缘体的绝缘电阻测试、电缆绝缘电阻与地下管网的温度监测都是巡查维护的重点, 由于地下缆线的通风不易, 电缆线所造成的热又难经由热对流或是热传导的方式将管网的温度降低, 将可能会间接加速电缆线侵蚀, 因此本研究将会以地下管网的温度监控为主, 若能为地下电缆制作稳定且可靠的无线温度监控系统, 巡查人员将可以更清楚的了解故障情况与减少维护与维修的时间[4]。

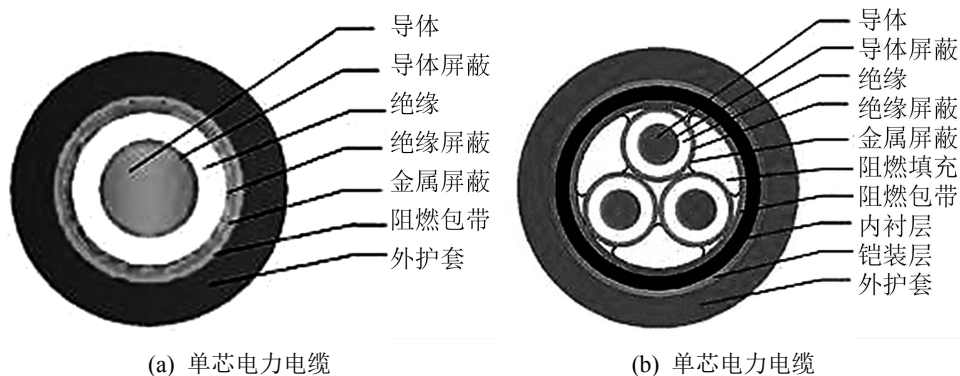


Figure 1. XLPE insulated power cable with rated voltage from 6 kV to 15 kV (irradiation)
图 1. 额定电压 6 kV 到 15 kV (辐照)交联聚乙烯绝缘电力电缆

2.2. 物联网设计

早期数据网络概念为无线测量网络, 该网络是通过无线传输网络(WSN), 使各传感器节点间的信息, 回传至网关, 以建立起初步自动化环境监测网络, 近年来, 由于资通讯技术的革新与物理传感器的普及, 物联网技术的应用也渐渐受到重视。物联网的最基本定义在 1999 年由 Kevin Ashton 所提出[5], 即是使生活周遭的无线嵌入式电子设备都能通过无线传输技术建立起彼此连接的网络, 此网络能够使不同电子设备之间都能够进行信息交换, 以建立起真实世界的状态信息, 与无线测量网络最大的不同是, 物联网除了可以互相接收信息外, 可以通过数据处理与人工智能技术将所有收集的信息, 转换成人类可使用的信息与服务。本研究即是基于物联网技术建立无线管网温度监测网络技术, 将地下管网的环境信息如环境温度传至网关进行测量数据统整, 最后通过有线或无线网络将测量数据封包上传至分布式云端数据库中, 最后通过数据分析与人工智能技术, 分析出地下管网温场分布情况, 藉由环境温度与输电线的热性能计算出地下输电线路的线温, 最后配合 IEEE 738 与材质最高温度上限, 得出该线路建议的配电参考值, 由此也可建立起地下管网维修与监测的相关服务[6]。

2.3. 地下管网监测系统

现有地下电缆监测系统主要以局部放电线上监测系统为主, 主要保护的對象为输电线路绝缘层的绝缘防护, 避免输电线路出现局部放电而导致线路毁损, 且对于地下管网监测较少有通过无线通信方式将数据回传至数据库中, 其中可能的原因主要为地下管网空间的不确定性, 如图 2 所示, 若地下管网的空间过小, 无线传输将会受到干扰, 因此选定适当的无线传输协议与技术, 并且搭配上机电整合技术, 将能够解决地下电缆管网的无线通信传输的问题[7]。

3. 地下管网温度监测系统设计

为降低线损、提升输电效率与电缆寿命, 本公司与台大生物产业机电工程学系的生物电磁实验室合作, 共同开发了一套基于物联网技术的地下管网温度监测系统。该系统乃依照物联网的架构所组成, 可分为感知层(温度量测节点)、网络层(网关)与应用层(智能云端服务平台)三层。温度量测节点搜集管网内的温场资料后, 以特殊波段增益的链状网络, 将数据回传至网关, 再藉由第四代行动通讯技术将该网关网域下所有节点的温度分布数据回传至云端服务平台, 最后, 云端数据库以算法将数据进行处理后, 以用户图形化接口(Graphical User Interface, GUI)绘出浅显易懂的温场分布图, 作为散热系统的决策参考。



Figure 2. Actual underground cable pipe network
图 2. 实际地下电缆管网

3.1. 温度量测节点的硬件设计

前端温度量测节点大致可分为供电系统、测量电路与无线通信三部份, 节点上设置无线通讯指示灯号与高温通报灯号。测量电路系采用省电且高效率的微控制器以提高装置稳定度, 此外, 微控制器具备休眠功能, 装置只有在数据传输时作动, 其余时间则进入休眠状态, 以达到节能的目的。温度量测节点如图 3 所示。无线通信模块则经过数种通讯模块的传输距离与稳定性测试后, 考虑到功耗、成本、传输距离与稳定度等特点, 最终温度量测节点选择以 IEEE 802.15.4 作为数据传输网络标准的偏移四相相移键控技术(Offset Quadrature Phase Shift Keying, OQPSK)无线通信模块。藉由本研究所开发的路由算法, 节点与节点间以直线跳传的方式进行数据传输。本系统的数据传输网络不仅功耗低, 亦可容纳大量网络节点, 此外, 该模块的成本亦不高, 基于以上优点, 本研究选用该模块以建立一套多节点、低功耗且低成本链状拓扑[8]。

3.2. 网关设计

为了整合所有温度量测节点的测量数据, 并且将测量数据实时上传至数据库中, 本研究开发出一套网关能够稳定接收与整合所有温度量测节点的数据, 如图 4 所示, 网关与温度量测节点间的无线通信模块亦是利用 OQPSK 无线通信模块进行开发, 且于测量数据上传云端数据库的过程中, 会因容易受到地下管网与变电厂的强电磁波干扰而导致传输不稳定, 因此本文通过 UWB 超宽带通讯技术修正后的 4G 传输技术进行上传作业, UWB 优点不仅能够让无线通信的抗干扰能力增强, 其传输耗能也相当低, 可稳定的将数据上传至云端数据库中储存, 最后利用云端运算平台的强大运算能力将所有测量数据进行分析与统计, 并经由类神经算法等人工智能技术, 分析出地下管网可能出现的热点, 以达到自动化监测地下管网温度分布的功能与提供维修人员相关维修参数[9]。



Figure 3. Temperature measurement node
图 3. 温度量测节点



Figure 4. Gateway of measurement nodes
图 4. 测节点的网关

4. 实验分析

为开发最符合国内地下管网温场监测需求的系统, 首先必须依据管网特性选用无线通信协议与无线通信模块, 再辅以算法以提高数据传输的稳定度。选定无线通信模块后, 还需实际运行本系统, 以确保该系统的可行性与可靠度。以下部份分别说明两实验的测试结果, 测试地点皆为台北市区的深美台北线。

4.1. 链状传输网络设计与传输稳定度测试

考虑到相异通讯协议与通讯模块间的特性有所不同, 无线通信电波因自身强度、频率、管网直径或管网内障碍物特性, 而产生不同的传输距离与稳定度。考虑到设备成本、数据传输距离、数据传输量与体积大小等因素, 本研究选择 OQPSK 模块与宽带线性调频展频(Chirp Spread Spectrum, CSS)模块进行最后的通讯稳定与稳定度的实验。实验中, 两种模块皆依各自频段选用 5 dBi 的增益天线, 并固定于每 10

米处进行回传率测试。实验结果如图 5 与图 6 所示。OQPSK 模块的通讯频段为 2.4 GHz。自地下管网入口至管网内 260 米为止, 回传率持续维持 100%, 自 270 米处开始, 回传率开始下降, 至 290 米后就完全无法进行数据传输。CSS 模块的通讯频段为 433 MHz。自地下管网入口至管网内 80 米为止, 回传率持续维持 100%, 自 90 米处开始, 回传率迅速下降, 至 100 米后几乎无法进行数据传输。

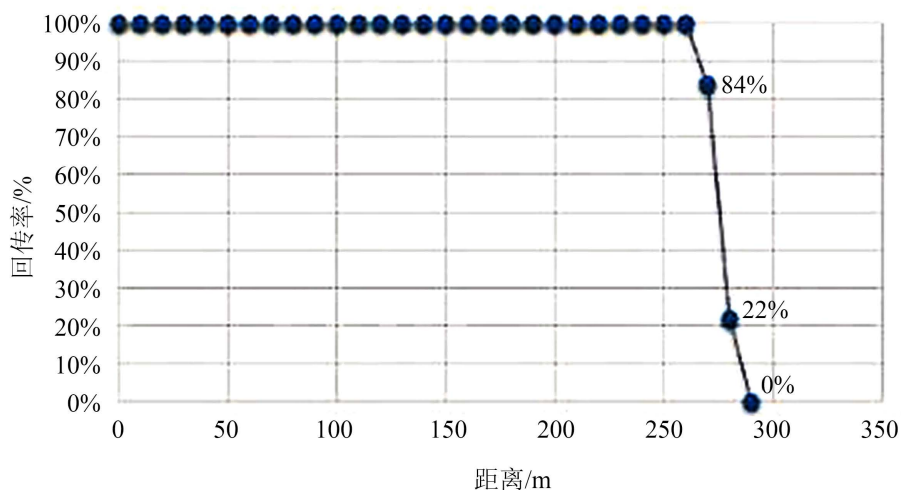


Figure 5. OQPSK wireless communication module in the underground pipe network transmission distance test results

图 5. 基于 OQPSK 无线通信模块的地下管网传输距离测试结果

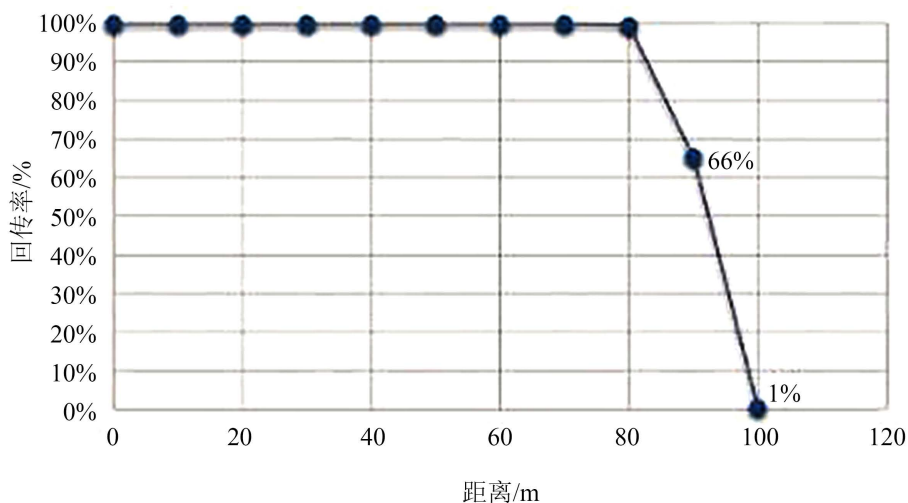


Figure 6. The transmission distance test result of the CSS wireless communication module in the underground pipe network

图 6. 基于 CSS 无线通信模块的地下管网传输距离测试结果

由图 5 与图 6 实验结果显示, OQPSK 模块的通讯距离远大于 CSS 模块, 考虑装置成本与布点弹性, 对于布点不需要过于密集的地下管网温场监测系统而言, 若每 80 米内都必须安装节点则导致系统成本过高, 相对于 CSS 模块而言, 每 200 米布一个点即能稳定传输数据的 OQPSK 模块显然更适合作为地下管网温度监测系统的无线通信模块。此外, OQPSK 模块的数据传输速度大于 CSS 模块, 更增加了未来增加其他监测功能的弹性空间。

4.2. 温度监测系统建置情况与回传情况分析

本研究实际将所开发的温度量测节点布设于地下缆线深美台北线进行初步运作测试。本测试共包含一组网关与九组温度量测节点，网关置于三楼中控台。地下管网入口位于一栋三层楼高建筑物的地下四楼，网关置于三楼中控台。为建立稳定度够高的链状拓扑，温度量测节点由二楼起依序向地下室与管网内延伸，最深距离测延伸至管网内 510 米处，形成一链状传输网络，数据便可由管网深处藉由链状跳传方式传送至网关。节点编号、布点位置与其量测温度如下表 1 与图 7 所示。8 号节点的温度于该时间区段内的变化趋势如下图 8 所示。

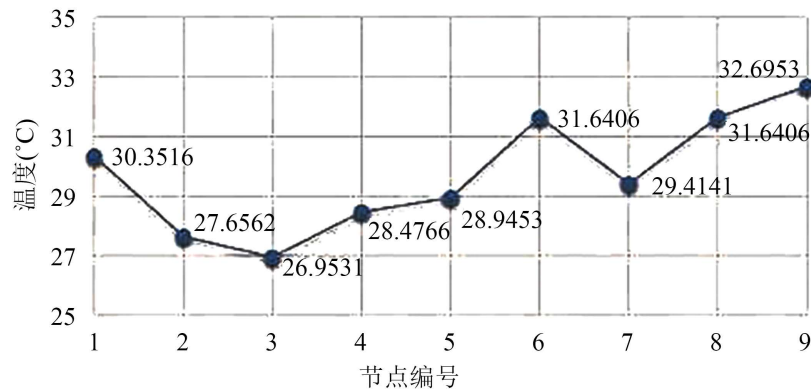


Figure 7. Temperature field distribution map obtained from actual monitoring of underground pipe network

图 7. 地下管网实际监测所得温场分布图

Table 1. Relationship between the node position and the measured temperature

表 1. 节点位置与量测温度关系

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
环境温度/°C	30.35	27.65	26.95	28.47	28.94	31.64	29.41	31.64	32.69
节点位置	2F	1F	B1	B2	B3	管网内 0 m	管网内 100 m	管网内 270 m	管网内 510 m

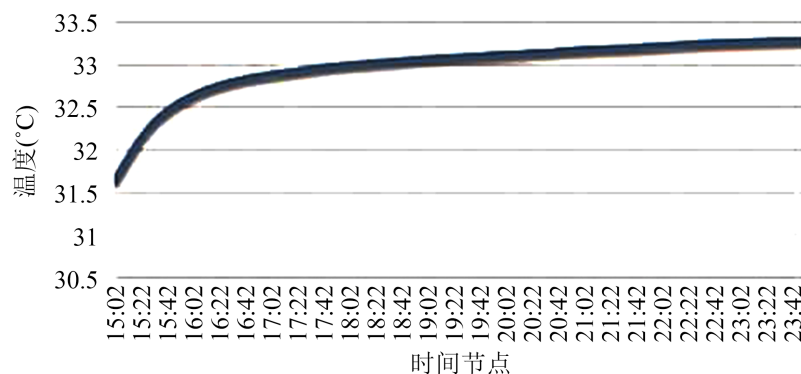


Figure 8. The temperature trend graph of node No. 8

图 8. 八号节点的温度趋势图

4.3. 云端服务测试

温度量测节点数据回传至云端服务平台后，云端服务平台便可将温度对节点编号/位置作图，亦可定

时绘制单一节点于一时间区段内的温度值随时间的趋势图。此外, 智能云端服务平台亦可根据输电需求与相关规范, 利用统计分析与机器学习, 将大量信息以清晰明了的方式绘制成图, 亦可根据相关规范订定警报阈值, 若管网内温度过高即发出警示。系统并介接至本公司数据库, 分析数据与警示提示即可随时提供管网管理人员做排热排风的参考, 智能云端服务平台针对某线内的温场分析作图结果如图 9 所示。

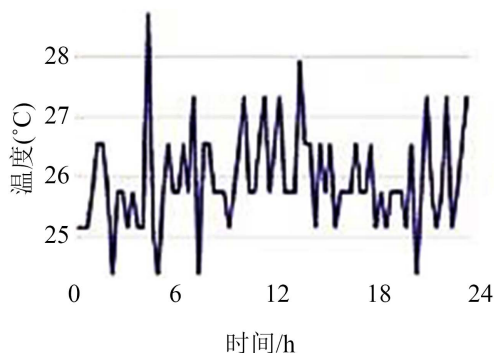


Figure 9. Case of temperature field monitoring of underground pipe network

图 9. 地下管网温场监测的案例

5. 结束语

由于地下管网内并无稳定的电力来源, 系统内的温度量测节点仅能以电池作为唯一的供电来源, 因此, 节点耗能是本系统长久运作的关键。本研究预计将降低节点耗能作为未来研究的重点, 故硬件电路仍需稍作修正, 软件部分则需编写一套高效省电的算法, 降低测量节点功耗。测量节点经过修正后, 虽仍需定期前往地下管网更换电池, 却可提升网络的完整性与数据传输的稳定性, 并使测量节点的布点更有弹性。以本系统架构而言, 硬件功能还有非常大的扩充弹性, 于电网还有非常大的发展与应用空间。举有害气体监测为例, 目前国内的有害气体监测系统于地下管网的布置仍不甚实用, 不仅监测系统设备老旧, 布点过少亦是需改进的处。因此, 除运作的供电模式与软硬件升级外, 类似技术应用于地下管网的有害气体浓度监测亦可作为本研究的未来研究方向, 增加有害气体测量布点的弹性, 以确保输电网维护与修复人员的安全。

基金项目

衢州市科技计划指导性项目(2020010, 2019006)。

参考文献

- [1] 张竞超, 云利军, 王一博, 等. 基于物联网技术的仓储香蕉成熟度智能监测与预警系统设计[J]. 安徽农业大学学报, 2019, 46(4): 745-750.
- [2] Coviello, V., Chiarle, M., Arattano, M., *et al.* (2015) Monitoring Rock Wall Temperatures and Microseismic Activity for Slope Stability Investigation at J.A. Carrel Hut, Matterhorn. Springer International Publishing, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09300-0_57
- [3] Pereira, R., Juca, S., Carvalho, P., *et al.* (2019) IoT Network and Sensor Signal Conditioning for Meteorological Data and Photovoltaic Module Temperature Monitoring. *IEEE Latin America Transactions*, 17, 937-944. <https://doi.org/10.1109/TLA.2019.8896816>
- [4] Park, Y.S., Park, K.Y., Kim, M.S., *et al.* (2017) Temperature Detection and Monitoring System of Livestock through Ear-Tag Based on IoT. *Journal of Korea Multimedia Society*, 20, 474-481. <https://doi.org/10.9717/kmms.2017.20.3.474>

- [5] 刘磊, 张建宁. 物联网产业价值链分析[J]. 高科技与产业化, 2011(2): 38-40.
- [6] 任宝宏. 高频电磁法检测地下管线周边地质病害体的应用研究[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(1): 365-370.
- [7] 韩李涛, 刘建勋, 张海思, 等. 一种沿公垂线方向投影的城市地下管线高效精准碰撞检测算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(5): 80-89.
- [8] 朱兰兰, 常倩. 基于公共安全理念的地下管线档案风险分析及对策[J]. 北京档案, 2020(4): 27-29.
- [9] 陈筠, 池昌峰, 徐东升, 等. 探地雷达散射矩阵在估算地下管线方位角的应用[J]. 中国岩溶, 2020, 39(1): 101-109.