

发展中国家社区用水有效消费和公平分配的射频通信和物联网范例系统建议：一个案例研究

皮埃尔·萨法克^{1,*}, 弗洛林·胡图², 伊曼纽尔·坦伊¹, 布鲁诺·阿拉德²

1. 布埃亚大学电气与电子工程系 喀麦隆 布埃亚

2. 里昂应用科学研究院电气工程系 法国 里昂

摘要: 缺水对发展中国家大多数地区的人口构成严重威胁。除此之外, 传统的人工就近跟踪配水网络的方法无法确保有效和公平地利用现有的少量水资源。本文提出了一种基于射频(RF)通信和物联网(IoT)范式的专用实时监控系统。该监测系统至关重要, 是当地水资源管理和可利用的贫乏水资源公平分配的拟议解决方案。警报系统会提醒用户任何异常用水情况, 以减少水损失或检查并解决常见的泄漏。使用主仪表板执行客户的耗水量可视化以及其期望耗水量警报系统的设置; 通过Thingspeak云计算平台使用基于网络的系统来实现供水公司对系统的监控。为了立即方便地在本地实现原型, 在大多数已经验证的情况下选择了系统技术; 换言之, 使用商用现货(COTS)组件。为了获得更好和最佳的结果, 将使用已经运行的系统选择大多数专用的类似COTS组件。

关键词: 射频通信; 无线传感器网络; 配水网络; Wi-Fi; 发展中国家

RF Communication and IoT Paradigms System Proposal for Effective Consumption and Equity Distribution of Community Water in Developing Countries: A Case Study

Pierre Tsafack^{1,*}, Florin Hutu², Emmanuel Tanyi¹, Bruno Allard²

1. Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Buea, Buea, Cameroon

2. Department of Electrical Engineering, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon, France

Abstract: Water scarcity poses a serious threat to the population in the most areas of developing countries. In addition to that, the traditional manual nearby approach of following up the water distribution network is unable to ensure an effective and equity use of the small water resources available. A dedicated real-time monitoring system based on radio frequency (RF) communication and internet of things (IoT) paradigms is proposed in this paper. This monitoring system is essential and constitutes a proposed solution for the local water management and equity distribution of the available poor water resources. An alert system recalls users to any abnormal water usage to reduce water loss or to check and solve usual leakages. A customer's water consumption visualization as well as a setting of his desired consumption alert system are performed using a home dashboard; the monitoring of the system by the water utility company is achieved using a web-based system through Thingspeak cloud computing platform. For an immediate and easy local implementation of the prototype, the system technology was chosen in already validated most cases; in other words, Commercial-Off-The-Shelf (COTS) components were used. For better and optimum results, most dedicated similar COTS components will be selected using the already running systems.

Keywords: RF communication; Wireless sensor networks; Water distribution Network; Wi-Fi; Developing countries

1. 引言

尽管大多数发展中国家的人口不断增加,水分配系统不断扩展,但主要的分配基础设施(如水塔、管道直径等)多年来没有改变。除了人口和基础设施之间的不足之外,由于频繁的故障,大量的水被浪费。此外,联合国组织报告称,12亿人生活在缺水地区,到2025年,这一数字将增加到15亿。如图1所示,到2021年,来自48个国家的28亿多人将面临缺水问题^[1]。

因此,这些国家的饮用水产量与人口密度之间的比率很低;公平的水分配和对水泄漏的实时监测可能有助于解决问题。

例如,在喀麦隆,作为相关的发展中国家之一,公用事业公司并没有确保供水网络(WDN)能够到达客户家中。他们只能将客户的水表安装在距主网络50米的最大距离^[2]。然后,客户有责任将管道从公用事业水表延伸至其经营场所。该管网的扩建很难按照规定进行,且管道质量较差。这带来了严重的水浪费。在一些发达国家可以看到同样的浪费。例如,在英国伦敦,每天有5.89亿公升的水因泄漏而流失,约占其每日总供水量的1/4^[3]。

鉴于上述发展中国家的饮用水状况,特别是喀麦隆布埃亚市的饮用水情况,本文提出了物联网范例和射频通信的应用,以实现更好的WDN。然后,可以容易地监测诸如耗水量和流速、峰值周期值、压力要求和物理管道特性等参数。这一提议的系统还有助于准确确定居民在家中用水的频率和地点,从而能够更积极地进行水需求管理和基础设施规划。

此外,喀麦隆的水务公司面临水表读数的问题,需要提供准确和正确的用水,从而避免客户不满^[4]。

本文的组织方式是在第二节中介绍水表和读数技术的回顾。拟议的全球系统架构和系统组件分别涵盖第三节和第四节。第五节介绍了仿真结果以及系统的实现、测试和结果。第六节给出了射频部分能耗的一些考虑因素。第七节介绍了这项工作的结论和未来的挑战。

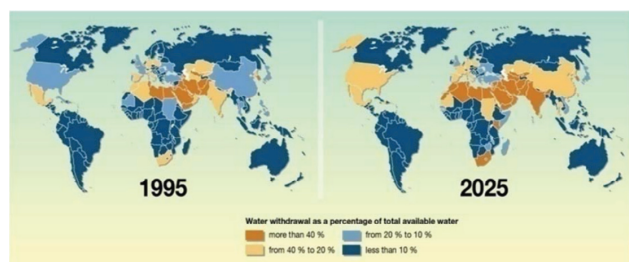


图1 取水量占总可用水量的百分比^[1]

2. 水表和读数技术回顾

水表是一种收集和记录WDN特定位置一段时间内所

用水量(加仑、升或立方米)信息的设备^[5]。所得信息用于计算水公用事业公司向客户收取的该期间用水的费用。

自20世纪80年代以来,水表读数的方法和技术发生了重大变化,技术得到了重大改进,同时收集的信息的数量和质量也随之提高。

因此,水表已经从独立设备发展为有时在提供信息服务的复杂传感器网络中工作的联网设备。

然后,我们可以记录诸如眼睛看、步行、开车、固定网络、智能水表等阅读方法。

2.1 眼睛看

这种传统方法要求仪表读取器物理访问节点位置并读取仪表。然后,这些信息被手动输入公用事业公司的系统数据库,用于评估和/或计算该计费期的用水费用。

由于这种方法劳动密集且成本高昂,因此此类读数最多只能每季度进行一次,但在喀麦隆等一些地方每月进行一次^[6-7]。这些信息通常足以计算该位置的水费部分;但它没有检测到泄漏、水表测量不准确以及社区用水不平衡^[8]。

2.2 步行

电表通过电线连接至建筑物外部的设备;因此,即使仍然需要抄表员进行物理访问,他也不必进入大楼,从而消除了由于无法使用抄表器而造成的问题。

电表阅读器使用手持计算机,该计算机通过红外或射频接收信息,或通过配备电表的设备触摸手持计算机。手持计算机记录用水信息,以便稍后上传到水表计费系统。虽然这种方法减少了转录中的人为错误,但如果手持计算机和计费系统软件中的协议不兼容,则不可能检测到计算机错误^[8]。此外,它没有检测到泄漏、水表测量不准确以及社区用水不平衡^[8]。

在喀麦隆,步行不适用,因为几乎所有的水表都距离房屋约300米至1公里。

2.3 开车

在这里,电表经过改装,或者已经配备了射频发射器;当他开车经过路线上所有的计量建筑时,他车上的计价器会读取这些信息。

信息收集在车内的一台笔记本电脑上,该笔记本电脑有一个与账户信息匹配的软件,并准备在车辆返回基地时下载到计费系统。

通常在成本效益不高的农村路线上使用自驾游^[8]。与上述技术一样,开车未检测到泄漏、水表测量不准确以及社区用水不平衡^[8]。

2.4 通信网络和水表读数

a、固定网络

当我们谈论自动抄表时, 我们通常会想到固定网络。该实现充分利用了无线水表的功能, 并使其成为供水设施的网络传感器节点, 可以为多种目的提供几乎连续的用水读数。

在固定网络中, 来自单个仪表的信号被传输, 然后在中央接收站(如果足够近)或中继器中收集, 然后再到中央接收站^[9]。在大多数情况下, 使用星形拓扑, 但在一些实现中, 使用网状拓扑, 其中每个仪表可以充当范围内任何其他仪表的中继器。

b、无线传感器网络

用于自动读取水表的无线通信选项包括短程RF、全球移动系统(GSM)通信、全球微波接入互操作性(WiMAX)和长期演进(LTE)^[10]。

已经对用于自动抄表应用的各种通信技术进行了详细的比较。这些比较发现, 每种技术都有其独特的优点, 但也有其缺点。可以实现高数据速率, 但会提高成本^[10-11]。

ZigBee技术等解决方案用于家庭自动化、远程监控和智能照明等应用; ZigBee基于IEEE 802.15.4规范^[11]。基于ZigBee的设计因其低功耗和成本效益而在智能公用事业领域受到欢迎^[12-15]。

马来西亚建造了一家电力公司的智能计量系统^[12]。该系统使用连接到每个电表的ZigBee模块将测量值传输到收集器节点, 然后收集器节点使用GSM将数据发送到中央计算机进行处理。该系统使用网状网络拓扑, 以允许距离收集器节点太远的仪表将其数据传输到附近的仪表, 以便转发到收集器节点。这种方法增加了收集器节点的有效覆盖范围。然而, 收集器节点是一个瓶颈, 也是一个单点故障, 因为所有数据都需要流经该节点才能到达中央计算机。

另一个智能水表系统使用符合IEEE 802.15.4的RF模块将数据从智能水表发送到网关设备^[6]。网关运行一个名为Contiki OS的实时操作系统(RTOS), 支持低功耗无线局域网(6LoWPAN)上的IPV6。然后将数据发送到后端系统进行分析 and 显示。收集的数据通过网络界面以及 Pandora FMS等监控工具显示^[6]。

虽然精心设计的系统可以满足发送点和接收点之间的持续通信, 但其中一些系统利用了本地服务提供商^[12, 16, 17]。在这样的系统中, 依赖性非常普遍, 因此, 如果服务提供商有问题, 通信可能无法进行。我们试图通过创建一个无成本且不依赖任何第二方的RF通信网络来解决这一问题, 从而提高可靠性。

3. 建议的全球系统架构

图2是说明系统总体功能原理的拟议总体架构。基

本上, 水流传感器的输出信号被送到微控制器板Arduino进行数据提取和串行编码。编码器的串行输出被馈送至RF发射器的数据输入, 以传输至公用LAN和客户端接收器模块。

在客户端接收器端, 来自RF接收器的串行数据由微控制器板Arduino解码。然后在LCD的帮助下显示处理后的数据。但在公用事业LAN单元, 数据被发送到互联网服务器, 公用事业公司可以访问该服务器进行计费 and 决策。

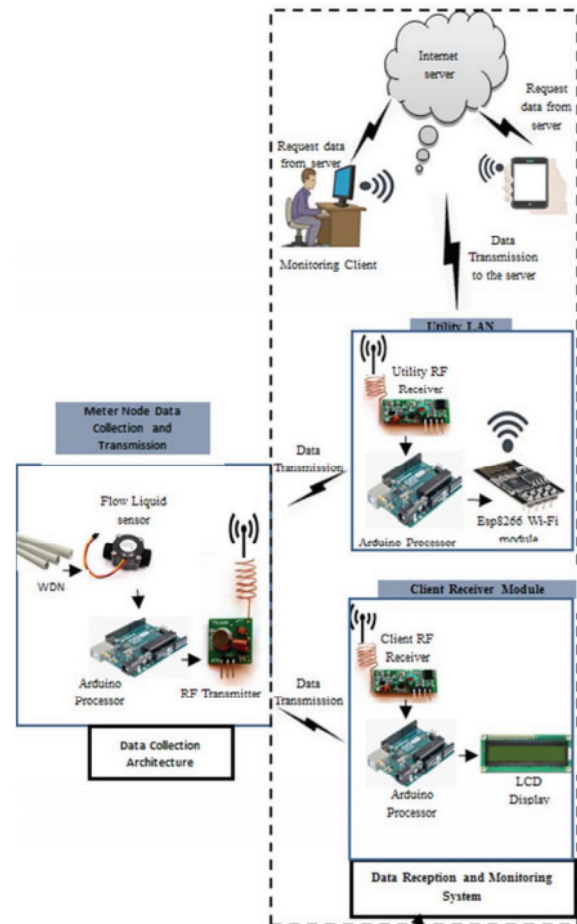


图2 通用系统架构

4. 系统组件

4.1 水流传感器

图3的水流传感器由塑料阀体、水转子和霍尔效应传感器组成^[18]。当水流过时, 转子滚动。它的速度随流速的不同而变化。霍尔效应传感器输出相应的脉冲信号。



图3 霍尔效应水流传感器^[18]

图4是在不同流速下进行的水流传感器的实验特性。来自该特性的数据用于计算和实现,以便获得客户端的流量读数(升/分钟)和给定时间的平均消耗量读数(升)。

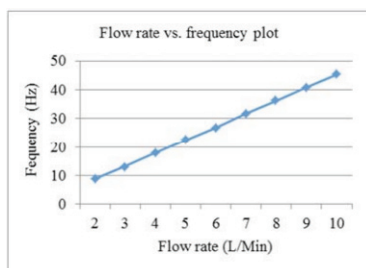


图4 不同流速的信号输出频率

实时累积耗水量被评估,数据被存储和显示。

4.2 射频模块和专用微控制器

在选择收发器模块时要考虑的因素中,我们在该系统中考虑的模块TX/RX-433 MHz的通信范围理论上大于100米;该范围便于我们的应用。此外,这种传输非常容易实现,并且在待机模式下允许低功耗。主要缺点是缺乏真正的通信协议(如在其他并发解决方案(如蓝牙低能量、Zigbee、Lora、Sigfox等)的情况下实现的),这将带来固有的传输冲突。

图5(a)显示了TX/RX-433 MHz RF收发器模块^[19]。发射机在发射逻辑零时消耗非常低的功率,同时完全抑制载波频率。当发送逻辑1时,载波在3伏电源下完全接通至约4.5 mA^[19]。数据从发射机串行发送,由调谐接收机接收。TX/RX-433 MHz模块配有内部数据解码电路和解码软件;不需要额外的电路来执行信号输入和数据输出。

发射机和接收机适当地连接到基于ATMega328的两个Arduino Uno微控制器板,用于数据传输^[20];图5.(b)是Arduino Uno微控制器板的视图。

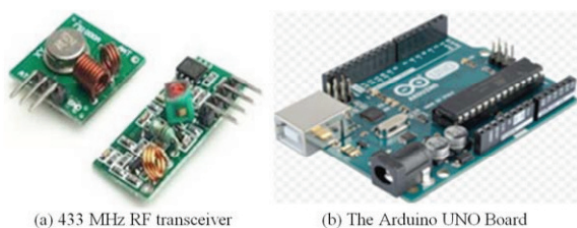


图5 射频收发器和专用微控制器

4.3 Wi-Fi (ESP8266) 模块

图6的Wi-Fi(无线保真)模块Esp8266的主要目的是将从流量传感器获得的数据无线传输到基于云的服务器。Wi-Fi模块利用移动网络无线电波轻松接入互联网。

Esp8266具有内置TCP/IP协议,AT命令用于将其连

接到Internet。与微控制器ATMega328的通信保持9600的波特率。

4.4 互联网服务器

Web服务器充当服务器,并在Web数据库中执行数据处理。Web服务器接收并存储Esp8266 Wi-Fi模块在给定时间发送的水流量数据。

我们专注于ThingSpeak应用程序接口(API),它为物联网环境中的对象提供简单的通信功能,以及有趣的其他应用程序(如ThingTweet)。此外,ThingSpeak允许您围绕传感器收集的数据构建应用程序。它为用户提供(近)实时数据收集、数据处理以及简单的可视化。数据存储在所谓的通道中,这为用户提供了一系列特征^[21]。

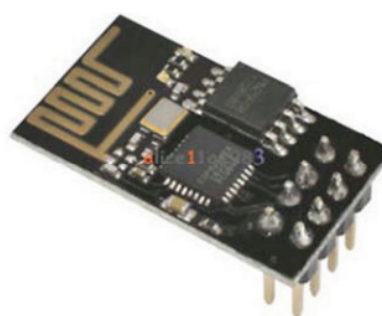


图6 Wi-Fi Esp8266模块^[21]

每个通道允许您存储最多8个数据字段,每个字段最多使用255个字母数字字符。还有四个位置数据专用字段,包括描述、纬度、经度和高程。

所有带有时间和日期戳的传入数据都会收到一个顺序ID。一旦创建了通道,就可以通过使用“写入键”访问ThingSpeak API来发布数据;“写入密钥”是随机创建的用于身份验证的唯一字母数字字符串。因此,“读取密钥”用于访问通道数据,以防设置为保持其数据私有(默认设置)。信道也可以公开,在这种情况下不需要读取密钥。根据ThingSpeak网站,API的工作原理如图7所示。本质上,“事物”是被赋予传感器以收集数据的对象。数据通过简单的“超文本传输协议”(HTTP)POST发送和接收,就像访问网页并填写表单一样。

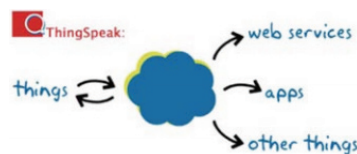


图7 ThingSpeak表示为“云”界面^[22]

然后数据被上传到云端,从那里可以用于各种目的。反过来,数据(如命令或选项选择)可以被收集并传送到云,云将数据发送到对象。

当设备通过HTTP请求(通信)发送数据时,它由

IoT服务(在本例中为ThingSpeak)处理,该服务与虚拟服务器通信。服务器和物联网服务都与应用程序直接通信。

对于这项工作,我们以将水监测系统连接到ThingSpeak web服务为例,该服务的数据将被记录到特定的频道。

4.5 客户端Web界面

根据公用事业公司的观点,客户将访问网络服务器上的网页,以了解其实际用水情况;只有特定的客户端才能获得访问该页面的权限。该页面将包含通过管道的水流图表,并将在特定时间间隔内自动更新/显示。客户端还可以在页面上看到先前水流的数据。

5. 系统仿真与实现

5.1 系统仿真

图8显示了不同流速下射频传输系统的模拟结果,这里用不同频率的平方信号表示;如LCD屏幕上所示,相应的数据被传输到客户端。

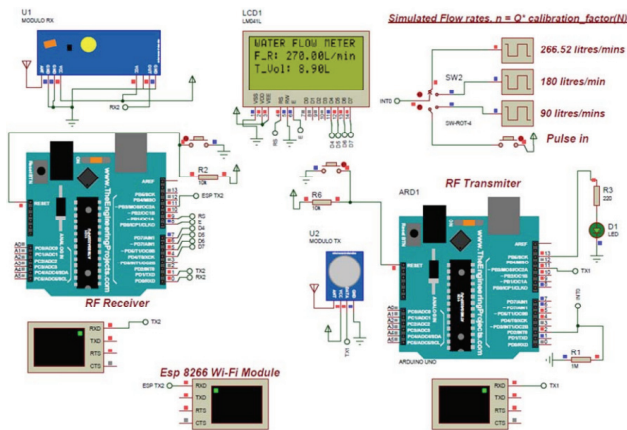


图8 模拟射频数据传输框架

还模拟了Wi-Fi系统数据传输,图9所示的传输结果在虚拟终端上正确接收,并将在实时环境中以任何所需形式(如图表)进行利用和显示。

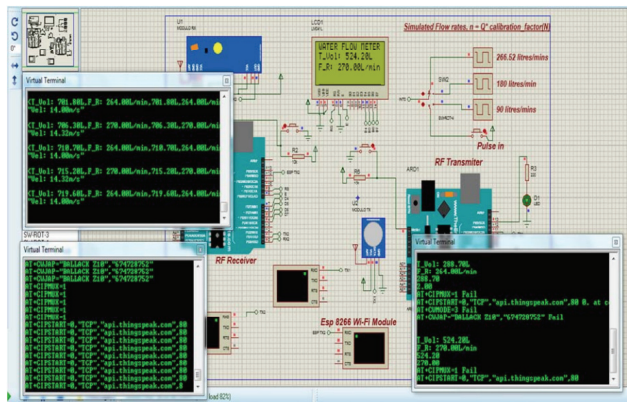


图9 Wi-Fi系统数据传输的模拟结果

5.2 系统实施和结果

除了上述硬件材料之外,还使用了支持Web的测量系统以及相应的软件设施。

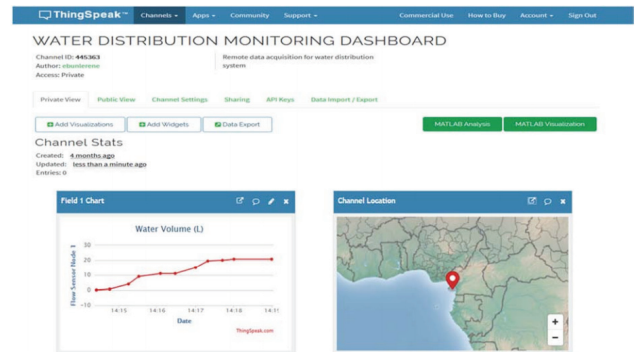


图10 互联网平台的测试结果



图11 客户端测试结果

图10和图11是测试结果,分别显示了为公用事业公司开发而实现的仪表板和客户端实时传输的信息。管理员可以从各种远程流量传感器获取用水量信息,并随时通过互联网从网络访问信息。

向客户发送的信息主要是流量(“F_R”表示原型LCD屏幕上显示的流量)和给定时间段内的累计耗水量(“T_Vol”表示样机LCD屏幕上看到的总体积)。该流量用于跟踪漏水情况,因为家中没有打开水龙头的任何流量都表明流量计后有漏水。为了更好地跟踪耗水量,系统被编程为在主人超过一天输入的期望耗水量限制后提醒他。实时耗水量在公用事业服务器上绘制。

在图10的同一图表上,监测器还具有整个区域的实时地理水分布;任何漏水或用水误用都可以很容易地识别并采取必要的措施。该城市水分布的地理概况也有助于确定管道中无水的区域;事实上,如果某个地区在某段时间内没有记录用水,那就意味着那里的管道里没有水。对于这种情况,可以借助于所提出的地理定位来轻松地定位问题并解决问题。

6. 能耗测量结果

为了对能源做出现实的假设,针对无线传输部分的指纹,建立了一个简单的点对点通信平台。更准确地说,通过使用两个Arduino板和两个433MHz模块(MXFS-05V作为发射器,MX-05V作为接收器),在两个微控制器之间传输随机数据,同时测量无线电前端的能耗。



图 12 发射和接收基带波形

通过在发射和接收时对“基带”时域信号进行实时测量来量化无线电传输质量。使用Key sight的DSO9064A示波器进行测量。这种测量的示例如图12所示。

实际上,图13给出了发射(上部信号)和接收(下部)“基带”波形。在这种情况下,随机数据是以每秒8kbits的数据速率通过帧发送的。作为这些测量的补充,使用安捷伦的E89605B、E2731B和E1439C矢量信号分析仪系统记录了发射信号的频谱图。发射器和接收器模块之间的距离被设置为非常低(小于一米),这样就不会出现传输错误。

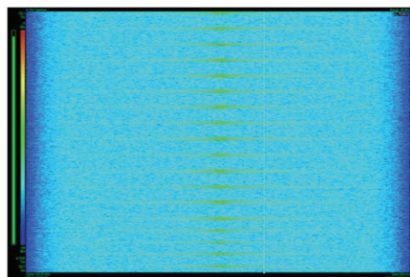


图 13 发射信号的光谱图

发射信号的频谱图(以433.87 MHz为中心)如图13所示。记录时间为13.17秒,显示了发射OOK(开关键控)的频谱范围。每500ms发送不同的帧,其持续时间是有效载荷的函数。

此外,使用两个精密万用表测量了射频前端的瞬时功耗。在这些条件下;在接收器侧测得的瞬时功耗为250mW,并且与接收信号参数的变化无关。

相反,发射极侧的功耗取决于发射信号的状态。更准确地说,在帧传输期间;测量到约250mW的平均DC功耗,而在两帧之间的时间段内平均功耗水平降低到6μW。这些值随着数据速率的减小而减小,使得对于1kbit/s,在帧传输期间消耗的DC功率减小到13.4mW。

7. 结论

在本文中,我们调查并提出了解决大多数发展中国家水公用事业公司及其客户面临的一些挑战的方案。

所提出的解决方案具有许多优点,包括实时跟踪客户的用水情况、公平供水的WDN的实时地理位置以及容易的泄漏检测;客户端在客户端和公用事业公司服务器上访问其消耗的水的数据允许有效的水消耗计费。

该文件还旨在通过上述益处,提高人们对水资源供应和使用方式失控和无效的认识;这有助于减少随意浪费水的做法。

本文旨在为喀麦隆的上述关键WDN问题提供有效的解决方案。现在需要进行一些改进;其中可以突出水表节点的能源供应来源;在该节点使用的技术应尽可能低消耗;可以探索从WDN收集的能量作为对水表节点供电电池再充电的可能性。

从这个角度来看,将对微控制器解决方案和传输数据速率进行适当选择,以最大限度地减少能耗,并设想无电池连接的水表解决方案。

参考文献:

- [1] Ramy A. Fathy, "Smart Water Management," in ITU-T Focus Group on Smart Water Management, Kampala, Uganda, June 2014.
- [2] <http://www.la-cde.com/fr/espace-client/branchement-/sabonner-a-leau.html>.
- [3] Du Rong, Wireless Sensor Networks in Smart Cities: The Monitoring of Water Distribution Networks Case: Stockholm, May 2016.
- [4] United States Environmental Protection Agency, Water Distribution System Analysis: Field Studies, Modeling and Management., 2005.
- [5] Advanced Metering Infrastructure Attack Methodology, January 5, 2009.
- [6] T. Khalifa, K. Naik, and A. Nayak, "A survey of communication protocols for automatic meter reading applications," IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 13, no. 2, pp. 168 - 182, 2011.
- [7] John McNabb, "Vulnerabilities of Wireless Water Meter Networks," Black Hat USA, Las Vegas, August 3, 2011.
- [8] S. Moore and D. M. Hughes, "Advanced metering infrastructure: lifeblood for water utilities," Journal of the American Water Works Association, pp. 64-68., April 2008.
- [9] M. J. Mudumbe and A. M. Abu-Mahfouz, "Smart water meter system for user-centric consumption measurement," in Proceedings of the 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN '15), pp. 993 - 998, July 2015.
- [10] V. C. Gungor, D. Sahin, T. Kocak et al, "Smart grid

technologies: communication technologies and standards," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 7, no. 4, pp. 529 – 539, 2011.

[11] M. Y. Nayan, A. H. Primicanta, and M. Awan, "Hybrid automatic meter reading system," in Proceedings of the International Conference on Computer Technology and Development (ICCTD ' 09) Kota Kinabalu, Malaysia, vol. 2, pp. 264 – 267, 2009.

[12] B. Zhang and J. Liu, "kind of design schema of wireless smart water meter reading system based on Zigbee technology," in Proceedings of the International Conference on E-Product EService and E-Entertainment (ICEEE ' 10), IEEE, Henan, China, November 2010.

[13] H. Dhaka, A. Jain, and K. Verma, "Impact of coordinator mobility on the throughput in a Zigbee mesh networks," in Proceedings of the IEEE 2nd International Advance Computing Conference (IACC ' 10) Patiala, India, pp. 279 – 284, February 2010.

[14] S. Arun et al, "ZigBee Based Electric Meter Reading System" , International Journal of Computer Science Issues, Vol. 8, Issue 5, No 2, September 2011.

[15] S. C. Hsia, Y. J. Chang, and S. W. Hsu, "Remote monitoring and smart sensing for water meter system and leakage detection," IET Wireless Sensor Systems, vol. 2, no. 4,

pp. 402 – 408, 2012.

[16] Z. Zheng, X. Zhou, and W. Z., "Design and implementation of remote meter reading system," in Proceedings of the 2nd International Conference on Software Technology and Engineering (ICSTE ' 10), San Juan, Puerto Rico, USA, vol. 2, pp. 247–250, 2010.

[17] <http://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YFS201.pdf>.

[18]<http://electronics-diy.com/arduino-rf-link-using-433mhztransmitter-receiver-modules.php>.

[19] Uzair Ahmed Rajput et al, "Modeling of Arduino-based Prepaid Energy Meter using GSM Technology" , International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 9, No. 5, 2018.

[20] Espressif Systems IOT Team, <http://bbs.espressif.com/>

[21] Copyright© 2015.

[22]<https://medium.com/@cgrant/using-the-esp8266-wifi-modulewith-arduino-uno-publishing-to-thingspeak-99fc77122e82>.

[23] Sharmad Pasha, Thingspeak Based Sensing and Monitoring System for IoT with Matlab Analysis; International Journal of New Technology and Research (IJNTR) ISSN: 2454-4116, Volume-2, Issue-6, June 2016 Pages m19–23.