

Study of Heterogeneous Convergence Network for South-to-North Water Diversion Middle Route Project

Jianna Song¹, Weifeng Huang², Xiaonan Pang³

¹China Water Conservancy and Hydropower Press, Beijing

²Construction and Administration Bureau of South-to-North Water Diversion Middle Route Project, Beijing

³Construction Management and Quality Safety Center of Ministry of Water Resources of People's Republic of China, Beijing

Email: sjn@waterpub.com.cn, huangweifeng@nsbd.cn, xiaonanpang@yeah.net

Received: Oct. 2nd, 2015; accepted: Oct. 26th, 2015; published: Oct. 29th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

South-to-north water diversion project is the world's largest artificial water diversion project, with a total length of roughly 1432 kilometers. The construction and operation of this project will be a promoting factor to China's economy and society development. However, the distance of the canal is too long, and there is a variety of geological conditions. Many different kinds of sensors arranged along the canal and seated different position, for monitoring water quality and engineering entity security, which brings a lot of challenges to the networking and the transmission of the sensor data in the future. In this paper, with layout requirements of sensors in South-to-North Water Diversion Middle Route Project, we propose to study the heterogeneous convergence network architecture for collaborative transmission. The applications of heterogeneous convergence network architecture in water quality monitoring are pointed out. The research achievements in this work will facilitate future exception handling of water quality and security monitoring systems.

Keywords

South-to-North Water Diversion, Heterogeneous Convergence Network, Cooperative Transmission, Water Quality Monitoring, Dam Safety Monitoring

南水北调中线干线工程异构融合网络架构研究

宋建娜¹, 黄伟锋², 庞晓楠³

¹中国水利水电出版社, 北京

²南水北调中线干线工程建设管理局, 北京

³水利部建设管理与质量安全中心, 北京

Email: sjin@waterpub.com.cn, huangweifeng@nsbd.cn, xiaonanpang@yeah.net

收稿日期: 2015年10月2日; 录用日期: 2015年10月26日; 发布日期: 2015年10月29日

摘要

南水北调中线干线工程是全球最大的人工调水工程, 全线总干渠长约1432公里, 建成后将对我国京津冀经济圈乃至全国经济与社会发展发挥重要的促进作用。但是, 全线输水距离远、工程实体多, 为了监测水质安全和工程实体安全, 沿渠布设了众多传感器, 其种类繁多, 布设位置不一, 这些复杂条件给中线干线工程的通信网络组网和传感器采集数据的传输带来严重挑战。本文结合南水北调中线干线工程传感器节点布设需求, 研究异构融合网络协作传输架构, 并给出了异构融合网络架构在水质监测异常情况下的应用。本文的研究成果可以为水质监测、安全监测等系统的异常情况处理提供有效技术支持。

关键词

南水北调, 异构融合网络, 协作传输, 水质监测, 安全监测

1. 引言

南水北调中线干线工程(以下简称“中线干线工程”)南起汉江下游湖北丹江口水库的陶岔引水闸, 沿唐白河平原北缘、华北平原西部边缘, 跨长江、淮河、黄河、海河四大流域, 直达北京的团城湖和天津市外环河, 是一项跨流域、跨多省市、长距离的特大型调水工程, 担负着北京、天津、石家庄、郑州等数十座城市保障供水的重大任务。

中线干线工程全长 1431.945 km, 输水干渠包括总干渠和天津干渠两部分, 总干渠长 1276.414 km (陶岔渠首至北京团城湖), 其中河南段长约 731.722 km, 河北段长约 464.640 km, 北京段长 80.052 km, 天津干渠长 155.531 km (河北省徐水县西黑山至天津外城河)。总干渠输水形式以明渠为主, 局部布置管涵 [1]。

中线干线工程沿途流经的伏牛山、太行山区, 是我国洪水多发地区。沿线设置左排建筑物、渡槽、倒虹吸、隧洞、暗涵、PCCP、桥梁等建筑物 2300 余座之多, 具有种类多、规模大、结构复杂等特点, 而且穿过中强膨胀土、湿陷性黄土、饱和沙土、煤矿采空区、砾石地基等特殊地质渠段, 存在大量的高填方及深挖方渠段, 安全隐患大; 加上沿途各地人文环境、民众法律意识各异, 工程建成后的安全监测将成为摆在管理者、建设者与科技工作者面前的一个重要难题 [2]。

中线干线工程是缓解京、津、冀、豫等北方地区资源型缺水问题的特大型跨流域调水工程, 其水质状况的好坏, 关系千家万户, 牵动国计民生。该工程穿越四省区, 沿线长且多为明渠, 交叉建筑物多, 易发生突发性污染事故。为全面监控工程输水水质, 加强水质管理, 充分发挥工程效益, 需要在工程输

水干线上布设水质传感器,开展水质监测和预测预报工作,及时、准确掌握输水干线的水质变化情况,有效处理突发性水污染事件,保护输水干渠水质,确保沿线供水安全。

可以看出中线干线工程具有线性、分布式的特点,距离大、范围广。沿线的水质、安全监测等传感器数量众多,类型复杂,不同传感器根据监测类型、埋设位置等不同,接入不同的传输网络。本文针对中线干线工程多网接入及多介质组网的复杂环境及业务承载需求,通过构建新型异构融合网络架构,实现传感器采集数据快速高效地传输,降低传输时延。

2. 南水北调中线干线工程传感器网络

南水北调中线干线工程传感器网络主要面向低功耗、短距离无线传输应用。各类底层传感器节点根据自身硬件基础情况,选择相应的传输方式,如应用于工程安全监测系统的传感器,根据现地监测站房位置情况,采用有线以太网与无线传输相结合的方式上传[3]。首先,各现地观测站传感器节点数据采集单元通过 RJ45 接口与光端机连接,然后汇集到光端机上,形成光纤以太网链路;最后,由汇集的光端机与所在主干通信室中的三层交换机连接。对于离现地站的部分渠道重点传感器节点采用无线公网传输方式,即在每个重点监测断面都设置有独立观测站房,每个独立观测站房中均设有一套无线发送装置,由无线数据接收装置通过无线公网传输数据。

中线干线工程传感器网络技术主要采用无线传感器网络、专用 WiFi 无线网络、公用蜂窝移动通信网络以及以太网/10G 专用光纤网络这四种方式,整个系统的网络架构如图 1 所示。

而应用于水质监测的传感器节点,由于长期布设在水渠中,供电和有线传输都不方便,因此主要采用无线传感器网络的自组网传输,如图 2 所示。各个水质监测的传感器将各自的数据通过低功耗自组网传输到汇聚节点,然后经汇聚节点完成网关协议转换功能,通过专用 WiFi 无线网络或者公用蜂窝移动通信网络上传到指挥控制中心。其他传感器可直接接入专用 WiFi 无线网络、公网、或光纤专网,完成采集信息上传。

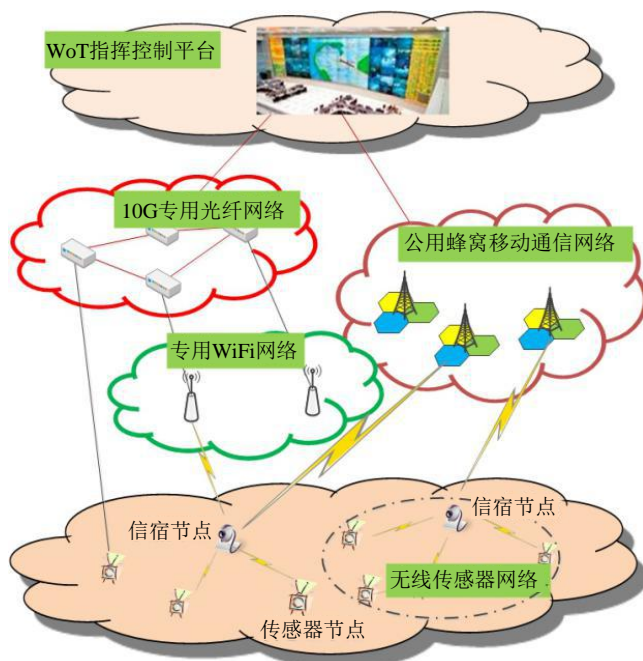


Figure 1. The sensor network architecture in Middle Route Project
图 1. 南水北调中线干线传感器网络架构

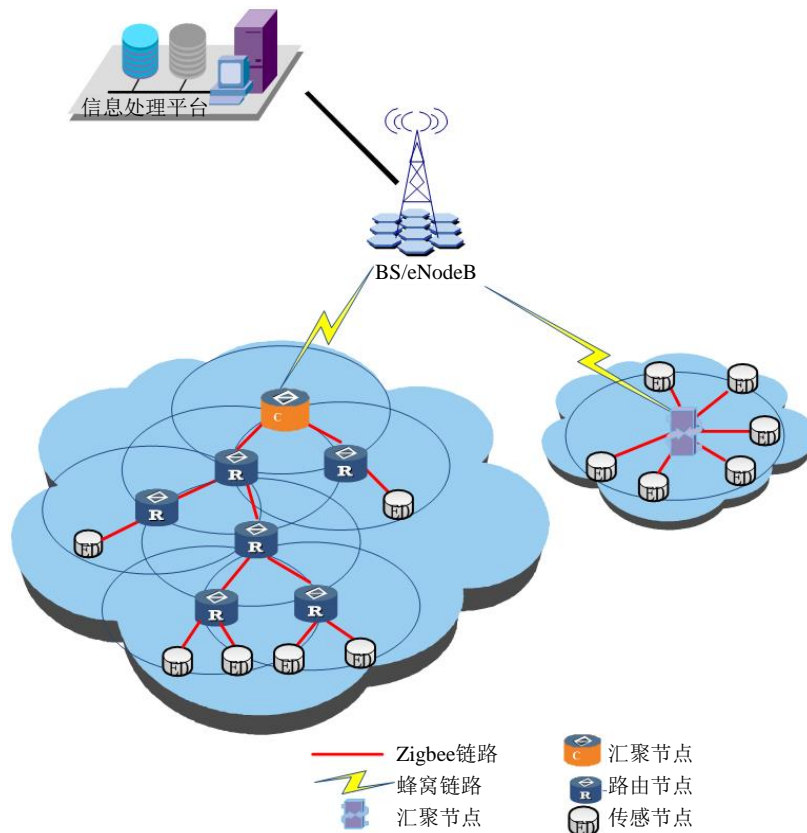


Figure 2. Wireless sensor network topology in water quality monitoring system
图 2. 水质监测系统无线传感器网络拓扑图

感知层主要通过各类传感器收集水质、工程建筑设施、防入侵安全、气象、视频等信息。感知层中包括了具有无线传输传感器节点、具有一定处理能力的传感器设备，以及具有汇聚收集功能的传感器网关。通过具有不同传输、处理功能的传感器完成南水北调中线干线工程中不同区域的工程安全、水质安全、防入侵安全的监测。各类传感器采集到的数据，需要通过传输网络上传到指挥应用平台。传输层的主要作用，是通过有线或无线的数据链路，将传感器和终端监测的数据上传到管理平台，并转发管理平台的命令与数据到各个扩展功能节点。传输网络是内部数据与互联网平台数据的交换通道，是传感器网络数据与互联网数据交换的中间载体，属于互联网中的局域网和城域网部分，是互联网的末端接入部分。信息管理平台位于网络骨干，主要实现后台业务支撑功能，预置应急事件处理机制流程，集成中心控制软件，可接入各种业务子网。信息管理平台内部署宽带无线网管子系统，通过网管功能对无线通信网单元进行远程管理与配置、状态监视。

3. 异构融合网络协作传输架构

中线干线工程传感器网络在渠道沿线广泛散布监测节点。一方面，传感器部署的数量很大；另一方面，要实时监测和上报的数据量也将十分巨大，这些数据既包括水文水质监测数据、地质气象监测数据，还包括大量涉及安全的电子围栏、远程视频监控信息。这些海量数据传输需要足够的带宽，在工程运行过程中，还有大量数据的实时传输需求，需要综合考虑在沿线布设的各类传感器设备、视频监控设备等的数据传输。结合中线干线工程传感器网络构建需求，本文在分析现有无线传感器网络 WSN (Wireless Sensor Network)与蜂窝网络的融合架构的基础上，深入研究异构融合网络协作传输架构。

3.1. 现有异构融合网络架构

无线传感网与蜂窝网络的融合场景如图 3 所示, 在融合场景中, 蜂窝网系统中的基站对蜂窝网内所有用户终端 UE (Use Equipment) 进行统一的调度和管理。在蜂窝网的覆盖范围内, 分布着大量的传感节点, 组成了无线传感器网络。WSN 网络由协调器、UE、路由节点和普通节点组成。UE 可充当协调器, 具有双模接口, 即同时具有蜂窝接口和 WSN 接口, 它们可使用 WSN 接口获得感知数据, 也可使用蜂窝接口将数据直接转发至蜂窝基站 BS (Base Station)。除了作为协调器, UE 在无线传感网中也可作为普通传感节点、簇头节点, 在无线传感网中传输和转发数据[4]。

如图 3 所示, 融合无线蜂窝网和无线传感网的传统网络架构是分层的。所有的网关都具有双模接口, 即同时具有 WSN 和蜂窝接口。一组无线传感节点构成数据监测平台, 网关和基站组成系统控制平台。通过网关, BS 直接控制 WSN。网关提供 WSN 节点接入, 转发监测数据到骨干网服务器。WSN 和移动蜂窝网络通过一条数据信道通信, 所以一定程度上降低系统效率。

3.2. 新型异构融合网络架构

在新的网络融合方法中, 移动蜂窝网络和 WSN 融合架构由分层体系演化成扁平化, 以降低两网之间分层信号交换[5]。如图 4 所示。融合网络架构中, 感知节点能够监听到来自移动蜂窝网基站的下行链路信号。移动蜂窝网可以直接控制和管理无线传感网, 使得无线传感网更加有效。例如, BS 可以帮助传感节点选择优化的传输路径, 来传输业务。对于上行链路, 由于传感器节点受限的传输范围, 数据仍需通过网关路由。这样一来, 传感器节点将引入额外的复杂度, 必须具备下行链路接收机的功能。不过这种复杂度也不会太大, 现有设备能力会越来越高。

图 5 中 A 表示 WSN 和移动蜂窝网分层融合时传感节点和 BS 之间的信令交互方式。传感节点首先将采集信息发送给 UE, UE 汇集采集信息, 连同信道信息一并上报给 BS。BS 根据信道信息, 发送优化路径给 UE, UE 分配路径给传感节点。B 表示 WSN 和移动蜂窝网扁平化融合时传感节点和 BS 之间的信令交互方式。传感节点首先将采集信息发送给 UE, UE 汇集采集信息, 连同信道信息一并上报给 BS。BS 根据信道信息, 发送优化路径给传感节点, 这里减少信令交互过程, 提高系统效率。

4. 新型架构在水质监测的应用

图 6 所示为水质监测系统业务流程图。通常情况下, 管理处的巡渠人员配有专用手机, 在巡渠过程中, 巡渠人员可以作为移动 UE, 充当无线传感器网络的网络协调器。

正常情况下, 巡渠人员所负责区域内的传感节点将采集信息传送给 UE, 由 UE 将采集信息和信道信息一并转发给 BS, BS 收到信息后, 一方面分配优化路径给传感节点, 另一方面将信息及时上报给信息处理平台进行在线分析处理。而在突发情况下, 一旦巡渠人员所负责区域发生污染事故, 巡渠人员可以和附近下游区域的人员建立 D2D 通信模式, 方便信息的快速扩散到下游区域, 以便下游区域人员及时快速地做好防护措施。

D2D 通信的会话建立过程如下:

- 1) 用户终端发起会话请求;
- 2) 网关检测 IP 数据包的源端和目的端, 发现源端 UE 和目标 UE 在相同或相邻的区域;
- 3) 网关根据一定的标准(例如蜂窝网络允许的最大 D2D 连接数)决定是否建立 D2D 连接;
- 4) 基站请求用户终端进行信道质量测量, 并根据信道质量判断 D2D 连接是否可以建立;
- 5) 如果两个用户终端都有 D2D 功能, 并且 D2D 通信带来更高的传输速率, 则基站通过控制信令在终端之间建立 D2D 通信;

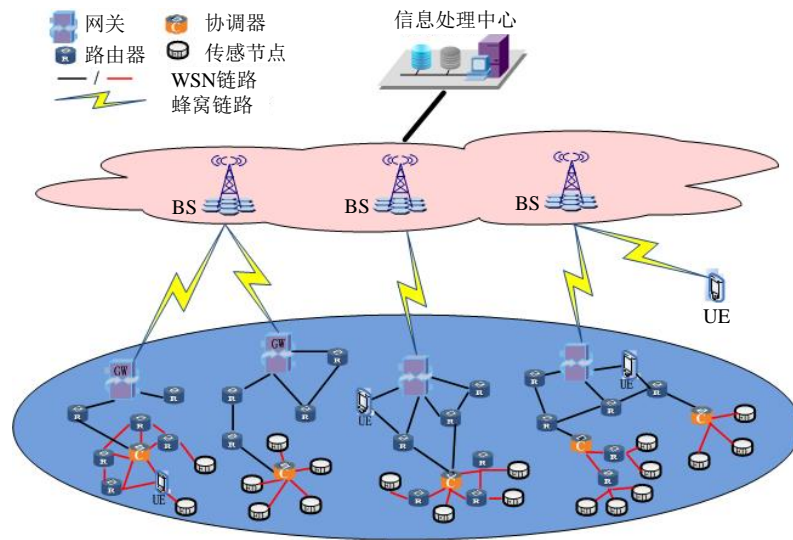


Figure 3. Convergence scenario between WSN and cellular network

图 3. 无线传感网与蜂窝网络的融合场景

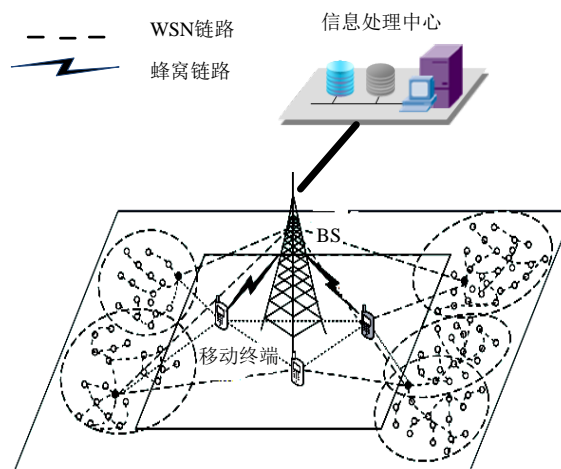


Figure 4. Flattening convergence architecture between WSN and cellular network

图 4. 无线传感网与蜂窝网络的扁平化融合架构

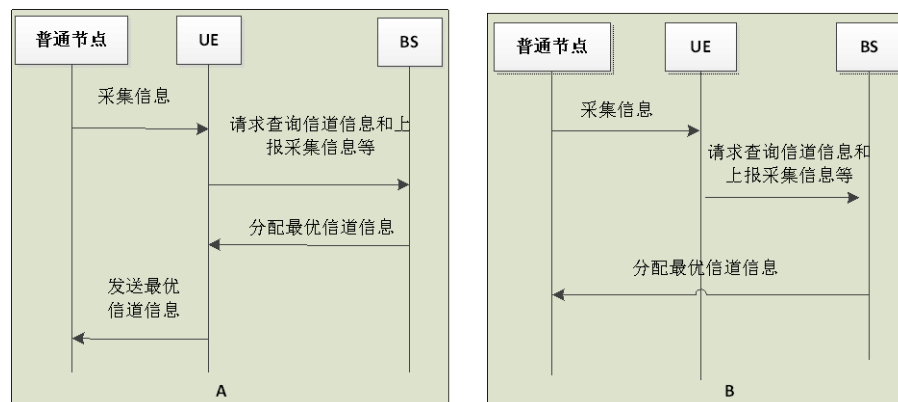


Figure 5. Interaction process between sensor nodes and BS

图 5. 传感器节点与 BS 交互过程

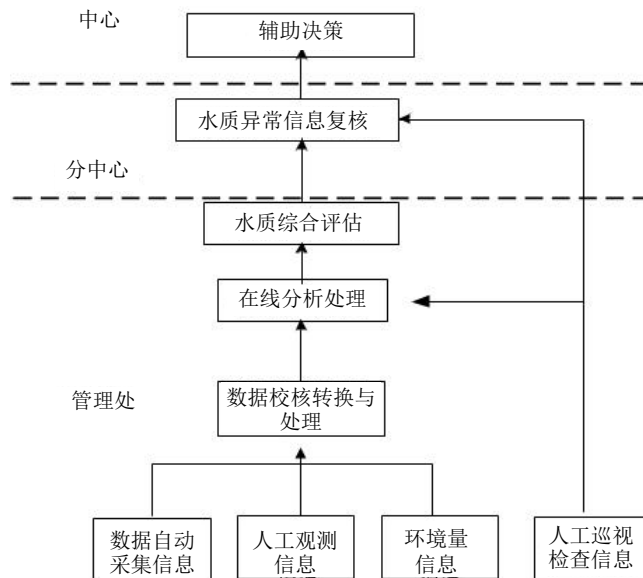


Figure 6. Business flow chart in water quality monitoring system
图 6. 水质监测系统业务流程图

当 D2D 连接成功建立之后，基站同时负责蜂窝通信和 D2D 通信的资源分配，用户终端可以继续保持与因特网的连接。通过监听相邻终端设备的 IP 数据流来建立 D2D 连接，网络将自动的在蜂窝通信和 D2D 通信中进行选择。

突发情况下的水质监测,采用扁平化通信架构和 D2D 通信模式,能够将突发性污染事故发生的位置、入河方式、污染物种类、入河量等信息,及时准确的映射到相邻区域,达到预报污染物浓度随时间、空间的变化,即某一断面污水团到达时刻、污水团峰值到达时刻、污染物浓度、污水团持续时间、消失时刻,污水事故水质影响渠段。

5. 结论

南水北调中线干线工程全线输水距离远、工程实体多,沿渠布设众多传感器节点,布设位置的不同,给中线干线工程的全线组网和监测系统采集数据的传输带来严重挑战。本文面向这一严峻挑战,结合南水北调中线干线工程传感器节点布设的实际情况,对该工程异构融合网络的协作传输架构进行分析与探讨。本文以期对南水北调中线干线工程水质监测系统和安全监测系统的采集数据的传输提供有价值的参考。

基金项目

国家科技重大专项(2014ZX03005001)。

参考文献 (References)

- [1] 水利部南水北调规划设计局 (2003) 南水北调工程总体规划.
- [2] 南水北调中线建设管理局. 南水北调中线干线工程“工程安全、供水安全、人身安全”专题报告. 2012: 2-8.
- [3] 南水北调中线建设管理局. 南水北调中线干线工程自动化调度与运行管理决策支持系统初步设计报告. 2009: 200-220.
- [4] 高卉 (2013) 基于蜂窝网辅助的无线传感器网络快速切换技术研究. 安徽大学, 合肥.
- [5] Zhang, J., Shan, L.H., Hu, H.L. and Yang, Y. (2012) Mobile cellular networks and wireless sensor networks: Toward convergence. *Communications Magazine, IEEE*, **50**, 164-169.