

文章编号: 1001-9081(2018)S2-0337-04

实时 Web 技术在辐射监测系统中的应用

吴丽梅^{1,2}, 韩利峰^{1*}, 黄文博¹, 李嘉曾^{1,2}, 李丹青^{1,3}, 张立园^{1,2}, 陈永忠¹

(1. 中国科学院上海应用物理研究所, 上海 201800; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 上海交通大学软件学院, 上海 200240)

(* 通信作者电子邮箱 hanlifeng@sinap.ac.cn)

摘要: 为了将在线监测系统部署到 Web 端, 需要解决实时设备通信、前端数据同步和数据可视化的问题。首先, 通过将 node.js 服务器的事件驱动机制与实验物理和工业控制系统 (EPICS) 的驱动程序对接, 实现对仪器设备数据更新事件的监听; 然后, 利用 socket.io 模块创建浏览器与服务器之间的双向数据通道通信, 实现数据的可靠传输; 最后, 利用 angular 数据绑定技术, 把实时数据绑定到 Web 前端 echarts 数据图表和百度地图等组件, 实现前端数据的科学展示。将此方案应用于中国科学院钍基熔盐堆核能项目 (TMSR) 的一辐射防护系统中, 数据更新周期达到 100 ms; 而且与原辐射监测系统客户端软件相比, 数据显示手段增加了地图、矢量图和响应式折线图 etc 类型。该系统已稳定运行 2 年, 实现了跨系统、跨终端、跨区域的辐射安全监测。

关键词: 辐射防护; 实时在线监测; 数据可视化; 实验物理与工业控制系统; Websocket 长连接

中图分类号: TP399 **文献标志码:** A

Application of real-time Web techniques in online radiation monitoring system

WU Limei^{1,2}, HAN Lifeng^{1*}, HUANG Wenbo¹, LI Jiazeng^{1,2}, LI Danqing^{1,3}, ZHANG Liyuan^{1,2}, CHEN Yongzhong¹

(1. Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. School of Software, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to place the online monitoring system on the Web side, it is necessary to solve the problems of real-time device communication, front-end data synchronization and data visualization. Firstly, by combining the event-driven mechanism of the node.js server with the Experimental Physical and Industrial Control System (EPICS) driver, the monitoring of instrument data update event was realized. Then, reliable data transmission was achieved by utilizing the socket.io module to create a duplex data channel communication between the browser and the server. Finally, using the data binding technology of angular framework, the real-time data was successfully bound to the echarts data chart and Baidu Map on the front-end pages, which accomplished the scientific presentation of front-end data. This scheme was applied to one of radiation protection systems of the Thorium Molten Salt Reactor (TMSR) of the Chinese Academy of Sciences, and the results showed that data update time was less than 100 ms. Moreover, compared with the client of original radiation monitoring system, more types of data display were provided, such as maps, vector graphics and responsive line charts. The system has been running stably for 2 years, and it has realized radiation safety monitoring across systems, terminals and regions.

Key words: radiation protection; real-time online monitoring; data visualization; Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS); long-lived websocket connection

0 引言

文献 [1-2] 介绍的钍基熔盐堆核能系统项目是中国科学院战略性先导科技专项之一, 项目建设和运行过程中辐射安全问题备受关注。建立一套实时在线、安全可靠的辐射监测系统, 实现对辐射剂量水平的跨系统、跨区域监测, 对于项目安全运行具有重要意义。

新时代“互联网+”背景下, 基于 Web 访问便利和易扩展的优势, 越来越多监测系统被部署到 Web 端。例如, 杨世江等^[3] 开发了基于 Java Web 构件的综合辐射监测系统, 该系统具有良好的可维护性和易用性; 周中雨等^[4] 提出了一个 Web 应用的辐射监测系统解决方案, 应用于泰山工程二期, 减轻了

系统管理员的压力; 贺超波等^[5] 以 ajax 和 svg 为核心技术, 通过重复请求服务器更新页面数据, 实现基于 Web 的实时数据监测系统; 李洛峰等^[6] 采用 asp 语言编写服务器, 通过图片重复刷新完成网页数据更新。这种传统的 Web 实时应用基于轮询或长轮询原理, 即客户端以固定频率重复向服务器发送请求, 此方式实现的数据传输是伪实时技术, 具有一定局限性。由于原始数据的更新周期不可预知, 所以请求频率难以确定: 过高的请求频率会加重服务器负载、消耗更多网络带宽资源; 过低的请求频率会丢失数据。另外, 重复发送 http 请求会增加网络负担。

Web 端的实时数据传输、数据更新驱动和可视化成为互联网背景下的研究热点, 相继涌现出一批高效可靠、精干易用

收稿日期: 2018-06-29; 修回日期: 2018-09-02。 基金项目: 中国科学院战略先导科技专项 (XDA02010300)。

作者简介: 吴丽梅 (1993—), 女, 福建三明人, 硕士研究生, 主要研究方向: EPICS 实时监控; 韩利峰 (1981—), 男, 河南安阳人, 副研究员, 博士, 主要研究方向: 熔盐堆数字化控制系统软件; 黄文博 (1985—), 男, 湖南常德人, 工程师, 主要研究方向: 辐射监测技术和辐射监测系统; 李嘉曾 (1994—), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要研究方向: EPICS 历史数据归档系统; 李丹青 (1988—), 男, 上海人, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理与实时数据监控; 张立园 (1995—), 女, 安徽滁州人, 硕士研究生, 主要研究方向: 数据库在 EPICS 仪控领域的应用; 陈永忠 (1968—), 男, 上海人, 研究员, 硕士, 主要研究方向: 反应堆仪表及控制。

的新技术标准,例如:Websocket 是实现服务器与浏览器之间全双工通信的网络应用层传输协议,文献[7-8]应用该协议基于 tcp 连接,为前后端实时数据传输提供了可靠的数据通道。廖海波等^[9]利用 java 技术实现了 Web 前后端的 tcp 连接和实时数据更新。吕海东^[10]利用 javascript 实现 Web 前后端的 tcp 连接和实时数据显示。文献[11]提出 node.js 是实现 Web 高性能服务器开发的软件平台,采用非阻塞型 I/O 机制和异步事件环机制,为高并发 I/O 提供数据更新驱动机制。而 echarts 是开源可视化图表库,提供简捷直观、交互丰富、可高度个性化定制的可视化图表,是国内优秀的可视化图表组件,被国家统计局、阿里巴巴、华为等广泛采用;angular 是 Web 前端数据绑定的数据模型框架,使用简单的声明式模型,快速实现数据绑定。

这些新技术标准在科研领域的应用处于起步阶段,例如 Uchiyama 等^[12]通过传统 epics 在线监测系统与 node.js 的接口封装,实现了 epics 数据更新事件到 node 服务器后端事件的传递。此外,基于 Websocket 软件模块实现了数据在前后端的传递,打通了前后端的数据通道。

TMSR 项目系统实验园区的辐射监测系统原方案基于 EPICS 软件包开发。EPICS 是一套开源的分布式控制系统软件架构。文献[13-15]介绍了原系统设计方案,该方案基本满足了辐射剂量实时在线监测、数据保存、报警管理等功能;但功能上的进一步扩展存在较大难度,例如数据的异地传输、与其他在线监控系统的互通(如:视频监控系统)、历史数据统计分析功能的扩展、访问管控等,都驱动我们开发一套基于 Web 新技术标准的辐射监测系统,作为熔盐实验堆此类系统建设的技术储备。

利用上述技术基础,本文实现了 Web 端实时在线监测系统,并在 Web 端实时数据的更新和显示上进一步探索。首先利用 angular 对前端页面控件进行数据绑定,实现了实时数据更新;利用 echarts、svg、datatable 插件开发了比原 epics 客户端更丰富美观的数据图、流程图、数据表格接口,充分发挥了 Web 端数据展示的优势。此外,利用百度地图接口,实现了基于地图环境的数据的显示;并且利用 nodejs 软件平台,尝试了历史数据库和视频监控系统的访问,验证了历史数据分析和系统融合扩展的可行性。

1 在线辐射监测系统方案

为保证工作人员免受辐照、保证放化设施安全运行,本系统在园区内部署了不同类型的子系统进行辐射剂量监测,包括环境 γ 监测和区域 γ 监测等 7 个子系统。

如图 1 是本文的系统方案,包括现场监测设备、epics ioc、node 服务器平台、客户端几个模块。后端服务器采用 express 框架构建,前端页面采用 html、css、javascript 等语言编写,引入 echarts 图表、百度地图、angular 框架等。

从下至上为监测数据传输路径:现场监测设备测量其周围环境的辐射剂量,然后通过以太网传输到 epics ioc。epics ioc 中每个 pv 变量对应一个数据通道,这些 pv 变量是后续模块要获取和处理的监测数据单元。从 epics ioc 到后端服务器的数据传输遵循 epics ca (channel access) 协议,该协议通过 node.js 平台提供的 epics 软件接口模块包——node-epics 实现。从后端服务器到前端浏览器的监测数据传输遵循 Websocket 协议,该协议采用 socket.io 模块实现。在前端页面中,借助 angular 控制器中创建的作用域,实现监测数据与

页面标签、echarts 图表和百度地图之间的数据双向绑定,一旦监测数据发生变化,可视化部分即刻更新,达到实时监测效果。

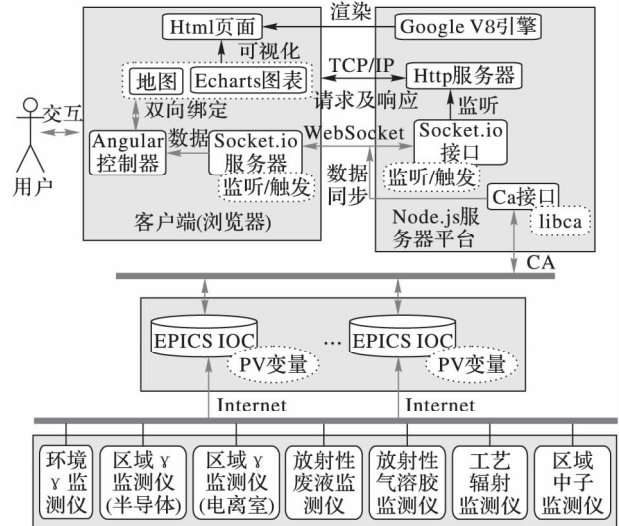


图 1 在线辐射监测系统方案

2 后端服务器设计

2.1 node-express 建站

本系统软件基于 express 网站应用框架,借助 node.js 平台提供的 express、socket.io、epics 等模块,static、body-parser、Router 等中间件,完成服务器配置,实现系统软件架构。

2.2 node-epics 事件驱动

监测数据从现场设备至后端服务器的传输,依赖 epics ioc 的事件驱动和 node.js 平台的 epics 模块实现:服务器端 node-epics 包使用 ffi 模块直接调用 epics 的 libca 库函数,实现 pv 变量的定义函数和 get、put、monitor 等方法。后端服务器向所有的 epics ioc 广播,找到目标 ioc 后建立点对点连接,传输监测数据。

如图 2 所示是现场设备监测到的数据发生变化时数据更新过程,epics ca 协议的事件回调机制要求 ioc 中记录值、报警状态等发生变化时,由 ioc 调用 db_post_event 函数报告给订阅的客户端。node.js 服务器通过 ca_create_subscription 函数订阅此事件,并产生数值更新事件,触发页面显示控件的数值变换。

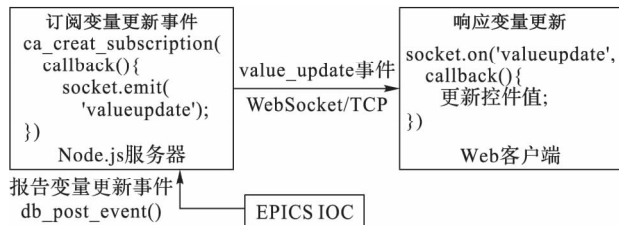


图 2 epics 变量更新的事件回调机制

2.3 node-websocket 长连接

监测数据从服务器至浏览器的传输,依赖 websocket 长连接,建立 Web 应用前、后端的双向数据通道。socket.io 模块在服务器与浏览器之间创建一个共享接口,通过该连接通道自由传递信息、监听或发射事件。

实例化的 socket.io 模块监听 http 服务器的运行状态及客户端与服务器的连接状态。http 服务器运行后创建 socket.io 服务器;客户端与服务器连接成功后,触发 socket.io

服务器的 connection 事件: 创建 pv 变量对象并监听其 value 域 若 value 域发生变化 服务器端立刻触发客户端的 pv 变量对象更新数值 以此实现监测系统“实时在线”属性。

3 前端可视化设计

3.1 angular 前端数据绑定

为保证前端页面的动态效果和数据实时性, 采用 angular 框架技术将监测数据 (pv 变量值) 绑定到页面标签, 增强 html 标签的功能。以首页表格为例 angular 数据绑定步骤如下:

创建 angular 模块和控制器: 采用 angular.module 函数创建 tableApp 模块 controller 方法为模块添加控制器 tableCtrl, 将 pv 变量与控制器中的 scope 作用域绑定。核心代码如下:

```

/* 创建模块和控制器,用于首页表格的数据绑定 */
var tableApp = angular.module("tableApp", []); //创建模块
tableApp.controller("tableCtrl", function($ scope) { //控制器
/* 此处为监测数据绑定 */
$ scope.env01 = erms01; //erms01 为存储数据的 pv 变量
$ scope.env02 = erms02;
... //此处为其他 pv 变量绑定
});

```

使用 ng-app 指令为标签添加 angular 模块, ng-controller 指令为标签添加控制器。在声明了 angular 模块和控制器的页面标签及其子标签中可以使用 ng-bind 绑定页面标签与 \$ scope 对象 (例如 \$ scope.env01)。

3.2 数据可视化

本系统采用 echarts 折线图、地图、仪表盘实现数据可视化。各类型的图表显示程序包括以下步骤: 为图表准备 dom 容器, 通过 script 标签引入 echarts 库文件, 采用 echarts.init 方法初始化图表; 在 option 中配置图表的公共选项, 组件选项和数据选项 (例如, 提示框、图例、动画等选项), 通过 setOption 方法生成图表。

echarts 数据可视化部分通过 setInterval 方法实现周期为 1 s 的图表刷新, 实现“数据显示”的实时性。值得注意的是, 此处的定时刷新与轮询方式更新数据存在区别: 此处的图表刷新针对单个图表而非整个页面; 而且图表刷新针对数据显示而非数据获取, 图表生成时使用的数据来自前端已更新的 pv 变量对象, 数据获取仍基于 websocket 长连接, 数据实时性和完整性有保证。

为增强可视化效果, 本系统基于百度地图显示数据: 首先, 为地图准备 dom 容器, 通过 script 标签导入百度地图个人密钥; 然后创建百度地图实例并对其初始化, 包括初始化经纬度坐标、放大级别和地图类型等; 最后, 通过添加自定义覆盖物的形式, 圈出园区位置及其内部主要建筑和监测点位置, 通过自定义属性实现主要建筑和监测点的个性化图标及详细信息显示, 并且定义鼠标事件响应。

4 在线辐射监测系统展示及应用分析

4.1 系统页面布局

如图 3 所示是系统页面布局, 共有 10 个 html 页面, 包括: 监测系统介绍、仪器状态查看、监测数据展示三部分, 分别可在每页顶部导航栏的“关于”“仪器状态”“监测点”进入网页。

系统软件的首页包括页面顶部的导航栏、中部的整体监测列表、底部的监测子系统简介及跳转按钮, 可总览各个监测点的监测数据和状态。依照辐射防护要求设置监测数据的报

警阈值, 将每个监测点状态分为正常、低报、高报、关闭四种, 以不同颜色区分。

监测点部分包括环境监测页、中子物理实验室监测页等 7 个监测点页面, 每页以 echarts 折线图、百度地图或可缩放矢量图 (Scalable Vector Graphics, SVG) 的形式展示各个子系统的详细状态。

仪器状态页展示各个探测器的参数设置及使用情况; 关于页包括对监测系统可监控值班室的简要介绍。

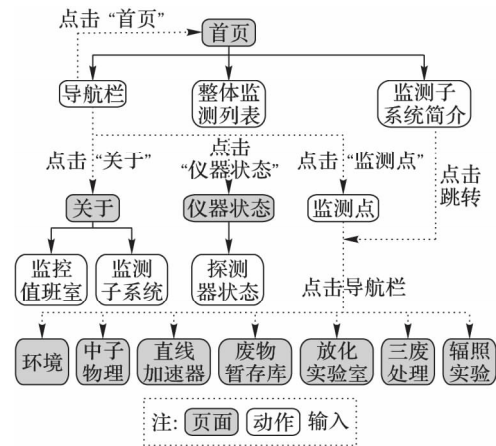


图 3 前端页面结构

4.2 监测界面展示

环境监测页可滚动显示上下两屏, 如图 4 所示的环境监测 Gamma 剂量率报表是环境监测页第一屏的内容, 折线图中实时显示 1 min 内的环境监测数据, 展示园区辐射状态。数据视图功能将分别列出 5 个环境监测点在最近 1 min 内的数据; 此外还具有添加、删除、区域缩放、图片导出等辅助功能。

如图 5 所示的百度地图监测界面是环境监测页第二屏的内容, 该地图具有卫星混合和 2D 平面图两种模式, 图中标注了 5 个环境监测点位置及其当前监测数据。某处的监测数据超过预设高报值, 则该处的图标会跳动警示值班人员处理特殊情况。此外还具有: 移动、缩放、信息文本提示等辅助功能。

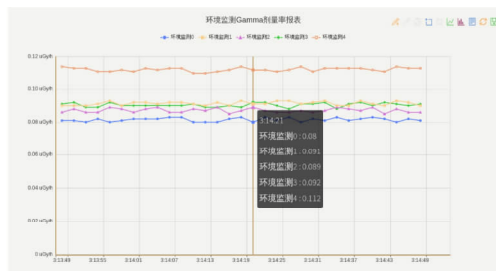


图 4 环境监测 Gamma 剂量率报表



图 5 百度地图监测界面

4.3 对比分析

TMSR 项目的辐射监测系统先后使用两种架构方案: C/S 架构(原方案)和 B/S 架构(本系统方案) 原方案使用客户端软件 (Control System Studio , CSS) , 两方案性能和可视化效果的对比分析如表 1。原方案设计的辐射监测系统安装繁琐 数据展示以无交互的显示为主 , 少鼠标响应等效果 , 页面数据同

步依靠周期性刷新 , 是伪实时技术。而改造方案设计的系统数据可视化形式增多 用户响应方面也增加了滚轮缩放、点击拖拽、导出图片等功能 , 且数据实时更新速度提高至 100 ms。对比分析可以得出结论 不论是在数据可视化能力、还是实时性能方面 浏览器都优于原来的客户端软件 ; 尤其是辐射防护相关的地理信息显示方面 浏览器端的支持更为完善。

表 1 两种方案设计效果的对比分析

功能	原方案	本系统方案
便利性	访问终端 是否需要安装软件	C/S 架构, 只能 PC 端访问 不同终端需单独配置安装
地图效果	地图 缩放效果 鼠标响应事件	B/S 架构, 包括 PC 端、手机端等多终端访问 用终端自带的浏览器访问, 无需额外安装软件 百度实时地图, 有卫星图和 2D 混合图两种模式 可缩放、可拖拽移动 响应鼠标滚动缩放、点击拖拽、经过时显示监测点详细信息
折线图	类型 保存	折线图、柱状图、散点图、饼图、K 线图、地图、热力图、线图、关系图、treemap、旭日图、漏斗图、仪表盘 不可导出图片
	性能 认证授权	可导出 png 图片格式的折线图 页面数据周期刷新, 伪实时 弱授权
		实时事件驱动数据更新优于 100 ms 用户仅访问其权限对应的内容和功能

5 结语

为了提高钍基熔盐堆核能项目中辐射监测客户端软件的可视化效果和实时同步性能 本文引入 Web 端实时数据同步和可视化技术 解决了辐射监测系统的实时数据传输、更新同步和展示问题 提出一种 B/S 架构的辐射监测系统方案 将钍基熔盐堆核能项目的辐射监测作业部署到 Web 端。该系统在中国科学院上海应用物理研究所嘉定园区运行良好, 以折线图、地图、表格等形式展示了实验场所及其周围环境的辐射状态。在下一步研究工作中, 将进一步丰富和优化监测界面的可视化效果, 增加联机分析处理 (OnLine Analytical Processing, OLAP) 统计算法功能 提升系统性能。

参考文献:

- [1] 江绵恒, 徐洪杰, 戴志敏. 未来先进核裂变能——TMSR 核能系统[J]. 中国科学院院刊, 2012, 27(3): 366 - 374.
- [2] 蔡翔舟, 戴志敏, 徐洪杰. 钍基熔盐堆核能系统[J]. 物理, 2016, 45(9): 578 - 590.
- [3] 杨世江, 李晋西. Java Web 构件开发及在监测系统中的应用[J]. 计算机应用, 2004, 24(S2): 196 - 199.
- [4] 周中雨, 陈怀楚, 王映雪. Web 应用监测系统的设计与实现[J]. 计算机应用, 2004, 24(7): 85 - 86.
- [5] 贺超波, 陈启买. 基于 Web 的实时数据监测系统的研究与实践[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(3): 200 - 204.

- [6] 李洛峰, 王春红. 基于 Web 的 EPICS 数据实时监测系统的研究与实现[J]. 核电子学与探测技术, 2011, 31(7): 767 - 771.
- [7] HANKS J. Realtime display of EPICS data with HTML5 and Web-sockets[R]. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, 2016: 9.
- [8] 韩安. HTML5 WebSocket 技术研究[J]. 电子世界, 2013(20): 5 - 6.
- [9] 廖海波, 杜亮, 郑方雄, 等. WebSocket 在智能家居远程监测系统中的应用[J]. 微型机与应用, 2017, 36(7): 12 - 14, 18.
- [10] 吕海东. 基于 WebSocket 的实时 Web 监控系统[J]. 工业控制计算机, 2014, 27(6): 82 - 83.
- [11] 陆凌牛. Node.js 权威指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014: 2 - 3.
- [12] UCHIYAMA A, FURUKAWA K, HIGURASHI Y. EPICS Channel Access Using WebSocket[R]. Kolkata: Variable Energy Cyclotron Centre, 2013: 12.
- [13] HAN L F, CHEN Y Z, CAI J, et al. The application of EPICS in TMSR radiation protection and access control system[J]. Nuclear Science and Techniques, 2016, 27(2): 441.
- [14] 梁子薇, 韩利峰, 陈永忠, 等. TMSR 核能放化控制区出入控制系统软件设计[J]. 核电子学与探测技术, 2017, 37(3): 295 - 301.
- [15] 雷蕾, 徐海霞, 韩利峰, 等. Oracle 数据库在园区辐射监测系统中的应用[J]. 核电子学与探测技术, 2014, 34(9): 1114 - 1118.

(上接第 336 页)

- [6] WANG J. Closed-loop compensation method for oscillations caused by control valve stiction[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2013, 52(36): 13006 - 13019.
- [7] 周夏, 张克锋, 刘长辉. 锁渣阀在水煤浆加压气化装置上的应用[J]. 阀门, 2008, 36(1): 30 - 32.
- [8] TU S, LI M H, WANG C. Investigation of flow-induced vibration in sleeve reopening control valve[J]. Journal of Enhanced Heat Transfer, 2012, 19(6): 571 - 575.
- [9] ROH C W, KIM M S. Enhancement of heat pump performance by

- pulsation of refrigerant flow using a solenoid-driven control valve[J]. International Journal of Refrigeration, 2012, 35(6): 1547 - 1557.
- [10] 刘翔. 基于有限元法的设备法兰强度与刚度分析及工程设计软件开发[D]. 北京: 北京化工大学, 2016: 65 - 71.
- [11] 宋先知, 石宇, 李根生, 等. 基于 FLUENT 的热力射流调制与流场计算分析软件[J]. 计算机应用, 2016, 36(s1): 315 - 318.
- [12] 解福田, 林敬周, 钟俊. MDI 子窗体最佳层叠平铺算法及程序实现[J]. 计算机应用, 2014, 34(s2): 234 - 237.
- [13] 许亚峰. 先导式水压溢流阀的结构优化与仿真分析[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2016: 26 - 29.