

# S2R IP3分享

经济高效且可靠的大容量基础架构

# 问题与挑战

- 基础设施大约占据了1/3的运营成本；
- 基础设施成本很大一部分是劳动密集的维护工作，预防型为主，依然会发生故障。
- 另外未来基础设施的使用时间延长，维护可用时间减少，维护需求和成本会大幅度增长；
- 既有基础设施能力的的能力已经到极限，需要通过更全面，智能的方式管理，提升生产力；
- 为了与公路，航空，水运竞争

# IP3工作内容

- TD 3.1-增强型道岔和转辙系统演示器
- TD 3.2-下一代道岔和转辙系统演示器---2035年
- TD 3.3-优化的轨道系统
- TD 3.4-下一代轨道系统---40年后
- TD 3.5-主动桥梁和隧道评估, 维修和升级演示器
- TD 3.6-动态铁路信息管理系统 (DRIMS) 演示器
- TD 3.7-铁路综合测量与监控系统 (RIMMS) 演示器
- TD 3.8-智能资产管理策略演示器 (IAMS)
- TD 3.9-智能电源演示器
- TD 3.10-铁路分布式能源管理系统演示器的智能计量
- TD 3.11-未来车站示范

# TD 3.1-增强型道岔和转辙系统演示器

- IN2TRACK 2016-09~2019-04
- WP2, 增强型道岔和转辙, 全系统评估, 改善RAMS和LCC;
  - 故障模型和根本原型, 成本动因
  - 开发行为模型, 用于理解和优化设计, 包括机械, 电器, 软件, 控制等多种组件
  - 开发改进的组件,
  - 开发新材料以及维护, 维修的技术和方法, 减少 磨损
  - 改进道岔和转辙系统设计, 增强轮轨互相作用
  - 利用传感器进行诊断和远程监视
  - 智能开关
  - 增强道岔转辙控制实现自我维护, 提高RAMS
- IN2TRACK2 2018-11~2021-04
- 此工作组的主要目标是通过提供具有增强的RAMS, LCC, 传感和监视功能, 自我调整, N&V的新的和/或增强的S&C子系统, 支持TD3.1来提高现有S&C设计的操作性能。性能, 互操作性和模块化。
- 研究活动的目标是TRL5-6, 而在操作环境中成功的演示甚至可以触及TRL7。

# TD 3.2-下一代道岔和转辙系统演示器

- IN2TRACK2 2018-11~2021-04
- 设计和构建了组件和原型，TRL-5，评估未来道岔和转辙系统的概念；
- S-Code 2016-11~2019-10
- WP1，需求和概念---确定标准的操作参数，当前的性能，用户和技术层面的需求，评估技术和工艺，指定长期路线图
- WP2，总体架构和顶层设计：选择设计原理；创建模块化系统架构；下一代控制，监视和传感器系统的设计和集成概念，材料和组件设计；控制系统设计和集成；安装和运用关键原则
- WP3：下一代控制，监视和传感：开发数据和传感器系统，开发智能自诊断系统；自我调整/校准/恢复灯设计
- WP4，下一代的材料和组件
- WP5，下一代控制系统：执行器和机电一体化，全新开关操作，锁定组件，机电技术的应用
- WP6，集成
- WP7，评估影响和未来发展，能力提升，可靠性提升，安全隐患，建设成本和全生命周期成本

- TD 3.3-优化的轨道系统
  - 探索产品，工艺，提高轨道的可靠性，可持续性，常能，降低LCC
  - 改善轨道结构性能；关注方法，产品，流程和过程
  - 建立轨道精确结构以及维护要求
- TD 3.4-下一代轨道系统
  - 彻底改进轨道系统，目标是在比当前技术水平高出40年的时间范围内。这意味着性能的阶跃变化应高度优先。TD流程将遵循紧密集成的链条，首先要确定铁路的长期需求以及满足这些需求的潜在解决方案。
- TD 3.5-主动桥梁和隧道评估，维修和升级演示器
  - 改进线桥隧的检查方法和维修技术，以尽可能降低成本，提高质量并延长其使用寿命。此外，降低噪音和振动是优先考虑的目标。

- TD 3.6-动态铁路信息管理系统 (DRIMS) 演示器
- IN2SMART 2016-09~2019-10
  - 在为铁路数据的管理, 处理和分析定义一个创新的系统。
  - WP07 开放的标准接口, 包括获取, 集成, 融合, 转换, 分发和处理
  - WP08 数据挖掘和分析预测, 大数据, 机器学习, 流程挖掘, 退化预测和诊断
- IN2DREAMS 2017-09~2019-10
  - 数据交易的智能合约
  - 铁路数据的指示提取
- IN2SMART 2 2019-12~2022---多种DEMO
  - WP04-意大利城市地铁系统IAMS: 设计和部署
  - WP05-意大利城市地铁系统IAMS: 现场验证
  - WP06-用于铁路资产管理的数字孪生: 在法国和西班牙铁路网络中的应用
  - WP07-铁路扣件系统的异常检测
  - WP08-远程状态监控维护减少干预和决策: 设计和部署
  - WP09-远程状态监控维护减少干预和决策: 现场验证
  - WP10-铁路货运走廊莱茵-阿尔卑斯地区的SMART维护
  - WP11-公共综合资产管理
  - WP12-荷兰环境中的运营资产管理
  - WP14-瑞典重载铁路线的轨道维护决策支持工具

- TD 3.7-铁路综合测量与监控系统（RIMMS）演示器
  - IN2SMART 2016-09~2019-10
    - WP03-RIMMS卫星和无人机监控系统--卫星和无人机，无人车自动测量
    - WP04-RIMMS跟踪和切换与交叉监控---列车上集成监控系统，以道岔和转辙为例
    - WP05-RIMMS信令和电信---统一的接口
    - WP06-RIMMS操作，安装，应用，智能维护等
  - MOMIT 2019-09~2019-10
    - WP1-用户要求和技术：了解铁路资产检查和监视相关任务用户需求，分析技术，法规的最小状态，识别关键技术和评级，制定数据质量标准
    - WP2-多尺度监测方法和工具
    - WP3-自动化数据处理和后处理
    - WP4-应用案例演示
  - ASSETS4RAIL 2018-12~2021-5
    - WP06-基准和规格,S2R运行项目和当前状态，开发列车监测，轨道监测等传感器
    - WP07-火车监控解决方案，开发路边监控站，监测列车状态；RFID，视觉等技术
    - WP08-支持轨道几何的传感器系统，通过车轮相对轨道的横向位置，检车轨道几何尺寸，安装于转向架
    - WP09-从故障安全系统收集数据，数据采集和手机方法，针对车载和轨道
    - WP10-验证和演示

- TD 3.8-智能资产管理策略演示器 (IAMS)
  - IN2SMART 2016-09~2019-10
    - WP09-IAMS资产管理和决策支持‘DRIMS和IMMS方法通用的环境中，建立IAMS。包括基于风险，状况，概率的预测，与可靠性为中心，综合维护决策支持的知道原则。
    - 微服务架构，各部分独立运行，独立信息流
    - WP10-IAMS维护执行，工作方法和工具
  - IN2SMART 2019-12~2022-11
    - 项目演示

- TD 3.9-智能电源演示器

- IN2SETEMPO 2017-09~2022-08

- WP02-轨道电源的智能控制 TRL-5,基于数字控制和保护, 提高自动化程度, 系统获得更多信息, 改善轨道交通管理系统
    - WP03-50 Hz交流导轨电源的实施
      - 柔性供电等技术
    - FUNDERS 2019-12~2021-11
      - WP2-电网互动铁路供电与公共电网
      - WP3-9 kVDC铁路系统中可再生资源, 存储系统和充电基础设施的集成
      - WP4-固态变压器

- TD 3.10-铁路分布式能源管理系统演示器的智能计量

- IN2SETEMPO

- WP04-铁路系统智能计量用例
    - WP05-智能计量技术开发与实施

- IN2DREAMS

- WP2-综合通信平台,异构网络和题录资源的通用平台, 接入各种设备, 如计量设备, 传感器, 手机等, ODM平台互联支持数据传输, 存储, 处理和检索
    - 异构域
    - 基于NTP / PTP协议的板载和轨旁测量的地址同步。根据SDN参考架构, 为异构网络技术提供可扩展的控制平面解决方案。
  - WP3-传感/监控设备和数据管理平台: 实时监测系统, IIOT, 云边协同
  - WP6-用户应用程序

- TD 3.11-未来车站示范

- 在车站提供更好的客户体验。TD围绕四个已确定的关键功能需求进行组织：两个需求与提高大型站的容量和安全性有关，一个需求与小型站的设计有关，目的是减少整个生命周期的成本并在可能的情况下标准化设计，最后需求与可访问性有关。

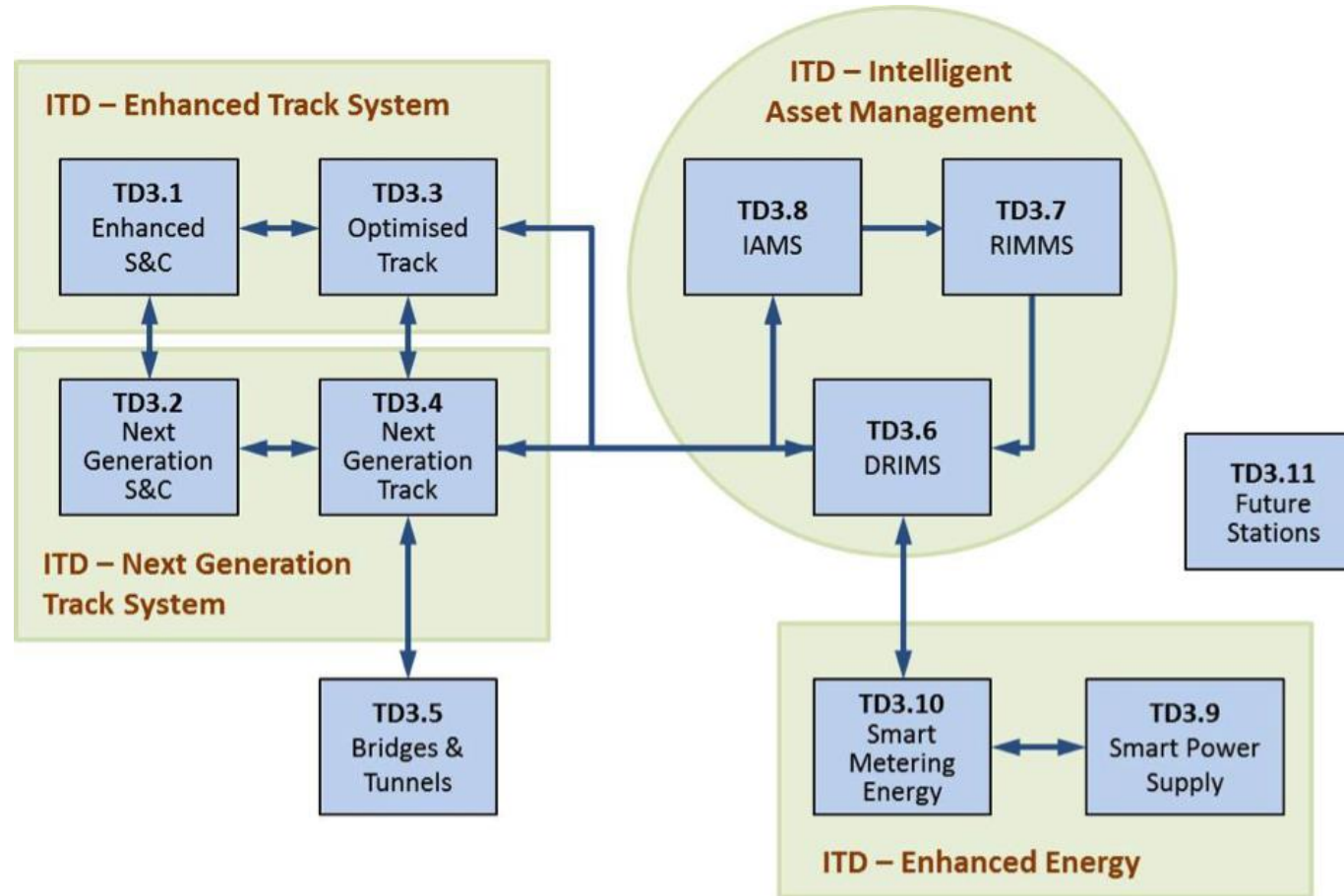
- IN2STEMPO

- WP06-高容量站点中的人群管理
    - WP07-改进的站台设计和组件
    - WP08-改善火车的可达性-平台火车界面
    - WP09-公共区域的安全管理

- FAIRSTATIONS

- WP2-用户需求和期望以及人为因素
    - WP3-车站设计和可达性的基准测试
    - WP4-人群流量分析
    - WP5-设计与概念化

# IP3的工作内容和架构



## Research into enhanced tracks, switches and structures

- 介绍影响道岔和转辙系统LCC和RAMS的关键因素，通过增强型设计，提升RAMS和LSS
- 分析故障模式，影响和危害性，确定未来研究的优先级。编制道岔转辙系统的故障模式目录
- 去顶改善标准和控制的主要领域是最小化钢轨变形，磨损和滚动疲劳引起的故障，优化轨道论困，加强监控，减少目视和手动测量的需求

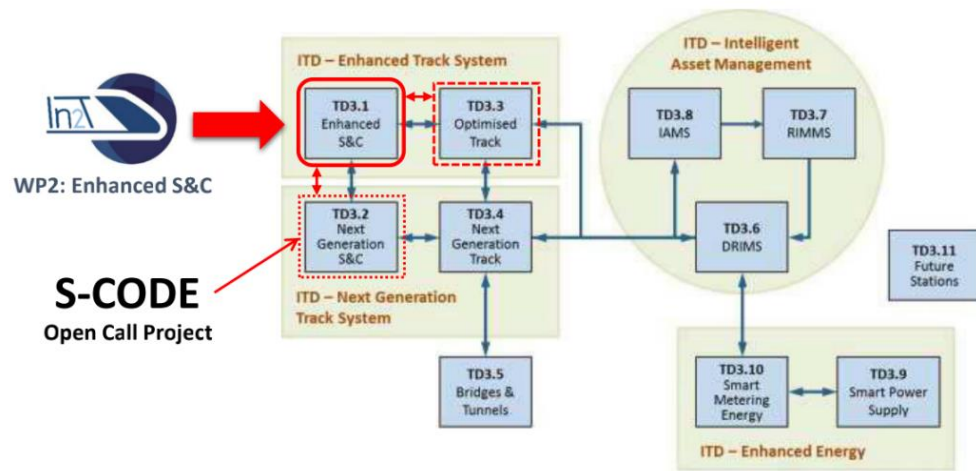
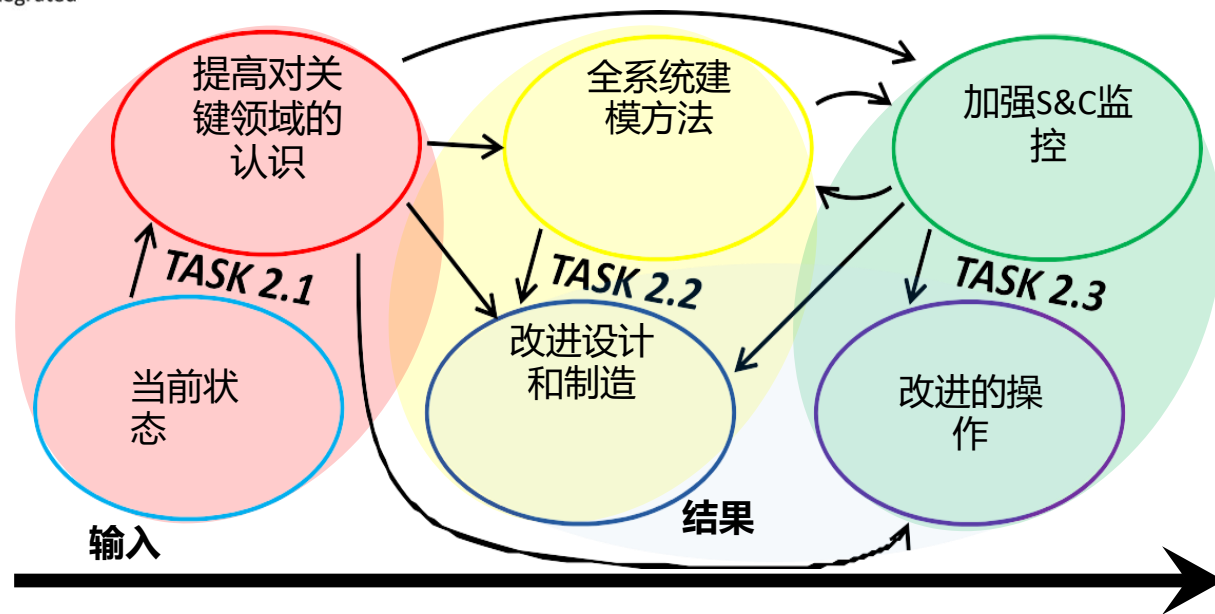


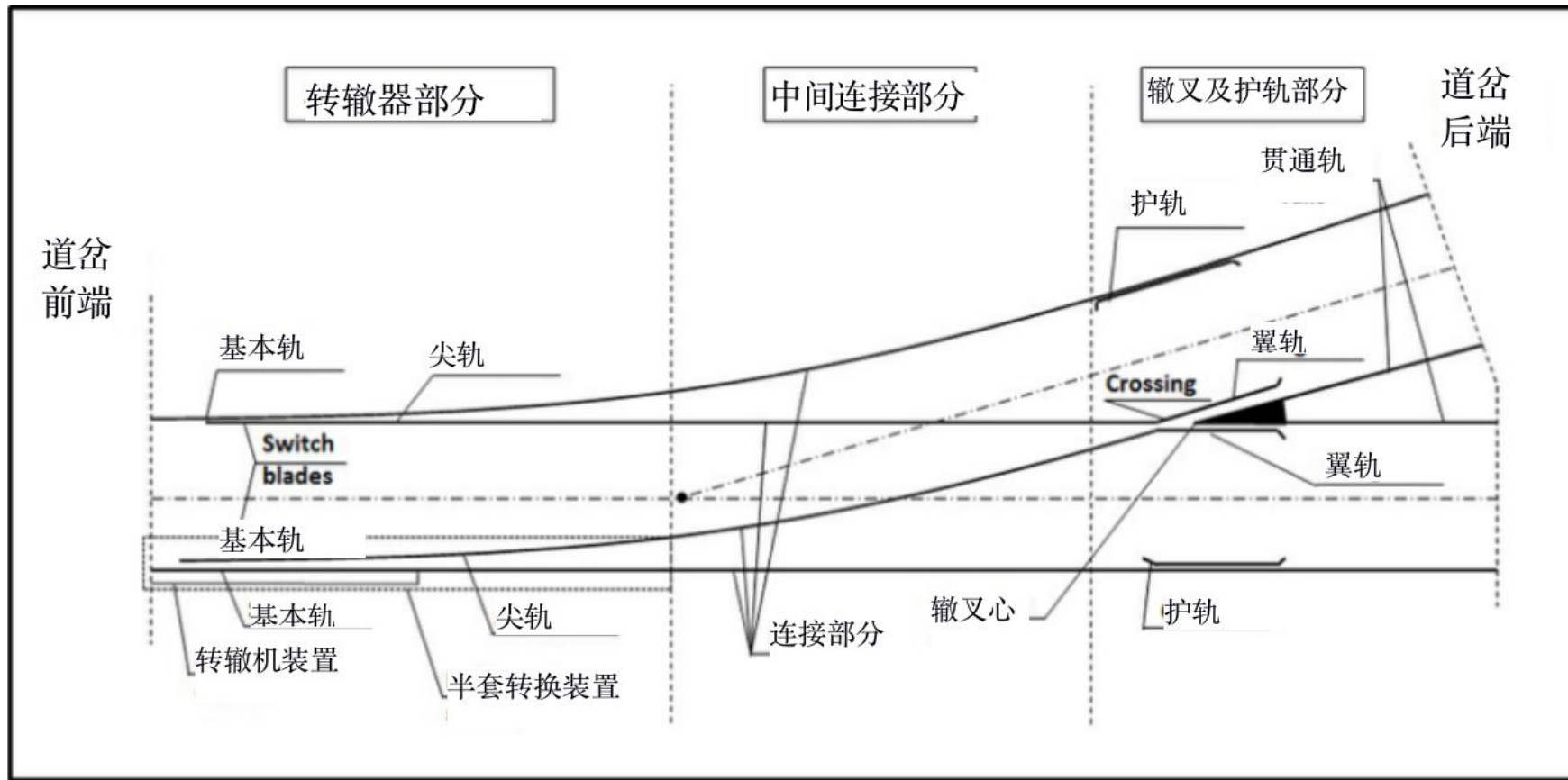
Figure 1 IN2TRACK's position within IP3 of the Shift2Rail programme, showing the Integrated Technical Demonstrators (ITDs)



# 5. 现有知识交叉映射

- 现有故障目录
  - 钢轨缺陷---来自C4R
  - 钢轨缺陷处理---UIC-712R/UIC725R
  - 滚动接触疲劳损伤---加拿大和美国报告, FRA 2011和Magel 2011
- SC FMEA框架
- 故障模式、影响和危害性分析(FMECA)(CEN, 2006)被用作识别和理解欧洲铁路网中S&C当前功能故障模式的工具

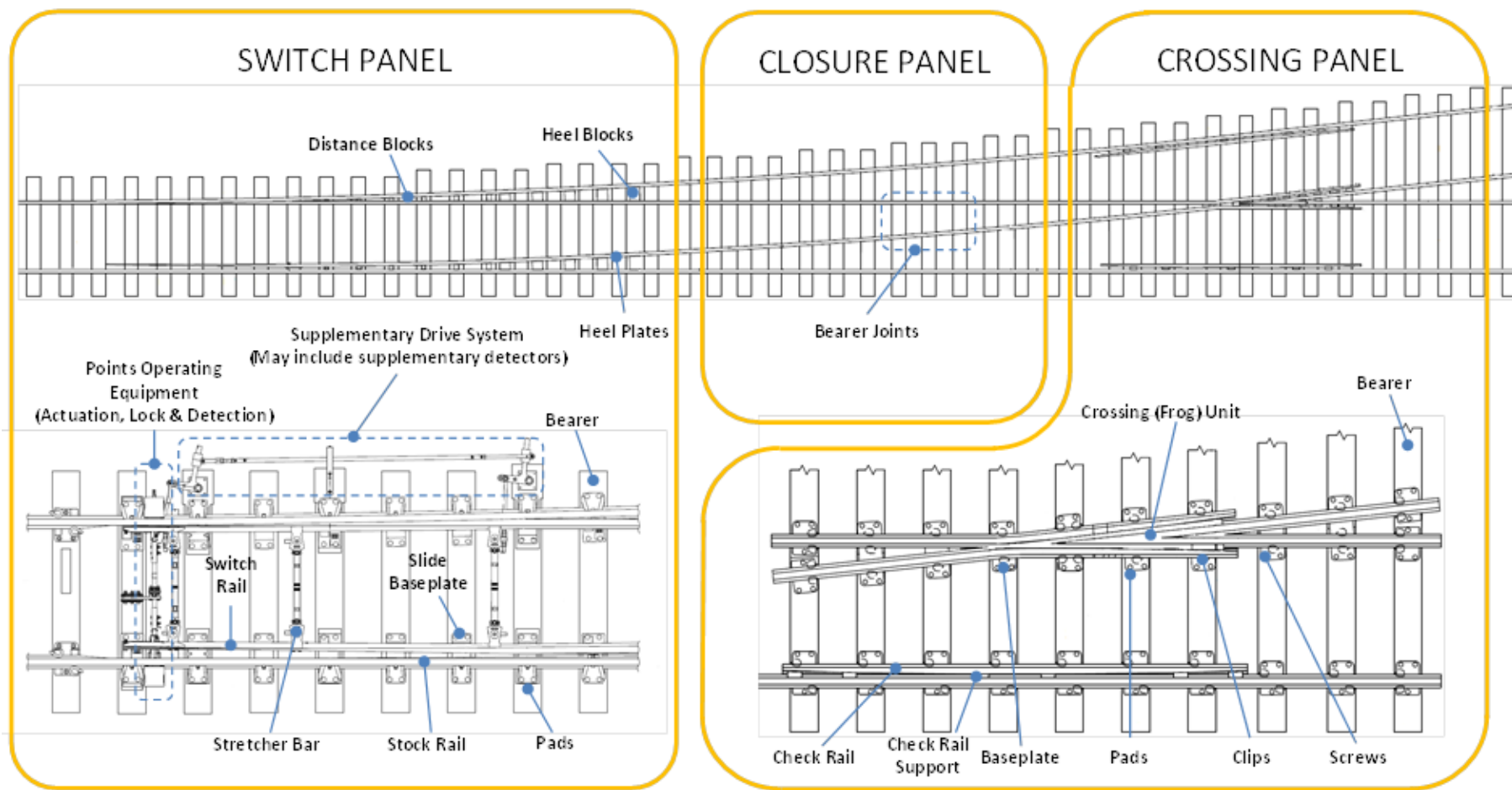
# 6.考虑钢轨等级、断面和维护的钢轨损伤分析



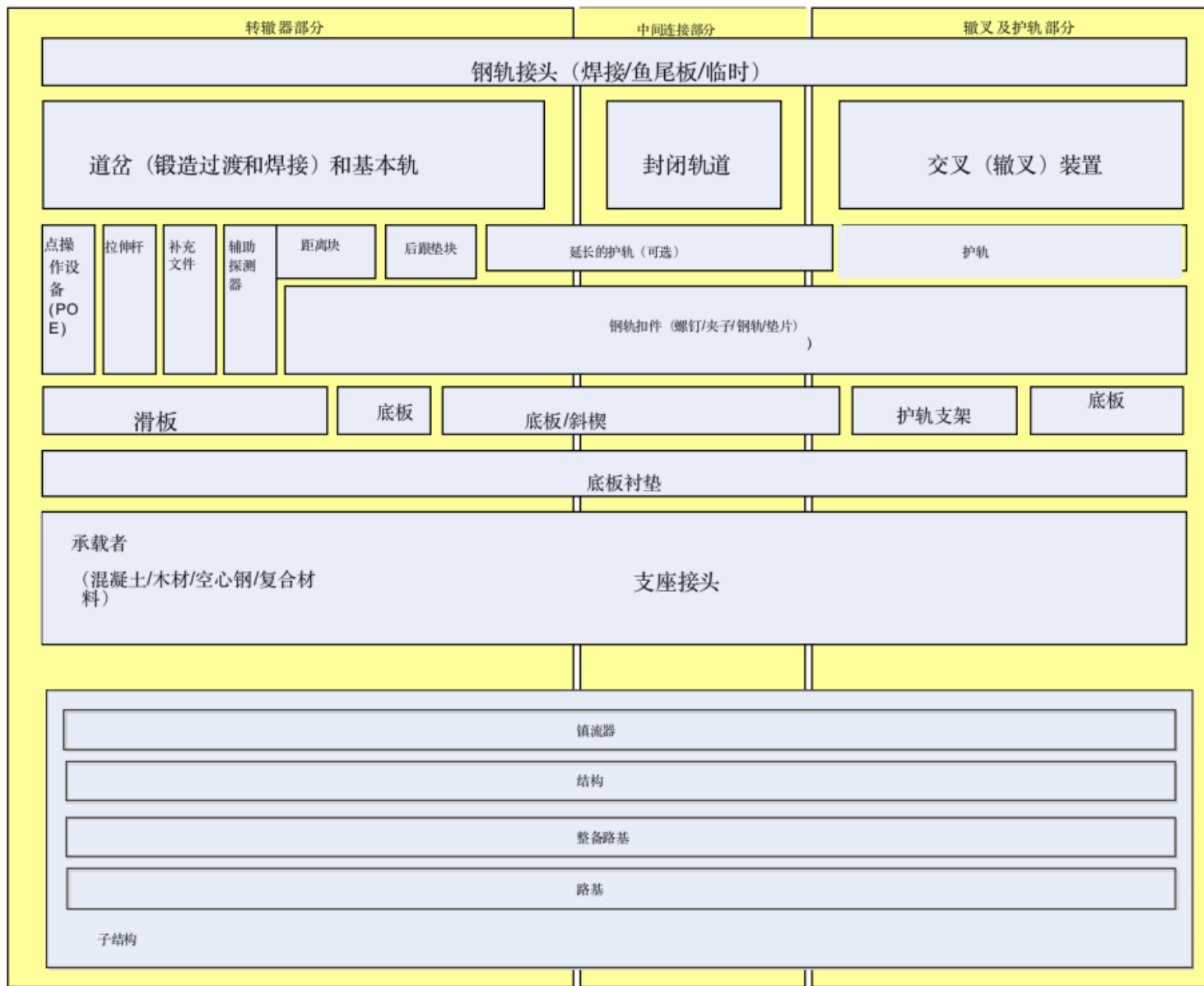
本章节主要讲材料的影响

# 7.S&C损伤FMECA分析

- 三个部分:



# SC FMEA范围



## 7.3.Failure rate analysis and predictions故障率分析和预测

- 确定一种分析方法，以根据指示故障发生的历史数据确定S&C部件的故障时间分布。这应考虑到所经历的设计、操作和维护条件。这项任务将使用NR S&C决策支持工具（DST）作为一个平台：（1）获取可用的S&C数据源进行数据分析；（2）开发方法，以确定详细的S&C部件故障率和寿命
- 使用已建立的可用寿命评估方法来预测S&C部件的剩余使用寿命：确定一种分析方法，该方法采用可用的老化参数信息（年龄、用途、条件），并将其与预期发生故障的时间（剩余使用寿命）相关联

# Analytical Methodology 分析方法学

- 用三种方法估算了s&c组件的寿命；威布尔分析、泊松过程模型和非均匀泊松过程（NHPP）模型
- 威布尔分布在设备寿命数据分析中得到了广泛的应用。该方法利用现有的完整的截尾寿命数据，建立威布尔分布的参数，使其与数据最为吻合。它的灵活性使其对可靠性工程师具有适应降低、恒定和增加危险率的能力。对所获得参数的信心取决于可用完整寿命样本的数量（Andrews&Moss, 2002）。
- 泊松分布假定故障率恒定，并根据在指定时间内发生的故障事件数确定这一点。在收集到的数据没有确定发生故障的特定轨枕或夹子的情况下，通常更容易计算轨枕和夹子等项目的故障次数
- 非均匀泊松过程有能力考虑部件的故障率越来越高，并且在维修时也没有恢复到“与新部件一样好”的状态。

### 7.3.4. Life Cycle Cost (LCC) calculation 全生命周期成本 (LCC) 计算

- 为执行LCC计算，从铁路当局输入的数据，包括维护成本、维护间隔、延迟成本等。

# 数据表格



No.	Data set	Description	Format
General data 一般数据			
1	Place of installation 安装地点	designation of line 线路名称	c
2	Stress parameters 应力参数	e.g. tonnage, speed, number of readjustments 例：吨位、速度、调整次数	n
3	System ID 系统ID	definite system identification 确定系统识别	an
4	Description of system 系统描述	construction, radius, elevation etc. 结构、半径、标高等。	an
Reliability 可靠性			
5	Date of installation 安装日期	better: date of putting into service 更好：投入使用日期	d
6	Date of failure occurrence 故障发生日期	date of occurrence or failure detection 发生或故障检测日期	d

7	Failure detection 故障检测	type of failure detection (e.g. <u>signalling system</u> , <u>inspection</u> ) 故障检测类型 (如信号系统、检查)	c/an
8	Type of failure 故障类型	according to defined failure list (dependent on operator) 根据定义的故障列表 (取决于操作员)	c/an
9	Provision 准备金	after failure occurrence according to scope of works 根据工程范围发生故障后	c/an
10	Failure cause 故障原因	e.g. material failure, malfunction, <u>maloperation</u> , <u>vandalism</u> , etc. 例：材料故障、故障、误操作、故意破坏等。	c/an
11	Remarks 评论	any additional supporting information 任何其他支持信息	an

Availability (incl. 5 and 6) 可用性 (包括5和6)

Availability (incl. 5 and 6) 可用性 (包括5和6)			
12	Date of failure report 故障报告 日期	report transfer to maintenance team 向维修组报告	d
13	Start of maintenance work 开始维护工作	for determination of technical availability 用于确定技术可用性	d
14	End of maintenance work 维护工作结束	for determination of technical availability 用于确定技术可用性	d
For LCC (incl. 5, 6, 13, 14) 对于LCC (包括5、6、13、14)			
15	Duration of maintenance 维护持续时间		n
16	Required maintenance personnel 所需维修人员		n/an
17	Required spare parts/material 所需备件/材料	according to spare part list 根据备件清单	n/an
18	Cost rate of personnel 人员成本率	in case if available 以备不时之需	n
19	Cost of spare parts/material 备件/材料成本	in case if available 以备不时之需	n
20	Operation obstacles cost 运营障碍成本	in case if available (minutes of delay, rail replacement transport etc.) 如有可能 (延迟分钟、铁路替换运输等)	n

[+]

# LCC计算数据表格

表14 LCC计算的输入数据

LCC-Input LCC输入	Value		Source 来源
GA 730841			
General Data 一般数据			
Traffic data 交通数据	20	MGT/year (Million Gross Tonnes/year) 百万吨/年 (百万总吨/年)	1
Technical Life Time 技术寿命	500	MGT (25 years) (25年)	2
Maintenance Activities 维护活动			
Failure rate 故障率	1.5	Failure/year 故障/年	1
Preventive maintenance 预防性维护	20	Maintenance actions/year 维护措施/年	1
Mean time to repair (MTTR) for corrective maintenance 纠正性维护的平均维修时间 (MTTR)	0.5	h	1
Mean time to repair (MTTR) for preventive maintenance 预防性维护的平均维修时间 (MTTR)	1	h	1
Mean Waiting Time (MWT) for corrective Maintenance 纠正性维修的平均等待时间 (MWT)	1	h	1
Mean Logistic Delay Time (MLDT) for preventive maintenance 预防性维修的平均逻辑延迟时间 (MLDT)	1	h	1
Replacement of crossing 交叉口更换	240	MGT	3

Replacement of crossing 交叉口更换	240	MGT	3
Replacement of half set of switches 更换半套道岔	160	MGT	3
Tamping interval 夯实间隔	120	MGT	3
Grinding interval 研磨间隔	80	MGT	3
Cost data 成本数据			
Investment material cost 投资材料费	-	€	
Investment installation cost 投资安装费	-	€	
Maintenance cost per activity 每项活动的维护成本	-	€	
Net present calculation 净现值计算			
Discount rate 贴现率	5	%	1
Inflation rate 通货膨胀率	2	%	
Calculation period 计算期	25	Years (See Technical Life Time)	

1) DfN/OTRACK SP2 (Leasys/ebk, 2008) 2) Literature (Zwischenberg, 2008) 3) Tafelberg et al. (2009)

+

# 奥钢联demo

Input data
Results

Calculations
Graphs

**Capital values/annuities**

Capital value for difference investment at CRI

26113 [€]

Annuities for both technologies at CRI

**EW60 Standard**

-18386 [€]

**EW60 Innovative (INNOTRACK)**

-16529 [€]

To an IRR of 17,04 [%],  
EW60 Innovative is to be preferred. From an IRR of 17,04 [%],  
EW60 Standard is preferable.

**Lifecycles**

EW60 Standard  
25 Year(s)

EW60 Innovative (INNOTRACK)  
30 Year(s)

Calculation period  
30 Year(s)

Sensitivity analysis

Years	0	1	2	3	4	5	6	7
Costs EW60 Standard [TEUR]	181,99	1,49	1,49	1,49	4,29	6,48	1,49	1,49
Costs EW60 Innovative (INNOTRACK)	192,45	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	4,29	4,17
Difference inv. [TEUR]	-10,46	0	0	0	2,8	4,99	-2,8	-2,68
AZF for ikalk=5 [%]	1	0,9524	0,907	0,8638	0,8227	0,7835	0,7462	0,7107
C for Difference inv. [TEUR]	-10,46	0	0	0	2,3	3,91	-2,09	-1,91

Rate of int [%]	0	1	2	3	4	5	6	7	8
C [TEUR]	49,61	44,98	40,01	35,08	30,42	26,11	22,22	18,74	15,65


  


**Capital value for difference investment |Ca| - |Cb|**

Capital value [€]

Rate of interest [%]

— Difference investment |A|-|B|





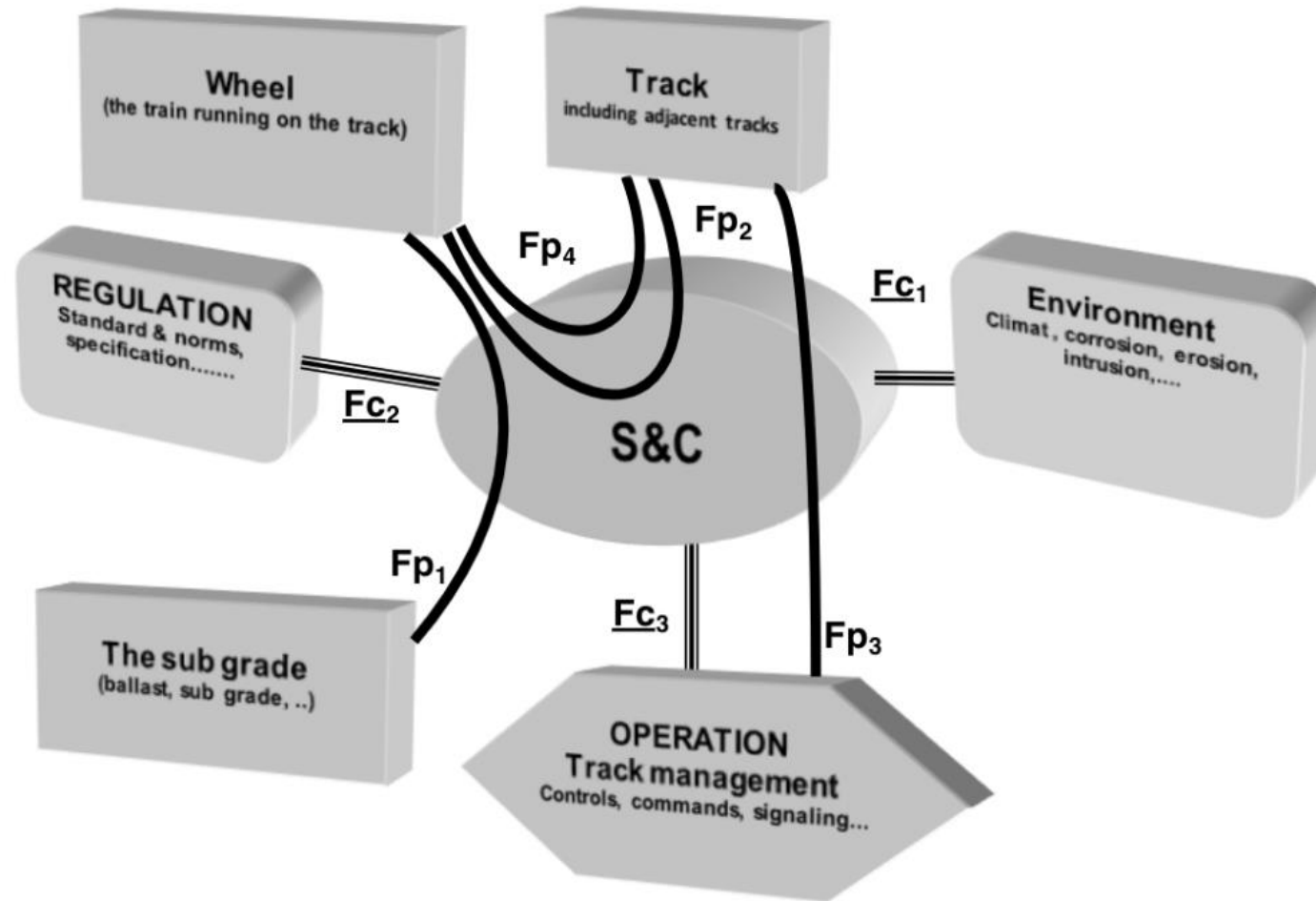
SCHIENEN GMBH

Report

Quit

Back

## 7.4.Existing failure mode controls现有故障模式控制



# 7.5.S&C FMECA

Table 23 Highest severity failure modes

表23 最高严重性故障模式

Component 组件	FM No.	Failure Mode 故障模式	Severity [Mean] 严重程度 [平均值]
Switch (forged transition and weld) and stock rails 道岔（锻造过渡和焊接）和基本轨	1A16	Rolling Contact Fatigue (RCF) through machined length of switch rail 尖轨机加工长度的滚动接触疲劳（RCF）	4.7
Stretcher bars 拉伸杆	1B1	Loose/missing bolt (fixed stretcher bar) 螺栓松动/缺失（固定拉伸杆）	4.5
Crossing (frog) unit 交叉（辙叉）装置	1A2	Debris in crossing flangeway 轮缘槽的碎屑	5.0
Stretcher bars 拉伸杆	1B3	Cracked/broken stretcher bar, bracket or gooseneck (fixed stretcher bar) 撑杆、支架或鹅颈管破裂/断裂（固定拉伸杆）	4.5
Switch (forged transition and weld) and stock rails 道岔（锻造过渡和焊接）和基本轨	1A15	Rail defect through the machined length of the switch blade 尖轨加工长度内的钢轨缺陷	4.7
Stretcher bars 拉伸杆	1B2	Loose/missing lock nuts (fixed stretcher bar) 锁紧螺母松动/缺失（固定拉伸杆）	4.5
Stretcher bars 拉伸杆	1B6	Loose/missing fastenings (tubular stretcher bar) 紧固件松动/缺失（管状拉伸杆）	4.5

Table 24 Highest criticality failure modes

表24 最高临界失效模式

Component 组件	FM No.	Failure Mode 故障模式	Criticality [Mean] 临界[平均]
Crossing (frog) unit 交叉（辙叉）装置	1A24	Deformation of crossing nose and wear of wing rail due to wheel impact/contact (Cast) 车轮碰撞/接触（铸造）造成的交叉头变形和翼轨磨损	13.0
Crossing (frog) unit 交叉（辙叉）装置	1A26	Cracks in cast crossings from defects or damage 由于缺陷或损坏导致的铸造交叉口裂纹	12.0
Switch (forged transition and weld) and stock rails 道岔（锻造过渡和焊接）和基本轨	1A16	Rolling Contact Fatigue (RCF) through machined length of switch rail 尖轨机加工长度的滚动接触疲劳（RCF）	9.7
Crossing (frog) unit 交叉（辙叉）装置	1A25	Deformation of crossing nose and wear of wing rail due to wheel impact/contact (fabricated and part fabricated) 由于车轮碰撞/接触（已制造和部分制造）造成的交叉头变形和翼轨磨损	9.3
Switch (forged transition and weld) and stock rails 道岔（锻造过渡和焊接）和基本轨	1A19	Stock rail and switch rail both <u>sideworn</u> 基本轨和尖轨均偏磨	8.7
Crossing (frog) unit 交叉（辙叉）装置	1A27	<u>Tri-metal weld defect</u> 三金属焊接缺陷	8.7
Stretcher bars 拉伸杆	1B1	Loose/missing bolt (fixed stretcher bar) 螺栓松动/缺失（固定拉伸杆）	8.5
Crossing (frog) unit 交叉（辙叉）装置	1A29	Cast crossing defects due to squats, <u>wheelburns</u> , batter, flaking/shelling, metal breaking out of wheel transfer area 由于车轮转移区域的凹陷、车轮烧伤、倾斜、剥	8.5

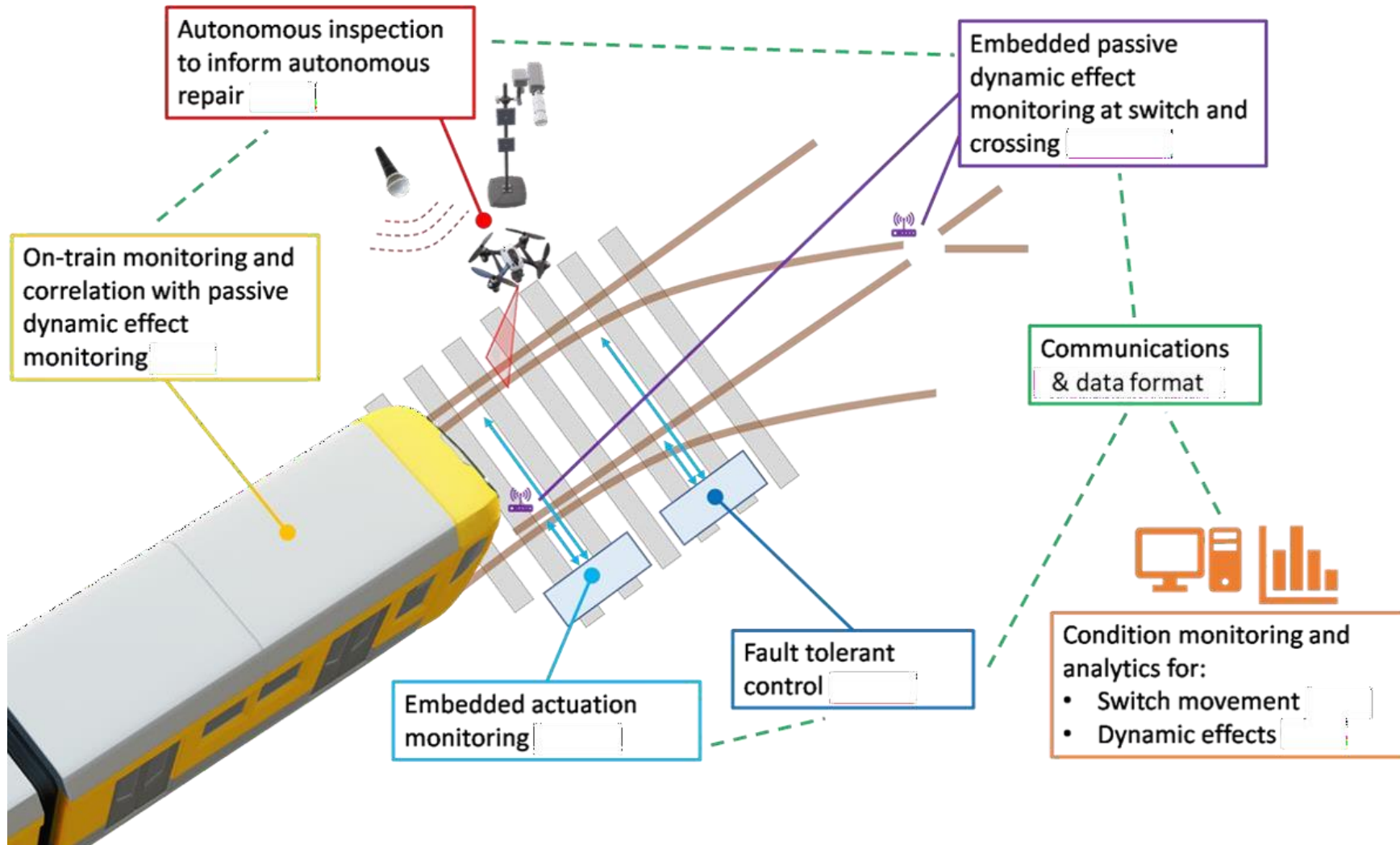
# D3.1 Report – Next generation control: monitoring and sensor systems

- (i) S&C运行期间的控制和状态监测(ii) 在车辆通过期间监控S&C和配套基础设施; 以及 (iii) 自主检查系统。
- 设计了用于点转辙机设备的闭环控制系统, 并将其应用于全道岔模型, 以评估性能。容错控制机制的设计可以克服单个传感器的故障或补偿整个S&C性能的变化。基于模型的状态监测方法与基于规则的解决方案一起被原型化, 形成了基于智能系统的状态监测解决方案的核心。
- 机器学习已被用于识别通过S&C的特定车辆或车辆类型。
- 有限元分析已用于考虑S&C内的力和运动, 以便优化指定监控策略、传感器组和特定传感器性能。还有声学, 激光, 加速度计, 图像, 红外等多种手段
- (i) 开发传感器系统和处理, 以消除手动检查和维护的需要, (ii) 开发智能自诊断系统, 开发容错控制系统。
  - 第一个主题被称为“驱动监测和控制”, 它考虑了道岔从正常路线过渡到分流路线时的操作,
  - 第二个主题被称为“下部结构和动态冲击监测”,
  - 最后一个主题被称为“自主检查和维修”, 消除人类操作员参与检查和维修活动的需要

- 5个 workflows

- Autonomous inspection to inform autonomous repair using lasers, video, acoustics, and other NDT techniques. 使用激光、视频、声学和其他无损检测技术进行自主检查，以通知自主维修。
- Embedded passive dynamic effect monitoring using accelerometers and other relevant sensors and intelligent processing algorithms. 利用加速度计等相关传感器和智能处理算法进行嵌入式被动动态效果监测。
- On-train monitoring and correlating the resulting data with the infrastructure based dynamic effects monitoring. 列车监控，并将结果数据与基于基础设施的动态效果监控相关联。
- Embedded monitoring of the actuation system. 驱动系统的嵌入式监控。
- Fault tolerant control of the S&C. 测控系统的容错控制。

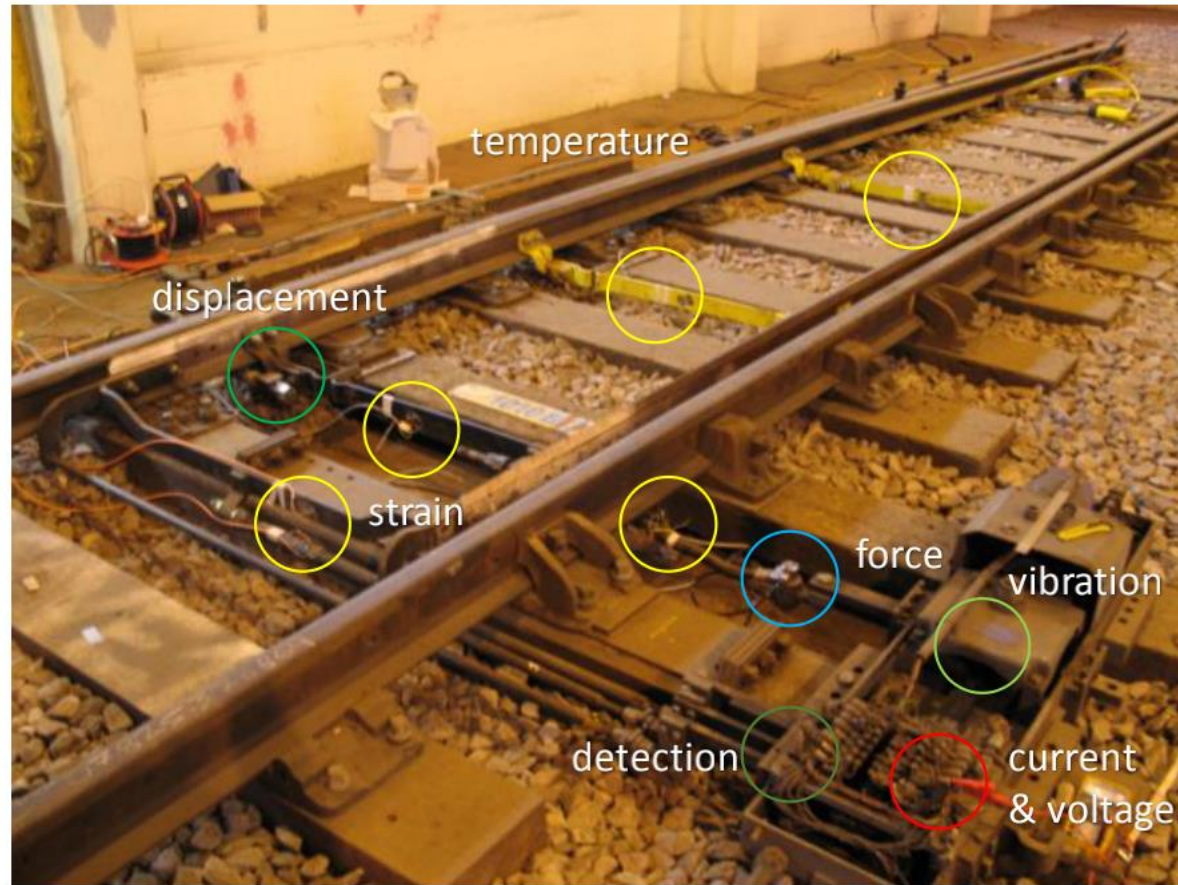
# workflows



### 3.Objectives 目标

- O3.1 Development and integration of data and sensor systems to support the elimination of manual inspection and maintenance interventions. O3.1开发和集成数据和传感器系统，以支持消除手动检查和维护干预。
  - 根据常规s&c传感器的基本评估来考虑的
  - 还考虑了状态监测方法，同时考虑了基于规则和基于模型的方法
  - 通过对新型传感技术的研究，以及利用模拟和建模来确定测量的关键位置和传感器所需的性能，
- O3.2 Development and integration of intelligent self-diagnostic systems capable of monitoring the current state-of-health (and future states) which take account of the environment and external factors. O3.2开发和集成智能自诊断系统，能够监测健康的当前状态（和未来状态），并考虑环境和外部因素。
  - 侧重于智能诊断系统，选择在与s&c及其支撑子结构相关的动态效应背景下考虑这些系统，
- O3.3 Design of fault-tolerant control systems that support self-adjustment, self-correction, self-repair and self-healing. 设计支持自调整、自校正、自修复和自修复的容错控制系统。
  - 考虑新型s&c的控制系统，特别是什么样的传感和监测适合支持选定的控制制度和容错控制方法。

## 4.2. Overview of Sensors Used for Railway Systems Monitoring and Control 铁路系统监控用传感器综述

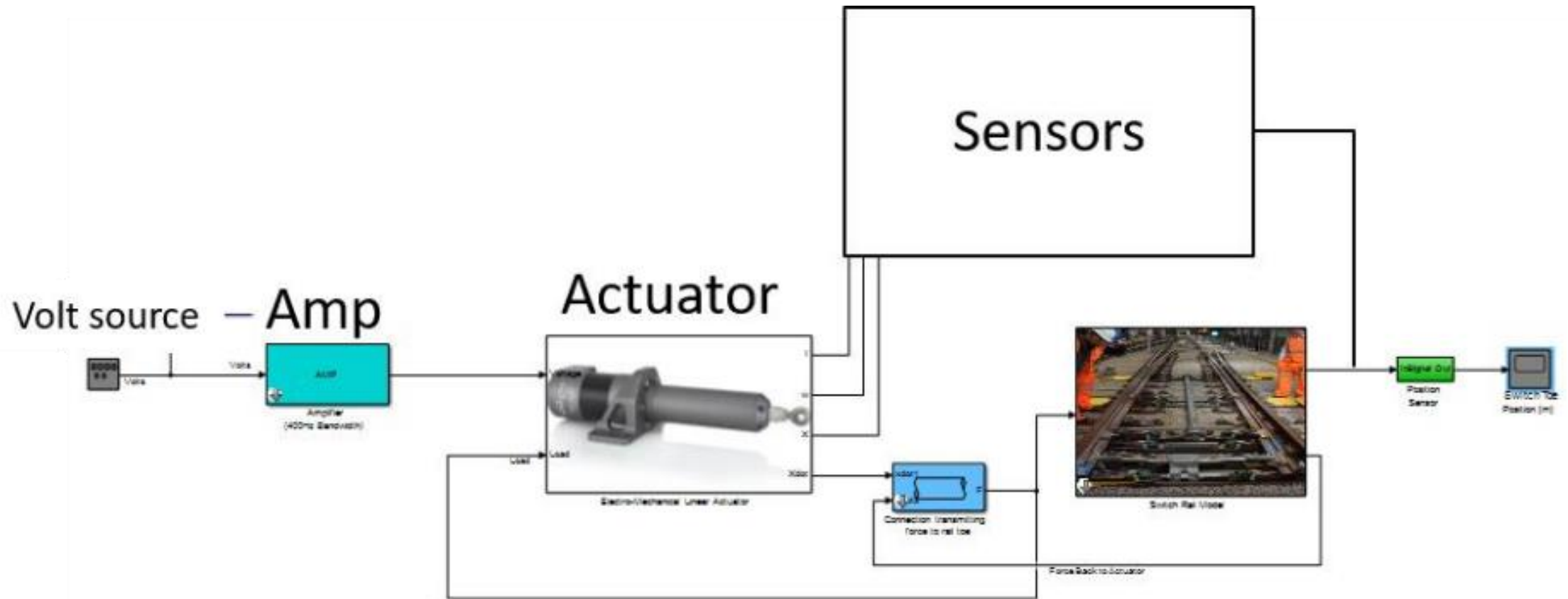


# 基础技术介绍

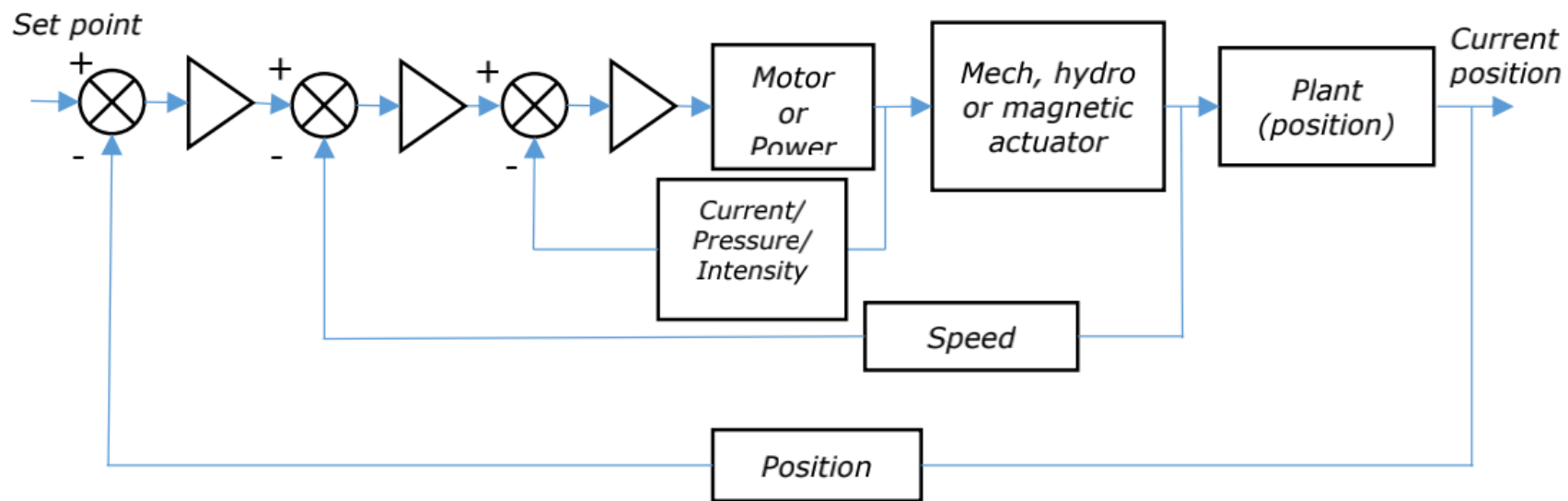
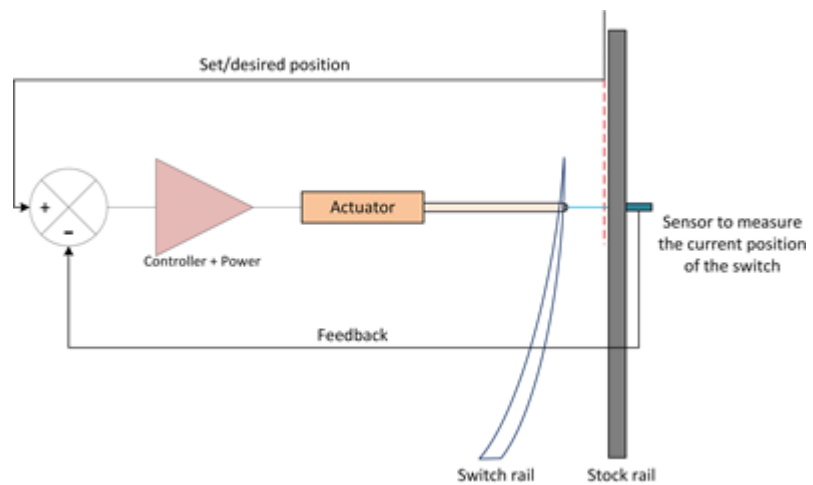
- 4.2.2.1.Current Sensors 电流传感器
  - 霍尔, 采样电阻, 互感器
- 4.2.2.2.Voltage Sensors 电压传感器
- 4.2.2.3.Electrical Performance 电气性能
- 4.2.3.Measurement of Thermal Parameters and Environmental Effects 热参数和环境影响的测量
  - 热电偶
  - Moisture Sensors 湿度传感器
- 4.2.4.Measurement of Force 力的测量
  - 应变和载荷传感器, 路基压力传感器, 测力计,
- 4.2.5.Measurement of Position And Displacement 位置和距离测量
  - 距离传感器
- 4.2.6.Measurement of Vibration 振动测量
  - 加速计
- 地震传感器
- 声音测量
- 光学测量
  - 红外, 光学相机, 轮廓激光器, 光学磨损测量
- 列车速度测量

## 4.3.Track Switch Control Systems 道岔控制系统

- C-Type道岔控制模型
  - 反馈为：电流，速度和电机转子位置



# 开环和闭环控制



## 4.4.Fault Detection and Identification (FDI) 故障检测与识别 (FDI)

### • 常见故障

- 1)Dry slide chairs (21.1%) 滑床板缺油 (21.1%)
- 2)Fittings (10.5%) 配件 (10.5%)
- 3)Obstructions (10.1%) 夹异物 (10.1%)
- 4)Stretchers/drives (6.1%) 驱动器 (6.1%)
- 5)Lock out of adjustment (5.9%) 锁闭 (5.9%)

- 数据来自：1994年1月1日至1998年12月21日期间的数据，从英格兰东南部一段13英里（21公里）长的轨道上确定了S&Cs中的运行故障，该轨道上有170组点（即道岔），由63组转辙机驱动。

## 4.4.2.Fundamentals of FDI FDI基本原理

- Fault故障：系统的至少一个特性或参数与可接受/通常/标准条件的存在偏差。
- Failure失效：系统在特定操作条件下执行所需功能的能力的永久中断。因此，failure比fault更严重。
- 故障检测和诊断的方法应符合下列要求：
  - Early detection of small faults in the actuator and sensors 执行器和传感器小故障的早期检测
  - Diagnosis of faults in the actuator, key components, or sensors, with minimal false alarms 执行机构、关键部件或传感器的故障诊断，错误警报最少
  - Detection of faults in closed loops 闭环故障检测
  - Supervision of processes in transient states 瞬态过程的监督

## 4.4.2.2. Model-based FDI 基于模型的 FDI

- 早期阶段识别由故障引起的过程变化
- 可以估计无法测量的参数，如过程状态变量和参数。
- 两个阶段：
  - 1) Residual (error) calculation 残差（误差）计算
  - 2) Evaluation 评价
- 三个重要方法：
  - Parameter estimation approach 参数估计法
    - 系统中的故障可以表现为模型参数的变化
    - 应该知道控制系统过程行为的物理规律
  - Observer-based approach 基于观测器的方法
    - 假设系统的结构和参数已知
    - Parity space approach 奇偶空间法
    - 奇偶方程是通过使用实验测量的输出修改系统方程来定义的[4,5]。从奇偶方程的残差中，可以检测出故障。

## 4.4.3. Fault Tolerance 容错

Table 3: List of components, their faults, and fault-tolerant strategies

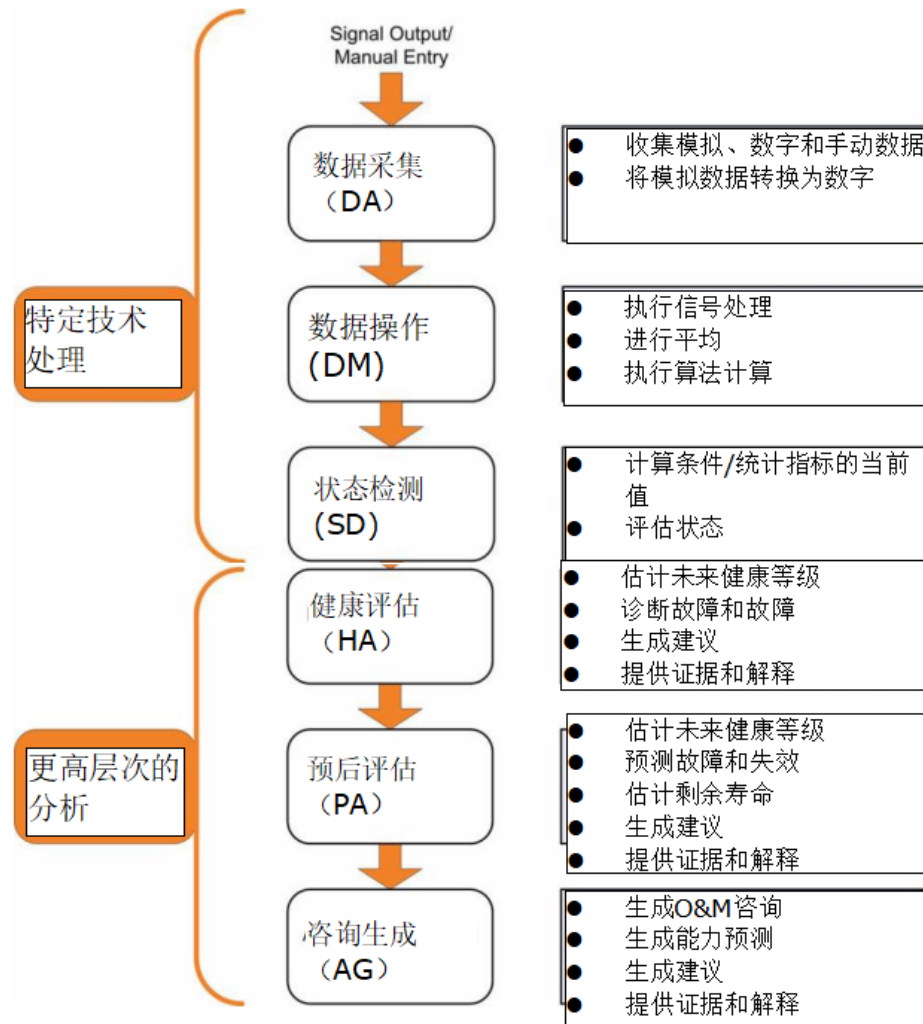
表3: 组件列表、它们的故障和容错策略

Element 组件	Probable faults 可能的故障	Possible fault-tolerant strategies 可能的容错策略
Controller 控制器	Failure 故障	<ul style="list-style-type: none"><li>● Multiple redundant modules with majority voting 具有多数表决的多个冗余模块</li><li>● Dynamic redundancy 动态冗余</li></ul>
Power 电源	Failure 故障	<ul style="list-style-type: none"><li>● Multiple redundant modules with majority voting 具有多数表决的多个冗余模块</li><li>● Dynamic redundancy 动态冗余</li></ul>
Actuator 执行机构	Drift 漂移 Failure 故障 Lock-up 锁定	<ul style="list-style-type: none"><li>● Adaptive control 自适应控制</li><li>● Multiple redundant modules with majority voting 具有多数表决的多个冗余模块</li><li>● Dynamic redundancy 动态冗余</li></ul>
Sensor 传感器	Bias 偏倚 Drift 漂移 Failure/Freeze 故障/冻结	<ul style="list-style-type: none"><li>● Analytical redundancy 分析冗余</li><li>● Multiple redundant modules with majority voting 具有多数表决的多个冗余模块</li><li>● Dynamic redundancy 动态冗余</li></ul>
Plant (switch) 设备 (道岔)	Increase in friction 摩擦增加	Handled by robust control design 由鲁棒控制设计处理

#### 4.4.4. Proposed Fault Detection, Identification, and Accommodation (FDIA) Scheme 建议的故障检测、识别和调节 (FDIA) 方案

- 单点故障, 容错解决
  - 1) Controller 控制器
  - 2) Power system 电力系统
  - 3) Actuator 执行机构
  - 4) Sensor 传感器

## 4.5.1.基于规则的故障检测/状态监控



## 4.5.2. Model-based Condition Monitoring 基于模型的状态监测

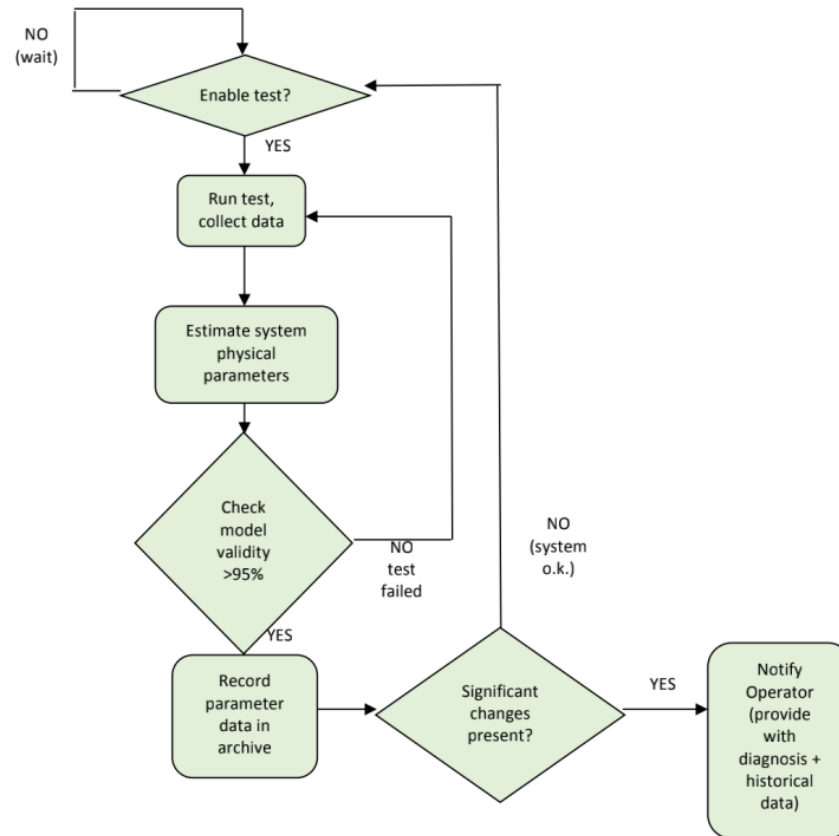


Figure 26: Flowchart describing the monitoring of parameter changes within a system

图26: 描述系统内参数变化监控的流程图

## 5.Substructure and Dynamic Impact Monitoring 下部结构和动态冲击监测

- 主题考虑了道岔操作期间S&C的性能和健康状况。它考虑了车辆和S&C之间相互作用的重大动态效应，以及S&C在此类事件中的行为如何指示支撑下部结构的状况。
- 介绍包括传感器选择和仪器设计工作，特别侧重于所需的测量。
- 考虑了机器学习算法在基于模式的分类器中的使用，以及如何将它们用于健康分析。

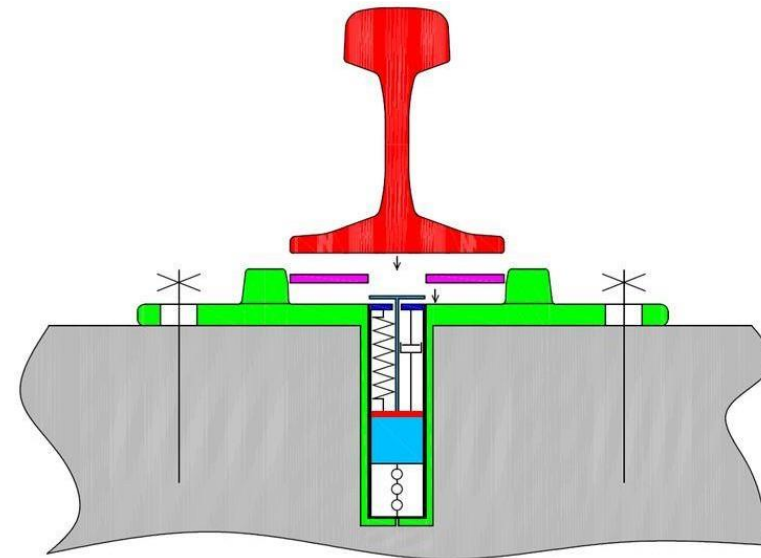
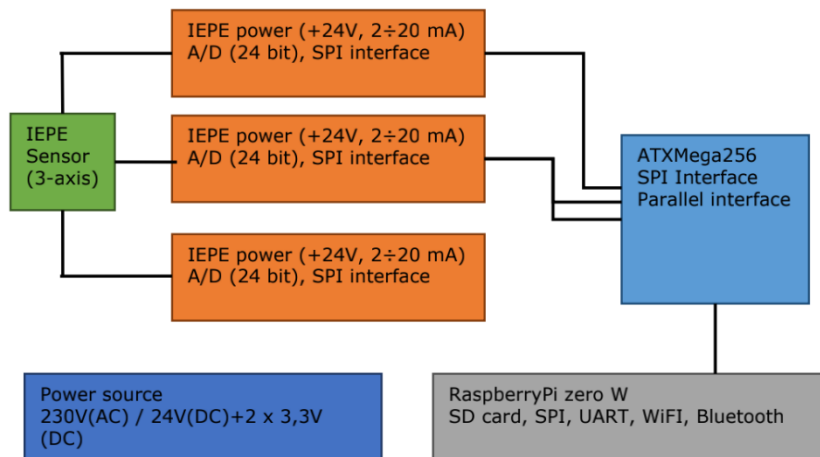
## 5.2.Measurement of the Dynamic Loads in S&C S&C中动载荷的测量

- 5.2.1.The Mechanism of Wheel Transition from Wing Rail to Crossing Nose 车轮从翼轨过渡到十字头的机理，主要是轨面形状的改变以及车轮从轨面的运动过程
- 5.2.2.Optimisation of the Transition Geometry 过渡几何优化
- 5.2.3.The Stiffness of the S&C Supporting Construction 钢支撑结构的刚度
- 5.2.4.Quality of the Support 支撑质量
- 5.2.5.Theoretical Analysis of the Problem 问题的理论分析

## 5.3. Analysis System for Dynamic Effects Analysis 动态效应分析系统

- 总结：基于列车的重量和速度，评估对基础设施的影响
- 目的：
  - Dynamic effects substantially reduce the lifetime of the S&C construction and all its components. 动态效应大大缩短了S&C结构及其所有组件的使用寿命。
  - To capture early defects in transition geometry and minimize the impact of dynamic effects on the development of defects. 捕捉过渡几何中的早期缺陷，并将动态效应对缺陷发展的影响降至最低。
  - The system should help with maintenance planning. 系统应该有助于维护计划。
  - The system should also generate maintenance recommendations (increasing wear or degrading structure support, etc.). 系统还应生成维护建议（增加磨损或降低结构支撑等）。
  - Evaluation of the dynamic effects of individual trains and specific vehicle types. 单个列车和特定车辆类型的动态效应评估。
- 以及未来：
  - Categorise as well as identify the presence of defects. 对缺陷进行分类和识别。
  - Calculate track parameters such as stiffness. 计算轨道参数，如刚度。
  - Advise manufacturers about component use and wear rates. 向制造商提供有关部件使用和磨损率的建议。
  - Support the design of new components with reduced dynamic effects. 支持新组件的设计，减少动态效果。

- 5.4.1. Embedded Sensors and Sensor Mountings 嵌入式传感器和传感器安装件
  - 加速度传感器
- 5.5. Hardware for Measurement of Dynamic Effects 动态效应测量硬件
- 5.6. Sensors to Support Novel Actuation and Self-Healing Processes 支持新型驱动和自愈过程的传感器



## 5.7.Vehicle Based Monitoring of S&C 基于车辆的S&C监控

- 5.7.1.SENECA Measurement Train SENECA测量列车
  - 诊断和几何尺寸测量
  - 线桥隧，曲线，温度异常地区，
  - 车上多种加速度传感器：转向架，轴箱，车体横向和垂直加速度
- 5.7.2.Vehicle Based Monitoring 基于车辆的监控
  - 光学，测定轨道几何尺寸
  - 加速度计，轨道莫村以及道砟，下部结构，描述运行安全性，运行舒适性，轨道负载

## 6. Autonomous Inspection and Repair 自主检修

- 第一个主题涉及到传感器的适当选择以及在s&c中为其嵌入位置的识别
  - 数值计算机模拟用于确定关键监测点和范围，以便可以选择适当的传感器，并且可以考虑任何额外传感器的成本/复杂性/效益。使用这种方法确定的位置，然后在实际测试中检测，以验证选择过程。
- 第二个主题是s&c的声学监测和检查。
  - 扩展了对声学传感的讨论，以提供对声学技术的使用，特别是处理的实际调查。声学检查与基于“传统”振动的测量一起进行
- 第三个主题考虑了另一个非常规的检测技术，
  - 基于激光的检查被认为是用于道岔几何和磨损评估。

# 6.2. Identification of Key Measurements and Locations 关键测量和位置的识别

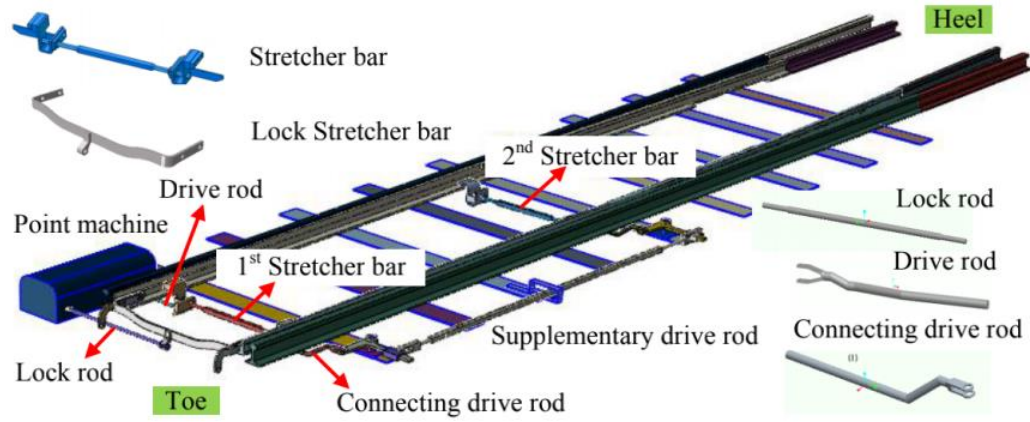


Figure 160: Three-dimensional switch model [70]  
图160: 三维道岔模型[70]

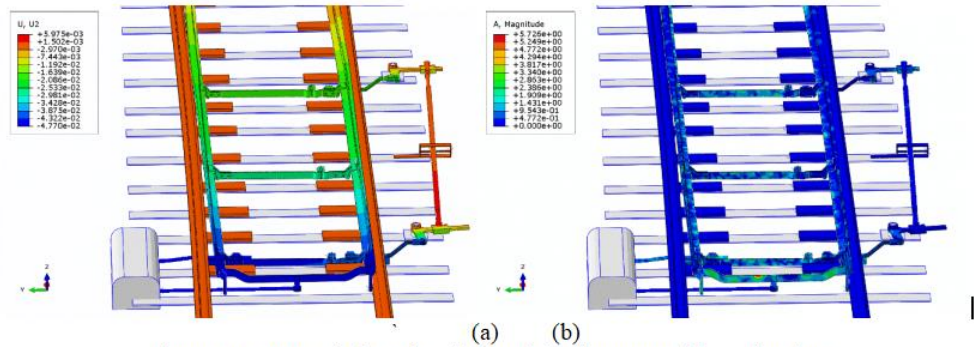


Figure 161: Numerical results: (a) lateral displacement; (b) acceleration  
图161: 数值结果(a) 侧向位移(b) 加速度

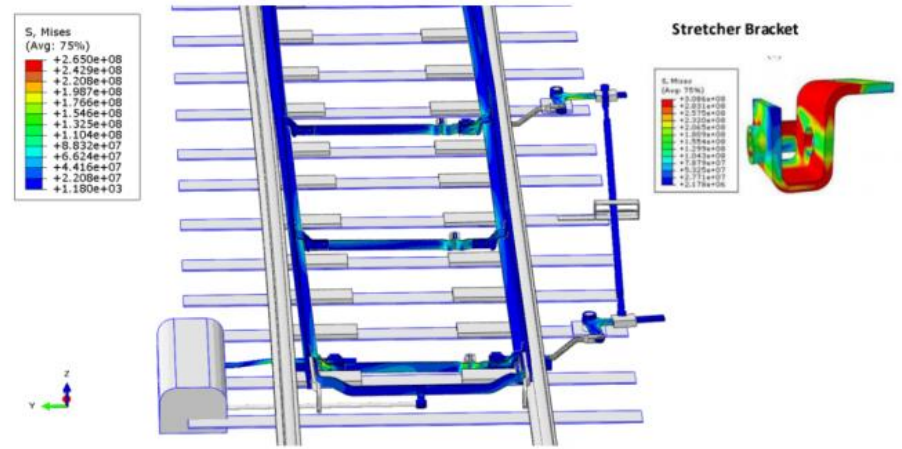


Figure 162: Stress distribution  
图162: 应力分布

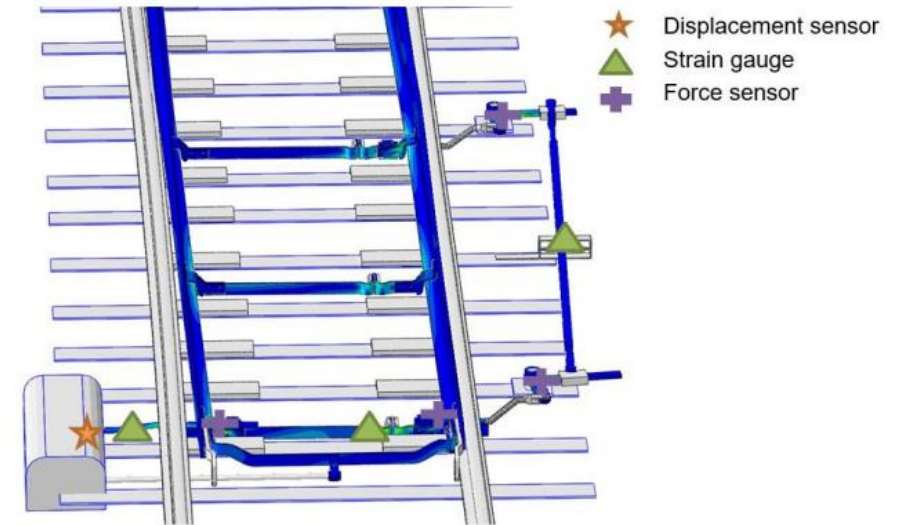


Figure 163: Suggested sensor locations and sensor types  
图163: 建议的传感器位置和传感器类型

### 6.3. Acoustic Inspection and Monitoring of S&C S&C的声学检测与监测

- 声学监测可用于监测或检查S&C，无需任何物理接触。因此，声学检测系统可以被带到现场，并在干扰最小的情况下部署。
- 由机器部件的动态特性产生的。监测声音的变化可用于监测机器的状况，
- 直接耦合的缺乏使得声音信号更容易受到环境噪声的影响。
- 声音监测目前主要用于轴承故障检测。它还用于评估与轮轨接口有关的噪声污染

## 6.3. Acoustic Inspection and Monitoring of S&C S&C的声学检测与监测

- 用于检测：
  - Point machine movements 转辙机运动
  - Wheel-flats of the passing vehicle 过往车辆的车轮平面
  - Crossing-flange conflict 交叉轮缘槽冲突
  - Impacts at the toe 底部处的撞击
- 使用麦克风阵列。但是，阵列必须针对所考虑的特定问题进行设计。
- 6.3.5. Test Plan 测试计划
  - 该阵列有128个MEMS麦克风，能够将离目标噪声降低40 dB。阵列安装在距离资产（如轨道、转辙机和交叉机头）约5米的地方。

## 6.3.8.Results 结果

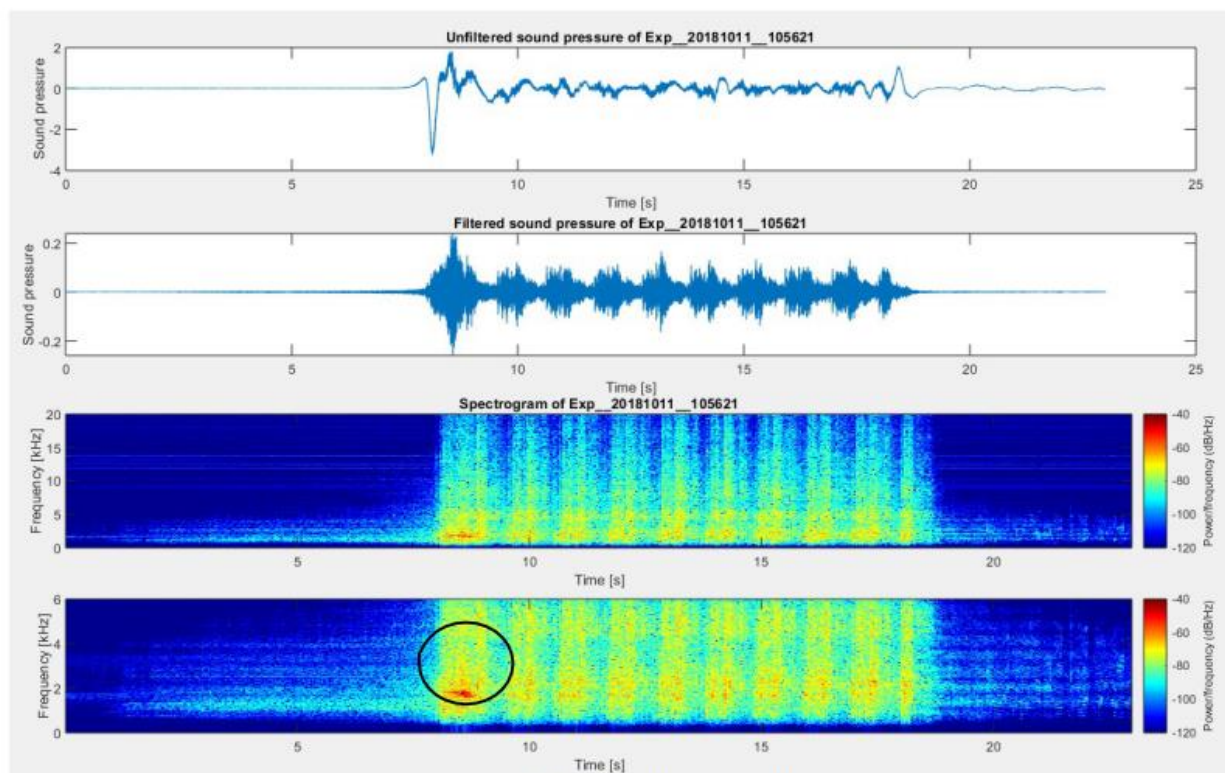


Figure 226: Possible wheel flat  
图226: 可能的车轮扁平

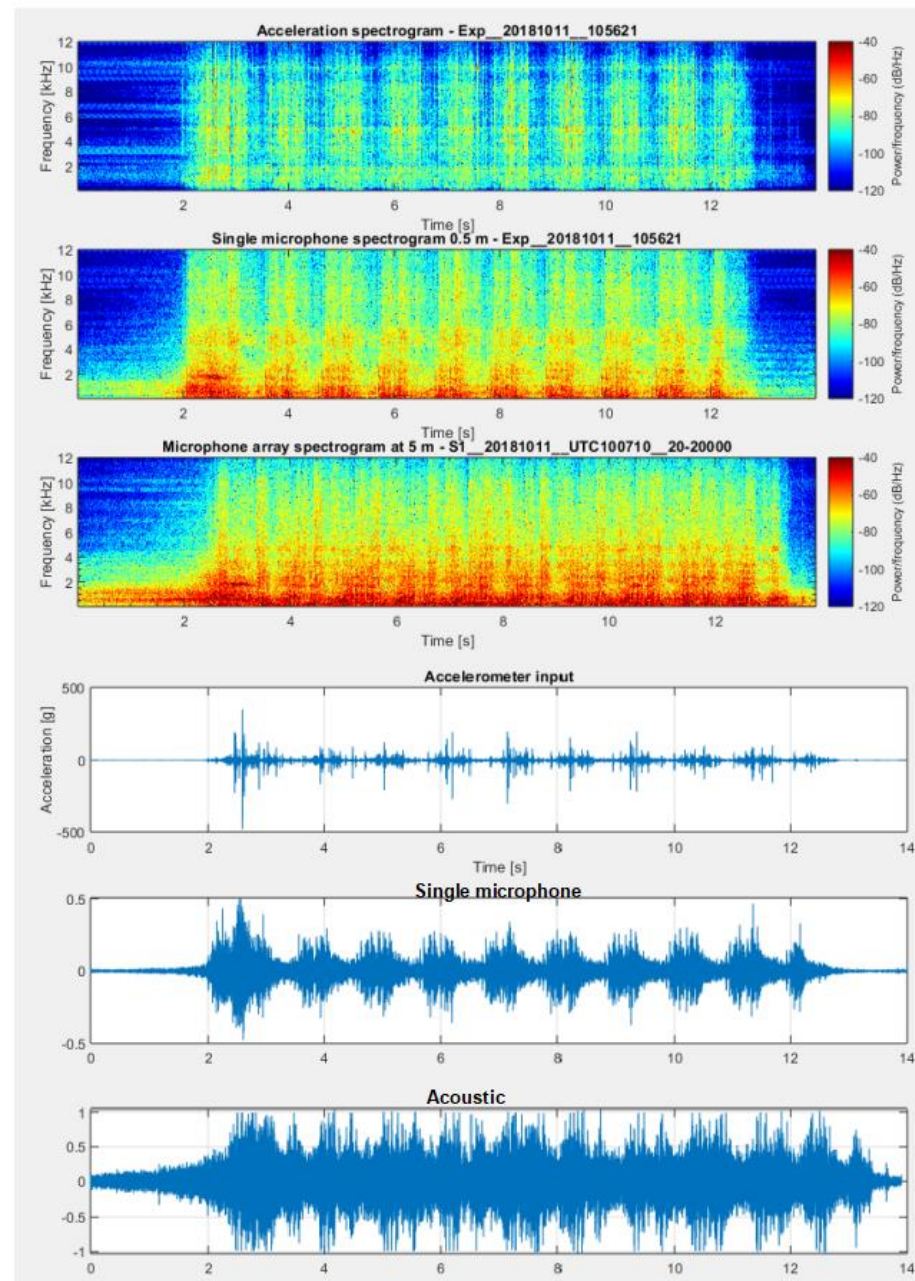


Figure 227: Defective train - all sensors  
图227: 故障列车-所有传感器

# 6.3.8.1. Switch Movement 道岔动作

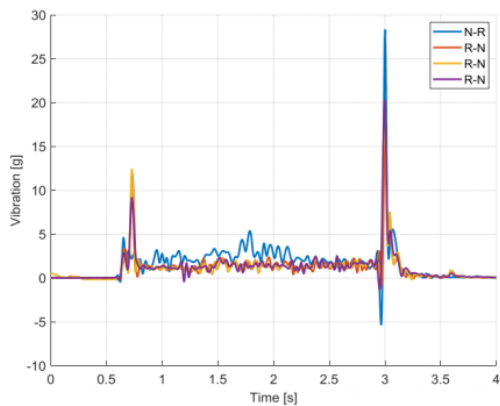


Figure 228: Vibration recorded from the point machine in scenario 1  
图228: 场景1中转辙机记录的振动

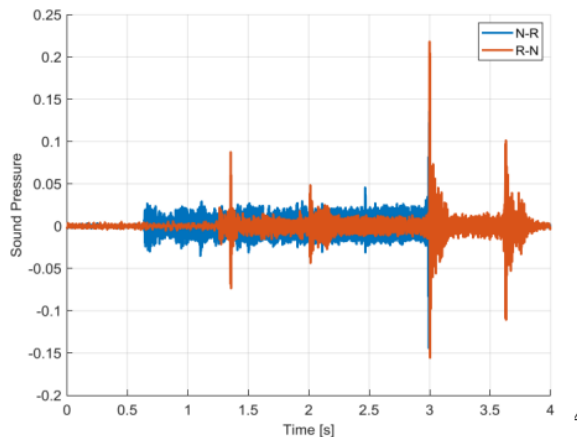


Figure 230: Acoustic signal, R-N vs N-R  
图230: 声信号, R-N vs N-R

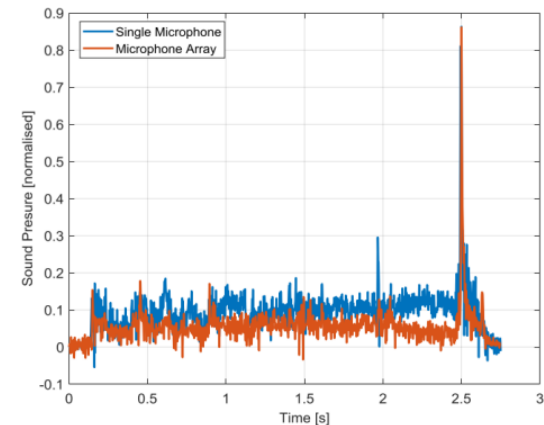


Figure 233: Comparison between the single microphone signal and the array recordings  
图233: 单麦克风信号和阵列录音之间的比较

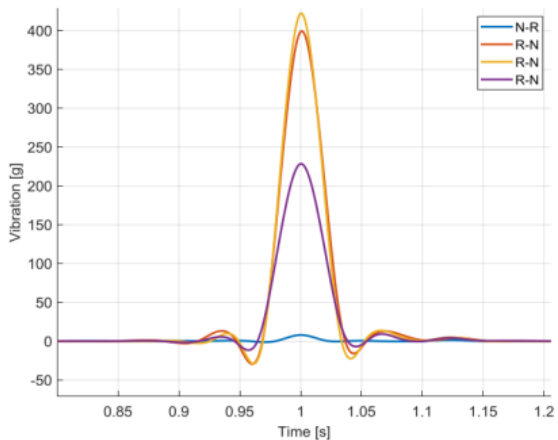


Figure 229: The impact on the rail caused by R-N and N-R operation

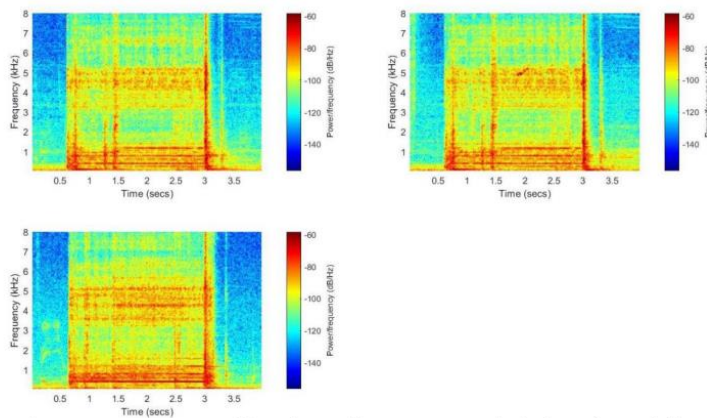


Figure 232: Spectrogram of the point machine movements; (top) site 2, (bottom) site 1  
图232: 转辙机运动的频谱图(顶部) 站点2, (底部) 站点1

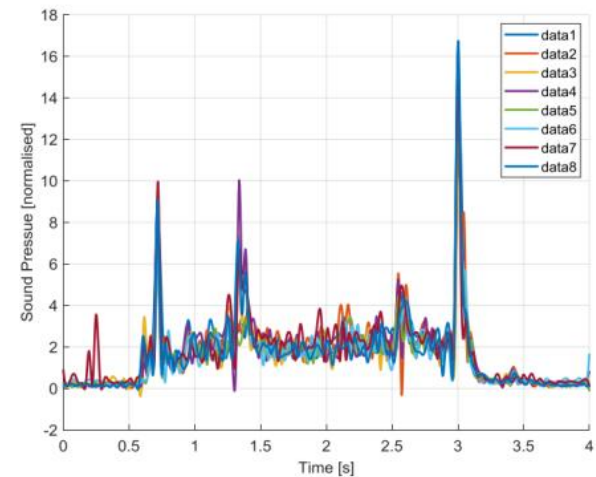


Figure 234: Eight measurements of R-S at site 2  
图234: 站点2的八次R-S测量

## 6.4. Handheld Laser-based Inspection 手持激光检测

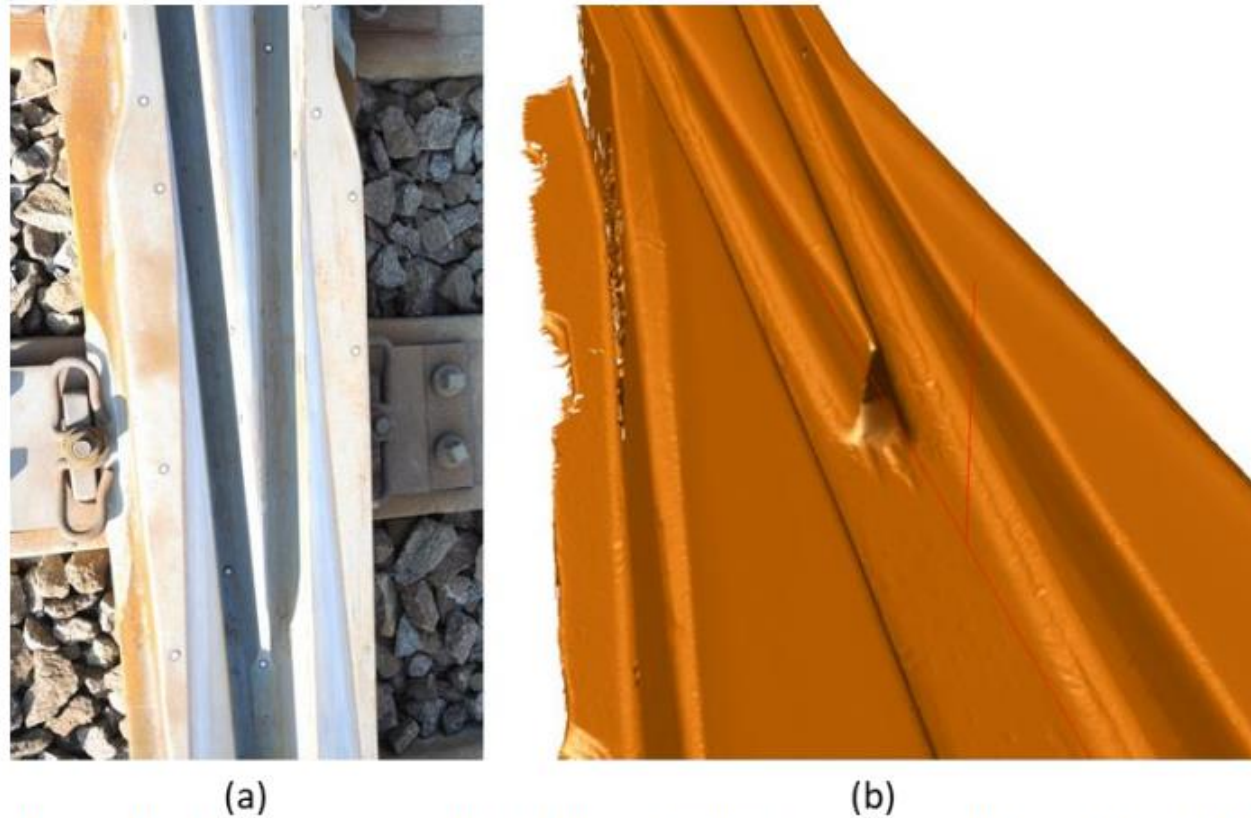


Figure 235: (a) Example of necessary preparation of the surface before scanning; (b) result of scanning (experimental measurement)

图235: (a) 扫描前表面的必要准备示例(b) 扫描结果(实验测量)

## 6.4.7. Autonomous System / Drone Based Inspection 基于自主系统/无人机的检查

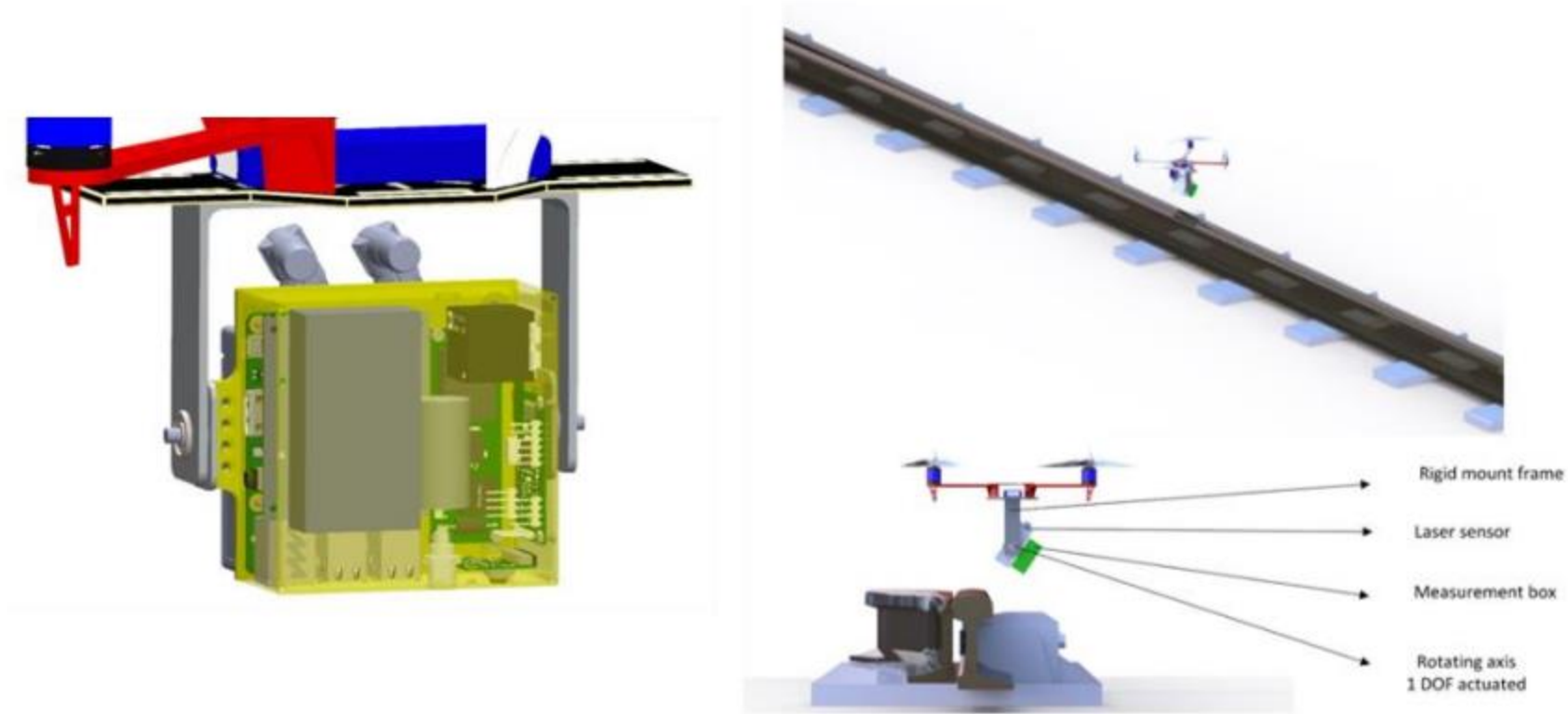


Figure 250: Concepts for drone mounting

图250: 无人机安装概念

# Standardised Communications and Data Exchange 标准化通信和数据

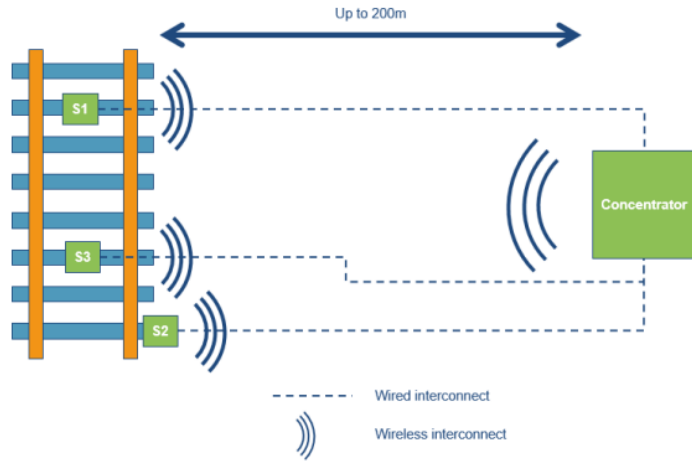


Figure 251: High-level communications architecture  
图251: 高级通信体系结构

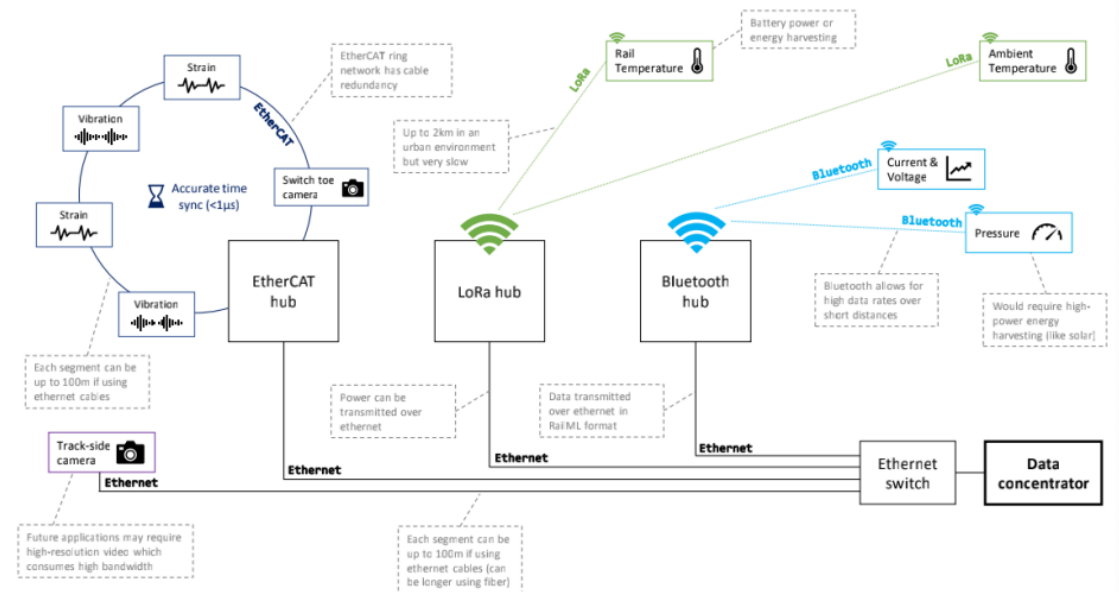


Figure 252: Architecture example with different local monitoring-point networks.  
图252: 不同本地监控点网络的架构示例。

虽然感觉 有点突兀，但是  
真的结束了

因为这个文档的后面部分我还没有研究