

Informe Proyecto Semestral: Plataforma IoT Distribuida y Segura para Monitoreo Industrial

Alumno: Alonso Bustos Espinoza

Fecha: 07.07.2025

Curso: Redes de Computadores

Introducción

Los sistemas distribuidos y el Internet de las Cosas (IoT) son fundamentales en entornos industriales modernos, ya que permiten monitorear y controlar procesos en tiempo real, mejorando la eficiencia y seguridad. Este proyecto busca implementar un sistema distribuido que simule un entorno IoT industrial, integrando componentes escritos en C++ y Python para la transmisión, almacenamiento y visualización de datos de sensores (temperatura, presión y humedad).

El propósito es demostrar cómo un sistema heterogéneo puede comunicarse de manera segura, garantizando la integridad de los datos mediante cifrado y verificaciones de checksum, además de proporcionar una interfaz para visualización y alertas.

Descripción del Problema

En entornos industriales, es crucial recolectar y analizar datos de sensores de manera confiable. Sin embargo, existen desafíos como:

- **Interoperabilidad:** Diferentes lenguajes y protocolos (C++, Python, TCP, Modbus/OPC UA).
- **Seguridad:** Riesgo de manipulación de datos en transmisiones no cifradas.
- **Visualización:** Necesidad de una interfaz accesible para monitoreo en tiempo real.

Este proyecto aborda estos problemas mediante un sistema distribuido con:

- Un **cliente sensor en C++** que envía datos binarios cifrados.
- Un **servidor intermedio en Python** que valida y transforma los datos.
- Un **servidor final con API REST** para almacenamiento y visualización web.
- Un **cliente de consulta** que detecta anomalías.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema distribuido seguro para el monitoreo industrial, integrando sensores simulados, procesamiento intermedio, almacenamiento persistente y visualización.

Objetivos Específicos

1. Cliente en C++:

- Generar datos simulados (temperatura, presión, humedad).
- Enviar datos binarios con checksum CRC-16 y cifrado TLS.

2. Servidor Intermedio (Python):

- Recibir y validar datos mediante checksum CRC-16.
- Transformar datos binarios a JSON y reenviarlos al servidor final.

3. Backend en Python:

- Almacenar datos en SQLite.
- Exponer una API REST para consultas.

4. Cliente de Consulta:

- Monitorear datos periódicamente.
- Generar alertas si los valores están fuera de rango.

5. Visualización Web:

- Mostrar métricas en tiempo real mediante un [dashboard](#).

Metodología

Arquitectura del Sistema

El sistema sigue este flujo:

1. Cliente Sensor (C++) → Servidor Intermedio (Python)

- Comunicación: **Sockets TCP con TLS** (cifrado punto a punto).
- Formato de datos: **Estructura binaria** (**SensorData** con checksum CRC-16).

2. Servidor Intermedio → Servidor Final (Python/FastAPI)

- Comunicación: **HTTP/REST** (JSON textual).
- Almacenamiento: **SQLite** (tabla **sensor_data**).

3. Cliente de Consulta

- Consulta la API cada 10 segundos y alerta sobre anomalías.

Implementación de Componentes

Cliente Sensor (C++)

- Genera datos aleatorios con `create_fake_sensor_data()`.
- Calcula checksum con CRC-16 (`compute_checksum`).

- Envía datos cifrados via TLS (certificados OpenSSL).

Servidor Intermedio (Python)

- Usa `TLS` para recibir datos binarios.
- Valida checksum CRC-16 y convierte a JSON (`DataHandler`).
- Reenvía al servidor final mediante `requests.post()`.

Servidor Final (FastAPI)

- Almacena datos en SQLite:

```
CREATE TABLE sensor_data (  
    id INTEGER,  
    timestamp DATETIME,  
    temperature REAL,  
    pressure REAL,  
    humidity REAL,  
    PRIMARY KEY (id, timestamp)  
)
```

- API REST:
 - `POST /data`: Guarda nuevos datos.
 - `GET /readings`: Devuelve los últimos 100 registros.

Cliente de Consulta

- Verifica rangos seguros:

```
if not (TEMP_MIN <= temperatura <= TEMP_MAX):  
    print(f"ALERTA: Temperatura fuera de rango: {temperatura}°C")
```

Comunicación entre Componentes

- **TCP + TLS**: Usado entre C++ y Python (servidor intermedio).
- **HTTP/REST**: Para comunicación textual (servidor intermedio → final).
- **Protocolos Industriales**: Se consideró añadir Modbus, pero se priorizó TLS por simplicidad.

Resultados

- **Funcionamiento del Sistema**:
 - El cliente C++ envía datos de sensores creados aleatoriamente.

- El servidor intermedio valida y reenvía al servidor final.
 - El cliente consultor accede la API REST para leer ultimas lecturas y alertar en caso de fuera de rangos predefinidos.
- Repositorio Github con todo el código: [link del repositorio](#)
 - Instrucciones de uso: [archivo README.md](#)
 - **Visualización:**
 - Componentes:

<pre>INFO: 127.0.0.1:39486 - "POST /api/data HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:36278 - "GET /api/readings?limit=50 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:39582 - "GET /api/readings?limit=50 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:39514 - "POST /api/data HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:36278 - "GET /api/readings?limit=50 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:43574 - "GET /api/readings?limit=1 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:43576 - "POST /api/data HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:43592 - "GET /api/readings?limit=50 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:43680 - "POST /api/data HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:43592 - "GET /api/readings?limit=50 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:33268 - "GET /api/readings?limit=1 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:33276 - "POST /api/data HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:43592 - "GET /api/readings?limit=50 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:33290 - "POST /api/data HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:43718 - "GET /api/readings?limit=50 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:43728 - "GET /api/readings?limit=1 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:43740 - "POST /api/data HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:43746 - "GET /api/readings?limit=50 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:43762 - "POST /api/data HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:57146 - "GET /api/readings?limit=50 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:57148 - "GET /api/readings?limit=1 HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:57160 - "POST /api/data HTTP/1.1" 200 OK INFO: 127.0.0.1:57176 - "GET /api/readings?limit=50 HTTP/1.1" 200 OK</pre>	<pre>(vivo) [aiibe@aiibe-laptop project]\$ python query_client/main.py [2025-07-07 22:21:10.987222] ALERT: Humidity 119.62% [2025-07-07 22:21:59.997952] ALERT: Pressure 223.71 hPa [2025-07-07 22:22:01.000606] ALERT: Pressure 1467.08 hPa [2025-07-07 22:22:11.003309] ALERT: Pressure 1399.22 hPa [2025-07-07 22:22:41.011418] ALERT: Temperature 150.61°C [2025-07-07 22:22:41.011447] ALERT: Pressure 1239.21 hPa [2025-07-07 22:22:41.011457] ALERT: Humidity 123.73% [2025-07-07 22:22:51.014315] ALERT: Temperature 150.61°C [2025-07-07 22:22:51.014342] ALERT: Pressure 1239.21 hPa [2025-07-07 22:22:51.014351] ALERT: Humidity 123.73% [2025-07-07 22:23:01.017069] ALERT: Temperature 150.61°C [2025-07-07 22:23:01.017100] ALERT: Pressure 1239.21 hPa [2025-07-07 22:23:01.017109] ALERT: Humidity 123.73% [2025-07-07 22:23:11.019880] ALERT: Temperature 150.61°C [2025-07-07 22:23:11.019908] ALERT: Pressure 1239.21 hPa [2025-07-07 22:23:11.019917] ALERT: Humidity 123.73% [2025-07-07 22:23:21.022454] ALERT: Temperature -24.56°C [2025-07-07 22:23:41.027356] ALERT: Temperature 177.75°C [2025-07-07 22:23:41.027377] ALERT: Humidity -5.44% [2025-07-07 22:23:51.029513] ALERT: Temperature 177.59°C [2025-07-07 22:24:11.034222] ALERT: Humidity 119.61%</pre>
<pre>umidity = 4309, received_checksum = 32929) 2025-07-07 22:24:02,951 - DataHandler - INFO - Checksum verification successfully! 2025-07-07 22:24:02,951 - DataHandler - DEBUG - Forwarding JSON: {"id": 0, "temperature": -90.83, "pressure": 582.4, "h umidity": 43.09, "timestamp": "2025-07-08T02:24:02.951544+00:00"} 2025-07-07 22:24:02,952 - urllib3.connectionpool - DEBUG - Starting new HTTP connection (1): localhost:8000 2025-07-07 22:24:02,961 - urllib3.connectionpool - DEBUG - http://localhost:8000 "POST /api/data HTTP/1.1" 200 20 2025-07-07 22:24:07,973 - TlsServer - INFO - Connection from 127.0.0.1 2025-07-07 22:24:07,973 - DataHandler - DEBUG - Received SensorData = {sensor_id = 0, temp = -3405, pressure = 61010, h umidity = 11961, received_checksum = 47016} 2025-07-07 22:24:07,973 - DataHandler - INFO - Checksum verification successfully! 2025-07-07 22:24:07,973 - DataHandler - DEBUG - Forwarding JSON: {"id": 0, "temperature": -34.05, "pressure": 610.1, "h umidity": 119.61, "timestamp": "2025-07-08T02:24:07.973529+00:00"} 2025-07-07 22:24:07,974 - urllib3.connectionpool - DEBUG - Starting new HTTP connection (1): localhost:8000 2025-07-07 22:24:07,984 - urllib3.connectionpool - DEBUG - http://localhost:8000 "POST /api/data HTTP/1.1" 200 20 2025-07-07 22:24:12,997 - TlsServer - INFO - Connection from 127.0.0.1 2025-07-07 22:24:12,997 - DataHandler - DEBUG - Received SensorData = {sensor_id = 0, temp = 14085, pressure = 135067, humidity = 5323, received_checksum = 25738} 2025-07-07 22:24:12,997 - DataHandler - INFO - Checksum verification successfully! 2025-07-07 22:24:12,997 - DataHandler - DEBUG - Forwarding JSON: {"id": 0, "temperature": 140.85, "pressure": 1350.67, "humidity": 53.23, "timestamp": "2025-07-08T02:24:12.997378+00:00"} 2025-07-07 22:24:12,997 - urllib3.connectionpool - DEBUG - Starting new HTTP connection (1): localhost:8000 2025-07-07 22:24:13,008 - urllib3.connectionpool - DEBUG - http://localhost:8000 "POST /api/data HTTP/1.1" 200 20</pre>	<pre>Every 5.0s: ./client/build/sensor_client aibe-laptop: Mon Jul 7 22:24:12 2025 Using cipher: TLS_AES_256_GCM_SHA384 SensorData: {'id': 0, 'temperature': 14085, 'pressure': 135067, 'humidity': 5323, 'checksum': 25738} Server response: ACK</pre>

(Logs en terminal de servidores final/medio y clientes sensor/consultor).

- Dashboard:

Industrial Sensor Dashboard



(Gráficos de temperatura, presión y humedad en tiempo real).

Conclusiones y Trabajo Futuro

Conclusiones

- Se logró un sistema funcional con comunicación segura (TLS) y validación de integridad (checksum CRC-16).
- La arquitectura distribuida demostró ser escalable para entornos industriales.

Trabajo Futuro

1. **Protocolos Industriales:** Implementar Modbus o OPC UA para mayor compatibilidad.
2. **Mayor Robustez:**
 - Reintentos automáticos si un servidor falla.
 - Persistencia en el servidor intermedio (ej. Redis).
3. **Mejor Visualización:** Usar WebSockets para actualización en tiempo real.