

Arquitectura IoT multiprotocolo para series temporales en el continuo borde-nube

Claudio Omar Biale¹, Selva Nieves Ivaniszyn¹, Rubén Luis María Castaño¹, Ariel Lutenberg²

¹ Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones.

² CONICET-GICSAFe, Laboratorio de Sistemas Embebidos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Resumen Las arquitecturas IoT centralizadas en la nube suelen presentar alta latencia, consumo elevado de ancho de banda y vulnerabilidad ante conectividad intermitente, especialmente en despliegues geográficamente distribuidos. Este trabajo presenta SensorWave, una plataforma IoT distribuida para el continuo borde-nube que integra interoperabilidad multiprotocolo, almacenamiento local con compresión y motor de reglas, un servicio despachador sin estado para coordinar consultas globales y un lenguaje de consulta declarativo tipo SQL para operar sobre series temporales. Como validación, se desarrolló Huerta IoT, una aplicación de monitoreo agrícola construida sobre SensorWave. Los resultados muestran que la propuesta reduce el tráfico ascendente y mejora los tiempos de respuesta, manteniendo la continuidad operativa y la disponibilidad de datos en escenarios con conectividad limitada.

Contexto

Este trabajo de investigación se desarrolla en el marco del proyecto "16/Q2875-TI" de la Universidad Nacional de Misiones denominado "Gestión distribuida de datos para aplicaciones de IoT".

Líneas de investigación y desarrollo

- Arquitecturas de middleware multiprotocolo para interoperabilidad IoT transparente y escalable en entornos heterogéneos.
- Integración de almacenamiento distribuido borde-nube con políticas de retención, replicación y migración de datos.
- Compresión diferencial adaptativa de series temporales para reducir ancho de banda y almacenamiento local.
- Coordinación borde-nube mediante servicios escalables para consultas globales distribuidas.
- Interfaces de administración unificadas y lenguajes de consulta formales para gestión, monitoreo y orquestación de recursos.
- Aplicaciones borde-nube para monitoreo, control y automatización de procesos en producción agropecuaria.

Resultados obtenidos

- Middleware multiprotocolo con soporte HTTP, CoAP y MQTT, garantías QoS consistentes entre protocolos, traducción bidireccional de mensajes y soporte para comodines.
- Clientes para Go, ESP-IDF/C y MicroPython con API unificada, reconexión automática y formato de mensajes uniforme.
- Sistema de almacenamiento en el borde basado en Pebble con compresión de dos niveles por serie temporal y migración automática hacia almacenamiento S3 compatible.
- Motor de inferencia de reglas en el borde con evaluación de condiciones sobre agregaciones temporales y acciones de publicación configurables.
- Módulo despachador sin estado, escalable horizontalmente, para la coordinación de consultas globales en el continuo borde-nube.
- Lenguaje de consulta declarativo de sintaxis SQL con soporte sobre series temporales en el borde y modo despachador para consultas globales, expuesto mediante interfaz REPL.
- Huerta IoT, aplicación web desarrollada sobre SensorWave para el monitoreo de cultivos hortícolas, con gestión de nodos sensores distribuidos y análisis de datos agroambientales.

Formación de recursos humanos

El equipo de trabajo incluye a docentes e investigadores de las diferentes universidades. Como parte de este proyecto se encuentra en desarrollo una tesis de Maestría en Internet de las Cosas. Se promueve actividades de extensión mediante el ciclo de conferencias "AgriTech: soluciones IoT y tecnológicas para la agricultura".