

РЕФЕРАТ

Розмір пояснювальної записки – 110 аркушів, містить 9 ілюстрацій, 34 таблиці, 4 додатки, 25 посилань на джерела.

Актуальність теми. У роботі розглянуто проблему ефективної доставки IoT-телеметрії у вузькосмугових каналах зв'язку NB-IoT та LoRaWAN з використанням брокерної моделі MQTT, показано основні особливості існуючих протоколів і підходів до телеметрії в LPWAN-мережах, їх переваги та недоліки щодо затримок, втрат і використання ресурсу каналу. Виявлено потребу в розробці адаптивного MQTT-шлюзу, який у реальному часі підлаштовує формат, частоту та надійність передавання під стан каналу без модифікації брокера.

Мета дослідження. Основною метою є підвищити ефективність і надійність доставки IoT-телеметрії у вузькосмугових каналах (NB-IoT/LoRa) шляхом адаптації параметрів передавання в реальному часі та використання можливостей MQTT v5 без змін у брокері.

Об'єкт дослідження: програмне забезпечення для збору, трансформації та транспортування IoT-телеметрії у вузькосмугових LPWAN-мережах (NB-IoT/LoRa).

Предмет дослідження: процеси розроблення, модифікації та забезпечення якості програмного забезпечення адаптивної телеметрії, а також методи побудови й експериментальної оцінки політик адаптації для MQTT-шлюзу, орієнтованих на досягнення цільових показників якості обслуговування.

Для реалізації поставленої мети **сформульовані наступні завдання:**

- проаналізувати існуючі протоколи та підходи до телеметрії в NB-IoT/LoRa та вимоги до якості доставки даних;
- сформулювати вимоги до адаптивного MQTT-шлюзу й побудувати модель SLO/SLI для вузьких IoT-каналів;

- розробити функціональну алгебру політик та FRP-модель оцінювання стану каналу для опису адаптації телеметрії;
- реалізувати адаптивний MQTT-шлюз на основі розробленої моделі без внесення змін до брокера;
- провести експериментальні дослідження із емуляцією умов NB-IoT/LoRaWAN та порівняти адаптивну схему зі статичною за критеріями трафіку, затримки, втрат та стабільності.

Наукова новизна результатів магістерської дисертації полягає в тому, що запропоновано формальну функціональну алгебру політик і FRP-модель для побудови адаптивного MQTT-шлюзу у вузькосмугових IoT-мережах, яка на відміну від існуючих рішень розглядає формат, батчинг, швидкість і рівень надійності як єдиний конвеєр чистих перетворень над потоком телеметрії, забезпечує формальні інваріанти стабільності (обмежені черги, відсутність осциляцій) та має операційне відображення на механізми MQTT v5 без модифікації брокера. Результат досягнутий шляхом побудови алгебри операторів Encode/Delta/Batch/Throttle/QoS/Timeout, використання FRP-сигналів для оцінювання стану каналу та інтеграції цих механізмів із можливостями MQTT v5.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблено референсну архітектуру і програмну реалізацію адаптивного MQTT-шлюзу, у якій політики Encode, Delta, Batch, Throttle, QoS та Timeout об'єднані в межах одного застосунку й інтегровані з системою моніторингу на основі Prometheus та Grafana. Дана система може використовуватися як проміжний програмний компонент між IoT-пристроями та наявним MQTT-брокером без змін у брокері та впроваджуватися в системах розумних міст, аграрного сектору, промислової телеметрії, моніторингу довкілля й інфраструктурної безпеки.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась на кафедрі інформатики та програмної інженерії Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

Апробація. Наукові положення дисертації пройшли апробацію у доповідях на VI Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Інформаційні технології: моделі, алгоритми, системи (ITMAS–2025)» та XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології і автоматизація – 2025», де окремо представлено прикладну реалізацію алгебри політик і FRP-керування для MQTT v5 у NB-IoT/LoRaWAN.

Публікації. Наукові положення дисертації опубліковані в:

- 1) Ніконоров А.О., Поперешняк С.В. Функціональні алгебри політик та реактивні моделі для адаптивної телеметрії в мережах з обмеженими ресурсами // Наука і техніка сьогодні (Серія «Техніка»). – 2025. – № 10(51). – С. 1844–1861. (Категорія «Б», спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»).
- 2) Ніконоров А.О. SLODRIFT: прикладна реалізація алгебри політик і FRP-керування для MQTT v5 у NB-IoT/LoRaWAN // Інформаційні технології: моделі, алгоритми, системи (ITMAS–2025): Матеріали VI Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. – Миколаїв: НУК ім. адмірала Макарова, 2025. – С. 385–387.
- 3) Ніконоров А.О. Функціональна алгебра політик і FRP для стабільної адаптивної телеметрії в NB-IoT та LoRaWAN // XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології і автоматизація – 2025». – Одеса: ОНТУ, 2025. – С. 854–856.

Ключові слова: АДАПТИВНИЙ MQTT-ШЛЮЗ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, NB-IoT, LORAWAN, АЛГЕБРА ПОЛІТИК, ТЕЛЕМЕТРІЯ.