

УДК 004.4

Куликовська Н.А.¹, Тіменко А.В.², Свеженцев Я.Е.³

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² викл. Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О.Г. Івченка

³ студ. гр. КН-22 Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О.Г. Івченка

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ОБМІНУ ДАНИМИ В ІОТ-СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛУ MQTT

З розвитком систем Інтернету речей (IoT) виникає гостра потреба у забезпеченні надійного, масштабованого та енергоефективного обміну даними між великою кількістю пристроїв, що визначає актуальність дослідження ефективності застосування легковагових протоколів передачі даних, серед яких протокол MQTT займає провідне місце. Відомі рішення, зокрема використання MQTT-брокерів типу Mosquitto, EMQX та HiveMQ [1], широко застосовуються в реальних системах для забезпечення швидкої та надійної комунікації між сенсорами, контролерами і хмарними сервісами. Однак аналіз останніх досліджень [2] показує, що особливості налаштування параметрів MQTT, таких як рівень якості обслуговування (QoS), розмір повідомлень і частота передачі даних, критично впливають на ефективність функціонування IoT-систем, що зумовлює потребу у моделюванні протоколу в різних сценаріях використання. Серед невирішених проблем залишається оптимізація балансування між споживанням енергії, затримкою доставки повідомлень і навантаженням на мережу в умовах обмежених ресурсів пристроїв, що особливо актуально для великих розподілених систем.

Метою роботи є моделювання роботи MQTT-протоколу в системах Інтернету речей з урахуванням різних параметрів QoS та характеристик трафіку для підвищення ефективності обміну даними та оптимізації енергоспоживання пристроїв. Завданням дослідження визначено розробку сценаріїв моделювання для різних топологій мережі, аналіз впливу налаштувань MQTT на якість передачі даних та оцінку ефективності системи за ключовими метриками.

У дослідженні використано методи експериментального моделювання з використанням симуляційних середовищ Eclipse Paho, Eclipse Mosquitto та MQTT.fx для створення віртуальних вузлів і брокерів MQTT [1–3], тестування різних конфігурацій протоколу в реальному середовищі на базі пристроїв ESP32 з відкритим середовищем Node-RED для візуалізації даних, а також математичний аналіз показників затримки, пропускну здатності та споживання енергії пристроями у різних сценаріях навантаження [4].

Для практичного дослідження створено експериментальне середовище, що включає кілька вузлів на базі ESP32, підключених до брокера Eclipse Mosquitto через мережу Wi-Fi, де передача даних здійснюється з різними рівнями QoS (QoS 0, QoS 1 і QoS 2) з періодичністю від 1 до 60 секунд. Вимірювалися затримки доставки повідомлень, кількість втрачених пакетів, обсяг мережевого трафіку і споживання енергії пристроями під час передачі даних різного об'єму. Для моделювання умов навантаження додатково використовувалась генерація трафіку емулятором MQTT.fx, що дозволило створити умови високого навантаження для перевірки стійкості брокера і мережі в цілому. У процесі дослідження встановлено, що збільшення рівня QoS підвищує надійність передачі, однак призводить до збільшення затримок і споживання енергії, що підтверджується даними таблиці 1.

Таблиця 1 - Вплив рівня QoS протоколу MQTT на характеристики передачі даних

Рівень QoS	Середня затримка, мс	Втрата пакетів, %	Споживання енергії, мА
QoS 0	60	5	120
QoS 1	85	1	140
QoS 2	110	0	165

Аналіз отриманих результатів показав, що для більшості сценаріїв реального часу оптимальним є використання QoS 1, який забезпечує високу надійність при помірному зростанні затримок і енергоспоживання, тоді як QoS 2 доцільно застосовувати лише для критичних даних, де втрата повідомлення неприпустима. Побудована модель обміну даними дозволила сформулювати рекомендації щодо налаштування MQTT-протоколу в залежності

від вимог системи, що особливо важливо для побудови енергоефективних IoT-архітектур.

Моделювання протоколу MQTT дозволяє виявити оптимальні стратегії налаштування систем обміну даними для різних сценаріїв роботи IoT-пристроїв, забезпечуючи баланс між надійністю, затримкою та енергоспоживанням, що є необхідним кроком для проектування стійких і масштабованих розподілених систем Інтернету речей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Eclipse Mosquitto MQTT Broker [Electronic resource]. – Mode of access: <https://mosquitto.org/>
2. Banks A., Gupta R. MQTT Version 3.1.1 [Electronic resource] / Andy Banks, Rahul Gupta // OASIS Standard. – 2014. – Mode of access: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>
3. MQTT.fx - MQTT Client Tool [Electronic resource]. – Mode of access: <https://mqttfx.jensd.de/>
4. ESP32 Technical Reference Manual [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf