

## АДАПТИВНЕ ПРОРІДЖУВАННЯ ПОТОКУ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.

Гасанов Р.З.<sup>1</sup>, Іванов О.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Український державний університет науки і технологій, аспірант Україна

<sup>2</sup> Український державний університет науки і технологій, к.т.н. доцент, Україна

**Анотація.** У цій роботі розглядається метод адаптивного прорідження потоку даних у системах дистанційного моніторингу об'єктів транспортної інфраструктури. Запропонована модель регулює частоту передачі повідомлень, враховуючи інтенсивність вхідного потоку та пропускну здатність каналу зв'язку. Основний механізм базується на зміні інтервалу прорідження, який адаптується залежно від поточного завантаження системи. У разі перевантаження інтервал збільшується, зменшуючи обсяг переданих даних, а при покращенні умов передачі – зменшується, підвищуючи ефективність використання каналу. Розроблена модель забезпечує баланс між мінімізацією втрат критичної інформації та зниженням навантаження на мережу, що дозволяє підвищити стабільність і надійність моніторингу транспортної інфраструктури.

**Ключові слова:** адаптивне управління, адаптивні моделі, прорідження потоку даних, інфраструктура передачі даних, програмне забезпечення, інтенсивність потоку повідомлень, моніторинг об'єктів

Дистанційний моніторинг об'єктів транспортної інфраструктури стає дедалі більш затребуваним рішенням у сучасних умовах розвитку транспортної мережі та зростання інтенсивності перевезень. Такий підхід дає змогу безперервно спостерігати за станом мостів, доріг, тунелів, залізничних колій та інших ключових елементів інфраструктури, забезпечуючи безпеку та надійність транспортної системи.

У подібних системах моніторингу важливу роль відіграє оперативна доставка інформації про стан об'єкта на сервер. Канали передачі даних, які з'єднують вузли зняття параметрів і серверне програмне забезпечення, схильні до завад і збоїв, зокрема можливі падіння пропускну здатності каналу з різних причин. Подібні проблеми можуть призвести до ситуації, коли інформація про

стан об'єкта почне надходити із затримкою, причому кожен наступний збій збільшуватиме цей часовий лаг.

Щоб запобігти такій проблемі, пропонується прорідження потоку вхідних даних, яке полягає в тому, що при виникненні затримок частина даних відкидається, а на сервер надходять лише найактуальніші дані. У [1] розглядалася нечітка модель управління прорідженням, яка динамічно регулювала прорідження вхідного потоку повідомлень на основі правил нечіткої моделі, що застосовувалися з урахуванням таких параметрів, як інтенсивність вхідного потоку повідомлень і пропускна здатність каналу передачі даних.

Запропонована адаптивна модель також приймає на вхід ті ж самі параметри, однак керує прорідженням на основі коефіцієнта завантаження, змінюючи інтервал прорідження таким чином, щоб система залишалася стабільною.

Ключовий механізм моделі – керування інтервалом проріджування, який визначається як часовий проміжок між останнім надісланим повідомленням і заданим пороговим значенням. Протягом цього інтервалу всі отримані дані відкидаються, запобігаючи накопиченню черги та знижуючи навантаження на канал передавання даних.

Під час погіршення пропускної здатності система автоматично збільшує інтервал проріджування, забезпечуючи передавання лише актуальної інформації про поточний стан об'єкта. Такий підхід дає змогу уникнути перевантажень, мінімізувати втрати інформації та ефективно використовувати доступні ресурси каналу передавання даних.

Основні параметри системи:

– Інтервал проріджування  $\tau$ . Це мінімальний час між повідомленнями, який повинен пройти, щоб наступне повідомлення було поставлене в чергу для відправки на сервер.

– Інтенсивність надходження повідомлень  $\lambda$ . Це кількість повідомлень, що надходять у чергу на відправку за одиницю часу. При проріджуванні фактична

інтенсивність надходження повідомлень зменшиться, оскільки частина з них буде відкинута, якщо вони приходять надто швидко.

– Пропускна здатність каналу  $\mu$ . Це кількість повідомлень, яке система здатна передати на сервер за одиницю часу. Вона визначається як:

$$\mu = \frac{2}{\tau_p}, \quad (1)$$

де  $\tau_p$  - це час, що проходить від моменту відправлення спеціального повідомлення від джерела на сервер до отримання зворотного повідомлення від сервера.

– Адаптована інтенсивність потоку. Це кількість повідомлень, які поміщаються в чергу на відправку після процедури проріджування. Адаптовану інтенсивність потоку можна виразити як:

$$\lambda_{th} = \begin{cases} \min\left\{\lambda, \frac{1}{\tau}\right\}, & \tau > 0 \\ \lambda, & \tau = 0 \end{cases}. \quad (2)$$

Це означає, що якщо середній інтервал між повідомленнями менший за величину інтервалу проріджування, то інтенсивність потоку обмежується цим інтервалом. Якщо інтервал проріджування не встановлено, то повідомлення попадуть в чергу на відправку без обмежень.

– Коефіцієнт завантаження каналу  $\rho$ . Це відношення інтенсивності надходження повідомлень до пропускної здатності  $\mu$ :

$$\rho = \frac{\lambda_{th}}{\mu}. \quad (3)$$

При  $\rho < 1$  система залишається стабільною, тобто вона здатна передати весь обсяг отриманих даних на сервер. Якщо цей коефіцієнт наближається до 1, система близька до перевантаження. У цьому стані можливі затримки повідомлень у черзі на передавання та надходження даних на сервер із запізненням, проте канал зв'язку все ще справляється з передаванням усього обсягу інформації.

При  $\rho > 1$  система переходить у стан перевантаження, що означає, що вона не здатна передавати весь обсяг даних, який надходить на її вхід. Це призводить до накопичення черги повідомлень і відмови у передаванні.

Запропонована адаптивна модель спрямована на зміну інтервалу проріджування  $\tau$  залежно від поточного стану системи. Якщо система близька до перевантаження, інтервал проріджування збільшується, що зменшує інтенсивність потоку даних  $\lambda_{th}$ . Якщо пропускна здатність каналу  $\mu$  дозволяє передавати більше повідомлень, інтервал проріджування зменшується, що збільшує потік повідомлень і підвищує ефективність використання каналу.

Модель динамічно змінює інтервал проріджування  $\tau$  в залежності від поточної інтенсивності повідомлень, що надходять на вхід, та поточної пропускної здатності каналу так, щоб коефіцієнт завантаження  $\rho$  залишався меншим за 1, тобто щоб система була стабільною, не накопичуючи надмірну чергу повідомлень. Інтервал проріджування змінюється в межах заданого діапазону  $[0, \tau_{max}]$  з певним кроком  $\tau_{st}$ , що дозволяє плавно регулювати потік повідомлень, які надсилаються на сервер, уникаючи різких змін інтенсивності потоку.

На рис. 1 показані результати експерименту імітаційного моделювання збою, який полягає в зменшенні пропускної здатності каналу передачі даних за умови збереження інтенсивності вхідного потоку повідомлень.

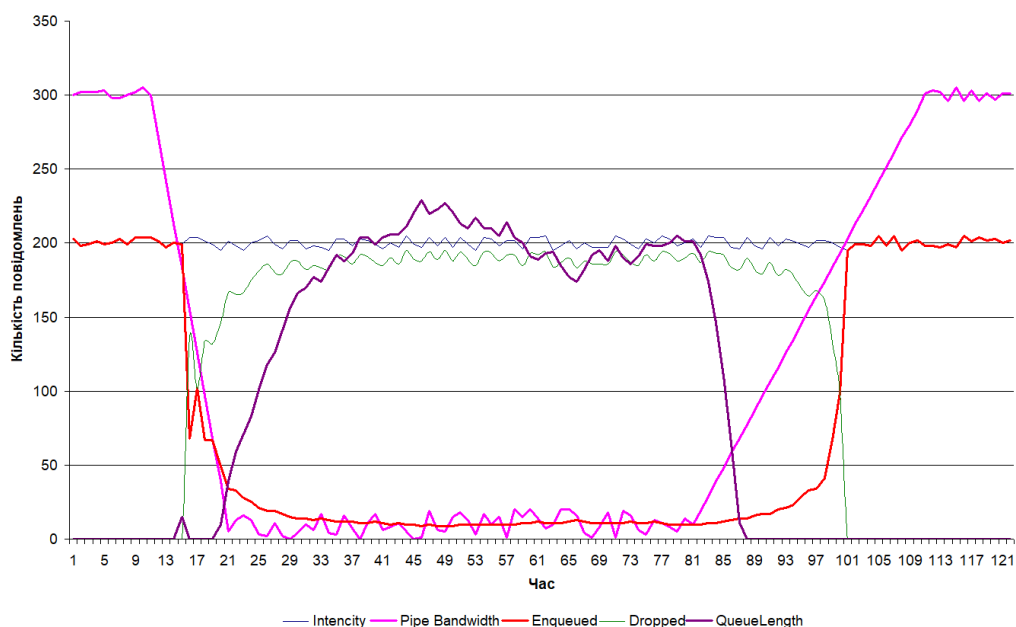


Рисунок 1 – Обробка зниження пропускної здатності каналу передачі даних

Вісь часу представлена в секундах від початку експерименту, а вісь абсцис – кількістю повідомлень за секунду.

На графіку показані зміни таких параметрів:

- Intensity – інтенсивність вхідного потоку повідомлень (повідомлень за секунду);
- Pipe Bandwith – пропускна здатність каналу передачі повідомлень (повідомлень за секунду);
- Enqueued – кількість повідомлень, поставлених у чергу на відправку;
- Dropped – кількість відкинутих повідомлень;
- Queue Length – довжина черги.

Помітна запізнiла реакція системи на зменшення пропускної здатності каналу, а також після її відновлення. При цьому система продовжує надсилати дані на сервер, а черга повідомлень на відправлення досягає певного значення і більше не збільшується, тобто система перейшла в стабільний стан і справляється з навантаженням. Середня довжина черги співмірна з інтенсивністю вхідного потоку. Таким чином, затримка повідомлення в черзі становить приблизно одну секунду і при цьому не збільшується.

Після відновлення пропускної здатності каналу помітне зменшення довжини черги, тобто дані починають передаватися на сервер без затримки в черзі. Повний обсяг переданих даних відновлюється трохи пізніше, коли пропускна здатність каналу стає співмірною з інтенсивністю вхідного потоку. Іншими словами, модель поступово зменшує інтервал прорідження і остаточно його скасовує, щойно пропускна здатність каналу починає перевищувати інтенсивність вхідного потоку.

Таким чином, модель управління прорідженням зберегла працездатність системи передавання даних і запобігла відмові, пов'язаній із переповненням черги повідомлень, при цьому сервер продовжував отримувати актуальну інформацію про стан об'єкта.

Змінюючи величину кроку адаптації  $\tau_{st}$ , можна налаштувати швидкість реакції системи на збої - при невеликому кроці реакція системи буде більш плавною. Велике значення  $\tau_{st}$  забезпечує швидку реакцію на зміну ситуації, проте у випадку короткочасних збоїв це може призвести до надмірного проріджування потоку повідомлень.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. Скалозуб В.В., Гасанов Р.З. Застосування нечітких моделей для керування потоками повідомлень в інфраструктурах передачі даних. International scientific and technical

conference. Information Technologies in Metallurgy and Machine building–ITMM 2024, C. 445–447.

2. Sally Floyd, Van Jacobson Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance. IEEE/ACM Transactions on Networking – 1993.

**ADAPTIVE DATA STREAM THINNING IN REMOTE MONITORING SYSTEMS FOR  
TRANSPORT INFRASTRUCTURE**

Rovshan Gasanov, Oleksandr Ivanov

**Abstract.** *This work examines the method of adaptive data stream thinning in remote monitoring systems for transport infrastructure. The proposed model dynamically regulates the frequency of message transmission by considering the intensity of the incoming stream and the bandwidth of the communication channel. The primary mechanism is based on adjusting the thinning interval, which is adapted according to the current system load. In cases of overload, the interval is increased, reducing the volume of transmitted data, whereas under improved transmission conditions, it is decreased, enhancing the efficiency of channel usage. The developed model ensures a balance between minimizing the loss of critical information and reducing network load, thereby improving the stability and reliability of transportation infrastructure monitoring.*

**Keywords:** *adaptive control, adaptive models, data stream thinning, data transmission infrastructure, software, message flow intensity, monitoring*

**REFERENCE**

1. Vladislav Skalozub, Rovshan Gasanov. Application of fuzzy models to control the stream of messages in data transmission infrastructures. International scientific and technical conference. Information Technologies in Metallurgy and Machine building–ITMM 2024, C. 445–447. [in Ukrainian].
2. Sally Floyd, Van Jacobson Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance. IEEE/ACM Transactions on Networking – 1993.