

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

І.М. Чистик¹, В.Я. Воропаєва¹

¹ Department of Automation and Telecommunications, Donetsk National Technical University, Luts'k, Ukraine

E-mail: ivan.chystyk@donntu.edu.ua

Отримано 15.04.2024

Прийнято до публікації 01.08.2024

Опубліковано 01.11.2024

АНОТАЦІЯ

Мета даної роботи визначається необхідністю у детальному вивченні та аналізі можливих проблем і недоліків, що виникають, або можуть виникнути при створенні мережесистем управління (NCS). Кожен із визначених негативних чинників має свій вплив і виникає в різних ситуаціях, має свої особливості і різний характер поведінки і походження. Оскільки детальне вивчення роботи мережесистем контролю зазвичай супроводжується процесом моделювання такої системи, то для адекватності і точності процесу моделювання необхідно створити правильний апарат, який враховує ці показники.

Проаналізована інформація із різних джерел та розглянуті матеріали дозволили створити уявлення про основні види і типи негативних факторів і недоліків, що супроводжують роботу мережесистем управління. Такий підхід дозволяє швидше і більш направлено реагувати на причину виникнення можливих затримок у роботі мережесистем управління, які викликані визначеними обмеженнями. Враховуючи, що показники швидкості і точності при роботі систем управління – одні з ключових, то справедливо буде вважати, що наміри по покращенню ситуації з негативним впливом таких чинників є доречним і необхідним шляхом. Оскільки NCS – це складна система, що містить у собі елементи різних рівнів, то визначено також і саму сутність визначених проблем, тобто з'ясовано не тільки причини появи і виникнення цих факторів, але і що вони собою представляють, на що впливають і до яких наслідків це може привести у тих чи інших ситуаціях і за різних умов.

Враховуючи можливу наявність таких негативних чинників у мережесистемах управління, логічним виглядає спроба визначити також і підходи і методи, що можуть бути застосовані при зменшенні або нейтралізації того чи іншого обмеження в різних можливих умовах. Розуміючи можливість наявності негативних чинників та недосконалостей при роботі мережесистем управління, ми маємо можливість зіграти на випередження та закласти під час проектування і побудови такої системи елементи, що дозволять покращити показники роботи системи. Стосовно цих підходів також надана інформація про умови, в яких вони можуть бути застосовані.

Ключові слова: мережесистеми управління, моделювання, NCS, контроль, стабільність роботи

ВСТУП

Розвиток людства останні роки активно супроводжувався технічним прогресом, в результаті якого з'явилися нові можливості для покращення нашого життя. Таким чином, все активніше почали створюватися цілі системи, які відповідають за керування, автоматизацію і контроль різних процесів. Для повноцінного задоволення потреб, ці системи весь час збільшуються, а Інтернет стає невід'ємною їх частиною, ці системи можуть поєднуватись і взаємодіяти між собою.

Тривалий час при використанні комунікаційних мереж, які були орієнтовані на управління, в якості першого вибору виступали Control Area Network і DeviceNet в перших прообразах мережевих систем управління. Розвиток мережевих технологій, зростання потреб у великомасштабних системах зробили Інтернет дуже вигідним альтернативним рішенням. Використання Інтернет надає можливість створення великої системи управління зі зменшенням витрат та більш простим обслуговуванням, а також надає гнучкі можливості для внесення змін до конфігурації самої системи.

Враховуючи всі ці особливості, почали привертати увагу на використання мережевих технологій при побудові таких систем. З іншого боку, вдосконалення самих мережевих технологій, збільшення пропускну здатності, та удешевлення, зробили їх ще привабливішими для використання. Завдяки таким вагомим здобуткам в області мережевих систем управління, з'являється додаткова можливість для появи і розвитку таких інновацій, як промисловий контроль, дослідження небезпечної середовища, рятувальні і пошукові операції, аерокосмічні системи, мікромережі та телеуправління, а також використання в управлінні БПА та багато інших. І таким чином, починаючи з 80-х років минулого сторіччя, з'являються перші згадування про мережеві системи управління. Таким чином, в процесі розвитку даної технології, її більш глибокого дослідження, почали з'являтися нові види і класи мережевих систем контролю, сфери застосування і призначення яких, а також їх характеристики, мали значні відмінності.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Мережева система управління — це система, у якій традиційні контури управління замкнуті через мережу зв'язку, отже сигналами системи можна обмінюватися між компонентами через загальну мережу. Мережеві системи управління зазвичай складаються з великої кількості взаємозалежних пристроїв.

Справедливо буде зауважити, що для дослідження ефективності роботи будь-якої системи управління, в тому числі і мережевих систем управління, необхідно визначити ряд відомих проблем і особливостей технології. Слід зазначити, що визначені недосконалості обов'язково мають бути враховані при подальшому моделюванні NCS, і у випадку з мережевими системами управління, ці проблеми можна виділити і визначити головні та найбільш доцільні для вивчення з метою поліпшення їх негативного впливу.

Включення мереж до динамічних систем створює нові проблеми для всієї системи через появу недосконалостей. До них відносяться помилки квантування, різні затримки, пропуск кадрів і т. д. Ці недосконалості мають істотний вплив на стан мережевої системи управління, можуть погіршити її продуктивність і навіть викликати нестабільність у її роботі. Саме тому є велика необхідність у створенні відповідного динамічного уявлення про NCS і знаходження способу, що дасть можливість досягти стабільності за цих обставин.

Дослідження мережевих систем управління зазвичай поділяються на два напрями:

(1) Управління мережею: дослідження та покращення внутрішніх характеристик мереж, наприклад, пропозиція нових мережевих протоколів зв'язку, алгоритмів мережевого планування тощо.

(2) Контроль над мережею: розгляд існуючих мережевих структур, протоколів в якості встановлених умов, на основі яких можуть бути розроблені розумні структури та алгоритми управління для компенсації або зменшення негативного впливу на систему управління[1]

Управління мережею розглядає проблеми мережі зв'язку, такі як протоколи зв'язку, управління маршрутизацією, управління навантаженням і т.д. В іншому випадку управління через мережу фокусується на проектуванні та управлінні системами, які використовують мережу як середовище передачі для отримання бажаної продуктивності.

Показники мережі, такі як швидкість передачі та частота помилок, залежать від QoS, тоді як QoS стосується стабільності системи у різних умовах.

Формулювання проблеми: в даний час мережеві системи управління все активніше використовуються в різних сферах нашої діяльності. Переваги, що несуть у собі ці системи занадто привабливі, щоб їх ігнорувати, проте не потрібно забувати, що як і кожна технологія, винахід, або готовий пристрій, мережеві системи управління мають певний перелік особливостей, які необхідно враховувати і обмеження, які необхідно покращити задля забезпечення максимальної ефективності від використання.

Мета: визначення основних типів і видів недоліків та обмежень мережевих систем управління, їх походження та причин виникнення, а також показників, на які ці недоліки і обмеження впливають при роботі мережевих систем управління.

Задачі:

1. Визначення основних видів і недоліків мережевих систем управління.
2. Аналіз природи походження недоліків і обмежень NCS.
3. Визначення основних підходів, що використовуються для вирішення проблеми наявності цих недосконалостей NCS.
4. Підготовка матеріалів для представлення підсумкового результату та візуальних матеріалів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В даній роботі було використано методи структурного і порівняльного аналізу. Було досліджено наукову і методичну літератури з використанням інформаційного і аналітичного підходу, також використано ряд онлайн-ресурсів для отримання інформації по тематиці дослідження.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для того, щоб було зручно візуально сприймати вплив факторів, що впливають на роботу мережевої системи управління, це можна зобразити у вигляді замкненої системи управління, в якій присутній мінімальний набір необхідних елементів для опису цього процесу – контролер, установка(привід, інший виконавчий орган або елемент), а також безпосередньо сама середа, через яку виконується обмін інформацією між елементами – в даному випадку мережа. Умовно розміщено всі фактори, що мають вплив в контур мережі. Компоненти NCS пов'язані між собою через системи зв'язку, як показано на Рис. 1, і таке з'єднання показує вплив недоліків і обмежень мережевої системи. Одне із завдань контролеру в даному випадку полягає у тому, щоб якщо ми маємо у наявності один або навіть декілька негативних факторів із тих, що були представлені на малюнку, компенсувати його так, щоб система не виходила за межі своїх заданих параметрів стабільної роботи.

Далі в даній роботі буде більш детально розглянуто кожний із цих негативних чинників, а також підходи, що застосовуються під час вирішення проблеми впливу них на систему. Недосконалості та обмеження у NCS поділяються на п'ять типів[2]:

- 1) помилки квантування під час передачі сигналів;

- 2) випадання пакетів через ненадійну передачу;
- 3) змінні інтервали вибірки/передачі;
- 4) змінні затримки передачі;
- 5) обмеження зв'язку, оскільки не всі сигнали датчиків та виконавчих пристроїв можуть передаватися одночасно.

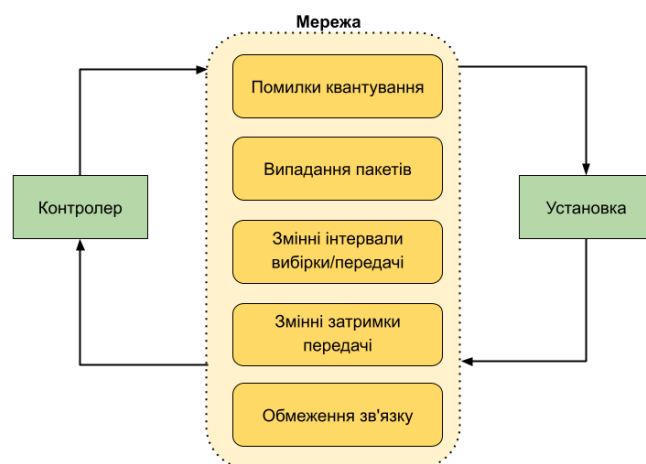


Рис. 1. Типи недоліків і обмежень в NCS

ПОМИЛКИ КВАНТУВАННЯ

Сутність мережі, що використовуються для зв'язку компонентів, має ряд характеристик і особливостей, в число яких входить і обмежена пропускна здатність, і виникає потреба у квантуванні сигналу перед відправкою.

Таким чином, перед відправкою в мережу сигнал керування та вихідний сигнал об'єкта квантуються, як показано на Рис. 2. Квантизатор — це пристрій, який приймає дійсний сигнал і перетворює його на частково-постійний з кінцевим набором значень.

В науковій літературі прийнято розділяти квантування на два типи: логарифмічне квантування і рівномірне квантування[3].

- Логарифмічне квантування розглядається як статичне квантування, і характеризується кращою продуктивністю поруч з початком координат порівняно з рівномірним квантуванням. Також характеризується або безкінечним рівнем квантування, або кінцевим рівнем. не використовуватиметься в налаштуваннях DNS, тож вона потрібна лише для зручності адміністрування.
- Однорідний рівномірний квантизатор характеризується більш простим керуванням, і надає можливості застосування з кількісною

областю довільної форми. Логарифмічні квантизатори переважно використовуються з лінійними системами з безкінечними рівнями квантування. При цьому використання

масштабування є корисним елементом управління, коли застосовується рівномірне квантування, і воно складається з двох етапів: «збільшення» та «зменшення».

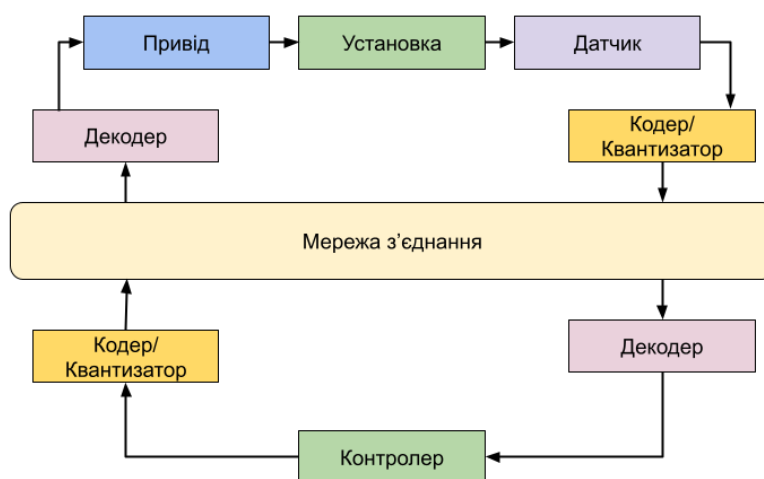


Рис.2. Конфігурація NCS з квантуванням

Реалізація збільшення та зменшення масштабу дає можливість отримати достатню умову асимптотичної стійкості лінійних та нелінійних систем. Внаслідок квантування в системі будуть внесені втрати інформації. Тому створена модель такої системи має це враховувати. Помилка квантування обернено пропорційна кількості бітів, які використовуються для квантування, тобто мала кількість бітів призводить до вищої помилки квантування.

Квантування і стохастичні випадання пакетів[4] можуть розглядатися щодо квадратичної стійкості NCS, а кінцеве квантування використовуватись при реалізації контролера. В такому випадку стабільність вхідного стану буде отримана шляхом застосування стратегії безперервного перемикавання контролера між масштабуванням «зменшення» та «збільшення». Схожим шляхом можна отримати параметризованні вхідні дані для стабільності стану NCS, який має схильність до випадання пакетів і невідомих збурень, але має випадкову довжину областей квантування на основі процесу випадання пакетів.

Квантування викликає два явища:

1) Насичення, яке виникає, коли сигнал перевищує діапазон квантування, що призводить до більш високої помилки квантування, і таким чином викликає нестабільність у системі із замкнутим контуром.

2) Погіршення характеристик навколо вихідної точки, що відбувається поруч із початком координат, коли сигнал не квантується точно через обмеження точності квантизаторів, і це перешкоджатиме досягненню асимптотичної стійкості замкнутої системи.

ВТРПАТА ПАКЕТІВ

По причині використання мережі для зв'язку, сигнали системи перед передачею необхідно групувати, кожна група таких сигналів називається пакетом і її розмір залежить від мережі. Передача пакетів може бути як одиночною, так і багаторазовою. При передачі одного пакета усі дані від датчиків або контролера групуються та передаються разом. В іншому випадку, при багатопакетній передачі дані передаються кількома пакетами, що призводить до неодновременного надходження даних до контролера або виконавчого пристрою. Обмежений розмір самої мережі — причина використання паралельної передачі, а розподіл датчиків і виконавчих механізмів на великій території додатково ускладнює об'єднання даних в один мережевий пакет, що призводить до використання багаторазової передачі.

Виникнення збоїв або колізій повідомлень на вузлах призводить до випадання пакетів. Для уникнення такої проблеми, більшість протоколів використовують механізми повторної передачі. Однак, якщо повторна

передача завершується невдало протягом обмеженого часу, пакети відкидаються. Оскільки мережа зв'язку є джерелом втрат, цей тип називається випаданням пакетів, викликаним мережею. Більше того, якщо новий пакет, відправлений раніше, стане доступним на вузлі пізніше, то доречно буде його і використовувати останній, і цей тип відсіву пакетів називається відсів активного пакета. Для вирішення цієї проблеми правильним

вважається використання механізму логічного утримання нульового порядку (ZOH)[5] та відхилення повідомлень.

Один метод боротьби з випаданням пакетів полягає в тому, щоб спроектувати контролер так, щоб він витримував верхню межу випадання пакетів у системі. Інший відомий підхід – використати принцип відключення в системі з перемикачем (Рис. 3).

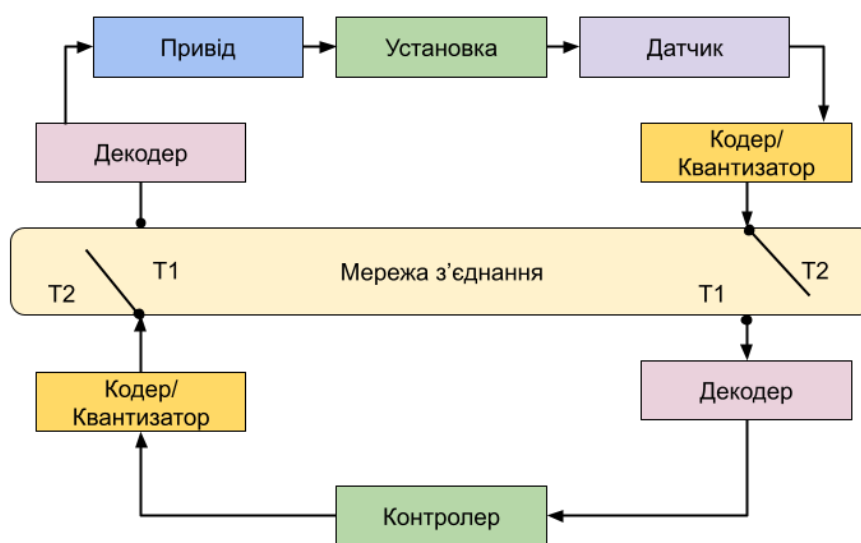


Рис.3. Конфігурація NCS з квантуванням і відкиданням пакетів даних з перемикачем

ЗМІННІ ІНТЕРВАЛИ ВИБІРКИ/ПЕРЕДАЧІ

Сигнали у мережевих системах управління необхідно дискретизувати перед їх передачею. Періоди вибірки зазвичай фіксовані у звичайних системах через її простоту в розробці та аналізі і мають назву «вибірка із синхронізацією за часом», «періодична вибірка» або «рівномірна вибірка». Проте, в сучасних структурах NCS вони відрізняються, оскільки вони знаходяться у черзі перед процесом передачі, що залежать від доступності мережі та протоколу, що використовується. Нещодавно було доведено, що вибірка у часі може мати кращу продуктивність, ніж вибірка через фіксовані інтервали[6].

Інший метод – це вибірка, яка ініційована подіями. Її також називають: "вибірка Лебега", або "вибірка на перетині рівнів", "вибірка за величиною" і т. д. У цьому випадку вибірка та передача відбуваються на основі ініціювання події, такого як зміна одного з вихідних сигналів на певне значення.

Використовується кілька підходів до моделювання інтервалів вибірки/передачі, але найбільш відомим з них

є підхід із затримкою на вході з використанням лінійної матричної нерівності. Застосовуючи цей підхід, легко визначити максимальну верхню межу двох послідовних вибірок та спроектувати відповідний контролер для NCS.

ЗМІННІ ЗАТРИМКИ ПЕРЕДАЧІ

Як показано на Рис. 4, NCS має два основних типи затримок:

- 1) затримка між датчиком і контролером, яка є часом між вибіркою сигналу від датчиків і часом його отриманням контролером;
- 2) Затримка між контролером і приводом, яка є часом між генерацією керуючого сигналу і часом його отриманням приводом.

Деякими із джерел цих затримок є обмежена смуга пропускання даних, мережевий трафік і протоколи, що використовуються в мережі[7].

Випадкові затримки між датчиком і контролером, і між контролером та виконавчим механізмом можуть розглядатися та моделюватися як ланцюг Маркова.

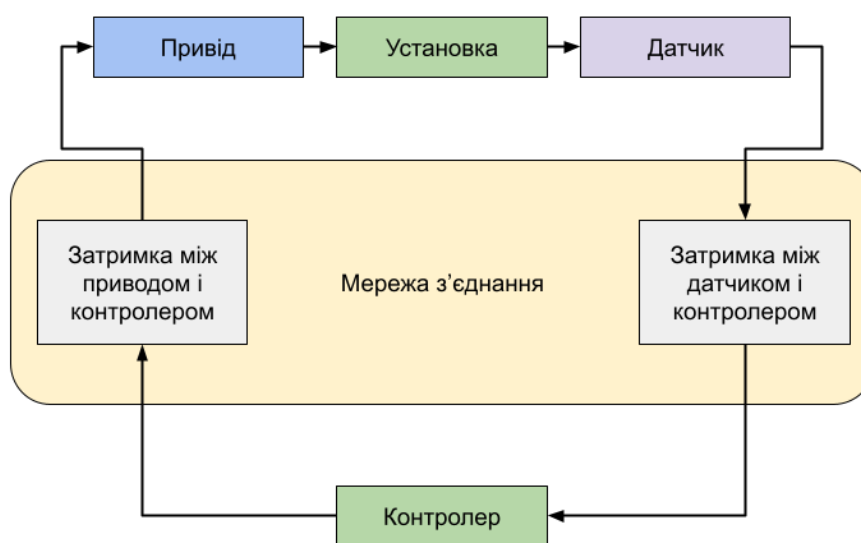


Рис. 4. Конфігурація NCS із затримкою, що спричинена мережею

Існує чотири основні моделі випадкових затримок у мережевих системах контролю:

1) Модель із постійною затримкою

NCS у цій моделі розглядається як детермінована система з постійною затримкою, і зазвичай дорівнює максимальній затримці в системі. Її використовують, коли складно охарактеризувати випадкову затримку у системі. У вузлі контролера (або виконавчого пристрою) створюється буфер приймача, і його розмір дорівнює максимальній затримці. Таким чином, мережеву систему управління можна розглядати як детерміновану систему, після чого об'єктивним буде застосування методів детермінованого управління для досягнення стійкості системи.

2) Взаємозалежна стохастична модель затримки

У тому випадку, якщо ймовірнісна залежність невідома, тоді модель із постійною затримкою та методом детермінованого управління не зможуть досягти необхідної продуктивності системи. Причина полягає у наявності в мережах багатьох стохастичних факторів, таких як: навантаження в мережі, конкуренція між вузлами та перевантаження мережі, і ці фактори створюють затримку стохастичної мережі. Затримку можна змодельовати або як взаємно незалежну, або як імовірно залежну.

3) Модель ланцюга Маркова

Цей тип враховує особливе відношення залежності між затримками, які представляють собою ланцюг Маркова. Ця модель має два типи:

а) Один ланцюг, що включає суму затримок у NCS, тобто «датчик-контролер» та «контролер-датчик».

б) Два ланцюги для моделювання затримки між датчиком і контролером та затримки між контролером та виконавчим механізмом.

4) Прихована марківська модель

У цій моделі всі стохастичні фактори (навантаження в мережі, конкуренція вузлів і навантаження мережі) утворюють приховану змінну і визначаються як стан мережі, і цей стан відповідає за розподіл затримок. Стан мережі не можна спостерігати безпосередньо, його можна оцінити шляхом спостереження за затримками в мережі, тому для опису зв'язку між станом мережі та затримкою в мережі застосовується прихована марківська модель.

ОБМЕЖЕННЯ У КОМУНІКАЦІЇ

У NCS мережа зв'язку зазвичай використовується разом із датчиками і виконавчими органами кількох вузлів, і через обмеження передачі, лише один чи кілька цих вузлів активні одночасно і мають доступом до мережі. Цю причину обмеженого зв'язку можна назвати «обмеженням доступу до середовища». Через це виникає потреба у протоколі для розподілу доступу до мережі кожного вузла. Цей протокол може бути детермінованим або випадковим. Таким чином, модель цих обмежень у NCS може бути як детермінованою, і стохастичною[8].

1) Детермінована модель комунікаційних обмежень

Основною задачею є вибір періодичної послідовності зв'язку і після цього визначення параметрів відповідного контролеру, але цей метод являє собою NP-складне завдання, де задача полягає в тому, щоб спочатку спроектувати контролер, а потім знайти відповідну послідовність зв'язку або в автономному режимі, або в режимі онлайн.

2) Стохастична модель комунікаційних обмежень

У цій моделі використовується протокол управління довільним доступом до середовища передачі (MAC). Вузол перед передачею своїх даних перевіряє відсутність іншого трафіку.

ПІДХОДИ ДО СТАБІЛІЗАЦІЇ NCS

Враховуючи перелічені недосконалості та обмеження, що можуть викликати негативний вплив на мережеві системи управління, а також суттєво погіршити продуктивність її роботи, логічно припустити, що ми маємо перелік певних підходів та рекомендацій, які дозволяють визначити напрямок та метод, за яким можна виконати роботу по покращенню ефективності роботи мережевих систем контролю, в залежності від впливу, що діє на систему. Більш детально вивчення даного питання дає можливість навести кілька методів стабілізації NCS з урахуванням одного чи кількох недоліків. Ці методи, перелічені на Рис. 5, включають: підхід системи вхідної затримки, підхід системи з перемиканням, підхід марківської системи, підхід імпульсної системи, підхід стохастичної системи і підхід прогнозуючого управління.

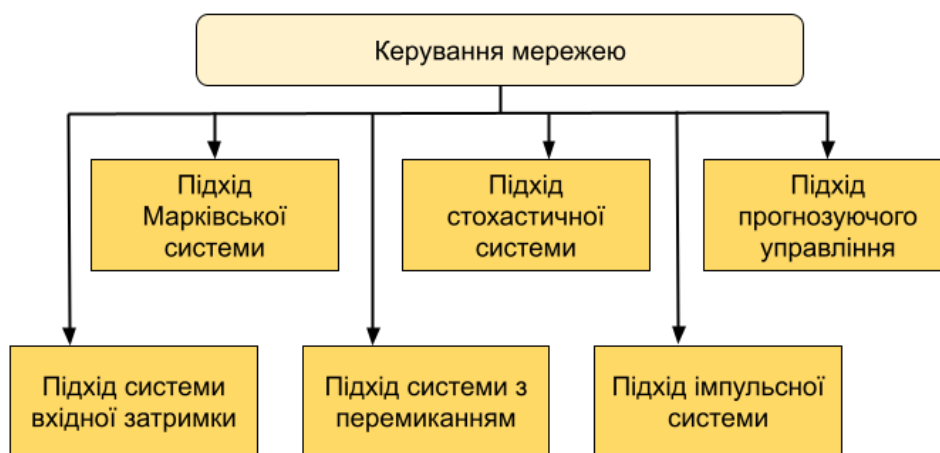


Рис.5. Підходи до стабілізації NCS

Підхід до системи вхідної затримки. При даному підході моделювання мережевої системи управління відбувається у вигляді системи система із змінною у часі затримкою, яка в свою чергу включає: затримку від датчика до контролера, затримку від контролера до виконавчого механізму та подання відключення як затримки. Також за потреби можна врахувати затримку системи під час виконання обчислень.

Підхід до системи вхідної затримки може застосовуватися з іншими протоколами, такими як протокол циклічного перебору і квадратичний протокол, і результати обох з них може бути розширеним та застосованим до дискретного NCS з обмеженнями приводу для систем з більш ніж двома вузлами.

Підхід марківської системи. У цьому підході марківська модель застосовується для представлення NCS замкнутого циклу[9]. Підхід марківської системи може бути застосований до завдання керування транспортним засобом з метою вивчення впливу втрати

пакетів на систему, що використовує бездротову локальну мережу.

Особливий клас гібридних та стохастичних систем називається марківською системою стрибка. Ця система застосовна у багатьох реальних системах, таких як виробничі системи, енергетичні, хімічні, економічні, системи зв'язку та управління.

Підхід до комутованої системи. Даний підхід являє собою систему комутування з дискретним часом і кінцевим числом підсистем. Для мережевої системи управління формується система комутації з дискретним часом і довільною комутацією, при цьому враховувалися ефекти обмеженої невизначеної затримки доступу і втрат пакетів, і в такому випадку, об'єкт являє собою безперервну лінійну стаціонарну систему.

NCS з безперервним часом моделюється як заснована на подіях модель дискретного часу, що допускає нерівномірну вибірку і затримку, що змінюється, перевищує період вибірки, тоді стабільність досягається

шляхом вирішення завдання управління для перемикання політопної системи з додаванням обмеженої невизначеності. Лінійна невизначена система з дискретним перемиканням у часі використовувалася для моделювання NCS, що включає інтервали передачі, що змінюються в часі, де змінюються в часі затримки передачі та обмеження зв'язку. При кожній окремій передачі лише одному відомому вузлу дозволено взаємодіяти з мережею передачі даних. Потім метод опуклого перенаближення у вигляді політопної системи з обмеженою нормою адитивної невизначеності використовувався для визначення критеріїв стійкості цієї NCS. Асимптотична стійкість може бути гарантована на основі квантизатора кінцевим рівнем квантування, а параметри квантизатора будуть відповідним чином налаштовані.

Підхід до комутованої системи можливо реалізувати для NCS із затримками, що викликані мережею, шляхом визначення функції перемикання. NCS із зворотним зв'язком представлена системою перемикання із затримкою та двома режимами перемикання, і кожен режим має контролер з різним коефіцієнтом посилення. Аналіз стійкості проводиться як на основі моделі системи з перемиканням часу, так і на основі методу середнього

часу перебування. Аналогічним чином досягається експоненційна стійкість.

Стохастичний системний підхід. Підхід стохастичної системи застосовується, коли затримки, спричинені мережею, та/або випадання пакетів є випадковими[10].

Імпульсивний системний підхід. У цьому підході NCS представлена гібридною дискретно-безперервною моделлю або, іншими словами, «імпульсною системою».

Підхід до прогнозуючого управління. В даному підході мережний прогнозуючий контролер (NPC) призначений для компенсації впливу тимчасових затримок та втрати пакетів у мережі. Схема системи управління, як показано на Рис. 6, містить у собі генератор управління з прогнозуванням та компенсатор. Набір майбутніх прогнозів керування генерується, інкапсулюється та передається на бік установки генератором прогнозів керування на основі сигналів, що отримані від датчика. Використовуючи останнє керуюче значення з останньої послідовності прогнозування управління, компенсатор призначений для компенсації затримок і провалів, що виникають при передачі від датчика до контролера або від контролера до каналів виконавчого механізму для досягнення бажаної продуктивності

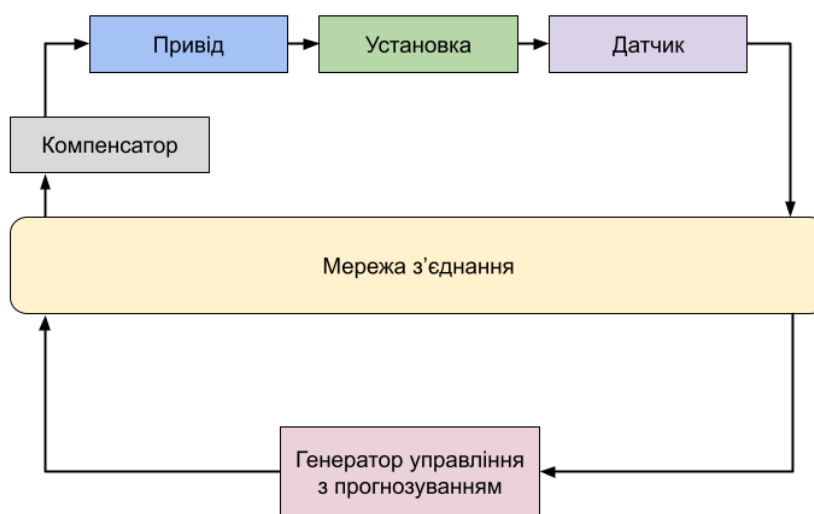


Рис. 6. Конфігурація NCS із використанням прогнозуючого контролера

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу визначено основні поняття та відомості про мережеві системи контролю, їх характеристики і перспективи розвитку і використання даних систем у різних умовах. Можливості мережевих систем контролю дозволяють не лише застосовувати їх при побудові систем різних напрямів - військова сфера, сфера досліджень складно доступної місцевості, космічні

дослідження та багато іншого, більш того переваги NCS дозволяють легко модернізувати, масштабувати і змінювати систему.

Визначено ряд основних недоліків і обмежень мережевих систем контролю. Описано параметри, на які вони найбільше впливають. Приведено схематичне зображення структури NCS з варіантами наявності цих недоліків. Враховуючи це, приведено також і основні

підходи, які використовуються при дослідженні цих аспектів.

Систематизація і класифікація визначених недоліків, а також і підходів для їх усунення дозволяє полегшити процес вибору стратегії забезпечення стабільної роботи мережевої системи управління, розширити перелік параметрів, варіація яких, дозволить збільшити ефективність роботи системи, а також це є вагомим фундаментом для підготовки процесу моделювання подібних систем, оскільки дозволяє спростити процес створення самої моделі системи, контролерів та їх параметрів і більш детально вивчити їх вплив на роботу систему шляхом моделювання, що і планується зробити в подальших роботах для демонстрації наглядних результатів цього.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] R. A. Gupta and M. Chow, "Networked control system: overview and research trends," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 7, pp. 2527–2535, 2010.
- [2] W. P. M. H. Heemels, D. Nešić, A. R. Teel, and N. van de Wouw, "Net-worked and quantized control systems with communication delays," in *Proc. 48th IEEE Conf. Decision and Control (CDC) held jointly with 28th Chinese Control Conf.*, Shanghai, China, 2009, pp. 7929-7935.
- [3] Y. Q. Xia, Y. L. Gao, L. P. Yan, and M. Y. Fu, "Recent progress in networked control systems - a survey," *Int. J. Autom. Comput.*, vol. 12, no. 4, pp. 343-367, Aug. 201. doi: 10.1007/s11633-015-0894-x
- [4] M. Y. Fu and L. H. Xie, "The sector bound approach to quantized feedback control," *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 50, no. 11, pp. 1698-1711, Nov. 2005. DOI: 10.1109/TAC.2005.858689. [Онлайн] URL: <http://surl.li/vmxkbi/>. Дата звернення: 08.04.2024.
- [5] J. L. Xiong and J. Lam, "Stabilization of networked control systems with a logic ZOH," *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 54, no. 2, pp. 358-363, Feb. 2009. DOI: 10.1109/TAC.2008.2008319 [Онлайн] URL: <http://surl.li/fkovsc>. Дата звернення: 08.04.2024.
- [6] D. Zhang, P. Shi, Q. G. Wang, and L. Yu, "Analysis and synthesis of networked control systems: a survey of recent advances and challenges," *ISA Trans.*, vol. 66, pp. 376-392, Jan. 2017. [Онлайн] URL: <http://surl.li/nlxqif>. Дата звернення: 08.04.2024.
- [7] Y. L. Wang and Q. L. Han, "Modelling and controller design for discrete-time networked control systems with limited channels and data drift," *Inf. Sci.*, vol. 269, pp. 332-348, Jun. 2014. [Онлайн] URL: <http://surl.li/kbbgmc>. Дата звернення: 08.04.2024.
- [8] A. L. Garcia and I. Widjaja, *Communication Networks: Fundamental Concepts and Key Architectures*. New York: McGraw-Hill, 2001.

- [9] P. Seiler and R. Sengupta, "Analysis of communication losses in vehicle control problems," in *Proc. 2001 American Control Conf.*, Arlington, VA, USA, pp. 1491-1496.
- [10] D. Yue, E. G. Tian, Z. D. Wang, and J. Lam, "Stabilization of systems with probabilistic interval input delays and its applications to networked control systems," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. A: Syst. Humans*, vol. 39, no. 4, pp. 939-945, Jul. 2009. [Онлайн] URL: <http://surl.li/vhngge>. Дата звернення: 08.04.2024.

RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF NETWORKED CONTROL SYSTEMS

Ivan Chystyk, Viktoriya Voropayeva

The purpose of this work is determined by the need for a detailed study and analysis of possible problems and shortcomings that arise or may arise when creating networked control systems (NCS). Each of the identified negative factors has its own influence and arises in different situations, has its own characteristics and different nature of behavior and origin. Since a detailed study of the operation of networked control systems is usually accompanied by the process of modeling such a system, for the adequacy and accuracy of the modeling process, it is necessary to create the correct apparatus that takes these indicators into account.

The analyzed information from various sources and the reviewed materials made it possible to create an idea of the main types and types of negative factors and shortcomings accompanying the operation of networked control systems. This approach allows for a faster and more focused response to the cause of possible delays in the operation of network control systems, which are caused by certain limitations. Considering that the indicators of speed and accuracy in the operation of control systems are one of the key ones, it would be fair to consider that the intention to improve the situation with the negative influence of such factors is an appropriate and necessary way. Since NCS is a complex system that contains elements of different levels, the very essence of the identified problems was also determined, i.e. not only the reasons for the appearance and occurrence of these factors were clarified, but also what they are, what they influence and to which it can lead to consequences in certain situations and under different conditions.

Taking into account the possible presence of such negative factors in networked control systems, it seems logical to try to determine approaches and methods that can be used to reduce or neutralize this or that limitation in various possible conditions. Understanding the possibility of the presence of negative factors and imperfections in the operation of networked control systems, we have the opportunity to play ahead and lay elements during the design and construction of such a system that will improve the performance of the system.

In relation to these approaches, information is also provided on the conditions in which they can be applied.

Keywords: *networked control systems, modeling, NCS, control, stability of operation.*

REFERENCES

- [1] R. A. Gupta and M. Chow, "Networked control system: overview and research trends," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 7, pp. 2527–2535, 2010.
- [2] W. P. M. H. Heemels, D. Nešić, A. R. Teel, and N. van de Wouw, "Net-worked and quantized control systems with communication delays, " in *Proc. 48th IEEE Conf. Decision and Control (CDC) held jointly with 28th Chinese Control Conf. , Shanghai, China, 2009*, pp. 7929-7935.
- [3] Y. Q. Xia, Y. L. Gao, L. P. Yan, and M. Y. Fu, "Recent progress in networked control systems - a survey, " *Int. J. Autom. Comput. ,* vol. 12, no. 4, pp. 343-367, Aug. 201. doi: 10.1007/s11633-015-0894-x
- [4] M. Y. Fu and L. H. Xie, "The sector bound approach to quantized feedback control, " *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 50, no. 11, pp. 1698-1711, Nov. 2005. DOI: 10.1109/TAC.2005.858689. [Online] URL: <http://surl.li/vmxkby/>. Accessed: 08.04.2024.
- [5] J. L. Xiong and J. Lam, "Stabilization of networked control systems with a logic ZOH, " *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 54, no. 2, pp. 358-363, Feb. 2009. DOI: 10.1109/TAC.2008.2008319 [Online] URL: <http://surl.li/fkovsc>. Accessed: 08.04.2024.
- [6] D. Zhang, P. Shi, Q. G. Wang, and L. Yu, "Analysis and synthesis of networked control systems: a survey of recent advances and challenges, " *ISA Trans. ,* vol. 66, pp. 376-392, Jan. 2017. [Online] URL: <http://surl.li/nlxqif>. Accessed: 08.04.2024.
- [7] Y. L. Wang and Q. L. Han, "Modelling and controller design for discrete-time networked control systems with limited channels and data drift, " *Inf. Sci. ,* vol. 269, pp. 332-348, Jun. 2014. [Online] URL: <http://surl.li/kbbgmc>. Accessed: 08.04.2024.
- [8] A. L. Garcia and I. Widjaja, *Communication Networks: Fundamental Concepts and Key Architectures*. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [9] P. Seiler and R. Sengupta, "Analysis of communication losses in vehicle control problems, " in *Proc. 2001 America Control Conf. , Arlington, VA, USA, pp. 1491-1496*.
- [10] D. Yue, E. G. Tian, Z. D. Wang, and J. Lam, "Stabilization of systems with probabilistic interval input delays and its applications to networked control systems, " *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. A: Syst. Humans*, vol. 39, no. 4, pp. 939-945, Jul. 2009. [Online] URL: <http://surl.li/vhngge>. Accessed: 08.04.2024.