

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-55-34>

УДК 621.391

Васильківський Микола Володимирович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6586-2563>

Коломієць Альона Анатоліївна, д.пед.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2120-7644>

Грабчак Назарій Віталійович, аспірант

Грицаюк Дмитро Юрійович, магістр

Костянін В'ячеслав Юрійович, бакалавр

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ PYTHON МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПРИБОРІВ

Васильківський М.В., Коломієць А.А., Грабчак Н.В., Грицаюк Д.Ю., Костянін В.Ю. Програмні засоби Python моделювання телекомунікаційних пристроїв. Здійснено дослідження комп'ютерної моделі телекомунікаційного пристрою модулятора програмно керованої мережі сформувано передумови для розробки та випробування програмного забезпечення для такого пристрою з метою оптимізації його функціональності, продуктивності та надійності. Разом з тим, визначено необхідний інструментарій для розробки ефективного та гнучкого пристрою модуляції сигналів у програмно керованих мережах зв'язку. Основною метою проекту було створення ефективною комп'ютерної моделі модулятора, що здатна адаптуватися до зміни умов роботи мережі та забезпечувати високу якість передачі даних. Результати тестування показали, що модель демонструє високу продуктивність, стабільність у роботі та адаптивність до різних сценаріїв використання. В роботі передбачено використати модель, яка не тільки ефективно працює на поточному етапі, але й може бути легко адаптована під майбутні потреби та технології. Аналіз сумісності та інтеграційного тестування підтверджує, що модель має високу ступінь масштабованості та може бути інтегрована з різноманітними мережевими ком-понентами. Забезпечення стійкості та надійності моделі було критично важливим для гарантування її ефективного роботи в реальних умовах. Результати тестування на стійкість демонструють, що модель здатна працювати стабільно протягом три-вального часу, без втрати продуктивності або виникнення помилок. Виявлено декілька областей для оптимізації, але загалом модель відповідає вимогам надійності. Підсумковою метою роботи була розробка моделі, яка легко інтегрується з існуючими телекомунікаційними системами та програмно керованими мережами. Результати показали, що модель сумісна з різними операційними системами та мережевими обладнанням, що спрощує процес її впровадження та використання в реальних проектах. Комп'ютерна модель демонструє високу ефективність, адаптивність, надійність та легкість інтеграції, відповідаючи по-требам сучасних телекомунікаційних систем. Проте, виявлені потенційні напрямки для подальшого удосконалення вказують на необхідність продовження роботи над дослідженням, зокрема, оптимізація продуктивності при високих навантаженнях та розширення функціональних можливостей моделі.

Ключові слова: модулятор телекомунікаційних сигналів, об'єктно-орієнтована мова програмування, програмно-керована мережа, програмування телекомунікаційних систем.

Vasylykivskiy M., Kolomiets A., Hrabchak N., Hrytsaiuk D., Kostianin V. Python software tools for modeling telecommunication devices. The study of the computer model of a telecommunications device modulator of a software-controlled network formed the prerequisites for the development and testing of software for such a device in order to optimize its functionality, performance, and reliability. At the same time, the necessary tools for the development of an efficient and flexible signal modulation device in software-controlled communication networks were identified. The main goal of the project was to create an effective computer model of the modulator that can adapt to changes in network conditions and ensure high quality data transmission. The test results showed that the model demonstrates high performance, stability in operation, and adaptability to various usage scenarios. The project sought to develop a model that not only works effectively at the current stage, but can also be easily adapted to future needs and technologies. Compatibility analysis and integration testing confirms that the model has a high degree of scalability and can be integrated with a variety of network components. Ensuring the resilience and reliability of the model was critical to ensure its effective operation in real-world conditions. The results of the robustness testing demonstrate that the model is able to operate stably for a long time, without loss of performance or errors. Several areas for optimization were identified, but overall the model meets the reliability requirements. The final goal of the project was to develop a model that can be easily integrated with existing telecommunication systems and software-defined networks. The results showed that the model is compatible with different operating systems and network equipment, which simplifies the process of its implementation and use in real projects. The computer model demonstrates high efficiency, adaptability, reliability, and ease of integration, meeting the needs of modern telecommunication systems. Nevertheless, the identified potential areas for further improvement indicate the need to continue working on the project, in particular, optimizing performance under high loads and expanding the model's functionality.

Keywords: telecommunication signal modulator, object-oriented programming language, software-controlled network, programming of telecommunication systems.

Постановка наукової проблеми. Створення ефективною та гнучкою системи модуляції відкриває шлях до оптимізації роботи телекомунікаційних мереж та забезпечення їхньої ефективності. Аналіз існуючих рішень та робота з теоретичними основами модуляції сигналів допомагають зрозуміти поточний стан справ у галузі та визначити області для подальших

досліджень та покращень. Архітектура та програмна реалізація розробленої моделі на мові Python відкривають широкі можливості для налаштування та оптимізації телекомунікаційних систем, що є ключовим аспектом в сучасному інформаційному суспільстві [1-2].

Демонстрація потенціалу програмної моделі в реальних умовах відображає практичну значущість дослідження і підтверджує можливості подальшого розвитку цієї галузі. Цей проект може відігравати важливу роль у покращенні телекомунікаційних технологій і сприяти розвитку зв'язку та інформаційних технологій взагалі. Розробка програмного забезпечення на мові Python для моделювання роботи модуля-тора в програмно керованих мережах - це важливий крок для покращення та оптимізації телекомунікаційних систем. Такий підхід відкриває широкі можливості для налаштування та експериментів, що дозволяє збільшити ефективність та якість зв'язку.

Демонстрація потенціалу програмної моделі в реальних умовах є ключовим кроком, оскільки вона підтверджує практичну придатність та ефективність розробленого рішення. Це також формує передумови для подальшого розвитку та застосування цієї технології в різних областях телекомунікацій.

Метою роботи є: дослідження особливостей реалізації та тестування програмного забезпечення, що використовується для моделювання різних аспектів роботи телекомунікаційних пристроїв із врахуванням принципів функціонування телекомунікаційних систем та практичних навичок розробки складних програмних систем.

Аналіз досліджень. Розвиток телекомунікаційних технологій, зокрема програмно керованих мереж (SDN), є важливим фактором у сучасному цифровому світі. SDN дозволяє централізовано управляти мережевими ресурсами, що робить їх більш гнучкими та масштабованими, що відповідає потребам сучасних користувачів, які вимагають швидкого та надійного з'єднання. Проте, ефективне використання SDN також потребує вдосконалення інших елементів мережі, таких як модулятори сигналів. Модуляція сигналів в телекомунікаційних системах є критично важливим етапом, оскільки вона визначає швидкість та ефективність передачі даних. Таким чином, для досягнення повного потенціалу SDN необхідно вдосконалювати й інші компоненти мережі, у тому числі модулятори сигналів, щоб забезпечити оптимальну пропускну здатність, мінімальну затримку та надійність передачі даних [3].

Сучасні телекомунікаційні системи потребують високоефективних та адаптивних модуляторів, які здатні швидко адаптуватися до змінних умов передачі даних. Динамічні зміни в мережі можуть включати зміни в каналних умовах, швидкості передачі даних, потоку користувачів тощо. Оптимальні модулятори сигналів мають бути здатні враховувати ці зміни та адаптуватися до них для забезпечення ефективної передачі даних. Важливо також враховувати, що статичні модулятори можуть бути неефективними в умовах динамічних мереж, оскільки вони можуть не враховувати зміни умов передачі даних. Це може призводити до зниження ефективності передачі даних та збільшення витрат на обслуговування мережі [4].

Розробка комп'ютерної моделі модулятора для програмно керованих мереж, яка б задовольняла сучасні потреби телекомунікаційних систем у плані адаптивності, ефективності та масштабованості, є дуже важливим завданням. Така модель може стати ключовим інструментом для оптимізації процесу модуляції сигналів у динамічно змінюваних умовах мережі. Під час розробки цієї моделі можна врахувати різноманітні параметри та умови, які можуть впливати на процес модуляції, такі як швидкість передачі даних, каналні умови, потік користувачів тощо. Це дозволить побудувати модель, яка буде адаптивною до змін у мережі та забезпечить ефективну передачу даних.

Використання програмного управління в такій моделі відкриває можливості для автоматизації та оптимізації процесу модуляції в реальному часі. Це дозволить забезпечити швидку реакцію на зміни в мережі та максимально використовувати її ресурси. Крім того, така модель може служити інструментом для тестування та оцінки різних алгоритмів та стратегій модуляції, що допоможе вибрати найбільш ефективні рішення для конкретних умов мережі. Отже, розробка комп'ютерної моделі модулятора для програмно керованих мереж відповідає сучасним вимогам телекомунікаційного сектору та може значно покращити ефективність та надійність мережевих інфраструктур.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Вивчення основних принципів модуляції сигналів є ключовим для розуміння технології передачі даних у телекомунікаційних системах. Модуляція полягає в зміні одного або декількох параметрів

носія сигналу (наприклад, частоти, амплітуди або фази) для кодування інформації. Це дозволяє передавати дані через канали з обмеженими характеристиками та максимально використовувати доступну пропускну здатність. Особливості програмно керованих мереж (SDN) полягають у тому, що управління мережею розділене від самої мережі, і програмне забезпечення може централізовано керувати ресурсами мережі через відкритий інтерфейс. Це забезпечує більшу гнучкість та швидкість управління мережею, а також дозволяє ефективніше використовувати її ресурси.

Аналіз існуючих рішень включає вивчення різних підходів до модуляції сигналів та їх вплив на продуктивність та ефективність мережі. Недоліки можуть включати обмежену адаптивність до змінних умов мережі, низьку швидкість реакції на зміни, складність управління та інші проблеми, які обмежують ефективність мережі. Цей аналіз допоможе зрозуміти потреби та вимоги до розробки моделі модулятора для програмно керованих мереж, а також визначити напрямки подальшої роботи над її удосконаленням.

При визначенні вимог до комп'ютерної моделі модулятора для програмно керованих мереж (SDN), ключовим є забезпечення адаптивності, ефективності та сумісності із принципами SDN. Враховуючи ці вимоги, комп'ютерна модель модулятора буде здатна ефективно функціонувати в програмно керованих мережах і відповідати вимогам сучасних телекомунікаційних систем.

При проектуванні архітектури моделі модулятора для програмно керованих мереж необхідно ретельно розглянути вибір алгоритмів модуляції, методів програмного управління та інтерфейсів взаємодії між компонентами. Проектування архітектури повинно забезпечити не лише правильність роботи окремих компонентів, але і їх взаємодію для досягнення загальної мети проекту. Детальне проектування архітектури забезпечить ефективність та надійність моделі модулятора в програмно керованих мережах.

Після проектування архітектури наступним кроком є реалізація програмного коду для комп'ютерної моделі модулятора на мові програмування Python. Під час програмної реалізації необхідно дотримуватися визначених вимог та архітектурного плану. Реалізація програмного коду на Python забезпечить функціональність моделі модулятора та її взаємодію з програмно керованими мережами. Після розробки програмного коду моделі модулятора на мові Python необхідно провести тестування для перевірки її роботи у різних сценаріях використання. Після завершення тестування моделі та аналізу результатів, ви зможете впевнено використовувати її у програмно керованих мережах, забезпечуючи високу адаптивність, ефективність та стабільність передачі даних.

Після проведення тестування моделі модулятора і аналізу результатів можна зробити оцінку її ефективності та потенціалу для впровадження в реальні телекомунікаційні системи. На основі задіяних критеріїв і отриманих висновків можна прийняти рішення щодо подальшого використання та розвитку розробленої моделі модулятора для телекомунікаційних систем.

Підготовка технічної документації є важливою частиною розробки будь-якого програмного продукту, включаючи модель модулятора для телекомунікаційних систем. Документація має бути структурованою та легко зрозумілою для будь-якого користувача чи розробника, який має намір використовувати чи розширювати модель. Це допоможе забезпечити ефективне використання моделі та сприятиме подальшому розвитку проекту. Так, виконання цих завдань сприятиме досягненню мети проекту і реалізації його ключових цілей. Розробка ефективної та адаптивної комп'ютерної моделі модулятора відповідно до вимог сучасних програмно керованих телекомунікаційних мереж є ключовою для оптимізації роботи телекомунікаційних систем та забезпечення їхньої ефективності.

Завдання, описані вище, охоплюють всі аспекти розробки моделі, починаючи від теоретичного аналізу і визначення вимог, через проектування архітектури та програмну реалізацію, до тестування, оцінки результатів і підготовки документації. Кожен етап є важливим для забезпечення якості та ефективності розробленої моделі. Розробка такої моделі дозволить не лише вдосконалити роботу конкретних телекомунікаційних систем, а й сприятиме загальному розвитку сфери телекомунікацій та впровадженню передових технологій у цей сектор. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям у розвитку інформаційних технологій і забезпечує основу для майбутнього розвитку програмно керованих телекомунікаційних мереж.

Розвиток систем автоматизованого програмування інфокомунікаційних мереж. Системи автоматизованого програмування інфокомунікаційних мереж є ключовими компонентами для управління та оптимізації сучасних телекомунікаційних інфраструктур. Основною метою цих систем є автоматизація процесів конфігурації, моніторингу, управління та відлагодження інфраструктури мережі для забезпечення надійної та ефективної роботи. Основні функції систем

автоматизованого програму-вання інфокомунікаційних мереж включають [6]:

- Автоматизоване конфігурування мережі;
- Моніторинг та діагностика мережі;
- Автоматизоване управління пропускнуою здатністю;
- Резервне копіювання та відновлення конфігурації;
- Інтеграція з принципами SDN;
- Автоматизоване виявлення та вирішення проблем.

Ці системи є важливим інструментом для операторів телекомунікаційних мереж, оскільки вони до-звояють підтримувати високу продуктивність та надійність мережі при мінімальному втручанні опера-тора.

Отже, програмно керовані мережі (SDN) відкривають нові можливості для мережевого управління та реалізації технологій, проте вони також вносять свої виклики і недоліки.

Централізоване управління SDN може створювати нові точки вразливості, оскільки контролер стає однією з ключових мішеней для атак. Додатково, перехід до SDN може потребувати перегляду і перепроєктування заходів безпеки. Оскільки контролер стає центральним елементом управління мережею, він має бути вкрай надійним. Відмова контролера може призвести до серйозних перебоїв у роботі мережі.

Перехід до SDN вимагає від адміністраторів мережі вивчення нових концепцій, протоколів та ін-струментів управління. Це може бути складно для тих, хто вже працює з традиційними мережами. Пере-хід до SDN може потребувати оновлення або заміни існуючого обладнання та програмного забезпечен-ня, що може бути дорогим та складним процесом [7].

Незважаючи на ці виклики, SDN продовжують розвиватися та стають все більш популярними за-вдяки своїм перевагам у гнучкості, масштабованості та ефективності управління мережею. З плином ча-су, багато з цих проблем можуть бути вирішені завдяки розвитку технологій та вдосконаленню практич-ного досвіду у роботі з SDN [8].

Дослідження технологій побудови модуляторів сучасних телекомунікаційних систем. Модулятори є важливою складовою телекомунікаційних систем, оскільки вони відповідають за перетворення цифрової інформації на радіосигнали, які можуть бути передані через канали зв'язку. Вони забезпечують ефективне використання радіочастотного спектра та забезпечують надійну передачу даних.

Сучасні технології модуляції пропонують широкий спектр методів, включаючи амплітудну моду-ляцію (AM), частотну модуляцію (FM), фазову модуляцію (PM), квадратурну амплітудну модуляцію (QAM) та інші. Вибір конкретного методу модуляції залежить від вимог до пропускнуої здатності каналу зв'язку, якості зв'язку, вартості обладнання та інших факторів. Крім того, сучасні модулятори також включають різноманітні технології для оптимізації передачі даних, такі як цифрове перетворення сиг-налу (DAC), алгоритми корекції помилок, а також методи управління потоком даних. Ці технології сприяють підвищенню ефективності та надійності передачі даних у телекомунікаційних системах. Використання передових алгоритмів кодування та модуляції дійсно покращує стійкість сигналу до перешкод та знижує ймовірність помилок при передачі. Це особливо важливо в умовах шумного середовища або на довгих дистанціях передачі [1, 4].

Сучасні методи модуляції, які надають високу ефективність та гнучкість, можуть мати свої склад-нощі при реалізації в практиці. Складність реалізації може виникати через потребу у високоякісному апаратному та програмному забезпеченні, що може підвищувати вартість та складність телекомуніка-ційних систем. Наприклад, для підтримки високошвидкісної передачі даних за допомогою складних ме-тодів модуляції можуть знадобитися спеціалізовані обчислювальні пристрої та швидкість обробки даних.

Потреба в високій потужності обчислень також може бути проблемою, оскільки алгоритми адаптивної модуляції та кодування можуть вимагати значних обчислювальних ресурсів для аналізу умов каналу та оптимізації параметрів передачі в реальному часі. Деякі методи модуляції також можуть бути чутливими до параметрів каналу, таких як затухання та флуктуації сигналу. Це може призвести до вимог до високоякісної інфраструктури для досягнення оптимальної продуктивності, що може збільшувати вартість та складність реалізації системи.

Особливості розроблення комп'ютерної моделі. При розробці комп'ютерної моделі модулятора для програмно керованої мережі дуже важливо врахувати ряд ключових вимог, які забезпечать її ефективність, адаптивність та інтегрованість в сучасні телекомунікаційні системи.

Модель повинна мати здатність динамічно адаптуватися до змінних умов мережі та

параметрів пе-редачі даних, таких як швидкість передачі, рівень шуму та стан каналу зв'язку. Модель повинна бути оптимізована для ефективного використання обчислювальних та мережових ресурсів. Це включає уникнення зайвих операцій та оптимізацію алгоритмів обробки даних. Модель повинна бути сумісною з принципами програмно керованих мереж, забезпечуючи можливість централізованого управління та взаємодії з іншими компонентами мережі. Модель повинна бути відповідно захищеною від помилок та перешкод, що можуть виникнути в мережі. Це може включати в себе використання методів помилкового виявлення та корекції, а також механізмів автоматичного відновлення після збоїв. Модель повинна мати зрозумілий та легкий у використанні інтерфейс, що дозволить легко інтегрувати її в існуючі телекомунікаційні системи та програми управління мережею. Забезпечення виконання цих вимог допоможе створити реалістичну та практичну модель, яка буде відповідати потребам користувачів та вимогам сучасних телекомунікаційних систем [2, 4].

Архітектура комп'ютерної моделі модулятора для програмно керованої мережі (SDN) відображає сучасні потреби телекомунікаційних систем у високій адаптивності, ефективності та інтегрованості. Вказана комп'ютерна модель може бути розроблена з урахуванням конкретних потреб і характеристик телекомунікаційної системи, забезпечуючи гнучкість та широкі можливості для оптимізації роботи системи передачі даних.

Вибір версії Python є важливим аспектом при розробці програмного забезпечення. Python 3 має ба-гато переваг і його використання рекомендується для нових проєктів, які спрямовані на досягнення високої продуктивності, ефективності та безпеки.

Бібліотеки NumPy і SciPy є незамінними для обробки та аналізу числових даних, а також для вико-нання наукових обчислень. NumPy: надає потужні структури даних, такі як масиви (ndarray), які дозво-ляють ефективно працювати з великими обсягами даних; містить широкий набір функцій для математичних операцій, векторизації та роботи з масивами; є основою для багатьох інших бібліотек та інструментів для наукових обчислень у Python. SciPy: містить розширений набір алгоритмів для наукових обчислень, таких як оптимізація, інтеграція, інтерполяція, оптимізація функцій, розв'язання диференціальних рівнянь та багато іншого; є високорівневим інтерфейсом до операцій NumPy та інших бібліотек, що полегшує роботу з числовими даними та виконання складних наукових обчислень. Обидві ці бібліотеки часто використовуються для моделювання модуляційних процесів, оскільки вони надають інструменти для обробки, аналізу та оптимізації числових даних, які часто виникають у сфері сигнальної обробки та телекомунікацій. Вони можуть бути використані для виконання різних завдань, від обробки сигналів до моделювання та аналізу модуляційних схем.

Matplotlib є потужною бібліотекою для візуалізації даних у Python. Вона надає широкий спектр можливостей для створення різноманітних типів графіків, включаючи лінійні графіки, стовпчаті діаграми, кругові діаграми, гістограми, контурні графіки, графіки розсіювання та багато інших. Matplotlib дозволяє налаштовувати практично всі аспекти графіків, включаючи колір, стиль ліній, розмір шрифту, маркери точок та багато іншого. Вона інтегрується з іншими бібліотеками Python, такими як NumPy, що дозволяє легко візуалізувати дані, оброблені в NumPy масивах. Разом з тим, можна використовувати Matplotlib для створення візуальних зображень, які допоможуть у зрозумінні результатів моделювання, аналізу даних та представленні висновків з ефективності модуляції та діагностики можливих проблем у моделі телекомунікаційної системи [5].

Jupyter Notebook є потужним інструментом для розробки та демонстрації комп'ютерних моделей у Python, особливо у випадках, коли потрібно поєднати код, текстові пояснення та візуалізації в одному документі.

Бібліотеки PyQt та Tkinter є популярними інструментами для розробки графічного інтерфейсу користувача (GUI) у Python. Обидві бібліотеки мають свої переваги та недоліки, і вибір між ними залежить від потреб, рівня зручності використання та функціональних вимог проєкту. Якщо потрібен потужний та багатофункціональний інтерфейс, PyQt може бути кращим вибором. Однак, якщо потрібно щось просте та швидкозрозуміле, Tkinter може бути оптимальним варіантом.

Git є важливим інструментом для розробника програмного забезпечення. Дозволяючи відстежувати зміни, зберігати різні версії програмного коду, співпрацювати з іншими членами команди та впроваджувати нові функції, Git робить процес розробки більш організованим та ефективним. Крім того, Git забезпечує можливість відновлення коду в разі виникнення проблем та гарантує безпеку телекомунікаційного проєкту.

Планування та реалізація комп'ютерної моделі модулятора для програмно керованої мережі

вимагає систематичного та уважного підходу. Python є потужним інструментом для реалізації таких моделей, оскільки він має велику кількість бібліотек для наукових обчислень, а також простий та зрозумілий синтаксис.

Створення комп'ютерної моделі модулятора для програмно керованої мережі вимагає ретельного планування та реалізації програмного коду. Використання Python дозволяє ефективно впоратися з цим завданням завдяки його високому рівню абстракції та великій кількості доступних наукових та інженерних бібліотек. Нижче наведено огляд ключових компонентів програмного коду для реалізації такої моделі.

Першим кроком у реалізації моделі є ініціалізація необхідних бібліотек та встановлення параметрів модуляції. Це включає імпорт бібліотек NumPy для числових обчислень та Matplotlib для візуалізації, а також визначення основних параметрів, таких як частота несучої хвилі, швидкість передачі даних, та тип модуляції.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# Параметри модуляції
carrier_freq = 1e3 # Частота несучої хвилі
data_rate = 1e2 # Швидкість передачі даних
modulation_type = 'QAM' # Тип модуляції
```

Далі необхідно згенерувати інформаційний сигнал, який буде модульовано, та несучу хвилю. Інформаційний сигнал може бути представлений у вигляді випадкового двійкового потоку, тоді як несуча хвиля генерується як синусоїда з заданою частотою.

```
# Генерація інформаційного сигналу
data_length = 100 # Кількість бітів даних
data = np.random.randint(0, 2, data_length)
# Генерація несучої хвилі
t = np.linspace(0, data_length / data_rate, num=int(data_length * 100))
carrier_wave = np.sin(2 * np.pi * carrier_freq * t)
```

На наступному етапі реалізується власне процес модуляції, в залежності від вибраного типу модуляції. Наприклад, для QAM модуляції сигнал модулюється шляхом зміни амплітуди та фази несучої хвилі.

```
def qam_modulate(data, carrier_wave, data_rate):
    # Прикладна реалізація QAM модуляції
    # З цього місця може бути розширена для конкретної логіки QAM
    modulated_signal = carrier_wave * data # Упрощена демонстрація
    return modulated_signal
modulated_signal = qam_modulate(data, carrier_wave, data_rate)
```

Візуалізація інформаційного сигналу, несучої хвилі та модульованого сигналу допомагає в аналізі процесу модуляції та діагностиці потенційних проблем.

```
plt.figure(figsize=(15, 5))
plt.subplot(1, 3, 1)
plt.plot(t[:1000], data[:10], label="Data Signal")
plt.title("Data Signal")
plt.subplot(1, 3, 2)
plt.plot(t, carrier_wave, label="Carrier Wave")
plt.title("Carrier Wave")
plt.subplot(1, 3, 3)
plt.plot(t, modulated_signal, label="Modulated Signal")
plt.title("Modulated Signal")
plt.show()
```

Цей базовий приклад демонструє основні етапи розробки програмного коду для моделі

модулятора телекомунікаційної системи.

Методологія тестування функціональних вузлів телекомунікаційних систем та аналіз результатів

Для забезпечення надійності та ефективності комп'ютерної моделі модулятора для програмно-керованої мережі, ретельне тестування є критично важливим. Методологія тестування повинна охоплювати різні аспекти моделі, від індивідуальних компонентів до загальної функціональності та продуктивності. Нижче описані ключові етапи методології тестування [6].

Юніт-тестування полягає в перевірці окремих компонентів моделі, таких як алгоритми модуляції, генерації сигналів та демодуляції, на предмет коректності їх роботи. Цей етап включає написання тестових сценаріїв, які викликають різні функції моделі з контрольованими вхідними даними та перевіряють, чи відповідають вихідні дані очікуваним результатам.

Після того, як окремі компоненти були протестовані, наступним кроком є інтеграційне тестування, де перевіряється взаємодія між різними частинами системи. Це дозволяє виявити проблеми у взаємодії компонентів, такі як неправильна передача даних або конфлікти в ресурсах.

Тестування продуктивності оцінює, наскільки ефективно модель виконує свої задачі під навантаженням. Це включає вимірювання часу обробки сигналів, споживання пам'яті та процесорного часу при різних рівнях навантаження. Цей тип тестування допомагає виявити потенційні "вузькі місця" в продуктивності та визначити оптимальні конфігурації для роботи моделі.

Оскільки модель модулятора може використовуватися в різних мережевих середовищах, важливо забезпечити її сумісність з різними платформами та протоколами. Тестування сумісності включає перевірку роботи моделі в різних операційних системах, з різними версіями Python та іншим мережевим обладнанням.

Тестування на стійкість перевіряє здатність моделі продовжувати ефективно функціонувати протягом тривалого часу під стандартним або підвищеним навантаженням. Це допомагає виявити потенційні проблеми з пам'яттю, витоками ресурсів або збоями, що можуть виникати при тривалій роботі.

Після застосування зазначеної методології тестування до комп'ютерної моделі модулятора для програмно-керованої мережі, отримано наступні результати, що відображають ефективність, надійність та готовність моделі до використання.

Юніт-тестування показало, що всі індивідуальні компоненти моделі, включаючи алгоритми модуляції, генерації сигналів та демодуляції, працюють коректно відповідно до специфікацій. Всі тестові сценарії, що охоплюють різноманітні вхідні дані та умови, були успішно пройдені без виявлених помилок або непередбачених поведінок.

Інтеграційне тестування виявило високу сумісність та ефективну взаємодію між різними компонентами системи. Дані успішно передаються між модулями без втрат або спотворень, а змінені параметри модуляції коректно впливають на роботу моделі. Тестування також підтвердило, що система адаптується до змін умов мережі, забезпечуючи оптимальну продуктивність [7].

Під час тестування продуктивності модель продемонструвала здатність ефективно обробляти великі обсяги даних з мінімальними затримками. Модель показала стабільну роботу при різних рівнях навантаження, хоча і було виявлено незначне зниження продуктивності при екстремально високому обсязі даних, що вказує на потенційні напрямки для оптимізації.

Тестування сумісності підтвердило, що модель коректно функціонує в різних операційних системах та середовищах. Взаємодія з програмно керованими мережевими компонентами відбувається без помилок, демонструючи готовність моделі до інтеграції у складні телекомунікаційні системи.

Довготривале тестування на стійкість показало, що модель здатна безперервно працювати протягом тривалого часу без втрати продуктивності або стабільності. Не було виявлено витоків пам'яті або інших проблем, що можуть призвести до збоїв у системі.

Загалом, результати тестування свідчать про високу готовність комп'ютерної моделі модулятора до застосування в реальних умовах. Проте, ідентифіковані області для подальшої оптимізації та поліпшення продуктивності при високому навантаженні вказують на необхідність продовження роботи над проектом.

Аналіз отриманих даних після тестування комп'ютерної моделі модулятора. Отримані результати тестування комп'ютерної моделі модулятора надають важливу інформацію для оцінки її ефективності, надійності та готовності до інтеграції у програмно керовану мережу. Аналіз цих даних

дозволяє визначити сильні сторони моделі, виявити потенційні проблеми та напрямки для подальшого удосконалення.

Результати юніт-тестування та інтеграційного тестування підтвердили високу ефективність окремих компонентів моделі та їх здатність коректно взаємодіяти один з одним. Це свідчить про успішну реалізацію основних алгоритмів модуляції та обробки сигналів. Також, адаптивні можливості моделі, які були перевірені під час інтеграційного тестування, демонструють її здатність оптимально функціонувати в динамічних умовах мережі.

Незважаючи на загалом позитивні результати, тестування продуктивності виявило зниження ефективності при екстремально високих рівнях навантаження. Це вказує на потенційні "вузькі місця" в архітектурі моделі, які можуть потребувати оптимізації для підтримки більш високих обсягів даних.

Результати тестування на стійкість демонструють, що модель здатна працювати стабільно та безперервно протягом тривалого часу, що є критично важливим для її застосування в реальних телекомунікаційних системах. Відсутність витоків пам'яті та інших критичних проблем підтверджує високу якість розробки та ефективність використання ресурсів [8].

Тестування сумісності підтвердило, що модель може бути успішно інтегрована у різноманітні про-грамно-керовані мережеві середовища, вказуючи на її універсальність та гнучкість. Це розширює потенційні сфери застосування моделі та забезпечує її сумісність з існуючими та майбутніми технологіями в телекомунікаціях.

По завершенню розробки та тестування комп'ютерної моделі модулятора для програмно-керованої мережі, важливо оцінити, наскільки успішно були досягнуті поставлені цілі проекту. Цей аналіз дозволяє зрозуміти ефективність виконаної роботи та визначити напрямки для подальшого розвитку.

Після успішного завершення основних етапів розробки та тестування комп'ютерної моделі модулятора для програмно керованої мережі, визначення перспектив подальшого розвитку проекту є важливим для забезпечення його тривалої актуальності та вдосконалення. Один з основних напрямків подальшого розвитку полягає у розширенні функціональних можливостей моделі. Це може включати інтеграцію додаткових алгоритмів модуляції, які можуть підтримувати новітні стандарти та вимоги до телекомунікаційних систем. Також важливим є розробка механізмів для більш глибокої адаптації моделі під змінні умови мережі. Незважаючи на вже досягнуту високу продуктивність, завжди існує потенціал для її покращення. Оптимізація коду, використання більш ефективних алгоритмів обчислень та паралелізація процесів можуть сприяти збільшенню швидкості обробки даних та зменшенню затримок.

Для зручності використання моделі кінцевими користувачами, важливо зосередитися на розробці та покращенні інтерфейсу користувача. Це може включати створення графічного інтерфейсу, який дозволяє легко налаштовувати параметри модуляції, візуалізувати процеси модуляції та аналізувати результати в реальному часі. Для підвищення універсальності та практичної цінності моделі, важливо працювати над її інтеграцією з іншими телекомунікаційними та інформаційними системами. Це може включати розробку API для легкої інтеграції з програмно керованими мережами, системами управління даними та іншими інструментами аналізу.

У сучасному цифровому світі питання безпеки даних є критично важливим. Розробка додаткових механізмів шифрування та захисту даних, які передаються за допомогою модулятора, є важливим напрямком для подальших досліджень і вдосконалення моделі. Вказані напрямки подальшого розвитку не лише сприятимуть покращенню існуючої моделі модулятора, але й забезпечать її адаптацію до майбутніх технологічних викликів та потреб користувачів, відкриваючи нові можливості для її застосування в телекомунікаціях.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Розвиток високоефективних та адаптивних модуляторів є важливим напрямком для покращення телекомунікаційних систем і забезпечення їхньої ефективності та надійності в умовах сучасного цифрового світу.

Розробка ефективного та адаптивного модулятора, який би був інтегрований у програмно-керовані мережі, дійсно може вирішити багато викликів, з якими стикаються сучасні телекомунікаційні системи. Підтримка високої адаптивності та ефективності у передачі даних дозволить оптимізувати використання мережевих ресурсів, зменшувати затримки у передачі даних та підвищувати загальну продуктивність телекомунікаційних систем. Це особливо важливо в умовах зростаючих потреб користувачів та швидко-змінюваних вимог цифрового світу. Розв'язання

цієї проблеми може відкрити шлях до створення мереж нового покоління, які будуть готові ефективно адаптуватися до змінних потреб користувачів та динамічно мінятися, щоб забезпечити найвищу якість обслуговування. Це є ключовим аспектом розвитку телеко-мунікаційного сектору в майбутньому.

Список бібліографічного опису

1. Васильківський, М. В. Програмні технології в інфокомунікаційних системах. Навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Васильківський М. В., Бортник Г. Г., Кичак В. М. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 141 с.
2. Основи програмування (Python, Java) : лабораторний практикум / Смотр О., Придатко О., Малець І. – Львів : ЛДУ БЖД, 2019. – 134 с.
3. Програмування мовою Python / О.М. Васильєв. — Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2019. — 504 с.; іл.
4. Васильківський, М., Коломієць, А., & Грабчак, Н. (2022). Дослідження функціональних параметрів інфокомунікаційних мереж 6G. Вісник Хмельницького національного університету, (6), 46–52. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-46-52>
5. Шарадкін Д.М., Субач І.Ю., Микитюк А.В. Інструментальні засоби Python для моделювання та системного аналізу часових рядів при вирішенні задач кіберзахисту інформаційно-комунікаційних систем: навч. пос. / Шарадкін Д.М., Субач І.Ю., Микитюк А.В.; ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.- 139 с.
6. Березовський В. С. Чисельні методи з прикладами реалізації мовою Python / В. С. Березовський, Л. Є.Ковальов, М. О.Медведева : навчальний посібник. Умань : ВПЦ «Візаві», 2023. 88 с.
7. Васильківський, М., Прикмета, А., Олійник, А., & Нікітович, Д. (2023). Оптимізація інтелектуальних телекомунікаційних мереж. Вісник Хмельницького національного університету, Технічні науки. – 2023. – № 1. (317). – С. 33–41. doi: 10.31891/2307-5732-2023-317-1-33-41
8. М. Васильківський, О. Городецька, Б. Климчук, і В. Говорун, «Стратегії технологічного розвитку апаратного забезпечення інфокомунікаційних радіомереж», ІТКІ, вип. 56, вип. 1, с. 83–91, Бер 2023.

References

1. Vasykivskiy, M. V. Prohramni tekhnolohii v infokomunikatsiinykh systemakh. Navchalnyi posibnyk dlia studentiv spetsialnosti 172 «Telekomunikatsii ta radiotekhnika» : elektronnyi navchalnyi posibnyk kombinovanoho (lokalnoho ta merezhnoho) vykorystannia [Elektronnyi resurs] / Vasykivskiy M. V., Bortnyk G. G., Kychak V. M. – Vinnytsia : VNTU, 2023. – 141 s. [in Ukrainian].
2. Osnovy prohramuvannia (Python, Java) : laboratornyi praktykum / Smotr O., Prydatko O., Malets I. – Lviv : LDU BZhD, 2019. – 134 s. [in Ukrainian].
3. Prohramuvannia movoiu Python / O.M. Vasyliiev. — Ternopil: Navchalna knyha – Bohdan, 2019. — 504 s.; il. [in Ukrainian].
4. Vasykivskiy, M., Kolomiets, A., & Hrabchak, N. (2022). Doslidzhennia funktsionalnykh parametriv infokomunikatsiinykh merezh 6G. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, (6), 46–52. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-46-52> [in Ukrainian].
5. Sharadkin D.M., Subach I.Iu., Mykytiuk A.V. Instrumentalni zasoby Python dlia modeliuvannia ta systemnoho analizu chasovykh riadiv pry vyrishenni zadach kiberzakhystu informatsiino-komunikatsiinykh system: navch. pos. / Sharadkin D.M., Subach I.Iu., Mykytiuk A.V.; ISZZI KPI im. Ihoria Sikorskoho. – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2023.- 139 s. [in Ukrainian].
6. Berezovskyi V. Ye. Chyselni metody z prykladamy realizatsii movoiu Python / V. Ye. Berezovskyi, L. Ye.Kovalov, M. O.Medvedieva : navchalnyi posibnyk. Uman : VPTs «Vizavi», 2023. 88 s. [in Ukrainian].
7. Vasykivskiy, M., Prykmeta, A., Oliinyk, A., & Nikitovych, D. (2023). Optyimizatsiia intelektualnykh telekomunikatsiinykh merezh. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, Tekhnichni nauky. – 2023. – № 1. (317). – S. 33–41. doi: 10.31891/2307-5732-2023-317-1-33-41 [in Ukrainian].
8. M. Vasykivskiy, O. Horodetska, B. Klymchuk, i V. Hovorun, «Stratehii tekhnolohichnoho rozvytku aparatnoho zabezpechennia infokomunikatsiinykh radiomerezh», ITKI, vyp. 56, vyp. 1, s. 83–91, Ber 2023. [in Ukrainian].