



Гергана Петкова Матеева

**МОДЕЛИРАНЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ НА КОМУНИКАЦИОННИ
СТРАТЕГИИ В УПРАВЛЕНИЕ НА ИНФОРМАЦИОННИ ПРОЦЕСИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация
за придобиване на образователната и научна степен „доктор“

по докторска програма „Информатика“

професионално направление 4.6. “Информатика и компютърни науки“

Научен ръководител: проф. д-р Татяна Атанасова

София, 2025 г.

Дисертационният труд е обсъден и допуснат до защита на разширено заседание на секция „Моделиране и оптимизация“ при ИИКТ-БАН, състояло се на 01.09.2025 г.

Дисертационният труд е структуриран в увод, 3 глави, заключение, приноси, насоки за бъдещи изследвания, списък на публикациите, списък на забелязаните цитирания, декларация за оригиналност на резултатите и библиография. Дисертационният труд е в общ обем от 135 страници, 48 фигури, 9 таблици и 130 литературни източника.

Защитата на дисертацията ще се състои на2025 г. от часа в зала на блок 2 на ИИКТ-БАН на открито заседание на научно жури в състав:

Научно жури

- 1.....
- 2.....
- 3.....
- 4.....
- 5.....

Рецензиите и становищата на членовете на научното жури и авторефератът са публикувани на сайта на ИИКТ-БАН.

Материалите за защитата са на разположение на интересуващите се в стая 315 на ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 2.

Автор: Гергана Петкова Матеева

Заглавие: Моделиране и оптимизация на комуникационни стратегии в управление на информационни процеси

Въведение

Настоящият дисертационен труд анализира съществуващи и предлага модели за използване на информационни и комуникационни технологии (ИКТ) за предоставяне на информация и управление на информационни процеси. Освен това, той разглежда комбинирането на тези ИКТ технологии с други техники и методи за евристична оптимизация и управлявани от изкуствен интелект подходи за оптимизиране на стратегии в управление на информационни процеси. Изследването предлага нова хибридна рамка за оптимизация на комуникационни стратегии в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси.

Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на дисертационния труд е да се разработят модели и методи за оптимизация на комуникационни стратегии в управление на информационни процеси. За постигането на тази цел са дефинирани следните задачи:

- Да се разработят евристични методи за оптимизация на комуникационни стратегии при управление на информационни процеси в дигитална среда.
- Да се предложи модификация на генетичните алгоритми за оптимизация на комуникационни стратегии в управление на информационни процеси.
- Да се предложи метод за подобряване на ефективността на генетичните алгоритми за целите на управление на информационни процеси.
- Да се разработят модели, които позволяват ефективна реализация и прилагане на разработените евристични методи на хетерогенни мобилни и IoT устройства в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси.
- Да се предложи подход за оценка на ефекта от приложението на разработените модели и методи за оптимизация на комуникационни стратегии за управление на информационни потоци в разпределени дигитални среди.

Структура на дисертацията

Дисертационният труд е структуриран в три глави:

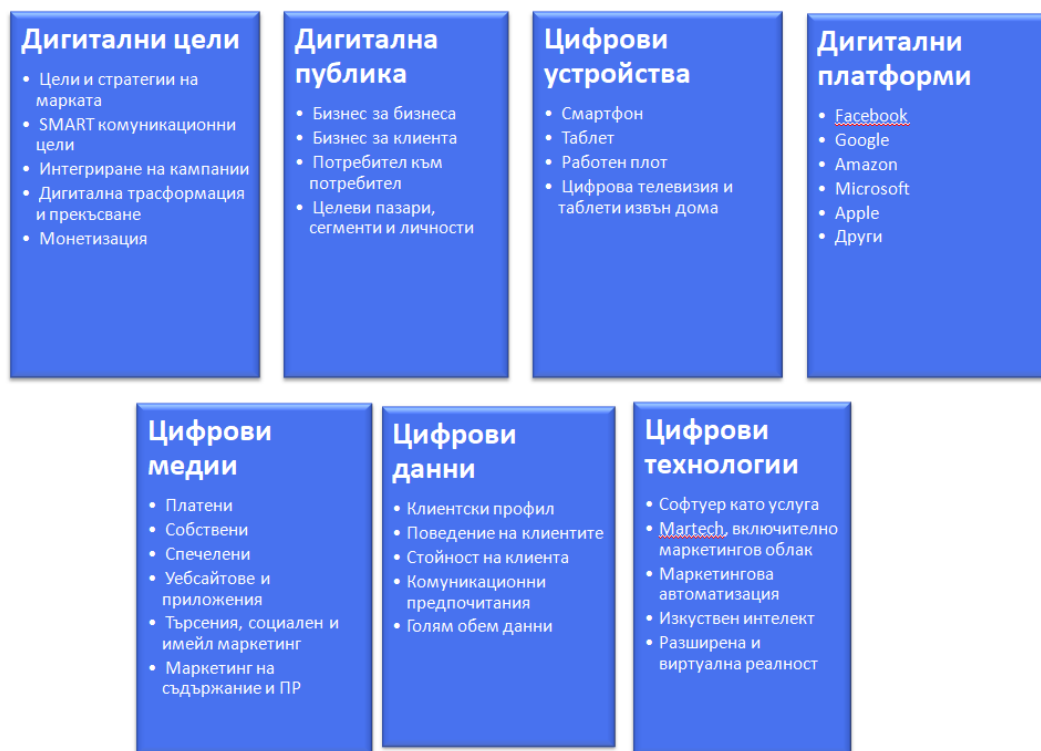
- Глава 1 представя аналитичен обзор на съвременни тенденции в разработването на комуникационни стратегии и технологии за управление на информационни процеси.
- Глава 2 описва разработените евристични методи, по-конкретно ДНК-вдъхновена модификация на генетичните алгоритми и адаптивна апроксимация на целевите функции за оптимизация на комуникационни стратегии в управление на информационни процеси.
- Глава 3 обхваща моделите, които позволяват ефективно прилагане на евристичните методи на хетерогенни мобилни и IoT устройства в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси, включително техническите и архитектурни аспекти на управлението на информационни потоци с детайлната имплементация.

Глава 1. Съвременни тенденции в разработване на комуникационни стратегии за управление на информационни процеси

Първа глава на дисертационния труд представлява аналитичен обзор на съвременните тенденции в разработването на комуникационни стратегии и технологии за управление на информационни процеси.

1.1. Информационни процеси в дигитална среда

Напредъкът на информационните и комуникационни технологии (ИКТ) е довел до съвременната информационна ера, където ИКТ са трансформиращи фактори в различни индустрии. Информационният процес включва събиране, обработка, придобиване, записване, организиране, извличане, показване и разпространение на данни, с крайна цел анализа на информацията [Galbraith, 1977]. Дигиталната среда обхваща разнообразни цифрови устройства, платформи, медии, данни и технологии, които подпомагат постигането на дигитални цели. Тази среда е илюстрирана на Фигура 1.1. За ефективното функциониране на съвременните организации е ключово задълбоченото разбиране на комуникацията като основен механизъм за управление и обмен на информация.



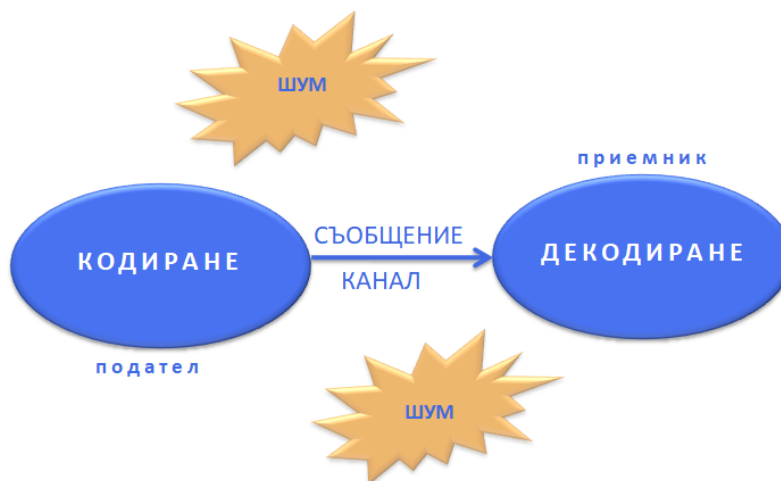
Фигура 1.1. Дигитална среда (Адаптирано от:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1029313222000719>)

1.2. Модели на комуникация

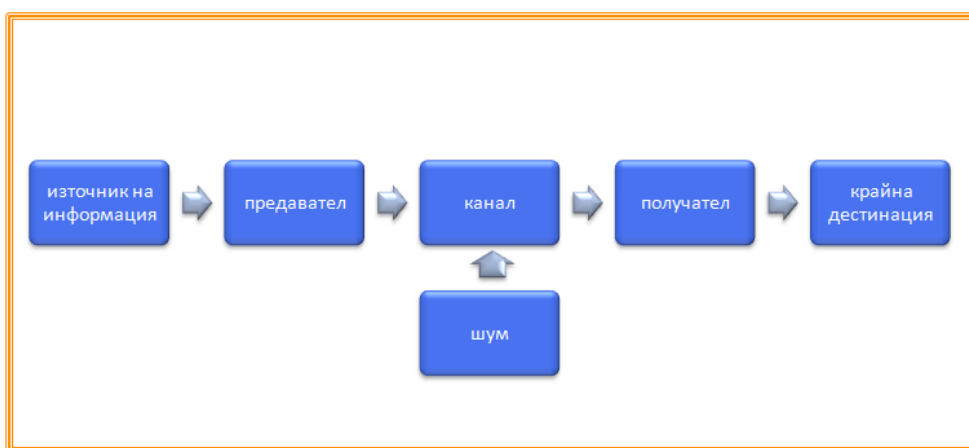
Терминът „комуникация“ произлиза от латински и означава „споделяне“, „съобщаване“, „разделяне“ или „предаване“, акцентирайки върху създаването на общност, свързването и взаимодействието между хората. За да бъде ефективна, комуникацията

изисква посланията да са ясни, кратки, конкретни, достоверни и съобразени с контекста и аудиторията.

➤ **Линеен модел на комуникация:** Представа комуникацията като еднопосочен процес от подател към получател, подобно на модела на Аристотел и по-късно развит от Шенън и Уивър. Този модел включва елементи като източник на информация, предавател, канал, шум (всякакви смущения), приемник и крайна дестинация. Визуализиран е на Фигура 1.2. и Фигура 1.3.

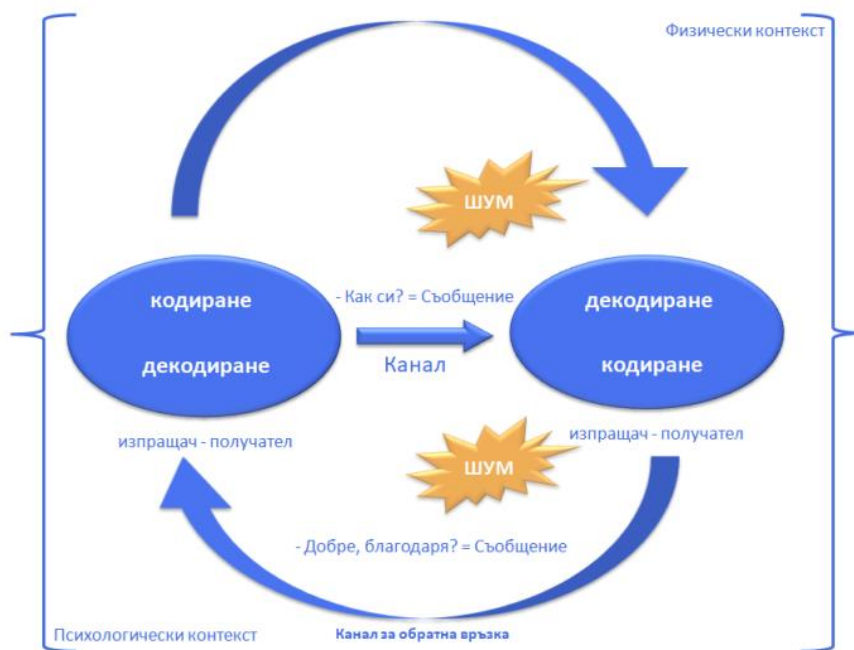


Фигура 1.2. Линеен модел на комуникация (Адаптирано от: <https://pressbooks.bccampus.ca/professionalcomms/chapter/3-2-the-communication-process-communication-in-the-real-world-an-introduction-to-communication-studies/>)



Фигура 1.3. Модел за линейна комуникация на Шенън и Уивър (Адаптирано от: <https://www.novavizia.com/model-za-linejna-komunikatsiya-na-shenyn-i-uivyr/>.)

➤ **Интерактивен модел на комуникация:** Разглежда комуникацията като двупосочен процес с обратна връзка, където участниците редуват ролите си на подател и получател. Акцентът е върху непрекъснатия процес и значението на обратната връзка, вместо само върху успешното предаване [А. С. Elkins et al, 2012]. Илюстриран е на Фигура 1.4.



Фигура 1.4. Интерактивен модел на комуникация

➤ Транзакционен модел на комуникация: Описва комуникацията като постоянен процес, при който участниците едновременно изпращат и получават съобщения, съвместно създавайки социална реалност в даден контекст. Участниците се разглеждат като "комуникатори". Представен е на Фигура 1.5.

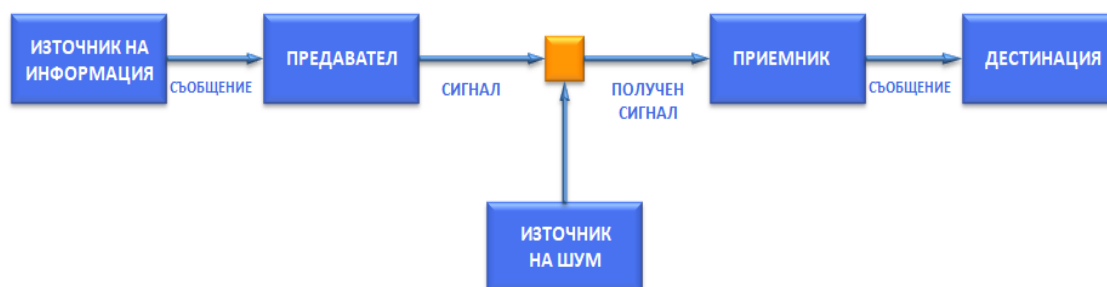


Фигура 1.5. Транзакционен модел на комуникация

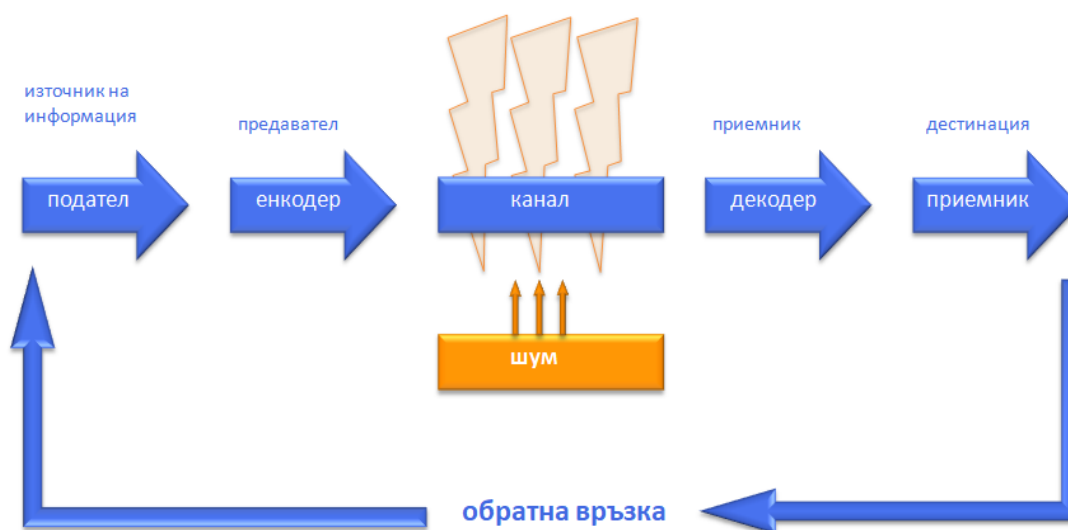
1.3. Теоретични основи и съвременни комуникационни модели

Тази секция изследва както класически, така и модерни подходи, базирани на интелигентни агенти и сложни организационни структури.

➤ Комуникационен модел на Шанън-Уивър: Линеен и еднопосочен модел за предаване на съобщения, включващ шест основни елемента. Той е широко приложим в технически и мрежови комуникационни системи за оптимизация на потока от данни. Основните му елементи са показани на Фигура 1.6., а влиянието на шума – на Фигура 1.7.

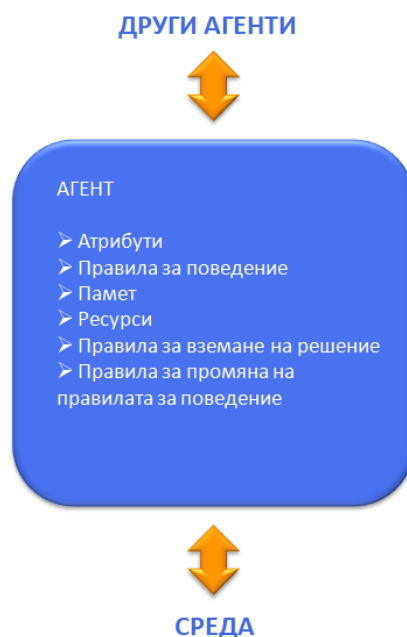


Фигура 1.6. Основни елементи на модела на Шанън-Уивър

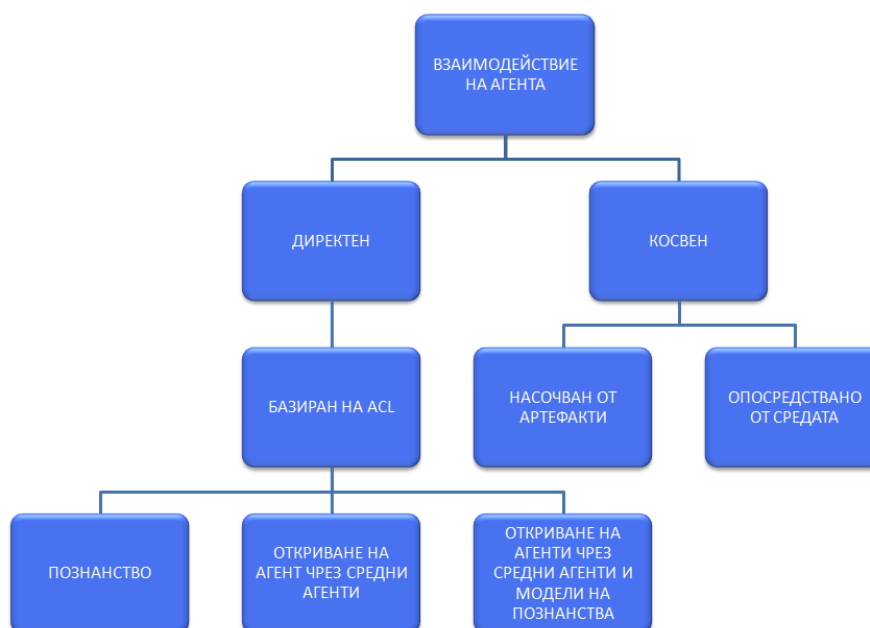


Фигура 1.7. Влияние на шума в комуникационния процес

➤ Комуникационен модел, базиран на агент: Използва автономни софтуерни агенти, управлявани от изкуствен интелект (AI), които взаимодействат и оптимизират обмена на данни в мултиагентни системи (MAS). Те подпомагат автоматизираното вземане на решения. Типичните характеристики на автономен агент са показани на Фигура 1.8., а таксономията на моделите на взаимодействие – на Фигура 1.9.



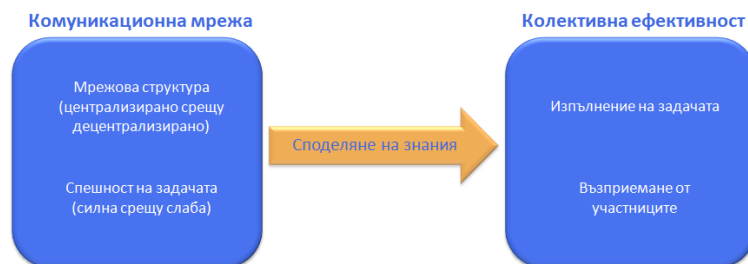
Фигура 1.8. Типични характеристики на автономен агент (Адаптирано от: Мартин Иванов, Съвременно приложение на многоагентните симулационни модели в изследванията и в практиката, Нов български университет, Департамент „Информатика“)



Фигура 1.9. Таксономия на моделите на взаимодействие между агентите (Адаптирано от: Bandini Stefania, Sara Manzoni and Giuseppe Vizzari, Agent Based Modeling and Simulation: An Informatics Perspective, Journal of Artificial Societies and Social Simulation 12 (4) 4, 2009, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/4/4.html>)

➤ Йерархични и децентрализирани комуникационни модели: Йерархичните модели са със структурирана комуникация отгоре надолу, характерна за корпоративни среди, докато децентрализираните осигуряват сигурна и разпределена комуникация (напр. peer-to-peer или базирани на блокчейн системи). Хибридните структури съчетават предимствата на двата

подхода. Теоретичен модел е илюстриран на Фигура 1.10. Таблица 1.1. обобщава основните разлики по отношение на вземане на решения, комуникация, отговорност и мащаб на системата.



Фигура 1.10. Теоретичен модел на централизирана/децентрализирана комуникационна структура (Адаптирано от: Ding, X., Shen, W., & Wang, S. (2024). Centralized or Decentralized? Communication Network and Collective Effectiveness of PBOs — A Task Urgency Perspective. Buildings, 14(2), 448. <https://doi.org/10.3390/buildings14020448>)

Основни разлики	ЦЕНТРАЛИЗИРАНА	ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНА
Вземане на решение	Един основен контролиращ елемент дефинира процесите и стратегиите.	Различни компоненти в системата взимат самостоятелни решения, свързани с техните области.
Комуникация	Потоъкът на информация е предимно еднопосочен, от управляващия център към изпълнителните елементи, които реализират задачите.	Компонентите на системата обменят информация по-гъвкаво и директно помежду си, което позволява по-свободен обмен на информационни потоци.
Отговорност	Основната отговорност е концентрирана в централния управляващ елемент, който ръководи изпълнението на информационните процеси с минимална външна намеса.	Отговорността е разпределена между взаимодействащите компоненти в комуникационната система, което осигурява възможност за обратна връзка и адаптация в управлението на информационните процеси.
Мащаб на системата	Този модел е често по-подходящ за системи с по-малък мащаб или по-малък брой взаимодействащи елементи и информационни потоци.	Обикновено е ефективна за системи с голям мащаб и множество разпределени компоненти, където е необходимо гъвкаво управление на информационните процеси.

Таблица 1.1. Сравнение между централизирани и децентрализирани модели

➤ Теоретично-игров комуникационен модел: Оптимизира стратегическите взаимодействия между агенти в конкурентни или кооперативни настройки, намирайки приложение в киберсигурността и бизнес преговорите [Marchao et al., 2020].

➤ Моделиране и симулация в комуникацията: Интегрира комуникацията между проектиране, производство, маркетинг и управление за оптимизация на цялата верига за разработване на продукти и процеси [Balasko et al., 2008].

➤ Управление на качеството на данните в информационни процеси: Включва дефиниране на стандарти, контрол и непрекъснато подобрене на информационните потоци за осигуряване на точност, пълнота, навременност и релевантност на информацията.

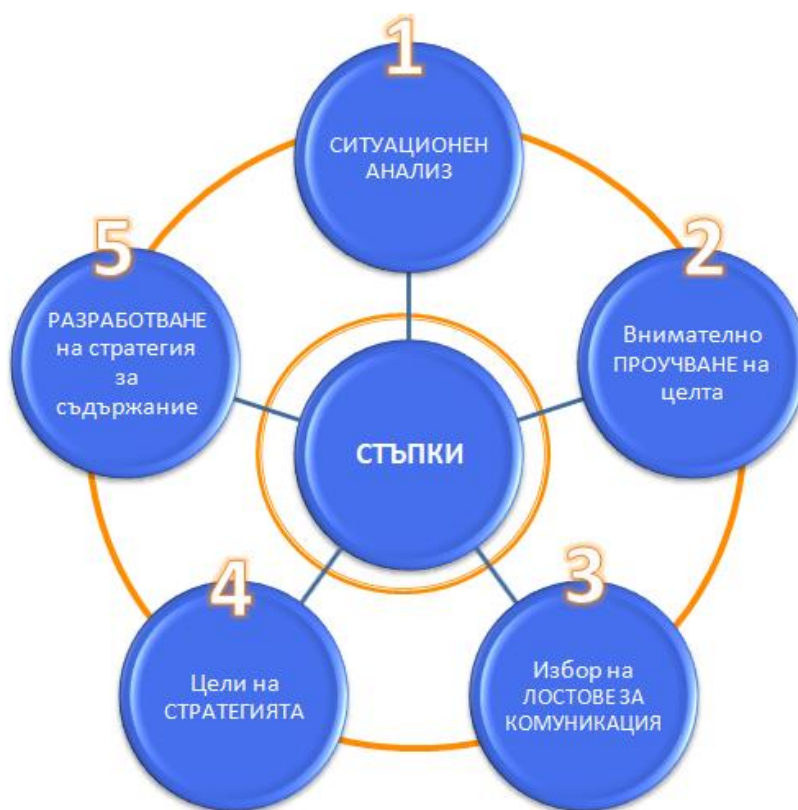
Фигура 1.11. представя структурирано основните направления и взаимовръзки в комуникационните стратегии [Glowalla et al., 2014] и [Demirdöğen et al., 2020].



Фигура 1.11. Комуникационни стратегии (Scopus)

1.4. Комуникационни стратегии в дигитална среда

Комуникационните стратегии в дигитална среда се фокусират върху постигане на цели чрез използване на онлайн платформи и инструменти. Стратегическата комуникация е преднамерен и систематичен подход за предаване на съобщения, съобразени с ценностите и целите на организацията. Управлението на информацията концептуално се разделя на фази: събиране, съхранение, анализ и предаване [Hinton, 2006]. Разработването на дигитална комуникационна стратегия включва последователни стъпки, визуализирани на Фигура 1.12.



Фигура 1.12. Стъпки в създаване на дигитална комуникационна стратегия (Адаптирано от: <https://dottopia.com/what-is-digital-communication-strategy/>)

Те обхващат събиране и анализ на информация, определяне на канали и целеви аудитории, избор на подходящи комуникационни лостове, анализ и интерпретация на данни, формулиране на ключови съобщения, както и мониторинг, обратна връзка и адаптация.

Таблица 1.2. обхваща връзки между социални, технически и управленски елементи, комуникация, организационна култура, разпространение на информация, управление на информацията, съответствие с ИКТ, участие на заинтересовани страни и подобрене. Успешната стратегия информира, подготвя за промяна и убеждава в правилността на решенията.

Характеристика	Описание
Взаимовръзка на социални, технически и управленски компоненти	Интегрирането на социални, технически и управленски елементи гарантира, че комуникацията е изчерпателна и обхваща всички аспекти на организацията.
Комуникация отгоре надолу и отдолу нагоре	Информацията трябва да тече двупосочно, като се гарантира, че всички нива на организацията са ангажирани и информирани.
Привеждане в съответствие с организационната култура и стратегия	Това подравняване помага за постигането на организационните цели и повишава ефективността на организацията.
Канали за разпространение на информация	Идентифицирането и използването на основните канали за разпространение на информация е от решаващо значение. Това включва както официални, така и неформални канали, за да се гарантира, че информацията достига ефективно до всички съответни заинтересовани страни.
Фази на управление на информацията	Комуникационната стратегия трябва да обхваща ключови фази от управлението на информацията: събиране, съхраняване, анализиране и предаване на информация. Този структуриран подход гарантира, че информацията се управлява ефикасно и ефективно.

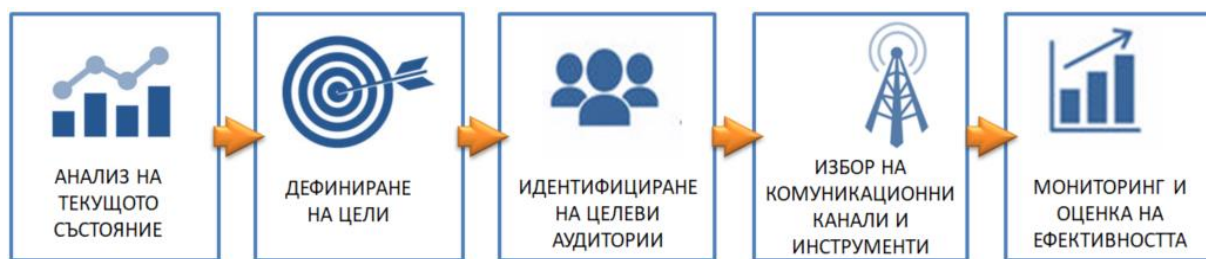
Стратегическо привеждане в съответствие с ИКТ	Комуникационните стратегии трябва да бъдат съгласувани с ИКТ. Това съгласуване помага за оптимизиране на използването на ИКТ за по-добро управление на информацията и процесите на вземане на решения.
Ангажираност на заинтересованите страни и обратна връзка	Това гарантира, че комуникационната стратегия е добре приета и разбрана от всички участващи страни, улеснявайки по-плавното прилагане на стратегиите.
Непрекъснато подобряване и адаптиране	Комуникационните стратегии трябва да бъдат динамични и адаптивни към промените. За поддържане на ефективна комуникация е необходимо непрекъснато усъвършенстване въз основа на обратна връзка и променящи се организационни нужди.

Таблица 1.2. Основни изисквания към комуникационните стратегии

1.5. Компоненти на съвременните комуникационни стратегии

Съвременните комуникационни стратегии включват няколко основни компонента:

- **Интегриране на ИКТ:** Фундаментален елемент, предоставящ инфраструктура, инструменти и платформи за ефективно събиране, обработка, съхранение и разпространение на информация, подпомагайки автоматизацията и взаимодействието.
- **Стратегическо планиране и управление на комуникацията:** Систематичен процес на планиране, изработване и разпространение на съобщения, съобразени с целите на организацията. Ключовите етапи са представени на Фигура 1.13.



Фигура 1.13. Ключови етапи в комуникационната стратегия

- **Интеграция на организационните процеси и комуникационните потоци:** Осигурява синхронизация и координация между различни звена (проектиране, производство, маркетинг, управление) за оптимизация на веригата за продукти и услуги.
- **Човешкият фактор и културният контекст:** Отчита мотивацията, нагласите, културните особености и очакванията на участниците за изграждане на доверие и сътрудничество.
- **Мониторинг, оценка и адаптация:** Механизми за своевременно идентифициране на проблеми, адаптиране на подходите и непрекъснато усъвършенстване на стратегията.

1.6. Роля и въздействие на ИКТ в комуникационните стратегии за управление на информационни процеси

ИКТ са от решаващо значение в няколко аспекта:

- **Значение на ИКТ за вземане на решения и управление:** Предоставят надеждни методи за събиране, достъп, съхраняване, обработка, разпространение и оценка на информация,

което е от съществено значение за ефективното управление и повишаване на конкурентоспособността [Escobar-Toledo&Martínez-Berumen, 2011; 2013]. Значението е илюстрирано на Фигура 1.14.



Фигура 1.14. Значение на ИКТ за вземане на решения и управление

➤ Роля на ИКТ в управлението на знания и иновации: Подпомагат придобиването, разпространението и използването на знания, жизненоважни за иновации, управлявани от служители, и цялостна организационна ефективност.

➤ Интеграция и дигитализация на управленските системи: ИКТ рационализират оперативни, тактически и стратегически процеси, укрепват комуникационните връзки и са основа за преход към технологиите на Четвъртата индустриална революция [Caffrey&McDonagh, 2015].

➤ Необходимост от динамично адаптиране на комуникационните стратегии: Променящите се изисквания на околната среда налагат динамични комуникационни стратегии за поддържане на конкурентоспособността, включително цялостни процеси за управление на риска [deFreitas et al., 2018].

1.7. Предизвикателства при прилагането на комуникационни стратегии за управление на информационните процеси в организационното управление

Прилагането на комуникационни стратегии е съпроводено с редица предизвикателства:

➤ Сложни организационни структури: Матричните структури представят уникални комуникационни предизвикателства поради своята сложност [Gillard, 2005].

➤ Децентрализирано споделяне на данни: Ефективната оценка на заявките и интегрирането на информация са трудни поради припокриване на информация и необходимост от обработка между източници [Chen et al, 2008].

➤ Ефективна комуникация и контрол на управлението: Липсата на ефективни комуникационни механизми може да възпрепятства контрола на управлението и организационната ефективност [Chtioui&Dubuisson, 2020].

➤ Динамични и развиващи се изисквания: Променящите се изисквания на средата налагат динамични стратегии, а несъответствието на абстракцията на информационните системи води до неефективност [Bendoly et al, 2008].

➤ **Технологична интеграция и адаптация:** Сложността на интегриране на различни източници на информация и поддържането на актуална информация е значително предизвикателство, особено при прехода към електронно управление на документи [Pobegaylov et al, 2016].

1.8. Оптимизация и усъвършенстване на комуникационните стратегии

Оптимизацията е ключов фактор за организационния успех, включващ систематични подходи за анализ, подобрене и адаптация.

➤ **Анализ и оценка на комуникационните процеси:** Започва с детайлен анализ на съществуващите процеси, събиране на данни, използване на комуникационни модели и обратна връзка. Таблица 1.3. описва стъпки като събиране на данни, използване на комуникационни модели, визуален анализ, анализ на обратна връзка, оценка на ефективността на каналите и определяне на причините.

1. Събиране на данни
• Анкети и интервюта: Провеждат се с участниците в комуникационния процес, за да се събере обратна връзка относно честотата, каналите, качеството и резултатите от комуникацията. • Наблюдение: Анализ на реални комуникационни ситуации с цел откриване на затруднения или неефективност.
2. Използване на комуникационни модели
• Линейни, интерактивни, транзакционни и агент-базирани модели: Изследват се различните аспекти на комуникацията – кой е източникът, как се предава информацията, кой е получателят и каква обратна връзка се получава.
3. Визуален анализ чрез графики и диаграми
• Графики като приложената: Визуализират се ключови етапи и възможни проблемни зони, което улеснява идентифицирането на слабите места.
4. Анализ на обратната връзка
• Качествен и количествен анализ: Оценява се съдържанието на обратната връзка, за да се установят често срещани затруднения, неясноти или липса на информация.
5. Оценка на ефективността на каналите
• Сравнение между различни канали: Установява се кои комуникационни канали са най-ефективни и къде се наблюдават затруднения или забавяния.
6. Определяне на причините за проблемите
• Коренен анализ: Анализ на причинно-следствени връзки, за да се открият първопричините за комуникационните затруднения.

Таблица 1.3. Идентифициране и анализ на проблемни зони в комуникационните процеси

- Внедряване на съвременни ИКТ: Интеграцията на иновативни ИКТ е съществена за оптимизация, позволявайки автоматизация, персонализация и сегментиране на аудитории. Ролята на ИКТ е представена на Фигура 1.15.



Фигура 1.15. Интеграция на ИКТ в комуникационните стратегии

- Съвременни индустриални разработки за комуникация: Използват се аналитични инструменти за непрекъснат мониторинг на ключови показатели за ефективност (KPI), предоставящи визуални отчети и препоръки. Таблица 1.4. включва Trello, Asana, Slack, Microsoft Teams, Lightico, Google Analytics, Hootsuite, с техните функции и приложения.

Инструмент	Функции	Приложения
Trello	Управление на задачи и процеси	Планиране и проследяване на кампании
Asana	Координация на екипни задачи	Оптимизация на вътрешна комуникация
Slack	Реално времева комуникация	Подобряване на вътрешната комуникация
Microsoft Teams	Видео конферентни връзки и чат	Управление на дистанционни екипи
Lightico	Анализ на разговори и KPI	Оптимизация на клиентски взаимодействия
Google Analytics	Измерване на трафик и конверсии	Оценка на дигитални кампании
Hootsuite	Управление и анализ на социални медии	Мониторинг и адаптация на стратегии

Таблица 1.4. Основни аналитични инструменти за оптимизация на комуникационни стратегии

- Управление на информационното претоварване: Критичен аспект, включващ гарантиране на качеството на информацията и стратегии за предотвратяване на претоварване [Erppler 2015]. Крива на ефективността на Фигура 1.16. илюстрира как увеличеното

количество информация може да подобри, но след определена точка да намали ефективността на вземане на решения.



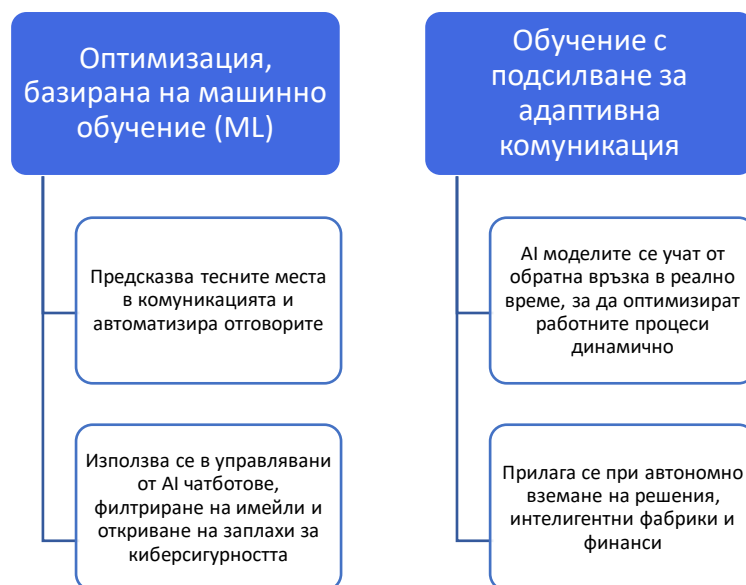
Фигура 1.16. Крива на ефективност

- Интеграция на организационните процеси и комуникационните потоци: Оптимизацията изисква интеграция между различни процеси за по-добра координация и обмен на информация.
- Оценка на въздействието и непрекъснато усъвършенстване: Периодични ревизии и анализ на обратна връзка за адаптация към динамични промени и устойчиво развитие.

1.9. Методи за оптимизация на комуникационните стратегии

За подобряване на комуникационните стратегии се прилагат евристични и управлявани от AI техники. Те са предназначени да подобрят ефикасността и ефективността в сложни системи, включително хиперевристички и мета-евристични техники. Фигура 1.17. визуализира тези подходи.





Фигура 1.17. Методи за оптимизация

➤ Техники и методи за оптимизация:

- Генетични алгоритми (GA): Стохастични оптимизационни методи, вдъхновени от естествения подбор, използващи селекция, мутация и кръстосване за оптимални решения в адаптивно мрежово маршрутизиране и разпределение на облачни ресурси [Cormen, T. H. Et al, 2022].

- Оптимизация на рояка частици (PSO): Алгоритъм, базиран на колективното поведение на рояци, прилаган в самоорганизиращи се комуникационни мрежи и IoT системи [Heaton, J., 2014; Iba Hitoshi, 2020].

- Оптимизация на колонията на мравки (ACO): Алгоритми, имитиращи поведението на мравките при търсене на храна, използвани за динамично маршрутизиране на съобщения [Heaton, J., 2014; Iba Hitoshi, 2020].

- Машинно обучение (ML): Предсказва тесни места, автоматизира отговорите, интегрира се в AI-базирани системи за повишаване на ефективността и сигурността [P. Petrov et al, 2022].

- Обучение с подсилване: Позволява на AI моделите да се учат от обратна връзка в реално време за динамична оптимизация на комуникационни и работни процеси [P. Petrov et al, 2022].

➤ Практически приложения на оптимизирани комуникационни стратегии. Приложението в практиката се обобщава в следните основните технологични направления:

- Корпоративна комуникация и сътрудничество: Виртуални AI асистенти и автоматизирано управление на работни процеси намаляват човешката намеса.

- Облачни и разпределени изчисления: Балансиране на натоварването и периферни изчисления (Edge Computing) оптимизират комуникацията и намаляват забавянията.

- Киберсигурност и защитен обмен на информация: Блокчейн комуникация осигурява прозрачност и доверие, а AI откриване на заплахи предотвратява неоторизиран достъп.

- Интернет на нещата (IoT) и интелигентни системи: Самооптимизирани се IoT мрежи и AI-подсилена предсказуема поддръжка подобряват надеждността и адаптивността.

1.10. Съвременни тенденции в развитието на комуникационните стратегии за управление на информационните процеси

Тези тенденции се фокусират върху повишаване на ефективността, автоматизацията и вземането на решения и са обобщени на Фигура 1.18.



Фигура 1.18. Основни съвременни тенденции в развитието на комуникационните стратегии за управление на информационни процеси

➤ Комуникация и автоматизация, управлявана от AI: AI чатботове и виртуални асистенти с NLP подобряват комуникацията в реално време, намаляват човешката намеса и подпомагат вземането на решения чрез предсказателен анализ.

➤ Управление на знания и големи данни: Развитието на Big Data и квантовите изчисления трансформира анализа на данни, изисква ефективно управление на знанията и нови подходи [Van De Bogart, 2015].

➤ Управление на риска в цифровата трансформация: Ефективни комуникационни стратегии трябва да включват механизми за управление на риска, свързани с новите рискове от цифровата трансформация [Salutina et al, 2023].

➤ Интерактивна и динамична комуникация: Използва нови технологии за подобряване на ангажираността и ефективността, разчитайки на динамични стратегии за търсене [Tešić, 2016].

➤ Специфични за сектора на телекомуникациите приложения: Развитието на цифрови стратегии е жизненоважно за конкурентно предимство, чрез иновативни решения и нови бизнес модели [Polyanin et al, 2017; Martyakova et al, 2019; Folch&Tamayo, 2008; Prokofiev et al, 2021].

➤ Технологии за базирано в облак и отдалечено сътрудничество: Платформи като UCaaS обединяват комуникационни канали, а облачните решения и блокчейн технологиите подобряват прозрачността и сигурността за хибридна и отдалечена работа.

- Интегриране на IoT&EdgeComputing: Интелигентни IoT устройства автоматизират обмена на информация, а Edge Computing намалява латентността в чувствителни към времето приложения.
- Оптимизация на комуникацията, управлявана от данни: Динамична автоматизация на работния процес и технологията Digital Twin регулират информационния поток и симулират стратегии за оптимизация.
- Блокчейн и киберсигурност в комуникацията: Децентрализирани блокчейн мрежи осигуряват прозрачност и неизменност, а моделите за сигурност с нулево доверие и криптирането от край до край повишават защитата.
- Адаптивна и съобразена с контекста комуникация: AI персонализира информационния поток, а геймификацията повишава ефективността.
- Човекоцентрични и межкултурни комуникационни стратегии: Емоционален AI и многоезичен AI превод подобряват човешките взаимодействия и глобалните информационни процеси, съобразени с дигиталната етика.
- Бъдещи тенденции в оптимизацията на комуникационните стратегии: Включват квантова комуникация (QKD) за изключителна сигурност, 5G/6G мрежи за високоскоростна свързаност, сътрудничество с AI и холографски интерфейси за по-сигурни, бързи и интелигентни стратегии.

1.11. Изводи

Моделирането и оптимизирането на комуникационните стратегии в управлението на информационните процеси значително подобрява тяхната ефективност, сигурност и адаптивност. Чрез използване на AI, евристични алгоритми и децентрализирани архитектурни модели, организацията могат да постигнат ефективно, управлявано от данни вземане на решения. Бъдещите тенденции ще наблегнат на по-голяма адаптивност, персонализация и вземане на решения в реално време. Интеграцията на технологиите в комуникационните стратегии оптимизира вземането на решения, вътрешната комуникация, бизнес процесите, гъвкавостта, управлението на рисковете и сътрудничеството.

Глава 2. Методи за евристична оптимизация на комуникационни стратегии в управление на информационни процеси

Тази глава се фокусира върху използването на евристични и мета-евристични методи за оптимизация на комуникационните стратегии в управлението на информационни процеси, като акцентира върху ефективността и справянето със сложността на системите.

2.1. Евристични методи за оптимизация на комуникационните стратегии

За подобряване на ефикасността и ефективността на комуникацията в сложни системи, дисертационният труд предлага използването на хипер-евристика и мета-евристични техники.

2.1.1. Хипер-евристика (HyperHeuristics)

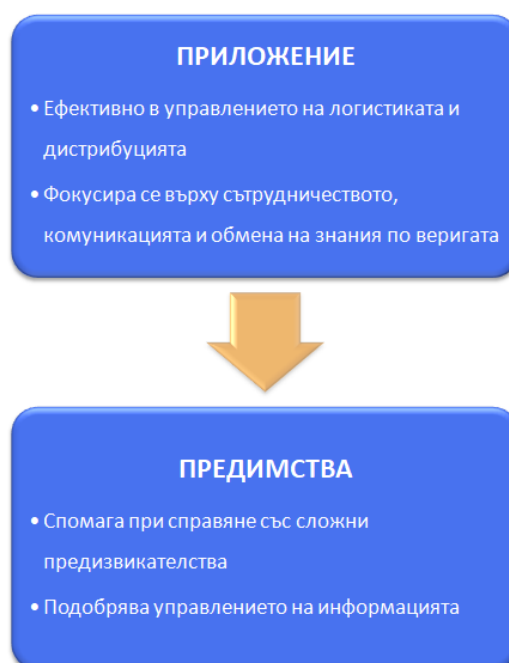
Хипер-евристиката е стратегия от високо ниво, която избира, комбинира или генерира евристика за решаване на проблеми. Тя използва информация, получена по време на процеса на търсене, често включваща вероятностен метод за подбор и механизми за възнаграждение и наказание за оптимизация [Navarro M.A. et al, 2023].



Фигура 2.1. Информация на процеса на търсене

2.1.2. Мета-евристични техники (MetaHyper Heuristics)

Мета-евристичните техники (МНТ) се използват за ефективно управление на информацията в сложни системи като логистика и дистрибуция. Те се фокусират върху сътрудничеството, комуникацията и обмена на знания по веригата на доставки и са важни за съвременните организации, които се нуждаят от усъвършенствани системи за подпомагане на вземането на решения [Yang, Pengbo, 2022].



Фигура 2.2. Приложения и предимства

2.2. Генетичните алгоритми: Теоретични основи и модификации

Генетичните алгоритми (ГА) са евристични глобални оптимизационни методи, вдъхновени от естествения подбор и генетиката. Те се използват за решаване на сложни

оптимизационни проблеми чрез имитация на процесите на естествен подбор и възпроизводство.

2.2.1. Основни принципи на ГА

Процесът започва с произволна популация от кандидат-решения. Ключовите етапи включват:

- Селекция: По-добре представящите се решения имат по-голям шанс да бъдат избрани за възпроизвеждане.
- Кръстосване (Crossover): Комбиниране на две или повече решения за създаване на нови.
- Мутация (Mutation): Случайни промени в решението за въвеждане на разнообразие в популацията.

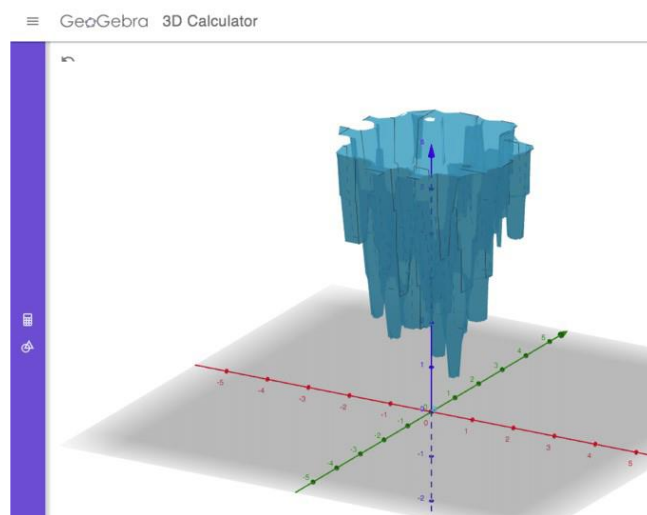
Стойността на годността (fitness value) на всеки индивид се изчислява чрез целева функция, която присвоява числова оценка на качеството на решението. Тази функция може да е функция на грешката или на разходите. Популацията еволюира към по-добри решения чрез многократното прилагане на тези оператори [Mateeva G, et al, 2023].

2.2.2. ДНК-вдъхновена модификация на генетични алгоритми

Предлага се модификация на ГА, вдъхновена от ДНК, която използва хромозоми като двоични близнаци с обърнати битове (bit-string twin optimization). Всяка хромозома има комплементарна двойка, което позволява по-ефективно изследване на пространството за търсене, по-добро справяне с ограниченията и поддържане на разнообразието в популацията [Mateeva G, et al, 2023]. Въпреки потенциално по-високите изчислителни разходи, двойните хромозоми споделят една и съща стойност на годност, което може да предотврати преждевременна конвергенция. Практическата имплементация е осъществена с библиотеката openGA на C/C++.

2.2.3. Експерименти и резултати

Проведени са експерименти за валидиране на ДНК-вдъхновената модификация на ГА с добре познати бенчмарк функции за оптимизация [Balabanov, T. 2020]. На тази фигура е показана двуизмерната повърхност на бенчмарк функция, използвана за експериментите, която има много плоски области и локални оптимуми, което прави намирането на глобалния оптимум трудно.



Фигура 2.3. Двумерна версия

C/C++ изходният код е изпълняван на мобилно устройство под Linux дистрибуция Postmarket OS.

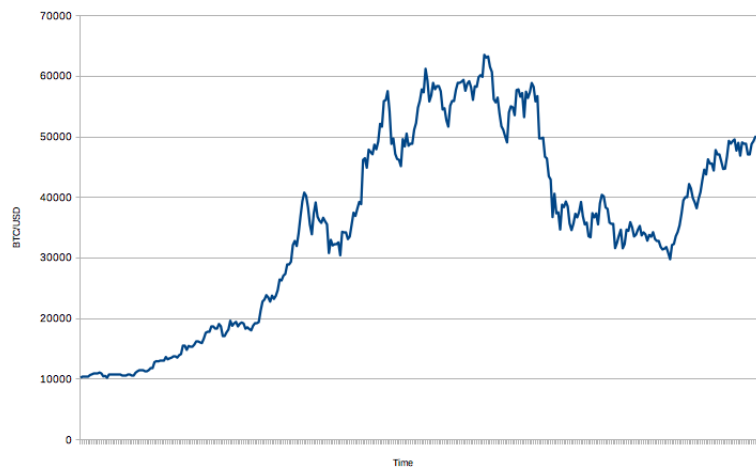
2.3. Приложение на ГА в управление на информационни потоци при разпределени изчисления

2.3.1. Управление на информационни потоци в специфичен контекст на разпределени изчисления с ГА

Дисертацията предлага стратегия за управление на информационни потоци в разпределени изчислителни системи, използващи ГА:

- Поток на данни от сървър към мобилни устройства: Финансови времеви редове се предоставят от уеб сървър на мобилни устройства за изчисления [Mateeva G, et al, 2022].
- Управление на глобална и локални популации: Приложението поддържа глобална популация на сървъра и локални популации на устройствата, управлявани от различни еволюционни алгоритми.
- Разпределени изчисления без честа синхронизация: Архитектурата позволява локална еволюция на решенията за дълъг период без честа синхронизация, намалявайки зависимостта между възлите.
- Модулна архитектура: Мобилното приложение е с модулна архитектура за максимална конфигурируемост.

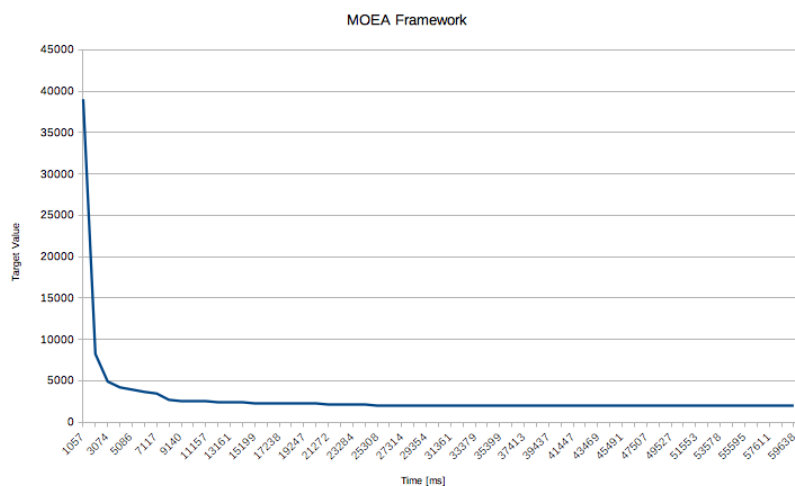
Фигура 2.4. илюстрира потока на данни от отдалечен уеб сървър към мобилни устройства за изчисления, което е съществен елемент за управлението на информационни потоци в разпределени изчислителни среди).



Фигура 2.4. Данни за цената на Биткойн във формат на времеви редове

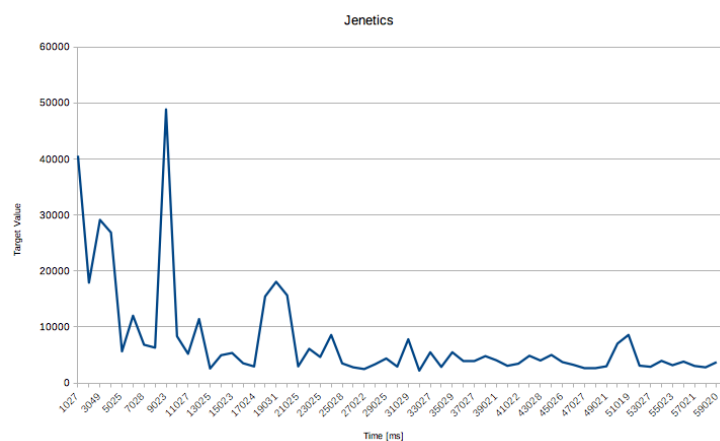
Алгоритмите са реализирани с Java библиотеката MOEA Framework.

Фигура 2.5. показва ефективността и скоростта, с която оптимизационните алгоритми се приближават към оптималното решение).



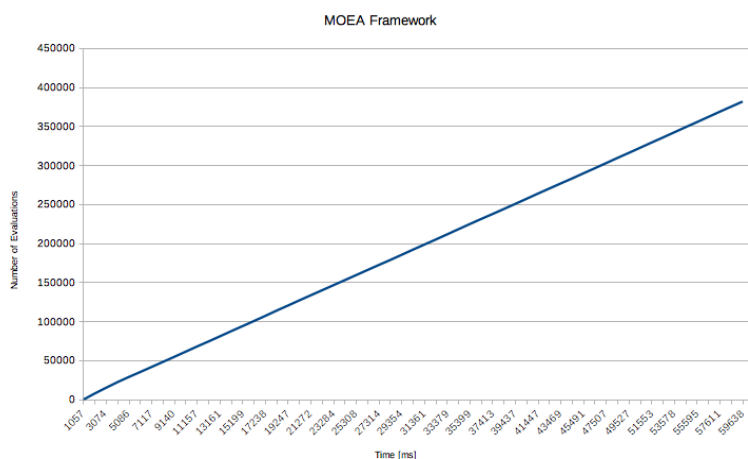
Фигура 2.5. Конвергенцията на алгоритми, реализирани чрез MOEA Framework

Фигура 2.6. визуализира конвергенцията на генетичните алгоритми като критичен показател за тяхната стабилност и производителност



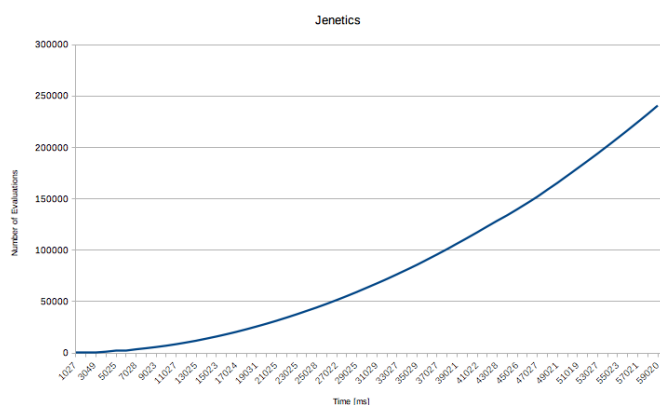
Фигура 2.6. Конвергенцията на GA

Фигура 2.7. предоставя количествена мярка за изчислителната ефективност на алгоритъма, особено при времеемки целеви функции.



Фигура 2.7. Броя на извикванията на целевата функция в MOEA Framework

Фигура 2.8. допълва анализа на производителността, давайки оценка на изчислителните разходи и позволявайки сравнение между различни подходи или реализации на ГА.

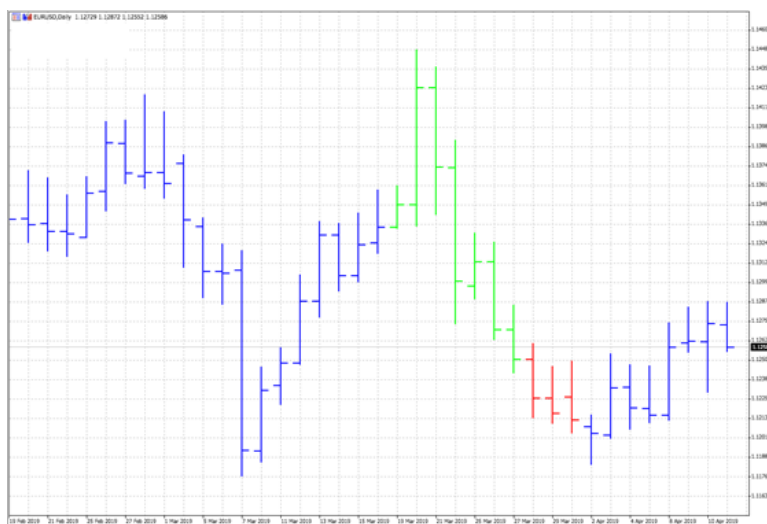


Фигура 2.8. Брой на извикванията на целевата функция за GA в Jenetics

2.3.2. Прогнозиране на финансови времеви серии чрез GA

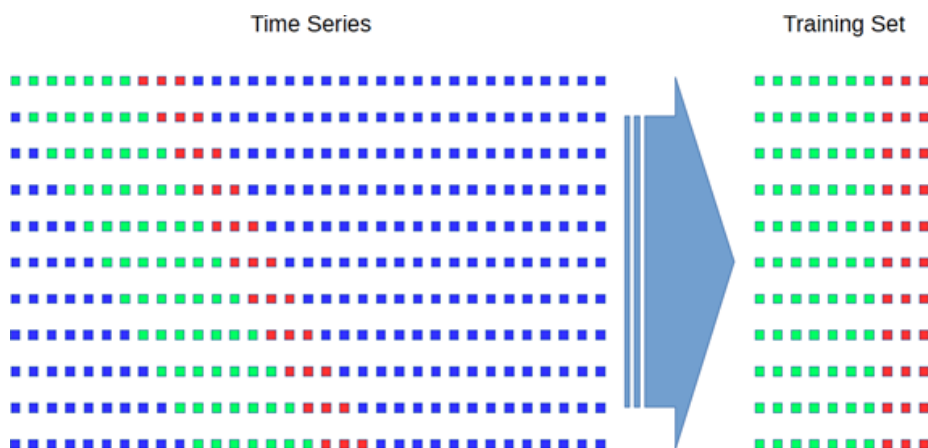
ГА се прилагат за прогнозиране на финансови времеви редове в разпределени изчисления, използвайки градиентни методи за обучение на изкуствени невронни мрежи (ИНМ). Android OS услуги се използват за фонове изчисления, а Live Wallpaper – за визуализация на междинни резултати.

Фигура 2.9. показва примерни времеви редове, вероятно финансови, които се използват като входни данни за прогнозиране.



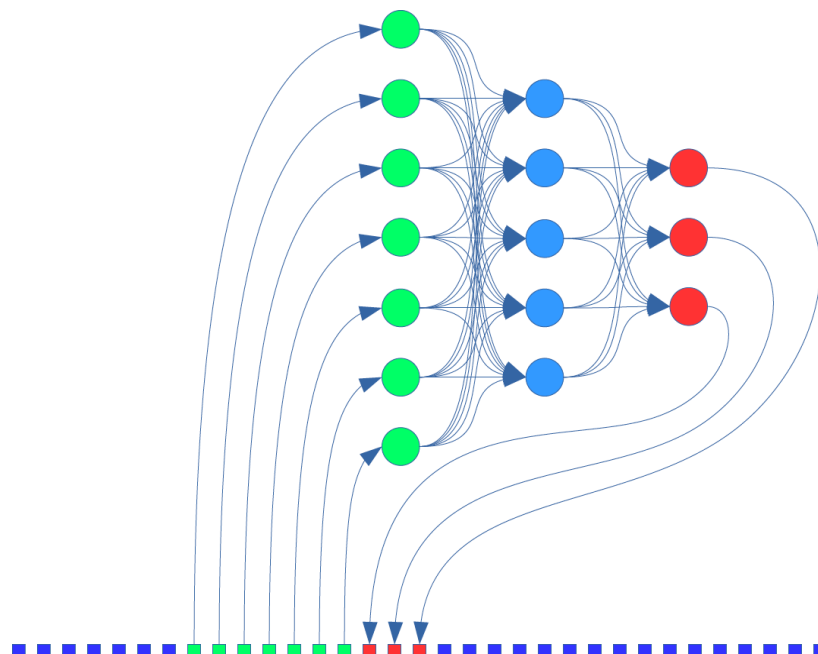
Фигура 2.9. Времеви редове

Фигура 2.10. илюстрира процеса на създаване на набор от данни за обучение, което е ключово за работата на ИНМ.



Фигура 2.10. Формиране на тренировъчен набор

Фигура 2.11. показва как данните се подават към ИНМ за обработка и обучение.



Фигура 2.11. Подаване на данни от изкуствена невронна мрежа

За количествена оценка се използват метрики като средна абсолютна грешка (MAE) и средноквадратична грешка (RMSE). Системата е организирана като клиент-сървър архитектура, където мобилните устройства се свързват със сървъра чрез RESTful комуникация с HTTP/JSON протокол. Втори подход за прогнозиране е базиран на апроксимация на крива чрез синусоидални редове и линейна регресия, като ГА търси оптимални коефициенти [Xujie Tan et al, 2023].

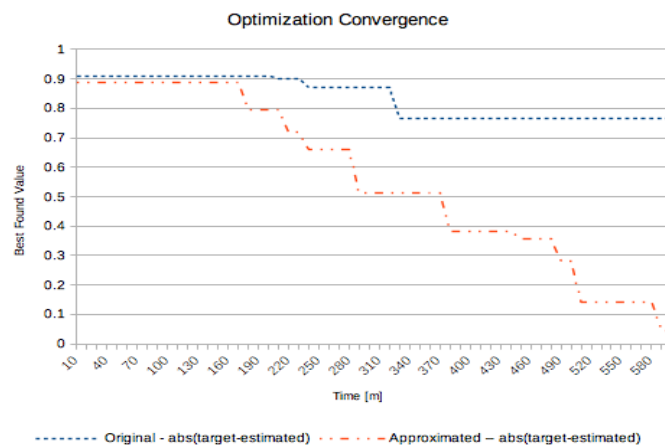
2.3.3. Вътрешни стратегии за управление на информацията в генетични алгоритми в дигитална среда чрез апроксимация на целева функция

Целевата функция е ключов информационен процес в ГА, който направлява еволюцията им. Когато целевите функции са времеемки, ефективността на ГА спада драстично. Предлага се апроксимация на тези функции с полиноми на Лагранж, за да се подобри скоростта на оптимизационния процес и да се намалят скъпите взаимодействия. Това прави мета-евристиките приложими и в области, където досега не са били възможни [Mateeva, G et al, 2022].

2.3.4. Експерименти и резултати

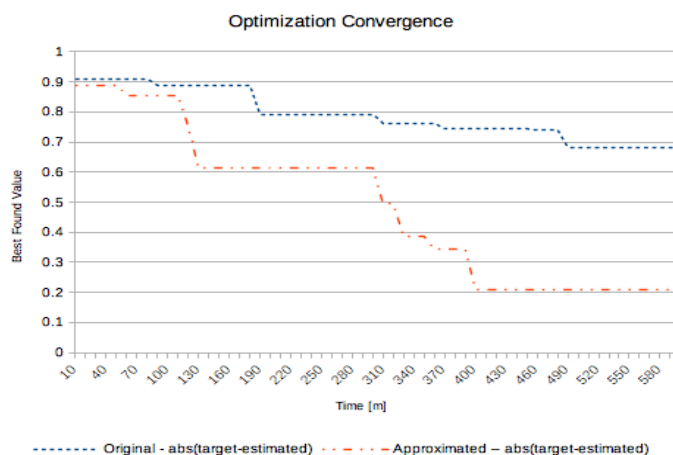
Проведени са три експеримента, сравняващи стандартен ГА с ГА, използващ апроксимирана функция за годност, в контекст на оптимизация в игрова среда (RTP).

Първият експеримент показва, че апроксимираната функция за годност дава предимство почти в края на оптимизационния процес в първия експеримент.



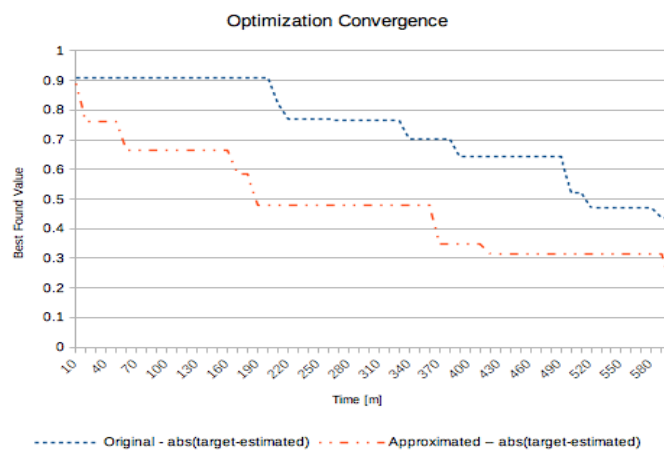
Фигура 2.12. Първи експеримент

Вторият експеримент илюстрира предимството на апроксимираната функция за годност в средата на оптимизационния процес във втория експеримент.



Фигура 2.13. Втори експеримент

Третият експеримент показва, че в третия експеримент двете криви на конвергенция са почти успоредни, което означава, че апроксимираната функция не винаги дава значително предимство.



Фигура 2.14. Трети експеримент

2.4. Изследване на статистически свойства при оптимизация: Качество на данни и мащабиране на случайни числа

Качеството на данните е от съществено значение. Генерирането на случайни числа и тяхното мащабиране са критични за ГА.

2.4.1. Генериране и мащабиране на случайни числа

Случайни числа могат да се генерират чрез:

- Псевдогенератори на случайни числа (PRNG): Използват детерминистични алгоритми като Mersenne Twister.
- Истински генератори на случайни числа (TRNG): Използват физически процеси като TrueRNG v3.

2.4.2. Техники за мащабиране на случайни числа

Мащабирането трансформира генерираните числа в желания диапазон. Използват се линейно, нелинейно или специфично мащабиране, като е важно да не се въвежда отклонение.

2.4.3. Статистически инструменти и експерименти

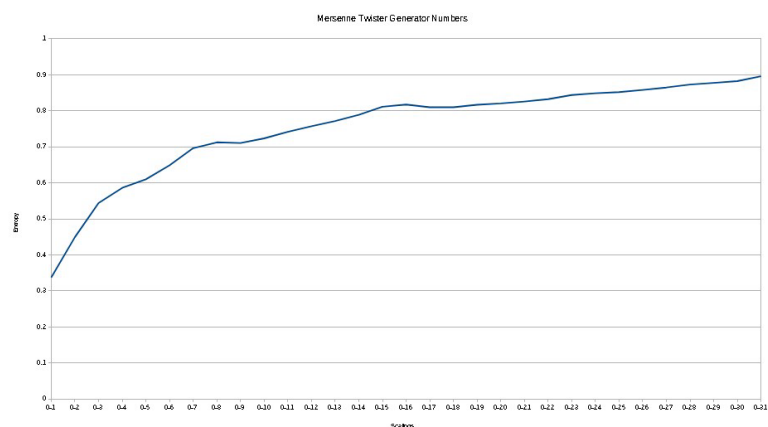
Инструментът „ent“ се използва за оценка на ентропията на файлове и поредици от байтове. Той измерва:

- Ентропия: Мярка за случайност и непредсказуемост.
- Хи-квадрат тест: Определя дали разпределението на байтовите стойности е равномерно.
- Средноаритметична стойност: Средна стойност на байтовите стойности.
- Стойност на Монте Карло за P_i : Оценява P_i чрез случайна извадка.
- Коефициент на серийна корелация: Измерва зависимостта между последователни стойности.

2.4.4. Експерименти и резултати

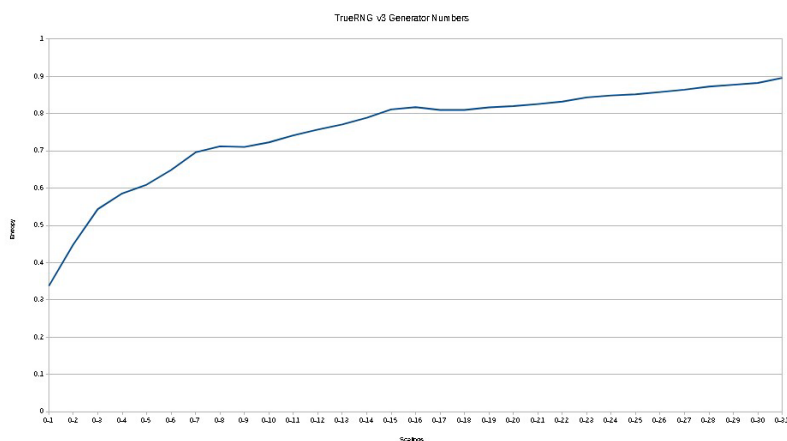
Експерименти с данни от Mersenne Twister и TrueRNG v3, мащабирани от 0-1 до 0-32, показват, че мащабирането не влияе драстично на статистическите характеристики на псевдослучайните числа.

Фигура 2.15. показва ентропията на числа, генерирани от Mersenne Twister при различни диапазони на мащабиране.



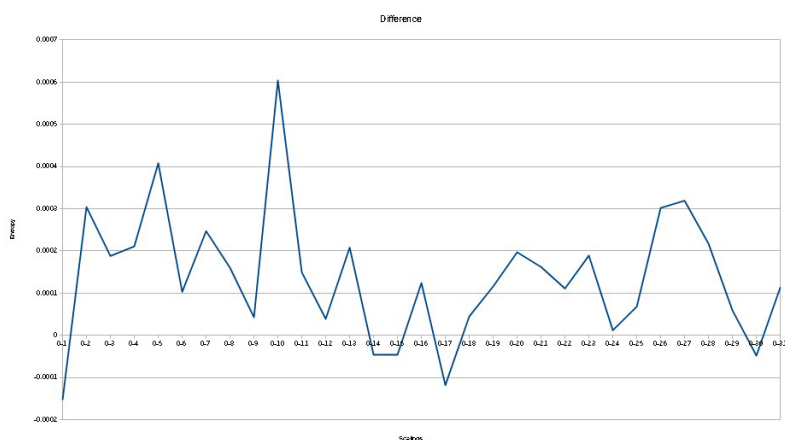
Фигура 2.15. Ентропия на Mersenne Twister

Фигура 2.16. показва ентропията на числа, генерирани от TrueRNG v3 при различни диапазони на мащабиране.



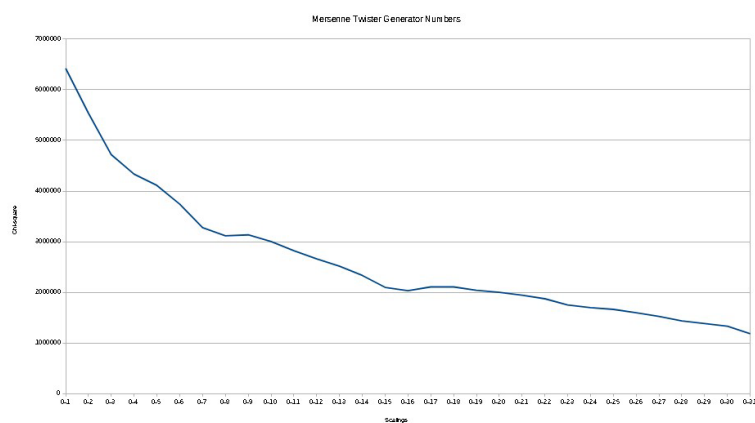
Фигура 2.16. Ентропия на TrueRNG v3

Фигура 2.17. сравнява разликата в ентропията между Mersenne Twister и TrueRNG v3 след мащабиране.



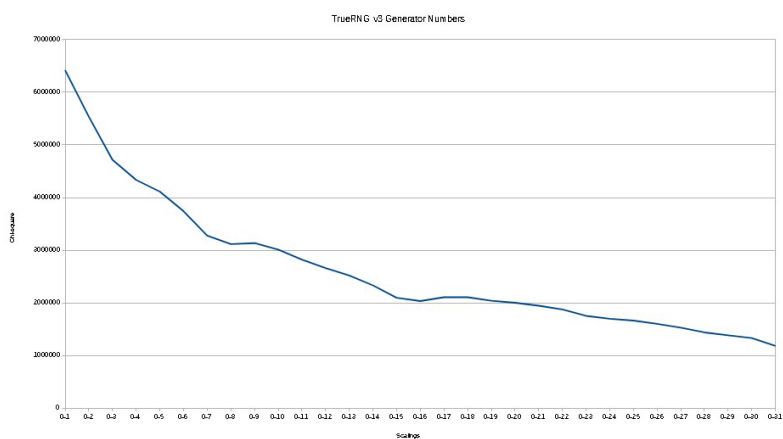
Фигура 2.17. Разлика в ентропията

Фигура 2.18. представя стойностите на Хи-квадрат теста за псевдослучайни числа от Mersenne Twister при различни диапазони на мащабиране.



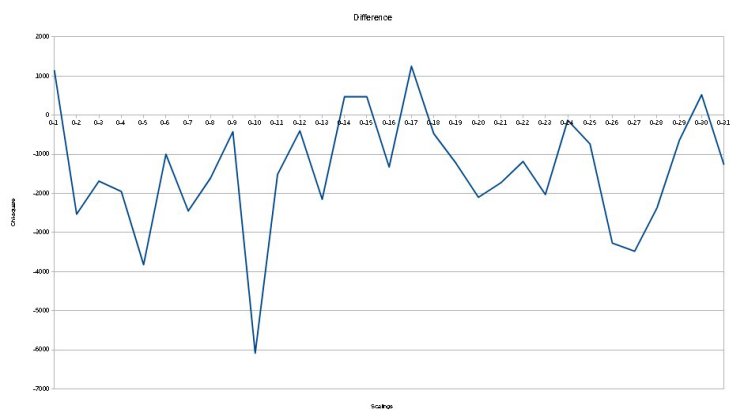
Фигура 2.18. Хи-квадрат на Mersenne Twister .

Фигура 2.19. представя стойностите на Хи-квадрат теста за истински случайни числа от TrueRNG v3 при различни диапазони на мащабиране.



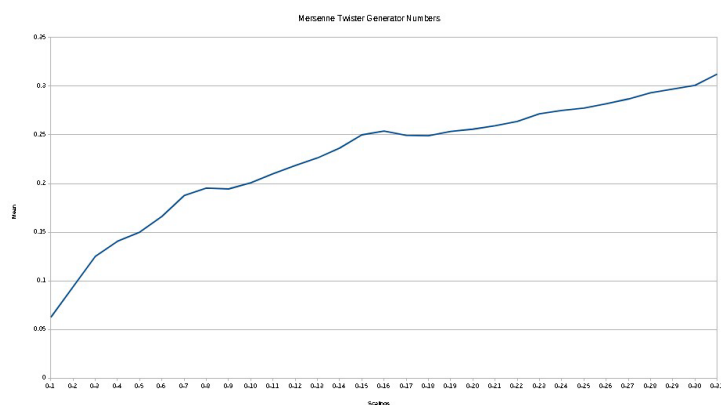
Фигура 2.19. Хи-квадрат на TrueRNG v3

Фигура 2.20. показва разликата в Хи-квадрат стойностите между двата генератора след мащабиране.



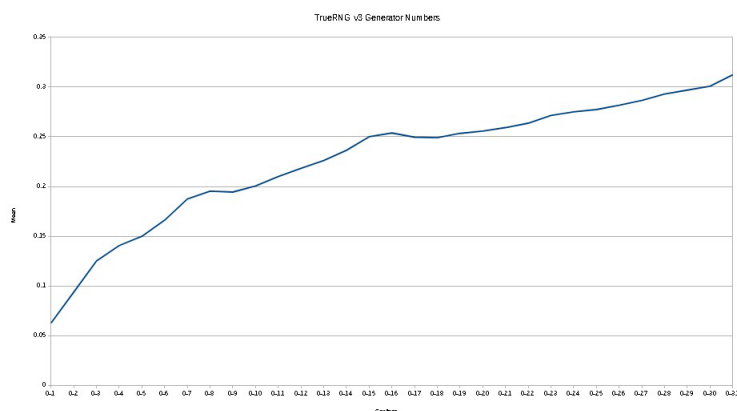
Фигура 2.20. Разлика в хи-квадрата

Фигура 2.21. изобразява средноаритметичната стойност на генерираните числа от Mersenne Twister при различни диапазони на мащабиране.



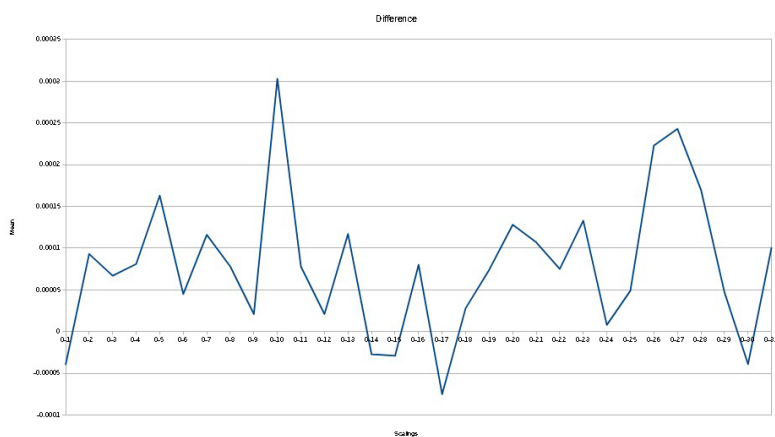
Фигура 2.21. Средна стойност на Mersenne Twister

Фигура 2.22. изобразява средноаритметичната стойност на генерираните числа от TrueRNG v3 при различни диапазони на мащабиране.



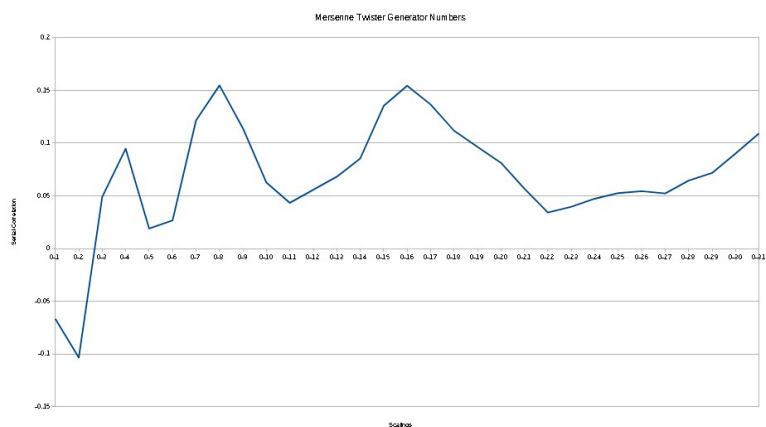
Фигура 2.22. Средна стойност на TrueRNG v3

Фигура 2.23. показва разликата в средната стойност между Mersenne Twister и TrueRNG v3 след мащабиране.



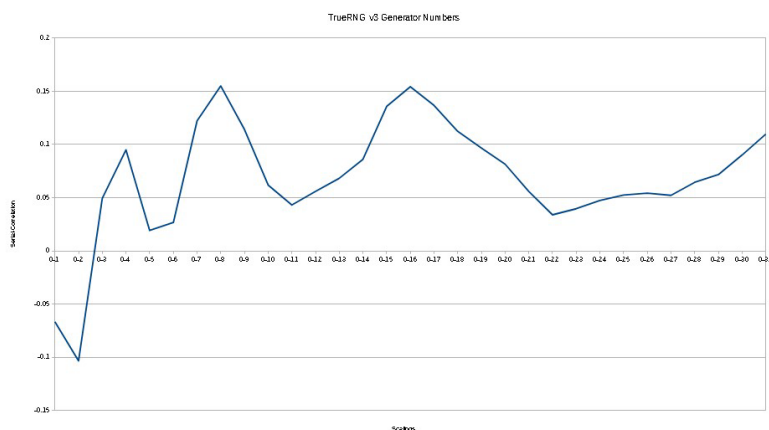
Фигура 2.23. Разлика в средната стойност

Фигура 2.24. илюстрира коефициента на серийна корелация за числата от Mersenne Twister.



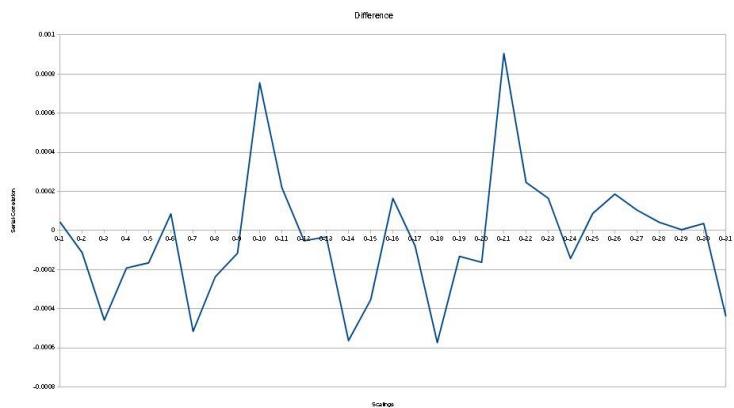
Фигура 2.24. Серийна корелация на Mersenne Twister

Фигура 2.25. илюстрира коефициента на серийна корелация за числата от TrueRNG v3.



Фигура 2.25. Серийна корелация на TrueRNG v3

Фигура 2.26. визуализира разликата в коефициента на серийна корелация между двата генератора.



2.5. Изводи

Евристичните и мета-евристичните методи, особено ГА, осигуряват стабилни рамки за подобряване на комуникационните стратегии и управлението на информационни процеси в сложни системи. ДНК-вдъхновената модификация на ГА и адаптивният метод за апроксимация на времеемки целеви функции значително намаляват изчислителния и комуникационния трафик, правейки ГА приложими на устройства с ограничени ресурси. Модулната организация на софтуера и използването на отворени библиотеки допринасят за гъвкавостта и качеството на разпределените системи. Холистичният подход към оптимизацията отчита както алгоритмичния резултат, така и ефективността на базовите комуникационни процеси. В края на главата са изброени научни публикации, отразяващи съдържанието ѝ.

Глава 3. Модели за комуникационни стратегии при управление на информационни процеси в дигитална среда: Технически и архитектурни аспекти

Глава 3 на дисертационния труд се разглежда моделирането на комуникационни стратегии в дигитална среда от техническа и архитектурна гледна точка, като акцентира върху оптимизацията на информационните потоци и комуникационните процеси. Разглеждат се възможностите и предизвикателствата, които дигиталната среда предлага, както и ролята на интерфейсите и алгоритмите, които структурират онлайн комуникацията [Kevin Lewis, 2021].

Ключов аспект е дигиталната грамотност, която включва технически, когнитивни и социо-емоционални умения, необходими за ефективно използване на дигитални среди. Повисоката техническа дигитална грамотност е свързана с по-активно използване на колаборативни технологии [Andree-AnneDeschênes, 2023].

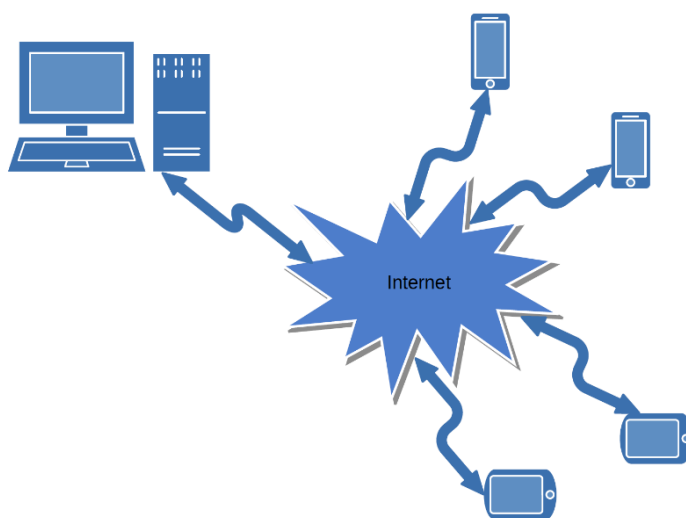
Разнообразието от дигитални канали и инструменти се представя чрез Таблица 3.1. [Anthony Cherbonnier et al, 2024]. Таблицата сравнява имерсивни среди (като видеоигри и симулации със сценарии, които изискват групова активност за обучение на колаборативни умения) с неимерсивни среди (като платформи за споделяне и онлайн курсове, предоставящи споделени работни пространства за синхронна и асинхронна дискусия).

ИМЕРСИВНИ СРЕДИ	НЕИМЕРСИВНИ СРЕДИ
Могат да бъдат използвани за обучение на колаборативни умения и изискват групова активност за постигане на общи цели	Предоставят споделени работни пространства и канали за синхронна и асинхронна дискусия
Видео игри	Платформи за споделяне
Симулации със сценарии	Онлайн курсове
РС-базирани симулатори и инструменти за добавена реалност	Инструменти за колаборативно решаване на проблеми

Таблица 3.1. Типове дигитални среди и техните характеристики

За ефективно управление на данни в мобилни разпределени среди, дисертацията предлага използването на Android Content Providers. Те служат като механизъм за модулно управление и достъп до данни, подобрявайки модулността и устойчивостта на приложенията.

Клиент-сървър архитектурата е фундаментален модел за дигитални информационни процеси, при който сървърът предоставя информация или услуги на мобилни устройства (клиенти) чрез HTTP/JSON протокол.



Фигура 3.1. Клиент – сървър архитектура

Фигура 3.2 показва процеса на комуникация между клиенти и сървър.



Фигура 3.2. HTTP комуникация

Фигура 3.3 представя как системите могат да бъдат разделени на независими компоненти.



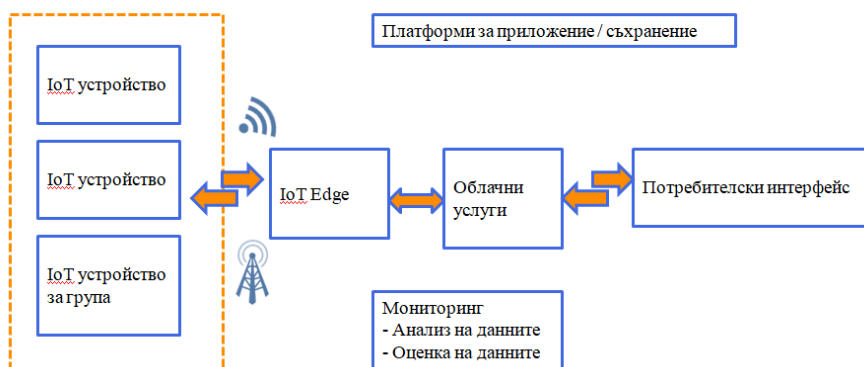
Фигура 3.3. Модулна архитектура

Приложението на Content Providers в контекста на разпределени изчисления включва организиране на потока от данни от сървър към мобилни устройства, управление на глобални и локални популации, както и асинхронни комуникационни модели без честа синхронизация. Този подход е особено важен при **времеемки целеви функции**, където апроксимацията може да намали нуждата от честа комуникация [Mateeva, G et al, 2022].

Анализи и решения в технически и архитектурен аспект

Мобилните киберфизически системи (CPS) и Интернет на нещата (IoT) са в основата на интензивна дигитална трансформация, създавайки нови възможности, но и предизвикателства. CPS комбинират динамиката на физическите процеси със софтуер и мрежи за интегрирано моделиране, проектиране и анализ [Sanfelice R et al, 2016] и [Chen Y., Li Y et al, 2020].

Данните от IoT устройства често са шумни, силно променливи и "грапави", което налага предварителна обработка за извличане на бизнес стойност [Dineva, K., et al, 2019]. Нарастващият брой IoT устройства води до достигане на границите на съществуващите архитектурни структури по отношение на мащабируемост. Като решение се очертава Базираният в облак Интернет на нещата (CB-IoT), предлагащ изчислителни възможности и съхранение чрез виртуализация [Dineva K., et al, 2020]. Разработената архитектура е базирана на AWS облака, позволяваща автоматизирано мащабиране и анализ на данни. Фигура 3.4 визуализира тези платформи, вероятно включващи облачни решения.



Фигура 3.4. Платформи за приложение / съхранение

Основни средства за реализация на разпределени изчисления включват Android OS API-та (като Android Services за фонові операции, LiveWallpaper за междинна визуализация и Android Widgets за гъвкава визуализация и потребителски вход) [Mateeva, G et al, 2021]. Системите използват клиент-сървър архитектура с HTTP/JSON и RESTful комуникация, фоново изпълнение и локално съхранение на данни в SQLite. Използват се и външни Java-базирани библиотеки за машинно обучение, оптимизация и комуникация, а модулният дизайн осигурява гъвкавост.

Предизвикателства и SWOT анализ

Сред основните предизвикателства при проектирането на системи за взаимодействие са оперативната съвместимост (способността на различни системи да работят безпроблемно заедно) и ресурсните ограничения (ограничена памет, липса на дисплей, слаби процесори) [Sadeghi & Mersedeh, 2023].

Таблица 3.2 обобщава тези проблеми, причините за тях и предлага принципи като минимализъм и адаптивност за справяне с тях [Margaria, T et al, 2011].

Категория	Описание	Влияние / Последствия	Принципи и препоръки
Ресурсни ограничения	Ограничения като ограничена памет, липса на дисплей, слаби процесори	Затрудняват изпълнението и управлението	Оптимално използване на ресурси чрез опростяване
Причини за ограничения	Икономии от мащаба и ограничения, наложени от хост средата (тегло, размер, енергия)	Влияят на разходи и възможности на системата	Вземане под внимание още в начални етапи
Предизвикателства в дизайна	Работа върху все още неокончателно проектирани системи с критични неизвестни фактори	Процесът е сложен и неопределен	Използване на итеративни и адаптивни подходи
Перспектива за опростяване	Подход за по-ефективно използване на ресурси и създаване на стабилни, лесни за поддръжка системи	Подобрява стабилността и работоспособността	Прилагане на принципа „по-малко е повече“
Емпирични наблюдения	Събрани открития и примери от експерти, подпомагащи идентификация на добри практики	Улесняват реалното прилагане на принципите	Прилагане на препоръчани методи в системния дизайн

Таблица 3.2. Предизвикателства и принципи при дизайн на системи с ресурсни ограничения

Извършен е SWOT анализ на CPS/IoT и разпределени изчислителни ресурси.

➤ Силните страни (Strengths): Нови възможности за продукти/услуги, интегриран подход за моделиране, създаване на стойност от данни, предимства на облачните изчисления

(AWS), използване на Android OS API-та, клиент-сървър архитектура, фоново изпълнение, локално съхранение и модулен дизайн.

➤ Слабите страни (Weaknesses): Липса на стандарти за споделяне на данни, шумни и променливи IoT данни, необходимост от предварителна обработка, достигане на капацитета на архитектурите, предизвикателства при оперативната съвместимост и ресурсните ограничения.

➤ Възможности (Opportunities): Разработване на методи за преобразуване на данни, СВ-IoT, надграждане на обработката на данни, разпределено познание, AWS за мащабиране/анализ, гъвкави стандартизирани процеси и опростяване на дизайна.

➤ Заплахи (Threats): Шум и грешки в данните, непоследователност на данни, достигане на изчислителни граници, липса на оперативна съвместимост и компромиси заради ресурсни ограничения.

Архитектурни модели и техники за оптимизация на комуникацията

Разгледани са различни архитектурни модели за разпределени системи [Washizaki et al, 2020]:

➤ Клиент-сървър архитектура: Централизирано управление, имплементирано в дисертацията, но въвежда риск от единична точка на отказ.

➤ Peer-to-Peer (P2P) архитектура: Децентрализирана, висока отказоустойчивост, намалява зависимостта от централен сървър.

➤ Събитийно-ориентирана (Event-Based/Publish-Subscribe) архитектура: Подходяща за IoT системи с асинхронно генериране на данни (напр. в "Интелигентно животновъдство").

➤ Многослойна (Layered) архитектура: Моделите в дисертацията могат да бъдат рамкирани в нея (Сензорен, Мрежов, Услуги, Приложен слоеве) [A. Triantafyllou, et al, 2019].

Таблица 3.3. обобщава тези модели, техните принципи, мащабируемост, отказоустойчивост, латентност, пригодност за IoT с ограничени ресурси и връзка с модела в дисертацията.

Предлага се бъдеща хибридна архитектура, която да комбинира предимствата на клиент-сървър, събитийно-ориентирани и P2P модели за справяне с предизвикателствата, идентифицирани в SWOT анализа.

Архитектурен Модел	Ключов Принцип	Мащабируемост	Отказоустойчивост	Характеристики на Латентността	Пригодност за IoT с Ограничени Ресурси	Връзка с Модела в Дисертацията
Клиент-сървър	Централизиран контрол	Ограничен а от сървъра	Ниска (единична точка на отказ)	Зависи от близостта и натоварването на сървъра	Висока (тънки клиенти)	Имплементиран модел: Централен сървър за управление на популацията в GA; мобилни клиенти за изчисления.
Peer-to-Peer (P2P)	Децентрализиран контрол	Висока	Висока (няма единична точка на отказ)	Променлива; може да бъде ниска за локални участници	Средна (участниците действат и като сървъри)	Алтернативен/Хибриден модел: Може да се използва за директен обмен на данни между мобилни възли без

						посредничеството на сървър.
Събитийно-ориентирана (Pub/Sub)	Асинхронни съобщения	Висока	Висока (слаба свързаност)	Ниска за разпространение на събития	Висока (лекотоварни издатели)	Концептуална пригодност: Съответства на природата на генериране на данни от IoT сензори в интелигентното земеделие.
Многослойна	Разделение на отговорностите	Варира	Варира	Варира	Висока	Цялостна рамка: Системата в дисертацията може да бъде описана чрез многослоен модел (Сензорен, Мрежов, Услуги, Приложен).

Таблица 3.3. Сравнителна таблица на основни архитектурни модели

Специфични техники за оптимизация на комуникацията в CPS/IoT включват адаптивни комуникационни модели (адаптиране на предаване на данни въз основа на условия), енергийно-ефективно маршрутизиране и агрегиране на данни (намаление на трафика чрез локална обработка) и нискоенергийни технологии (като комуникация чрез обратно разсейване) [Taha et al., 2020], [Wei et al 2018], [Ding et al, 2024] и [Chenand et al, 2021].

Оптимизацията се разглежда като холистичен, многослоен проблем, свързващ алгоритмичната оптимизация с мрежова и енергийна ефективност [Taha et al, 2020], [Wei et al, 2018] и [Ding et al, 2024].

Архитектурното проектиране на евристична оптимизация в разпределени системи използва "островен модел" за генетичните алгоритми (всяко мобилно устройство е "остров" с локална популация). Обменът на информация между възлите и централния сървър включва разпространение на начална популация, миграция на индивиди и излъчване на глобално най-доброто решение, с компромис между качество и комуникационен трафик [Mohamed et al, 2012].

Интегрирането на „ДНК-вдъхновената модификация на GA“ и „Апроксимация на времеемки целеви функции“ променя архитектурните изисквания, позволявайки изпълнението на GA на устройства с ограничени ресурси чрез намаляване на комуникационния трафик. Тази синергична връзка между алгоритъм и архитектура представлява холистична алгоритмично-архитектурна рамка [Krupitzer, et al, 2020].

Перспективна архитектурна визия и изводи

Бъдещите насоки включват интеграция с федеративно обучение (обучение на локални модели на устройства, изпращане само на параметри за агрегиране), мултиагентни системи (MAC) за децентрализирани преговори (устройствата действат като автономни агенти) и влиянието на 5G/6G мрежи и квантова комуникация за по-ниска латентност и висока сигурност [William Marfo, et al, 2025], [Dritsas et al, 2025], [Dejun Yang, et al, 2012], [Saad, et al, 2009] и [Zreikat et al, 2025]. Рамката в дисертацията е фундаментална стъпка към напълно автономни и децентрализирани интелигентни системи.

Мобилните, киберфизичните системи и IoT са основата на дигиталната трансформация, но изискват иновативни стратегии за проектиране за справяне с предизвикателствата на оперативната съвместимост и ресурсните ограничения. Разработените модели позволяват ефективно прилагане на евристични методи на хетерогенни мобилни и IoT устройства в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси, включително техните технически и архитектурни аспекти на управлението на информационни потоци.

Основни научно-приложни приноси

Дисертационният труд представя холистична хибридна рамка за оптимизация на комуникационни стратегии в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси, която интегрира гъвкави архитектурни модели, усъвършенствани евристични методи и холистичен подход към управлението на информационни потоци.

Приносите са групирани в три основни категории:

1. Методологичен принос: Разработени са два нови подхода за подобряване на ефективността на генетичните алгоритми в мрежови среди:

- ДНК-вдъхновена модификация на генетичен алгоритъм: Предложена и валидирана е нова репрезентация, използваща сдвоени хромозоми с инвертирани битове. Този метод подобрява изследването на пространството на търсене и поддържа разнообразието на популацията, осигурявайки по-стабилни решения за сложни оптимизационни проблеми в сравнение със стандартните ГА.

- Адаптивен метод за апроксимация на изчислително скъпи целеви функции: Разработена е нова техника, използваща полиноми на Лагранж за апроксимация на времеемки целеви функции. Този подход значително намалява изчислителния и комуникационния трафик, правейки приложението на ГА осъществимо на устройства с ограничени ресурси. Адаптивният характер на апроксимационния набор представлява самооптимизиращ се механизъм в рамките на самия алгоритъм.

2. Архитектурен принос: Създаден е нов архитектурен модел за практическо внедряване на изчислително интензивни оптимизационни алгоритми (като ГА) на хетерогенни мобилни и IoT устройства с ограничени ресурси. Новостта на тази архитектура се крие в синергичната комбинация от:

- Асинхронни комуникационни протоколи: Моделът минимизира необходимостта от честа синхронизация между централния сървър и клиентите, смекчавайки проблема с „най-бавния клиент“, често срещан в разпределените системи.

- Модулно и буферирано управление на данни: Специфичното използване на механизми като Android Content Providers служи като обобщен модел за разделяне на взаимодействието с потребителя от изчисленията на заден план, осигурявайки отзивчивост на системата и ефективна локална обработка на данни. Това съвместно проектиране на алгоритъм и архитектура е значителен принос към областта на Edge AI и разпределения интелект.

3. Приложен принос: Разработен е цялостен приложен модел за интелигентен мониторинг и обработка на данни в областта на интелигентното земеделие, валидиран чрез проекта „Интелигентно животновъдство“. Валидацията е многостранна, като използва:

- Количествени метрики за производителност: Строга оценка с помощта на стандартни метрики като средна абсолютна грешка (MAE) и средноквадратична грешка (RMSE) за доказване на прогнозната точност и ефективността на оптимизационните алгоритми.

○ Качествен стратегически анализ: Извършен е SWOT анализ, който контекстуализира силните и слабите страни на системата и валидира нейните проектни решения спрямо ключови предизвикателства в домейна като качество на данните, оперативна съвместимост и ресурсни ограничения.

Насоки за бъдещи изследвания

Основните насоки за бъдещи изследвания включват:

- По-нататъшно развитие и прилагане на усъвършенствани евристични методи, по-специално генетични алгоритми, в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси.
- Разширяване на проучванията върху адаптивни и децентрализирани архитектурни модели за ефективно управление на информационни потоци и ресурси.
- Дълбочинно изследване на интеграцията и приложението на нововъзникващи комуникационни технологии и AI подходи за подобряване на оптимизационните стратегии (напр. квантова комуникация, 5G/6G, холографски интерфейси).

Публикации по темата на дисертационния труд

1. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Balabanov, T. Study on Random Numbers Scaling. The 37th European Simulation and Modelling Conference, ESM 2023, EUROSIS-ETI, 2023, ISBN:978-9-492-859-28-0, 21-25 (Scopus)
2. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Balabanov, T. DNA-INSPIRED GENETIC ALGORITHM MODIFICATION. Proceedings of 21st INTERNATIONAL INDUSTRIAL SIMULATION CONFERENCE ISC'2023, EUROSIS-ETI, 2023, ISBN:978-9-492859-26-6, 27-31 (Scopus)
3. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. An Efficiency of Third Party Genetic Algorithms Software Libraries in Mobile Distributed Computing for Financial Time Series Forecasting. Proceedings of 2022 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, 2022, ISBN:978-1-6654-7626-3, DOI:10.1109/ICAI55857.2022.9960128, 351-354 (Scopus)
4. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. Android Content Providers in Mobile Distributed Computing. Proceedings of 2022 13th National Conference with International Participation (ELECTRONICA), IEEE, 2022, ISBN:978-1-6654-8101-4, DOI:10.1109/ELECTRONICA55578.2022.9874360 (Scopus)
5. Dineva K., Atanasova T., Petrov P., Parvanov D., **Mateeva G.**, Kostadinov G. Towards CPS/IoT System for Livestock Smart Farm Monitoring. 2021 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, 2021, ISSN:978-1-6654-2661-9, DOI:10.1109/ICAI52893.2021.9639460, 252-255 (Scopus)
6. **Mateeva, G.**, Tomov, P., Parvanov, D., Petrov, P., Kostadinov, G., Balabanov, T. Some Capabilities of Android OS for Distributed Computing. Proceedings of Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE), 2021, ISBN:978-1-6654-1043-4, DOI:10.1109/BdKCSE53180.2021.9627286, 1-6 (Scopus)
7. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. Time-Consuming Fitness Functions Approximation for Genetic Algorithms Performance Improvement. Proceedings of 9th SWS International Scientific Conference on Social Sciences - ISC'SS 2022, 9, 1, SGEM WORLD

Участие в проекти

1. Национална Научна Програма „Интелигентно животновъдство” (Инте-Живо), РП 5 и РП 11.
2. Изследване на методи и технологии за цифровизация на образованието, КП-06-M75/3.

Библиография

1. Mateeva, G., Parvanov, D., Balabanov, T. Study on Random Numbers Scaling. The 37th European Simulation and Modelling Conference, ESM 2023, EUROSIS-ETI, 2023, ISBN:978-9-492-859-28-0, 21-25
2. Mateeva, G., Parvanov, D., Balabanov, T. DNA-INSPIRED GENETIC ALGORITHM MODIFICATION. Proceedings of 21st INTERNATIONAL INDUSTRIAL SIMULATION CONFERENCE ISC'2023, EUROSIS-ETI, 2023, ISBN:978-9-492859-26-6, 27-31
3. Mateeva, G., Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. An Efficiency of Third Party Genetic Algorithms Software Libraries in Mobile Distributed Computing for Financial Time Series Forecasting. Proceedings of 2022 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, 2022, ISBN:978-1-6654-7626-3, DOI:10.1109/ICAI55857.2022.9960128, 351-354
4. Mateeva, G., Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. Android Content Providers in Mobile Distributed Computing. Proceedings of 2022 13th National Conference with International Participation (ELECTRONICA), IEEE, 2022, ISBN:978-1-6654-8101-4, DOI:10.1109/ELECTRONICA55578.2022.9874360
5. Dineva K., Atanasova T., Petrov P., Parvanov D., Mateeva G., Kostadinov G. Towards CPS/IoT System for Livestock Smart Farm Monitoring. 2021 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, 2021, ISSN:978-1-6654-2661-9, DOI:10.1109/ICAI52893.2021.9639460, 252-255
6. Mateeva, G., Tomov, P., Parvanov, D., Petrov, P., Kostadinov, G., Balabanov, T. Some Capabilities of Android OS for Distributed Computing. Proceedings of Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE), 2021, ISBN:978-1-6654-1043-4, DOI:10.1109/BdKCSE53180.2021.9627286, 1-6
7. Mateeva, G., Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. Time-Consuming Fitness Functions Approximation for Genetic Algorithms Performance Improvement. Proceedings of 9th SWS International Scientific Conference on Social Sciences - ISC'SS 2022, 9, 1, SGEM WORLD SCIENCE (SWS) Scholarly Society, 2022, ISBN:978-3-903438-04-0, ISSN:2682-9959, DOI:10.35603/sws.iscss.2022/s04.053
8. A. C. Elkins, D. C. Derrick, J. K. Burgoon and J. F. Nunamaker Jr., "Predicting Users' Perceived Trust in Embodied Conversational Agents Using Vocal Dynamics," 2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences, Maui, HI, USA, 2012, pp. 579-588, doi: 10.1109/HICSS.2012.483
9. A. Triantafyllou, D. C. Tsouros, P. Sarigiannidis and S. Bibi, "An Architecture model for Smart Farming," 2019 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), Santorini, Greece, 2019, pp. 385-392, doi: 10.1109/DCOSS.2019.00081.
10. Balasko B., Nemeth S., Nagy G., Abonyi J. Integrated process and control system model for product quality control-application to a polypropylene plant (2008) Chemical Product and Process Modeling, 3 (1), art. no. 50, DOI: 10.2202/1934-2659.1213

11. Balabanov, T. 2020. "Global optimization benchmark function?". ResearchGate. https://www.researchgate.net/post/Global_optimization_benchmark_function , last visited 24 Mar 2023
12. Bendoly E., Bachrach D.G., Powell B. The role of operational interdependence and supervisory experience on management assessments of resource planning systems (2008) *Production and Operations Management*, 17 (1), pp. 93 - 106, DOI: 10.3401/poms.1070.0001
13. Caffrey E., Mc Donagh J. Aligning strategy and information and communication technology in public organizations: A critical management challenge (2015) *Information and Communication Technologies in Public Administration: Innovations from Developed Countries*, pp. 141 - 164, DOI: 10.1201/b18321
14. Chen D., Chirkova R., Kormilitsin M., Sadri F., Salo T.J. Query optimization in XML-based information integration (2008) *International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings*, pp. 1405 - 1406, DOI: 10.1145/1458082.1458303
15. Chen Y., Li Y., Li C., Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application, *Journal of Cleaner Production*, 268, 122071, 2020
16. Chtioui T., Dubuisson S.T. Towards a communication-based typology of management control modes: Showing the relevance of communicative action for entrepreneurial settings (2020) *International Journal of Entrepreneurship and Small Business*, 39 (1-2), pp. 163 - 191, DOI: 10.1504/ijesb.2020.104249
17. Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C. (2022). *Introduction to algorithms*, MIT Press, ISBN9780262046305
18. C. Krupitzer, T. Temizer, T. Prantl and C. Raibulet, "An Overview of Design Patterns for Self-Adaptive Systems in the Context of the Internet of Things," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 187384-187399, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3031189.
19. de Freitas S.A.A., Canedo E.D., Felisdório R.C.S., Leão H.A.T. Analysis of the risk management process on the development of the public sector information technology master plan (2018) *Information (Switzerland)*, 9 (10), art. no. 248, DOI: 10.3390/INFO9100248
20. Demirdöğen G., Işık Z., Arayıcı Y. Lean management framework for healthcare facilities integrating BIM, BEPS and big data analytics (2020) *Sustainability (Switzerland)*, 12 (17), art. no. 7061, DOI: 10.3390/su12177061
21. Dejun Yang, Xi Fang, Guoliang Xue. Game theory in cooperative communications, *IEEE Wireless Communications*, Article2012, DOI: 10.1109/MWC.2012.6189412
22. Ding, X., Shen, W., & Wang, S. (2024). Centralized or Decentralized? Communication Network and Collective Effectiveness of PBOs—A Task Urgency Perspective. *Buildings*, 14(2), 448. <https://doi.org/10.3390/buildings14020448>
23. Dritsas, E., & Trigka, M. (2025). Federated Learning for IoT: A Survey of Techniques, Challenges, and Applications. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 14(1), 9. <https://doi.org/10.3390/jsan14010009>
24. Escobar-Toledo C.E., Martínez-Berumen H.A. Strategic development of a decision making support system in a public R & D center (2013) *Engineering Effective Decision Support Technologies: New Models and Applications*, pp. 181 - 193, DOI: 10.4018/978-1-4666-4002-3.ch011
25. Escobar-Toledo C.E., Martínez-Berumen H.A. Strategic Development of a Decision Making Support System in a Public R&D Center (2011) *International Journal of Decision Support System Technology*, 3 (2), pp. 32 - 43, DOI: 10.4018/jdsst.2011040103
26. Folch M.T., Tamayo P.S. Technologies of information and communication: A key element of communication among university faculty [Las tecnologías de información y comunicación como un elemento clave de la comunicación entre el profesor universitario] (2008) *Education Policy Analysis Archives*, 16

27. Gillard S. Managing IT projects: Communication pitfalls and bridges (2005) *Journal of Information Science*, 31 (1), pp. 37 - 43, DOI: 10.1177/0165551505049257
28. Glowalla P., Balazy P., Basten D., Sunyaev A. Process-driven data quality management - An application of the combined conceptual life cycle model (2014) *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, art. no. 6759178, pp. 4700 - 4709, DOI: 10.1109/HICSS.2014.575
29. Hinton M. The process of information management (2006) *Introducing Information Management: The Business Approach*, pp. 56 - 62, DOI: 10.4324/9780080458397-11
30. H. Washizaki, S. Ogata, A. Hazeyama, T. Okubo, E. B. Fernandez and N. Yoshioka, "Landscape of Architecture and Design Patterns for IoT Systems," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 10, pp. 10091-10101, Oct. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.3003528.
31. Margaria T., Floud B. D., Srefen B, 2011
32. Marchao J., Reis L., Martins P.V. Business Areas and Processes Alignment in ICT Framework [Framework de Alinhamento de Áreas e Processos de Negócio das TIC] (2020) *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*, 2020-June, art. no. 9141067, DOI: 10.23919/CISTI49556.2020.9141067
33. Martyakova E.V., Nagornaya O.A., Bondarenko I.G. Current Trends in Using Information and Communication Technologies at Universities (2019) *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies IT and QM and IS 2019*, art. no. 8928372, pp. 535 - 538, DOI: 10.1109/ITQMIS.2019.8928372
34. M.Mohamed Surputheen, G. Ravi, R. Srinivasan, Optimizing Routes using Genetic Algorithms based on Throughput or Delay Sensitivity of Applications using SNMP for Automatic Discovery of Network Topology. *International Journal of Computer Applications* (0975 – 888) Volume 47– No.12, June 2012
35. Navarro M.A., Morales-Castaneda B., Ramos-Michel A., Oliva D., Valdivia A., Casas-Ordaz A., Rodriguez-Esparza E. An Hyper-Heuristic Based Population Management Through Statistical Analysis and Phases Optimization (2023) *2023 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2023*, DOI: 10.1109/CEC53210.2023.10254032
36. Pobegaylov O.A., Myasishchev G.I., Gaybarian O.E. Organization and Management Efficiency Assessment in the Aspect of Linguistic Communication and Professional Text (2016) *Procedia Engineering*, 150, pp. 2173 - 2177, DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.260
37. Polyanin A., Golovina T., Avdeeva I., Dokukina I., Vertakova Y. Digital strategy of telecommunications development: Concept and implementation phases (2017) *Proceedings of the 30th International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2017 - Vision 2020: Sustainable Economic development, Innovation Management, and Global Growth*, 2017-January, pp. 1792 – 1803
38. Prokofiev S.E., Kadyrova G.M., Artyukhin R.E., Yeremin S.G., Savelyev A.A. Present-day information technologies in public administration in Russia (2021) *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 650 (1), art. no. 012016, Cited 3 times. DOI: 10.1088/1755-1315/650/1/012016
39. Sadeghi M., Carenini A., Corcho O., Rossi M., Santoro R., Vogelsang A. Interoperability of Heterogeneous Systems of Systems: Review of Challenges, Emerging Requirements and Options (2023) *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing*, pp. 741 - 750, DOI: 10.1145/3555776.3577692
40. Sanfelice R., Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach, In: *Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice*, D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic, 2016.]
41. Salutina T.Y., Platunina G.P., Frank I.A. Features of Risk Management of Digital and Infocommunication Development to Ensure a Unified Information Space of Companies in Modern Conditions (2023) *2023 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle*

- and Road Transport Complex, TIRVED 2023 - Conference Proceedings, DOI: 10.1109/TIRVED58506.2023.10332796
42. Tan X., Wang Y., Liu C., Yuan X., Wang K. Unlocking operational excellence: A deep dive into a communication-driven multi-strategy state transition algorithm for industrial process optimization (2023) *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 240, art. no. 104934, DOI: 10.1016/j.chemolab.2023.104934
 43. Taha, A.-E. M., Rashwan, A. M., & Hassanein, H. S. (2020). Secure Communications for Resource-Constrained IoT Devices. *Sensors*, 20(13), 3637. <https://doi.org/10.3390/s20133637>
 44. Tešić M. More Efficient Operations of the Company with the Help of Communication Technologies (2016) *ECONOMICS - Innovative and Economics Research Journal*, 4 (2), pp. 143 - 152, DOI: 10.1515/eoik-2017-0005
 45. Van De Bogart W. Information entanglement: Developments in cognitive based knowledge acquisition strategies based on big data (2015) *Proceedings of the International Conference on Intellectual Capital, Knowledge Management and Organisational Learning, ICICKM*, 2015-January, pp. 299 – 307
 46. Wei, Y., Chen, J., & Hwang, S.-H. (2018). Adjacent Vehicle Number-Triggered Adaptive Transmission for V2V Communications. *Sensors*, 18(3), 755. <https://doi.org/10.3390/s18030755>
 47. William Marfo, Deepak K. Tosh, Shirley V. Moore, Joshua Suetterlein, Joseph Manzano. Reducing Communication Overhead in Federated Learning for Network Anomaly Detection with Adaptive Client Selection. arXiv:2503.15448v1 [cs.DC] 19 Mar 2025
 48. W. Saad, Z. Han, M. Debbah, A. Hjørungnes and T. Basar, "Coalitional game theory for communication networks," in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 5, pp. 77-97, September 2009, doi: 10.1109/MSP.2009.0000000
 49. Yang P. Information Management in the Logistics and Distribution Sector Using Metaheuristic Techniques (2022) *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, 15 (4), DOI: 10.4018/IJSSCM.305850
 50. Z. Chen and B. Ji, "Resource allocation algorithm for IoT communication based on ambient backscatter," 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring), Helsinki, Finland, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTC2021-Spring51267.2021.9448677
 51. Zreikat, A. I., Al Arnaout, Z., Abadleh, A., Elbasi, E., & Mostafa, N. (2025). The Integration of the Internet of Things (IoT) Applications into 5G Networks: A Review and Analysis. *Computers*, 14(7), 250. <https://doi.org/10.3390/computers14070250>
 52. Galbraith, 1977
 53. Heaton, J. (2014). *Artificial Intelligence for Humans, Volume 2: Nature-Inspired Algorithms*, ISBN 978-1499720570. Iba Hitoshi. (2020).
 54. Approximated Sequences Reconstruction with Genetic Algorithms P. Petrov, G. Kostadinov, P. Zhivkov, V. Velichkova, T. Balabanov, *АВТОМАТИКА И ИНФОРМАТИКА* 3-4, 2021 г.
 55. Xujie Tan, Yalin Wang, Chenliang Liu *, Xiaofeng Yuan, Kai Wang, Unlocking operational excellence: A deep dive into a communication-driven multi-strategy state transition algorithm for industrial process optimization, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2023
 56. Collaborative Skills Training Using Digital Tools: A Systematic Literature Review, Anthony Cherbonnier, Brivael Hémon, Nicolas Michinov, Eric Jamet & Estelle Michinov, 2024]
 57. Digital literacy, the use of collaborative technologies, and perceived social proximity in a hybrid work environment: Technology as a social binder, Andree-Anne Deschênes, 2023
 58. Digital networks: Elements of a theoretical framework, Kevin Lewis, 2021

59. Sanfelice R., Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach, In: Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice, D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic, 2016.
60. Chen Y., Li Y., Li C., Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application, Journal of Cleaner Production, 268, 122071, 2020.
61. Atanasova, T.: Methods for processing of Heterogeneous Data in IoT based Systems. DCCN 2019, CCIS 1141, Springer, 42, 2019.
62. Dineva, K., Atanasova, T., Methodology for Data Processing in Modular IoT System. DCCN 2019, In: V. M. Vishnevskiy et al. (Eds.): DCCN 2019, LNCS 11965, pp. 457–468. Springer, 2019.
63. Dineva K., Atanasova T. Architectural ML Framework for IoT Services Delivery Based on Microservices. In: Vishnevskiy V.M., et al (eds) DCCN 2020. LNCS, 12563. Springer, 2020.