



**ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ
ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ**



**ФАКУЛТЕТ ПО
МАТЕМАТИКА
И ИНФОРМАТИКА**

РЕКТОРАТ:

ул. „Цар Асен“ 24, 4000 Пловдив, България
тел.: +359 32 261 261
имейл: rector@uni-plovdiv.bg
uni-plovdiv.bg

ДЕКАНАТ:

бул. „България“ 236, 4027 Пловдив, България
тел.: +359 32 261 800
имейл: dean-fmi@uni-plovdiv.bg
fmi-plovdiv.org

Катедра „Компютърни системи“

Изследвания за разработване на амбиент-ориентиран генератор на маршрути

АВТОРЕФЕРАТ

за присъждане на образователна и научна степен „доктор“
в област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика,
професионално направление: 4.6. Информатика и компютърни науки,
докторска програма: Информатика

Докторант: Георги Костадинов Костадинов

Научен ръководител: проф. д-р Ася Стоянова-Дойчева

Пловдив
2026

Авторефератът е изготвен въз основа на дисертационния труд „Изследвания за разработване на амбиент-ориентиран генератор на маршрути“, разработен в катедра „Компютърни системи“ при Факултета по математика и информатика на ПУ „Паисий Хилендарски“, град Пловдив.

Дисертационният труд съдържа 157 страници, 10 фигури, 21 таблици и 6 приложения. Библиографията включва 83 източника. Списъкът на авторските публикации по темата се състои от 4 заглавия.

Данните за заседанието, състава на научното жури, датата и мястото на защитата следва да бъдат попълнени след утвърждаване на процедурата.

Научно жури:

1.
2.
3.
4.
5.

Автор: Георги Костадинов Костадинов

Съдържание

Увод.....	4
Цели на дисертационния труд	5
Структура на дисертационния труд	6
Глава 1. Текущо състояние в областта.....	7
1.1 Препоръчващи системи в туризма	7
1.2 Интерактивни туристически екскурзоводи.....	7
1.3 Онтологии, контекст и персонализация в туристически системи	7
1.4 Достъпност, обяснимост и несигурност в интелигентния туризъм	8
1.5 Сравнителен анализ на съществуващите решения	8
1.6 Изводи от Глава 1.....	9
Глава 2. Архитектура на амбиентно-ориентиран интелигентен туристически екскурзовод... 10	
2.1 Основни функционалности на интелигентния туристически екскурзовод	10
2.2 Виртуално физическо пространство	10
2.3 Архитектура на туристическия екскурзовод.....	11
2.4 Изводи от Глава 2.....	14
Глава 3. Реализация на прототип на амбиентно-ориентиран интелигентен туристически екскурзовод.....	15
3.1 Техническа реализация.....	15
3.2 Логика на работа на туристическия екскурзовод	17
3.3 Ограничения на прототипа	19
3.4 Инструментариум за експертна валидация	19
3.5 Анализ на влиянието на отделните амбиентни фактори.....	19
3.6 Разширения на модела на данните и знанието	21
3.7 Етични и приложни аспекти на предложеното решение	22
3.8 Изводи от Глава 3.....	22
Глава 4. Експериментална валидация на предложения модел	23
4.1 Експериментална постановка	23
4.2 Количествени резултати от сравнението на стратегиите.....	23
4.3 Аблационен анализ на амбиентните фактори	23
4.4 Сценарийна валидация и качествен анализ.....	24
4.5 Обсъждане на резултатите и ограничения на валидацията	24
4.6 Валидация с реални данни от предметната област.....	24
4.7 Изводи от Глава 4.....	25
Заклучение.....	27
Резултати от дисертационния труд	27
Насоки за бъдещи изследвания	28
Публикации по темата.....	29
Използвана литература.....	31

Увод

Когато турист реши да посети непознат град или област, той е изправен пред практически проблем: как да избере кои културно-исторически обекти да посети, в какъв ред и при какви условия, така че посещението да бъде осъществимо и удовлетворяващо. Този проблем остава нерешен с нарастването на обема достъпна информация за културното наследство — описания, категории, местоположения и т.н., — която сама по себе си не е достатъчна за вземане на решение. Днес потребителят не очаква единствено достъп до каталог от туристически обекти, а интелигентна среда, която да му помогне да направи информиран избор, да оцени ключови ограничения на конкретната ситуация и да получи практически изпълним маршрут¹. Тази динамика е особено изразена при мобилните туристически приложения [1], [2], където решението за избор на следващ обект е строго контекстуално и се взема на момента, под влияние на множество променливи: времеви ограничения, пространствена близост, физическа достъпност и индивидуални потребителски предпочитания [3], [4], [5], [6], [7], [8].

Класическите електронни туристически екскурзоводи традиционно предоставят списъчни или картографски представяния на забележителности, кратко описание, изображения и понякога базови филтри по категория. Макар подобни системи да имат висока справочна стойност, те оставят на потребителя трудната задача да съчетае сам тематичния интерес, текущото местоположение, наличното време, собствените ограничения и изменящите се условия на средата. Информационната им стойност остава висока, но те проявяват дефицит на контекстна интелигентност. Настоящият труд реализира понятието „амбиентни характеристики“ — динамични свойства на обектите и средата около тях (местоположение, достъпност, метеорологични условия, експозиция и времева наличност), които определят практическата пригодност на дадено посещение в конкретен момент. Оттук произтича нуждата от ново поколение туристически екскурзоводи, способни да интегрират семантично представяне на знания, динамична контекстна осведоменост (context awareness) и алгоритъм за персонализирано вземане на решения [9], [10], [11], [12], [13]. Очертава се научно-приложният проблем на настоящия труд: как да се проектира туристически екскурзовод, който едновременно интегрира семантично представяне на културно-историческите обекти, динамична контекстна осведоменост и персонализирано вземане на решения. Крайната цел е генерирането на практически изпълними и обясними маршрути в условията на променлив външен контекст и разнообразни потребителски профили.

В научната литература проблемът за туристическото препоръчване се разглежда в няколко пресичащи се направления. Препоръчващите системи използват съдържателни, колаборативни и хибридни модели за подбор на обекти според профила на потребителя [11], [14], [15], [1]. Мобилните гидове и контекстно-зависимите приложения използват локация, време и поведенчески сигнали, за да предоставят по-уместно съдържание [10], [8], [16]. Онтологичното и семантично моделиране на туристическия домейн дава възможност за формално описание на културните обекти, техните категории, свойства и отношения [17], [18], [19]. Отделно от тези три направления нараства и интересът към достъпния туризъм, обяснимостта на препоръките и работата с непълни данни, които поставят въпроса за приложимостта и доверието към интелигентните туристически системи [20], [21], [22], [23], [24].

Настоящият дисертационен труд се позиционира именно в пресечната точка между тези направления. Разглежда се проблемът за амбиентно-ориентиран интелигентен

¹ Под „маршрут“ в настоящия труд се разбира приоритизиран списък от обекти-кандидати за посещение, подредени по степен на контекстна пригодност, а не географски път на придвижване.

туристически екскурзовод, в който туристическите обекти не се реализират като чисто статични.

Тезата на труда е, че интелигентният туристически екскурзовод следва да бъде моделиран като контекстно-чувствителна, семантично информирана и обяснима препоръчваща среда. В такава среда първичният подбор на обекти-кандидати може да се извършва по няколко равностойни пътища: пространствено откриване на близки обекти, търсене по онтологични понятия, навигация към сходни обекти на базата на семантична близост или изричен потребителски избор. Всички тези пътища подават кандидати към споделен компонент на амбиентно преоценяване, което интегрира както външния контекст, така и изричния потребителски профил.

Цели на дисертационния труд

Основната цел на дисертационния труд е да се проектира, имплементира и аргументира двуетапен модел на амбиентно-ориентиран интелигентен туристически екскурзовод, в който семантично извличане на кандидати въз основа на онтологично знание е последвано от амбиентно преоценяване, отчитащо потребителския профил и динамичния външен контекст, с цел генериране на практически изпълними и обясними маршрути (по смисъла, дефиниран по-горе) до културно-исторически обекти.

За постигане на тази цел са формулирани три основни подцели, разгърнати в конкретни изследователски задачи:

- Цел 1. Да се разработи теоретична и архитектурна постановка на амбиентно-ориентиран интелигентен туристически екскурзовод, в която семантичното описание на туристическите обекти се обединява с многомерен модел на амбиентните фактори.
- Задача 1.1. Да се систематизира и анализира текущото състояние на научните разработки в областта на туристическите препоръчващи системи, контекстно-зависимите екскурзоводи, онтологичните модели и достъпния туризъм, за да се идентифицира изследователската ниша, в която се позиционира трудът.
- Задача 1.2. Да се дефинира формален модел на туристически обект като онтологична инстанция, разширена с амбиентни характеристики, и да се изгради многослойна архитектура, съвместима с принципите на виртуално-физическото пространство, която ясно отделя етапа на семантично извличане от етапа на амбиентно преоценяване и позволява интеграция на знание, потребителски профил, услуги и външен контекст.
- Цел 2. Да се реализира прототипна система, която материализира двустепенния модел в работещ софтуерен проект с поддръжка на семантично търсене, амбиентно преоценяване, обяснимост и управление на несигурността.
- Задача 2.1. Да се реализират основните модули на прототипа — търсене по онтологични понятия, извличане на сходни и близки обекти, управление на потребителски профили и оценки, алгоритъм за амбиентно преоценяване — и да се интегрира динамичен метеорологичен контекст, така че системата да реагира на условията на средата в реално време.
- Задача 2.2. Да се формализира достъпността (двигателна, зрителна, слухова) като реално ограничение в амбиентното преоценяване, а не като описателен атрибут.
- Задача 2.3. Да се предложи предпазлив механизъм за контролирано допълване на липсващи или непълни амбиентни характеристики чрез езиков модел и възможност за експертна верификация, който повишава покритието на приложимите маршрути, без да жертва надеждността.
- Задача 2.4. Да се вградят обяснимост на препоръките и управление на несигурността като неотменни качества на екскурзовода.
- Цел 3. Да се формулира и приложи методика за експериментална валидация на предложения модел, включваща сравнение с базови стратегии за препоръчване,

аблационен анализ на отделните амбиентни фактори, сценарийна валидация по типове потребителски профили и проверка както върху синтетичен, така и върху реален корпус от предметната област.

Структура на дисертационния труд

Дисертационният труд следва прехода от теоретична основа (Глава 1 — текущо състояние и изследователска ниша) през архитектурна постановка (Глава 2) и инженерна реализация на прототипа (Глава 3) към експериментална валидация върху синтетичен и реален корпус (Глава 4), като уводът извежда целите и задачите, а заключението обобщава резултатите, ограниченията, бъдещите насоки и публикациите по темата.

Глава 1. Текущо състояние в областта

1.1 Препоръчващи системи в туризма

Препоръчващите системи обхващат съдържателни [15], колаборативни [11] и хибридни [14] подходи. В туризма обаче тази обща категоризация се оказва недостатъчна, защото обектите са едновременно пространствени, времеви и семантични единици, а приложимостта им зависи от разстояние, работно време и моментни ограничения. Още Ricci [25] очертава спецификата на препоръчващите системи при пътувания като самостоятелен клас, Gavalas et al. [1] по-късно систематизират съвременните мобилни туристически препоръчващи системи, а по-ранните работи по маршрутно планиране [9], [26], [27] въвеждат формалните ограничения на времеви прозорци и профити.

Съдържателните модели са полезни при „студен старт“, когато обектите разполагат с богати семантични описания [18], [15], [19]. За културни обекти обаче метаданните рядко са пълни и еднородни, което прави тези модели крехки спрямо динамичен контекст и реална приложимост.

Сценарий: турист с двигателни ограничения търси обекти в неделен следобед при дъжд. Системи без достъпност може да препоръча археологически резерват на открито — тематично релевантен, но физически неприложим; система с достъпност, но без метеорологичен контекст, ще предложи достъпен обект на открито, без да отчете дъжда. Едва когато достъпност, метеорологични данни, работно време и близост се оценяват едновременно, системата може да елиминира неприложимите кандидати и да приоритизира реално изпълнимите.

1.2 Интерактивни туристически екскурзоводи

Интерактивният туристически гид обединява мобилен достъп, локализация и адаптирано съдържание, а ранните системи като Cyberguide [8] поставят именно тази основа. За решаване на реалния туристически избор обаче това не е достатъчно, защото локацията трябва да се допълни с по-богат контекст и механизъм за преценка на приложимостта [10], [16], [28].

Интерактивните гидове комбинират търсене, навигация и препоръчване около движението на потребителя в пространството [3], [4], [5] и все по-често са част от по-широки интелигентни архитектури с услуги, бази знания и външни източници [29], [30]. Това функционално разнообразие само по себе си не гарантира интелигентно поведение, ако системата не моделира формално знанието и динамичния контекст на избора.

От гледна точка на дисертационния проблем най-същественото е, че интерактивните гидове показват как туристическата система може да бъде поставена в реален контекст на употреба, но не винаги предоставят достатъчно силен модел за обяснимо и контекстно-зависимо препоръчване. Амбиентният подход разширява идеята за интерактивен гид, като въвежда формализирани характеристики на средата и на пригодността на обекта за посещение.

1.3 Онтологии, контекст и персонализация в туристически системи

Онтологията осигурява формално описание на туристическите обекти и връзките между тях, така че знанието да бъде оптимизирано за търсене и преизползваемо [17], [18], [19]. Само семантичното описание обаче не решава дали обектът е приложим в текущия момент за конкретния турист.

Онтологичните и таксономичните модели позволяват един обект да се описва по няколко семантични оси, а контекстът да свързва това стабилно знание с конкретната употреба [17], [30]. Критичният момент е, че без формално представен контекст онтологията остава добра за търсене, но недостатъчна за динамично решение в реална туристическа ситуация.

1.4 Достъпност, обяснимост и несигурност в интелигентния туризъм

Терминът „интелигентен туризъм“ (smart tourism) в настоящия труд се използва в смисъла, зададен от Gretzel et al. [31], като туристическа среда, в която информационните и комуникационните технологии заедно с данните превръщат услугите в адаптивни, контекстно-чувствителни и персонализирани. В тази рамка достъпността, обяснимостта и управлението на несигурността се оформят като основни, но недостатъчно развити едновременно изисквания. Достъпността не може да се моделира като един бинарен атрибут; тя изисква поне разграничение между различни типове ограничения и форми на неравностойно положение [20], [23], [24]. Без такова разграничение туристическата система рискува да препоръчва формално близки, но практически неизпълними обекти [32].

Литературата върху маршрутизиране за потребители с двигателни увреждания показва, че пространствената близост сама по себе си не гарантира практическа приложимост на маршрута [20], [23]. Маршрутът трябва да бъде не просто кратък, а физически изпълним и съобразен с ограниченията на потребителя. Аналогично, в туристическия домейн обектът не трябва да бъде препоръчван единствено защото е близо или популярен, ако липсват условия за посещение. Това прави достъпността структурен, а не периферен фактор.

Комбинирането на достъпност, обяснимост и управление на несигурност поставя по-висок стандарт за интелигентния туристически екскурзовод: системата трябва не само да намира добри кандидати, а да го прави прозрачно, справедливо и устойчиво на непълни данни — разграничение, което отличава амбиентно-ориентирания подход от по-прости стратегии за препоръчване.

1.5 Сравнителен анализ на съществуващите решения

На базата на разгледаните до момента подходи, в настоящия раздел се предлага систематизиран сравнителен анализ на водещи съществуващи системи спрямо петте оси, по които се обособява резултатът на дисертационния труд: семантично описание на обекта, многомерна достъпност, динамичен метеорологичен контекст, контролирано допълване чрез изкуствен интелект и обяснимост на препоръката.

Изборът на тези пет оси не е произволен. Семантичното описание е идентифицирано като необходимо условие за преизползваемост и тематично търсене в множество независими обзори [17], [18], [19]. Достъпността е призната за самостоятелно изследователско направление в туристическия домейн [23], [24], [32]. Динамичният метеорологичен контекст е посочен като значим фактор за поведението на туристите [33], [34], [35]. Контролираното допълване на данни адресира документирания проблем с непълнотата на културно-историческите метаданни [36], [37], [38]. Обяснимостта е обособена като самостоятелна таксономия в рамките на препоръчващите системи [21], [22], [39]. Следващата таблица допълнително включва ос за глобална маршрутна оптимизация, по която съществуващи системи превъзхождат настоящия прототип, за да се осигури балансирано сравнение.

Таблица 1. Обобщено позициониране на предложения модел спрямо съществуващи решения.

Критерий	Типични решения	Предложен модел
Семантика	Категории, тагове или онтологии	Онтологични понятия и инстанции
Достъпност	Описателен атрибут	Твърдо ограничение при несъвместимост
Метео контекст	Рядко динамичен	Експозиция с текущо време
Обяснимост	Често липсва	Факторни обяснения и причина за елиминация
Липсващи данни	Игнориране	AI-инференция с експертна проверка

За по-прецизно позициониране на предложения модел спрямо близки класове системи е полезно да се разгледат няколко концептуално сходни типа решения, описвани в

литературата и практиката. Подобно сравнение показва не само какво прави настоящият прототип, но и с какво се различава от други видове туристически и препоръчващи системи.

1.6 Изводи от Глава 1

Анализът на текущото състояние в областта позволява да се формулират няколко обобщаващи извода.

Туристическите препоръчващи системи са многокритериални и контекстно-зависими; съществуващите гидове използват локация и мобилност, но не интегрират достатъчно богат семантичен модел, многомерна достъпност и управление на непълни данни. Онтологичните модели са подходяща основа, която трябва да бъде допълнена с контекстен и потребителски слой. Достъпността и обяснимостта са структурни изисквания, а несигурността налага предпазливи механизми и внимателно използване на AI услуги.

Анализът очертава пет изследователски възможности: (1) онтологично описание на обектите като основа за тематично търсене; (2) многомерна достъпност като твърдо ограничение; (3) динамичен метеорологичен контекст чрез експозицията; (4) контролирано AI-допълване на непълни данни със защитни стратегии; (5) обяснимост на класирането чрез факторни приноси и причина за елиминация. Върху тях стъпват архитектурата на Глава 2 и реализацията на Глава 3.

Глава 2. Архитектура на амбиентно-ориентиран интелигентен туристически екскурзовод

2.1 Основни функционалности на интелигентния туристически екскурзовод

Архитектурата адресира петте изследователски възможности от §1.6: семантичното описание — чрез слоя на знанието; многомерната достъпност — чрез амбиентните характеристики; динамичният метеорологичен контекст — чрез интеграционния слой; контролираното AI-допълване — чрез изолиран модул; обяснимостта — чрез проследима оркестрация. Системата обхваща целия цикъл на туристическото подпомагане (регистрация, семантично търсене, амбиентно преоценяване, обратна връзка) като последователност от взаимосвързани операции, а не изолирани екрани или API извиквания.

Първата група функционалности обхваща идентификацията и профилирането на потребителя: регистрация, съхранение на основни координати, наличен времеви прозорец, предпочитания и ограничения. Профилът е основна входна структура към модела — от него се извличат теглата на амбиентните фактори, пространствените координати и ограниченията, участващи в класирането. Получаването на данните е операционализирано чрез въпросник на клиентската част с подхода за изрично профилиране в интелигентен персонален туристически екскурзовод.

Втората група функционалности обхваща семантичното търсене и достъпа до онтологичната база знания: търсене на понятия по тип и ключова дума, извличане на инстанции по понятие, преглед на детайли за обект и намиране на сходни обекти — подготвя първичния набор от кандидати за последващо амбиентно оценяване.

Така дефинираните функционалности показват, че предложеният туристически екскурзовод е интегрирана интелигентна среда, в която знание, профил, контекст и алгоритмична логика взаимодействат в общ архитектурен модел.

2.2 Виртуално физическо пространство

Концепцията за виртуално физическо пространство се вписва в по-широкото изследователско поле на Internet of Things [40] и на context-aware computing [41], като същевременно предлага конкретна архитектурна форма за съчетаване на физическия свят, цифровото представяне и социалното взаимодействие в единна приложна среда [29], [30]. В контекста на интелигентния туристически екскурзовод това означава, че системата трябва да може да свърже реалното местоположение на туриста, реалните свойства на културните обекти и цифровото знание за тях в един оперативен цикъл. Без подобна рамка туристическият гид остава или чисто справочна система, или чисто геолокационен инструмент.

Първата експлицитна формулировка на ViPS като референтна архитектура за IoT приложения е дадена в [42], където пространството е описано като архитектура, способна да се адаптира към различни домейни и разглеждана в тясна връзка с кибер-физическите и кибер-физическо-социалните пространства. Тази линия е развита по-детайлно в [43], където ViPS е представено от авторите като първа обща референтна архитектура на IoT екосистема, и в [44], където преходът от DeLC и Virtual Education Space към Virtual Physical Space е систематизиран като по-общ модел за интеграция на виртуалния, физическия и социалния свят.

В архитектурен план ViPS не се свежда до абстрактна идея за свързаност, а до конкретна композиция от формализми и активни компоненти. Обобщеното описание в [29] и по-ранните публикации [43], [45] и [46] показва, че ядрото на средата включва Event Engine/ENet за представяне и разпространение на събития, TNet за времевите аспекти, AmbiNet за пространствено моделиране, персонални и оперативни асистенти за рационално поведение и guard слой за интерфейс към IoT възлите. Особено важна е разработката [46], защото тя конкретизира как събитията могат да бъдат категоризирани, сериализирани, пакетирани и маршрутизирани през различни message broker-и, без бизнес логиката да се обвързва с една конкретна транспортна технология.

В архитектурата виртуално-физическото пространство е използвано като проектен принцип: базата знания съдържа онтологичните понятия и инстанции (виртуалния модел), амбиентните характеристики свързват знанието с физическата осъществимост на посещението, а потребителският профил закотвя поведението спрямо реалния турист. Маршрутът е динамичен продукт на взаимодействието между знание за обекта, данни за потребителя и данни за средата.

2.3 Архитектура на туристическия екскурзовод

Предложеният туристически екскурзовод следва многослоен архитектурен модел, в който отделните компоненти са организирани около ясно разграничени отговорности в духа на Clean Architecture [47] и на domain-driven design [48]. На най-общо ниво могат да бъдат разграничени презентационен слой, приложен слой, слой на знанието и интеграционен слой. Тази декомпозиция е избрана не само по инженерни съображения [49], но и заради научната необходимост отделните изследователски идеи да бъдат локализирани в конкретни архитектурни единици. Съпоставянето спрямо ViPS рамката от раздел 2.2 е следното: слой на знанието реализира онтологично-амбиентното ядро, съответстващо на AmbiNet компонента [45]; приложният слой играе ролята на оперативен асистент, аналогично на асистентите от туристическия гид в [3] и [29]; интеграционният слой съответства на guard слоя към външни услуги и събития [43], [46]; а презентационният слой предоставя технологично неутрален REST интерфейс към тази среда [50]. Семантичното търсене, амбиентното класиране, профилирането на потребителя, метеорологичната интеграция и AI-инференцията са различни задачи и трябва да бъдат капсулирани така, че взаимодействието между тях да бъде контролируемо. В реализацията тези логически слоеве са организирани като вертикални срезове (vertical slices) по домейнен контекст — всеки контекст (амбиенти, онтология, потребители) съдържа собствени REST ресурси, услуги, модели и хранилища, вместо да бъдат групирани в хоризонтални пакети по технически признак.

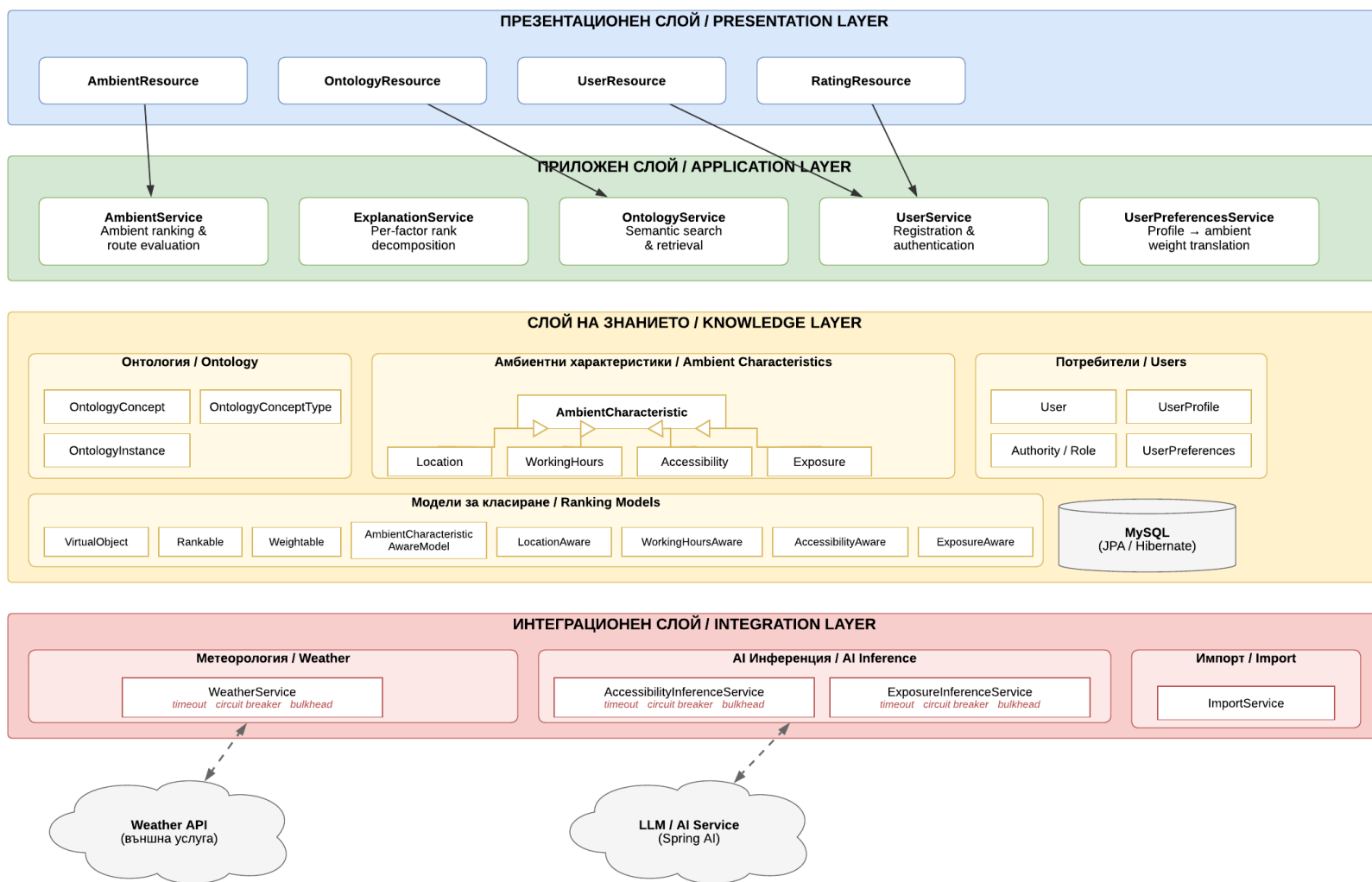
В слоя на знанието онтологичните понятия и инстанции са съпоставени към отделни JPA entity класове и релационни таблици: `OntologyConcept` се съхранява в `ontology_concept`, а `OntologyInstance` — в `ontology_instance`. И двата типа имат външен идентификатор, име, описание и йерархична връзка `parent_id`; отношението „много към много“ между понятия и инстанции се реализира чрез междинната таблица `ontology_instance_ontology_concept`. Така едно понятие може да обединява множество туристически обекти, а една инстанция може да принадлежи към повече от една семантична категория. Амбиентните характеристики са свързани с конкретната инстанция чрез `ontology_instance_id` и се съхраняват в базова таблица `ambient_characteristic` със специализирани таблици за локация, достъпност, експозиция и работно време. [47] [48] [49] [45] [3] [29] [43] [46] [50]

Терминът „онтологичен модел“ се използва в настоящия труд в инженерно-приложен смисъл. Моделът съдържа йерархично организирани понятия, инстанции и връзки между тях, но не претендира да бъде пълна формална OWL/RDF онтология. От строго логическа гледна точка част от структурата може да се разглежда като домейн таксономия, обогатена с връзки към инстанции и амбиентни характеристики. Това не намалява добавената стойност на модела, защото именно тази структурирана семантика позволява търсене по понятия, групиране на обекти, извличане на сходство и последващо амбиентно преоценяване. [47] [48] [49] [45] [3] [29] [43] [46] [50]

Съпоставянето на предложената архитектура към ViPS е концептуално, а не технологично буквално. Оригиналната ViPS архитектура предвижда асинхронно разпространение на събития чрез Event Engine и времево моделиране чрез TNet, реализирани върху message broker инфраструктура [46]. В настоящата система тези функции са адаптирани към синхронен request-response модел: оркестрацията на контекстни промени (метеорологични данни, AI инференция, потребителски профил) се извършва в рамките на

единична HTTP заявка, а не чрез publish–subscribe механизъм. Този избор е продиктуван от природата на приложението — туристическият екскурзовод обслужва индивидуални заявки с конкретен потребителски контекст, а не поток от асинхронни сензорни събития. Съответно, ViPS е използван като проектен принцип за разделяне на отговорностите, а не като конкретна технологична спецификация.

Интеграционният слой свързва системата с външни услуги: метеорологичен източник за текущи условия и AI услуга за инфериране на липсващи характеристики. От архитектурна гледна точка това е слой с по-ниска надеждност в сравнение с локалната база данни, поради което достъпът до него е изолиран чрез отделни услуги, резервно поведение (fallback) и защитни механизми.



Фигура 1. Блокова диаграма на архитектурните слоеве и основните подсистеми на амбиентно-ориентирания туристически екскурзовод.

2.4 Изводи от Глава 2

Предложената архитектура показва, че амбиентно-ориентираният туристически екскурзовод може да бъде реализиран като многослойна интелигентна среда, а не като монолитен алгоритъм. Семантичното търсене, амбиентното оценяване, потребителският профил и външният контекст са отделени в самостоятелни архитектурни единици, което улеснява както разширяването на системата, така и аналитичното ѝ описание.

Архитектурата е съвместима с принципите на виртуално-физическото пространство, тъй като свързва цифровото описание на обектите с реалните условия за посещение, и стъпва върху утвърдени архитектурни принципи — Clean Architecture [47], domain-driven design [48] и стабилизиращи шаблони (circuit breaker, bulkhead, timeout) за външна интеграция [51]. Така резултатите на дисертацията се локализируют в конкретни архитектурни единици, а не остават на чисто концептуално ниво.

Първият съществен резултат е онтологично-амбиентното ядро в слоя на знанието. Чрез общата базова таблица със специализации (class table inheritance [52]) амбиентните характеристики могат да бъдат обработвани полиморфно, а същевременно всяка характеристика запазва собствения си оценъчен модел. Това дава директна архитектурна реализация на изискването за разширяемост и решава проблема с многомерната достъпност, формулиран в раздел 1.6.

Накрая, модулната декомпозиция осигурява добра основа за научна защита, защото позволява ясно локализиране на резултатите: онтологичен модел, амбиентен слой, контекстна интеграция и механизъм за работа с непълни данни. Същата декомпозиция създава естествения преход към Глава 3, в която всяка от тези архитектурни единици се разглежда на ниво модели на данните, алгоритми и конкретни правила за амбиентно класиране.

Таблица 2. Архитектурни слоеве и конкретна реализация.

Слой	Роля	Реализация
Презентационен	Достъп до функции	REST API за клиент
Приложен	Оркестрация	AmbientService, OntologyService, ExplanationService
База знания	Семантичен модел	OntologyConcept и OntologyInstance
Амбиентен	Физически и ситуационни ограничения	Location, Accessibility, Exposure, WorkingHours
Интеграционен	Външни услуги	WeatherService и AI inference

Глава 3. Реализация на прототип на амбиентно-ориентиран интелигентен туристически екскурзовод

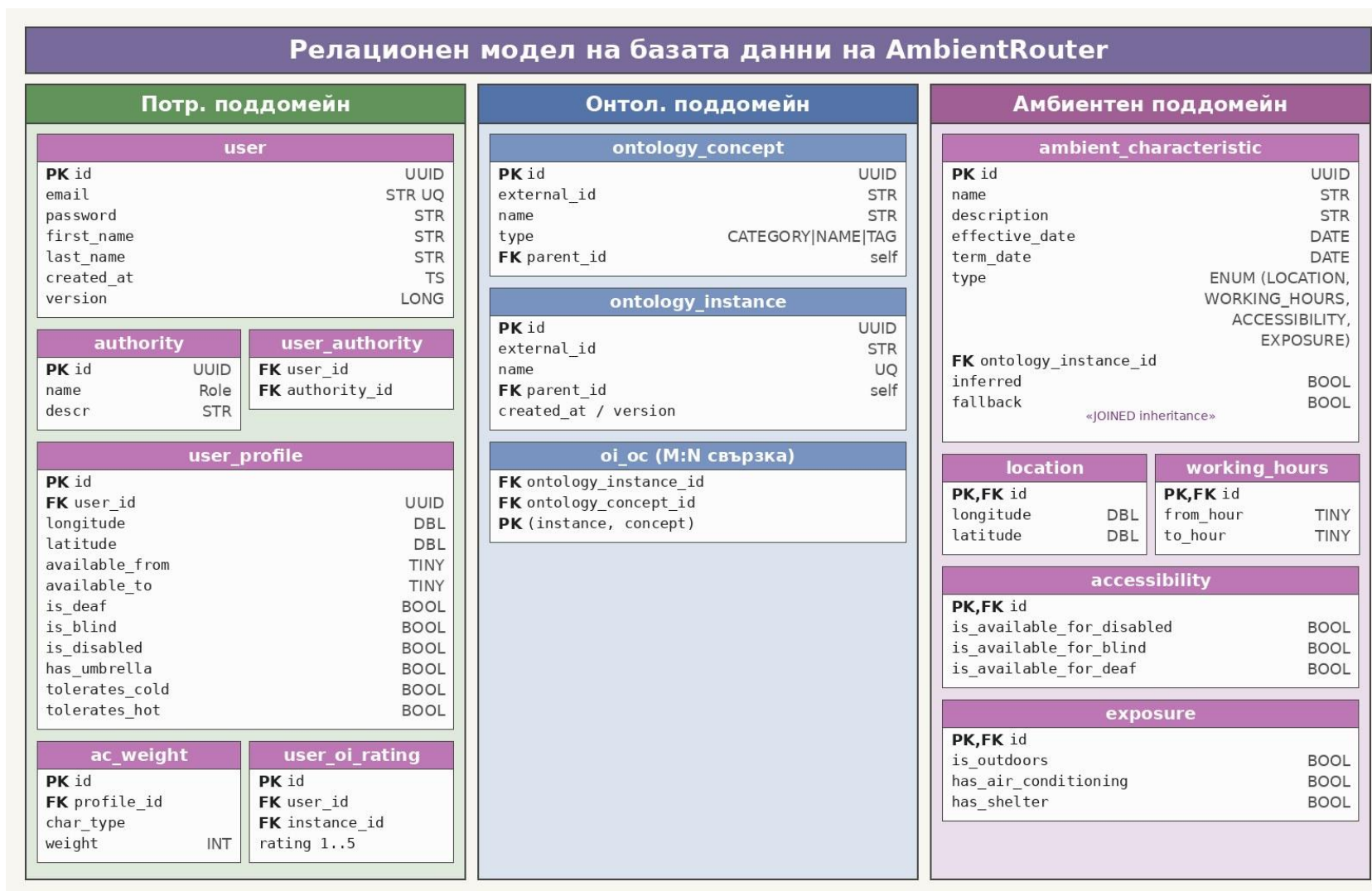
3.1 Техническа реализация

Техническата реализация е съвърно ядро на Java и Spring с REST интерфейс (Java 21, Spring Boot 3.5, MySQL 8.0). Spring екосистемата осигурява чисто разделяне между уеб слой, домейн услуги, хранилища на данни и интеграции, което съответства на архитектурната постановка от предходната глава.

Прототипът е организиран по домейни — `domain/ontology`, `domain/ambient`, `domain/user` — плюс инфраструктурни модули за метеорологична интеграция, AI-инференция и импорт. Така онтологичният модел, амбиентните характеристики и потребителският профил са реално имплементирани като отделни и взаимодействащи модули.

В модела на обменяните данни е заложен принципът на проследимост: системата различава директно налични от инферирани стойности и позволява да се покаже произходът на отделните фактори (директно въведени, инферирани или продукт на резервния механизъм).

Моделът на данните е релационна схема с три поддомейна: онтологичен слой (`ontology_instance`, `ontology_concept` и свързваща таблица); амбиентен слой (обща `ambient_characteristic` таблица със специализации за `accessibility`, `exposure`, `location`, `working_hours` — полиморфно третиране с различни оценъчни модели); потребителски домейн (идентичност и параметрите за алгоритъма — координати, часови прозорец, ограничения и тегла на факторите).



онтол. поддомейн

ontology_concept

PK id

UUID

external_id

STR

name

STR

type

CATEGORY|NAME|TAG

FK parent_id

self

ontology_instance

PK id

UUID

external_id

STR

name

UQ

FK parent_id

self

created_at / version

oi_ос (M:N свързка)

FK ontology_instance_id

FK ontology_concept_id

PK (instance, concept)

Амбиентен поддомейн

ambient_characteristic

PK id

UUID

name

STR

description

STR

effective_date

DATE

term_date

DATE

type

ENUM (LOCATION, WORKING_HOURS, ACCESSIBILITY, EXPOSURE)

FK ontology_instance_id

inferred

BOOL

fallback

BOOL

«JOINED inheritance»

location

PK,FK id

longitude

DBL

latitude

DBL

working_hours

PK,FK id

from_hour

TINY

to_hour

TINY

accessibility

PK,FK id

is_available_for_disabled

BOOL

is_available_for_blind

BOOL

is_available_for_deaf

BOOL

exposure

PK,FK id

is_outdoors

BOOL

has_air_conditioning

BOOL

has_shelter

BOOL

Фигура 2. ER диаграма на релационния модел на базата данни на AmbientRouter.

Потребителският контекст се събира при регистрацията чрез въпросник, реализиран в клиентското приложение. Подходът за изрично профилиране е описаният от Кристиан Милев [53] в контекста на интелигентен персонален туристически екскурзовод. Събраните данни — координати, часови прозорец, ограничения и тегла на AMBIENTните фактори — постъпват директно в алгоритъма за класиране, което осигурява персонализация още от първото използване.

AI-инференцията е интегрирана с детерминистичния AMBIENTен модел като структурно обогатяване с управлявана несигурност, а не като замяна на детерминистичната логика. Реализирани са три специализирани услуги — `AccessibilityInferenceService`, `ExposureInferenceService` и `WorkingHoursInferenceService` — всяка със структуриран промпт, ниска температура и ясно дефиниран формат на изхода, което прехвърля AI-инференцията от свободен текст към ограничен структурен канал.

При достъпността моделът извлича три отделни стойности (двигателна, зрителна, слухова); при експозицията — `isOutdoors`, `hasAirConditioning` и `hasShelter`; при работното време — начален и краен час. Непразрешените полета получават неутрален ранг (1,0) — еднакво за трите характеристики — а не песимистични резервни стойности.

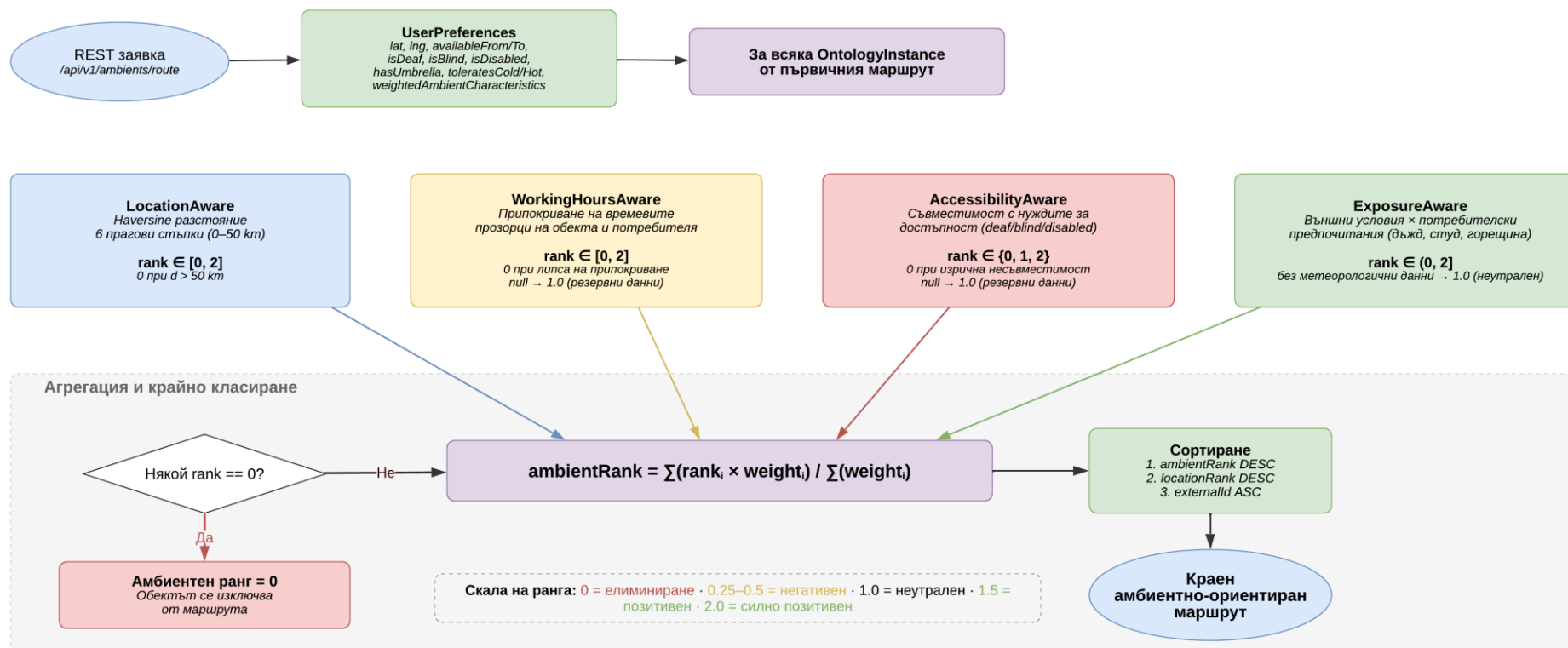
Контекстът към езиковия модел се конструира от описанието на AMBIENTа и наличните онтологични понятия на свързания обект: онтологията осигурява структуриран домейн контекст, а езиковият модел извършва вероятно допълване на липсващи атрибути. AI-изходът се третира като условно инферирана стойност, отделима от наблюдаваните данни и подлежаща на последваща човешка верификация.

3.2 Логика на работа на туристическия екскурзовод

Логиката на работа на екскурзовода следва двуетапен модел. На първия етап се формира първичен набор от кандидат-обекти чрез семантично търсене по онтологични понятия, извличане на близки обекти около потребителя или избор на сходни обекти спрямо вече разглеждана инстанция. На втория етап този набор се интерпретира спрямо текущия профил и среда, така че системата да отговори не само кои обекти са тематично смислени, а кои са приложими точно сега.

Междинни резултати от разработването на този двуетапен подход са публикувани в [7], където е представен алгоритъм за генериране и визуализация на маршрут на интелигентен туристически екскурзовод, и в [6], където моделът е разширен с AMBIENTни характеристики, персонализация и онтологични понятия. Настоящият труд надгражда тези резултати, като ги интегрира в цялостна архитектура и методика за валидация.

Алгоритъм за амбиентно преоценяване на маршрут



Фигура 3. Блок-схема на алгоритъма за амбиентно преоценяване и класиране на кандидат-обекти с персонализирана информация и първичен списък от онтологични инстанции.

Алгоритъмът предоставя обяснимост по построение: за всеки обект са налични междинните оценки по отделните фактори и теглата им, логиката на отпадане е явна, а DTO моделите включват и контекстните данни, участвали в оценката — например дали вали, дали е горещо или студено.

Реализираният endpoint `GET /api/v1/ambients/{id}/explain` връща `ExplanationDTO` с явна класификация на ефекта на всеки фактор (`ELIMINATED`, `STRONGLY_NEGATIVE`, `NEGATIVE`, `NEUTRAL`, `POSITIVE`, `STRONGLY_POSITIVE`), текстова причина и обобщено описание. За всеки фактор се предоставя рангът, теглото, дали стойността е инферирана или резервна, и текстово обяснение на конкретния му принос. Обяснението се построява детерминистично от данните, които алгоритъмът вече изчислява, без допълнителен инфериращ слой.

Несигурността се третира консервативно: липсващите стойности получават неутрален ранг (1,0), докато изрично установената несъвместимост по достъпност или работно време води до елиминация. Системата различава директно налични, инферирани и резервни стойности, което позволява на обяснителния слой да посочи произхода на всеки фактор.

3.3 Ограничения на прототипа

Прототипът има четири ограничения: (1) липсва пълна маршрутна оптимизация с транспортни времена — фокусът е върху преоценяване и класиране; (2) синтетично генерирани потребители и оценки ограничават поведенческите изводи; (3) AI-инференцията е вероятностна и не замества експертната верификация; (4) REST интерфейсът е достатъчен за прототипа, но не е завършен като публичен индустриален API.

3.4 Инструментариум за експертна валидация

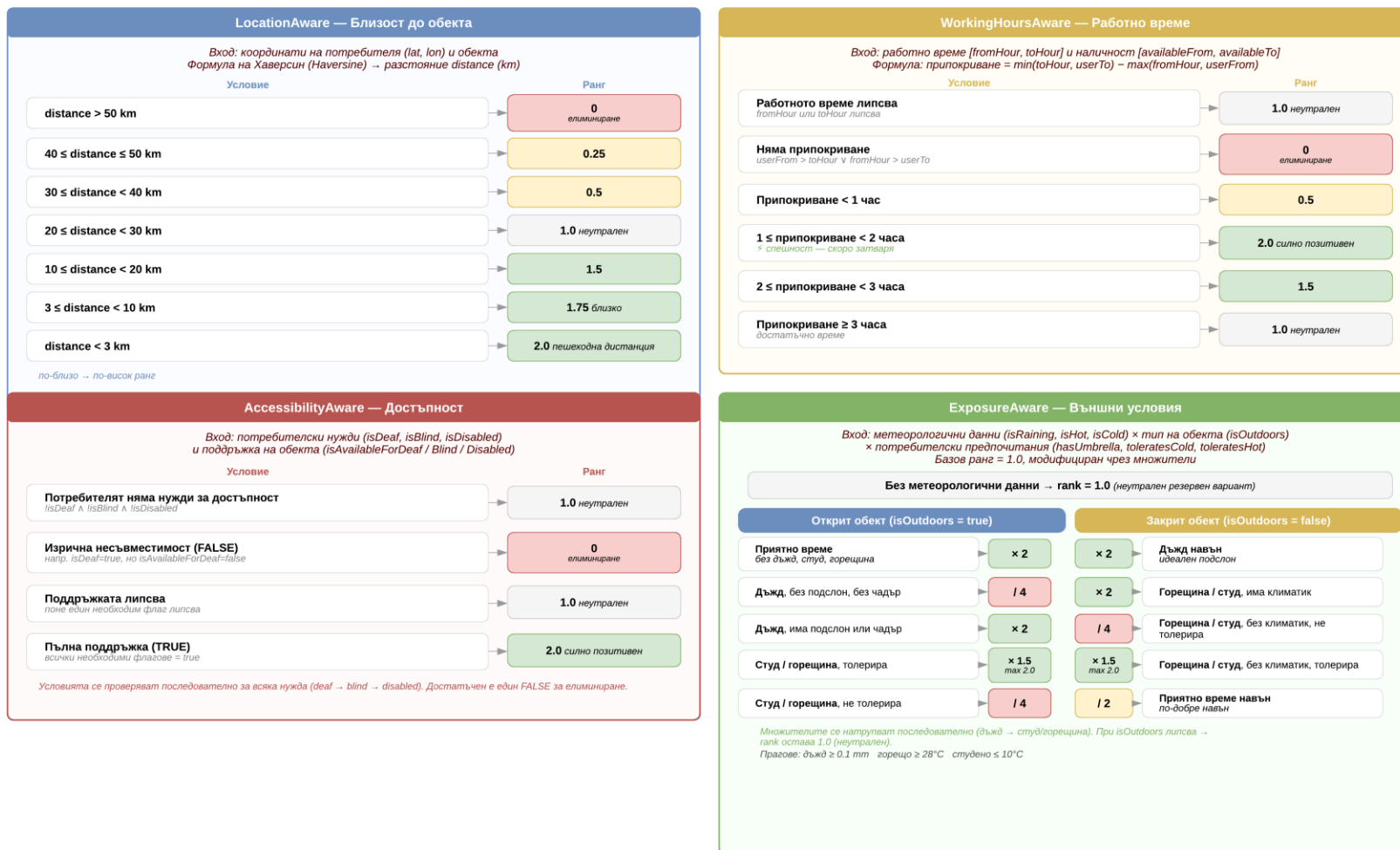
За експертната валидация на прототипа е разработен контролен списък от критерии за ревизия на новодобавени или AI-обогадени обекти, който обхваща семантичното описание и онтологичната категоризация, пространствените данни, работното време, многомерната достъпност, експозицията и обяснението на препоръката. Пълното описание на инструментариума и процедурата за приложението му се съдържа в дисертационния труд и превръща експертната оценка от интуитивна в структурирана и повторяема процедура.

3.5 Анализ на влиянието на отделните амбиентни фактори

Амбиентните фактори носят различни типове ограничение: локацията е пространствен филтър, работното време — времеви филтър, достъпността — персонален филтър, свързан с изпълнимостта на маршрута, а експозицията — контекстен коригиращ фактор за комфорт и разумност на посещението в конкретни метеорологични условия.

Експозиционният ранг е мултипликативен, с начална стойност 1,0: валеж без заслон $\div 4$, студ без толеранс $\div 4$, благоприятно време или заслон/чадър $\times 2$ (ограничено до 2,0 чрез $\min(1,5 \times \text{rank}, 2,0)$). Липсата на условие за твърдо елиминиране прави експозицията коректор, а не филтър — тя не отстранява обекти, но може съществено да промени подредбата им.

Логика на ранжиращите модели (AwareModel)
 Всеки модел връща rank $\in [0, 2]$ и weight (потребителски конфигурируемо тегло)



Фигура 4. Таблицы на решенията, описващи ранжиращата логика на индивидуалните AmbientCharacteristicAwareModel реализации.

Липсата на данни за обратна връзка при „студен старт” обосновава избора на евристичен, а не изцяло обучаем модел на текущия етап: евристично формализираните фактори са директно тълкуеми и защитими, без да изключват бъдещо машинно обучение.

Процесът на амбиентно преоценяване се базира на математически модел за претеглена оценка на приложимостта на всеки туристически обект, чието формално описание следва.

Нека $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ е множеството от амбиентни характеристики (напр. метеорологични условия, достъпност, времеви прозорец), а $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ са съответните им тегла, дефинирани чрез потребителския профил. Крайната оценка на приложимост $A(O)$ за даден обект O се изчислява по формулата:

$$A(O) = \frac{\sum_{j=1}^m r(c_j, O) \cdot w_j}{\sum_{j=1}^m w_j}$$

където $r(c_j, O) \in [0, 2]$ представлява коефициентът на съответствие на обекта спрямо конкретната характеристика c_j ; стойност 0 означава критична несъвместимост и води до елиминиране на обекта от маршрута.

Алгоритъм 1. Амбиентно класиране на обект

Вход: онтологична инстанция O , множество от характеристики $C(O)$ и съответните им тегла W .

Изход: крайна оценка $A(O) \in (0, 2]$ или 0 (елиминиране)

1. $\text{sumRatings} \leftarrow 0, \text{sumWeights} \leftarrow 0$
2. За всяка характеристика $c_i \in C(O)$:
3. $r_i \leftarrow r(c_i, O)$
4. $w_i \leftarrow W[c_i]$
5. Ако $r_i = 0$: върни 0 // критична несъвместимост
6. $\text{sumRatings} \leftarrow \text{sumRatings} + r_i \times w_i$
7. $\text{sumWeights} \leftarrow \text{sumWeights} + w_i$
8. $A(O) \leftarrow \text{sumRatings} / \text{sumWeights}$
9. Върни $A(O)$

При празен първичен маршрут системата извлича чрез пространствена заявка обекти в радиус до 50 км и прилага горния алгоритъм за всеки кандидат; резултатите се сортират низходящо по краен ранг със сложност $O(n \cdot m)$. Претегленото средноаритметично с твърда елиминация при нулев ранг разграничава меките предпочитания от твърдите ограничения и предлага интерпретируем базов модел.

Таблица 3. Амбиентни фактори в алгоритъма за преоценяване.

Фактор	Входни данни	Прагове / скала	Ефект
Локация	координати на потребител и обект	0–3 км → 2,0; 3–10 → 1,75; 10–20 → 1,5; 20–30 → 1,0; 30–40 → 0,5; 40–50 → 0,25; >50 → 0	>50 км → елиминация; прагова евристика
Работно време	часове на достъп, свободен прозорец	без припокриване → 0; <1 ч → 0,5; 1–2 ч → 2,0; 2–3 ч → 1,5; >3 ч → 1,0	без припокриване → елиминация; макс. ранг при 1–2 ч
Достъпност	двигателна, зрителна, слухова	без ограничение → 1,0; съвместим → 2,0; несъвместим → 0; неизвестно → 1,0	несъвместимост → елиминация; неизвестно → неутрално
Експозиция	закрит/открит, подслон, климатизация, метео	мултипликативно от 1,0; дъжд без заслон ÷ 4; студ без толеранс ÷ 4; благопр. време × 2; макс. 2,0	коректор, не филтър; понижава или усилва, не елиминира

3.6 Разширения на модела на данните и знанието

Сегашният модел е достатъчен за реализирания прототип, но оставя естествени точки за разширяване: добавяне на нови амбиентни характеристики (цена, сезонност, натовареност, транспортна достъпност, теренна сложност) без радикална архитектурна промяна;

обогаляване на онтологичния слой с тематични маршрути по исторически период или институционална принадлежност; формализирано отбелязване на произхода и увереността на данните.

3.7 Етични и приложни аспекти на предложеното решение

Работата с достъпност, местоположение и персонални ограничения изисква етични решения още на ниво прототип: паролите се съхраняват хеширани, сесиите са stateless чрез JWT с ограничен срок, а координатите на потребителя се съхраняват като част от профила и не се обновяват автоматично — системата не поддържа фоново проследяване и не съхранява траектории. Така архитектурните решения за сигурност не са само технически, а и етични.

Етичният аспект е свързан и с AI-инференцията. Ако езиковият модел бъде използван без контрол, съществува риск системата да „измисля“ свойства на обекта и да подвежда потребителя. Затова настоящият труд приема консервативна позиция: AI-инференцията се използва само като механизъм за структурирано обогатяване на данните и не замества домейн проверката. Това е по-отговорна постановка от безкритичното доверяване на вероятностен модел и съответства на принципите на Регламента (ЕС) 2024/1689 за изкуствен интелект [54].

3.8 Изводи от Глава 3

От анализа на реализацията следват няколко важни извода.

- Предложеният модел е технологично постижим чрез употреба на съвременни сървърни технологии, стандартен REST интерфейс и релационна база данни.
- Онтологичното търсене и амбиентното оценяване могат да бъдат интегрирани последователно, без да се нарушава модулността на архитектурата.
- Потребителският профил е достатъчно богат, за да поддържа работеща персонализация още при първа употреба.
- Метеорологичният контекст и AI-инференцията могат да бъдат включени като външни усилващи източници на знание, стига да бъдат управлявани чрез предпазливи резервни механизми.
- REST интерфейсът на системата материализира ясно разграничими домейн отговорности и предоставя добра база за бъдещо надграждане.

В следващата глава тези архитектурни и алгоритмични решения ще бъдат подложени на експериментална валидация върху синтетичен и реален корпус от данни.

Глава 4. Експериментална валидация на предложения модел

4.1 Експериментална постановка

Експерименталната валидация използва два допълващи се корпуса: контролиран синтетичен набор от 100 обекта в Пловдив и реален корпус от 143 обекта из цяла България. Двата корпуса покриват взаимно изключващи се рискове: синтетичният позволява чисти аблационни експерименти с пълен експертен контрол над разпределението, а реалният проверява устойчивостта на AI-инференцията срещу автентични липсващи стойности. Резултатите се представят паралелно, така че всяко количествено твърдение да бъде верифицирано и чрез контролирана, и чрез реалистична постановка.

В рамките на тази постановка беше конструиран контролиран корпус с експертно зададени AMBIENTНИ характеристики и бяха сравнени три стратегии: близост без персонализация, AMBIENTНО оценяване без динамичен метеорологичен контекст и предложеният AMBIENTЕН модел. Методиката беше допълнена с аблационни експерименти и сценарийна профилна валидация, така че количественият анализ да отчита реалния ефект на местоположението, достъпността, експозицията и работното време в процеса на преоценяване.

Оценяването се извършва за пет профила: стандартен турист, потребител с инвалидна количка, турист в дъждовен ден без чадър, турист в горещ ден без толеранс към висока температура и потребител с ограничен времеви прозорец. За всеки профил е дефинирано експертно множество от релевантни обекти, което позволява сравнение на 10-те първи резултата върху каталог, в който препоръчваните 10 позиции представляват едва 10% от всички налични кандидати.

Качеството на класирането е оценено с $Precision@k$ и $nDCG@k$ [55], допълнени с метриката Изпълнимост % — дял от върнатите топ-10 препоръки, които остават с положителен ранг след прилагане на пълния AMBIENTЕН модел. Факторът „работно време“ модулира ранга по немонотонна крива на спешност: при припокриване < 1 ч обектът получава ранг 0,5 (рискова, но допустима възможност); < 2 ч — 2,0 (максимална спешност); < 3 ч — 1,5 (умерено ускорение); ≥ 3 ч — 1,0 (неутрално). Кривата насочва вниманието към времево пресираны обекти, а не линейно към по-дълго припокриване.

4.2 Количествени резултати от сравнението на стратегиите

Таблица 4 обобщава сравнението върху синтетичния корпус, Таблица 5 (§4.6) — върху реалния. k се различава: синтетичен — $k = 5, 10$; реален — $k = 3, 5$, тъй като след пространственото филтриране оцелелите кандидати около Габрово са 14–25 и $k = 10$ би бил тривиално запълнен.

Стандартен профил: базовата стратегия — $P@5 = 0,400$, $nDCG@10 = 0,376$; пълният модел — $P@5 = 1,000$, $nDCG@10 = 0,857$ (предпочитание за открити обекти при приятно време). Най-силен ефект при инвалидна количка: $P@10$ от 0,100 на 0,900 и изпълнимост 70% → 100% след елиминиране на 25 недостъпни и 7 несъвместими по работно време. При дъжд/горещина стратегията „Амбиентен без метеорологични данни“ съвпада с базовата — динамичният метеорологичен слой носи добавената стойност.

Ограничен времеви прозорец (16–18 ч): пълният модел — $P@5 = 1,000$, $P@10 = 0,700$, $nDCG@10 = 0,791$ срещу 0,237 при базовата ($\Delta = +0,554$). Разликата идва от експозицията и модела на спешност при работното време: обекти с припокриване 1 ч получават максимален ранг за спешност (2,0), с пълно покритие (2 ч) — умерен (1,5), което приоритизира обекти, които скоро ще затворят.

4.3 Аблационен анализ на AMBIENTните фактори

За да се оцени ефектът на всеки AMBIENTЕН фактор поотделно, е проведен аблационен анализ, при който отделните характеристики се изключват селективно от модела, без да се променя останалата архитектура. Анализът се извършва паралелно върху двата корпуса:

Таблица 6 представя обобщените резултати за двата корпуса. Сравнението между двете аблационни матрици е разгледано в т. 4.6.

Аблационният анализ използва пълна матрица на $nDCG@10$ при селективно изключване на всеки AMBIENT фактор.

При стандартния профил премахването на експозицията сваля $nDCG@10$ от 0,857 на 0,376 ($\Delta = +0,482$) — разграничаването между открити и закрити обекти е основният двигател; локацията не показва аблационна разлика поради плътната вътрешноградска дистрибуция, при която всички обекти попадат в два съседни дистанционни класа.

При инвалидна количка най-голяма стойност дава експозицията ($\Delta = +0,655$), следвана от достъпността ($\Delta = +0,422$) — достъпността елиминира 25 недостъпни обекта и 7 несъвместими по работно време, а експозицията осигурява гранулирано класиране сред 68-те оцелели. При дъжд и горещина стратегията „Амбиентен без метеорологични данни“ съвпада с базовата (0,763 и 0,624) — динамичният метеорологичен контекст е необходим компонент на амбиентния модел.

4.4 Сценарийна валидация и качествен анализ

Сценарийната валидация проверява спазването на домейн-инвариантите (елиминирание на неизпълними обекти, промотиране на подходящи кандидати, стабилност при непълни данни) върху двата корпуса; Таблица 7 (§4.6) обобщава оцелелите и елиминираните обекти и ключовите метрики. По-големият брой елиминирани обекти (32 спрямо базово заложените 25 недостъпни) се дължи на кумулативния характер на амбиентния филтър — системата едновременно елиминира физически и времево несъвместими обекти.

4.5 Обсъждане на резултатите и ограничения на валидацията

Моделът е контекстно-осведомен слой за преоценяване, а не универсален заместител на базовата стратегия. При стандартен профил $P@5 = 1,000$ срещу 0,400; при допълнителни ограничения — до деветкратно увеличение на $P@10$ при инвалидна количка и +50% в $nDCG@10$ при горещ ден. Синтетичният корпус е експертно конструиран, а базовата стратегия умишлено елементарна — профилите са чисто амбиентни, без тематична компонента за съпоставка.

4.6 Валидация с реални данни от предметната област

За да допълни валидацията върху синтетичен корпус, настоящият раздел представя резултатите от прилагане на същия набор от стратегии и метрики върху реални данни от предметната област. Корпусът включва 143 обекта на културно-историческото наследство на България, заредени от продукционния JSON файл на прототипа (`raw-ontology-instances.json`) и трансформирани в обекти `OntologyInstance` от задача за изпълнение на тестове, която възпроизвежда структурата, очаквана от класиращия слой. Първичният източник за имената, описанията, координатите и началната категоризация, от която са изведени онтологичните понятия, е публичният каталог `Trips Journal`, раздел „Забележителности“, от който данните са събрани чрез скрипт за целите на прототипа [56]. За разлика от продукционния импорт, тестовият процес чете предварително кеширани AI-инфериращи характеристики, за да гарантира възпроизводимост без API повиквания при всяко изпълнение на бенчмарка. Центърът на експеримента е Габрово (42,8742°N, 25,3187°E), избран заради наличието на достатъчен брой достъпни обекти в близост за валидиране на профила за потребител с увреждания.

Произход на данните: координатите са реални (от първичния JSON корпус); работното време, достъпността и експозицията са инфериращи чрез AI модел (GPT-5.4, temperature = 0,0) с промптове, еквивалентни на производствените услуги. API повикванията завършиха с 0% грешки за достъпност и експозиция и 99,3% (142/143) за работно време. Неразрешените полета

(7,7%–74,8% според полето; 54,5% за инвалидни колички) получават неутрален ранг (1,0) еднакво за трите характеристики.

Симулирана е експертна корекция на достъпността: за 54,5% от обектите полето `isAvailableForDisabled` остава неразрешено, а за закритите музеи е приложена консервативна експертна корекция, при която достъпността за инвалидна количка се приема за налична, когато липсват признаци за невъзможност. Стъпката е означена като симулирана и служи за проверка на чувствителността, а не като замяна на реално експертно аотиране.

Върху реалните данни: $nDCG@5 = 1,000$ за три профила (стандартен, инвалидна количка, ограничен прозорец); $P@5 = 1,000$ при инвалидна количка срещу 0,600 (изпълнимост 60%) при базовата; +31% в $nDCG@5$ при горещ ден. Аблацията потвърждава синтетичния профил: достъпност и локация при увреждания, експозиция при горещ ден; при дъжд делтите са нулеви поради конфигурацията около Габрово, при която най-близките обекти разполагат с подслон.

Двата корпуса — синтетичен и реален — се допълват взаимно: синтетичният позволява чисти аблационни изводи, а реалният потвърждава, че ефектите се възпроизвеждат при по-слабо контролирано разпределение. Цялата постановка е напълно възпроизводима без външни API повиквания: синтетичният корпус се генерира програмно, реалните AI-инференции са кеширани в сорскода на прототипа, а двата бенчмарка се изпълняват чрез стандартните тестови задачи на проекта (`BenchmarkOutputTest` и `RealDataBenchmarkOutputTest`).

4.7 Изводи от Глава 4

Систематичната проверка показва, че амбиентно-ориентираният модел носи добавена стойност във всички тествани сценарии — най-силен ефект при профили, чувствителни към достъпност и метеорологични условия (до деветкратно подобрене в $P@10$ при инвалидна количка, от 0,100 на 0,900), с гарантирана 100% изпълнимост по построение.

Тъй като референтните множества са изградени от автора по експлицитни домейн правила, а не чрез независимо експертно аотиране, резултатите следва да се разглеждат като систематична проверка на вътрешната съгласуваност и доказателство за концепцията. Очертани са и насоки за развитие: по-реалистични корпуси, външно валидирани данни, по-силни базови сравнения, проверка с реални потребители, анализ на чувствителността на праговете и проверка на немонотонната крива на спешност срещу по-прости монотонни алтернативи.

Таблица 4. Сравнение на стратегиите върху синтетичен корпус от 100 обекта.

Профил	Само близост $nDCG@10$	Без метео $nDCG@10$	Пълен модел $nDCG@10$	Пълен модел $P@5$
Стандартен	0,376	0,376	0,857	1,000
Инвалидна количка	0,139	0,272	0,927	1,000
Дъждовен ден	0,763	0,763	0,870	1,000
Горещ ден	0,624	0,624	0,934	1,000
Ограничено време	0,237	0,511	0,791	1,000

Таблица 5. Сравнение на стратегиите върху реален корпус от 143 обекта.

Профил	Само близост $nDCG@5$	Без метео $nDCG@5$	Пълен модел $nDCG@5$	Пълен модел $P@5$
Стандартен	0,869	0,869	1,000	1,000
Инвалидна количка	0,723	1,000	1,000	1,000
Дъждовен ден	0,684	0,684	0,684	0,600
Горещ ден	0,553	0,553	0,723	0,600
Ограничено време	0,869	0,830	1,000	1,000

Таблица 6. Обобщение на аблационния анализ.

Профил	Синтетичен: най-силен спад	Реален: най-силен спад
Стандартен	Експозиция +0,482	Експозиция +0,131
Инвалидна количка	Експозиция +0,655; достъпност +0,422	Достъпност +0,661; локация +0,384
Дъждовен ден	Експозиция +0,107	без отчетлив спад
Горещ ден	Експозиция +0,309	Експозиция +0,170
Ограничено време	Експозиция +0,280; работно време +0,077	Локация +1,000

Таблица 7. Обобщение на сценарийната валидация: оцелели и елиминирани обекти по профил и корпус.

Профил	Синт.: Общо	Синт.: Оцелели / Елим.	Синт.: nDCG@10	Реален: Общо	Реален: Оцелели / Елим.	Реален: nDCG@5
Стандартен турист	100	99 / 1	0,857	143	25 / 118	1,000
Инвалидна количка	100	68 / 32	0,927	143	14 / 129	1,000
Дъждовен ден без чадър	100	99 / 1	0,870	143	25 / 118	0,684
Горещ ден	100	99 / 1	0,934	143	25 / 118	0,723
Ограничен вр. прозорец	100	99 / 1	0,791	143	25 / 118	1,000

Заклучение

Настоящият труд предлага и аргументира модел на амбиентно-ориентиран интелигентен туристически екскурзовод, който съчетава онтологично представяне на културно-исторически обекти, изричен потребителски профил с тегла, динамичен външен контекст и предпазлив механизъм за допълване на липсващи амбиентни данни. Основната теза: туристическата препоръка е не само проблем за извличане на релевантни обекти, но и за преценка на тяхната приложимост в конкретна ситуация.

Литературният анализ очертава празнина между семантичните туристически гидове, контекстно-зависимите системи, моделите за достъпност и новите AI подходи за обогатяване на данни; резултатът на труда е в единна архитектурна и алгоритмична постановка, която свързва тези линии в общ модел, вместо да ги разглежда като изолирани техники.

На концептуално ниво трудът формализира ролята на амбиентните фактори като ограничения и коректори с различна семантика върху класирането. Особено съществени са многомерното представяне на достъпността, отделянето на експозицията като контекстен фактор и третирането на несигурността като управляемо свойство на системата.

На приложно ниво е реализиран работещ прототип (REST, онтологичен и амбиентен слой, релационна база, Open-Meteo, контролирана AI-инференция) с предварително зададени сценарийни условия за възпроизводимост. Аблационният анализ върху двата корпуса показва собствен измерим ефект: локацията доминира при пространствените сценарии, достъпността — при двигателно ограничение, експозицията — при метеорологичен стрес, а работното време — при ограничен прозорец.

Върху синтетичния корпус от 100 обекта пълният амбиентен модел повишава $nDCG@10$ при стандартен профил от 0,376 на 0,857, при горещина от 0,624 на 0,934 и при ограничен прозорец от 0,237 на 0,791; при профила с инвалидна количка $P@10$ нараства от 0,100 на 0,900, а изпълнимостта — от 70% на 100%.

Върху реалния корпус от 143 обекта пълният модел достига $nDCG@5 = 1,000$ за три от петте профила. Резултатът отразява силата на елиминационния филтър: при фиксирана локация (Габрово) пространственият фактор свива множеството до 14–25 оцелели обекта, при което подредбата е близка до идеалната. По-съществен индикатор е поведението при профилите с инвалидна количка и при метеорологичен стрес, където допълнителните амбиентни фактори правят разликата спрямо стратегията за близост.

Ограниченията: референтните множества са построени по обективни домейн правила (проверка на вътрешната съгласуваност); методиката е приложима и с външно експертно множество без промяна на постановката. Високият процент елиминирани обекти при реалния корпус (над 90%) ограничава статистическата сила над малкото оцелели. Прототипът не реализира глобална оптимизация — оценяващият слой работи върху подреждане на списък, а не върху обхождане с транспортни времена.

В обобщение, дисертацията предлага и проверява рамка, в която онтологично извличане, многомерна достъпност, метеорологично обусловена експозиция, параметризуем профил, факторно обяснение и контролирано AI-допълване са свързани в общ модел. Резултатът е в семантиката на факторите и тяхното взаимодействие; прототипът демонстрира собствен измерим принос на всеки компонент и е проектиран за разширяване откъм по-богати амбиентни фактори и пълна маршрутна оптимизация и потребителска валидация.

Резултати от дисертационния труд

Концептуални и научно-приложни резултати

- Двустепенна архитектурна постановка: семантично извличане на кандидати, последвано от амбиентно преоценяване чрез набор от амбиентни характеристики с различна

семантична функция (пространствена, времева, персонална, контекстна) — основа за класиране и обяснение на получените препоръки.

- Многомерен модел на достъпността (двигателна, зрителна, слухова) като реални ограничения върху класирането, интегриран с динамичен метеорологичен контекст като външен фактор при оценяване на експозицията — моделът реагира на персонални и на условия на средата, не само на статични свойства на обекта.
- Предпазлив механизъм за допълване на липсващи амбиентни данни чрез езиков модел (GPT-5.4) със структурирани изходи, домейн правила и различимост на експлицитните стойности от инферираните; неразрешените полета получават неутрален ранг (1,0). Архитектурата е отворена за експертна верификация чрез слой за произход и увереност. Резултатът е в контролираната употреба на AI, а не в автоматичното приемане на инферираните стойности като факт.

Приложни резултати

- Реализиран е модулен сървърен прототип с REST интерфейс, онтологичен слой, релационна база с JOINED наследяване, параметризуем потребителски профил, интеграция с Open-Meteo, контролирана AI-инференция със circuit breaker и bulkhead защита, факторно обяснение на препоръките и съхранение на потребителски оценки (предвидени като основа за бъдещо хибридно препоръчване).

Методологични резултати

- Методика за валидиране чрез сравнителни базови стратегии, аблационен анализ и сценарийна профилна проверка върху контролиран корпус, приложима и с външно референтно множество без промяна на постановката; реализирана чрез автоматизирани тестове, вградени в прототипа, което гарантира възпроизводимост.
- Обяснимостта, достъпността и управлението на несигурността са аргументирани като първокласни свойства на интелигентния туристически гид, а не като периферни допълнения.

Насоки за бъдещи изследвания

Естествено направление за развитие е преминаването от амбиентно преоценяване към многокритериално планиране на маршрути (транспортни времена, последователност на посещенията, продължителност на престоя, обща полезност), в което амбиентният модел се използва като оценъчен слой в по-сложен оптимизационен механизъм.

Освен маршрутната оптимизация, амбиентният слой може да бъде обогатен с нови характеристики — цена, сезонност, натовареност, безопасност, транспортна достъпност, теренна сложност, близост до паркинг, хранене или санитарни услуги — което прави маршрута още по-чувствителен към реалните условия на посещение.

По-строгата работа с несигурността включва експлицитно съхранение на произход на данните, увереност на AI-инференцията и дата на последна верификация, което ще позволи данните да бъдат построени в йерархия според степента на доверие.

Натрупаните потребителски оценки отварят възможност за хибридно препоръчване, при което поведенческите сигнали обогатяват профилно-контекстния модел без да подменят обяснимостта му; факторният слой за обяснение може да бъде надграден с естествено-езикови формулировки, визуализации и интерактивно изследване на алтернативи.

Като естествено продължение на очертаните направления могат да се формулират и няколко изследователски въпроса и работни хипотези, които следват от настоящия дисертационен труд. Те показват, че предложеният модел не е затворена конструкция, а отправна точка за следващ етап на систематични научни изследвания.

- Работна хипотеза 1: включването на многомерен модел на достъпност като първокласен фактор повишава практическата приложимост на маршрутите спрямо модели, които използват само близост и тема. Тази хипотеза може да бъде проверена чрез сравнение на дял на изпълнимите маршрути за профили с ограничения при наличие и отсъствие на достъпен слой, като ключова мярка е дялът на маршрутите с поне 5 приложими обекта.
- Работна хипотеза 2: включването на експозиционен модел, чувствителен към метеорологичен контекст, подобрява качеството на препоръките при неблагоприятни условия. Проверка на тази хипотеза може да се извърши чрез сценарийни експерименти при валеж, висока температура и ниска температура, сравнявайки амбиентно-ориентираната стратегия с версия без метеорологичен контекст, като е необходимо допълване с потребителско изследване, а не само с IR метрики.
- Работна хипотеза 3: контролираната AI-инференция на липсващи амбиентни характеристики води до по-висока покриваемост на приложими маршрути в сравнение с режим, при който липсващите стойности се игнорират. Тук ключовият баланс е между покриваемост и надеждност. По тази причина хипотезата следва да бъде проверявана не само чрез количествени метрики, но и чрез експертна оценка на правдоподобността на инферираните стойности, като централна мярка е точност на инферираните стойности спрямо експертно аотиране.
- Работна хипотеза 4: наличието на факторни обяснения — все по-актуално в контекста на регулаторните изисквания за прозрачност (Регламент (ЕС) 2024/1689, EU AI Act [54]) — повишава доверието на потребителите към системата и тяхната готовност да следват препоръките. Подобна хипотеза може да бъде проверена чрез потребителско изследване с контролни групи, в което една група получава само списък от препоръки, а друга — същите препоръки с кратки обяснения за причините за подреждането.
- Работна хипотеза 5: изричното профилиране е по-ефективно в ранен етап на употреба от модели, разчитащи само на натрупани поведенчески сигнали. Това е особено релевантно в туристическия домейн, където потребителското поведение често е епизодично. Проверка на тази хипотеза изисква сравнение между изричен профил, поведенчески модел и комбиниран подход при нови потребители.

Отворени остават два изследователски въпроса: доколко теглата на амбиентните фактори могат да бъдат автоматично калибрирани, а не изцяло задавани от потребителя (полу-адаптивни модели с изрична инициализация и поведенческа калибрация), и доколко същият амбиентен модел може да бъде пренесен към други домейни — градски услуги, здравен туризъм, образователни маршрути или екологични разходки. Посочените хипотези и въпроси очертават конкретна изследователска програма върху инфраструктурата на текущия прототип.

Публикации по темата

Основните публикации, върху които стъпва и които развива настоящият дисертационен труд, са следните:

1. **Georgi Kostadinov**; Kristian Milev; Stefan Staynov; Asya Stoyanova-Doycheva, Algorithm for Generating and Visualizing Routes of an Intelligent Tourist Guide, Automatics and Informatics (ICAI), 1-3 Oct. 2020, Varna, Bulgaria, Article number 9311310, DOI: 10.1109/ICAI50593.2020.9311310, (IEEE, SCOPUS)
 - o <https://ieeexplore.ieee.org/document/9311310>
2. Stefan Staynov, Kristian Milev, **Georgi Kostadinov**, Asya Stoyanova-Doycheva, Traditional Bulgarian Costume Classification in a Tourist Guide application, Automatics and Informatics (ICAI), 1-3 Oct. 2020, Varna, Bulgaria, Article number 9311384, DOI: 10.1109/ICAI50593.2020.9311384, (IEEE, SCOPUS)
 - o <https://ieeexplore.ieee.org/document/9311384>

3. Kristian Milev, **Georgi Kostadinov**, Stefan Staynov, Asya Stoyanova–Doycheva, Intelligent Tourist Guide – Generating Ambient-Oriented Routes and Digital Classification of Elements of the Cultural and Historical Heritage of Bulgaria, Cultural and Historical Heritage: Preservation, Presentation, Digitalization, KIN Journal, volume 7, Issue 2, 2021, ISSN: 2367-8038, DOI: doi.org/10.26615/issn.2367-8038.2021_2_006
 - http://www.math.bas.bg/vt/kin/files/papers/7_2/06-KIN-7-2-2021.pdf
4. **Georgi Kostadinov**, Kristian Milev, Stefan Staynov, Asya Stoyanova-Doycheva, Applying Ambient Characteristics, Personalization and Ontology Concepts to Tourist Guide Route Generation, Vol. 12 (2022): Digital Presentation and Preservation of Cultural and Scientific Heritage, pp. 229-234, 2022, ISSN: 1314-4006 (Print), eISSN: 2535-0366 (Online), (WoS, SCOPUS)
 - <https://doi.org/10.55630/dipp.2022.12.19>
 - <https://dipp.math.bas.bg/dipp/article/view/dipp.2022.12.19/pdf>
 - <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1390446,30412672>

Използвана литература

- [1] D. Gavalas, C. Konstantopoulos, K. Mastakas and G. Pantziou, "Mobile Recommender Systems in Tourism," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 39, pp. 319-333, 2014.
- [2] S. Halder, K. H. Lim, J. Chan and X. Zhang, "A survey on personalized itinerary recommendation: From optimisation to deep learning," *Applied Soft Computing*, vol. 152, p. 111200, 2024.
- [3] A. Stoyanova-Doycheva, T. Glushkova, V. Ivanova, L. Doukovska and S. Stoyanov, "A Multi-agent Environment Acting as a Personal Tourist Guide," in *Castillo, O., Melin, P., Kacprzyk, J. (eds) Intuitionistic and Type-2 Fuzzy Logic Enhancements in Neural and Optimization Algorithms: Theory and Applications. Studies in Computational Intelligence*, vol. 862, Springer, Cham, 2020.
- [4] M. Miteva, A. Stoyanova-Doycheva and V. Ivanova, "Architecture of an Intelligent Tourist Guide," *Computer Sciences and Communications*, vol. 7, no. 1, 2018.
- [5] T. Glushkova, M. Miteva, A. Stoyanova-Doycheva, V. Ivanova and S. Stoyanov, "Implementation of a Personal Internet of Thing Tourist Guide," *American Journal of Computation, Communication and Control*, 2018.
- [6] G. Kostadinov, K. Milev, S. Staynov and A. Stoyanova-Doycheva, "Applying Ambient Characteristics, Personalization and Ontology Concepts to Tourist Guide Route Generation," in *Digital Presentation and Preservation of Cultural and Scientific Heritage (DiPP)*, 2022.
- [7] G. Kostadinov, K. Milev, S. Staynov and A. Stoyanova-Doycheva, "Algorithm for Generating and Visualizing Routes of an Intelligent Tourist Guide," in *International Conference Automatics and Informatics (ICAI), Varna, Bulgaria*, 2020.
- [8] G. D. Abowd, C. G. Atkeson, J. Hong, S. Long, R. Kooper and M. Pinkerton, "Cyberguide: A Mobile Context-Aware Tour Guide," *Wireless Networks*, vol. 3, no. 5, pp. 421-433, 1997.
- [9] A. Garcia, O. Arbelaitz, M. T. Linaza, P. Vansteenwegen and W. Souffriau, "Personalized Tourist Route Generation," in *Daniel, F., Facca, F. M. (eds) Current Trends in Web Engineering. ICWE 2010. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6385, Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [10] N. Davies, K. Cheverst, K. Mitchell and C. Efstratiou, "Using and Determining Location in a Context-sensitive Tour Guide," *IEEE Computer*, 2001.
- [11] G. Adomavicius and A. Tuzhilin, "Toward the Next Generation of Recommender Systems: A Survey of the State-of-the-Art and Possible Extensions," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 17, no. 6, pp. 734-749, 2005.
- [12] L. Wu, Z. Zheng, Z. Qiu, H. Wang, H. Gu, T. Shen, C. Qin, C. Zhu, H. Zhu, Q. Liu, H. Xiong and E. Chen, "A Survey on Large Language Models for Recommendation," *World Wide Web*, 2024.
- [13] G. Adomavicius, B. Mobasher, F. Ricci and A. Tuzhilin, "Context-Aware Recommender Systems," *AI Magazine*, vol. 32, no. 3, pp. 67-80, 2011.
- [14] R. Burke, "Hybrid Recommender Systems: Survey and Experiments," *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 12, no. 4, pp. 331-370, 2002.
- [15] P. Lops, M. de Gemmis and G. Semeraro, "Content-based Recommender Systems: State of the Art and Trends," in *Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B., Kantor, P. B. (eds) Recommender Systems Handbook*, Springer, 2011.
- [16] R. Kramer, M. Modsching and K. ten Hagen, "Development and Evaluation of a Context-Driven, Mobile Tourist Guide," *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, vol. 3, no. 4, pp. 378-399, 2007.
- [17] C. Lamsfus, A. Alzua-Sorzabal, D. Martin, Z. Salvador and A. Usandizaga, "Human-centric Ontology-based Context Modelling in Tourism," in *Proceedings of KEOD*, 2009.
- [18] A. Sieg, B. Mobasher and R. Burke, "Learning Ontology-based User Profiles: A Semantic Approach to Personalized Web Search," *IEEE Intelligent Informatics Bulletin*, 2007.
- [19] A. Garcia-Crespo, J. L. López-Cuadrado, R. Colomo-Palacios, I. González-Carrasco and B. Ruiz-Mezcua, "Sem-Fit: A Semantic Based Expert System to Provide Recommendations in the Tourism Domain," *Expert Systems with Applications*, 2011.
- [20] T. Voelkel and G. Weber, "Routecheckr: Personalized Multicriteria Routing for Mobility Impaired Pedestrians," in *Proceedings of the 10th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (Assets '08)*, 2008.
- [21] N. Tintarev and J. Masthoff, "Designing and Evaluating Explanations for Recommender Systems," in *Recommender Systems Handbook*, Springer, 2011.
- [22] Y. Zhang and X. Chen, "Explainable Recommendation: A Survey and New Perspectives," *Foundations and Trends in Information Retrieval*, vol. 14, no. 1, pp. 1-101, 2020.
- [23] S. Darcy and T. Dickson, "A Whole-of-Life Approach to Tourism: The Case for Accessible Tourism Experiences," *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 2009.
- [24] D. Buhalis and S. Darcy, *Accessible Tourism: Concepts and Issues*, Channel View Publications, 2011.
- [25] F. Ricci, "Travel Recommender Systems," *IEEE Intelligent Systems*, 2002.
- [26] W. Souffriau, P. Vansteenwegen, J. Vertommen, G. Vanden Berghe and D. Van Oudheusden, "A Personalized Tourist Trip Design Algorithm for Mobile Tourist Guides," *Applied Artificial Intelligence*, vol. 22, no. 10, 2008.
- [27] P. Vansteenwegen, W. Souffriau and D. Van Oudheusden, "The Orienteering Problem: A Survey," *European Journal of Operational Research*, vol. 209, no. 1, pp. 1-10, 2011.

- [28] L. Ardissono, A. Goy, G. Petrone, M. Segnan and P. Torasso, "Intrigue: Personalized Recommendation of Tourist Attractions for Desktop and Hand Held Devices," *Applied Artificial Intelligence*, vol. 17, no. 8-9, pp. 687-714, 2003.
- [29] S. Stoyanov, T. Glushkova, A. Stoyanova-Doycheva, J. Todorov and A. Toskova, "A Generic Architecture for Cyber-Physical-Social Space Applications," in *Intelligent Systems: Theory, Research and Innovation in Applications. Studies in Computational Intelligence*, vol. 864, Springer, Cham, 2020.
- [30] A. Sheth, P. Anantharam and C. Henson, "Physical-Cyber-Social Computing: An Early 21st Century Approach," *IEEE Intelligent Systems*, 2013.
- [31] U. Gretzel, M. Sigala, Z. Xiang and C. Koo, "Smart Tourism: Foundations and Developments," *Electronic Markets*, vol. 25, pp. 179-188, 2015.
- [32] F. Ali, L. Cain, T. S. Legendre and L. Wu, "The Intersection of Technology, Accessible Tourism and Tourists With Intellectual Disabilities: Proposing a Novel Conceptual Framework," *Journal of Hospitality & Tourism Research*, 2023.
- [33] J. Yoon and C. Choi, "Real-Time Context-Aware Recommendation System for Tourism," *Sensors*, 2023.
- [34] M. Florez, E. Carrillo, F. Mendes Neto and J. Carreno, "A Context-Aware Tourism Recommender System Using a Hybrid Method Combining Deep Learning and Ontology-Based Knowledge," *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 2025.
- [35] A. Smajić, R. Karlović, M. Bobanović Daško and I. Lorencin, "Context-Aware Tourism Recommendations Using Retrieval-Augmented Large Language Models and Semantic Re-Ranking," *Electronics*, vol. 14, no. 22, p. 4448, 2025.
- [36] P. Sahoo, P. Meharia, A. Ghosh, S. Saha, V. Jain and A. Chadha, "A Comprehensive Survey of Hallucination in Large Language, Image, Video and Audio Foundation Models," in *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP*, 2024.
- [37] L. Ouyang, J. Wu, X. Jiang, D. Almeida, C. Wainwright and P. Mishkin, "Training Language Models to Follow Instructions with Human Feedback," in *Advances in Neural Information Processing Systems 35 (NeurIPS 2022)*, 2022.
- [38] T. Brown, B. Mann, N. Ryder, M. Subbiah, J. Kaplan and P. Dhariwal, "Language Models are Few-Shot Learners," in *Advances in Neural Information Processing Systems 33 (NeurIPS 2020)*, 2020.
- [39] I. Nunes and D. Jannach, "A Systematic Review and Taxonomy of Explanations in Decision Support and Recommender Systems," *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 27, no. 3-5, pp. 393-444, 2017.
- [40] L. Atzori, A. Iera and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787-2805, 2010.
- [41] C. Perera, A. Zaslavsky, P. Christen and D. Georgakopoulos, "Context Aware Computing for the Internet of Things: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 1, pp. 414-454, 2014.
- [42] S. Stoyanov, A. Stoyanova-Doycheva, T. Glushkova and E. Doychev, "Virtual Physical Space: An Architecture Supporting Internet of Things Applications," in *20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*, 2018.
- [43] S. Stoyanov, A. Stoyanova-Doycheva, T. Glushkova, E. Doychev and J. Todorov, "A Reference Architecture of Internet of Things Ecosystem," *Computer Sciences and Communications*, 2018.
- [44] S. Stoyanov, T. Glushkova, E. Doychev, A. Stoyanova-Doycheva and V. Ivanova, *Cyber-Physical-Social Systems and Applications - Part 1*, Plovdiv: Plovdiv University Press, 2019.
- [45] T. Glushkova, S. Stoyanov, A. Stoyanova-Doycheva, V. Ivanova and L. Doukovska, "AmbiNet - An Environment for Ambient-Oriented Modeling," *International Journal of Computing*, 2019.
- [46] Z. Guglev and S. Stoyanov, "Hybrid Approach for Manipulation of Events in the Virtual Referent Space," in *International Scientific Conference "Blue Economy and Blue Development"*, 2018.
- [47] R. C. Martin, *Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design*, Prentice Hall, 2017.
- [48] E. Evans, *Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software*, Addison-Wesley Professional, 2003.
- [49] L. Bass, P. Clements and R. Kazman, *Software Architecture in Practice*. 3rd ed, Addison-Wesley, 2012.
- [50] R. T. Fielding, "Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures," PhD dissertation, University of California, Irvine, Irvine, CA, 2000.
- [51] M. T. Nygard, *Release It! Design and Deploy Production-Ready Software*, 2nd ed., Pragmatic Bookshelf, 2018.
- [52] M. Fowler, *Patterns of Enterprise Application Architecture*, Addison-Wesley Professional, 2002.
- [53] К. Н. Милев, "Интелигентен персонален туристически екскурзовод: дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен „доктор“,“ Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“, ФМИ, COBISS.BG-ID 66731016, <https://plus.cobiss.net/cobiss/bg/bg/data/cobib/66731016>, Пловдив, 2024.
- [54] European Parliament and Council of the European Union, "Regulation (EU) 2024/1689 of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending certain Union legislative acts (Artificial Intelligence Act)," *Official Journal of the European Union*, L series, 12 July 2024, 2024.
- [55] G. Shani and A. Gunawardana, "Evaluating Recommendation Systems," in *Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B., Kantor, P. B. (eds) Recommender Systems Handbook*, Springer, 2011.
- [56] Trips Journal, "Забележителности в България," 2026. [Online]. Available: <https://tripsjournal.com/zabelejitelnosti>. [Accessed 15 April 2026].