

ПРОТОТИП ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОСМІЧНОЇ ПОГОДИ

Данило Івантишин¹, Євген Буров²

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедри інформаційних систем та мереж,
вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна

¹ danylo-nazar.o.ivantyshyn@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-1530-3026,

² yevhen.v.burov@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-8653-1520

© Івантишин Д.-Н., Буров Є., 2023

Проаналізовано стан досліджень космічної погоди, на основі якого визначено основну проблему та обґрунтовано її актуальність. Питанням моніторингу, дослідження та прогнозування стану космічної погоди приділяють велику увагу в розвинених країнах світу. Незважаючи на значний прогрес у вирішенні цієї проблеми, структура сонячно-земних зв'язків ще далеко не вивчена, а ризики, пов'язані з космічною погодою, зростають, оскільки основні сфери нашого життя стають технологічно все розвиненішими. В структурі сонячно-земних зв'язків сьогодні недостатньо досліджено вплив сонячної активності на нижню атмосферу Землі, зокрема атмосферний інфразвук та електричне поле. Ця проблема потребує вивчення складних взаємодій, що виникають під час поширення різних типів збурень через середовище Сонце – Земля. На основі розробленої узагальненої архітектури інтелектуальної системи дослідження параметрів космічної погоди запропоновано прототип цієї системи, визначено та розроблено її функціонал. Прототипом інтелектуальної системи є клієнт-серверна система, побудована на основі програмного забезпечення сервера, програмного забезпечення користувача та прикладного програмного забезпечення. Функціонал інтелектуальної системи забезпечує збирання даних, їх попереднє опрацювання, опрацювання даних і візуалізацію досліджуваних сигналів. Опрацювання цих параметрів космічної погоди передбачає спектральний аналіз експериментальних даних, реалізований із використанням віконного фур'є-перетворення та вейвлет-перетворення, а також кореляційно-регресійний аналіз, який дає змогу досліджувати залежність між факторною та результативною ознаками з метою виявлення невідомих причинних зв'язків. Інтелектуальна система дослідження параметрів космічної погоди дасть можливість виявляти нові зв'язки в структурі сонячно-земних взаємодій, вивчати вплив космічних факторів на тропосферу Землі. Наведено приклади результатів опрацювання експериментальних даних параметрів космічної погоди.

Ключові слова: інтелектуальна система; архітектура; прототип; космічна погода; сонячно-земні зв'язки.

Вступ

Космічна погода сьогодні є міждисциплінарною галуззю, яка охоплює фундаментальні дослідження і прикладні програми, вона безпосередньо впливає на Землю та навколосферний простір, на критичну інфраструктуру як у космосі, так і на Землі, а також на здоров'я людей, і ці впливи проявляються в різних формах. Це, зокрема, вплив на роботу супутників, засобів телекомунікації та навігації, збурення магнітосфери, іоносфери, атмосфери та геомагнітні збурення, які, своєю чергою, здійснюють складний вплив на верхню атмосферу та самопочуття людей. Наприклад, сонячні

високоенергійні частинки помітно безпосередньо впливають на функціонування супутників і є джерелом атмосферних радіаційних штормів, що впливає на здоров'я людей, авіоніку та електронні пристрої на Землі [1–3].

Очевидно, що із неупинним розвитком технологічних систем суспільство стає все уразливішим до проявів космічної погоди і це спонукає глибше вивчати фізичні процеси, пов'язані з різними факторами сонячно-земних зв'язків та галактичними космічними променями, розробляти нові моделі та інформаційні системи, вести перманентні спостереження стану космічної погоди з використанням як космічних, так і наземних засобів, з метою отримання високоякісних даних [4].

Космічна погода є глобальною проблемою, тому і вирішувати її необхідно зусиллями міжнародної спільноти. Для координації та надання широкого спектра оперативних послуг космічної погоди створено міжнародну службу космічного середовища ISES. Сьогодні ISES має 22 регіональні центри попередження по всьому світу та сприяє міжнародній співпраці, націлений на моніторинг, наукові дослідження і прогнозування стану космічної погоди, а також сприяє створенню нових центрів.

Постановка проблеми

Питання моніторингу, дослідження та прогнозування стану космічної погоди актуальні, у розвинених країнах світу їм надають великого значення. Уряд Великобританії, наприклад, визнав космічну погоду значною природною небезпекою у зв'язку зі зростанням залежності країни від сучасних технологій. Для вирішення цієї проблеми створено програму SWIMMR, націлену на досягнення прогресу в завданнях моніторингу космічної погоди, створення провідної в світі системи її моделювання та прогнозування, розроблення структури для підтримки переходу моделей і наборів даних від досліджень в академічній спільноті до використання в задачах прогнозування на базі оперативного центру космічної погоди MOSWOC і сприятиме ширшій міжнародній співпраці [5].

Для урахування загроз, спричинених несприятливим впливом сонячної активності, Європейське космічне агентство (ЄКА) також розробило багаторічну Програму космічної безпеки (S2P). У межах цієї програми, зокрема, розробляється система космічної погоди, ключовим елементом якої є мережа служби космічної погоди ЄКА, мета якої – надавати користувачам своєчасну інформацію про космічну погоду на основі наукових досліджень та результатів моделювання. Доступ до інформації служби надається через портал <https://swe.ssa.esa.int/current-space-weather>.

Незважаючи на значний прогрес у вивченні та прогнозуванні космічної погоди, результати прогнозування сонячних спалахів, корональних викидів мас, коротацийних областей, сонячних енергійних частинок свідчать про проблеми невизначеності, спричиненої як складністю сонячних явищ, так і недостатньо вивченими процесами їх взаємодії та браком точних вимірювань для побудови необхідних моделей [6].

У структурі сонячно-земних зв'язків сьогодні недостатньо досліджено вплив сонячної активності на нижню атмосферу Землі, зокрема атмосферний інфразвук та електричне поле. Ця проблема потребує вивчення складних взаємодій, що виникають під час поширення різних типів збурень через середовище Сонце – Земля. Інтелектуальна система дослідження параметрів космічної погоди дасть змогу, зокрема, виявляти нові зв'язки в структурі сонячно-земних взаємодій, вивчати вплив космічних факторів на тропосферу Землі, що визначає її актуальність та прикладне значення.

Аналіз останніх досліджень

Структура сонячно-земних зв'язків є надзвичайно складною і ще далеко не до кінця вивченою, а ризики, пов'язані з космічною погодою, зростають, оскільки основні сфери нашого життя стають технологічно все розвиненішими. Тому важливою проблемою є розуміння цих ризиків, врахування їх під час розроблення нових систем, вміння передбачати їх і пом'якшувати наслідки.

Останнім часом дослідники глибоко вивчають вплив факторів космічної погоди на функціональність космічних апаратів, телекомунікаційних та навігаційних систем.

На супутники Землі впливають сонячні енергійні частинки, посилене електромагнітне випромінювання, а також ефекти, пов'язані з геомагнітними збуреннями, зокрема, посилення атмосферного опору, що істотно скорочує термін їх служби і може поставити під загрозу виконання місії [2, 7].

Прикладом впливу космічної погоди на запуск супутників є втрата 38 із 49 Starlink запущених 3.02.2022 р. Запуск відбувся на фазі відновлення бурі G1 і за декілька годин до початку наступної бурі G1 за шкалою Центру прогнозування космічної погоди NOAA. Результати наукових досліджень показують, що послідовність геомагнітних збурень разом із кількома слабкими явищами космічної погоди може підвищити рівні атмосферного опору і вплинути на здатність підтримувати орбітальну стабільність супутників. Очевидно, що оператори запуску космічних апаратів повинні працювати з відповідними експертами для урахування прогнозу космічної погоди під час прийняття рішень щодо їх запусків, особливо для низьких початкових орбіт [8].

Результати досліджень впливу космічної погоди на критичну інфраструктуру наведено в роботах [1, 2]. Критичними до інтенсивних сонячних збурень, які викликають геомагнітно-індуковані струми, є системи, до складу яких входять великомасштабні провідники (трубопроводи, високовольтні лінії електропередач, залізничні колії тощо). Наслідками таких збурень, наприклад, для ліній електропередач може бути вимкнення систем безпеки, що призводить до збою мережі, нестабільність напруги, фізичного пошкодження трансформаторів. Значного впливу космічної погоди зазнають також системи радіолокації, навігації та радіозв'язку, що спричинено як сонячним радіовипромінюванням, так і збуреннями іоносфери.

Особливе значення мають дослідження впливу космічної погоди на здоров'я людини. Факторами радіаційного впливу для астронавтів є галактичні космічні промені, розподіл яких ізотропний і вплив яких можна оцінити, та сонячні енергійні частинки, з енергією до сотень МеВ, прогнозування яких – складне завдання. Вплив дози радіації останніх також створює ризики для екіпажу літака і пасажирів, які часто подорожують. Міжнародна організація цивільної авіації визначила рівні небезпеки сонячної радіації, проте наголошує, що необхідна більша наукова точність [2, 9].

У роботі [10] та посиланнях до неї наведено результати досліджень впливу космічної погоди на серцево-судинну систему, спричиненого геомагнітними збуреннями. Показано, що під час геомагнітної бурі спостерігаються зміни показника згортання крові, швидкості осідання еритроцитів і пульсу людини, підвищується ризик інсульту та гострого інфаркту міокарда, крім того, такий ризик виявлено за два – три дні до геомагнітної бурі та під час фази її відновлення. Можна припустити, що до магнітної бурі на серцево-судинну систему людини впливає атмосферний інфразвук, збурення якого спричинені сонячною активністю, зокрема висоенергійними частинками, які першими досягають Землі після збурень на Сонці. В роботі [11] наведено результати негативного впливу високого рівня інфразвуку (понад 100 дБ) на роботу серця, зроблено припущення, що такий вплив виходить за межі прямої механічної дії та поширюється на процеси метаболізму кальцію та цілісність мітохондрій.

Уже створено численні наземні та космічні засоби, які надають цінну інформацію для дослідників та оперативників прогнозування космічної погоди. Однак очевидно, що точність прогнозів оперативних служб обмежена і похибки зростають зі збільшенням сонячної активності [6]. Це, зокрема, пов'язано із складністю сонячно-земних зв'язків і часовими межами, які коливаються від хвилин до декількох днів. Відповідно, прогнозування спалахів, сонячних енергійних частинок і поширення корональних викидів істотно відрізняються. Найпоширенішими методами прогнозування космічної погоди є статистичні та з використанням машинного навчання [12].

У роботі [13] запропоновано прототип служби прогнозування іоносфери. Такі служби здебільшого орієнтовані на конкретні спільноти користувачів. Ця служба націлена на перетворення прогнозу іоносферних ефектів на послугу, налаштовану для користувачів системи супутникової навігації GNSS. Архітектура служби ґрунтується на трьох основних елементах:

- давачі, які збирають необхідні дані для створення продуктів служби;
- засоби дистанційної обробки;
- центральне сховище, засіб опрацювання даних, вебсервер.

Засоби дистанційної обробки складаються з трьох основних блоків: моніторинг сонячної та космічної погоди, моніторинг та прогнозування іоносферної активності, приймач GNSS та позиціонування користувачів, поточне оброблення та прогнозування продуктивності служби GNSS для авіації.

Центральне сховище та засіб обробки даних забезпечують функціональні можливості служби щодо зберігання, статистичного аналізу і поширення через вебпортал створеної продукції зацікавленим користувачам. Вебпортал служби представляє інтерфейс системи для надання доступу до інформації у вигляді віджетів.

Формулювання цілі статті

Мета роботи – створення прототипу інтелектуальної системи дослідження параметрів космічної погоди, яка дасть змогу вивчати вплив космічних факторів на Землю та навколоземний простір, виявляти нові зв'язки в структурі сонячно-земних взаємодій.

Виклад основного матеріалу

Прототип інтелектуальної системи дослідження параметрів космічної погоди є клієнт-серверною системою, побудованою на основі трьох компонент: програмного забезпечення сервера, програмного забезпечення користувача та прикладного програмного забезпечення. Узагальнену архітектуру інтелектуальної системи дослідження параметрів космічної погоди наведено на рис. 1.

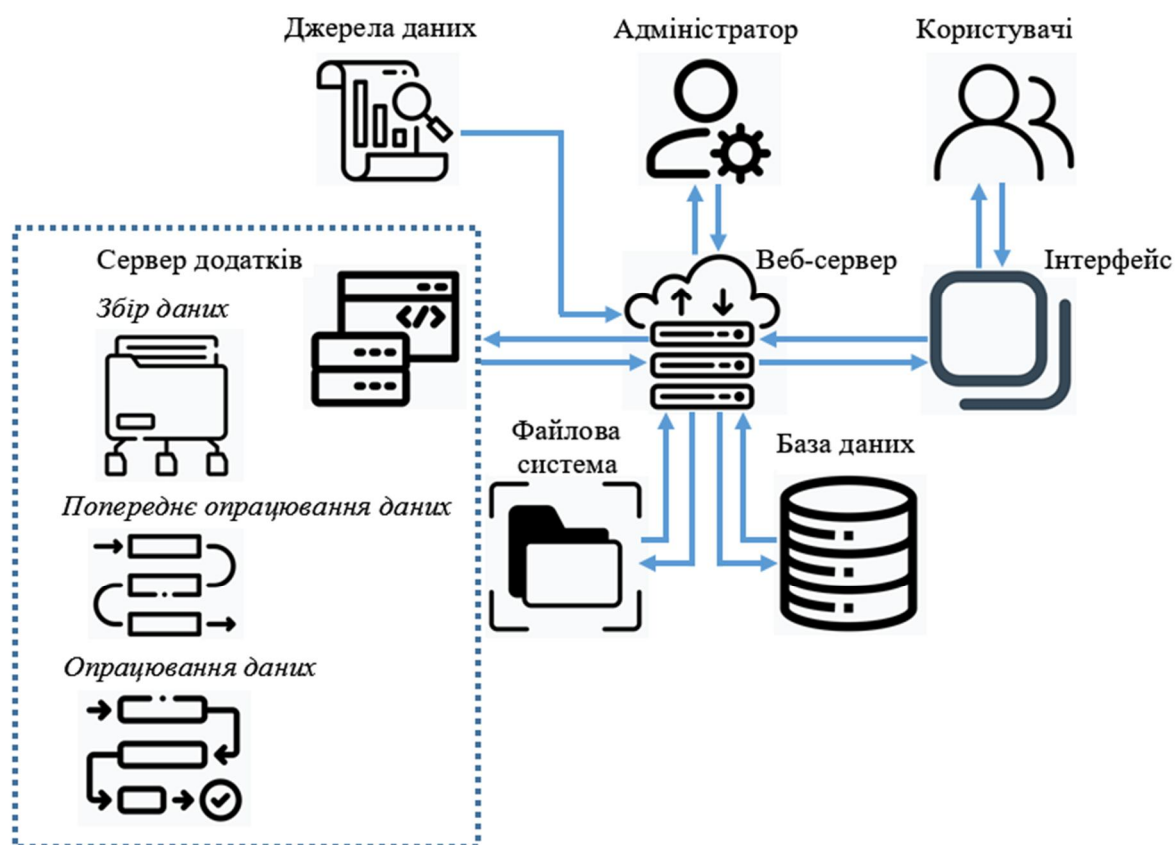


Рис. 1. Узагальнена архітектура інтелектуальної системи дослідження параметрів космічної погоди

Програмне забезпечення сервера відповідає за керування з'єднаннями, оброблення запитів, отримання даних та маніпулювання ними. Сервер встановлює та підтримує канали зв'язку для отримання запитів і надсилання відповідей користувачу чи адміністратору, одержує запити,

пов'язані із розв'язуванням прикладного завдання або команди для зміни бази даних і надсилає результати користувачеві.

Програмне забезпечення користувача формує запити до сервера, які генеруються в запити СКБД і передаються на сервер для отримання доступу до функціоналу системи.

Прикладне програмне забезпечення реалізує функціонал інтелектуальної системи.

1. **Збирання даних.** Для дослідження параметрів космічної погоди в базу даних інтелектуальної системи вносять експериментальні дані потоків сонячних частинок та значень міжпланетного магнітного поля, виміряних супутником ACE, доступні через <https://sohofp.nascom.nasa.gov/sdb/goes/ace/>, дані рентгенівського випромінювання Сонця, зареєстровані супутником GOES, доступні на <ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse/>, дані про корональні викиди мас надає Центр обробки даних CDAW через https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/index.html, індекси геомагнітної активності Dst і AE надає Світовий центр даних геомагнетизму через <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>, експериментальні дані про атмосферне електричне поле – GloCAEM через <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/bffd0262439a4ecb8fadf0134c4a4a41>, дані про галактичні космічні промені реєструє станція космічних променів Університету Оулу, вони доступні на <http://cosmicrays.oulu.fi>, дані про кількість сонячних плям надаються WDC-SILSO Королівської обсерваторії Бельгії, доступні на <https://www.sidc.be/SILSO/datafiles>. В базу даних також вносять експериментальні дані радіовипромінювання Сонця, зареєстровані на радіотелескопі УРАН-3 та атмосферного інфразвуку, отримані в ФМІ НАН України та ЛЦ ІКД НАН України та ДКА України.

2. **Попереднє опрацювання даних.** Типовими завданнями попереднього опрацювання даних є їх підготовка для застосування різних алгоритмів інтелектуального аналізу. Це, зокрема, очищення даних, їх редукція, масштабування, перетворення [14, 15]. На першому етапі попереднього опрацювання даних користувач інтелектуальної системи перевіряє дані на предмет відсутності значень. За незначної відсутності даних для їх заповнення використовують середні значення, в іншому випадку приймають рішення про вилучення даних і можливий пошук альтернативних джерел інформації. Далі виконують очищення даних від шумів та за необхідності їх редукцію для зменшення обсягу даних [16]. На наступному етапі попереднього опрацювання даних залежно від подальшого алгоритму аналізу виконують їх перетворення, зокрема приведення у відповідні формати даних, нормалізацію, агрегацію та побудову обвідних досліджуваних сигналів.

3. Опрацювання даних:

- Спектральний аналіз даних. Спектральний аналіз експериментальних даних реалізований з використанням віконного фур'є-перетворення та вейвлет-перетворення. У віконному фур'є-перетворенні перед застосуванням фур'є-перетворення досліджуваний сигнал множать на локальну функцію, яка зміщується по часовій шкалі, що дає змогу отримати на виході спектрограму досліджуваного сигналу. Це перетворення є одним із найпопулярніших методів частотно-часового аналізу нестационарних процесів, проте із незмінним у часі вікном ми отримуємо фіксовану роздільну здатність за часом і по частоті на всій частотно-часовій площині [17]. Вейвлет-перетворення сигналу полягає у масштабуванні та зсуві у часі базисної функції (вейвлету), що перемножується із досліджуваним сигналом. Особливістю вейвлет-перетворення є змінна роздільна здатність за частотою та часом. В області низьких частот це перетворення дає змогу отримати високу роздільну здатність за частотою і низьку за часом, в області високих частот – навпаки [18].

- Кореляційно-регресійний аналіз. Кореляційно-регресійний аналіз інтелектуальної системи дає змогу досліджувати залежність між кореляційними ознаками (факторною та результативною), з метою виявлення невідомих причинних зв'язків. Кореляційний аналіз націлений на виявлення ступеня зв'язку між двома (парна кореляція) чи більше (множинна кореляція) кореляційними ознаками, а регресійний аналіз – на побудову моделі кореляційного зв'язку, вираженої функцією регресії [19].

- Візуалізація досліджуваних сигналів.

Приклади результатів обробки експериментальних даних подано на рис. 2, 3.

На рис. 2 зображено кореляційний зв'язок між V_z -компонентою міжпланетного магнітного поля та AE-індексом магнітного поля Землі. В наведеному прикладі між результативною і факторною ознаками існує від'ємний кореляційний зв'язок, коефіцієнт кореляції дорівнює $R = -0,5$.

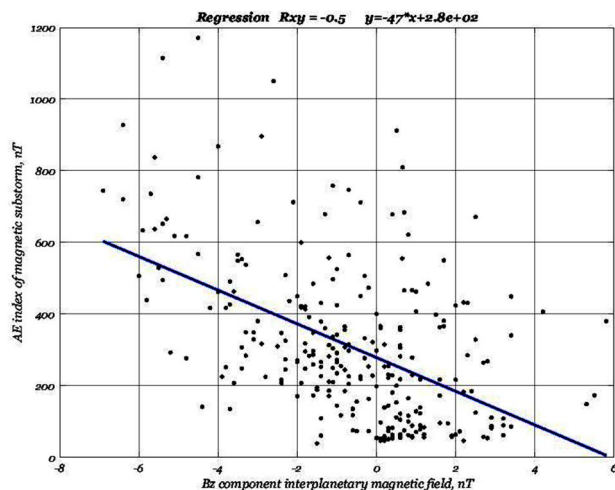


Рис. 2. Кореляційний зв'язок між B_z -компонентою міжпланетного магнітного поля і АЕ-індексом магнітного поля Землі

На рис. 3 наведено експериментальний запис атмосферного інфразвуку (верхня панель) і результати спектрального аналізу на основі віконного перетворення Фур'є (середня панель), та вейвлет-перетворення на основі вейвлету Морле – гармонічної функції, модульованої гаусіаною, а також глобальний вейвлет-спектр (нижня панель).

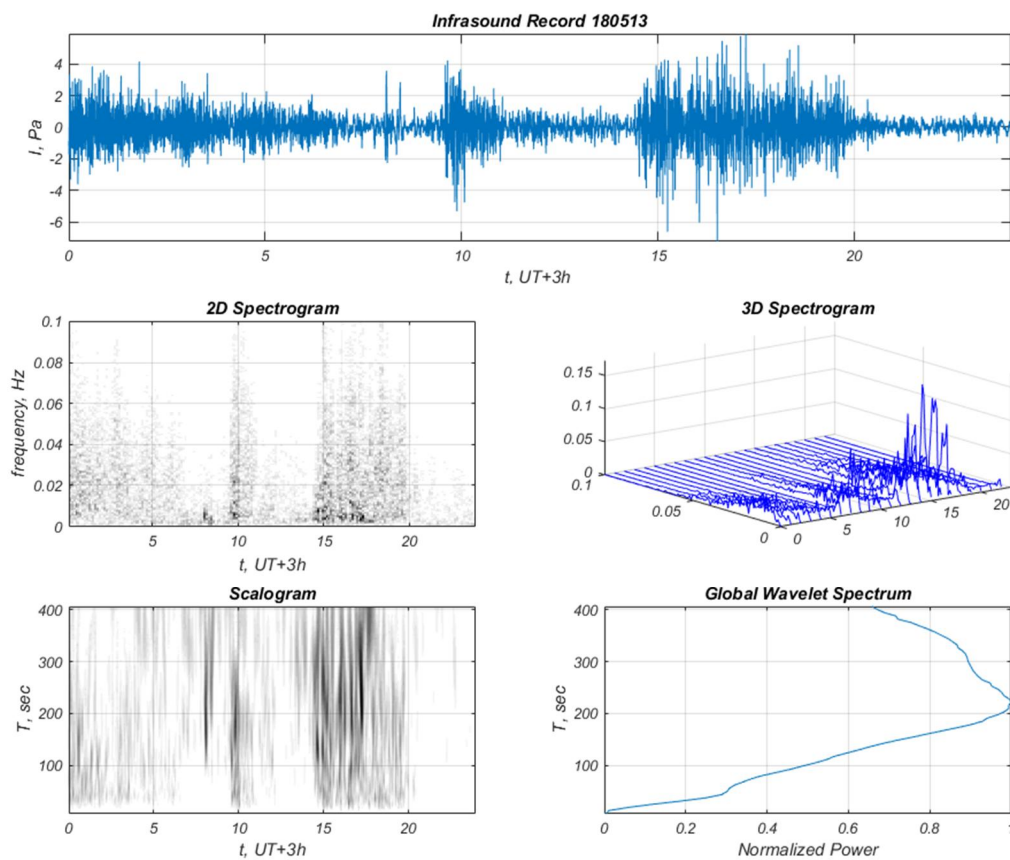


Рис. 3. Експериментальний запис атмосферного інфразвуку (верхня панель), результати спектрального аналізу на основі віконного перетворення Фур'є (середня панель), вейвлет-перетворення на основі вейвлету Морле та глобальний вейвлет-спектр (нижня панель)

Висновки

Питання моніторингу, дослідження та прогнозування стану космічної погоди актуальні, у розвинених країнах світу їм надають великого значення. Незважаючи на істотний прогрес у вирішенні цієї проблеми, структура сонячно-земних зв'язків ще далеко не вивчена, а ризики, пов'язані з космічною погодою, зростають, оскільки основні сфери нашого життя стають технологічно все розвиненішими. Все ще недостатньо досліджено вплив сонячної активності на нижню атмосферу Землі, зокрема, атмосферний інфразвук та електричне поле. Ця проблема потребує вивчення складних взаємодій, що виникають під час поширення різних типів збурень через середовище Сонце – Земля.

На основі розробленої узагальненої архітектури інтелектуальної системи дослідження параметрів космічної погоди запропоновано прототип цієї системи, визначено та розроблено її функціонал. Прототип інтелектуальної системи є клієнт-серверною системою, побудованою на основі програмного забезпечення сервера, програмного забезпечення користувача та прикладного програмного забезпечення. Функціонал інтелектуальної системи забезпечує збирання даних, їх попереднє опрацювання, зокрема подання у відповідних форматах, нормалізацію, агрегацію та побудову обвідних досліджуваних сигналів, опрацювання даних, що дає змогу виконувати частотно-часовий аналіз сигналів на основі віконного фур'є-перетворення та вейвлет-перетворення, кореляційно-регресійний аналіз, який дає змогу досліджувати залежності між факторною та результативною ознаками, а також функціонал системи забезпечує візуалізацію досліджуваних сигналів.

Інтелектуальна система дослідження параметрів космічної погоди дасть можливість, зокрема, виявляти нові зв'язки в структурі сонячно-земних взаємодій, вивчати вплив космічних факторів на тропосферу Землі, що визначає її актуальність та прикладне значення.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробленні узагальненої архітектури інтелектуальної системи та на її основі прототипу цієї системи, в якій реалізований запропонований функціонал для дослідження параметрів космічної погоди.

Список літератури

1. Naggood, M., et al. (2021). Development of space weather reasonable worst-case scenarios for the UK national risk assessment. *Space Weather*, 19(4), e2020SW002593. <https://doi.org/10.1029/2020SW002593>.
2. Buzulukova N., Tsurutani B. (2022), Space Weather: From solar origins to risks and hazards evolving in time. *Front. Astron. Space Sci.* 9:1017103. <https://doi.org/10.3389/fspas.2022.1017103>.
3. Pulkkinen, T. (2007). Space Weather: Terrestrial Perspective. *Living Rev. Sol. Phys.* 4, 1. <https://doi.org/10.12942/lrsp-2007-1>.
4. Singh, A. et al. (2021). Physics of Space Weather Phenomena: A Review. *Geosciences*, 11, 286. <https://doi.org/10.3390/geosciences11070286>.
5. Sharpe, et al. (2017). Verification of Space Weather Forecasts Issued by the Met Office Space Weather Operations Centre: Verification of MOSWOC Forecasts. *Space Weather*. 15(10). DOI: 10.1002/2017SW001683.
6. Temmer, M. (2021). Space weather: the solar perspective. *Living Rev. Sol. Phys.*, 18(4). <https://doi.org/10.1007/s41116-021-00030-3>.
7. Oliveira, D. M., Zesta, E. (2019). Satellite orbital drag during magnetic storms. *Space Weather*, 17, 1510–1533. DOI: 10.1029/2019SW002287.
8. Naggood, M., Liu, H., Lugaz, N. (2022). SpaceX – sailing close to the space weather? *Space weather*, 20, e2022SW003074. DOI: 10.1029/2022SW003074.
9. Bain, H., et al. (2023). NOAA Space Weather Prediction Center Radiation Advisories for the International Civil Aviation Organization. *Space Weather*, 21. 10.1029/2022SW003346.
10. Vaičiulis, V. et al. (2021). Associations between Space Weather Events and the Incidence of Acute Myocardial Infarction and Deaths from Ischemic Heart Disease. *Atmosphere*, 12, 306. <https://doi.org/10.3390/atmos12030306>.
11. Chaban, et al. (2021). Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility: In-Vitro Controlled Experiment. *Noise & health*, 23, 57–66. 10.4103/nah.NAH_28_19.
12. Gopalswamy, N. (2022). The Sun and Space Weather. *Atmosphere*. 13, 1781. <https://doi.org/10.3390/atmos13111781>.

13. Vadakke Veetil S., et al. (2019). The ionosphere prediction service prototype for GNSS users. *J. Space Weather Space Clim.*, 9, A41. <https://doi.org/10.1051/swsc/2019038>.
14. Cheng, F. et al. (2021). A Review on Data Preprocessing Techniques Toward Efficient and Reliable Knowledge Discovery From Building Operational Data. *Frontiers in Energy Research*, Vol. 9. DOI: 10.3389/fenrg.2021.652801.
15. Верес О. (2015) Онтологія очищення даних. *Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*. Серія: “Інформаційні системи та мережі”, № 814, 237–245.
16. Lozynsky, A., et al. (2023). Advances in Data Reduction Techniques to Solve Power Spectrum Estimation Problems for Emerging Wireless Networks. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Vol. 965. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_34.
17. Scholl, S. (2021). Fourier, Gabor, Morlet or Wigner: Comparison of Time-Frequency Transforms. *arXiv*, arXiv:2101.06707.
18. Merry, R. J. E. (2005). Wavelet theory and applications: a literature study. DCT rapporten; Vol. 2005.053. Technische Universiteit Eindhoven.
19. Devore, J. L., Berk, K. N., Carlton, M. A. (2021). Regression and Correlation. In: *Modern Mathematical Statistics with Applications*. Springer Texts in Statistics. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55156-8_1.

References

1. Hapgood, M., et al. (2021). Development of space weather reasonable worst-case scenarios for the UK national risk assessment. *Space Weather*, 19(4), e2020SW002593. <https://doi.org/10.1029/2020SW002593>.
2. Buzulukova N., Tsurutani B. (2022), Space Weather: From solar origins to risks and hazards evolving in time. *Front. Astron. Space Sci.*, 9:1017103. <https://doi.org/10.3389/fspas.2022.1017103>.
3. Pulkkinen, T. (2007). Space Weather: Terrestrial Perspective. *Living Rev. Sol. Phys.*, 4, 1. <https://doi.org/10.12942/lrsp-2007-1>.
4. Singh, A. et al. (2021). Physics of Space Weather Phenomena: A Review. *Geosciences*, 11, 286. <https://doi.org/10.3390/geosciences11070286>.
5. Sharpe, et al. (2017). Verification of Space Weather Forecasts Issued by the Met Office Space Weather Operations Centre: Verification of MOSWOC Forecasts. *Space Weather*, 15(10). DOI: 10.1002/2017SW001683.
6. Temmer, M. (2021). Space weather: the solar perspective. *Living Rev. Sol. Phys.*, 18(4). <https://doi.org/10.1007/s41116-021-00030-3>.
7. Oliveira, D. M., Zesta, E. (2019). Satellite orbital drag during magnetic storms. *Space Weather*, 17, 1510–1533. DOI: 10.1029/2019SW002287.
8. Hapgood, M., Liu, H., Lugaz, N. (2022). SpaceX—sailing close to the space weather? *Space weather*, 20, e2022SW003074. DOI: 10.1029/2022SW003074.
9. Bain, H, et al. (2023). NOAA Space Weather Prediction Center Radiation Advisories for the International Civil Aviation Organization. *Space Weather*, 21. 10.1029/2022SW003346.
10. Vaičiulis, V. et al. (2021). Associations between Space Weather Events and the Incidence of Acute Myocardial Infarction and Deaths from Ischemic Heart Disease. *Atmosphere*, 12, 306. <https://doi.org/10.3390/atmos12030306>.
11. Chaban, et al. (2021). Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility: In-Vitro Controlled Experiment. *Noise & health*, 23, 57–66. 10.4103/nah.NAH_28_19.
12. Gopalswamy, N. (2022). The Sun and Space Weather. *Atmosphere*, 13, 1781. <https://doi.org/10.3390/atmos13111781>.
13. Vadakke Veetil S., et al. (2019). The ionosphere prediction service prototype for GNSS users. *J. Space Weather Space Clim.*, 9, A41. <https://doi.org/10.1051/swsc/2019038>.
14. Cheng, F. et al. (2021). A Review on Data Preprocessing Techniques Toward Efficient and Reliable Knowledge Discovery From Building Operational Data. *Frontiers in Energy Research*, Vol. 9. DOI: 10.3389/fenrg.2021.652801.
15. Veres O. M. (2015). The ontology of data cleaning. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Series: Information systems and networks*, No. 814, 237–245.
16. Lozynsky, A., et al. (2023). Advances in Data Reduction Techniques to Solve Power Spectrum Estimation Problems for Emerging Wireless Networks. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Vol. 965. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_34.

17. Scholl, S. (2021). Fourier, Gabor, Morlet or Wigner: Comparison of Time-Frequency Transforms. *arXiv*, arXiv:2101.06707.
18. Merry, R. J. E. (2005). Wavelet theory and applications: a literature study. DCT rapporten; Vol. 2005.053. Technische Universiteit Eindhoven.
19. Devore, J. L., Berk, K. N., Carlton, M. A. (2021). Regression and Correlation. *In: Modern Mathematical Statistics with Applications. Springer Texts in Statistics*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55156-8_1.

PROTOTYPE OF INTELLECTUAL SYSTEM FOR RESEARCH OF SPACE WEATHER PARAMETERS

Danylo Ivantyshyn¹, Yevhen Burov²

^{1,2} Lviv Polytechnic National University, Information Systems and Networks Department,
12, S. Bandery str., Lviv, Ukraine

¹ danylo.ivantyshyn@gmail.com, ORCID 0000-0002-1530-3026

² yevhen.v.burov@lpnu.ua, ORCID 0000-0001-8653-1520

© Ivantyshyn D.-N., Burov Ye. 2024

An analysis of the state of space weather research has been conducted, based on which the main problem has been identified and its relevance has been justified. Monitoring, researching, and forecasting space weather conditions receive significant attention in developed countries around the world. Despite significant progress in addressing this issue, the structure of solar-terrestrial connections is not fully understood, and the risks associated with space weather are increasing as the key aspects of our lives become increasingly technologically advanced. Today, in the structure of solar-terrestrial connections the influence of solar activity on the Earth's lower atmosphere, including atmospheric infrasound and the electric field, remains insufficiently studied. This problem requires an examination of complex interactions that occur when different types of disturbances propagate through the Sun-Earth environment. Based on the developed generalized architecture of an intelligent system for researching space weather parameters, a prototype of this system has been proposed, and its functionality has been determined and developed. The prototype of the intelligent system is a client-server system built on the basis of server software, user software, and application software. The functionality of the intelligent system includes data collection, their preliminary processing, data processing, and visualization of the investigated signals. Data processing for space weather parameters includes spectral analysis of experimental data implemented using windowed Fourier transform and wavelet transform, as well as correlation-regression analysis, which allows for the investigation of the relationship between variables with the aim of identifying unknown causal connections. The intelligent system for researching space weather parameters will help identify new connections in the structure of solar-terrestrial interactions and study the impact of space factors on the Earth's troposphere. The provided examples illustrate the results of processing experimental data for space weather parameters.

Key words: intellectual system; architecture; prototype; space weather; solar-terrestrial connections.