

Мезенцев Олексій Вікторович (кандидат технічних наук, старший науковий співробітник)¹

Шовкошитний Ігор Іванович (кандидат військових наук, старший науковий співробітник)²

¹ Інститут проблем реєстрації інформації Національної академії наук України, Київ, Україна

² Національний університет оборони України, Київ, Україна

ПІДХІД ДО ВИБОРУ МЕТОДУ ГЛОБАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРІШАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ДЛЯ КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИСТЕМ НАВЕДЕННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Відомо, що основою роботи найбільш затребуваної на теперішній час кореляційно-екстремальної системи наведення літальних апаратів є визначення взаємо-кореляційної функції під час накладення (порівняння) еталонного та поточного зображень у спеціальні обчислювачі для подальшого визначення екстремуму функціоналу, що є необхідним для визначення координат літального апарату. Проте саме пошук екстремального значення функції порівняння становить найбільшу обчислювальну складність (час пошуку глобального екстремуму може сягати 70% від часу на всю роботу кореляційно-екстремальної системи наведення літальних апаратів). В сучасних умовах необхідно скорочувати час роботи таких систем на етапі наведення літальних апаратів. Ці вимоги стають ще жорсткішими в умовах зростання кількості елементів поточних зображень, що впливає на роздільну здатність системи. На теперішній час відомий достатньо розвинений математичний апарат для пошуку як глобального, так і локальних екстремумів багатокритеріальних функцій. Проте не існує універсальних алгоритмів пошуку глобального екстремуму для усіх типів датчиків зовнішньої інформації систем наведення літальних апаратів. Метою статті є розроблення, на підставі порівняння існуючих методів оптимізації, алгоритму (методики) вибору методу глобальної оптимізації вирішальної функції для кореляційно-екстремальних систем наведення літальних апаратів з урахуванням умов і обмежень щодо виконуваних ними завдань. Серед відомих математичних методів глобальної і локальної оптимізації немає однозначно задовільних, з погляду на їх обчислювальну ефективність, для пошуку безумовного глобального екстремуму. Часто задача зводиться лише до визначення одного із можливих локальних мінімумів, а зростання розмірності задачі вимагає значних обчислювальних ресурсів. Недоліком відомих детермінованих і стохастичних методів є те, що вони не гарантують збіжності результатів, а також успішний пошук глобального екстремуму, адже багато умов і складнощів змушують зупинити алгоритм за умов отримання приблизних точок, наближеної до оптимальної. У статті запропоновано показники ефективності, які доцільно використовувати під час обрання конкретного методу пошуку глобального екстремуму, зокрема – імовірність знаходження глобального екстремуму та кількість звернень до вирішальної функції. Наведено підхід до вибору методу пошуку глобального екстремуму, який може бути застосований під час розроблення алгоритмів функціонування систем наведення літальних апаратів. Цей підхід дає змогу дослідити та (або) удосконалити обрані методи глобальної оптимізації, здійснювати порівняння обраних методів завдяки отриманій у роботі якійсь характеристикі відповідності методу заданим показникам ефективності – імовірності знайдення глобального екстремуму та кількості звернень до вирішальної функції. Наукова новизна полягає у сформованому підході вибору методу глобальної оптимізації вирішальної функції для кореляційно-екстремальних систем наведення літальних апаратів, а також у запропонованій характеристикі відповідності, яку доцільно використовувати під час обрання методів оптимізації. Ця характеристика є ключовою для оцінювання ступеня відповідності обраних методів глобальної оптимізації заданим показникам ефективності з урахуванням відповідних умов функціонування конкретної системи наведення літальних апаратів. Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості підвищення ефективності функціонування кореляційно-екстремальної системи наведення літальних апаратів, зокрема, їх швидкодії і точності наведення на ціль завдяки підвищенню можливості обрання найбільш доцільного методу глобальної та локальної оптимізації. Подальші дослідження будуть присвячені оцінюванню інваріантності відібраних за допомогою висвітленого підходу методів оптимізації в умовах впливу різних видів завад і можливих викривлень зображень.

Ключові слова: кореляційно-екстремальна система наведення літальних апаратів, методи глобальної і локальної оптимізації, екстремум функції, підхід, ефективність, вирішальна функція.

Вступ

Постановка проблеми. Серед усього різновиду сучасних систем технічного зору літальних апаратів (далі – ЛА) їхня кореляційно-екстремальна система наведення (далі – КЕСН) займає провідне місце і на теперішній час є найбільш затребуваною. Відомо, що як і будь-яка складна система, КЕСН складається з підсистем, основною з яких є підсистема визначення взаєморелюційної функції під час накладення (порівняння) еталонного зображення (далі – ЕЗ) та поточного зображення (далі – ПЗ) у спецобчислювачі для наступного визначення екстремума функціоналу, що дозволяє надалі визначити координати ЛА.

Відомо також, що у зазначеній підсистемі саме пошук екстремального значення функції порівняння представляє собою найбільшу обчислювальну складність, адже відповідно до [1] час пошуку глобального екстремуму може становити до 70% від часу роботи всієї КЕСН ЛА.

На теперішньому етапі істотного зростання швидкостей польоту сучасних ударних ЛА та вимог до точності їх влучання у ціль, істотно посилюються вимоги до скорочення часу роботи КЕСН на етапі наведення таких ЛА. Ці вимоги стають ще жорсткішими при зростанні кількості елементів ПЗ, що впливає на роздільну здатність системи.

Слід зазначити, що обсяг обчислень під час пошуку екстремального значення істотно залежить і від того, який тип вирішальної функції ми використовуємо та у який спосіб здійснюється підготовка та оброблення еталонних і поточних зображень. Крім того, час на пошук екстремуму прямо залежить від усього інтервалу часу корекції координат ЛА, який, у свою чергу, залежить від накопиченої упродовж усієї відстані польоту похибки визначення координат інерційної навігаційної системи (далі – ІНС) ЛА та припустимої похибки визначення координат ЛА (вимог до точності влучання їх у ціль). Сучасна вимога до такої похибки становить 3–5 м. Це дуже жорстка вимога навіть для новітніх розробок КЕСН ЛА. Зазначене вимагає удосконалення математичного апарату для підвищення швидкодії спецобчислювачів літальних апаратів. Один з можливих напрямів удосконалення полягає у виборі раціональних методів глобальної оптимізації вирішальної функції для КЕСН літальних апаратів. Проте на сучасному етапі не існує якогось універсального алгоритму пошуку глобального екстремуму, який би задовольняв усі типи спектрального діапазону датчиків зовнішньої інформації КЕСН ЛА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання математичного апарату, який описує функціонування кореляційно-екстремальних систем наведення ЛА, розглядалися у низці досліджень. Зокрема, у [1] наведено опис способу підвищення швидкодії адаптивних систем обробки сигналів радіолокаційних головок самонаведення

літальних апаратів (зокрема, кореляційно-екстремальної системи наведення) в умовах навмисних радіоперешкод. Показано, що підвищення швидкодії адаптивних систем захисту від радіоперешкод досягається у разі наявності апріорної інформації щодо характеристик приймальних каналів головки самонаведення літального апарату, а врахування цієї інформації призводить до зміни структури пристроїв адаптивної обробки сигналів в умовах перешкод і, як наслідок, до підвищення їх швидкодії.

З математичного курсу оптимізації та теорії дослідження операцій відомо, що ідеальних з точки зору обчислювальної ефективності методів пошуку безумовного глобального екстремуму не існує [2–6]. Якщо функція має багато екстремумів, то спуск із одного початкового наближення може звестись тільки до одного із можливих локальних мінімумів, але не обов'язково до абсолютного (глобального) [5; 7–9]. Крім того, із зростанням розмірності задачі різко знижується ефективність локальних методів пошуку екстремумів, які вимагають великих обчислювальних ресурсів. Тому інколи для дослідження задач пошуку глобального екстремуму застосовують випадковий пошук, який в загальному випадку математичного обґрунтування не має. Взагалі, розв'язок екстремальних задач без елемента випадковості практично неможливий [10–12; 23; 24]. Зазначене пояснює те, що із зростанням розмірності задачі оптимізації детерміновані методи глобальної оптимізації різко зменшують свою надійність і взагалі ефективність [11–13; 23]. Стохастичні методи позбавлені недоліків детермінованих методів і визначають функцію цілі у випадкових точках деякої припустимої множини точок з подальшою їх обробкою. Недоліком цих методів є те, що вони не гарантують збіжності результатів, а також успішності пошуку глобального екстремуму. Багато умов і складнощів змушують зупинити алгоритм, якщо отримана якась приблизна точка, яка ще не наближена до оптимальної [10–12; 23; 24]. Тобто необхідно розробляти умови зупинки даного методу. Але для цього необхідна додаткова інформація, яка базується на даних досліджень.

Отже, завдання глобальної оптимізації важко розв'язати, тому що частіше за результат розв'язку задачі приймається наближена точка, отримана на деякому кроці алгоритму пошуку, і виникає потреба у зупинці алгоритму, що не дозволяє продовжувати пошук точного вирішення задачі [3]. Зазначене зменшує швидкодію розв'язання задачі оптимізації.

На теперішній час існує достатньо розвинений математичний апарат для пошуку як глобального, так і локальних екстремумів багатокритеріальних функцій [10–13; 23; 24].

В даній статті не ставилася задача детально розглядати методи глобальної оптимізації, які мають свої переваги і недоліки. Проте необхідно додатково провести огляд цих методів з метою вибору найбільш доцільних для подальшого використання у методичному апараті спеціальних

обчислювачів КЕСН ЛА. Враховуючи вищезазначене обрана тематика є актуальним напрямком досліджень.

Метою статті є розробка підходу до вибору методу глобальної оптимізації вирішальної функції для кореляційно-екстремальних систем наведення літальних апаратів з урахуванням умов і обмежень щодо виконуваних ними завдань.

Виклад основного матеріалу дослідження

Отже для вибору ефективного методу глобальної оптимізації вирішальної функції слід враховувати такі основні фактори:

клас завдань, для вирішення яких призначений метод;

- вимоги до цього класу завдань;
- точність методу;
- швидкодія (збіжність) методу;
- надійність методу;
- чутливість до вхідної інформації;
- обчислювальні витрати.

З урахуванням цих факторів для визначення ефективності методів пошуку глобального екстремуму приймемо такі показники ефективності методу:

- імовірність знаходження глобального екстремуму;
- точність визначення координат цього екстремуму;
- трудомісткість методу.

Щодо оцінювання першого показника, то тут треба враховувати ймовірність знаходження глобального екстремуму з похибкою, що є припустимою відповідно до технічних вимог до КЕСН.

Щодо оцінювання другого показника, то похибка визначення координат залежить від критеріїв (умов) зупинки конкретного методу.

Що стосується третього показника (оцінювання трудомісткості методу), то, як свідчить практика, зазвичай визначається кількість ітерацій методу, які необхідні для знаходження глобального екстремуму, або кількість звернень до вирішальної функції (далі – ВФ) $N_{ВФ}$.

Слід зазначити, що раціональніше використовувати другий показник ефективності, тому що перший значення показника (кількість ітерацій методу) для різних методів дуже відрізняється.

Враховуючи вищезазначені міркування, оберемо в якості показників ефективності (E) методу пошуку глобального екстремуму ймовірність знаходження глобального екстремуму (P) та кількість звернень до ВФ ($N_{ВФ}$):

$$E = f(P, N_{ВФ}). \quad (1)$$

Виходячи із сучасних вимог до КЕСН ЛА, час на усі ($N_{ВФ}$) звернення до ВФ становить 0,1–10 с, а вимоги до ймовірності знаходження глобального екстремуму $P=0,95–0,98$.

Таким чином, кожний k -ий метод глобальної оптимізації має задовольняти умові:

$$f_k(P, N_{ВФ}) = 0. \quad (2)$$

Нехай розв'язок рівняння (2) є характеристикою відповідності k -го методу (далі – ХВМ) із відповідними показникам ефективності P і $N_{ВФ}$. Це ключова характеристика під час вибору необхідного методу глобальної оптимізації для досягнення відповідних показників ефективності. Тобто, якщо ХВМ одного методу є кращою за таку саму характеристику іншого методу, то це означає, що за фіксованого значення P для обох методів обраний метод потребуватиме менших витрат на кількість звернень до ВФ ($N_{ВФ}$) та навпаки, за фіксованого значення $N_{ВФ}$ для обох методів, обраний метод забезпечує більше значення P .

У подальшому розробляється програмна модель обраного методу для визначення кількості необхідних експериментів, а також оцінювання величини P за результатами їх проведення. Значення P оцінюється через значення частоти подій ($Ч$):

$$Ч = m/n, \quad (3)$$

де n – кількість експериментів;

m – кількість успішного досягнення глобального екстремуму у n експериментах.

Під час проведення експериментів використовувались різноманітні тестові зображення (їхня кількість становить $z=20$) і різноманітні випадкові положення ЕЗ для деякого обраного ПЗ (нехай для нашого випадку їхня кількість становить $q=100–500$). Загальна кількість експериментів становить $n = z q$, тобто у нашому випадку $n=1200–10000$.

Для кожного обраного підходу до пошуку екстремуму проводиться n експериментів і обчислюється ХВМ, яка й визначає – задовольняє даний підхід припустимим значенням P і $N_{ВФ}$, чи ні.

Якщо обраний підхід не задовольняє цим вимогам, то його або відкидають, або, за можливості, удосконалюють. У подальшому проводиться n експериментів і обчислюється ХВМ для удосконаленого алгоритму.

Таким чином обчислюється ХВМ для усіх розглянутих методів пошуку екстремуму і в результаті обирається саме той, що задовольняє вимогам до значень P і $N_{ВФ}$. Ця послідовність вибору методу пошуку глобального екстремуму наведена на рис. 1. Застосування такої послідовності вибору дає змогу серед великої кількості відомих методів пошуку глобального екстремуму визначити найбільш ефективний для конкретної КЕСН ЛА.

Розглянемо послідовність вибору методу пошуку глобального екстремуму на прикладі поточного зображення ділянки земної поверхні (256×256 пкс), наведеного на рис. 2, і цього самого зображення у радіолокаційному діапазоні, нормованого до його середньої яскравості (рис. 3). Зображення (рис. 3) отримане у міліметровому діапазоні хвиль із застосуванням синтезованої апертури супутникової антенної решітки.

На рис. 4 зображено вигляд вирішальної функції, отриманої після суміщення поточного

зображення з еталонним (рис. 5), отриманим кореляційним методом за яскравістю [5].

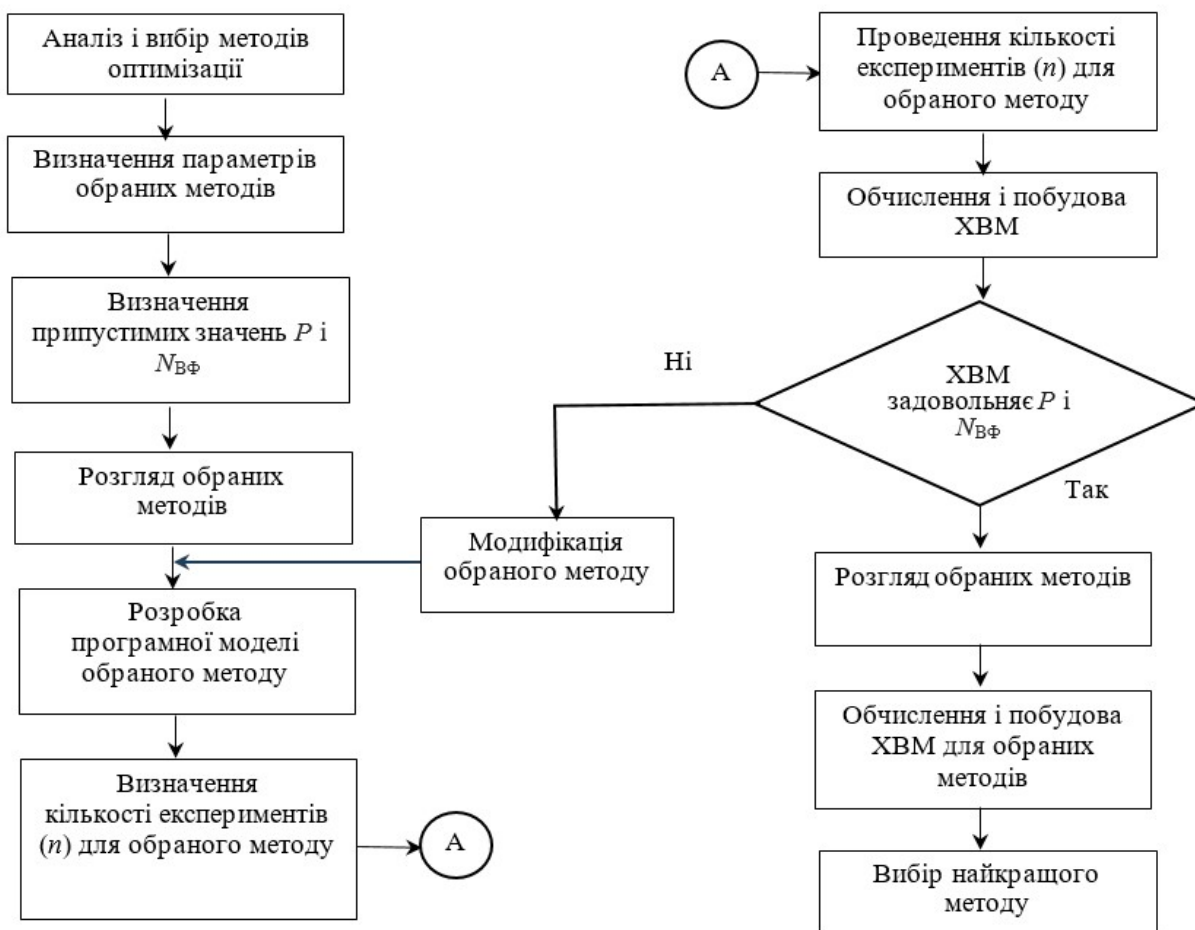


Рисунок 1 – Послідовність вибору методу пошуку глобального екстремуму



а)



б)

Рисунок 2 – Зображення ділянки земної поверхні в оптичному діапазоні (а); у градаціях сірого (б)



Рисунок 3 – Зображення у радіолокаційному діапазоні, нормоване до його середньої яскравості

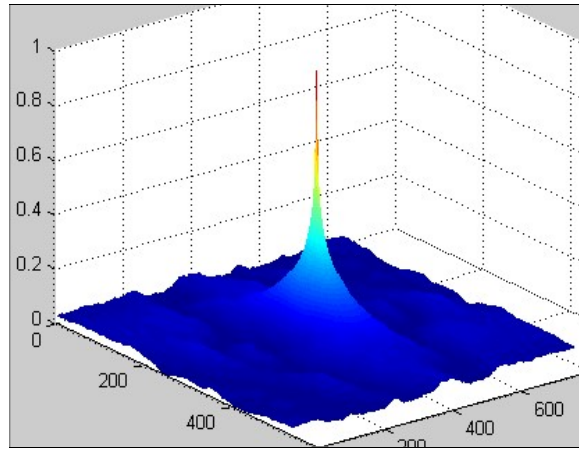


Рисунок 4 – Вигляд вирішальної функції, отриманої після суміщення поточного зображення з еталонним

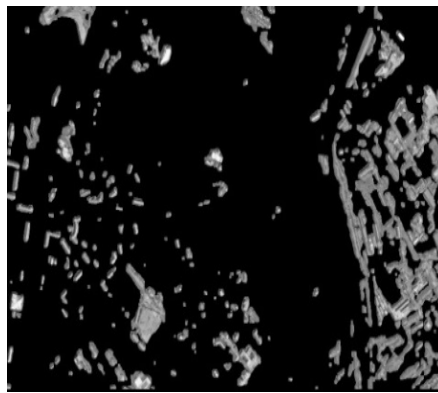


Рисунок 5 – Еталонне зображення, отримане кореляційним методом за яскравістю.

З рис. 4 видно, що глобальний екстремум значно перевищує численні локальні екстремуми. Взагалі, як показують результати багатьох досліджень, у вирішальних функціях радіолокаційних зображень, зазвичай, зустрічається велика кількість (від 200 до 450) близько розташованих локальних екстремумів (до 12 пкс між собою), що значно ускладнює застосування тих або інших методів пошуку екстремуму.

Припустимо, що відносна площа ЕЗ дорівнює 25 % від площі ПЗ. Якщо визначати екстремум методом перебору з кроком k , то кількість обчислювань ВФ у декартових координатах дорівнює:

$$N_{ВФ} = (x_{max} - d_x + 1)(y_{max} - d_y + 1)/k^2. \quad (4)$$

Припустимо, що ЕЗ і ПЗ мають квадратну форму (для спрощення). У цьому випадку:

$$N_{ВФ} = (x_{max} - d_x + 1)^2/k^2. \quad (5)$$

Обчислення одного значення функції потребує такої кількості операцій:

$$N_{оп} = b \cdot d_x^2, \quad (6)$$

де b – коефіцієнт, що залежить від виду ВФ.

Таким чином, щоб обчислити всі значення ВФ, потрібна така кількість операцій:

$$N = N_{ВФ} N_{оп} = b d_x^2 (x_{max} - d_x + 1)^2/k^2. \quad (7)$$

Тобто, за $d_x = x_{max}/2$ число N буде максимальним. Звідси видно, що визначати екстремум методом перебору з мінімальним кроком k є дуже трудомістким процесом, який не може бути застосований у реальному часі.

Порівняємо два відомих двоетапних метода пошуку екстремуму:

а) метод перебору з кроком $b_1 > 1$ за кожною координатою на першому етапі і перебір з кроком $b_1 = 1$ у межах $\pm b_1$ на другому етапі відносно екстремуму ВФ, знайденому на першому етапі;

б) метод перебору з кроком $b_1 > 1$ за кожною координатою на першому етапі і застосування метода деформованого багатогранника (далі – МДБ) [6; 7] (для площини трикутника) на другому етапі з розташуванням його початкових трьох точок у межах $\pm b_1$ відносно екстремуму ВФ, знайденому на першому етапі.

Припустимо максимально припустимим на перших етапах крок перебору $b_1 = 5$. Під час досліджень будемо використовувати такі параметри МДБ: коефіцієнти стиснення $\beta = 0,5$, відображення $\alpha = 1$, розтягування $\gamma = 2$.

В результаті досліджень на рис. 6 наведено ХВМ порівняння цих двоетапних методів пошуку екстремуму.

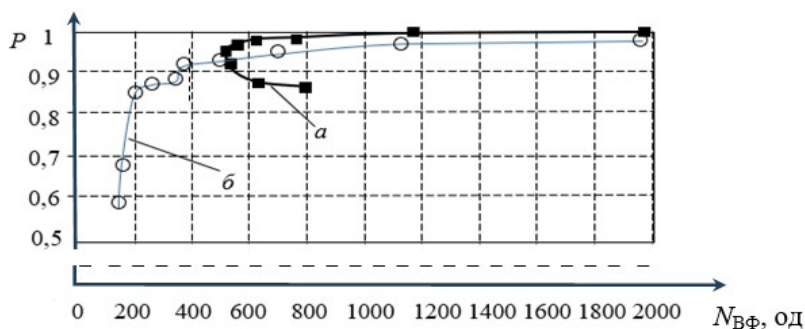


Рисунок 6 – Характеристики відповідності для двоетапних методів (а) і (б)

Із графіків на рис. 6 видно, що для метода (а) мінімум часу складає 520 викликів ВФ за ймовірності потрапляння в головний екстремум (далі – ГЕ) 0,93. У свою чергу для ймовірності потрапляння в ГЕ 0,98 треба обчислити значення ВФ 770 разів. Для метода (б) для ймовірності потрапляння в ГЕ 0,98 треба обчислити значення ВФ 1100 разів, а для ймовірності потрапляння в 0,95 – 620 разів.

Отже, значення ХВМ показує, що для розглядуваних двоетапних методів пошуку екстремуму кращим є метод (а). Відомо, що на даний час значна кількість достатньо ефективних методів пошуку екстремуму у своїй основі застосовує метод мултистарту, який передбачає оптимізацію значення функції із багатьох рівномірно розташованих на деякій ділянці V точок старту [8]. Відомо також, що ці методи характеризуються достатньою ефективністю, простотою та стійкою збіжністю. Порівняємо за допомогою запропонованого підходу відомі методи оптимізації, зокрема метод деформованого багатогранника і метод Хука-Дживса [7] у разі їх використання як локальних методів у мултистартному режимі. В якості поточного і еталонного зображень оберемо зображення, які було наведено відповідно на рис. 3 і рис. 5. Покажемо, що значення ХВМ дуже наглядно відображаються не тільки графічним методом, але й табличним (табл. 1).

Таблиця 1

Значення характеристики відповідності для метода деформованого багатогранника та метода Хука-Дживса

Локальний метод	Метод деформованого багатогранника	Метод Хука-Дживса
Максимальне значення обчислень ВФ	6322	6946
Середнє значення обчислень ВФ	435	632
Максимальне значення викликів метода	211	2266
Середнє значення викликів метода	15	181
Ймовірність знаходження глобального екстремуму	0,87	0,6

Список бібліографічних посилань

1. Мезенцев О. В., Шовкоштиний І. І. Спосіб підвищення швидкодії адаптивних систем обробки сигналів радіолокаційних головок самонаведення літальних апаратів.

Результати порівняння основних значень ХВМ показують істотну перевагу метода деформованого багатогранника над МХД методом Хука-Дживса за кількістю викликів методу та ймовірністю досягнення глобального екстремуму.

Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті запропоновано підхід до вибору методу пошуку глобального екстремуму для застосування під час розроблення алгоритмів функціонування кореляційно-екстремальних систем наведення літальних апаратів.

Підхід дає змогу дослідити та (або) удосконалити обрані методи глобальної оптимізації, здійснювати порівняння обраних методів завдяки отриманій у роботі якісній характеристиці відповідності методу заданим показникам ефективності, зокрема, ймовірності знаходження глобального екстремуму (P) та кількості ітераційних звернень до вирішальної функції ($N_{ВФ}$). Показано, що характеристика відповідності методу є ключовою під час вибору необхідного методу глобальної оптимізації для задоволення вимог до відповідних показників ефективності у відповідних умовах роботи конкретної кореляційно-екстремальна система наведення літальних апаратів

У статті не розглядувались викривлення поточних зображень сцен та інші шуми й завади. Вважалось, що усі завади відфільтровані під час попередньої обробки поточного зображення. Ефективність запропонованого підходу показана на прикладах порівняння відомих та найбільш застосованих методів глобальної і локальної оптимізації.

З погляду на перспективи подальших досліджень, пропонується за допомогою розробленого підходу проводити дослідження різних груп методів оптимізації з метою визначення ступеня їхньої інваріантності до різного виду викривлень зображень та завад.

Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2024. № 1(49). С. 105–110. DOI:10.33099/2311-7249/2024-49-1-105-110. 2. Сікора Я. Б., Щехорський А. Й.,

- Якимчук Б. Л.** Методи оптимізації та дослідження операцій : навч. посіб. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. 148 с. **3. Шелудько Г. А., Науменко В. В., Стрельнікова О. О.** Методи розв'язання задач оптимізації : конспект лекцій. Харків : УкрДАЗТ, 2014. 50 с. **4. Самсонов В. В.** Алгоритми розв'язання задач оптимізації : навч. посіб. Київ : НУХТ, 2014. 303 с. **5. Перестюк М. О., Станжицький О. В., Капустян Ю. В., Ловейкін О. М.** Варіаційне числення та методи оптимізації : навч. посіб. Київ : ВПЦ Київський ун-т, 2010. 145 с. **6. Лавров С. А., Перхун Л. П., Шендрик В. В.** Математичні методи дослідження операцій : підручник. Суми : Сумський державний університет, 2017. 212 с. **7. Захарченко М. В., Горохов С. М., Балан М. М., Гаджієв М. М., Корчинський В. В., Ложковський А. Г.** Математичні основи оптимізації телекомунікаційних систем : підручник. Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2010. 240 с. **8. Клименко М. І., Швидка С. П.** Варіаційне числення та методи оптимізації : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Прикладна математика» освітньо-професійної програми «Прикладна математика». Запоріжжя : ЗНУ. 2020. 91 с. **9. Гуляницький Л. Ф.** Прикладні методи комбінаторної оптимізації : навч. посіб. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2016. 133 с. **10. Гренджа В. І., Брила А. Ю.** Методичні вказівки до практичних робіт з курсу «Методи оптимізації». Ч. І. Скінченновимірні задачі безумовної оптимізації. Ужгород, 2011. 34 с. **11. Weise Th.** Global Optimization Algorithms – Theory and Application [EBook] / University of Kassel, Distributed Systems Group. Kassel, 2006–2007. 846 p. URL: <http://www.it-weise.de/projects/book.pdf> (дата звернення: 07.05.2024). **12. Wang T.** Global Optimization for Constraint Nonlinear Programming: PhD thesis / Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign; for the degree in Computer Science. – Urbana, 2001. 201 p. **13. Воронков О. О.** Конспект лекцій з курсу «Оптимізаційні методи і моделі» (для студентів заочної форми навчання освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» напряму підготовки 6.030504 – Економіка підприємства). Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 110 с. **14. Мезенцев О. В., Буточнов О. Н., Юзефович В. В., Миронюк С. В.** Модель процесса функционирования корреляционно-экстремальной системы навигации летательных аппаратов с учетом факторов, влияющих на точность и оперативность обработки изображений. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. Київ : ППІ НАН України. 2016. Т. 18. № 2. С. 61–66. **15. Сікора Я. Б., Щехорський А. Й., Якимчук Б. Л.** Методи оптимізації та дослідження операцій : навч. посіб. Житомир. Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. 148 с. **16. Жалдак М. І., Триус Ю. В.** Основи теорії і методів оптимізації: навч. посіб. Черкаси : Брама Україна. 2005. 608 с. **17. Ravindran A. A., Ragsdell K. M., Reklaitis G. V.** Engineering Optimization Methods and Application. Publication John Willy and sons, Inc, NJ, 2006, 2nd ed. 688 p. **18. Мезенцев О. В., Буточнов О. М., Юзефович В. В.** Аналіз підходів до визначення виду еталонного зображення для кореляційно-екстремальних систем навігації літальних апаратів. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. Київ : ППІ НАН України, 2013. С. 110–117. **19. Мезенцев О. В., Сотніков О. М.** Алгоритм глобального пошуку екстремуму функціоналу порівняння еталонних і поточних зображень при одновимірній оптимізації для кореляційно-екстремальних систем навігації літальних апаратів. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. Київ : ППІ НАН України. 2018. Т. 21. № 2. С. 93–97. **20. Химмельблау Д.** Прикладне нелінійне програмування. Київ : Джерело, 2001. 536 с. **21. Шелудько Г. А., Науменко В. В., Стрельнікова О. О.** Методи розв'язання задач оптимізації Конспект лекцій. Харків : УкрДАЗТ. 2014. 50 с. **22. Скиба М. С., Синюк О. М., Михайловський Ю. Б., Майдан П. С., Золотенко Е. О.** Наукові та інженерні методи проектування обладнання галузі: метод. вказівки до вивчення дисципліни: для здобувачів вищої освіти освітньо-наукового рівня доктор філософії спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». Хмельницький : ХНУ, 2020. 116 с. **23. Збірник центру** наукових публікацій «Велес» за матеріалами VI міжнародної науково-практичної конференції 1 частина: «Осінні наукові читання», м. Київ: збірник статей (рівень стандарту, академічний рівень). Київ : Центр наукових публікацій, 2017. 100 с. **24. Малярець Л. М., Лебедєва І. Л., Норік Л. О.** Дослідження операцій та методи оптимізації : практикум : у 2-х ч. Частина 1. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2017. 169 с.

APPROACH TO THE SELECTION OF THE METHOD OF GLOBAL OPTIMIZATION OF THE DECISION FUNCTION FOR CORRELATION EXTREME AIRCRAFT GUIDANCE SYSTEMS

Mezentsev Olexsiy (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)¹

Shovkoshytnyi Ihor (Candidate of Military Science, Senior Research Fellow)²

¹ *Institute of Information Registration Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

² *National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Formulation of the problem in general. The basis of the correlation-extreme aircraft guidance system is the determination of the inter-correlation function during the superimposition (comparison) of the reference and current images in special computers for the further determination of the extremum of the functional, which is necessary for determining the coordinates of the aircraft. The search for the extreme value of the function has the greatest computational complexity (the time of searching for the global extremum reaches 70% of the time for the entire operation of the correlation-extreme aircraft guidance system). In modern conditions, it is necessary to reduce the operating time of such systems at the stage of aircraft guidance. This requirement is strict in the conditions of the growing number of elements of the current images, which affects the resolution of the system.

Analysis of recent researches and publications. Currently, a sufficiently developed mathematical apparatus is known for finding both global and local extrema of multicriteria functions. However, there are no universal algorithms for finding the global extremum for all types of external information sensors of aircraft guidance systems.

Presenting the main material. The article proposes performance indicators that should be used when choosing a specific method for finding a global extremum, in particular, the probability of finding a global extremum and the number of calls to the decision function. An approach to the selection of a method for finding the global extremum has been developed, which can be applied during the development of algorithms for the functioning of aircraft guidance systems. This approach makes it possible to investigate and (or) improve the selected global optimization methods, to compare the selected methods thanks to the quality characteristics obtained in the work of the method's compliance with the specified performance indicators - the probability of finding the global extremum and the number of calls to the decision function.

Elements of scientific novelty. The scientific novelty consists in the developed approach to the selection of the method of global optimization of the decision function for correlation-extremal aircraft guidance systems, as well as in the proposed characteristic of compliance, which is advisable to use when choosing optimization methods and evaluating their compliance with specified performance indicators.

Practical significance of the article. The practical significance of the obtained results lies in the possibility of increasing the efficiency of the correlation-extreme aircraft guidance system, in particular, their speed and accuracy of aiming at the target due to the increase in the possibility of choosing the most appropriate method of global and local optimization.

Conclusion and the perspectives of future researches. Further research will be devoted to the use of the developed approach for the selection of optimization methods in order to determine the degree of their invariance to various types of image distortions and interference.

Keywords: correlation-extremal aircraft guidance system, methods of global and local optimization, extremum function, approach, efficiency, decisive function.

References

1. Mezentsev, O. V., Shovkoshitny, I. I., (2024). A method of increasing the speed of adaptive signal processing systems of radar homing heads of aircraft. Modern information technologies in the field of security and defense: science. journal / National University of Defense of Ukraine. Kyiv. No. 1(49). 105–110. DOI:10.33099/2311-7249/2024-49-1-105-110.
2. Sikora, Y. B., Shchekhorskyy, A. Y., Yakymchuk, B. L., (2019). Methods of optimization and research of operations : academic. manual Zhytomyr: Publication of ZhDU named after Ivan Franko.
3. Sheludko, G. A., Naumenko, V. V., Strelnikova, O. O., (2014). Methods of solving optimization problems : Lecture notes. Kharkiv: UkrDAZT.
4. Samsonov, V. V., (2014). Algorithms for solving optimization problems: Study. manual Kyiv: NUKHT.
5. Perestyuk, M. O., Stanzhitskiy, O. V., Kapustyan, Yu. V., Loveykin, O. M., (2010). Variational calculus and optimization methods : teaching. help Kyiv. VOC Kyiv University.
6. Lavrov, E. A., Perhun, V. V., (2017). Mathematical methods of operations research : a textbook. Sumy : Sumy State University.
7. Zakharchenko, M. V., Gorokhov, S. M., Balan, M. M., Gadzhiev, M. M., Korchinskiy, V. V., Lozhkovskiy, A. G., (2010). Mathematical basis of optimization of telecommunication systems: textbook. Odesa: ONAZ named after O. S. Popov.
8. Klymenko, M. I., Shvidka, S. P., (2020). Variational calculus and optimization methods: training. manual for higher education master's degree holders in the «Applied Mathematics» specialty of the «Applied Mathematics» educational and professional program. Zaporizhzhia: ZNU.
9. Gulyanytskyi, A. Yu., (2011). Methodical instructions for practical work from the course «Optimization methods». Ch. I. Finite-dimensional problems of unconditional optimization. Uzhhorod.
11. Weise, Th. Global Optimization Algorithms – Theory and Application [EBook] / University of Kassel, Distributed Systems Group. Kassel, 2006–2007. 846 p. Available at URL: <http://www.it-weise.de/projects/book.pdf> (Accessed : 07.05.2024).
12. Wang, T., (2001). Global Optimization for Constraint Nonlinear Programming: PhD thesis / Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign; for the degree in Computer Science. Urbana.
13. Voronkov, O. O., (2016). Outline of lectures from the course «Optimization methods and models» (for correspondence students of the «bachelor» educational qualification level in the field of training 6.030504 – Enterprise Economics). Kharkiv: XNUMX named after O. M. Beketova.
14. Mezentsev, O. V., Butochnov, O. N., Yuzefovych, V. V., Myronyuk, S. V., (2016). Model of the process of functioning of the correlation-extreme system of navigation of aircraft taking into account factors affecting the accuracy and efficiency of image processing. *Registration, storage and processing of data*. Kyiv: IPRI of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2016. Vol. 18, No. 2.
15. Sikora, Y. B., Shchekhorskyy, A. Y., Yakymchuk, B. L., (2019). Methods of optimization and research of operations: academic. manual Zhytomyr. Department of State University named after Ivan Franko.
16. Zhaldak, M. I., Tryus, A. A., Ragsdell, G. V., (2006). Engineering Optimization Methods and Application. Publication John Willy and sons, Inc, NJ, 2nd ed.
18. Mezentsev, O. V., Butochnov, O. M., Yuzefovych, V. V., (2013). Analysis of approaches to determining the type of reference image for correlation-extreme aircraft navigation systems. *Registration, storage and processing of data*. Kyiv: IPRI NAS of Ukraine.
19. Mezentsev, O. V., Sotnikov, O. M., (2018) Algorithm for the global search for the extremum of the functional comparison of reference and current images during one-dimensional optimization for correlation-extremal aircraft navigation systems. *Registration, storage and processing of data*. Kyiv: IPRI of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2018. Vol. 21, No. 2.
20. Himmelblau, D., (2001). Applied nonlinear programming. Kyiv: Source.
21. Sheludko, G., Naumenko, V., Strelnikova, O., (2014). Methods of solving optimization problems Lecture notes. Kharkiv : UkrDAZT.
22. Skyba, M. E., Sinyuk, O. M., Mykhaylovskiy, Yu. B., Maidan, P. S., Zolotenko, E. O., (2020). Scientific and engineering methods of industry equipment design: method. instructions for studying the discipline: for applicants of higher education at the educational and scientific level of Doctor of Philosophy, specialty 133 «Industrial Mechanical Engineering». Khmelnytskyi: KhNU.
23. Collection of scientific publications center «Veles» based on the materials of the VI international scientific and practical conference, (2017). Part 1: «Autumn scientific readings», Kyiv: collection of articles (standard level, academic level). Kyiv : Center for Scientific Publications.
24. Malyarets, L. M., Lebedeva, I. L., Norik, L. O., (2017). Operations research and optimization methods: workshop: in 2 hours Part 1. Kharkiv : KHNEU named after S. Kuznetsia.