УДК 51 0 115: 2 0 2 22

В П арчен о

ОПТИМІЗАЦІЯ ОНФІ УРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПО Я АЕРОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

озглянуто загальні принци и формування інформаційни полів засобів аеронавігаційної системи аведено алгоритми оптимізації інформаційного поля За при лад в брана система спостере енн

Загальні принципи формування інформ ційного поля Ефективність і безпека польотів повітряних кораблів (ПК) суттєво залежать від інформаційних засобів зв язку навігації спостереження метеороло чного забезпечення та служби аеронавігаційної інформації [1] Кожен із таких засобів виконує свої функціональні завдання і має свій набір показників якості та параметрів Але незважаючи на це можна запропонувати досить загальний метод який дозволить вирі ити проблему формування оптимальної згідно з вибраним критерієм конфігурації інформаційного поля як окремого засобу так і всієї аеронавігаційної системи (АНС)

До основних характеристик просторової конфігурації поля інформаційних засобів АН і о о о о ок ятьоб з д о кї о нн к тн стькпю к итя поля r_o точність оз ільн

Ïåðåíóìåðóºìî òî×ÊÈ ìíîÆÈÍÈ è

^Ü •••> Õö

òàìíîæèíè V

ÓèÓ2,.-.,Óò

1 ââåäåìî íîâ³ äèñêðåòí³îáìåæåíèÿ:

ç,=ç(õ,.),

å₃. = å(ñ, ó₈) ïðè çìåíøåí³é âåëè÷èí³ çàóìîâè (5),

Òîä³ â äèñêðåòíîìó âàð³àíò³çàäà÷à(3), (4) çàì³íèòüñÿ òàêîþ çàäà÷åþ:

N

=> ò³ï; (6)

ê=\ N å.2₃ > î :

« _ • 00

] - \,ò, 2₂ = 0,1,2,...

Ïîçíà÷èìî ÷åðåç2 - (2è...,2û) «-ì³ðíèé ö³ëî÷èñëîâèé âåêòîð.Ââåäåìî äâ³ ìíîæèíè:

2⁺ - ìíîæèíà âåêòîð³â2, äëÿ ÿêèõ îáìåæåííÿ (7) âèêîíóºòüñÿ; 2 - ìíîæèíà âåêòîð³â2, äëÿ ÿêèõóìîâà (6) íå âèêîíóºòüñÿ.

Òîä³ çàäà÷à(6), (7) êîðîòêî çàïèñóºòüñÿòàê:

ò³ï, (8)

(9)

ää (3,2)= 2, .

7=1

Â ì³æíàðîäí³é ïðàêòèö³ íàéá³ëüø â³äîìèì êðèòåð³ºì ïðèéíÿòòÿ ð³øåíü, ùî øèðîêî çàñòîñîâóºòüñÿ, º ÷èñòà ïðèâåäåíà âàðò³ñòüàáî äèñêîíòîâàíà ÷èñòà âèãîäà [3]. Ð,îíà â³äíîñíà âèãîäà äèñêîíòîâàíó (ïðèâåäåíó) âàðò³ñòüïðåêóó áåç óðàõóâàííÿ äèñêîíòîâàíî¿ âàðòîñò³ âèòðàò ïðîâêòó. Çà òàêîãî êðèòåð³þ ìàéáóòí³ âèãîäè òà âèòðàòè çîâñìòüñÿ äî ºäèíîãî ÷èñëà(ÈÐÓ)çàâäÿêâèêîðèñòàííþ äèñêîíóâàííÿ.

Ôîðìóëà N..ÐÓìàº âèãëÿä:

ï Ò³—ï

û (! + ')

ää Â{ - ïîâí³ âèãîäè çà ð³ê ¿; Ñ, - ïîâí³ âèòðàòè çà ð³ê ³; ´ - â³äïîâ³äíèé ð³ê ïðîåêòó (1, 2, …, «); ï - òåðì³í ðåàë³çàö³¿ïðîåêòó, ãëèáèíà ãîðèçîíòó ÷àñ,ðîêè; /' - ñòàâêàäèñêîí-òó, %.

Òîä³ çàäà÷óïîòèì³çàö³¿ çàïèøåìî ÿê

N ï é _Ã

ê=\,=\ (³ + ã)

ïðè îáìåæåíïÿõ

ê=1

Àëãîðèòìè îïòèì³çàö³¿ ³íôîðìàö³éíîãî ïîëÿ. Äëÿ ðîçâ'ÿçàííÿ ñôîðìóëüîâàíèõ âèùå âàð³àíò³â çàäà÷(íàïðèêëàä, çàäà÷³(8) ³ (9)) ïðîïîíóºòüñÿ òàêèé ï³äõ³ä. Íà ïåðøîìó åòàï³ âèêîíóºòüñÿ ïîñë³äîâí³ñòü ïðîíåäåíü, êîæíå ç ÿêèõ âì³ùóº:

1) âåðèôiêàöiÿ ç âèêîðèñòàííÿì ãåíåðàö³¿âèïàäêîâèõ òî÷îê çàäàííÿ ïî÷àòêîâîãî ðîçì³ùåííÿ ïîçèö³¿ 2, ÿêå â³äïîâ³äàº óìîâ³ (9);

2) ïîñë³äîâíó ëîêàëüíó çì³íó 2 ç óðàõóâàííÿì îö³íêè ãðàä³ºíòíîãî êðèòåð³þ â ìåæàõ ëîêàëüíîãî åêñòðåìóìó;

3) ïîð³âíÿííÿ îïòèìàëüíèõ çíà÷åíü (3, 2Ã)äëÿ êîæíî¿ ç ö âèêîíàíî¿ ïðîáè ³ âèá³ð éîãî êðàùî¿ âåëè÷èíè. Îòðèìàíå äëÿ öüîãî âèïàäêó çíà÷åííÿ 2 ïðèéìàºòüñÿ çà íàáëèæåíèé ðîçâ'ÿçîê çàäà÷³.

Òàêèì ÷èíîì, ïåðøèé åòàï âèìàãàº âêëþ÷åííÿ, äóãèé- ìîæíà ïîäàòè ó äâîõ âàð³àíòàõ.

Âàð³àíò 1. Îö³íêà ìîæëèâîñò³ çìåíøåííÿ âàðòîñò³òà åêñïëóàòàö³éíèõ âèòðàòìåðåæ³ ²ÇÀÍÑ çàðàõóíîê ñêîðî÷åííÿ ïîçèö³é îêðåìèõ çàñîá³â.

Ïîçíà÷èìî âåêòîðç êîìïîíåíòàìè

ê , ÿêùî ê - ³.

Òîä³ Z ^ îäåðæèìî ³ç Z âíàñë³äîê âèëó÷åííÿ ç ìåðåæ³ îäí³ºº¿ ïîçèö³¿ ²ÇÀÍÑ ç òî÷êîþ ðîçì³ùåííÿ Õ³.Ïåðåâ³ðèìî óìîâó 2^ º 2+, äëÿ ÿêî¿ \ <³<ï .

Íåõàé ² º ìíîæèíîþ òàêèõ äëÿ ÿêèõ íàçâàíà óìîâà âèêîíóºòüñÿ. Îá÷èñëèìî øàõ ç, = ç\ Âèëó÷èìî òó ïîçèö³þ, ÿêà â³äïîâ³äàº öüîìó ìàêñèìóìó. ßêùî äåê³ëüêàçíà÷åíü ø îäíàêîâ³, òî âèêîíàºìî âèïàäêîâèé âèá³ð. Ïîçíà÷èìî ÷åðåç /0 âèáðàíå çíà÷åííÿ ³. Ïåðåéäåìî â³ä 2 äî 2 ^ ³ ïîâòîðèìî òié æå äàëãîðèòì. Ïðàâèëî çóïèíêè ïðîöåñó ð³øåííÿ áóäå óìîâà, çà ÿêî¿ íà äåÿêîìó êðîö³ âèêîíóºòüñÿ 1 = 0 (ïóñòà ìíîæèíà), òîäî í³ÿêà ïîçèö³ÿ ²ÇÀÍÑ íå ìîæå áóòè âèäàëåíà åòàïó ïîøóêó îïòèìàëüíîãî ðîçì³ùåííÿ ïîçèö³é, âêëþ÷àþ÷è,ïðè íåîáõ³äíîñò³,çì³íó ïîñëiäîâí³ñòü ê³ïðäèíàò.

Âèçíà÷èìî á³ëü òî÷êè õ,(íàïðèêëàä, â íàéáëèæ÷èõî÷êàõ òðèêóòíî¿ îïòà¿êè).

Íà â³äì³íó â³ä âàð³àíòà1 âèêîíàºìî òàê³ä³¿:

1) ñïðîáóºìî âèëó÷èòè îäíó ç ïîçèö³é ²ÇÀÍÑ ç³ çáåðåæåííÿì óìîâè (9). ßêùî öå íåìîæëèâî, òî âèëó÷àºìî òó ïîçèö³þ, äëÿ ÿêî¿ Ç³íàéá³ëüøå. Öèêë ïðîïâîæóºòüñÿ;

2) ÿêùî ðîçâ'ÿçîê íå çíàéäåíî, òî ïåðåíñèìî îäèí ²ÇÀÍÑ ³çòî÷êè õ, â îê³ë Ê,. Â íîâ³é òî÷ö³ ïåðåâ³ðèìî îáìåæåííÿ. ßêùî îáìåæåííÿ íå âèêîíóþòüñÿ, òî öÿ ã³ëêàâ³äñ³êàºòüñÓ âèìàëó âèêîíàííÿ îáìåæåíü ïåðåâ³ðÿòü ìîæëèâîñò³ çìåíøåííÿ âèòðàò çà ðàõóíîê âèëó÷åííÿ ²ÇÀÍÑ äàíîãî òèïó.

ßêùî ìàºìî áóäü-ÿêåîêàëüíå ïîêðàùåííÿ ïðîöåñó âèíîðó, òî öèêë ³÷íî ïîâòîðàºìîñÿ ó ïî÷àòêîâèé ïóíêò, òîáòî âèêîíóºìî ³òåðàö³éíèé ïðîöåñ. Â ðåçóëüòàòðåçë³çäö³òàêîãî àëãîðèòìó îäåðæèìî âàð³àíò¥ , ÿêèé çàäîâîëüíÿº óìîâ³ ëîêàëüíîãî îïòèìóìó.

Реалізація основної вимоги єдиної системи спостереження. Однією з основних умов спостереження, яка задовольняє різні відомства, є формування суцільного інформаційного поля держави або окремого регіону.

Насамперед розглянемо випадок, коли необхідно забезпечити суцільне перекриття області V без урахування кратності поля. Із надлишкової кількості позицій, згідно з варіантом 1, способом послідовного вилучення окремих з них будується така множина Z, для якої вилучення будь-якого елемента вже не дає суцільного перекриття. Це означає, що для фіксованих позицій ІЗАНС покращення поля неможливо. Тоді виконаємо перебір варіантів по i: $Z_i \geq 1$. Для кожного значення i вилучимо позицію, тобто перейдемо від Z до $Z^{(i)}$. Згідно з умовою поле позиції $Z^{(i)}$ порушує безперервність поля. Перевіримо можливість його заповнення за рахунок пересування інших позицій в напрямку пропусків поля.

Знайдемо центр тяжіння пропуску поля $\vec{y}$ (двовимірний вектор). Для цього необхідно усереднити координати тих y_k, для яких $\sum_{k=1}^{N} Z_k^{(i)} e_{kj} = 0$, тобто тих точок, які попадають в пропуски поля. В даному рівнянні $Z_k^{(i)}$ - компоненти вектора $Z^{(i)}$. Далі виконаємо перебір по k: $Z_k^{(i)} \geq 1$. Для даного k пересуваємо (міняємо координати) одну з позицій точки x_k наскільки це можливо в напрямку до y_k, але таким чином, щоб не створити нових пропусків поля. Математично ця процедура описується так.

Перейдемо від $Z^{(i)} = \left(Z_1^{(i)}, \ldots, Z_k^{(i)}\right)$ до $Z' = \left(Z_1', \ldots, Z_N'\right)$, де $Z_j^i = Z_j^{(i)}$ при $j \in \{k,1\}, Z_k' = Z_k^{(i)} - 1, Z_l' = Z_l^{(i)} + 1, E\left(Z_l^{(i)}, \vec{y}\right) \Rightarrow \min$ та обмеженнях

$$\prod_{s:Z_s'=1}(1-e_{st}) \leq \prod_{s:Z_s^{(1)}=1}(1-e_{st}),$$

де S – площа фігури поля.

Потім виконаємо такі ж дії для інших позицій, тобто інших значень індексів. Процес продовжуємо, доки не отримаємо суцільне покриття визначеного регіону. Запропонований алгоритм може бути узагальнений також у випадках, якщо $r > 1$.

Елементарна оцінка точок в мережі ІЗАНС буде такою. Нехай маємо регулярне розміщення точок в мережі на площині зі щільністю λ. В квадрат зі стороною a попадає $\lambda a^2(1 + 0(1))$ точок. Позначимо через ν_S число точок, які попадають на фігуру площі S при випадковому накладанні мережі на вибрану фігуру. Тоді

$$M\nu_s = \lambda S.$$

Оскільки ν_S - цілочислова величина, то

$$P(\nu_s \leq [\lambda, S]) > 0.$$

Відповідно, при деякому накладанні мережі на фігуру

$$\nu_s \leq [\lambda, S].$$

Це рівняння дає можливість отримати оцінку достатньої кількості ІЗАНС для суцільного однократного покриття території.

Приклад. Необхідно підвищити ефективність системи спостереження за рахунок мінімізації витрат на утримання радіолокаційних позицій (РЛП).

Оптимізацію інформаційного поля виконаємо за рахунок трасових та аеродромних радіолокаційних станцій. За переважні точки розміщення використаємо наближення до існуючих. Тоді реалізація запропонованого алгоритму дає можливість з'ясувати загальну неоптимальність конфігурації інформаційного поля (рис.2), яка призводить до нераціональної витрати коштів на утримання РЛП.

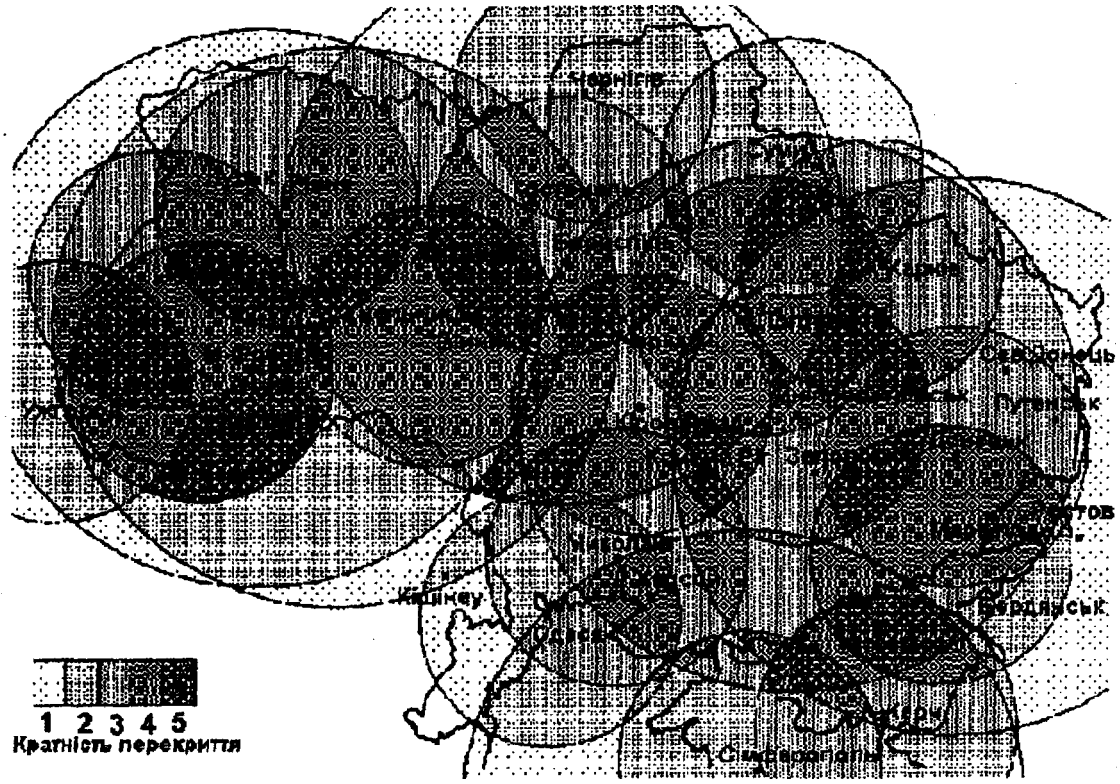

Рис. 2. Перекриття повітряного простору аеродромними та трасовими радіолокаторами

Об'єднання РЛП в мережу дозволяє оптимізувати інформаційне поле і підвищити його ефективність. Оцінка ефективності мережі РЛП показує, що витратна частина за рахунок оптимального розміщення трасової РЛП зменшується в середньому на 18 % порівняно з діючими позиціями за рахунок вилучення тільки однієї точки. Якщо враховувати додаткові позиції, то виграш складає біля 200 %.

Відсутність об'єднаної мережі сучасних аеродромних РЛП також призводить до надлишковості інформаційного поля, яка створена структурною надлишковістю. Оптимізація структури такого поля дозволяє суттєво зменшити витрати на його підтримку.

Найбільший ефект можна отримати в процесі оптимізації конфігурації поля, якщо сформувати єдину мережу аеродромно-трасових РЛП, або перейти до єдиної мережі тільки аеродромних РЛС.

Подальше підвищення ефективності інформаційного поля можливе за рахунок додаткового використання інформації автоматичного залежного спостереження в режимі радіомовлення [1] (ADS або ADS-B).

Список літератури

1. *Харченко В.П.* Майбутнє аерокосмічних інформаційних систем і керування транспортом// Вісник КМУЦА. – 1999.– № 1. – С. 166-179.

2. *Харченко В.П., Косенко Г.Г., Кукуш А.Г.* Баесовская теория совместного разрешения, обнаружения, оценивания и распознавания сигналов.// Радиоэлектроника. Известия вузов. – 1994. – № 3. – Т. 37. – С. 52-59.

3. *Экономические* аспекты аэронавигационного обслуживания, основанного на использовании спутниковой технологии. Циркуляр 257. – ICAO, Монреаль, 1995. – 62 с.

Стаття надійшла до редакції 2 лютого 2000 року.