

Grey Scale #13



A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

KURS BADAŃ OPERACYJNYCH

ARCHIWUM

38

płk dr J. SKIBIŃSKI

WSTĘP DO TEORII POSZUKIWANIA

Część II

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej

S/526



05-000547-002-0

12904

WARSZAWA

LIPIEC

1965



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

KURS BADAŃ OPERACYJNYCH

ARCHIWUM

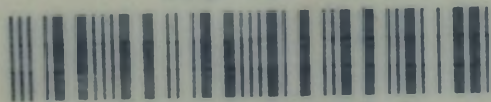
38

płk dr J. SKIBIŃSKI

WSTĘP DO TEORII POSZUKIWANIA

Część II

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/526



05-000547-002-0

12904

WARSZAWA

LIPIEC

1965

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni F. Świerczewskiego

KURS BADAN OPERACYJNYCH

płk dr J. SKIBINSKI

WSTĘP DO TEORII POSZUKIWANIA

Część II



WARSZAWA

LIPIEC

1965r.

SPIS TRESCI

3. Metody oceny prawdopodobieństwa wykrywania celu w dwuwymiarowej przestrzeni poszukiwania.
 - 3.1. Prawdopodobieństwo wykrycia celu na rubieży dozoru.
4. Poszukiwanie w przestrzeni trójwymiarowej.
 - 4.1. Pojęcia ogólne.
 - 4.2. Efektywność wykrywania.
 - 4.3. Ilość czasu niezbędnego dla wykrycia celu.
 - 4.4. Niezbędna ilość obserwatorów.
 - 4.5. Optymalny sposób działania grupy obserwatorów.
5. Metody poszukiwania celu wzdłuż rubieży.
 - 5.1. Poszukiwania wzdłuż prostej.
 - 5.2. Poszukiwanie celu metodą tras krzyżujących się.
6. Model stochastycznego procesu poszukiwania celu. Metoda Monte Carlo.
 - 6.1. Ogólna charakterystyka metody prób statystycznych.
 - 6.2. Algorytm wykrywania celu na rubieży poszukiwania.
 - 6.1. Założenia ogólne.
 - 6.2.2. Struktura algorytmu.
 - 6.3. Wnioski ogólne o modelowaniu stochastycznym.
7. Uwagi końcowe.

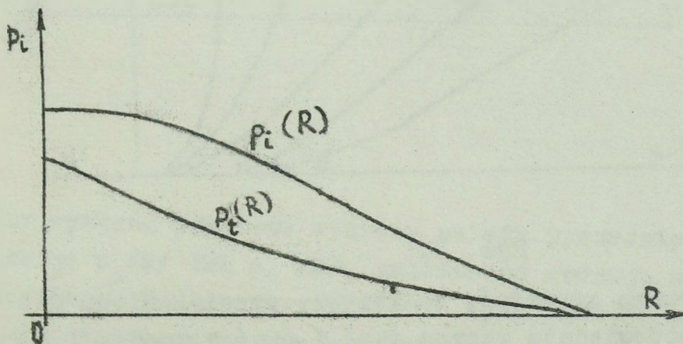
3. Metody oceny prawdopodobieństwa wykrywania celu w dwuwymiarowej przestrzeni poszukiwania.

W rozważaniach wstępnych wspomniano, że efektywność działań w procesie poszukiwania charakteryzuje prawdopodobieństwo wykrycia celu. W rozdz. 1.2.2. zostały podane wzory ogólne, pozwalające obliczać te prawdopodobieństwa w przypadkach prowadzenia obserwacji ciągłej /52 i 53/ lub dyskretnej /impulsowej/ - /6a i 6b/. W obu przypadkach istniał warunek konieczny:

- w pierwszym przypadku: znać prawdopodobieństwo p_t , ściślej: gęstość prawdopodobieństwa wykrycia celu w dowolnie małym przedziale czasu dt ;
- w drugim przypadku: znać prawdopodobieństwo p_i wykrycia celu w ciągu jednego impulsu /obserwacji/.

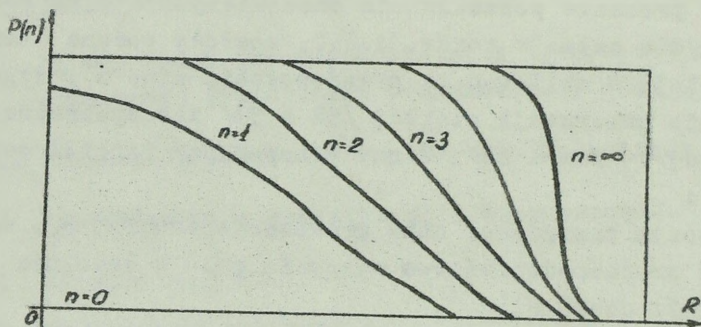
Oczywistym jest, że wielkości p_t i p_i zależą od rodzaju stosowanych technicznych środków obserwacji. Każdy z tych rodzajów środków posiada sobie tylko właściwe prawa wyznaczające zmiany wielkości p_t i p_i zależnie od czasu poszukiwania oraz odległości R od obserwatora do celu i trasy przesunięć celu.

Jeśli przyjmiemy, że w pewnym okresie działania obserwatora warunki nie ulegają zasadniczym zmianom, można przedstawić graficznie pewne ogólne współzależności p_t i p_i od R /rys. 1/.



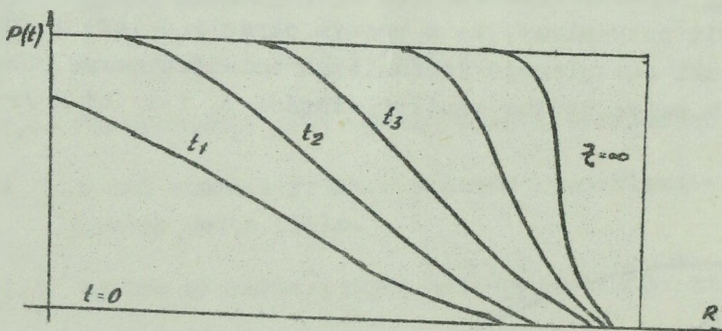
rys. 1.

Graficzny obraz współzależności $P/n/$ od R dla różnych wartości n /liczby impulsów/ przedstawia rys. 2.



Rys.2.

Analogiczną współzależność $P/t/$ od R dla różnych wartości t przedstawia rys.3.

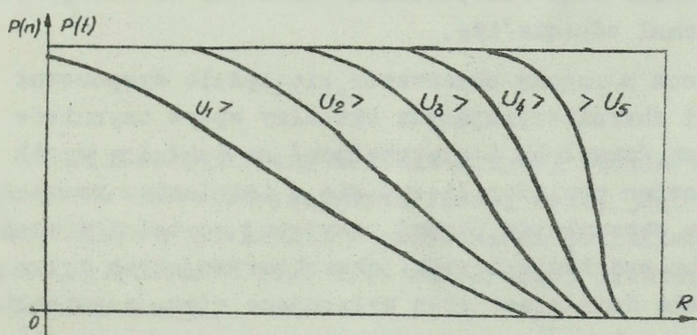


Rys. 3.

Nie trudno zauważyć, że krzywe, przedstawione na rys.2 i 3, odpowiadają wzorom $5a/1/6a/$ w rozdz. 1,2.2. Określanie prawdopodobieństw $P/n/$ i $P/t/$ wykrycia celu w warunkach obserwacji dyskretnej /impulsowej/ oraz ciągłej może mieć miejsce zarówno w stosunku do celów nieruchomych jak i ruchomych bez względu na wielkość R . W przypadku celów ruchomych prawdopodobieństwa wykrycia będą zmieniały się:

w każdym punkcie trasy celu będą występowały inne możliwości wykrycia. Ilościową charakterystykę tych prawdopodobieństw można przeprowadzić tylko w oparciu o wzór /5.b/ lub /6.b/ rozdz. 1.2.2. zależnie od sposobu obserwacji.

W przypadku celu nieruchomego można przyjąć, że warunki obserwacji cechuje stabilność, prawdopodobieństwa wykrycia celu nie zmieniają się, a więc przy znanych zależnościach p_1 i p_t od R można jak gdyby "sumować" te prawdopodobieństwa wykrywania wyznaczając prawdopodobieństwo łączne dla różnych prędkości obserwatora do celu. Zależność u od R względnie v od R , lecz na zerowym parametrze kursu celu, przedstawia rys. 4.



Rys. 4.

Aby wykonać powyższe wykresy należy uprzednio wyznaczyć funkcje $p_1/R/$ lub $p_t/R/$, zależne od rodzaju urządzenia obserwacyjnego. Ponieważ wyznaczenie tych funkcji na innej drodze niż statystyczne opracowanie i uogólnienie pomiarów obserwacji jest bardzo uciążliwe, istnieje problem znalezienia metod pozwalających możliwie szybko i dokładnie oceniać wartości tych funkcji. Z drugiej strony wyznaczanie dokładnej wielkości R jest uwarunkowane wielu czynnikami, które w różnym stopniu oddziałują na siebie, a stąd często unie-

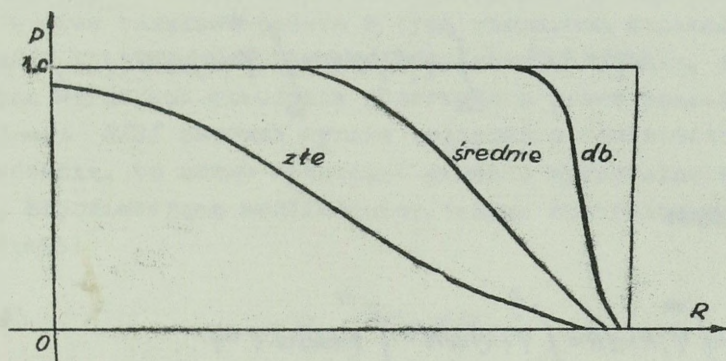
możliwiają dokonywanie ścisłych obliczeń na drodze analitycznej. Oczywiście, czynniki te można podzielić na szereg grup z punktu widzenia ich charakteru i częstości występowania, np. grupy czynników działających stale, grupy czynników występujących zależnie od przypadku, zmieniające się powoli, wykazujące dużą częstotliwość zmian itp. Jednak, praktycznie rzecz biorąc, na podstawie reguł, właściwych określonym rodzajom środków obserwacji, nie można obliczyć ściśle wielkości R w warunkach szybko zmieniającego się położenia celu. Można uwzględniać tylko czynniki stałe oraz warunki zmieniające się stosunkowo powoli. Np. dla stacji radiolokacyjnej można oceniać tylko ogólny jej stan /na podstawie zanikania mocy/, stopień radiolokacyjnej widzialności, charakter celu /na podstawie wartości średniej efektywnej powierzchni odbicia/ itp.

Ponieważ z reguły obserwator nie będzie dysponował wielkościami charakteryzującymi aktualny wpływ czynników przypadkowych /trwałych i nietrwałych/ na dokładny wynik pomiaru R , zatem powinien liczyć się z istnieniem rozrzutu wartości R w stosunku do pewnej przyjętej wartości średniej, obliczonej na podstawie danych, charakteryzujących tylko czynniki stałe działające oraz wykazujące niską częstotliwość zmian.

Można więc przyjąć, że rozkład odległości p / R / obserwatora do celu charakteryzuje wartość oczekiwana E wyznaczoną na podstawie czynników stale działających oraz powoli zmieniających się, a więc możliwych do kontrolowania oraz średnie odchylenie kwadratowe σ wyrażające czynniki pozostałe, niekontrolowane. Ten sposób podejścia stwarza szerokie możliwości stosowane metod statystycznych dla uzyskania oceny efektywności urządzenia obserwacyjnego.

Rozpatrując przypadek najprostszy, tj. gdy ruch celu i obserwatora odbywa się na zerowym parametrze kursu, można przyjąć, że przy bardzo dużej liczbie pomiarów /gdy za każdym

razem została odległość ustalona/ istnieją podstawy do wyznaczenia odpowiednich prawdopodobieństw wykrycia celu zależnie od odległości. Typowe krzywe występowania tych prawdopodobieństw, zestawione dla różnych warunków obserwacji przedstawiono na rys.5.



Rys.5.

Oczywista, konkretny kształt krzywej będzie zależał od parametrów charakteryzujących rodzaj celu, jego wielkość, prędkość, miejsce położenia w przestrzeni poszukiwania /wysokość, głębokość/ itp, oraz najbardziej prawdopodobnych warunków obserwacji.

W pewnych przypadkach może powstać konieczność wyznaczenia rozkładu wielkości R [w określonych warunkach obserwacji/ sposobem analitycznym. Metoda najprostsza, polega na zastosowaniu prawa rozkładu normalnego z różniczkową funkcją rozkładu, charakteryzującą gęstość prawdopodobieństw:

$$\varphi(R) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(R-E)^2}{2\sigma^2}} \quad //$$

Jeśli przyjmiemy, że na prostej R znajduje się pewien punkt leżący w odległości k od obserwatora / $k < R$ /, to prawdopodobieństwo wykrycia celu w przedziale $[R - k, R]$ określi się na podstawie funkcji całkowej prawa rozkładu normalnego:

$$F(R) = \int_{-\infty}^R \varphi(R) dR = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^R e^{-\frac{(R-E)^2}{2\sigma^2}} dR \dots 12/$$

Ponieważ:

$$P(C < R) = 1 - \int_{-\infty}^R \varphi(R) dR = \int_R^{\infty} \varphi(R) dR \dots, \quad 13/$$

gdź:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(R) dR = \int_{-\infty}^R \varphi(R) dR + \int_R^{\infty} \varphi(R) dR = 1 \dots \dots \quad 14/$$

zatem:

$$P(k < R) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_R^{\infty} e^{-\frac{(R-E)^2}{2\sigma^2}} dR \dots \dots \quad 15/$$

a stosując funkcję Laplace'a uzyskamy rozwiązanie:

$$P(k < R) = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{k-E}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right] \dots \dots \quad 16/$$

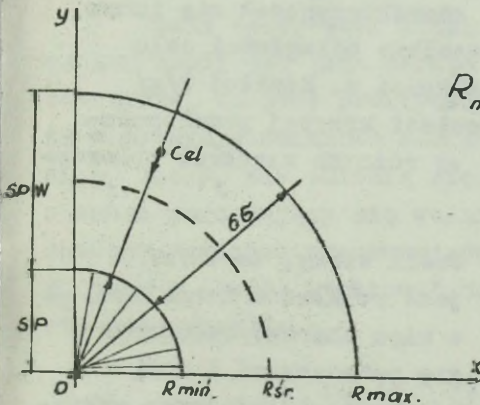
Przez analogię można wyznaczyć prawdopodobieństwo, że wartość R znajduje się w przedziale /a, b/

$$P(a < R < b) = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{b-E}{\sigma \sqrt{2\pi}} \right) - \Phi \left(\frac{a-E}{\sigma \sqrt{2\pi}} \right) \right] \dots \dots \quad 17/$$

Taki sposób ujęcia zagadnienia pozwala wyznaczyć prawdopodobieństwo wykrycia celu, znajdującego się w odległości R , w oparciu o dowolne prawo rozkładu wartości R , bez posługiwania się wielkościami p_t lub p_z . Oczywiście, przed rozpoczęciem obliczeń należy wiedzieć, które z praw rozkładu będzie w tych warunkach działało. Np. jeśli istnieją podstawy do przyjęcia założenia, że w danych warunkach działania obserwatora prawo rozkładu normalnego $P/R/$ zapewni wyniki obliczeń z dostateczną dokładnością, to można wyznaczyć granicę wykrywalności celów, odpowiadającą możliwościom danego obserwatora, a mianowicie:

$$R_{max} = E + 3\sigma \dots \dots \dots /8/$$

$$R_{min} = E - 3\sigma \dots \dots \dots /9/$$



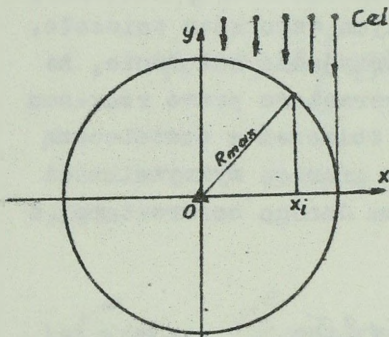
Rys. 6

Na rys.6 przedstawiono graficznie układ stref wykrywania, określony zależnościami /8/ i /9/.

Przestrzeń działania obserwatora składa się w tym sektorze ze strefy prawdopodobieństw wykrywania /SPW/ oraz strefy pewności wykryć /SP/ w której prawdopodobieństwo wykrycia jest równe 1.

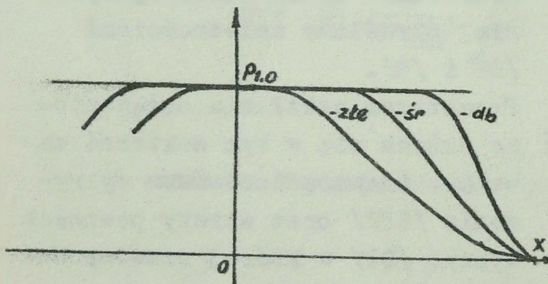
Należy przy tym zauważyć, że niektóre rodzaje urządzeń obserwacyjnych praktycznie nie posiadają strefy pewności wykryć /SP/, lub jest tak mała, że nie odgrywa poważniejszej roli w procesie poszukiwania. Ponadto mogą również występować tzw. strefy martwe /nieobserwowane/ w których prawdopodobieństwo wykryć jest równe zeru,

Z kolei rozpatrzmy przypadek bardziej złożony, tj. gdy parametr różnicy kursów obserwatora i celu jest większy od zera, a więc gdy kursy te nie pokrywają się. W najprostszej postaci przedstawiano ten przypadek na rys. 7.



Rys. 7

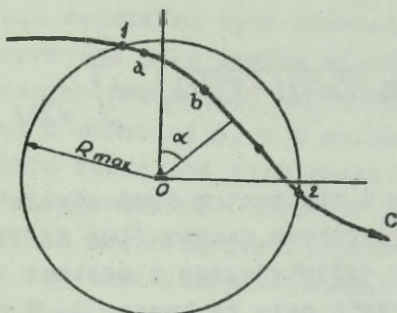
Wartość prawdopodobieństwa wykrycia celu zależy od jego położenia w stosunku do osi x . Zatem $P/n/_{\max} = 1$ wystąpi przy $x = -e$, natomiast $P/n/ = 0$ przy R_{\max} . A więc każdy hals celu, mieszczący się w granicach od 0 do R_{\max} , będzie charakteryzował się innym prawdopodobieństwem, natomiast wszelkie odległości celu od obserwatora wyrazi rozkład wielkości x . Rozkład $P/x/$ można przedstawić graficznie w postaci krzywej prawdopodobieństw wykrywania celu zależnie od różnych warunków obserwacji /rys.8/.



Jeśli wiemy, że $P/x/$ jest rozkładem normalnym, a więc charakteryzującym się parametrami E i σ , to prawdopodobieństwo wykrycia celu w odległości nie mniejszej niż pewna dana wielkość k , czyli $p/k < R/$

można określić przy pomocy wzoru /6/, oraz analogicznie $p/a < R < b/$ z wzoru /7/.

W praktyce przypadkiem najczęstszym będzie ruch celu w stosunku do obserwatora wzdłuż trasy bardziej złożonej niż w dwóch poprzednich przypadkach.



Rys. 9

Na rys. 9 przedstawiono trasę celu C przebiegającą w układzie współrzędnych obserwatora O.

Prawdopodobieństwo wykrycia celu na tej trasie tj. zależnie od rodzaju urządzenia obserwacyjnego, P/n/ /dla obserwacji dyskretniej, impulsowej/ lub P/t/ /dla ciągłej/ można

wyrazić przy pomocy odpowiednich wartości p_1 lub p_t /por. wzory od 5a do 6b/ w rodz. 1.2.2./ zależnych od R oraz n i t zależnych od długości trasy i prędkości względnej celu.

Jeśli obserwator i cel znajdują się w ruchu, a różnica ich prędkości jest bardzo duża, np. okręt - samolot lub odwrotnie, to jest praktycznie dopuszczalne by zakładać, iż w pewnym stosunkowo niedługim okresie obserwacji wielkości p_1 lub p_t nie zmieniają się. Innymi słowy: obserwator, tj. element poruszający się wolniej, będzie traktowany jako nieruchomy względem przesuwanego się celu /rys. 9/. Ponieważ p_1 oraz p_t można traktować jako funkcje współrzędnych położenia celu, czyli:

$$P_i = P_i(\mu, \xi); P_t(\mu, \xi),$$

zatem, prawdopodobieństwo wykrycia celu przy n impulsach urządzenia obserwacyjnego przyjmie postać:

$$P(n) = 1 - \prod_{i=1}^n \left[1 - P_i \left(\sqrt{\mu^2(t_i) + \xi^2(t_i)} \right) \right] \dots$$

a prawdopodobieństwo wykrycia celu w czasie t obserwacji ciągłej wyniesie:

$$P(t) = 1 - \exp \left[- \int_{t_1}^{t_2} P_z \left(\sqrt{\mu^2(t) + \xi^2(t)} \right) dt \right] \quad /11/$$

Podczas ruchu celu kursem C obserwator "rejestruje" wielkość prawdopodobieństw określonych wzorem /10/ i /11/ dążąc do sformułowania wniosku ogólniejszego w postaci wartości oczekiwanej F/C / wykrycia celu na kursie C . W ten sposób dojdziemy do pojęcia: potencjał obserwacji, który oznaczymy symbolem P/C . Ogólna postać potencjału obserwacji, uogólniająca wzory /10/ i /11/ będzie:

$$P(C) = 1 - e^{-F(C)} \quad /12/$$

wyrażając "nagromadzenie się" prawdopodobieństw wykrycia celu na kursie C , przy czym:

- wartość oczekiwana wykrycia celu przy obserwacji impulsowej wynosi:

$$F(C) = - \sum_{i=1}^n \ln \left[1 - P_z \left(\sqrt{\mu^2(t_i) + \xi^2(t_i)} \right) \right] \quad /13/$$

- przy obserwacji ciągłej:

$$F(C) = \int_C \frac{P_z(R)}{w} dL = \int_C P_z(R) dt = \int_{t_1}^{t_2} P_z \left(\sqrt{\mu^2(t) + \xi^2(t)} \right) dt \quad /14/$$

gdzie: w oznacza prędkość względną celu, a dL - element drogi celu na kursie C .

W przypadku, gdy różnica prędkości obserwatora i celu będzie na tyle niewielka, że nie pozwoli traktować obserwatora jako punktu nieruchomego, wtedy podczas powolnych przesunięć celu mogą zmieniać się fizyczne warunki obserwacji, a w związku z tym wielkości p_1 oraz p_t będą funkcjami tych zmian. Jedyną praktyczną metodą określania wartości funkcji $p_1 /R/$ oraz $p_t /R/$ polega na zebraniu możliwie jaknajwiększej ilości danych statystycznych dla określonych typowych warunków fizycznych oraz odpowiedniego rodzaju urządzenia obserwacyjnego. Uogólnienie tych danych pozwoli, analogicznie jak w przypadkach wskazanych na rys. 5 i 9, wybrać wielkości $p_1 /R/$ lub $p_t /R/$ optymalne w konkretnych warunkach.

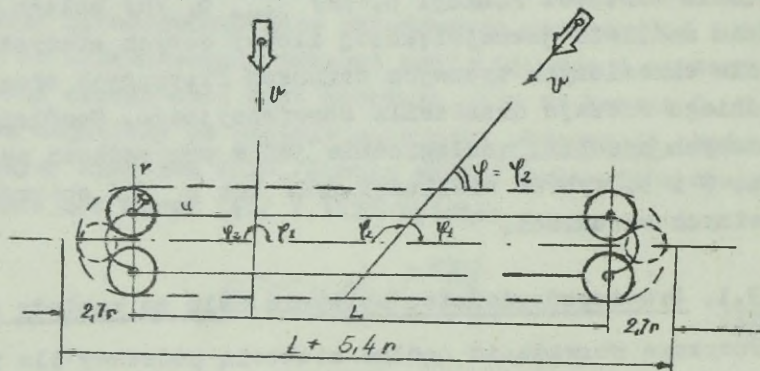
3.1. Prawdopodobieństwo wykrycia celu na rubieży dozoru

Powyższe rozważania ogólne stanowią podstawę dla rozpatrzenia szeregu przypadków szczególnych, najczęściej spotykanych w praktyce bojowej marynarki wojennej. Dziedzinę marynarki wojennej przyjęto tylko jako jeden z możliwych przykładów stosowania metod teorii poszukiwania.

Zadanie służby dozoru na wyznaczonej rubieży obserwacji /poszukiwania/ sprowadza się do namiaru położenia celu w momencie wykrycia oraz określenia jego kursu. A zatem, efektywność działań obserwatora będzie zależała w równej mierze od sposobu przesuwania się wzdłuż nakazanej rubieży /manewrowania/ jak i od wartości oczekiwanej liczby wykrytych celów. Istotnym jest więc takie dobranie wielkości charakteryzujących sposób ruchu by uzyskać maksymalny efekt wykrywania.

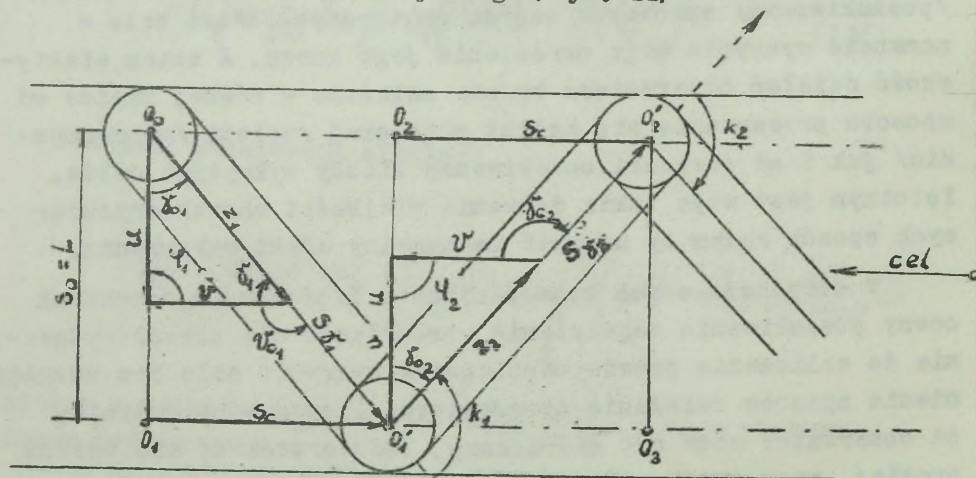
W dotychczasowych rozważaniach o ilościowych aspektach oceny poszukiwania zagadnienia sprowadzało się niemal wyłącznie do obliczenia prawdopodobieństwa wykrycia celu bez uwzględnienia sposobu działania obserwatora. Przyjmowano jedynie, że obserwator może być nieruchomy, bądź przesuwać się wzdłuż prostej, przy czym występowanie celu na obszarze poszukiwania podlegało prawu równych prawdopodobieństw.

Obecnie rozpatrzmy możliwość ilościowego scharakteryzowania sposobu manewru obserwatora na obszarze /płaszczyźnie/ równych prawdopodobieństw śledzenia celu. Punktem wyjścia będzie prosty schemat ruchu obserwatora wzdłuż nakazanej rubieży poszukiwania na odcinku o długości L , przy stosowaniu kursu zwrotnego, gdy cel może przeciąć linię dozoru w dowolnym punkcie i pod dowolnym kątem /rys. 10/



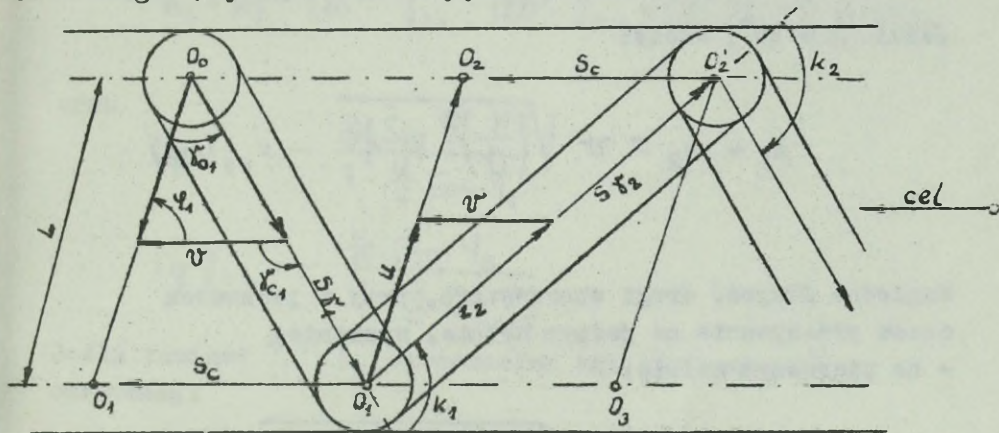
Rys. 10

Powyższy scenemat posłuży do rozważania układu względego ruchu obserwatora w przypadkach gdy kurs celu jest prostopadły do ruchu obserwatora /rys.10a/ oraz gdy odbiega od prostopadłego /rys. 11/



Rys.10a

Jak widzimy, w obu przypadkach różnica kursów obserwatora zmienia znak przy przejściu z jednego halsu na drugi, a ponadto, gdy w pierwszy/przypadku /rys.10 a/ wartości kursów są takie same /czyli $180 - \varphi_1 = 180 - \varphi_2$ / to w drugim /rys.11/ zmieniają się również ich wartości.



Rys.11

Kąt między kursem obserwatora i celu, ściślej wartość bezwzględna mniejszej z różnic między tymi kątami φ nazywamy kątem przejścia celu przez linię dozoru. Zagadnienie sprowadza się do wyznaczenia prędkości względnej oraz drogi względnej obserwatora w zależności od odpowiednich wielkości celu. W tym celu można korzystać z wzorów stosowanych w nawigacji morskiej, a mianowicie: w przypadku, gdy dla obu halsów kąt $\varphi_1 \neq \varphi_2$, gdy $\varphi = 180 - \varphi_1$, to prędkość względna obserwatora wynosi: na pierwszym halsie:

$$z_1 = v \sqrt{\left(\frac{u}{v}\right)^2 + 1 - 2\left(\frac{u}{v}\right) \cos \varphi_1} \dots \dots \dots /15/$$

lub

$$z_1 = v \sqrt{\left(\frac{u}{v}\right)^2 + 1 + 2\left(\frac{u}{v}\right) \cos \varphi}$$

/16/

natomiast na drugim halsie:

$$z_2 = v \sqrt{\left(\frac{u}{v}\right)^2 + 1 - 2\left(\frac{u}{v}\right) \cos \varphi} \dots /17/$$

Jeśli $\varphi = 90^\circ$, wtedy:

$$z_1 = z_2 = v \sqrt{\left(\frac{u}{v}\right)^2 + 1} \dots \dots \dots /18/$$

Względna długość drogi obserwatora, przy t jednostek czasu przebywania na jednym halsie, wyniesie:

- na pierwszym halsie:

$$S_{\gamma_1} = z_1 t = \frac{L v}{u} \sqrt{\left(\frac{u}{v}\right)^2 + 1 + 2\left(\frac{u}{v}\right) \cos \varphi} \dots /19/$$

- na drugim halsie:

$$S_{\gamma_2} = z_2 t = \frac{L v}{u} \sqrt{\left(\frac{u}{v}\right)^2 + 1 - 2\left(\frac{u}{v}\right) \cos \varphi} \dots /20/$$

Jeśli $\varphi = 90^\circ$, wtedy:

$$S_{\gamma_1} = S_{\gamma_2} = \frac{L v}{u} \sqrt{\left(\frac{u}{v}\right)^2 + 1} \dots \dots \dots /21/$$

Jeśli różnicę między kursami względnymi oznaczymy przez k przy czym będziemy określali jej kierunek počynając od poprzedniego kursu względnego do następnego, wtedy znak różnicy między tymi kursami będzie identyczny ze znakiem różnicy kursów względnych celu i obserwatora.

Różnicę między kursami względnymi można obliczyć analitycznie, korzystając z rys. 10 i 11, a mianowicie:

$$k_1 = k_2 = 180^\circ - \gamma_{c_1} + 180^\circ - \gamma_{c_2} = 360^\circ - (\gamma_{c_1} + \gamma_{c_2}) \quad /22/$$

oraz

$$\operatorname{tg} \gamma_{c_1} = - \frac{\frac{u}{v} \sin \varphi_1}{1 - \frac{u}{v} \cos \varphi_1}$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{c_2} = - \frac{\frac{u}{v} \sin \varphi_2}{1 - \frac{u}{v} \cos \varphi_2}$$

Jeśli zamiast $\varphi_1 + \varphi_2$ wprowadzimy kąt spotkania φ , otrzymamy:

$$\gamma_{c_1} = \operatorname{arctg} \left(- \frac{\frac{u}{v} \sin \varphi}{1 + \frac{u}{v} \cos \varphi} \right) \dots \dots \dots /23/$$

$$\gamma_{c_2} = \operatorname{arctg} \left(- \frac{\frac{u}{v} \sin \varphi}{1 - \frac{u}{v} \cos \varphi} \right) \dots \dots \dots /24/$$

Stąd, po podstawieniu równania /24/ do /23/ i przekształceniu, otrzymamy wyrażenie:

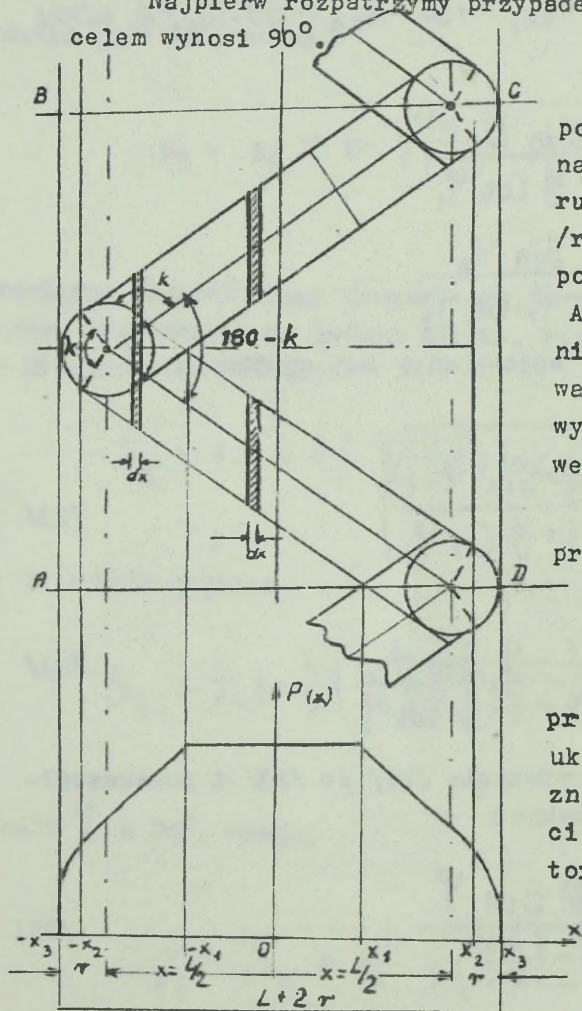
$$k = \operatorname{arctg} \frac{\frac{2u}{v} \sin \varphi}{1 - \left(\frac{u}{v}\right)^2} \dots \dots \dots /25/$$

które pozwala określić podstawowe wartości różnicy kursów względnych, a więc - reguły manewrowania obserwatora

Ponieważ w każdym momencie czasu t_1, t_2, \dots strefa obserwacji /koło o promieniu r / przesuwa się w kierunku kursu względnego, zatem jeśli cel przecinający tę linię znajduje się w granicach rubieży to powinien zostać wykryty.

Korzystając więc z układu zależności między elementami ruchu obserwatora i celu, występującymi na względnej rubieży poszukiwania, możemy przejść do wyznaczenia rozkładu prawdopodobieństw wykrycia celu.

Najpierw rozpatrzmy przypadek gdy kąt spotkania z celem wynosi 90° .



Prawo rozkładu prawdopodobieństw rozpatrzmy na wycinku względnej rubieży poszukiwania /rys.12/, a ściślej na powierzchni prostokąta ABCD, zawierającego zamknięty cykl manewru obserwatora w którym mogą wystąpić wszelkie możliwe położenia celu.

Powierzchnia tego prostokąta:

$$Q = \frac{v}{L+2r/2L} \frac{u}{u}$$

/26/

przyjmując, że środek układu osi współrzędnych znajduje się na wysokości połowy halsu obserwatora.

Rys. 12.

Ponieważ elementy prawdopodobieństwa wykrycia celu na różnych odcinkach mogą być znane, możemy z kolei określić gęstość prawdopodobieństwa wykrycia celu.

Na odcinku $/0 < x < x_1/$ - rys. 12, prawdopodobieństwo to wyniesie:

$$P(0 < x < x_1) = \frac{2r}{L(L+2r) \cos \frac{k}{2}} \quad /27/$$

na odcinku $(x_1 < x < x_2)$:

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{\frac{L}{2} + \frac{r}{\cos k/2} - x}{L(L+2r)} \quad /28/$$

na odcinku $(x_2 < x < x_3)$:

$$P(x_2 < x < x_3) = \frac{\sqrt{r^2 - (x - \frac{L}{2})^2}}{L(L+2r) \cos \frac{k}{2}} \quad /29/$$

Wykres gęstości prawdopodobieństw wykrycia celu przedstawiono w dolnej części rys. 12.

Biorąc pod uwagę przypadek symetrii wykresu gęstości prawdopodobieństw, prawdopodobieństwo wykrycia celu wyniesie:

$$P = 2 \int_0^{x_3} p(x) dx,$$

a wprowadzając wyrażenia /27/, /28/ i /29/, otrzymamy:

$$P = 2 \left[\int_0^{x_1} P(0 < x < x_1) dx + \int_{x_1}^{x_2} P(x_1 < x < x_2) dx + \int_{x_2}^{x_3} P(x_2 < x < x_3) dx \right] \quad /30/$$

Stąd

$$p = \frac{\tau}{L+2\tau} \left[\frac{2}{\cos \frac{k}{2}} + \frac{\tau \operatorname{tg} \frac{k}{2}}{L} \left(\frac{k}{2} - \operatorname{tg} \frac{k}{2} \right) \right] \dots / 31 /$$

Jeśli z kolei wprowadzimy do wyrażenia /31/ odpowiednie wartości funkcji kątowych dla różnic kursów, otrzymamy regułę rozkładu prawdopodobieństw wykrycia celu na odcinku AD /rys.12/ :

a/ jeśli:

$$\frac{L}{\tau} \geq \left(\frac{u}{v} \right)^2 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{u}{v} \right)^2 + 1}}$$

wtedy:

$$p = \frac{1}{\frac{L}{\tau} + 2} \left[2 \sqrt{1 + \left(\frac{u}{v} \right)^2} + \frac{u\tau}{vL} \left(\frac{k}{2} - \frac{u}{v} \right) \right] \dots / 32 /$$

b/ jeśli:

$$\frac{L}{\tau} \leq \left(\frac{u}{v} \right)^2 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{u}{v} \right)^2 + 1}}$$

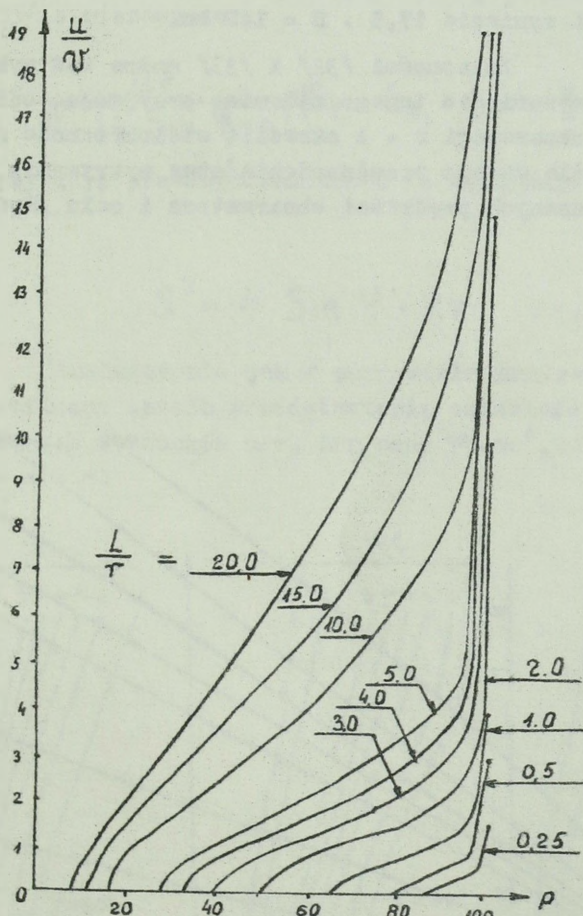
wtedy:

$$p = \frac{1}{\frac{L}{\tau} + 2} \left[\frac{L}{\tau} + \frac{2v \sqrt{\left(\frac{u}{v} \right)^2 - \left(\frac{L}{\tau} \right)^2}}{u} + \frac{u\tau}{vL} \left(\frac{k}{2} - \sin \xi \right) \right] \dots / 33 /$$

c/ jeśli:

$$\frac{L}{\tau} = 0, \text{ wtedy } p = 1 \dots / 34 /$$

Ponieważ stosowanie wzorów /32/, /33/ jest dość uciążliwe, można na ich podstawie opracować wykresy prawdopodobieństw wykrycia celi znajdujących się na kursach prostopadłych do kursu obserwatora, przy różnych stosunkach $\frac{L}{r}$ i $\frac{u}{v}$. Przedstawiono je na rys. 13.



Rys. 13.

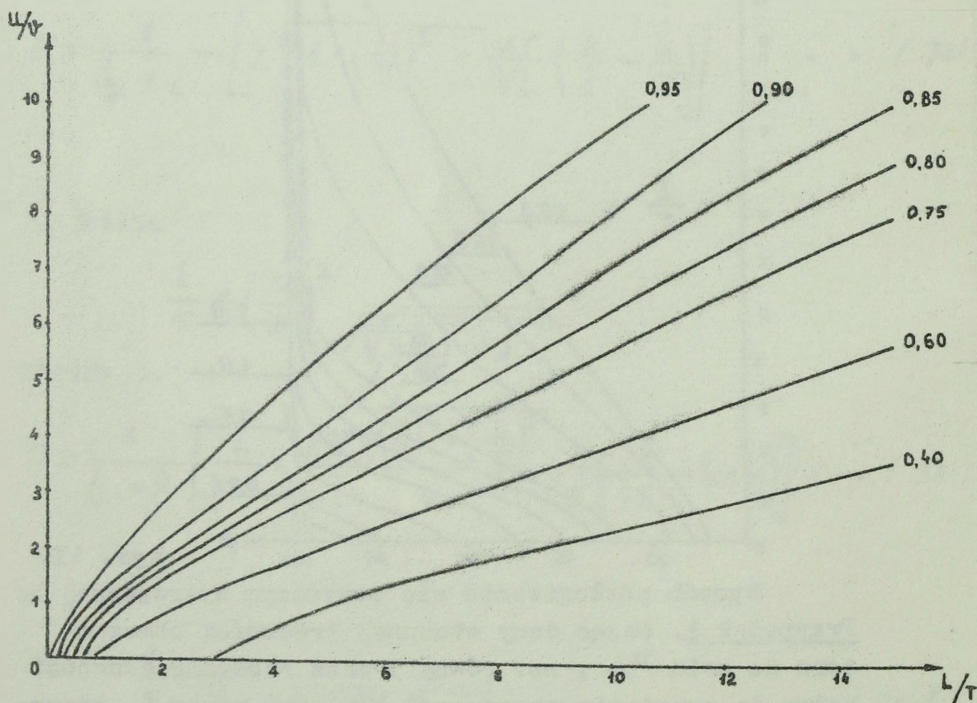
Sposób posługiwania się powyższym wykresem:

Przypadek 1. Mając dany stosunek prędkości obserwatora do celu $\frac{u}{v}$, np. równy 3 oraz stosunek długości halsu do promienia obserwacji $\frac{L}{r}$, np. równy 5, odczytujemy prawdopodobieństwo wykrycia celu: ok. 0,75.

Przypadek 2. Jaką należy zastosować długość Halsu, aby przy stosunku $u/v = 11,5$ i promieniu obserwacji 8km osiągnąć prawdopodobieństwo wykrywania 0,85?

Ponieważ stosunkowi $u/v = 11,5$ przy prawdopodobieństwie 0,85 odpowiada średnia między $L/r=20$ i 15, czyli $\frac{L}{r} = 17,5$, zatem dla $r = 8$ km długość Halsu L wyniesie $17,5 \cdot 8 = 140$ km.

Zależności /32/ i /33/ można też wykorzystać dla wysunięcia innego zadania: przyjmując odległość obserwacji $r = 1$ określić wielokrotność długości Halsu dla danego prawdopodobieństwa wykrywania celu oraz znanych prędkości obserwatora i celu /Rys.14/.



Rys. 14.

Pozostał jeszcze do rozpatrzenia przypadek, gdy trasy obserwatora i celu znajdują się względem siebie pod różnymi kątami, ściślej gdy kurs spotkania celu z linią dozoru nie jest prostopadły.

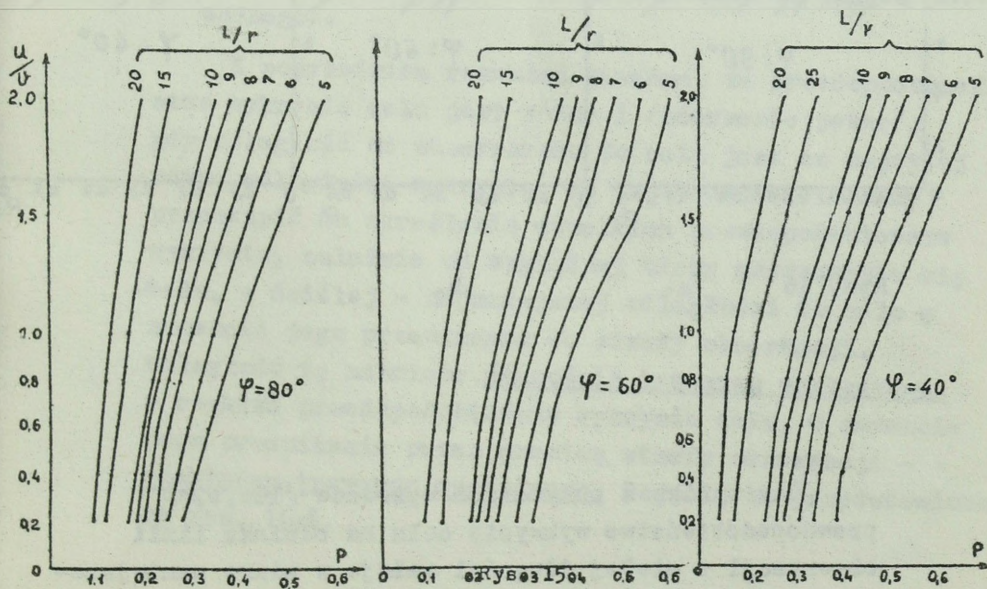
Ogólnie wyrażenie prawdopodobieństwa wykrycia celu uzyskamy w wyniku przekształcenia równań /32/ i /33/ a mianowicie:

$$P = \frac{u r}{v L \left(\frac{L}{v} \sin \varphi + 2 \right)} \left(S_{y_1} + S_{y_2} + \frac{k}{2} - \operatorname{tg} \frac{k}{2} \right) \dots \dots /35/$$

przy czym prawdopodobieństwo to występuje na odcinku:

$$S' = \frac{L}{v} \sin \varphi + 2 r \dots \dots /36/$$

Analogicznie jak w poprzednim przypadku zastosujemy graficzny sposób przedstawienia zależności /35/ dla różnych stosunków u/v , L/r oraz $\varphi = 80^\circ, 60^\circ, 40^\circ$ - rys. 15 a.b.c.

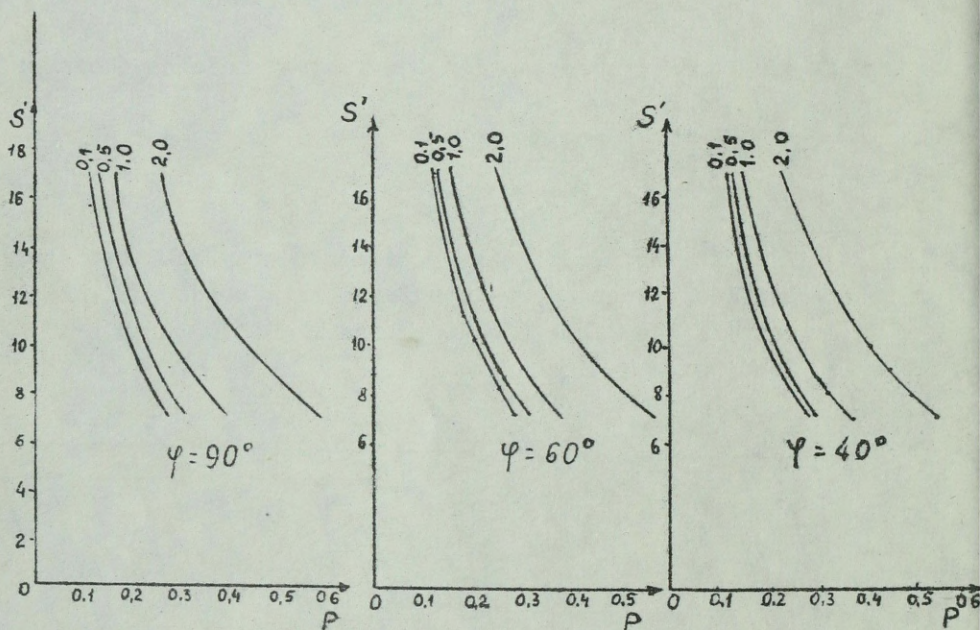


Rys. 15. a.

b.

c.

W oparciu o powyższe wykresy /15a,b,c/ dokonamy porównania prawdopodobieństw wykrycia celu przy trzech różnych kątach φ spotkania obserwatora z celem / $\varphi = 90^\circ, 60^\circ, 40^\circ$ / oraz stałych stosunkach $u/v = 0,1, 0,5, 1,0, 2,0$ i L/r . Zależności te przedstawiono na rys. 16a,b,c.



Rys. 16

a.

b.

c.

Jak wynika z powyższych wykresów /16a,b,c/ prawdopodobieństwo wykrycia celu na odcinku linii obserwacji o stałej długości maleje w miarę zmniejszania się kąta spotkania obserwatora z celem, przy czym zmniejszanie się tego prawdopodobieństwa zależy od stosunku prędkości obserwatora i celu. Np. w przypadku

zmiany kąta φ z 90° na 40° prawdopodobieństwo wykrycia zmniejsza się średnio: dla $u/v = 0,1$, o ok. $0,5\%$, natomiast dla $u/v = 1,0$ o ok. 5% .

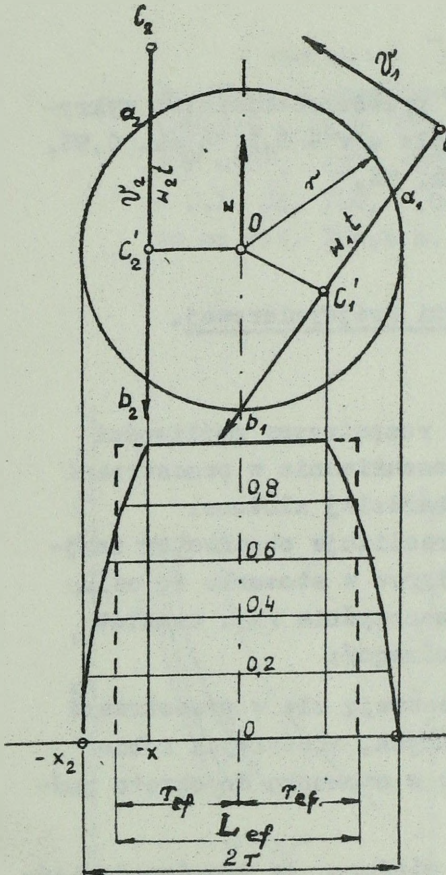
4. Poszukiwanie w przestrzeni trójwymiarowej.

4.1. Pojęcie ogólne.

W niniejszym rozdziale rozpatrzmy możliwości rozwinięcia zasad i reguł poszukiwania w przestrzeni dwuwymiarowej na przypadki bardziej złożone:

- 1/ gdy proces poszukiwania realizuje obserwator znajdujący się w trzecim wymiarze w stosunku do celu przesuwającego się na płaszczyźnie /np. samolot w stosunku do okrętu nawodnego/;
- 2/ gdy obserwator i cel przesuwają się w przestrzeni trójwymiarowej lecz w różnych, właściwych sobie środowiskach /np. samolot w stosunku do okrętu podwodnego/.

Z poprzednich rozważań wiadomo, że prawdopodobieństwo wykrycia celu jest równe 1 /zdarzenie pewne/, gdy odległość od obserwatora do celu jest co najwyżej równa odległości wykrycia. Na tej podstawie możemy przystąpić do określenia wszelkich prawdopodobieństw wykrycia, zależnie od względnej trasy przesuwania się celu, a ściślej - najmniejszej odległości do celu w momencie jego przenikania do strefy obserwacji. Odległość tę nazwiemy długością trawersu względnego, a rozkład prawdopodobieństw wykrycia celu, w momencie jego przenikania przez granicę strefy obserwacji - rozkładem trawersu względnego. Pojęcia te przedstawiono na rys. 16d.



Cele C_1 i C_2 przenikają do strefy obserwacji $/r/$ w punktach a_1 i a_2 . Najkrótsze ich odległości od obserwatora

$$OC_1' = OC_2'$$

oraz prędkości względne celu w okresie obserwacji t

$$w_1 t = w_2 t$$

przyjęto jako równe dla utrzymania symetrii rozkładu.

W związku z tym prawdopodobieństwa wykrycia obu celów będą jednakowe, gdyż czasy ich przechodzenia przez strefę obserwacji będą takie same.

Rozkład prawdopodobieństw wykrycia tych celów, zależnie od wielkości ich trawersów względnych tj. OC_1' , OC_2' przedstawia na dolnej części rys. 16 figura wrysowana linią ciągłą krzywą.

Prawdopodobieństwa wykrycia celu na trawersie $/0,x/$ w momencie t będą kształtowały się następująco:

Rys.16 d.

1. $P(x) = 1$

/37/

dla: $-\sqrt{\tau^2 - \left(\frac{wt}{2}\right)^2} < x < \sqrt{\tau^2 - \left(\frac{wt}{2}\right)^2}$

2. $P(x) = 0$

/38/

dla: $\tau < x < -\tau$

3. $P(x) = \frac{2\sqrt{\tau^2 - x^2}}{wt}$

dla:

lub:

$$\left. \begin{aligned} &\sqrt{\tau^2 - \left(\frac{wt}{2}\right)^2} < x < \tau, \\ &-\tau < x < \sqrt{\tau^2 - \left(\frac{wt}{2}\right)^2} \end{aligned} \right\} \dots /39/$$

W ten sposób można analitycznie wyznaczyć krzywe trawersu względnego, przedstawione w dolnej części rys.16d, które z kolei pozwalają wyprowadzić trzy dalsze pojęcia niezbędne przy rachunku, a mianowicie:

- 1/ Efektywna szerokość rubieży poszukiwania dla jednego obserwatora / $L_{ef} = 2 r_{ef}$, rys.16A/ oznacza szerokość umowną w której granicach prawdopodobieństwo wykrycia celu jest równe 1.

Efektywną szerokość rubieży poszukiwania określa powierzchnia ograniczona przez oś odciętych i krzywą trawersu względnego /rys. 16A/, czyli:

$$L_{ef} = \int_{-r}^r P(x) dx = 2 \int_0^r P(x) dx,$$

a po wprowadzeniu do tego wyrażenia wyrażień /37/, /38/ i /39/ i scałkowaniu, otrzymamy:

$$L_{ef} = \sqrt{r^2 - \left(\frac{wt}{2}\right)^2} + \frac{2r^2}{wt} \arcsin \frac{wt}{2r} \quad /40/$$

- 2/ Efektywna odległość wykrywania dla jednego obserwatora - na której prawdopodobieństwo wykrycia celu jest równe 1. Oczywiście, dla dużej liczby obserwacji średnia odległość wykrywania jest bliska odległości efektywnej.

Niezależnie od powyższych pojęć w praktyce poszukiwania stosuje się również jako wskaźnik efektywności poszukiwania:

- 3/ Prawdopodobieństwo uzyskania styczności z celem

Jest to średnie prawdopodobieństwo wykrycia celu przenikającego obszar wykrywania /o promieniu r/ pod nieznanym kursem.

I tym razem, korzystając z krzywej trawersu względnego, prawdopodobieństwo to wynosi:

$$P(k) = \frac{L_{ef}}{2r} = \frac{r_{ef}}{r},$$

czyli

$$P(k) = \frac{1}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{wt}{2r}\right)^2} + \frac{r}{wt} \arcsin \frac{wt}{2r}, \dots /41/$$

stąd

$$r_{ef} = r P(k); \quad L_{ef} = 2r P(k) \dots \dots \dots /42/$$

x x x

Korzystając z powyższych pojęć można przystąpić do próby uzyskania odpowiedzi na następujące pytania:

1. Jaka jest efektywność danego procesu wykrywania?
2. Ile czasu powinien trwać ten proces realizowany przez grupę obserwatorów?
3. Jaki powinien być skład grupy obserwatorów, aby uzyskać określony efekt w zamierzonym czasie?
4. Jaki powinien być optymalny sposób działania grupy?

Zagadnienia te rozpatrzemy kolejno.

4.2. Efektywność wykrywania.

Jako wskaźnik efektywności procesu poszukiwania stosuje się powszechnie prawdopodobieństwo wykrycia celu w danym obszarze poszukiwania.

Z doświadczeń wynika, że rozkład tych prawdopodobieństw odpowiada najczęściej rozkładowi Poissona, czyli

$$P(n) = 1 - e^{-n_0} \quad /43/$$

gdzie n_0 jest oczekiwaną liczbę wykryć, natomiast $P/n/$ oznacza prawdopodobieństwo wykrycia przynajmniej jednego celu.

Ponieważ na obszarze poszukiwania będzie najczęściej działała większa liczba celów, zatem praktycznie wskaźnik efektywności będzie dotyczył prawdopodobieństwa wykryć nie mniejszej od zadanej liczby celów $/m/$. Korzystając z wzoru Poissona, pozwalającego obliczyć prawdopodobieństwo dowolnej liczby wykryć, możemy więc określić prawdopodobieństwo, że w danym obszarze zostanie wykryte przynajmniej m celów na ogólną liczbę s , czyli:

$$P(s \geq m) = 1 - \sum_{j=0}^{s-m-1} \frac{n_0^j}{j!} e^{-n_0} \dots \quad /44/$$

Na obszarze poszukiwania $/Q/$ może działać większa ilość celów poruszających się na różnych kursach i z różnymi prędkościami. Powstanie więc zagadnienie określenia oczekiwanej liczby wykryć przez jednego obserwatora w czasie t :

$$n_0 = \frac{4L_e t}{\pi a} (v+u) E \left(\frac{2\sqrt{uv}}{u+v}; \frac{\pi}{2} \right) \dots \quad /45/$$

przyczym E jest całką eliptyczną drugiego rzędu.

Ponieważ posługiwanie się powyższym wzorem jest dość uciążliwe, istnieje możliwość zastąpienia go wzorem przybliżonym, którego podstawowy człon stanowi funkcja ilości ruchu:

$$f(a) = \frac{2}{\pi} (a+1) E \left(\frac{2\sqrt{a}}{a+1}; \frac{\pi}{2} \right) \dots \dots \dots /46/$$

gdzie: $a = \frac{v}{u}$, zaś E - wspomnianą już całką eliptyczną drugiego rzędu. Funkcją tę łatwo ztabelaryzować lub przedstawić graficznie przez co znacznie przyspieszy się proces obliczeń oczekiwanej liczby wykryć, a mianowicie:

$$n_0 = \frac{2 r_{ef} \cdot ut}{a} \cdot f(a) \dots \dots \dots /47/$$

Pierwszy wyraz w tym wzorze można traktować jako tzw. współczynnik widoczności.

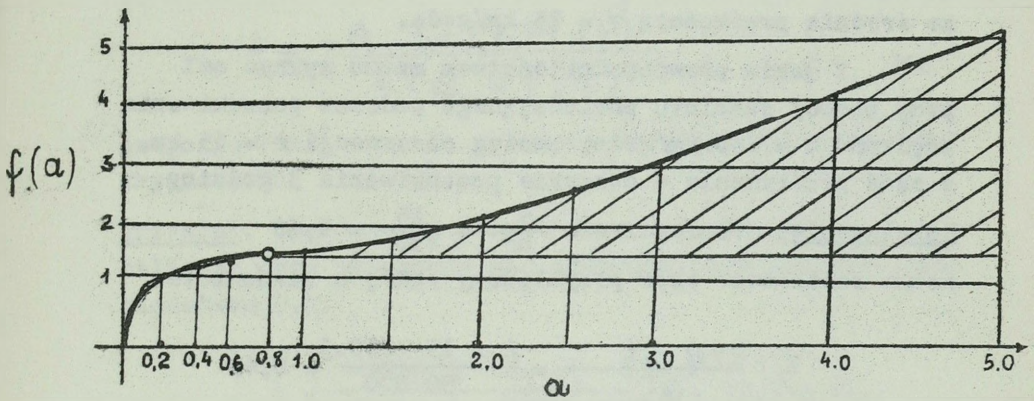
$$\xi = \frac{2 r_{ef} ut}{a} \dots \dots \dots /48/$$

Jak łatwo zauważyć, funkcja ilości ruchu /46/ zmienia swą wartość zależnie od stosunku prędkości celu do obserwatora. Stąd, np. w procesach poszukiwania celów morskich przez lotnictwo, a więc gdy stosunek tych prędkości będzie bardzo mały, funkcja ilości ruchu będzie bliska 1, a tym samym oczekiwaną liczbę wykryć można przyjmować w przybliżeniu jako równą współczynnikowi widoczności, czyli:

$$n_0 \approx \xi \dots \dots \dots /49/$$

a stąd prawdopodobieństwo wykryć:

$$P \approx 1 - e^{-\xi}$$



Rys. 17

Na wykresie /rys. 17/ przedstawiono zależność funkcji ilości ruchu od stosunku prędkości celu do obserwatora. Widać stąd m.in. granice stosowalności rozwiązania przybliżonego. Obszar zakreskowany oznacza, że począwszy od $a = 0,8$, gdy $f/a = 1,169$ stosowanie wzorów przybliżonych może prowadzić do poważnych błędów.

W przypadku, gdy na obszarze poszukiwania działa więcej niż jeden obserwator, przy czym każdy z nich działa samodzielnie w oddzielnym rejonie danego obszaru, wtedy oczekiwana liczba wykryć wyniesie:

$$n_0 = \sum_{i=1}^l n \xi_i f(a) \dots \dots \dots /51/$$

gdzie l jest liczbą obserwatorów $i = 1, 2, \dots, l$.

Przykład

W pewnej części akwenu morskiego o powierzchni $Q = 50.000 \text{ km}^2$ działa pewna ilość okrętów podwodnych ze średnią prędkością $v = 15 \text{ km/godz.}$

Z jakim prawdopodobieństwem można wykryć cel przy pomocy samolotu posiadającego podczas poszukiwania prędkość $u = 250 \text{ km/godz.}$, zasięg obserwacji $r = 15 \text{ km.}$, a czas przebywania w obszarze poszukiwania 3 godziny.

Rozwiązanie: Ponieważ $a = \frac{v}{u} = \frac{15}{250} = 0,06$

można zastosować wzór przybliżony /48/, a mianowicie:

$$\xi = \frac{2ra^3 ut}{Q} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 250 \cdot 3}{50\ 000} = 0,45$$

Zatem, prawdopodobieństwo wykrycia /50/ celu przynajmniej 1 raz wyniesie:

$$P \approx 1 - e^{-0,45} = 1 - 0,6376 \approx 0,3624 \approx 36\%$$

- przynajmniej dwa razy:

$$P \approx 1 - e^{-0,09} = 1 - 0,9139 = 0,0861 \approx 7\%$$

- przynajmniej trzy razy:

$$P \approx 1 - e^{-0,014} = 1 - 0,9861 = 0,0139 \approx 1\%$$

4.3. Ilość czasu niezbędnego dla wykrycia celu

Ocena prawdopodobieństwa wykrycia celu, której wyrazem są wyrażenia /43/, /46/, /47/, /48/ i /49/, zakłada, że przebieg procesu poszukiwania trwa lub powinien trwać t jednostek czasu. Zadanie to można odwrócić: ile jednostek czasu wymaga realizacja procesu poszukiwania by wykrycie celu nastąpiło z przyjętym prawdopodobieństwem.

Jeśli z powyższych wyrażeń określimy czas, otrzymamy:

$$t = \frac{-a \ln(1-P(n)')}{2r_{ef} u f(a)} \quad /52/$$

przyczym $P(n)'$ oznacza przyjęte prawdopodobieństwo wykrycia celu.

Przykład. Treść jak w przykładzie w rozdz. 4.2. obliczyć czas niezbędny dla wykrycia celu z prawdopodobieństwem 0,8.

$$t = \frac{-50000 \ln(1-0,8)}{2 \cdot 15 \cdot 250 \cdot 1,003} = 10,7 \text{ godz.}$$

/dla $a = 0,06$ $f/a = 1,003/$.

4.4. Niezbędna ilość obserwatorów

W podobny sposób z wzorów od /43/ do /49/ oraz /51/ można wyznaczyć liczbę obserwatorów, czyli:

$$l = \frac{-a \ln(1-P(n)')}{2r_{ef} u t' f(a)} \quad /53/$$

gdzie t' oznacza przyjęty czas poszukiwania.

Przykład: Treść jak w przykładzie 4.2. Obliczyć ilość obserwatorów, którzy w ciągu 3 godzin wykryją cele z prawdopodobieństwem 0,8.

$$l = \frac{-50000 \ln(1-0,8)}{2 \cdot 15 \cdot 250 \cdot 3 \cdot 1,003} \approx 3,5$$

czyli 4 obserwatorów.

4.5. Optymalny sposób działania grupy obserwatorów

Niezależnie od uzyskania możliwie wysokiej efektywności poszukiwania, sposób działania obserwatorów powinien uwzględniać, że będą oni przebywali w tym czasie na możliwie ograniczonym obszarze. Przy założeniu równomierności rozmieszczenia kursów celu na obszarze poszukiwania, spełnienie tych dwóch warunków nastąpi wtedy, gdy kursy poszczególnych obserwatorów również będą rozmieszczone równomiernie w stosunku do kursów celów.

W przypadku gdy kursy celów są znane, wtedy zależnie od wielkości różnicy między kursem celu i obserwatora φ / oczekiwana liczba wykryć wyniesie:

Rozpatrzmy trzy przypadki:

- a/ gdy $\varphi = 0$ lub $\varphi = 2\pi$, tj. gdy kursy celu i obserwatora są względem siebie równoległe, a więc w sytuacji pościgowej, oczekiwana liczba wykryć będzie:

$$n_0 = \frac{2r_{ef} \cdot ut}{a} \left(1 - \frac{v}{u}\right) \dots \dots \dots /54/$$

- b/ gdy $\varphi = \pi$, tj. gdy kursy celu i obserwatora są skierowane ku sobie, a więc w sytuacji spotkaniowej.

$$n_0 = \frac{2r_{ef} \cdot ut}{a} \left(1 + \frac{v}{u}\right) \dots \dots \dots /55/$$

- c/ gdy $\varphi = \frac{\pi}{2}$ lub $\varphi = \frac{3\pi}{4}$, gdy kursy celu i obserwatora są względem siebie prostopadłe:

$$n_0 = \frac{2r_{ef} \cdot ut}{a} \sqrt{1 + \left(\frac{v}{u}\right)^2} \dots \dots \dots /56/$$

Korzystając z wzorów /54/, /55/ i /56/ rozpatrzmy przykład obliczenia oczekiwanej liczby wykryć dla:
 $Q = 50\,000 \text{ km}^2$, $r = 20 \text{ km}$, $u = 300 \text{ km/godz.}$ $v = 20 \text{ km/godz.}$
 $t = 3 \text{ godz.}$

$$a/ \varphi = 0; \psi = 2\pi \dots$$

$$n_0 = \frac{2 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 3}{50 \ 000} / 1 - \frac{20}{300} / = 0,67;$$

$$b/ \varphi = \pi$$

$$n_0 = \frac{2 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 3}{50 \ 000} / 1 + \frac{20}{300} / = 0,77;$$

$$c/ \varphi = \frac{\pi}{2}; \quad \psi = \frac{3\pi}{4}$$

$$n_0 = \frac{2 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 3}{50 \ 000} \sqrt{1 + \left(\frac{20}{300}\right)^2} = 0,72$$

Jak wynika z powyższego przykładu, najwyższe wyniki uzyskuje się na kursach równoległych spotkaniowych, natomiast najniższe - na równoległych pościgowych. Praktycznie jest to oczywiste i nie wymaga wyjaśnień. Jeśli więc poszukiwanie odbywa się na kursie równoległym do kursu celów, przyczym w jednym cyklu działania obserwatora będą występowały, pościgowe i spotkaniowe układy kursów, to oczekiwana liczba wykryć będzie średnią arytmetyczną wyrażen /54/ i /55/, czyli:

$$n_0 = \frac{2 \text{ref} \cdot ut}{a} \dots \dots \dots /57/$$

a liczba halsów spotkaniowych będzie równa liczbie halsów pościgowych. Jeśli jednak na obszarze poszukiwania wystąpi konieczność rozmieszczenia nieparzystej liczby kursów należy dążyć by większa ich część miała charakter spotkaniowy.

Z porównania wyrażen /56/ i /57/ wynika wyższość prostopadłego układu kursów w stosunku do równoległego. Skorzystanie z tej właściwości zwiększy efekt poszukiwania w przypadku wielocyklicznego /wielokrotnego/ przeglądu obszaru przez obserwatora dysponującego znacznie

większą prędkością niż cele, najkorzystniej jest wtedy prowadzić poszukiwania stosując halsy równoległe naprzemian z halsami prostopadłymi.

Jeśli proces poszukiwania odbywa się na dużym obszarze oraz istnieją możliwości działania kilku obserwatorów /kilka grup obserwatorów/, wtedy korzystne jest ugrupowanie w tzw. szyku grzebieniowym, przydzielając każdemu z nich odpowiedni kierunek. W przypadku, gdy na obszarze poszukiwania znajduje się jeden cel, wszyscy obserwatorzy posiadają tę samą prędkość, przyczym $v/u < 1$ to oznaczając przez b odległość między kierunkami działań obserwatorów, oczekiwana liczba wykryć wyniesie:

$$n_a = \frac{ut}{Q} f(\alpha) (2r_{ef} + b) \dots \dots \dots /58/$$

Zastosowanie powyższego sposobu poszukiwania względnie - działania na oddzielnych kierunkach zależy od efektywnej szerokości pasa poszukiwania właściwego dla każdego obserwatora. Porównując wyrażenie /58/ z /51/ lub jego uproszczoną postacią dla l obserwatorów, posiadających tę samą prędkość, tj.:

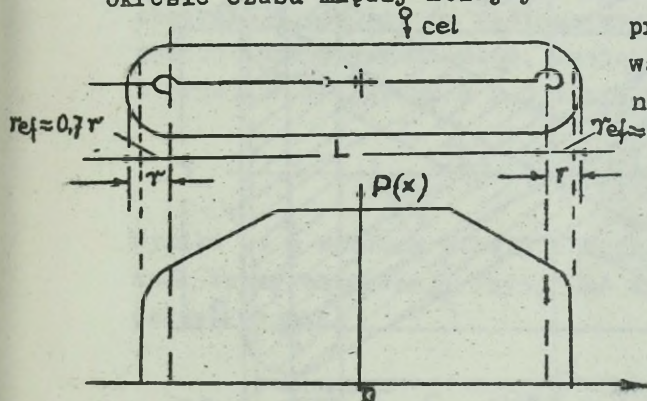
$$n_o = l \cdot n \cdot \xi_i f(\alpha) \dots \dots \dots /59/$$

dojdziemy do wniosku o ich równoważności, jeśli odległości między poszczególnymi kierunkami, występującymi przy sposobie grzebieniowym są równe lub większe od efektywnej szerokości pasów poszukiwań. W przeciwnym przypadku korzystniej jest stosować poszukiwanie na oddzielnych kierunkach /rejonach/, gdyż uzyska się wyższą oczekiwaną liczbę wykryć.

5. Metody poszukiwania celu wzdłuż rubieży.

5.1. Poszukiwanie wzdłuż prostej

Sposób ten, przedstawiony w rozdz. 3.1. Na rys. 10 przedstawiono ogólny układ ruchu obserwatora. Jak można zauważyć, oceniając gęstość prawdopodobieństw z dolnej części rys. 12, ten sposób poszukiwania nie jest dostatecznie korzystny dla obserwatora, którego prędkość jest znacznie większa od prędkości celu, np. jeśli proces poszukiwania realizuje samolot w stosunku do okrętów nawodnych czy podwodnych. Chodzi bowiem o to, że podczas nawrotów traci się zbyt dużo czasu na obserwację tych samych odcinków, przy stosunkowo długim okresie czasu między kolejnymi nawrotami.



Rys. 17

Wykres gęstości prawdopodobieństw wykrywania celu przedstawiono na rys. 17.

Można oczekiwać, że ten sposób poszukiwania będzie korzystny tylko w przypadkach gdy długość odcinka / $L + 1,4r$ / poszukiwania / dozoru / nie jest zbyt duża, a ilość środków zapewnia wy-

krycie celu, czyli:

$$L = L_{ef} + 1,4 r \dots \dots \dots /60/$$

a wprowadzając stosunek prędkości obserwatora do celu:

$$L_{ef} = 0,7 \cdot \frac{u}{v} \cdot r_{ef}; \dots \dots \dots /61/$$

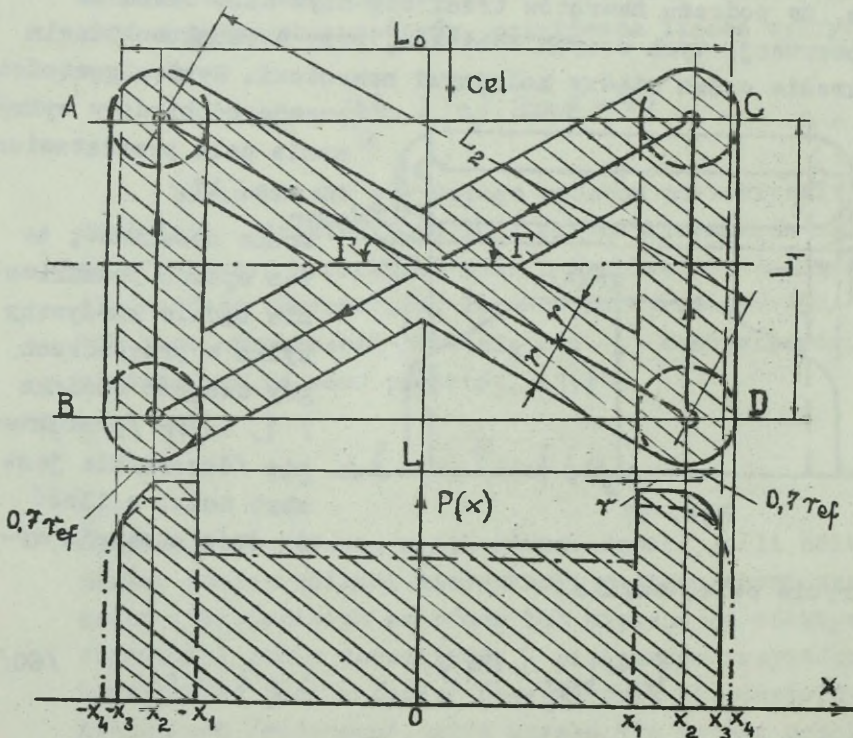
stąd:

$$L = 0,7 \left(2 + \frac{u}{\sigma} \right) r_{ef} \dots \dots \dots /62/$$

W przypadku gdy ilość środków poszukiwania nie zapewnia wykrycia celu, należy zastosować inny sposób poszukiwania, a mianowicie:

5.2. Poszukiwanie celu metodą tras krzyżujących się

Układ tras obserwatora oraz wykres gęstości prawdopodobieństw wykrywania celu przedstawiono na rys. 18.



Rys.18

Wychodząc z założenia, że kurs celu znajduje się w pasie o szerokości L należy tak dobrać długości halsów, aby

względne pokrywanie się dozorowanych odcinków sprowadzić do minimum. Miarę stosunku długości halsów równoległych do kursu celu stanowi kąt Γ między halsem długim, a prostopadłą do kursu celu. Maksymalna graniczna wielkość tego kąta zależy od stosunku prędkości celu i obserwatora i wynosi:

$$\Gamma = \arcsin \frac{v}{u} \dots \dots \dots /63/$$

Ponadto, istnieje ścisła współzależność między długościami halsów i wielkością odcinka dozoru L , rzutuująca na wartość efektywności poszukiwania.

Praktycznie rzecz biorąc, aby wyłączyć spod obserwacji odcinki na których występuje stosunkowo mała gęstość prawdopodobieństw, wystarczy długość odcinka L /rys.18/ zwiększyć o $2.0,7 r_{ef}$, czyli:

$$L_0 = L + 1,4 r_{ef} \dots \dots \dots /64/$$

Wynika to z zamiany strefy o kształcie koła /przy zwrotach trasy obserwacji /rys. 18/ na kwadrat, którego połowa wynosi:

$$r \cdot \sin 45^\circ = \frac{r\sqrt{2}}{2} \approx 0,7 r$$

W przypadku stosowania zależności /64/ można przyjąć, że występuje tzw. ścięty^{x/} rozkład prawdopodobieństw, wrysowany linią ciągłą /rys. 18/.

x/ Ścięty rozkład prawdopodobieństw rozpatruje się w pracy: Ja.B.Sze~~g~~, Statisticheskiye metody analiza i kontroli kaczestwa i nadzieźnosti "Sowietskoje Radio", 1962 r.

Pomijając analityczny tok postępowania, doprowadzając do wzoru na gęstość prawdopodobieństwa, ograniczymy się do przedstawienia ostatecznego wyrażenia na którego podstawie można wyznaczyć prawdopodobieństwo wykrycia celu w granicach całego odcinka dozoru.

Należy wyróżnić 3 podstawowe przypadki:

1. gdy:

$$L > \frac{\frac{2}{a} r_{ef} \sqrt{\frac{1}{a} - 1}}{\sqrt{\frac{1}{a} + 1}}$$

wtedy:

$$P = \frac{r_{ef}}{L + 1,4 r_{ef}} \left[1,7 + \frac{\frac{1}{a} \sqrt{\frac{1}{a} - 1}}{\sqrt{\frac{1}{a} + 1}} \left(2 - \frac{0,7 r_{ef}}{L} \right) \right] \dots \dots \dots /65/$$

2. gdy:

$$\frac{\frac{\sqrt{2}}{a} r_{ef} \sqrt{\frac{1}{a} - 1}}{\sqrt{\frac{1}{a} + 1}} < L < \frac{\frac{2}{a} r_{ef} \sqrt{\frac{1}{a} - 1}}{\sqrt{\frac{1}{a} + 1}}$$

wtedy

$$P = \frac{r_{ef}}{L + 1,4 r_{ef}} \left[\frac{L}{r_{ef}} + 0,7 + \cos \frac{\varphi}{2} + \frac{1}{2 \sin \frac{\varphi}{2}} \left(\frac{\varphi}{2} - 0,285 - \frac{\sin \varphi}{2} \right) \right] \dots \dots \dots /66/$$

3. gdy:

$$L \leq \frac{\frac{\sqrt{2}}{a} r_{ef} \sqrt{\frac{1}{a} - 1}}{\sqrt{\frac{1}{a} + 1}} \dots \dots \dots /67/$$

wtedy:

$$P = 1$$

przyczym

$$a = \frac{v}{u}$$

$$\rho_s = 2 a f c \sin \frac{L \sqrt{\frac{1}{a} + 1}}{\frac{2}{a} r_{ef} \sqrt{\frac{1}{a} - 1}}$$

Ponieważ wyrażenie /67/ warunkuje pewność wykrycia celu przecinającego linię dozoru w dowolnym punkcie, stąd otrzymamy:

$$L_1 = L \cdot \operatorname{tg} \Gamma \dots \dots \dots /68/$$

$$L_2 = \frac{L}{\operatorname{Cos} \Gamma} \dots \dots \dots /69/$$

stąd:

$$L_2 = \frac{L_1}{a} = \frac{u L_1}{v} \dots \dots \dots /70/$$

gdy ogólną długość odcinka dla jednego obserwatora wyznacza się z wzoru /64/.

Przeprowadzony tok analizy oraz wynikające z niego relacje pozwalają określać zarówno przewidywane efekty działań obserwatora jak i wyznaczać optymalny obszar /odcinek/ dozorowania. W praktyce wygodniej jest jednak ztabelaryzować powyższe relacje dla szeregu typowych, bądź przewidywanych wielkości: a, P, L przez co skróci się znacznie czas obliczania możliwych wariantów odcinka dozorowania.

6. MODEL STOCHASTYCZNY PROCESU POSZUKIWANIA CELU. METODA MONTE CARLO.

6.1. Ogólna charakterystyka metody prób statystycznych.

Model stochastyczny każdego procesu czy zjawiska, stanowiącego przedmiot racjonalnego działania ludzkiego w dowolnej dziedzinie /technice, gospodarce, działaniach bojowych, biologii itd/ jest szczególnego rodzaju opisem matematycznym w którym wartości parametrów, charakteryzujące siły i środki działania, współzależności między nimi oraz warunki w jakich proces przebiega /lub będzie realizowany/ zmieniają się w kolejnych momentach czasu w sposób przypadkowy /losowy/. Przyjmuje się więc, że wartości tych parametrów są zmiennymi losowymi o właściwych sobie rozkładach prawdopodobieństw, przy czym rozkłady te w zasadzie są znane. Poddając model wielu próbom /doświadczeniom/, czyli wielokrotnie realizując dany proces doświadczalnie uzyska się odpowiednio dużą liczbę różnych wyników, które jakkolwiek odzwierciedlają charakter losowy zmian wartości parametrów, to jednak spełniają ogólne prawidłowości charakteryzujące model badanego procesu. Ponieważ najogólniej rzecz biorąc, model procesu jest prabalistyczny, to wprowadzając do niego metody statystyczne uzyskiwania i opracowania informacji, dochodzimy do modelu stochastycznego, którego rozwiązanie polega na zastosowaniu metody prób statystycznych znanej w literaturze jako tzw. metoda Monte Carlo.

Metodę tą stosuje się obecnie do rozwiązywania tego rodzaju zagadnień /zadań/, które z jednej strony wymagają bardzo dużej ilości obliczeń, z drugiej zaś - wielokrotnej weryfikacji wyników na drodze doświadczenia /prób/ w możliwie krótkim czasie i przy możliwie niskich kosztach. Zagadnienie to ma szczególne znaczenie dla weryfikacji wyników procesów, których z różnych względów nie można poddawać próbom, np. procesów walki, procesów gospodarczych

itp., a dla podjęcia decyzji można oprzeć się na pewnych rozwiązaniach możliwie jaknajbardziej zbliżonych do rzeczywistości z punktu widzenia przyjętych założeń. Rolę weryfikatora wyników spełniają w tych przypadkach elektroniczne maszyny cyfrowe /EMC/, które są w stanie wielokrotnie symulować badany proces, na podstawie uprzednio zaproponowanego algorytmu.

Istota metody prób statystycznych /MONTE CARLO/ polega m.in. na powiązaniu wielkości o charakterze probabilistycznym, charakteryzujących badane procesy o strukturze losowej z wielkościami, stanowiącymi wynik rozwiązania zadań z dziedziny analizy matematycznej, teorii gier itp. Oto niektóre przykłady zastosowań metody prób statystycznych:

- obliczanie z dowolnym przybliżeniem całek wielokrotnych;
- odwracanie macierzy i rozwiązywanie układów równań liniowych;
- rozwiązywanie równań różniczkowych i różnicowych;
- rozwiązywanie zadań z dziedziny teorii masowej obsługi;
- określanie ścieżek krytycznych w toku analizy sieciowej /PERT/;
- wyznaczanie optymalnych strategii w różnych klasach gier, zwłaszcza o nieskończonej ilości strategii, gier z naturą itp;
- rozwiązywanie zadań dotyczących przenikania ciał przez różne środowiska.

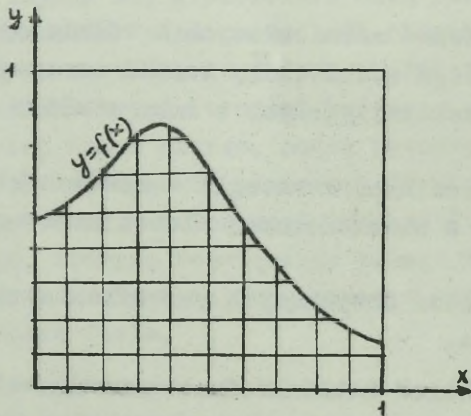
Istnieją również możliwości stosowania metody prób statystycznych do symulowania niektórych klas procesów działań bojowych. W tych przypadkach zakłada się, że istnieje współzależność między poszczególnymi działaniami cząstkowymi, składającymi się na badany proces walki, przy czym zarówno działania czątkowe jak i współzależności

między nimi mają charakter losowy. Podstawową zmienną wielkością jest czas w stosunku do którego przeprowadza się symulację procesów losowych. Mechanizm symulacji określa algorytm umożliwiający uzyskanie rozwiązania w oparciu o zbiór liczb losowych.

Rozpatrzmy go na stosunkowo prostym przykładzie obliczenia całki z funkcji $y = f(x)$, czyli:

$$K = \int_0^1 f(x) dx$$

Przyjmijmy, że x jest zmienną losową, posiadającą w przedziale $[0,1]$ rozkład równomierny, a więc wartości funkcji $f(x)$ będą zawarte w przedziale $0 \leq f(x) \leq 1$, Przyjmijmy z kolei, że obrazem tej funkcji jest krzywa przedstawiona na rys. 19.



Zadanie polega na obliczeniu pola pod krzywą $y = f(x)$ ograniczonego osią x oraz współrzędnymi $x=0$, $x=1$.

Nadajmy temu zadaniu treść z dziedziny teorii poszukiwania. Niech długość rubieży, którą przekamują poszczególne cele przeciwnika wynosi 1.

Rys. 19

Rubież tę przedstawia oś x . Zatem, punkty przecięcia się osi x są zmiennymi losowymi o rozkładzie równomiernym w przedziale $[0,1]$. Funkcja rozkładu przyjmie postać:

$$\begin{aligned} f(x) &= 0 && \text{przy } x < 0, \\ f(x) &= x && \text{przy } 0 < x < 1, \\ f(x) &= 1 && \text{przy } x > 1, \end{aligned}$$

natomiast wartość oczekiwaną zmiennej x wyrazi pole pod całką :

$$K = \int_0^1 f(x) dx$$

Przeprowadźmy doświadczenie w celu wyznaczenia wielkości tego pola.

Założmy, że istnieje pewien mechanizm, który umieszcza w kwadracie $/0,1/$. $/0,1/$ - rys. 19. punkty w sposób przypadkowy /losowy/ i równomierną gęstością. Współrzędne tych punktów są więc wzajemnie niezależne. Zadanie sprowadzi się więc do wyznaczenia prawdopodobieństwa, że dowolny punkt znajdzie się pod krzywą.

Jeśli współrzędne tych punktów oznaczymy przez $/\xi, \zeta/$, to ponieważ $0 \leq \xi \leq 1$, $0 \leq \zeta \leq 1$, każdy dowolnie wzięty punkt w granicach kwadratu /przy założeniu równomierności ich rozkładu/ znajdzie się nad krzywą. jeśli: $\zeta_i > f(\xi_i)$, lub pod krzywą, gdy $\zeta_i < f(\xi_i)$. Przyjmijmy, że dysponujemy jakimś urządzeniem, które wybiera w sposób przypadkowy poszczególne punkty znajdujące się w granicach tego kwadratu. Praktycznie rzecz biorąc, posłużmy się tabelą liczb losowych z której wybierzemy dużą ilość par liczb, traktując każdą parę jako współrzędne punktu. Następnie, selekcjonujemy poszczególne pary w stosunku do warunku.

$$\zeta_i < f(\xi_i) \dots \dots \dots /71/$$

i obliczamy ilość $/m/$ par spełniających ten warunek. Jeśli doświadczenie zostało przeprowadzone na dużej liczbie $/n/$ wszystkich par wtedy na podstawie prawa wielkich liczb, otrzymany stosunek m/n będzie odpowiednio bliski prawdopodobieństwu znalezienia się punktu pod krzywą.

W danym przypadku, obliczenie prawdopodobieństwa przerwania rubieży $x = 1$ przez cel /przeciwnika/ przeprowadzimy następująco:

Doświadczenia ograniczymy do 10 prób. Każdej próbie przyporządkujemy odpowiednią liczbę losową, odpowiadającą współrzędnej x_i , czyli:

$x_i = 0,57, 0,71, 0,73, 0,70, 0,16, 0,53, 0,43, 0,26, 0,05, 0,66.$

Ponieważ prawdopodobieństwo przecięcia rubieży x przez cel będzie zbliżone do wartości średniej tych liczb, otrzymamy:

$$P = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 0,48$$

co stosunkowo dość dobrze odpowiada prawdopodobieństwu, które w tym przypadku wynosi 0,5.

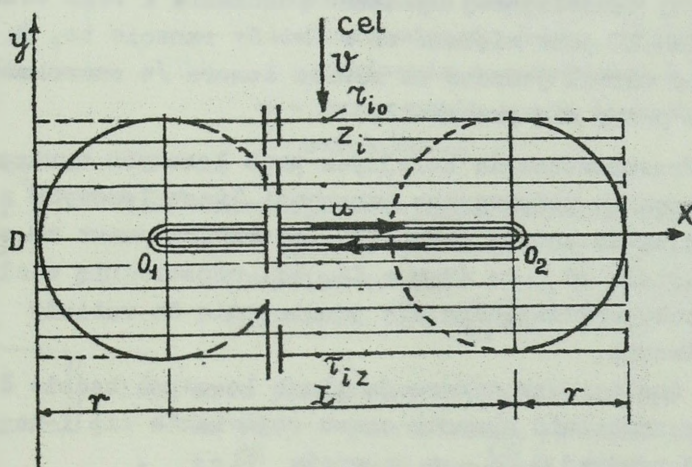
Z tego rodzaju doświadczenia wymagają jednak dokonania dużej liczby prób, tj. zastosowania dużej ilości liczb losowych. Z tego względu najdogodniej posługiwać się EMC odpowiednio zaprogramowanymi, które bardzo szybko same dokonają wyboru dowolnej ilości liczb losowych i przeprowadzą odpowiednie obliczenia dla dowolnej liczby doświadczeń. Istota zagadnienia sprowadzi się do wyznaczenia programu działania maszyny, odpowiadającego konkretnemu zadaniu, tj. opracowania dla niej algorytmu danego zadania.

Rozpatrzmy przykład budowy takiego algorytmu.

6.2. Algorytm wykrywania celu na rubieży poszukiwania.

6.2.1. Założenia ogólne.

Ograniczymy się do stosunkowo prostego zadania obserwatora, który przesuwa się wahadłowo wzdłuż określonej linii dozoru o długości $L + 2r$, tj. dysponując urządzeniem obserwacyjnym, pozwalającym wykryć cel na powierzchni koła o promieniu r . Prędkość obserwatora wynosi u . Kierunki ruchu celów przeciwnika są prostopadłe do linii dozoru, ich prędkości wynoszą v , a punkty przecięcia linii dozoru są zmiennymi losowymi o rozkładzie równomiernym /rys.20/



Rys. 20

W celu uproszczenia rozważań przyjmiemy, że w czasie jednego rejsu obserwatora, tj. podczas przejścia trasy o długości L , na rubieży dozoru wejdzie przynajmniej jeden cel, przyczym moment w którym przetnie on trasę $L + 2r$ jest zmienną losową o rozkładzie równomiernym w granicach od 0 do L/u . Przyjmujemy ponadto, że obserwator zmienia kierunek natychmiast po osiągnięciu końca odcinka, tj. czas potrzebny

na zmianę kursu przyjmiemy jako równy zeru. Utrzymujemy również w mocy jedno z założeń podstawowych teorii poszukiwania mówiące, że cel nie jest w stanie wykryć obserwatora oraz uchylić się przed wykryciem. Ponieważ położenie celu w przyjętych momentach czasu będziemy określali przy pomocy współrzędnych w układzie kartezjańskim /rys. 19/ zatem, oznaczając przez:

- i - numer dowolnego celu / $i = 1, 2, \dots$ /;
- τ - numer dowolnego momentu /czasu/ dzielącego kolejne okresy o wielkościach stałych / $\tau = 0, 1, 2, \dots, Z$ /

możemy przyjąć, że jeśli wartość bezwzględna współrzędnej $y_{i\tau}$, określającej wysokość położenia i tego celu w momencie τ jest większa od r wtedy oznacza to, że cel bądź nie wszedł jeszcze na rubież dozoru /o szerokości $2r$ / lub już przez nią przeszedł.

Przeprowadzenie kolejnych prób losowych wymaga przygotowania podprogramu generacji liczb losowych z których każda będzie określała odpowiedni punkt na osi x w przedziale od 0 do $2r + L$, tj. odpowiednią odciętą trasy celu, zbliżającego się prostopadle do rubieży poszukiwania.

Analogiczna generacja liczb losowych będzie dotyczyła wyznaczania momentu czasu pojawiania się i -tego celu na rzędnej $y_{i0}^{(c)}$ w momencie τ_{i0} .

Ilość eksperymentów zależy od dokładności $|\varepsilon|$ z jaką zamierza się wyznaczyć prawdopodobieństwo wykrywania oraz niezawodność $|\eta|$ jaką zapewnia się uzyskaniu tej dokładności. Przybliżoną liczbę eksperymentów można wyznaczyć z wzoru wynikającego z nierówności Czebyszewa:

$$n > \frac{1}{\varepsilon^2} \cdot \frac{1}{4(1-\eta)} \quad \dots \quad /72/$$

Np. dla $\xi = 0,1$ i $\eta = 0,9$ liczba eksperymentów wyniesie:

$$n > \frac{1}{0,1^2} \cdot \frac{1}{4(1-0,9)} = 250$$

Ponieważ wzór /72/ daje wartości zawyżone, w przypadkach szczególnych lepiej stosować wzór Laplace'a.

6.2.2. Struktura algorytmu

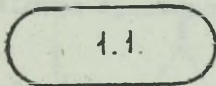
1. Wprowadzić do pamięci EMC:

1.1. dane podstawowe:

$r, v, u, L, i = 1, 2, \dots$ oraz

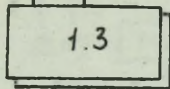
z - liczbę równych odcinków z jakich składa się trasa celu w okresie przechodzenia przez rubież poszukiwania o szerokości $2r$.

c - numer cyklu ruchu obserwatora, $c = 0, 1, 2, \dots$



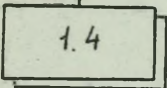
1.2. numerację kolejnych odcinków czasu

τ w jakich cel będzie przebywał poszczególne odcinki trasy o długości $2r/k$ czyli $\tau = \frac{2r}{zv}$; $\tau = \tau_1 = \dots = \tau_z$



1.3. czas początkowy wejścia i - tego celu na rubież poszukiwania /rzędna $y_{i0}^{(c)}$ / tj. \bar{T}_{i0} ; rozpocząć symulację od

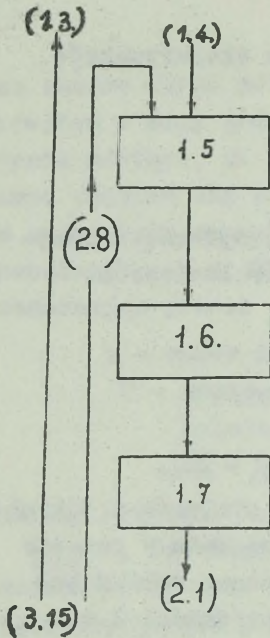
celu nr 1 w czasie $\bar{T}_{10} = 0$; \bar{T}_{i0} - zmienna losowa;



1.4. odciętą $x_{i0}^{(c)}$ względem rzędnej $y_{i0}^{(c)}$ tj. punkt na osi x z którego prostopadła jest kierunkiem ruchu i - tego celu, wchodzącego na rubież poszukiwania o głębokości $2r$ w momencie T_{i0} ; wybór liczby losowej $x_{i0}^{(c)}$ w przedziale $L + 2r$;

(3.15)

(1.5.)



- 1.5. kierunek ruchu obserwatora; symulację rozpocząć od: "ruch w prawo" /tj. od p-tu O_1 do O_2 - rys. 19/, a po osiągnięciu punktu O_2 - "ruch w lewo" itd.;
- 1.6. odcięta x_{ki} położenia obserwatora w k-tym momencie czasu przy poszukiwaniu i - tego celu; rozpocząć symulację od $x_{01} = r$;
- 1.7. rzędną $y_{ik}^{(c)}$ położenia i - tego celu w k-tym momencie czasu w toku przechodzenia przez rubież poszukiwania; rzędna początkowa i-tego celu $y_{i0}^{(c)} = r$;

ciąg dalszy - strona 51.

2. Przebieg eksperymentu w pierwszym cyklu

2.1. Sprawdzić warunek:

$$r \geq \sqrt{(x_{io}^{(c)} - x_{ik})^2 - (y_{ik}^{(c)})^2}$$

"tak" - "cel został wykryty;

"nie" - "celu nie widać;

2.2. - "tak": druk współrzędnych i - tego celu, tj. $x_{io}^{(c)}$ w/g 1.4; $y_{io}^{(c)}$ wg 1.7 oraz czasu wykrycia T_{ik} ;

2.3. sprawdzić warunek:

$$\frac{2r}{v} \leq kT \quad \text{dla } k = 1, 2, \dots, z-1$$

"poszukiwanie i-tego obiektu trwa", przy czym:

$$\frac{2r}{v} \leq zT$$

"poszukiwanie i-tego obiektu zakończono".

2.4. sprawdzić warunek 1.5., określający kierunek ruchu obserwatora:

jeśli "ruch w prawo" - "tak";

jeśli "ruch w lewo" - "nie";

2.5. -"tak":

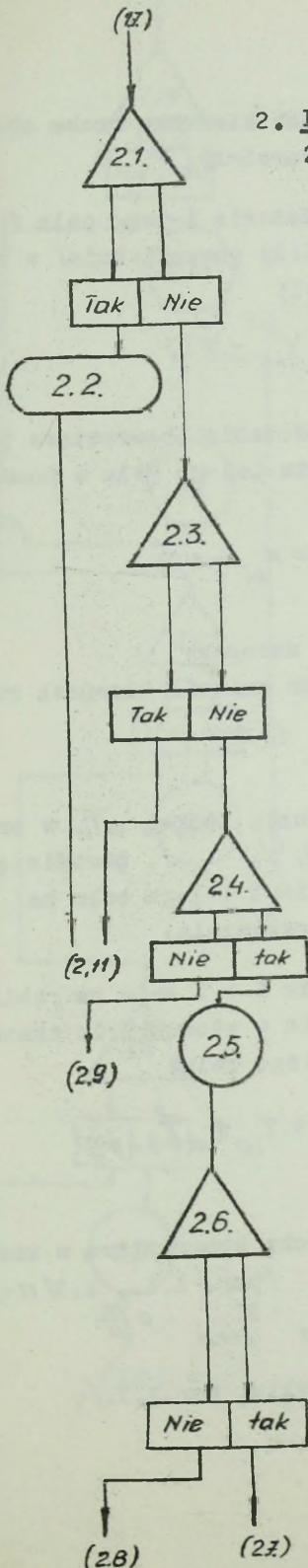
$$x_{k+1,i} = x_{ki} + uT$$

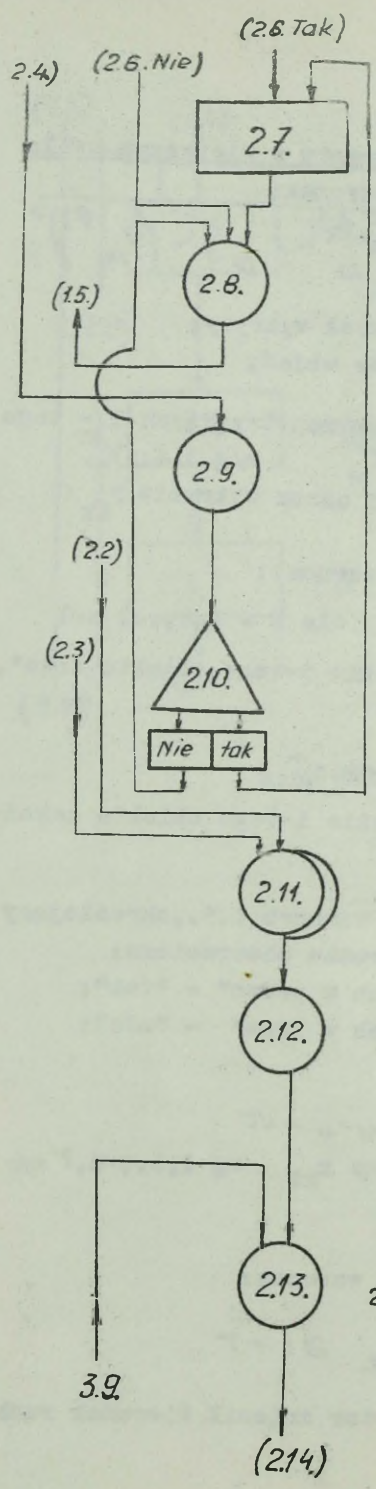
/pobierając x_{ki} wg 1.6.; u, T w/g 1.1.)
wg 1.1/

2.6. sprawdzić warunek:

$$x_{i,k+1} \geq L+r$$

/"obserwator zmienił kierunek ruchu"/





2.7. zmienić znak kierunku ruchu obserwatora na przeciwny;

2.8. rzędna położenia i-tego celu / w głębi rubieży poszukiwania / w momencie k+ 1:

$$Y_{i,k+1}^{(c)} = Y_{ik}^{(c)} - vT_i;$$

2.9. odcięta położenia obserwatora przy poszukiwaniu i+1-go celu w momencie k:

$$X_{k,i+1} = X_{ki} - vT_i;$$

2.10. sprawdzić warunek: /" obserwator zmienił kierunek ruchu"/

$$X_{k+1,i} \leq r_i;$$

2.11. wy-brać liczbę losową $\Delta\bar{T}_{i+1}$ w przedziale $[0; L/u]$, określającą czas wejścia i + 1-go celu na rubież poszukiwania;

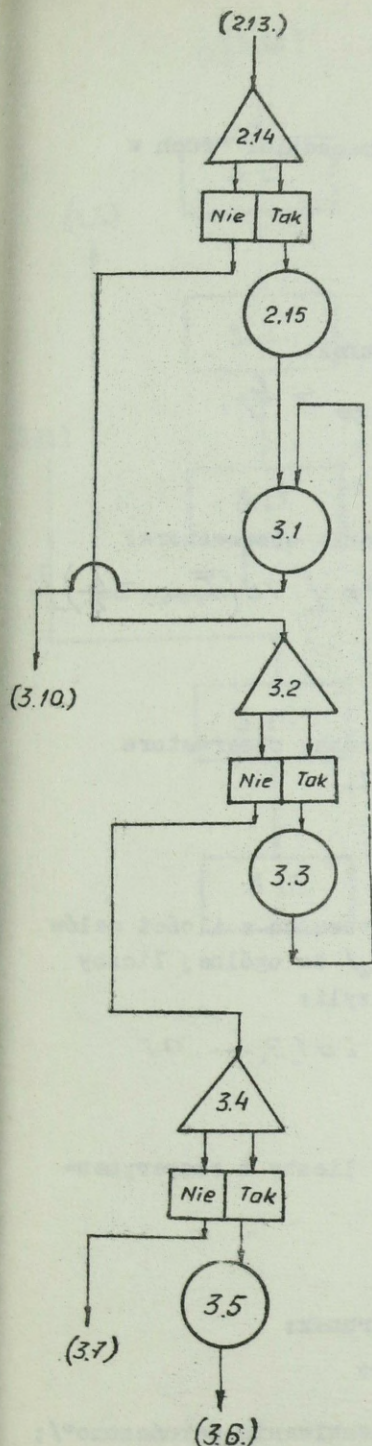
2.12. czas wejścia i + 1 celu na rubież poszukiwania w stosunku do czasu wejścia i-tego celu:

$$T_{i+1,0} = T_{i,0} + \Delta\bar{T}_{i+1};$$

2.13. kierunek ruchu obserwatora w momencie $T_{i+1,0}$ /por. 1.1., 1.3/:

$$\bar{T}_{i+1,0} = T_{i+1,0} - c \frac{2L}{u}$$

/c- numer cyklu, por.1.1./;



2.14. sprawdzić warunek:

$$\bar{T}_{i+1,0} = 0;$$

2.15. odcięta położenia obserwatora:

$$x_0, i+1 = r;$$

3. Przebieg eksperymentu w kolejnych cyklach

3.1. wprowadzić oznaczenie "ruch w prawo";

3.2. sprawdzić warunek:

$$\frac{L}{u} > \bar{T}_{i+1,0} > 0;$$

3.3. odcięta położenia obserwatora przy poszukiwaniu $i+1$ celu w momencie $k=0$:

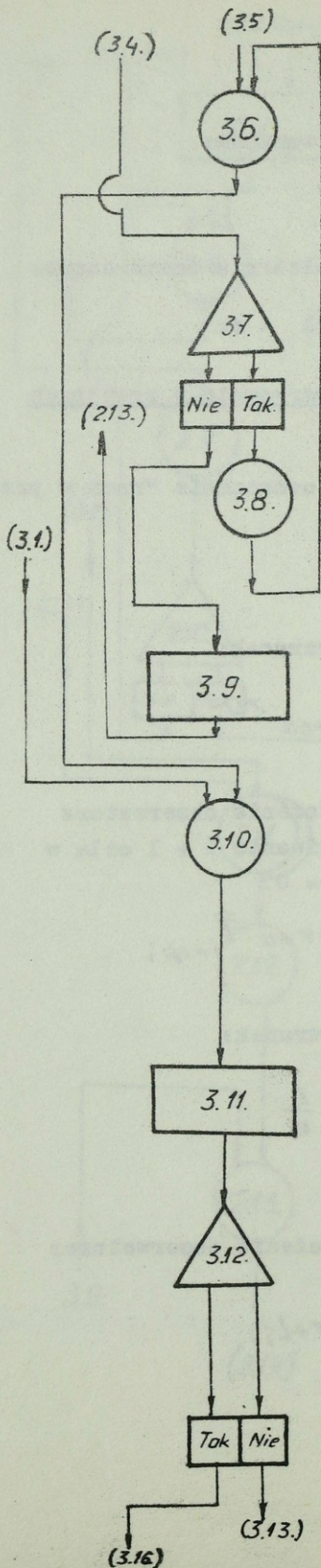
$$x_{0,i+1} = r + u \cdot \bar{T}_{i+1,0};$$

3.4. sprawdzić warunek:

$$\bar{T}_{i+1,0} = \frac{L}{u}$$

3.5. odcięta położenia obserwatora:

$$x_{i+1} = r + L;$$



3.6. wprowadzić oznaczenie: "ruch w lewo";

3.7. sprawdzić warunek:

$$\frac{2L}{u} > \bar{T}_{i+1,0} > \frac{L}{u};$$

3.8. odcięta położenia obserwatora:

$$X_{i+1,0} = L + 2\tau \cdot \left[\tau + u \left(\bar{T}_{i+1,0} - \frac{L}{u} \right) \right];$$

3.9. zmiana cyklu ruchu obserwatora z c na $c + 1$;

3.10. obliczenie stosunku z ilości celów wykrytych i_w do ogólnej liczby celów i , czyli:

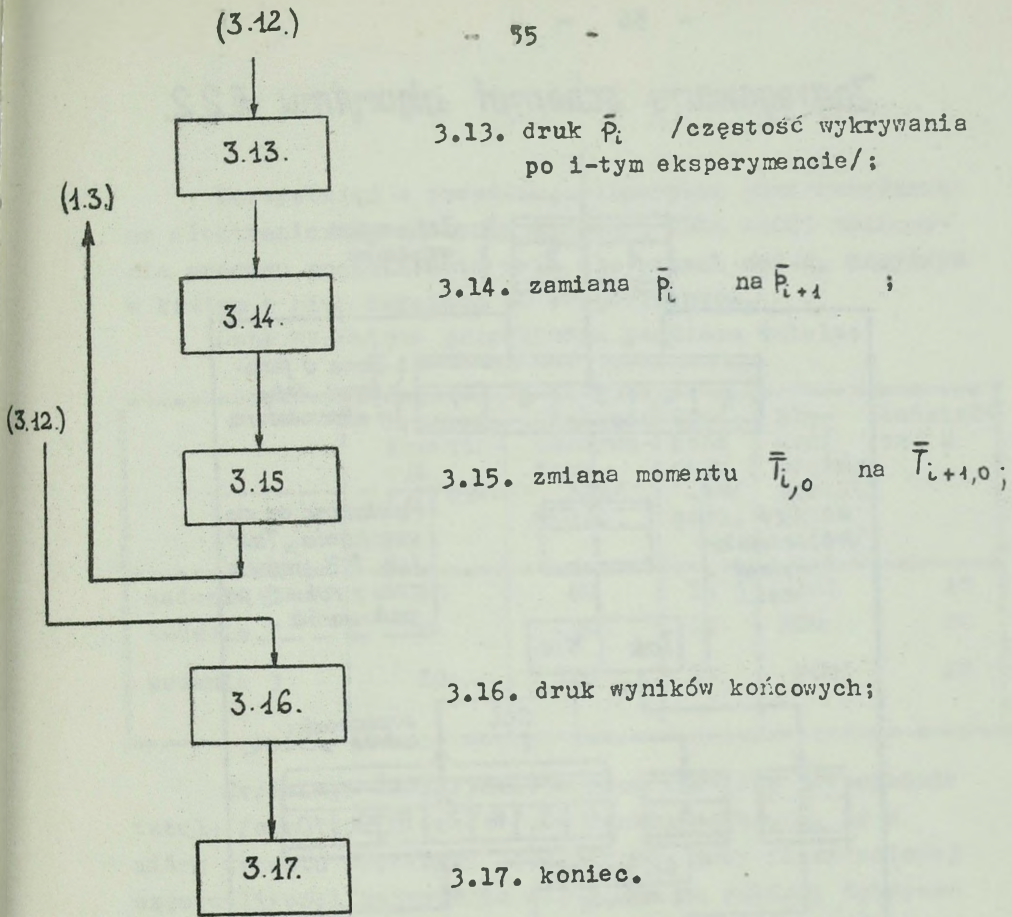
$$\bar{p}_i = \frac{i_w}{i}; \quad i = 1, 2, \dots, n;$$

3.11. wprowadzenie liczby n eksperymentów;

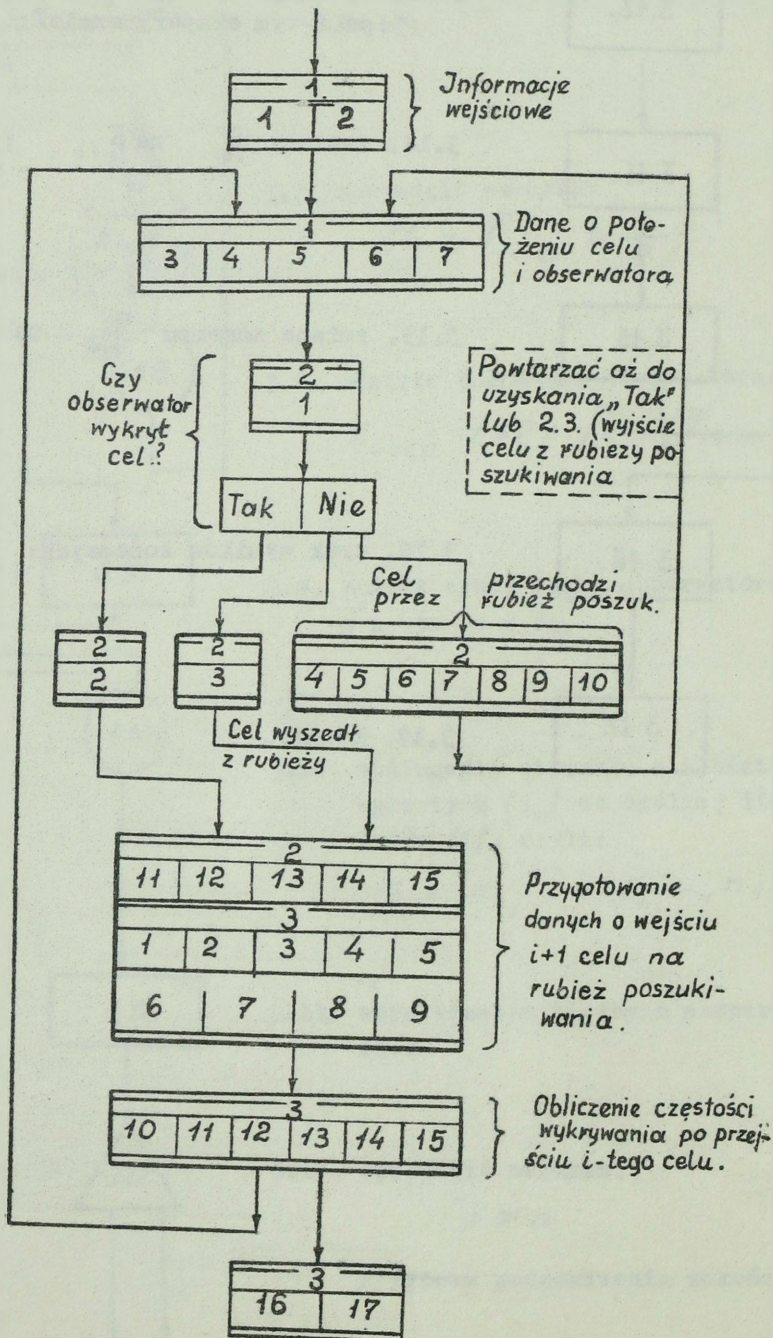
3.12. sprawdzić warunek:

$$i > n$$

/"proces poszukiwania zakończono"/;



Zagregowany schemat algorytmu 6.2.2.



Korzystając z powyższego algorytmu przeprowadzono na elektronicznej maszynie cyfrowej ODRA -1003 obliczenia procesu poszukiwania celu dla trzech zadań, przyczym w każdym z nich dokonano 50 eksperymentów.

Dane wyjściowe przedstawia poniższa tabela:

	Promień obserwacji /km/	Prędkość obserwatora /km/ godz.	Prędkość celu /km/ godz.	Długość podziałki poszukiwania /km/	Podziałka: z
zadanie 1	20	60	15	200	20
zadanie 2	20	90	15	200	20
zadanie 3	20	120	15	200	20

Przebiegi eksperymentów przedstawiają odpowiednie tabele /str. od 58 do 66/, a wyniki wskazują, że w miarę wzrostu prędkości obserwatora, przy niezmienionej częstotliwości pojawiania się celów na rubieży wykrywania zwiększa się liczba wykrytych celów: w zadaniu 1-62%, w zadaniu 2 - 76%, w zadaniu 3 - 90%.

Na rys. 21. przedstawiono rozmieszczenie punktów przechwytywania celów wchodzących na rubież poszukiwania. Należy przy tym zauważyć, że na wysokości 299,80 znajdują się cele, które przeszły przez rubież i nie zostały wykryte.

Wyniki doświadczeń powyższych zadań zostały uogólnione w postaci wykresów przybliżonych rozkładów następujących zmiennych losowych /rys. 22/:

dane początkowe: r=20 km u=60 km v=15 km l=200 km z=20

osrodek obliczeniowy
instytutu organizacji i techniki dowodzenia

poszukiwanie celu

nr celu	t	x(o)	y(o)	x(c)	y(c)	uwagi
1	.00	20020.00	30000.00	20069.93	30020.00	wykryty
	.67	20060.00	30000.00	20069.93	30010.00	
2	1.83	20129.89	30000.00	20201.80	30020.00	wykryty
	2.76	20185.89	30000.00	20201.80	30006.00	
3	3.13	20207.95	30000.00	20055.47	30020.00	uszedł
	5.93	20079.95	30000.00	20055.47	29980.00	
4	5.20	20107.76	30000.00	20204.62	30020.00	uszedł
	8.00	20091.76	30000.00	20204.62	29980.00	
5	6.78	20027.04	30000.00	20078.38	30020.00	wykryty
	7.45	20067.04	30000.00	20078.38	30010.00	
6	9.45	20187.16	30000.00	20030.52	30020.00	uszedł
	12.25	20107.16	30000.00	20030.52	29980.00	
7	12.55	20067.29	30000.00	20013.18	30020.00	wykryty
	13.21	20027.29	30000.00	20013.18	30010.00	
8	15.82	20169.25	30000.00	20009.03	30020.00	uszedł
	18.62	20121.25	30000.00	20009.03	29980.00	
9	15.89	20173.31	30000.00	20013.90	30020.00	uszedł
	18.69	20109.31	30000.00	20013.90	29980.00	
10	16.15	20188.95	30000.00	20032.68	30020.00	uszedł
	18.95	20092.95	30000.00	20032.68	29980.00	
11	16.86	20208.16	30000.00	20084.14	30020.00	wykryty
	18.73	20096.16	30000.00	20084.14	29992.00	
12	18.75	20095.17	30000.00	20219.73	30020.00	uszedł
	21.55	20095.17	30000.00	20219.73	29980.00	
13	20.35	20040.93	30000.00	20095.05	30020.00	wykryty
	21.02	20080.93	30000.00	20095.05	30010.00	
14	23.27	20216.24	30000.00	20065.43	30020.00	uszedł
	26.07	20072.24	30000.00	20065.43	29980.00	

15	23.77 25.10	20193.92 20113.92	30000.00 30000.00	20101.23 20101.23	30020.00 30000.00	wykryty
16	25.67 28.47	20079.73 20111.73	30000.00 30000.00	20238.25 20238.25	30020.00 29980.00	uszedł
17	27.55 28.35	20073.00 20121.00	30000.00 30000.00	20133.53 20133.53	30020.00 30008.00	wykryty
18	27.95 28.75	20097.01 20145.01	30000.00 30000.00	20162.34 20162.34	30020.00 30008.00	wykryty
19	30.61 31.54	20183.70 20127.70	30000.00 30000.00	20113.50 20113.50	30020.00 30006.00	wykryty
20	31.50 34.30	20129.82 20065.82	30000.00 30000.00	20178.15 20178.15	30020.00 29980.00	uszedł
21	31.54 34.34	20127.48 20063.48	30000.00 30000.00	20180.96 20180.96	30020.00 29980.00	uszedł
22	34.09 34.89	20065.67 20113.67	30000.00 30000.00	20124.73 20124.73	30020.00 30008.00	wykryty
23	35.05 35.98	20122.75 20178.75	30000.00 30000.00	20193.24 20193.24	30020.00 30006.00	wykryty
24	35.35 36.28	20140.87 20196.87	30000.00 30000.00	20214.98 20214.98	30020.00 30006.00	wykryty
25	38.64 41.44	20101.86 20085.86	30000.00 30000.00	20211.70 20211.70	30020.00 29980.00	uszedł
26	41.53 42.46	20111.82 20167.82	30000.00 30000.00	20180.12 20180.12	30020.00 30006.00	wykryty
27	43.59 45.33	20204.40 20100.40	30000.00 30000.00	20088.66 20088.66	30020.00 29994.00	wykryty
28	46.89 47.55	20033.26 20073.26	30000.00 30000.00	20085.85 20085.85	30020.00 30010.00	wykryty
29	48.04 48.97	20102.47 20158.47	30000.00 30000.00	20168.90 20168.90	30020.00 30006.00	wykryty
30	48.21 49.14	20112.43 20168.43	30000.00 30000.00	20180.85 20180.85	30020.00 30006.00	wykryty
31	50.88 51.28	20166.91 20142.91	30000.00 30000.00	20133.64 20133.64	30020.00 30014.00	wykryty
32	52.09 54.89	20094.89 20094.89	30000.00 30000.00	20220.07 20220.07	30020.00 29980.00	uszedł
33	53.01 53.68	20039.47 20031.47	30000.00 30000.00	20046.57 20046.57	30020.00 30010.00	wykryty
34	54.58 55.38	20094.76 20142.76	30000.00 30000.00	20159.64 20159.64	30020.00 30008.00	wykryty

35	55.03 55.97	20122.01 20178.01	30000.00 30000.00	20192.35 20192.35	30020.00 30006.00	wykryty
36	58.16 60.96	20130.44 20066.44	30000.00 30000.00	20177.41 20177.41	30020.00 29980.00	uszedł
37	60.42 61.08	20044.96 20084.96	30000.00 30000.00	20099.88 20099.88	30020.00 30010.00	wykryty
38	60.73 61.53	20063.59 20111.59	30000.00 30000.00	20122.24 20122.24	30020.00 30008.00	wykryty
39	62.73 65.53	20184.09 20104.09	30000.00 30000.00	20026.84 20026.84	30020.00 29980.00	uszedł
40	65.12 67.92	20113.04 20081.04	30000.00 30000.00	20198.29 20198.29	30020.00 29980.00	uszedł
41	66.92 67.58	20035.08 20075.08	30000.00 30000.00	20088.02 20088.02	30020.00 30010.00	wykryty
42	69.94 72.74	20216.54 20072.54	30000.00 30000.00	20065.78 20065.78	30020.00 29980.00	uszedł
43	70.55 71.61	20187.17 20123.17	30000.00 30000.00	20109.33 20109.33	30020.00 30004.00	wykryty
44	72.67 73.07	20059.78 20035.78	30000.00 30000.00	20022.20 20022.20	30020.00 30014.00	wykryty
45	75.10 76.04	20126.12 20182.12	30000.00 30000.00	20197.28 20197.28	30020.00 30006.00	wykryty
46	76.94 78.54	20203.58 20107.58	30000.00 30000.00	20089.64 20089.64	30020.00 29996.00	wykryty
47	80.02 80.69	20021.42 20061.42	30000.00 30000.00	20071.64 20071.64	30020.00 30010.00	wykryty
48	80.77 81.57	20066.12 20114.12	30000.00 30000.00	20125.28 20125.28	30020.00 30008.00	wykryty
49	83.25 86.05	20215.22 20071.22	30000.00 30000.00	20064.20 20064.20	30020.00 29980.00	uszedł
50	83.30 86.10	20217.83 20073.83	30000.00 30000.00	20067.33 20067.33	30020.00 29980.00	uszedł

wyniki eksperymentu

<u>i</u>	<u>i(w)</u>	<u>p(i)</u>
50	31	62

dane początkowe: $r=20$ km $u=90$ km $v=15$ km $l=200$ km

osrodek obliczeniowy
Instytutu organizacji i techniki dowodzenia

poszukiwanie celu

nr celu	t	x(o)	y(o)	x(c)	y(c)	uwagi
1	.00	20020.00	30000.00	20137.78	30020.00	
	1.20	20128.00	30000.00	20137.78	30002.00	wykryty
2	1.93	20193.53	30000.00	20106.02	30020.00	
	3.53	20121.53	30000.00	20106.02	29996.00	wykryty
3	2.62	20184.60	30000.00	20180.27	30020.00	
	2.75	20172.60	30000.00	20180.27	30018.00	wykryty
4	2.75	20172.50	30000.00	20194.79	30020.00	
	5.55	20100.50	30000.00	20194.79	29980.00	uszedł
5	4.69	20041.92	30000.00	20164.09	30020.00	
	5.89	20149.92	30000.00	20164.09	30002.00	wykryty
6	5.92	20153.08	30000.00	20057.48	30020.00	
	8.72	20057.08	30000.00	20057.48	29980.00	uszedł
7	7.69	20127.86	30000.00	20008.35	30020.00	
	8.89	20019.86	30000.00	20008.35	30002.00	wykryty
8	9.54	20078.16	30000.00	20207.57	30020.00	
	10.87	20198.16	30000.00	20207.57	30000.00	wykryty
9	11.08	20217.15	30000.00	20134.36	30020.00	
	12.15	20145.15	30000.00	20134.36	30004.00	wykryty
10	11.65	20171.90	30000.00	20195.50	30020.00	
	14.45	20099.90	30000.00	20195.50	29980.00	uszedł
11	11.80	20158.03	30000.00	20212.15	30020.00	
	14.60	20110.03	30000.00	20212.15	29980.00	uszedł
12	13.92	20072.64	30000.00	20200.95	30020.00	
	15.25	20192.64	30000.00	20200.95	30000.00	wykryty
13	15.68	20209.24	30000.00	20150.69	30020.00	
	16.21	20161.24	30000.00	20150.69	30012.00	wykryty
14	16.61	20125.55	30000.00	20011.13	30020.00	
	17.67	20029.55	30000.00	20011.13	30004.00	wykryty

15	17.64	20032.58	30000.00	20122.69	30020.00	wykryty
	18.97	20104.58	30000.00	20122.69	30000.00	
16	19.81	20202.63	30000.00	20116.94	30020.00	wykryty
	21.14	20130.63	30000.00	20116.94	30000.00	
17	20.84	20144.71	30000.00	20228.13	30020.00	uszedl
	23.64	20120.71	30000.00	20228.13	29980.00	
18	21.76	20061.95	30000.00	20087.44	30020.00	wykryty
	22.96	20073.95	30000.00	20087.44	30002.00	
19	23.49	20133.69	30000.00	20034.20	30020.00	uszedl
	26.29	20085.69	30000.00	20034.20	29980.00	
20	25.53	20122.18	30000.00	20015.17	30020.00	wykryty
	26.60	20026.18	30000.00	20015.17	30004.00	
21	27.72	20114.60	30000.00	20011.30	30020.00	uszedl
	30.52	20090.60	30000.00	20011.30	29980.00	
22	27.79	20120.79	30000.00	20018.73	30020.00	uszedl
	30.59	20096.79	30000.00	20018.73	29980.00	
23	28.03	20142.60	30000.00	20044.90	30020.00	uszedl
	30.83	20070.60	30000.00	20044.90	29980.00	
24	28.69	20201.81	30000.00	20115.96	30020.00	wykryty
	30.02	20129.81	30000.00	20115.96	30000.00	
25	30.42	20082.34	30000.00	20062.97	30020.00	wykryty
	30.55	20070.34	30000.00	20062.97	30018.00	
26	30.51	20074.02	30000.00	20072.96	30020.00	wykryty
	31.71	20062.02	30000.00	20072.96	30002.00	
27	31.28	20035.10	30000.00	20155.90	30020.00	wykryty
	32.48	20143.10	30000.00	20155.90	30002.00	
28	33.49	20205.86	30000.00	20154.75	30020.00	wykryty
	34.02	20157.86	30000.00	20154.75	30012.00	
29	34.91	20077.85	30000.00	20068.36	30020.00	wykryty
	35.05	20065.85	30000.00	20068.36	30018.00	
30	36.97	20147.11	30000.00	20050.32	30020.00	uszedl
	39.77	20075.11	30000.00	20050.32	29980.00	
31	37.27	20174.01	30000.00	20082.60	30020.00	wykryty
	39.27	20090.01	30000.00	20082.60	29990.00	
32	38.33	20170.25	30000.00	20197.48	30020.00	uszedl
	41.13	20098.25	30000.00	20197.48	29980.00	
33	39.00	20109.96	30000.00	20029.83	30020.00	wykryty
	39.80	20037.96	30000.00	20029.83	30008.00	
34	39.95	20024.80	30000.00	20132.02	30020.00	wykryty
	41.28	20120.80	30000.00	20132.02	30000.00	

35	42.12 43.18	20210.37 20138.37	30000.00 30000.00	20126.22 20126.22	30020.00 30004.00	wykryty.
36	43.23 44.43	20129.28 20021.28	30000.00 30000.00	20006.64 20006.64	30020.00 30002.00	wykryty
37	44.41 45.74	20023.39 20119.39	30000.00 30000.00	20133.71 20133.71	30020.00 30000.00	wykryty
38	44.60 45.80	20033.92 20141.92	30000.00 30000.00	20154.49 20154.49	30020.00 30002.00	wykryty
39	46.22 48.09	20179.98 20107.98	30000.00 30000.00	20089.75 20089.75	30020.00 29992.00	wykryty
40	46.45 47.79	20200.82 20128.82	30000.00 30000.00	20114.77 20114.77	30020.00 30000.00	wykryty
41	47.75 48.81	20122.69 20026.69	30000.00 30000.00	20014.55 20014.55	30020.00 30004.00	wykryty
42	49.18 50.38	20045.92 20153.92	30000.00 30000.00	20168.88 20168.88	30020.00 30002.00	wykryty
43	49.95 52.75	20115.27 20091.27	30000.00 30000.00	20012.10 20012.10	30020.00 29980.00	uszedł
44	50.83 52.43	20194.70 20122.70	30000.00 30000.00	20107.42 20107.42	30020.00 29996.00	wykryty
45	52.71 52.84	20076.35 20064.35	30000.00 30000.00	20070.17 20070.17	30020.00 30018.00	wykryty
46	53.01 54.21	20048.92 20084.92	30000.00 30000.00	20103.07 20103.07	30020.00 30002.00	wykryty
47	54.27 55.60	20104.39 20224.39	30000.00 30000.00	20239.05 20239.05	30020.00 30000.00	wykryty
48	55.52 56.59	20216.92 20144.92	30000.00 30000.00	20134.09 20134.09	30020.00 30004.00	wykryty
49	55.79 56.06	20198.81 20174.81	30000.00 30000.00	20163.21 20163.21	30020.00 30016.00	wykryty
50	57.57 58.77	20038.54 20098.54	30000.00 30000.00	20115.53 20115.53	30020.00 30002.00	wykryty

wyniki eksperymentu

<u>1</u>	<u>1(w)</u>	<u>p(1)</u>
50	38	76

dane początkowe: $r=20$ km $u=120$ km $v=15$ km $l=200$ km

osrodek obliczeniowy
Instytutu organizacji i techniki dowodzenia

poszukiwanie celu
=====

nr celu	t	x(o)	y(o)	x(c)	y(c)	uwagi
1	.00	20020.00	30000.00	20183.39	30020.00	
	1.20	20164.00	30000.00	20183.39	30002.00	wykryty
2	.08	20029.37	30000.00	20194.63	30020.00	
	1.41	20189.37	30000.00	20194.63	30000.00	wykryty
3	1.51	20200.93	30000.00	20160.50	30020.00	
	2.31	20168.93	30000.00	20160.50	30008.00	wykryty
4	2.39	20133.76	30000.00	20046.88	30020.00	
	3.05	20053.76	30000.00	20046.88	30010.00	wykryty
5	3.59	20050.62	30000.00	20220.13	30020.00	
	4.92	20210.62	30000.00	20220.13	30000.00	wykryty
6	4.65	20178.44	30000.00	20133.52	30020.00	
	5.72	20146.44	30000.00	20133.52	30004.00	wykryty
7	4.98	20217.53	30000.00	20180.42	30020.00	
	5.51	20185.53	30000.00	20180.42	30012.00	wykryty
8	6.56	20033.03	30000.00	20167.75	30020.00	
	7.89	20161.03	30000.00	20167.75	30000.00	wykryty
9	7.64	20136.21	30000.00	20082.84	30020.00	
	9.64	20088.21	30000.00	20082.84	29990.00	wykryty
10	9.29	20105.53	30000.00	20080.76	30020.00	
	9.55	20073.53	30000.00	20080.76	30016.00	wykryty
11	9.83	20039.96	30000.00	20159.43	30020.00	
	11.30	20151.96	30000.00	20159.43	29998.00	wykryty
12	11.49	20198.46	30000.00	20157.53	30020.00	
	12.29	20166.46	30000.00	20157.53	30008.00	wykryty
13	12.57	20111.85	30000.00	20073.17	30020.00	
	12.83	20079.85	30000.00	20073.17	30016.00	wykryty
14	14.16	20116.83	30000.00	20061.98	30020.00	
	16.42	20070.83	30000.00	20061.98	29986.00	wykryty

15	14.51 15.84	20161.15 20129.15	30000.00 30000.00	20112.77 20112.77	30020.00 30000.00	wykryty
16	15.65 16.45	20142.55 20046.55	30000.00 30000.00	20036.33 20036.33	30020.00 30008.00	wykryty
17	17.03 18.37	20064.02 20224.02	30000.00 30000.00	20236.21 20236.21	30020.00 30000.00	wykryty
18	18.40 18.53	20212.57 20196.57	30000.00 30000.00	20192.30 20192.30	30020.00 30018.00	wykryty
19	19.43 20.76	20088.91 20088.91	30000.00 30000.00	20100.69 20100.69	30020.00 30000.00	wykryty
20	19.49 20.69	20081.34 20097.34	30000.00 30000.00	20109.78 20109.78	30020.00 30002.00	wykryty
21	20.31 21.65	20057.72 20217.72	30000.00 30000.00	20228.65 20228.65	30020.00 30000.00	wykryty
22	21.06 22.66	20147.32 20115.32	30000.00 30000.00	20096.17 20096.17	30020.00 29996.00	wykryty
23	22.48 23.01	20122.93 20058.93	30000.00 30000.00	20059.87 20059.87	30020.00 30012.00	wykryty
24	22.64 22.77	20103.29 20087.29	30000.00 30000.00	20083.44 20083.44	30020.00 30018.00	wykryty
25	23.38 24.72	20025.89 20185.89	30000.00 30000.00	20190.45 20190.45	30020.00 30000.00	wykryty
26	23.78 26.58	20073.77 20073.77	30000.00 30000.00	20007.92 20007.92	30020.00 29980.00	uszedl
27	24.24 26.24	20128.26 20080.26	30000.00 30000.00	20073.30 20073.30	30020.00 29990.00	wykryty
28	25.20 28.00	20196.18 20132.18	30000.00 30000.00	20211.97 20211.97	30020.00 29980.00	uszedl
29	25.97 26.10	20103.97 20087.97	30000.00 30000.00	20082.62 20082.62	30020.00 30018.00	wykryty
30	27.31 30.11	20097.09 20033.09	30000.00 30000.00	20035.90 20035.90	30020.00 29980.00	uszedl
31	28.90 29.83	20151.94 20039.94	30000.00 30000.00	20025.06 20025.06	30020.00 30006.00	wykryty
32	29.00 29.80	20140.08 20044.08	30000.00 30000.00	20039.30 20039.30	30020.00 30008.00	wykryty
33	29.37 30.57	20095.47 20079.47	30000.00 30000.00	20092.82 20092.82	30020.00 30002.00	wykryty
34	30.39 31.72	20066.49 20226.49	30000.00 30000.00	20239.18 20239.18	30020.00 30000.00	wykryty
35	31.40 32.46	20187.76 20155.76	30000.00 30000.00	20144.70 20144.70	30020.00 30004.00	wykryty

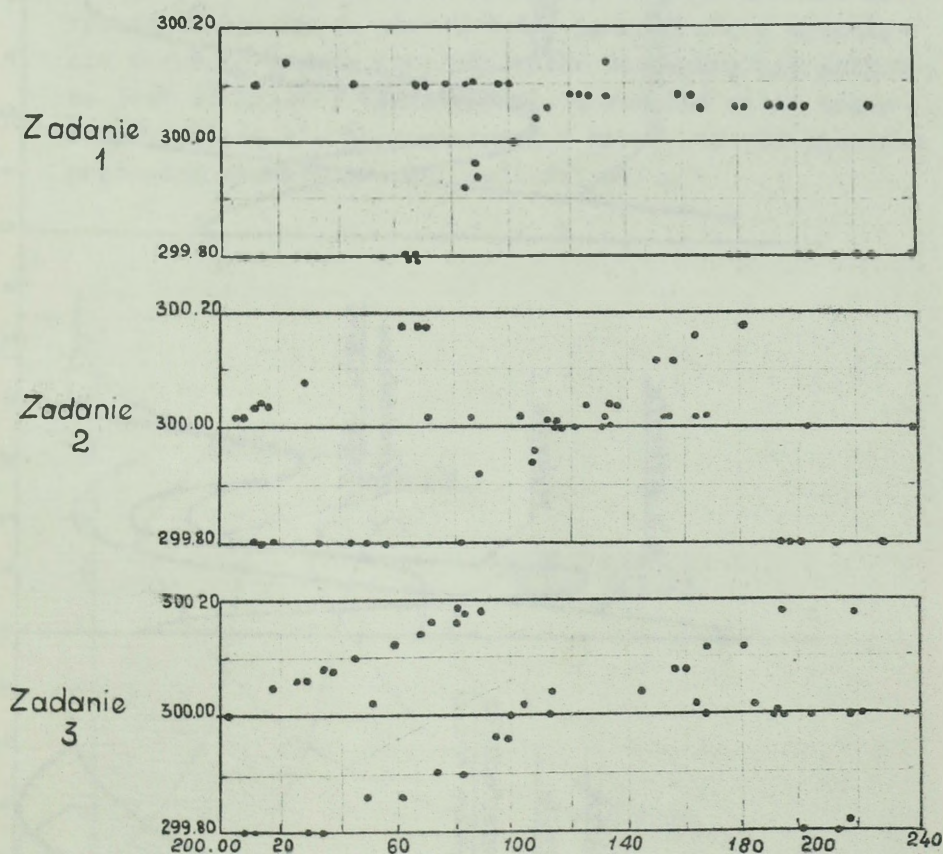
36	31.75 31.88	20210.37 20194.37	30000.00 30000.00	20194.94 20194.94	30020.00 30018.00	wykryty
37	31.78 34.58	20206.07 20142.07	30000.00 30000.00	20200.11 20200.11	30020.00 29980.00	uszedł
38	33.21 34.41	20035.00 20147.00	30000.00 30000.00	20165.38 20165.38	30020.00 30002.00	wykryty
39	34.12 36.38	20113.88 20065.88	30000.00 30000.00	20056.04 20056.04	30020.00 29986.00	wykryty
40	35.41 36.75	20170.53 20010.53	30000.00 30000.00	20002.75 20002.75	30020.00 30000.00	wykryty
41	36.73 38.06	20027.35 20187.35	30000.00 30000.00	20192.20 20192.20	30020.00 30000.00	wykryty
42	37.71 39.31	20145.39 20113.39	30000.00 30000.00	20093.86 20093.86	30020.00 29996.00	wykryty
43	39.35 39.48	20098.34 20082.34	30000.00 30000.00	20089.38 20089.38	30020.00 30018.00	wykryty
44	39.94 41.27	20027.60 20155.60	30000.00 30000.00	20174.27 20174.27	30020.00 30000.00	wykryty
45	40.07 41.40	20028.38 20188.38	30000.00 30000.00	20193.44 20193.44	30020.00 30000.00	wykryty
46	41.55 42.08	20205.55 20173.55	30000.00 30000.00	20166.05 20166.05	30020.00 30012.00	wykryty
47	42.51 42.91	20118.91 20070.91	30000.00 30000.00	20064.70 20064.70	30020.00 30014.00	wykryty
48	43.92 46.72	20090.55 20058.55	30000.00 30000.00	20028.05 20028.05	30020.00 29980.00	uszedł
49	45.53 46.59	20156.62 20028.62	30000.00 30000.00	20019.44 20019.44	30020.00 30004.00	wykryty
50	45.60 46.54	20147.59 20035.59	30000.00 30000.00	20030.28 20030.28	30020.00 30006.00	wykryty

wyniki eksperymentu

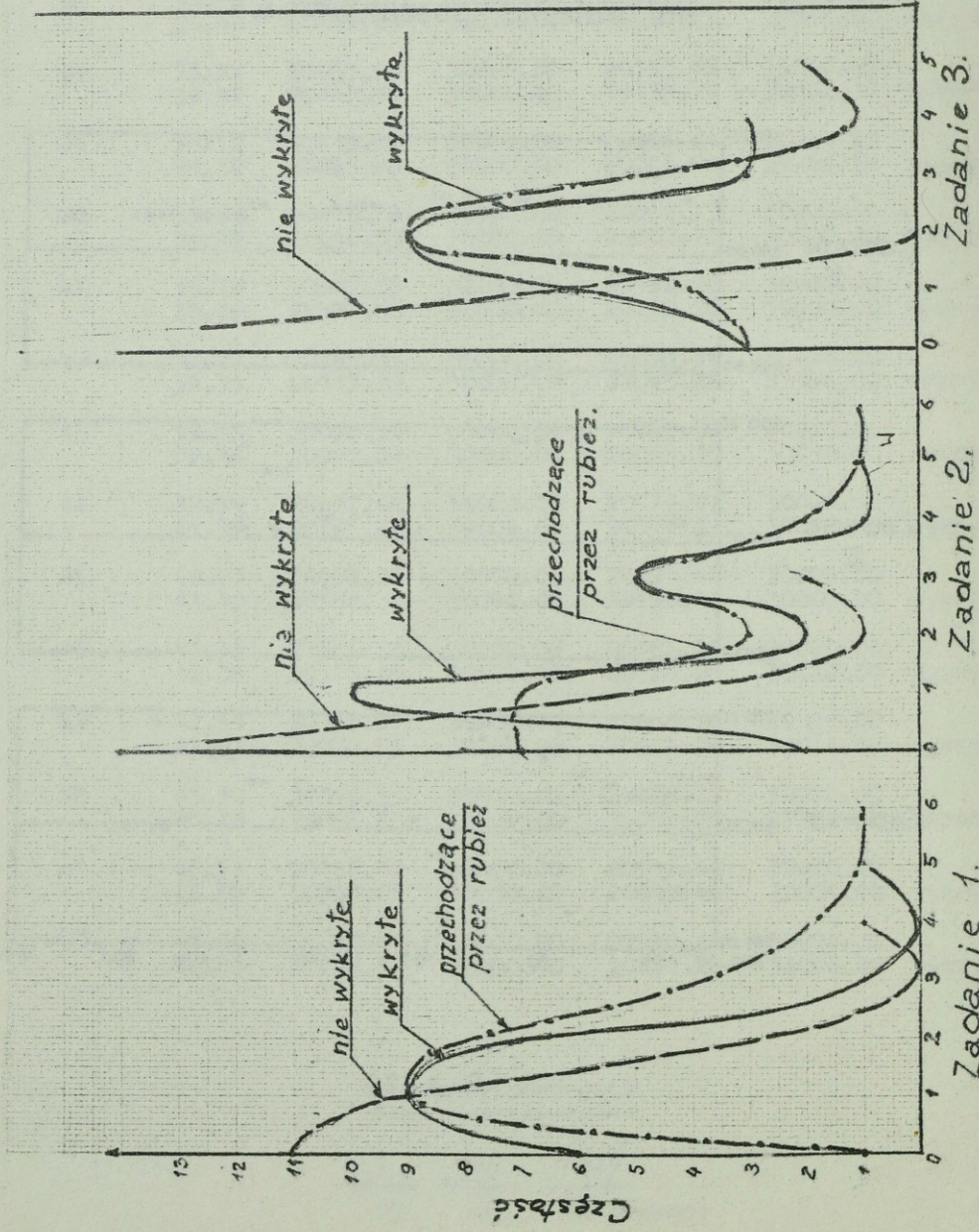
=====

<u>1</u>	<u>1(w)</u>	<u>p(1)</u>
50	45	90 procent

Punkty przechwytywania celów
na rubieży poszukiwania.



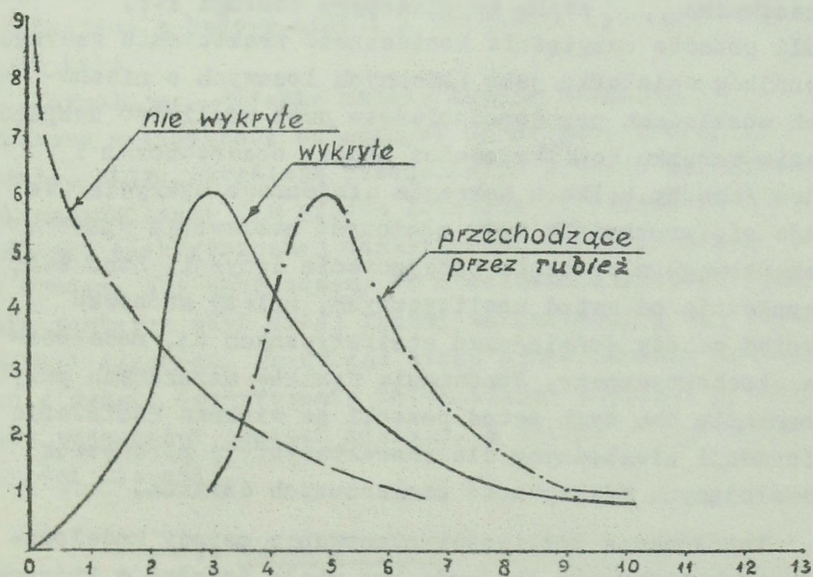
Rys. 21



Zadanie 1.
Rys. 22.

Uogólnienie wyników powyższych trzech zadań przedstawiono na rys. 23 w postaci rozkładów łącznych.

Rozpatrując uzyskane rozkłady /rys. 22 i 23/ należy uwzględnić, że liczba 50 doświadczeń, wykonanych dla każdego zadania jest zbyt mała, aby uogólnienia w postaci graficznej odpowiadały rzeczywistemu przebiegowi procesu poszukiwania. W danym przypadku chodzi nam jedynie o przedstawienie metody modelowania stochastycznego. Nie mniej jednak można pokusić się o wysunięcie tezy, że krzywa rozkładu celów nie wykrytych zbliżona jest do krzywej wykładniczej, a rozkład celów wykrywanych zbliża się do normalnego w miarę wzrostu stosunku prędkości obserwatora do prędkości celu.



Rozkłady łączne
dla zadań 1, 2, 3.

Rys. 23

6.3. Wnioski ogólne o modelowaniu stochastycznym.

Przykład modelowania stochastycznego /rozd. 6.2.3/ ilustruje możliwości metody Monte Carlo w zakresie stosunkowo szybkiego uzyskania dowolnie dużej liczby informacji, charakteryzujących badany proces poszukiwania. Oczywiście, wyniki obliczeń zależą głównie od stopnia pewności założeń wejściowych oraz liczby przeprowadzonych eksperymentów. Obrazem tych wyników może być figura geometryczna, której kształt odpowiada częstości prawdopodobieństw wykrywania celu w poszczególnych punktach przestrzeni poszukiwania, np. na płaszczyźnie /powierzchni określonej rubieży/.

Należy jednak mieć na uwadze, że w rzeczywistości proces wykrywania jest bardziej złożony, a tym samym model powinien uwzględniać szereg dodatkowych ograniczeń, wynikających z właściwości taktyczno-technicznych sprzętu, warunków naturalnych otoczenia, przeciwdziałań przeciwnika, stanu psychicznego obsługi itp. Jeśli ponadto uwzględnić konieczność traktowania szeregu czynników działania jako zmiennych losowych o niezależnych rozkładach prawdopodobieństw oraz możliwość uwzględnienia warunku konfliktowości między obserwatorem i celem /choćby tylko w zakresie wzajemnego wykrycia/, to staje się zrozumiała cała złożoność stosowania aparatu rachunkowego w procesie podejmowania decyzji. Stąd też, niezależnie od metod analitycznych, należy stosować również metody doświadczeń statystycznych tj. modelowania stochastycznego. Porównanie wyników uzyskanych przy stosowaniu obu tych metod pozwoli na większe uściślenie informacji niezbędnych dla charakterystyki parametrów określających efektywność zamierzonych działań.

Współczesne możliwości stosowania metody modelowania stochastycznego obejmują już wiele działań w których losowy charakter parametrów działania odgrywa rolę podstawową, a rozkład prawdopodobieństw ich wartości

nie jest znany. Najbardziej charakterystycznych przykładów dostarcza badanie procesów Markowa.

Najogólniej rzecz biorąc, zadania tego typu można podzielić na dwie podstawowe grupy:

Do grupy pierwszej zaliczamy zadania, które można rozpatrywać w oparciu o stosunkowo proste sformułowania analityczne. Do typowych zadań tej grupy zaliczamy rozwiązywanie równań liniowych oraz zadań marginalnych w równaniach eliptycznych. Zadania Cauchy'ego z warunkami granicznymi przy rozwiązywaniu równań parabolicznych, obliczanie całek wielokrotnych, wyznaczanie właściwych wartości eliptycznych operatorów różniczkowych itp.

Do grupy drugiej zaliczymy zadania, których treścią są procesy losowe. Do typowych zadań tej grupy zaliczymy:

1. wszelkie, wynikające z procesu masowej obsługi;
2. związane z działaniem systemów sterowania w których na wejściach występują bodźce o charakterze losowym;
3. Wynikające z budowy modeli i działania systemów adaptacyjnych itp.

Formułując zadanie należy zawsze uwzględnić /zwłaszcza w zadaniach należących do drugiej grupy/ te elementy, które określają przejście od procesu początkowego do aproksymującego ten proces łańcucha /Markowa/ na określonej elektronicznej maszynie cyfrowej. Istotnym jest bowiem, aby wprowadzany do modelowania łańcuch Markowa nie zawierał zbyt dużej liczby zmieniających się stanów oraz zbyt długiego, średniego czasu przechodzenia jednego stanu w drugi. Ograniczenia te wynikają: pierwsze - z ograniczonej pojemności pamięci maszyny, a drugie - określonej szybkości liczenia.

7. UWAGI KONCOWE

Przedmiot badań teorii poszukiwania obejmuje zbyt wiele problemów o tak różnorodnym charakterze, że nie jest możliwe przedstawienie ich w stosunkowo skromnych

ramaon mniejszej pracy.

Stąd też nawet próba klasyfikacji procesów poszukiwania została ograniczona do niezbędnego minimum, tj. stosując jako kryterium charakter informacji o wartościach parametrów określających położenie i ruch celu i obserwatora. Podobne trudności dotyczą też przedstawienia pewnych metod budowy modeli poszukiwania. Jak można było zauważyć, ograniczyliśmy się w zasadzie do modeli typu probabilistycznego, a jako technikę ich budowy i rozwiązywania stosowaliśmy geometrię z elementami trygonometrii. Pewnym odstępstwem od tej zasady było zastosowanie metody Monte Carlo, jako techniki rozwiązywania modelu stochastycznego.

Wydaje się jednak niezbędnym zauważyć, że istnieją również możliwości spojrzenia na technikę poszukiwania od strony klasyfikacji modeli według charakteru struktury rozkładu potencjału poszukiwania.

W stosunkowo zwięzłym wykładzie, obejmującym tylko podstawy teorii poszukiwania, nie rozpatrywaliśmy też wszelkich metod rozwiązywania zadań praktycznych związanych z wykrywaniem celów. Pominęliśmy możliwości stosowania teorii gier, teorii masowej obsługi, metod programowania liniowego i dynamicznego itp. Istnieją już obecnie dostatecznie uzasadnione przesłanki, pozwalające określać optymalne elementy czasu i przestrzeni, składające się na mechanizm procesu poszukiwania celu czy celów w przypadku dysponowania określonymi siłami i środkami jak również - wyznaczać optymalny skład sił i środków poszukiwania oraz czasoprzestrzenny reżim ich pracy w konkretnych warunkach działania celów /przeciwnika/, przesuwających się po różnych, przypadkowych trasach i w wielowymiarowych przestrzeniach.

Jak można zauważyć ogólne modele poszukiwania należą do klasy modeli probabilistycznych /stochastycznych/. Wynika to z losowego charakteru szeregu para-

metrów występujących w tych modelach. Rachunek prawdopodobieństwa jest w tym przypadku najważniejszym narzędziem oceny możliwości skuteczności poszukiwania oraz doboru właściwych sposobów działania obserwacji.

Wydaje się jednak niezbędnym zauważyć, że w obecnym stadium rozwoju teoria poszukiwania posiada jeszcze szereg luk i uproszczeń, które wymagają dalszych rozwinięć i urealnienia. Wskażemy tylko na niektóre z nich.

Rozpatrując mechanizm procesu poszukiwania założono, że cel nie "widzi" obserwatora. W rzeczywistości obie strony posiadają te możliwości, a powodzenie jednej jest uzależnione od zaskoczenia przeciwnika, odpowiednio szybszego wykrycia go i podjęcia właściwych przedsięwzięć w celu dalszego uchylenia się od jego obserwacji bądź zniszczenia go. Zachodzą więc typowe sytuacje konfliktowe, których rozwiązaniem zajmuje się teoria gier.

Praktyczne stosowanie przedstawionych metod określenia efektywności poszukiwania wymaga dysponowania stosunkowo znaczną liczbą różnego rodzaju informacji oraz odpowiednią aparaturą przyspieszającą tok obliczeń. Wartość tych informacji zależy w głównej mierze od efektywności technicznych urządzeń obserwacji charakteryzujących się m.in. zasięgiem obserwacji /r/, prawdopodobieństwem wykrywania celu w różnych warunkach otoczenia /np. oświetlenia, zakłóceń radiolokacyjnych itp/, prawdopodobieństwem wykrycia przez cel itp. Zbieranie tego rodzaju informacji na drodze prób, dokonywanych klasycznymi metodami statystycznymi jest niezwykle uciążliwe, a w warunkach bojowych najczęściej nieprzydatne z uwagi na częstą zmienność /w czasie/ stosowanej techniki. W związku z tym wysuwa się obecnie na czoło metoda stosowania elektronicznej techniki obliczeniowej do szybkiego wykonywania dużej liczby prób statystycznych pozwalających na uogólnienie wyników. Jeden z przykładów takiego eksperymentowania przytoczono powyżej przy zastosowaniu metody Monte Carlo do

547

określenia prawdopodobieństwa wykrycia celu na rubieży dozorcowania. W prostszych przypadkach oceny efektywności w warunkach bojowych dużą pomoc dają wszelkiego rodzaju nomogramy opracowane w oparciu o wyprowadzone wzory analityczne.

BIBLIOGRAFIA:

1. EMBELIANOW L.A. i in. Teorija polska w wojennom diele. Wojenizdat, Moskwa 1964.
2. AFANASIEW A.A., GORBUNOW W.A.: Effektiwnost obnarużeni-ja calej radiotekhniceskimi sredstwami nablindienija. Wojenizdat, Moskwa 1964.
3. NAVIGACJA TAKTYCZNA. Poszukiwanie przeciwnika na morzu /rozd.4/ Wyd. MON D-wo Marynarki Wojennej. 1950r.
4. PAŁKIN W.K.: Obrabotka nablindienij. "Morskoj Sbornik" nr 2/1961, str.45 - 57.
5. SKWORCOW M.J. Ob algoritmach maszynnogo rieszenija zadacz takticzeskogo manewrirowanija. "Morskoj Sbornik", nr 3/1962., str.32 - 38.
6. MORSE F.M., KIMBALL D.E. "Metody issledowanija operacii. "Sowletskoje Radio", Moskwa 1956.

Wykonano w 100 egz.

Egz.nr. 1-100 Bibl.Jawna
Wykonał płk Skibiński

Druk GB dn. 10.09.65r.
Nr.ks. 2052/WW.-

O-XV-2745

