

Florian KRASUCKI
Krzysztof KALINOWSKI
Anna WALASZEK-BABISZEWSKA

SYMULACJA ROZPOZNAWANIA RODZAJU NADAWY DLA SYSTEMU STEROWANIA AUTOMATYCZNEGO

Streszczenie. W pracy analizowano problem rozpoznawania rodzaju nadawy w zakładach przerobczych węgla. Założono, że w układach optymalnego sterowania niezbędne będzie określenie rodzaju nadawy. Zadanie może być realizowane w oparciu o funkcję identyfikującą nadawę, argumenty której są podstawowymi parametrami procesu wzbogacania. Przedstawiono metodę określania liczby rodzajów (klas) nadawy. Omówiono wyniki przeprowadzonych wstępnych badań algorytmów rozpoznawania metodą symulacji cyfrowej.

1. WSTĘP

Jednym z podstawowych algorytmów w systemie automatycznego sterowania procesami wzbogacania węgla będzie algorytm identyfikacji (rozpoznawania) rodzaju nadawy. Zakłada się bowiem, że nadawę przychodzącą do zakładu wzbogacania można będzie podzielić na skończoną liczbę rodzajów (klas), określanych na podstawie wyników pomiarów następujących podstawowych parametrów procesu wzbogacania:

- A - zawartość substancji palnej w koncentracie,
- B - zawartość substancji palnej w nadawie,
- C - udział koncentratu o określonej jakości w nadawie,
- D - zawartość substancji palnej w odpadach.

Algorytmy rozpoznawania nadawy mogą być opracowywane w oparciu o algorytmy rozpoznawania sytuacji technologicznych - opisane np. w [2,5]. Ogólnie metody rozpoznawania można podzielić na:

- metody przy zadanej liczbie rodzajów nadawy,
- metody przy nieznannej liczbie rodzajów nadawy.

Przy opracowaniu zagadnień rozpoznawania nadawy występuje szereg problemów, takich jak:

- wstępne ustalenie liczby rodzajów nadawy,
- dobór stałych czasowych filtrów uśredniających wyniki pomiarów,
- ustalenie wpływu dokładności czujników pomiarowych na prawdopodobieństwo prawidłowego rozpoznania rodzaju nadawy.

Z uwagi na złożoność procesu rzeczywistego dobór stałych czasowych filtrów uśredniających oraz wstępną ocenę wpływu dokładności czujników przeprowadzimy metodą symulacji cyfrowej.

2. FUNKCJA IDENTYFIKUJĄCA NADAWĘ

Znając wartości podstawowych parametrów (A,B,C,D) procesu wzbogacenia nadawy tworzy się funkcję F (A,B,C,D), uwzględniającą współzależność parametrów produktów wzbogacania od rodzaju nadawy. Funkcję F (A,B,C,D) będziemy nazywali identyfikatorem (klasyfikatorem) nadawy. W oparciu o wartości funkcji identyfikującej F można dokonać podziału całej nadawy na rodzaje, bądź określić rodzaj danej części nadawy. Funkcji identyfikującej stawia się szereg wymagań, np. powinna ona charakteryzować się dużą czułością.

Przykłady postaci funkcji identyfikującej oraz analizę ich czułości podano w pracy [4]. Z założonego zbioru do symulacji przyjmujemy następujące identyfikatory:

$$F_1 = A \quad (1)$$

charakteryzujący się małą czułością,

$$F_2 = B \quad (2)$$

charakteryzujący się średnią czułością, oraz

$$F_3 = \frac{(1-B)(A-B-1)}{1-B-\frac{C}{A}} \quad (3)$$

o dużej czułości.

3. WYZNACZANIE WARTOŚCI FUNKCJI IDENTYFIKUJĄCEJ NADAWĘ.

Dla wybranego urządzenia wzbogacającego (np. osadzarki) dokonuje się pomiarów następujących wielkości:

$X(t)$ - strumień nadawy,

$X_k(t)$ - strumień koncentratu.

$\lambda(t)$ - zapozielenie nadawy,

$\lambda_k(t)$ - zapozielenie koncentratu.

Następnie wyznacza się chwilowe parametry procesu wzbogacania

$$A(t) = 1 - \lambda(t) \quad (4)$$

$$B(t) = 1 - \lambda_k(t) \quad (5)$$

$$C(t) = \frac{X_k(t)}{X(t)} \quad (6)$$

Pomiary zapozielenia powinny być uśrednione za pomocą filtru dolnoprzepustowego. Dla celów symulacji uśrednioną wartość zapozielenia można wyznaczać wg wzoru:

$$\bar{\lambda}(n) = \frac{\bar{\lambda}(n-1) + \frac{T_p}{T_{f1}} \lambda(n)}{1 + \frac{T_p}{T_{f1}}} \quad (7)$$

gdzie:

$\bar{\lambda}(n)$ - uśredniona wartość zapozielenia,

$\lambda(n)$ - chwilowe wartości zapozielenia,

T_p - czas odpowiadający jednemu krokowi symulacji,

T_{f1} - stała czasowa filtru uśredniającego,

n - kolejny krok symulacji.

Parametry procesu wzbogacania (A,B,C) są argumentami klasyfikatorów F, a więc podstawiając je do wzorów (1), (2), (3), otrzymamy ich chwilowe wartości.

W celu wyznaczenia średnich wartości klasyfikatorów stosuje się cyfrowy filtr dolnoprzepustowy; a więc podobnie, jak dla (7) otrzymamy:

$$\bar{F}(n) = \frac{\bar{F}(n-1) + \frac{T_p}{T_{f2}} F(n)}{1 + \frac{T_p}{T_{f2}}}$$

gdzie:

$\bar{F}(n)$ - uśredniona wartość klasyfikatora,

$F(n)$ - chwilowa wartość klasyfikatora w n-tym kroku symulacji,

T_{f2} - stała czasowa filtra uśredniającego.

Uśredniona wartość klasyfikatora \bar{F} posłuży do określenia rodzaju nadawy.

4. ROZPOZNAWANIE NADAWY W OPARCIU O KLASYFIKATOR

Istnieje wiele metod rozpoznawania sytuacji technologicznej. Analizę możliwości rozpoznawania nadawy przeprowadzimy dla dwóch przypadków: gdy znamy liczbę rodzajów nadawy oraz gdy nie jest ona znana. W przypadku pierwszym wystarczy znajomość średniej wartości klasyfikatora \bar{F}_k , dla k - tego rodzaju nadawy; w wypadku drugim niezbędna jest średnia wartość klasyfikatora \bar{F}_k i dopuszczalny uchyb e_k dla k-tej klasy nadawy.

Zakładając, że mamy N klas nadawy i każdej klasie nadawy numer k ($k = 1, 2, \dots, N$), to w pierwszym przypadku klasa nadawy będzie miała numer p, jeżeli

$$|\bar{F}_p - \bar{F}| = \text{Min } |\bar{F}_k - \bar{F}| \quad (9)$$

gdzie:

$$(k = 1, 2, \dots, N),$$

\bar{F} - uśredniona wartość klasyfikatora, obliczona na podstawie (8).

W drugim przypadku, klasa nadawy będzie miała numer p, jeżeli spełniony będzie warunek:

$$(\bar{F}_p - \bar{F}) \leq e_p \quad (10)$$

Gdy dla \bar{F} nie istnieje takie p, że spełniony jest warunek (10) można uważać, że pojawił się nowy rodzaj nadawy.

5. OKREŚLENIE LICZBY RODZAJÓW NADAWY

Podział nadawy na rodzaje (klasy) można przeprowadzić metodą funkcji potencjałowych. W tym celu należy wykonać długotrwałą obserwację procesu wzbogacania i wyznaczyć ciąg M chwilowych wartości identyfikatora nadawy $\{F(n)\}$, ($n = 1, 2, \dots, M$). Dla tego ciągu tworzymy macierz funkcji potencjałowych P_{ij} , określoną np. wzorem [2]:

$$P_{ij} = \frac{1}{1 + a[F(i) - F(j)]^2} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} i &= 1, 2, \dots, M-1 \\ j &= 2, 3, \dots, M, \end{aligned}$$

Szukamy takich wartości $F(n)$, które można zaliczyć do tej samej klasy K .

Dwie wartości klasyfikatora $|F(i)$, $|F(j)$ zostaną zaliczone do tej samej klasy, jeżeli zachodzi:

$$P_{ij} = \text{Max } P[F(i), F(j)] \quad (12)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, M$$

Z elementów $F(i), F(j)$ tworzymy klasę $K(i, j) = \{F(i), F(j)\}$. Liczba elementów ciągu $\{F(n)\}$ zmniejszyła się więc o jeden, czyli:

$$F(1), F(2), \dots, F(i-1), K(i, j), F(i+1), \dots, F(j-1), F(j+1), \dots, F(M).$$

Tworzymy nową macierz funkcji potencjałowych, przy czym wartości funkcji potencjałowych w kolumnie i i wierszu, odpowiadających klasie $K(i, j)$, oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$P[F(i), K] = \frac{1}{N_K} \sum_{F(n) \in K} P[(i), F(n)] \quad (13)$$

gdzie:

$P[F(i), K]$ - jest funkcją potencjałową i - tej wartości klasyfikatora względem klasy (rodzaju) K .

Wybieramy maksymalny element tej macierzy. W zależności od położenia tego elementu utworzy się nową klasę, lub klasa $K(i, j)$ powiększy się o jeden element. Postępując tak dalej łączymy pozostałe elementy w klasy. W każdym kroku (tworzenie nowej macierzy i szukanie maksimum) wyznaczamy wartość wyrażenia:

$$J(m) = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m P(K_s, K_s) - \frac{2}{m(m-1)} \sum_{s=1}^{m-1} \sum_{r=s+1}^m P(K_s, K_r), \quad (14)$$

gdzie:

m - liczba utworzonych klas (np. w pierwszym kroku $m = M$),
 s, r - numery utworzonych klas,

$$P(K_s, K_r) = \frac{1}{N_s N_r} \sum_{F(k) \in K_s} \sum_{F(l) \in K_r} P[F(k), F(l)] \quad (15)$$

N_s - liczba elementów $F(k)$ należących do klasy K_s ,

N_r - liczba elementów $F(l)$ należących do klasy K_r .

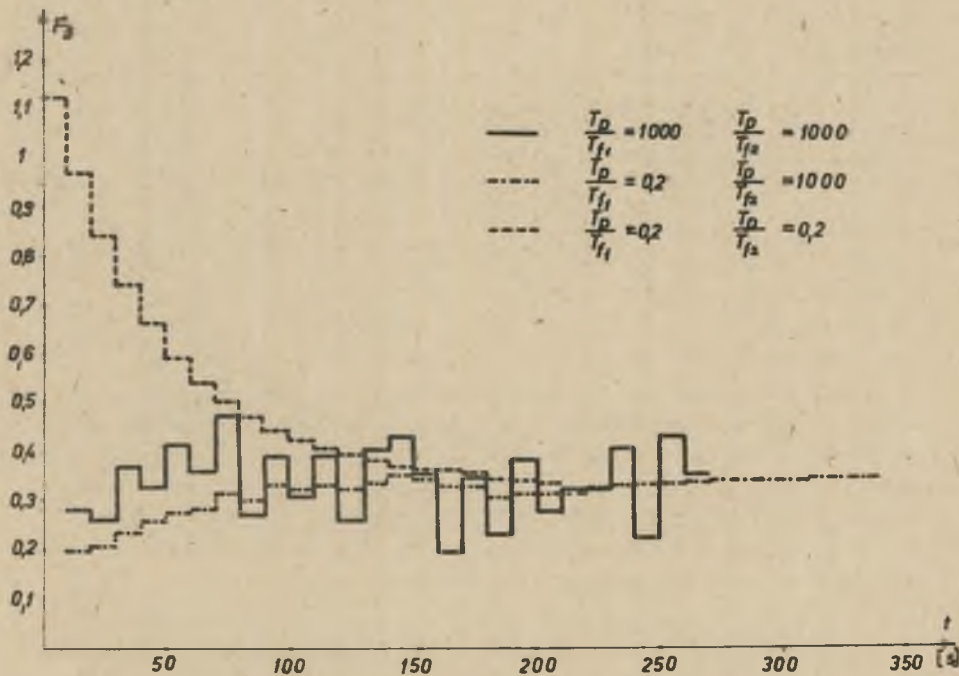
Liczba klas m , dla której wyrażenie (14) przyjmuje wartość maksymalną, uważa się za szukaną liczbę klas nadawy.

6. WYNIKI NIEKTÓRYCH ANALIZ ROZPOZNAWANIA NADAWY WYKONANYCH METODĄ SYMULACJI

Przeprowadzono badania rozpoznawania dla dwóch rodzajów nadawy. Nadawa została scharakteryzowana przez dane analizy densymetrycznej i zapozielenia poszczególnych frakcji oraz przez dane statystyczne w postaci wariancji zawartości frakcji i ich zapozielenia oraz współczynniki tłumienia funkcji autokorelacji przebiegu zawartości frakcji i ich zapozielenia.

Założono, że nadawa jest poddawana wzbogacaniu grawitacyjnemu przy gęstości cieczy ciężkiej 1.5 g/cm^3 .

Symulacja procesu wzbogacania przeprowadzona została zgodnie z modelem matematycznym, przedstawionym w pracy [3]. Przyjęto ponadto, że wskazania czujników strumieni obciążone są błędem przypadkowym o rozkładzie normalnym, o określonej wariancji D_{η} , a symulacja wskazań czujnika zapozielenia odbywa się zgodnie z modelem matematycznym, podanym w pracy [1]. Dla tak przyjętego modelu symulacyjnego można przeanalizować wpływ różnych parametrów systemu sterowania na prawdopodobieństwo prawidłowego rozpoznawania nadawy.



Rys. 1. Symulowany przebieg wartości identyfikatora F_3 w funkcji czasu t - przy zmianie rodzaju nadawy dla różnych stosunków $\frac{T_D}{T_{f1}}$ i $\frac{T_D}{T_{f2}}$

Na rys. 1 przedstawiono przebiegi identyfikatora F_3 , przy zmianie rodzaju nadawy dla różnych wartości stosunków $\frac{T_D}{T_f}$. Średnia wartość identyfikatora F_3 dla rodzaju nadawy K_1 wynosiła $F_3 = 1,12$, a dla rodzaju nadawy K_2 wynosi $F_3 = 0,316$. Jak widać, im mniejszą wartość na stosunek $\frac{T_D}{T_{f1}}$ oraz $\frac{T_D}{T_{f2}}$, tym mniejsze są wahania przebiegów klasyfikatorów wokół wartości średniej, natomiast wzrasta czas, po którym wartość klasyfikatora

zbliży się do wartości średniej. Istotne zatem znaczenie ma wybór stosunku $\frac{T_p}{T_{f1}}$, przy zadanym e_k z (10). Im mniejszy będzie dopuszczalny przedział zmian klasyfikatora e_k w danej klasie, tym mniejszy powinien być stosunek, a zatem czas rozpoznawania musi być większy.

Tabela 1.

PRAWDOPODOBIEŃSTWO ROZPOZNAWANIA NADAWY ZA POMOCĄ IDENTYFIKATORÓW F_1, F_2, F_3 .

$\frac{T_p}{T_{f1}}$	0,5	1	10	100	0,5	1	10	100
$\frac{T_p}{T_{f2}}$	0,5	1	10	100	∞	∞	∞	∞
P_1	0,923	0,83	0,655	0,61	0,797	0,797	0,61	0,435
P_2	1	1	0,9633	0,937	1	0,993	0,94	0,93
P_3	1	1	0,94	0,92	0,996	0,99	0,933	0,91

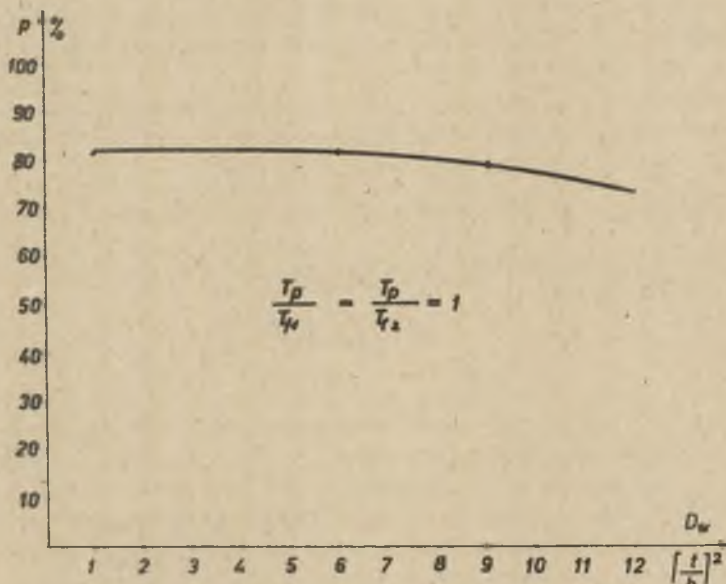
W tabeli 1 podano prawdopodobieństwa P_1, P_2, P_3 rozpoznawania nadawy za pomocą klasyfikatorów, odpowiednio F_1, F_2, F_3 , w funkcji $\frac{T_p}{T_f}$, przy określonej średnicy wartości klasyfikatora danego rodzaju $\frac{T_p}{T_f}$ nadawy. Natomiast w tabeli 2 podano prawdopodobieństwo P_3 , przy określonej średniej wartości klasyfikatora i dopuszczalnego uchybu e_k dla klasyfikatora F_3 . Jak widać klasyfikator o małej czułości F_1 charakteryzuje się znacznie mniejszym prawdopodobieństwem rozpoznania rodzaju nadawy.

Tabela 2.

PRAWDOPODOBIEŃSTWO ROZPOZNAWANIA NADAWY KLASYFIKATOREM F_3 PRZY RÓŻNYCH WARTOŚCIACH $\frac{T_p}{T_f}$ FILTRÓW UŚREDNIAJACYCH, PRZY OKREŚLONEJ ŚREDNIEJ WARTOŚCI KLASYFIKATORA F_3 I DOPUSZCZALNEGO UCHYBU e_k

$\frac{T_p}{T_{f1}}$	0,5	1	5	10	100
$\frac{T_p}{T_{f2}}$	0,5	1	5	10	100
P_3	1	1	0,96	0,94	0,91

Na rys. 2 przedstawiono zależność prawdopodobieństwa rozpoznawania od wariancji D_w uchybów wprowadzanych przez czujniki strumieni produktów wzbogacania. Jak widać prawdopodobieństwo to zaczyna się zmniejszać, przy wariancji równej około $8\left[\frac{\sigma}{\mu}\right]^2$. Z powyższego wynika, że metodą symulacji cyfrowej można badać algorytmy rozpoznawania rodzaju nadawy oraz wstępnie ocenić wpływ różnych parametrów systemu na prawdopodobieństwo jej identyfikacji.



Rys. 2. Zależność prawdopodobieństwa rozpoznawania rodzaju nadawy od dokładności czujników strumieni produktów wzbogacania.

LITERATURA

- [1] Cierpisz S.: Analiza układów regulacji z cyfrowymi miernikami promieniowania jądrowego. Archiwum Automatyki i Telemekhaniki 1966, nr 1.
- [2] Dorofiejuk A.A.: Algorytmy obuczenia maszyny rozpoznawaniu obrazów bez uczeniela, osnowanyje na metodie potencjalnych funkcji. Awtomatika i Tieliemiechanika 1966, nr 10.
- [3] Kalinowski K., Krasucki F., Błaszczynski S.: Probabilistyczny model procesu grawitacyjnego wzbogacania węgla. Materiały sympozjum nt. "Sterowanie optymalne procesami technologicznymi w górnictwie". Ustroń 1974.
- [4] Kalinowski K., Krasucki F.: Wybór funkcji identyfikującej nadawę dla automatycznego sterowania procesem wzbogacania węgla. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo, z.86, 1977.
- [5] Kulikowski J.: Cybernetyczne układy rozpoznające. PWN, Warszawa 1972.

СИМУЛЯЦИЯ ДИАГНОЗИРОВАНИЯ РОДА ИСХОДНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Резюме

В статье рассматривается вопрос диагностирования рода исходного питания на обогатительном заводе угля. Принято, что в системах оптимального управления обязательно следует определить род исходного питания. Задача может быть выполнена, опираясь на функцию идентифицирующую исходное питание, аргументы которой являются основными параметрами процессами обогащения. Дается метод определения числа родов /класс/ исходного питания. Рассматриваются результаты проведенных исходных исследований алгоритмов диагностирования методом цифровой симуляции.

Simulating Types of Material Fed for Automatic Control Systems

Summary

An analysis has been presented of recognition methods for materials fed in coal processing plants. It has been assumed that to optimize the process it is obligatory to recognize the feed. This can be attained by an identifying function. A method of determining the number /class/ of the feed has been described along with preliminary algorithm test results arrived at by numeric simulations.