ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
Seria: AUTOMATYKA z. 125 Nr kol. 1391

Longin STOLC
Politechnika Gdańska

ZASTOSOWANIE LOGIKI ROZMYTEJ DO IDENTYFIKACJI SKŁADU POCIĄGU W RUCHU

Streszczenie. Omawiane jest zagadnienie, w którym występuje połączenie obiektów - pojazdów torowych (przypadkowe z punktu widzenia obserwatora identyfikującego układ). Przedstawiono metodę określania składu pociągu oraz wyznaczania na podstawie przybliżonego pomiaru odległości pomiędzy osiami sposobu łączenia obiektów oraz ich typów wchodzących w skład pociągu.

APPLICATION OF FUZZY LOGIC TO IDENTIFICATION OF CARRIAGES COMPOSITION IN MOTION

Summary. A problem of random composition of different carriages from a point of view an observer identifying it is considered. A method of an interconnection structure and carriage types specification based on a approximate evaluation of distances between axles is presented.

1. Sformułowanie problemu

W przypadkach pomiarów stanu obciążenia, prawidłowości rozkładu ładunków oraz badania jego przemieszczenia w trakcie transportu istotna jest estymacja nacisków kół w trakcie ruchu pociągu, jak i identyfikacja jego składu. W [3] przedstawiono metodykę pomiaru odległości, nacisków jak i algorytmy estymacji nacisków średnich.

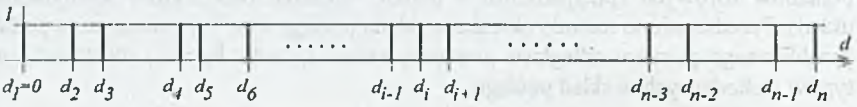
W pracy przyjmuje się przypadkowe połączenie obiektów - pojazdów szynowych (z punktu widzenia obserwatora identyfikującego skład pociągu - stanowiska pomiarowe na szlaku). Istnieje zatem konieczność wyznaczenia struktury (składu) pociągu bez posiadania informacji o sposobie jego łączenia oraz rodzaju obiektów składowych. Powstaje pytanie, jak określić strukturę połączenia oraz wyznaczyć na podstawie pomiaru pewnych wielkości charakterystycznych, sposób (zasadę) łączenia oraz typy obiektów składowych układu (rodzaje wagonów w składzie pociągu).

Przyjmijmy dalej, że pomiar pozwala na określenie, czy w punkcie pomiarowym w trakcie ruchu znajduje się oś pociągu. Należy to rozumieć jako określanie ciągu wartości „odległości" kolejnych sygnałów binarnych, opisujących stan badanego układu. Pomiary dokonywane są w sposób ciągły w czasie przy jednoczesnym pomiarze prędkości - odstępy pomiędzy występowaniem sygnału "*1*" można zdefiniować jako odległości pomiędzy poszczególnymi osiami identyfikowanego składu.

Zgodnie z powyższym pomiary dla całego pociągu dane są ciągiem odległości:

$$d_i = d_1, d_2, \ldots, d_n, \qquad d_1 = 0, \tag{1}$$

co przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Ciąg pomiarów - "odległości" pomiędzy binarnymi punktami pomiarowymi
Fig. 1. The measure sequence - "distances" between binary measure points

Znając, na podstawie ciągu (1), odległości pomiędzy kolejnymi punktami "*i*" oraz "*i+1*" można wyznaczyć zbiór odległości pomiędzy sąsiednimi osiami w identyfikowanym składzie pociągu:

$$\Delta d_i \in \{\Delta d_1, \Delta d_2, \ldots, \Delta d_{n-1}\}, \quad \Delta d_i = d_{i+1} - d_i \tag{2}$$

Ciąg pomiarowy (1), a więc i zbiór odległości (2) obarczone są błędami pomiarowymi. Dla danych pomiarowych istnieje zbyt mało informacji, aby można było określić rozkłady prawdopodobieństwa błędu pomiarowego. Jedynie znana jest maksymalna odchyłka $\pm\Delta$ oraz wiadomo, że błędy kumulują się w otoczeniu wartości zerowej.

Przy łączeniu obiektów istnieje dopuszczalna tolerancja odległości pomiędzy ostatnią osią obiektu poprzedzającego a pierwszą obiektu następnego. Tolerancje te są różne (dokładność sprzęgu oraz stan pracy lokomotywy) i wynoszą odpowiednio: Δ^- - maksymalne dopuszczalne zmniejszenie odległości, Δ^+ - maksymalne dopuszczalne zwiększenie odległości dla osi skrajnych łączonych obiektów.

Dla celów identyfikacji przyjęto sztuczne założenie, że pomiary odległości pomiędzy kolejnymi osiami w identyfikowanym układzie określone są dokładnie. Błędy pomiarowe przeniesione są na modele obiektów składowych oraz połączenie pomiędzy obiektami.

Ze względu na charakter danych pomiarowych obiekty opisane są za pomocą modeli rozmytych. Podobnie opisywane jest połączenie między obiektami.

Obiekty występujące w identyfikowanym układzie mogą należeć do różnych grup. Jako grupę Γ_k rozumie się zbiór obiektów posiadających k osi (nazywanych dalej cechami mierzalnymi).

Problem identyfikacji kolejności połączeń obiektów można przedstawić:

- na podstawie zbioru pomierzonych odległości pomiędzy poszczególnymi cechami (osiami) $\{\Delta d_1, \Delta d_2, \ldots, \Delta d_{n-1}\}$ określić grupy Γ_k dla kolejnych obiektów,
- znając grupę Γ_k, do której należy kolejny identyfikowany obiekt, określić jego typ.

Obiekty ze wszystkich grup należą do pewnej klasy o charakterystycznych dla pojazdów kolejowych odległościach pomiędzy osiami (cechami).

2. Rozmyte modele obiektów oraz połączeń

W układzie szeregowo połączonych obiektów występować mogą obiekty należące do określonej klasy. Dla obiektów tych spełnione muszą być warunki nienakładania się cech (osi). Oznacza to, że pomiędzy dwoma różnymi cechami "i" oraz "j" odległość jest różna od zera:

$$\underset{i \neq j}{\forall} l_{i,j} = l_j - l_i \neq 0 \quad \Rightarrow \quad \underset{i<j}{\forall} l_{i,j} = l_j - l_i > 0 \tag{3}$$

Ponadto, omawiana klasa obiektów dzielona jest na grupy. Do określonej grupy zaliczamy obiekty podobne, czyli wszystkie posiadające jednakową liczbę cech (liczba osi). Zbiór Γ_k zawiera wszystkie obiekty posiadające k cech. Dla każdej grupy określone są odległości (konstrukcyjne) pomiędzy mierzonymi cechami (odległości pomiędzy osiami).

Każdą grupę Γ_k rozbija się na dwie podgrupy:

$\Gamma_k^{(s)}$ - podgrupa obiektów o k cechach rozłożonych symetrycznie:

$$\underset{\gamma_k \in \Gamma_k^{(s)}}{\forall} \; \underset{i=1..k/2}{\forall} l_{k-i} = l_i, \tag{4}$$

$\Gamma_k^{(n)}$ - podgrupa obiektów o k cechach rozłożonych niesymetrycznie:

$$\underset{\gamma_k \in \Gamma_k^{(n)}}{\forall} \; \underset{i=0,\ldots,k}{\exists} l_{k-i} \neq l_i, \tag{5}$$

gdzie: γ_k - obiekt γ posiadający k cech (pojazd k-osiowy).

Dla podgrup oczywiście zachodzi:

$$\Gamma_k^{(s)} \cap \Gamma_k^{(n)} = \emptyset, \quad \Gamma_k^{(s)} \cup \Gamma_k^{(n)} = \Gamma_k \tag{6}$$

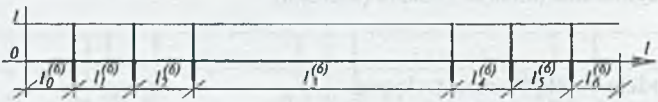
Podział grupy Γ_k na podgrupę symetryczną $\Gamma_k^{(s)}$ oraz niesymetryczną $\Gamma_k^{(n)}$ związany jest z określeniem kierunku ustawienia obiektu. W przypadku obiektów symetrycznych kierunek ustawienia nie jest rozróżniany.

W przypadku obiektów różnych, ale posiadających identyczne odległości pomiędzy cechami mierzonymi, przyjmuje się, że obiekty są tożsame.

Obiekty mogące wchodzić w skład układu określa zbiór Γ:

$$\Gamma = \bigcup_k \Gamma_k = \bigcup_k \left(\Gamma_k^{(s)} \cup \Gamma_k^{(n)} \right) \tag{7}$$

Dla obiektów należących do grupy Γ_k, k=6 określone są odległości:



Rys. 2. Rozkład punktów charakterystycznych i odległości l_i dla grupy Γ_6

Fig. 2. The distribution of characteristic points and distances l_i for the group Γ_6

Zarówno dla obiektów symetrycznych, jak i dla niesymetrycznych w grupie Γ_6 zachodzi:

- Odległości między cechami z wyłączeniem odległości środkowej są porównywalne (rys. 2):

$$l_{min} \le l_1^{(6)} \approx l_2^{(6)} \approx l_4^{(6)} \approx l_5^{(6)} \le l_{max} \tag{8}$$

gdzie: l_{min}, l_{max} - zakres dopuszczalny odległości między cechami w (8).

- Odległość pomiędzy cechami środkowymi jest zasadniczo większa od odległości pomiędzy cechami pozostałymi:

$$\frac{l_3^{(6)}}{l_1^{(6)}} \approx \frac{l_3^{(6)}}{l_2^{(6)}} \approx \frac{l_3^{(6)}}{l_4^{(6)}} \approx \frac{l_3^{(6)}}{l_5^{(6)}} \ge k, \quad np.\ k \ge 1.3 \tag{9}$$

- Na odległości cech skrajnych od brzegu obiektu nie wprowadza się ograniczeń. Odległości te mają zasadnicze znaczenie przy określaniu kierunku ustawienia obiektu. Dla obiektów symetrycznych oczywiście jest $l_0^{(6)} = l_6^{(6)}$ itd.

- Na odległości cech skrajnych od brzegu obiektu nie ma ograniczeń.

Podobnie określone są warunki dla innych grup Γ_k ($k \neq 6$).

Jak zaznaczono wcześniej, pomiary odległości zawarte w zbiorze opisanym przez (2) obarczone są błędami. Zgodnie ze sztucznym założeniem, że pomiary dokonywane są dokładnie, błędy przeniesione są na modele obiektów.

Ze względu na ograniczoną informację o błędach dalej przyjmuje się rozmyty opis obiektów. Dla błędu pomiaru przyjmuje się opis liczbą rozmytą typu **LR** (rys. 3a):

$$\tilde{\delta} = (-\Delta, 0, \Delta)_{LR} \tag{10}$$

Dla operacji arytmetycznych na liczbach rozmytych przyjęto arytmetykę typu ***minmax*** [1,2]. Wartość rzeczywista odległości pomiędzy cechami jest wielkością zdeterminowaną (rys. 3b) i wynosi l_i. Postać rozmyta odległości określona jest sumą (rys. 3c):

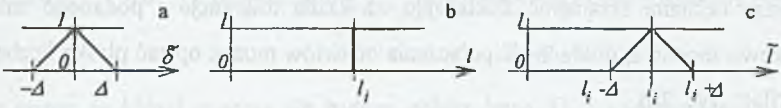
$$\tilde{l}_i = (l_i \oplus \tilde{\delta})_{minmax} = (l_i - \Delta, l_i, l_i + \Delta)_{LR} \tag{11}$$

Powyżej jak i dalej (jeśli nie użyto innego operatora arytmetycznego) oznaczenia określają:

$\tilde{l}_i = (l_i \oplus \tilde{\delta})_{minmax}$ - operacja sumowania w arytmetyce *minmax*,

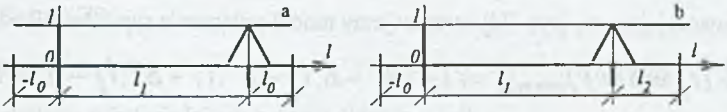
$(l_i - \Delta, l_i, l_i + \Delta)_{LR}$ - liczba rozmyta typu LR (rys. 3),

l_i - liczba zdeterminowana, $\tilde{l}_i$ - liczba rozmyta.

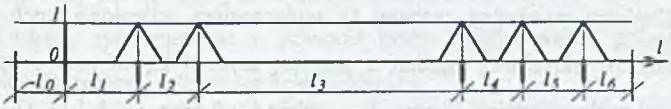


Rys. 3. Funkcja charakterystyczna odległości pomiędzy cechami obiektu:
a) błąd pomiaru, b) odległość katalogowa, c) odległość rozmyta (LR)
Fig. 3. The characteristic function of distances between an object feature:
a) measure error, b) catalogue distance, c) fuzzy distance (LR)

Przy opisie obiektów jako punkt odniesienia (zero) przyjęto położenie pierwszej cechy (osi). Dla cechy tej opis jest zdeterminowany. Oczywiście, w przypadku odwrócenia obiektów (istotne dla obiektów niesymetrycznych) zdeterminowane jest położenie cechy ostatniej. Interpretację graficzną przykładowych obiektów rozmytych grup Γ_2 oraz Γ_6 przedstawiono na rys. 4 oraz 5.

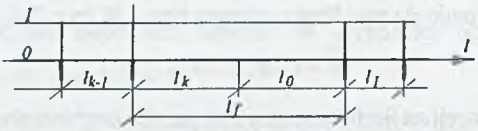


Rys. 4. Modele rozmyte z grupy Γ_2: a) - symetryczne, b) - niesymetryczne
Fig. 4. Fuzzy models of the group Γ_2: a) - symmetric, b) - non-symmetric



Rys. 5. Model rozmyty obiektu z grupy Γ_6
Fig. 5. The fuzzy model of an object in the group Γ_6

Rozpatrzmy teraz model połączenia obiektów (rys. 6).



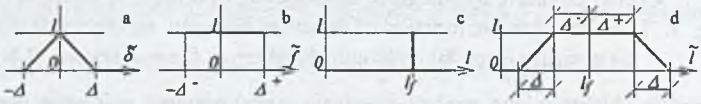
Rys. 6. Połączenie obiektów l_f - odległość pomiędzy cechami skrajnymi obiektów

Fig. 6. The linkages of objects l_f - the distanceodle between terminal features of objects

Odległości opisujące położenie cech skrajnych od końców obiektów, występujące w modelach grupy Γ_k $(l_0$ *oraz* $l_k)$, nie są bezpośrednio mierzone. Z pomiaru uzyskiwana jest wartość określająca łączną odległość pomiędzy cechami skrajnymi połączonych obiektów l_f.

Odległość w połączeniu obarczona jest błędami dwojakiego rodzaju:

- Dokładność wykonania połączenia określona przez Δ^- oraz Δ^+ określona odległością pomiędzy cechami skrajnymi. Zakładając, że każda tolerancja z podanego zakresu jest jednakowo możliwa, dokładność połączenia obiektów można opisać płaską liczbą rozmytą typu "flat" (rys. 7b).
- Błąd pomiaru odległości opisany liczbą LR podobnie jak dla cech wewnętrznych (rys. 7).



Rys. 7. Funkcja charakterystyczna dla odległości pomiędzy cechami skrajnymi: a) błąd pomiaru (LR), b) tolerancja połączenia (flat), c) odległość teoretyczna cech skrajnych, d) odległość rozmyta (flat LR) dla cech skrajnych

Fig. 7. The membership function for distances between teminal featuress: a) measure error (LR), b) linkage telerance (flat), c) theoretical distance for terminal features, d) fuzzy distance (flat LR) for terminal feature

Wyznaczając sumę (rys. 7d) otrzymujemy model połączenia typu flat LR:

$$\tilde{l}_f = (l_f \oplus \tilde{\delta} \oplus \tilde{f})_{min\,max} = (l_f - \Delta^- - \Delta, l_f - \Delta^-, l_f + \Delta^+, l_f + \Delta^+ + \Delta)_{LR}, \quad (12)$$

gdzie $l_f = l_k + l_0$ - suma dokładnych (teoretycznych, projektowych) odległości cech skrajnych od końców łączonych obiektów (rys. 6 oraz 7c).

Dla odległości pomiędzy cechami (z wyłączeniem odległości cech skrajnych) dla wszystkich obiektów określono, zgodnie z przyjętą arytmetyką *minmax* i opisem typu *LR*, ilorazy odległości cech sąsiednich l_i oraz l_{i+1}, gdzie $i > 0$ oraz $i < k$-1 [1,2]:

$$\tilde{q}_i = \left(\tilde{l}_{i+1} \otimes \frac{1}{\tilde{l}_i} \right)_{min\,max} = (q_i - \Delta_i^-, q_i, q_i + \Delta_i^+)_{LR} \tag{13}$$

Oczywiście dla grupy Γ_2 ilorazy określone przez (13) nie występują.

3. Podstawowe reguły identyfikacji

Problem identyfikacji, jak wspomniano wcześniej, rozwiązywany jest sekwencyjnie, począwszy od obiektu pierwszego. W trakcie identyfikacji postępowanie dla każdego obiektu jest dwuetapowe:

Etap 1

Na podstawie ciągu pomierzonych odległości pomiędzy poszczególnymi cechami $\{\Delta d_1, \Delta d_2, \ldots, \Delta d_{n-1}\}$ określić grupę Γ_k, do której należy identyfikowany obiekt.

Etap 2

Znając grupę, w której zawiera się badany obiekt (etap 1), wyznaczyć podgrupę $\Gamma_k^{(*)}$ (symetryczny, niesymetryczny) oraz określić typ obiektu γ w podgrupie $\left(\gamma \in \Gamma_k^{(*)}\right)$.

W trakcie identyfikacji może nastąpić utrata synchronizmu. Z przypadkiem tym mamy do czynienia, gdy kolejny identyfikowany obiekt nie posiada odpowiednika w zbiorze modeli obiektów Γ. Sytuacja ta występuje, gdy:

- W układzie wystąpił obiekt niezdefiniowanej grupy Γ_k, czyli:

$$\gamma \in \Gamma_k, \quad \Gamma_k \not\subset \Gamma \tag{14}$$

Utrata synchronizacji spowodowana przypadkiem (14) nazywana będzie GUO (Global Unidentified Object).

- Badany obiekt spełnia warunki grupy Γ_k (w etapie 1 określono grupę), jednak w grupie tej nie określono odpowiedniego modelu obiektu, czyli:

$$\Gamma_k \subset \Gamma, \quad \gamma \notin \Gamma_k \tag{15}$$

Przypadek ten nazywać będziemy LUO (Local Unidentified Object).

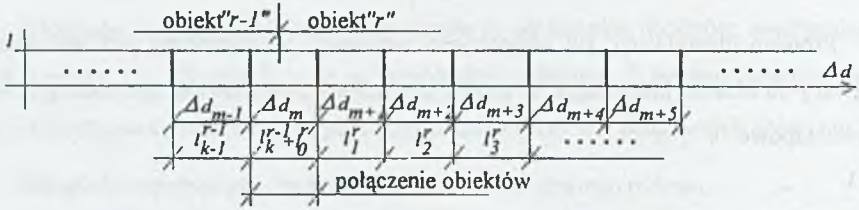
Jeśli nastąpiła utrata synchronizmu z powodu braku zdefiniowania grupy (14), proces identyfikacji przeprowadzany jest od ostatniego obiektu.

W przypadku identyfikacji od końca (jeśli w trakcie identyfikacji od początku natrafiono na obiekt GUO), proces kontynuowany jest do obiektu GUO, przy którym nastąpiła

utrata synchronizmu lub wcześniej, jeśli w układzie występowały jeszcze inne dalej występujące obiekty GUO.

W przypadku utraty synchronizacji LUO proces prowadzony jest dalej z informacją o tym, do jakiej grupy należałby obiekt, oraz o braku możliwości określenia jego typu.

Niech zidentyfikowanych jest *r-1* obiektów opisanych pierwszymi *m-1* pomiarami zawartymi w zbiorze (2). Następny obiekt określony jest pomiarami od Δd_m.



Rys. 8. Odległości dla obiektów *"r-1"* oraz *"r"*
Fig. 8. The distances for objects *"r-1"* and *"r"*

Algorytm identyfikacji można przedstawić (dla grup Γ_2 i Γ_4):

- **Określenie grupy Γ_k:**

1. Jeśli:

$$\Delta d_{m+1} \notin \{l_{min}, l_{max}\} \wedge \underset{\gamma \in \Gamma_2}{\exists} \mu^{\gamma}_{l_1}(\Delta d_{m+1}) \neq 0 \Rightarrow \Gamma_2, \tag{16}$$

gdzie: $\mu^{\gamma}_{l_1}(\Delta d_{m+1})$ - funkcja przynależności (11) odległości l_1 obiektu γ,

wówczas obiekt należy i opisany jest w grupie Γ_2.

2. Jeśli:

$$\Delta d_{m+1} \notin \{l_{min}, l_{max}\} \wedge \underset{\gamma \in \Gamma_2}{\forall} \mu^{\gamma}_{l_1}(\Delta d_{m+1}) = 0 \Rightarrow \Gamma_2, \tag{17}$$

wówczas obiekt należy do grupy Γ_2, jednak nie jest w niej opisany (**LUO**).

3. Jeśli nie zachodzi (16) i (17) i ponadto:

$$\begin{gathered}(\Delta d_{m+1} \in \{l_{min}, l_{max}\}) \wedge (\Delta d_{m+2} \geq k\Delta d_{m+1}) \wedge \\ \underset{\gamma \in \Gamma_4}{\exists} \left(\mu^{\gamma}_{l_1}(\Delta d_{m+1}) \neq 0 \wedge \mu^{\gamma}_{l_2}(\Delta d_{m+2}) \neq 0\right) \Rightarrow \Gamma_4,\end{gathered} \tag{18}$$

gdzie: k - mnożnik określony w (9),

wówczas obiekt należy i opisany jest w grupie Γ_4.

4. Jeśli nie zachodzi (16) i (17) i ponadto:

$$\left(\Delta d_{m+1} \in \{l_{min}, l_{max}\}\right) \wedge \left(\Delta d_{m+2} \geq k\Delta d_{m+1}\right) \wedge \\ \underset{\gamma \in \Gamma_4}{\forall} \left(\mu^{\gamma}_{l_1}(\Delta d_{m+1}) = 0 \vee \mu^{\gamma}_{l_2}(\Delta d_{m+2}) = 0\right) \Rightarrow \Gamma_4, \tag{19}$$

wówczas obiekt należy do grupy Γ_4, jednak nie jest w niej opisany (**LUO**).

Postępowanie powyższe daje się uogólnić na dowolną grupę Γ_k.

Jeśli nie określono grupy do k-2 cech i zachodzi:

$$\underset{i=1,\ldots,\frac{k}{2}-1}{\forall} \left(\left(\Delta d_{m+i} \in \{l_{min}, l_{max}\}\right) \wedge \left(\Delta d_{m+\frac{k}{2}} \geq k\Delta d_{m+i}\right)\right) \wedge \\ \underset{\gamma \in \Gamma_k}{\exists} \left(\underset{i=1,\ldots,\frac{k}{2}}{\forall} \left(\mu^{\gamma}_{l_i}(\Delta d_{m+i}) \neq 0\right)\right) \Rightarrow \Gamma_k \tag{20}$$

wówczas obiekt należy i opisany jest w grupie Γ_k.

Jeśli nie określono grupy do k-2 cech i zachodzi:

$$\underset{i=1,\ldots,\frac{k}{2}-1}{\forall} \left(\left(\Delta d_{m+i} \in \{l_{min}, l_{max}\}\right) \wedge \left(\Delta d_{m+\frac{k}{2}} \geq k\Delta d_{m+i}\right)\right) \wedge \\ \underset{\gamma \in \Gamma_k}{\forall} \left(\underset{i=1,\ldots,\frac{k}{2}}{\exists} \left(\mu^{\gamma}_{l_i}(\Delta d_{m+i}) = 0\right)\right) \Rightarrow \Gamma_k \tag{21}$$

wówczas obiekt należy do grupy Γ_k, jednak nie jest w niej opisany (**LUO**).

W celu stwierdzenia, czy identyfikowany obiekt zawiera się w zbiorze obiektów symetrycznych $\Gamma_k^{(s)}$, czy niesymetrycznych $\Gamma_k^{(n)}$, badane są ilorazy odległości przeciwległych:

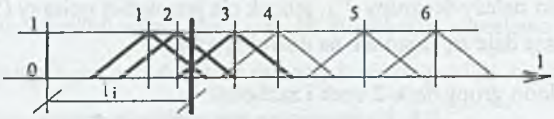
$$\prod_{i=1}^{k/2-1} \left(\frac{\Delta d_{m+k-i}}{\Delta d_{m+i}}\right) \approx 1 \rightarrow \gamma \in \Gamma_k^{(s)}, \tag{22}$$

w przeciwnym razie obiekt traktowany jest jako niesymetryczny $\gamma \in \Gamma_k^{(n)}$.

- **Określenie obiektu γ w zidentyfikowanej grupie Γ_k:**

W pierwszym kroku dla kolejnego identyfikowanego obiektu eliminowane są ze zbioru opisującego wcześniej określoną grupę Γ_k obiekty, dla których odległość z pomiaru nie zawiera się w zakresie opisu rozmytego (rys. 9).

$$\exists_{\gamma\in\Gamma_k}\left(\exists_{i\in\{1,\ldots,k-1\}}\mu^{\gamma}_{l_i}(\Delta d_{m+i})=0\right)\rightarrow\Gamma_k-\{\gamma\}. \tag{23}$$



Rys. 9. Złożenie odległości dla cechy "i"
Fig. 9. Composition of distances for feature "i"

Pozostałe obiekty identyfikowane są na podstawie wartości funkcji charakterystycznej.

1. Jeśli określono grupę $\Gamma_k=\Gamma_2$ zawierającą obiekt, typ obiektu wybierany jest zgodnie z:

$$\max_{\gamma\in\Gamma_2}\left\{\mu^{\gamma}_{l_1}(\Delta d_{m+1})\right\}=\mu_{max}\Rightarrow\gamma_o \tag{24}$$

2. Jeśli określono grupę Γ_k ($k=4, 6, \ldots$) zawierającą obiekt zgodnie z (18) czy ogólnie (20), typ obiektu wybierany jest na podstawie miary łącznej:

$$\max_{\gamma\in\Gamma_k}\left\{\prod_{i=1}^{k-1}\mu^{\gamma}_{l_i}(\Delta d_{m+i})\right\}=\mu_{max}\Rightarrow\gamma_o \tag{25}$$

W przypadku gdy w grupie Γ_k występują obiekty zbliżone, to znaczy dla wykonanych pomiarów miary łączne określone przez (25) różnią się nieznacznie:

$$\forall_{\gamma\in\Gamma_o\subset\Gamma_k}\left\{\prod_{i=1}^{k-1}\mu^{\gamma}_{l_i}(\Delta d_{m+i})\right\}\in\left[\mu_{max}-\rho,\mu_{max}+\rho\right], \tag{26}$$

gdzie $\pm\rho$ - przyjęty zakres niejednoznaczności,

wyboru dokonujemy uwzględniając rozmyte ilorazy cech sąsiednich (13):

$$\forall_{\gamma\in\Gamma_o\subset\Gamma_k}\left\{\prod_{i=1}^{k-2}\mu^{\gamma}_{i}(\bar{q}_i)\right\}=\forall_{\gamma\in\Gamma_o\subset\Gamma_k}\left\{\prod_{i=1}^{k-2}\mu^{\gamma}_{q_i}\left(\frac{\Delta d_{m+i+1}}{\Delta d_{m+i}}\right)\right\}, \tag{27}$$

co prowadzi do reguły:

$$\max_{\gamma\in\Gamma_o\subset\Gamma_k}\left\{\prod_{i=1}^{k-2}\mu^{\gamma}_{q_i}\left(\frac{\Delta d_{m+i+1}}{\Delta d_{m+i}}\right)\right\}\rightarrow\gamma_o \tag{28}$$

Jeśli poszukiwania obiektu na podstawie łącznej miary odległości (25) oraz miary ilorazów cech sąsiednich (28) w dalszym ciągu nie rozstrzygają jednoznacznie jego typu (stanowią podzbiór Γ_* ($\Gamma_*\subset\Gamma_o\subset\Gamma_k$), czyli:

$$\underset{\gamma \in \Gamma_* \subset \Gamma_o}{\forall} \left\{ \prod_{i=1}^{k-1} \mu_{q_i}^{\gamma} \left(\frac{\Delta d_{m+i+1}}{\Delta d_{m+i}} \right) \right\} \in \left[\mu_{max} - \rho, \mu_{max} + \rho \right], \tag{29}$$

gdzie $\pm\rho$ - jak wcześniej przyjęty zakres niejednoznaczności,

wówczas poszukiwanie obiektu przeprowadza się na podstawie modelu połączenia.

Jeśli na podstawie modelu (11) (rys. 9) można określić jeden obiekt γ^*, dla którego zachodzi:

$$\max_{\gamma \in \Gamma_* \subset \Gamma_o} \left\{ \mu_{l_f}^{\gamma_{r-1}\gamma} (\Delta d_m) \right\} \rightarrow \gamma^*, \quad \tilde{l}_f = \tilde{l}_k^{r-1} \oplus \tilde{l}_0^{\gamma}, \tag{30}$$

gdzie: $\mu_{l_f}^{\gamma_{r-1}\gamma} (\Delta d_m)$ - funkcja charakterystyczna połączenia (12) typu flatLR,

$\tilde{l}_f$ - rozmyta długość połączenia,

$\tilde{l}_k^{r-1}$ - odległość ostatniej cechy skrajnej zidentyfikowanego obiektu $r-1$,

$\tilde{l}_0^{\gamma}$ - odległość pierwszej cechy skrajnej identyfikowanego obiektu γ,

wówczas przyjmowany jest obiekt γ^*.

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono metodę oraz reguły decyzyjne przy identyfikacji szeregowego połączenia obiektów o charakterystycznym rozkładzie (odległości) cech mierzonych. Obiekty o takich własnościach występują przy opisie i połączeniu typowych obiektów wchodzących w skład zestawów kolejowych. - identyfikacja liczby i rozkładu osi, typu wagonu, itp. [3].

Przedstawione algorytmy z powodzeniem zastosowano do identyfikacji składu zestawów kolejowych (głównie towarowych) przy badaniu rozkładu ładunków, stanu załadowania jak i stanu technicznego pojazdów w trakcie ruchu [4]. Na podstawie dodatkowych pomiarów (wraz z odległościami pomiar nacisków) i ich przetworzeniu (estymacja parametrów takich, jak: częstotliwość drgań własnych, amplituda, tłumienie itp), możliwa jest eliminacja z ruchu pojazdów niesprawnych.

Przedstawione modele rozmyte obiektów jak i algorytmy ich identyfikacji mogą zostać rozbudowane na inne obiekty oraz zastosowane do identyfikacji innych obiektów.
Innym kryteriom podlegać będą obiekty wieloczłonowe o wspólnych wózkach (brak sprzęgu pomiędzy obiektami - jeden wózek k-osiowy). Dla obiektów tego typu należy zdefiniować

nowe zbiory Γ_k, np. Γ_k^n - czyli obiekt złożony z n członów opartych na wspólnych wózkach k-osiowych (zgodnie z podanymi regułami dla tego typu obiektów wystąpi sygnalizacja GUO).

LITERATURA

1. Dubois D., Prade H.: Fuzzy sets and systems, Theory and applications, Academic Press, New York 1980.
2. Zadeh L. A.,Fuzzy sets, Inf. Sci., No.8, p.199, 1975.
3. Stolc L.: Identyfikacja typów pojazdów w zestawie z zastosowaniem logiki rozmytej, Materiały XIII Ogólnopolskiej Konferencji nt.: Polioptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania, Kołobrzeg, 1995.
4. Stolc L.: Diagnostyka rozkładu ładunków w zestawie szeregowo połączonych obiektów, Materiały I Krajowej Konferencji nt: Diagnostyka Procesów Przemysłowych, Podkowa Leśna 1996.

Recenzent: Dr hab.inż. Konrad Wojciechowski, prof.Pol.Śl.

Abstract

In the study a method of an identification problem solving for a sequence composition of carriages including an identification of carriages types based on a measurement of distances between carriage axles is presented. A sequence of measurement data concerning axles distances is disturbed, however for the identification procedure an artificial assumption that the measured axles distances are exact was made. Measurement errors are transformed onto component object models and interconnections between them. Due to a character of measurement data both the objects and the interconnections are described using fuzzy models. The objects in the composition can belong to different groups. Such a group should be understood as a set of objects with a given measurable features (axles). The identification leads to a group specification and therefore a type of carriage qualification.
The identification method is based on fuzzy decision rules.