

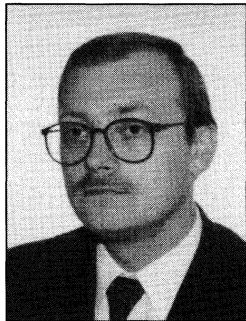
**Ryszard SROKA<sup>1</sup>**

ZAKŁAD METROLOGII AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ W KRAKOWIE

**Fuzja danych w zastosowaniach pomiarowych**

Dr inż. Ryszard SROKA

Ukończył studia na wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki AGH w Krakowie w 1989 r. W 1995 r. uzyskał stopień doktora na tym samym wydziale. Autor ponad 50 prac naukowych w tym jednej monografii z zakresu pomiarów i modelowania systemów pomiarowych, analizy właściwości i konstrukcji czujników pomiarowych, analizy i przetwarzania sygnałów oraz pomiarów parametrów ruchu drogowego. Pracuje jako adiunkt w Zakładzie Metrologii AGH w Krakowie.

**Streszczenie**

W pracy przedstawiono podstawowe informacje dotyczące procesu fuzji danych, możliwości zastosowania fuzji w różnych dziedzinach działalności człowieka oraz zaproponowano ogólną definicję tego procesu. Przedstawiono również model i architektury, które umożliwiają jego realizację, a także możliwości zastosowania procesu fuzji danych w pomiarach oraz przykład ilustrujący wynikające stąd korzyści.

**Abstract**

The paper presents basic information on data fusion process. The universal definition, model, different kinds of architecture, and the collection of potential applications of such process in different human activity are presented. The possibilities of data fusion in measurement applications, example and advantages of such process are also shown in the paper.

**1. Wstęp**

Praca ta ma na celu przybliżenie Czytelnikowi nazewnictwa, definicji, struktur (architektur) związanych z procesem fuzji danych, modelu tego procesu oraz możliwych zastosowań, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zastosowania metrologiczne.

Fuzja danych pomiarowych pochodzących z wielu czujników nie jest koncepcją nową, ani nieznaną. Organizmy żywe rozwinęły zdolność używania wielu zmysłów równocześnie, w celu osiągnięcia większej dokładności oceny i interpretacji otaczających zjawisk i obiektów, identyfikacji zagrożeń, zwiększenia własnego bezpieczeństwa, zdobycia i oceny jakości pożywienia, itp.

Fuzja danych jest technicznie realizowaną analogią procesu poznawczego, który odbywa się w mózgu człowieka, poprzez przetwarzanie i integrowanie danych napływających w sposób ciągły z receptorów (wzrok, słuch, smak, powonienie i dotyk), w celu wnioskowania o obiektach i zdarzeniach pojawiających się w świecie zewnętrznym. W mózgu człowieka asocjacja i integracja tych danych zachodzi w sposób naturalny, dzięki zgromadzonej przez lata wiedzy, doświadczeniu i nabytym umiejętnościom.

O ile koncepcja fuzji danych nie jest nowa, to pojawienie się nowych typów czujników, zaawansowanych technik przetwarzania, zwiększenie możliwości sprzętu obliczeniowego i oprogramowania, umożliwi realizację fuzji danych w czasie rzeczywistym [1] oraz daje możliwość programowej emulacji naturalnych zachowań człowieka w celu łączenia informacji (logika rozmyta, sieci neuronowe itp.).

Proces fuzji danych związany jest zazwyczaj z systemami wieloczujnikowymi lub jednoczujnikowymi, ale za to wieloparametrycznymi (np. nietoperz wykorzystując tylko „czujnik” ultradźwiękowy jest w stanie zidentyfikować swoją potencjalną ofiarę poprzez kombinację parametrów uwzględniających jej wielkość, fakturę (poro-

woatość powierzchni) oraz zachowanie kinematyczne). Zastosowanie większej liczby czujników ma za zadanie polepszenie jakości systemów pomiarowych, zmniejszenie niepewności pomiaru i uczynienie tych systemów bardziej odpornymi na zmiany zachodzące w obiekcie oraz w jego otoczeniu [7] [8]. Z tego punktu widzenia istotne jest, aby wybierać do pomiaru wielkości fizyczne wzajemnie niezależne i komplementarne.

Fuzja danych nie jest jednak dyscypliną sformalizowaną w takim sensie jak np. przetwarzanie sygnałów, gdzie terminologia, czy zbiór stosowanych technik jest dobrze zdefiniowany. Fuzję danych należy raczej traktować jako pewien elastycznie dobierany zestaw algorytmów i technik w celu rozwiązywania różnych problemów technicznych, militarnych, finansowych itp.

Techniki fuzji danych zostały zaczerpnięte z różnych klasycznych dyscyplin nauki, takich jak: przetwarzanie sygnałów, przetwarzanie obrazów, rozpoznawanie wzorców, statystyka, teoria estymacji, logika rozmyta, czy sztuczne sieci neuronowe itp. Wiele z nich ma już długą historię (np. wnioskowanie Bayesowskie – 1763), zaś inne są całkiem nowe (logika rozmyta – lata 20-te XX wieku, sieci neuronowe – lata 40-te, itp.).

Fuzja danych jest jedną z kilkunastu dziedzin intensywnie rozwijanych w ciągu ostatnich lat w laboratoriach związanych z Departamentem Obrony USA, szczególnie w odniesieniu do zastosowań militarnych [2][4]. Ten sposób podejścia jest również coraz częściej stosowany do analizy złożonych obiektów czy systemów technicznych, ekonomicznych, medycznych itp., co jest spowodowane szeroką gamą możliwych aplikacji, np. w [1] [2] [3] [5] [6]:

- wieloczujnikowych systemach tzw. uzbrojenia „inteligentnego”,
- systemach radarowych,
- detekcji, lokalizacji i śledzeniu celów (np. rakiet),
- automatycznym rozpoznawaniu celów,
- ocenie sytuacji na polu walki,
- detekcji min,
- systemach obserwacji i prognozowania warunków pogodowych,
- systemach estymacji parametrów pojazdów i parametrów ruchu drogowego (również zarządzania i sterowania ruchem),
- kontroli ruchu powietrznego,
- wspomaganie procesów klasyfikacyjnych,
- systemach śledzących i identyfikujących i prognozujących zjawiska geologiczne (np. trzęsienia ziemi),
- poszukiwaniu zasobów mineralnych,
- systemach sterowania robotami i pojazdami bezzałogowymi,
- automatycznym określaniu tożsamości (np. osób w celu umożliwienia lub zabronienia dostępu do określonych pomieszczeń lub informacji),
- nadzorowaniu złożonych procesów i systemów technicznych (np. elektrownie jądrowe, złożone urządzenia mechaniczne), społecznych, ekonomicznych, itp.,
- nadzorowaniu i zarządzaniu tzw. „inteligentnymi budynkami”,
- detekcji i przewidywaniu uszkodzeń i awarii złożonych urządzeń technicznych (może to wpływać na redukcję kosztów napraw i zwiększenie niezawodności),
- wspomaganie diagnostyki medycznej, itp.

Jednakże, każda aplikacja, w zależności od rodzaju źródeł informacji i wymagań dotyczących podejmowania decyzji, w procesie fuzji danych, może wymagać innego wyboru architektur fuzji i stosowanych technik (algorytmów).

**2. Definicje procesu fuzji danych**

Metody fuzji danych były początkowo rozwijane i wdrażane przede wszystkim na gruncie zastosowań militarnych, stąd też pierwsze

<sup>1)</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, Zakład Metrologii, 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30, e-mail: rysieks@uci.agh.edu.pl

próby ustalenia nazewnictwa czy definicji pochodzą z tego właśnie kręgu. Definicja fuzji danych zaproponowana przez Dyrektorów Laboratoriów Departamentu Obrony USA brzmi następująco:

**Fuzja danych** (*ang. data fusion*) – jest to wielopoziomowy, wielostronny proces zajmujący się automatyczną detekcją, kojarzeniem, korelacją, estymacją i kombinacją danych i informacji z jednego lub wielu źródeł w celu ustalenia dokładnej pozycji, trasy i tożsamości obiektu oraz kompletnej i wykonanej w odpowiednim czasie oceny sytuacji i zagrożenia (oraz jego istotności i znaczenia) [11].

Pierwsze próby opracowania ogólnej taksonomii dla fuzji danych zostały podjęte w pracach [2] [4] [5] [11]. W pracy tej zaproponowano ogólne określenie procesu fuzji danych, mogące mieć zastosowanie również w obszarach pozamilitarnych.

W takim ujęciu, pod pojęciem **fuzji danych** rozumie się formalne ramy, obejmujące: pojęcia, teorie, techniki i narzędzia, opracowane w celu łączenia oryginalnych danych pochodzących z wielu źródeł (czujników, baz danych, wiedzy człowieka itp.). Celem takiego działania jest uzyskanie danych lub decyzji wynikowych, lepszych w sensie jakościowym lub ilościowym. Celem może być również wykorzystanie *synergii* zawartej w danych pomiarowych, tak aby uzyskać nowe lub pełniejsze informacje, niemożliwe do osiągnięcia innymi metodami, ani z każdego źródła danych osobno.

Ogólne pojęcie fuzji danych rozpatrywać można w zależności od poziomu, na którym odbywa się ten proces. Ze względu na rodzaj danych podlegających fuzji, ich rozdzielczość, sposób przetwarzania itp., wyróżnia się trzy takie poziomy:

- fuzja danych,
- fuzja właściwości,
- fuzja decyzji.

**Fuzja danych** jest procesem bezpośredniego łączenia (agregacji) nieprzetworzonych (pierwotnych) strumieni danych, pochodzących z różnych czujników tego samego typu. Dane podlegają łączeniu zanim poddane zostaną procesowi dalszego przetwarzania. W celu realizacji tego typu fuzji, dane pochodzące z czujników muszą być jednorodne (np. obrazy, sygnały w dziedzinie czasu, itp.) oraz muszą być związane z tą samą lub podobną wielkością fizyczną. Fuzja tego typu realizowana jest w oparciu o architekturę scentralizowaną.

**Fuzja właściwości** (*ang. feature fusion*) wymaga wyznaczenia wektora tych właściwości na podstawie danych z każdego czujnika z osobna. Uzyskane cechy są wstępnie kojarzone ze sobą, a następnie łączone w jeden wspólny wektor. Tak zbudowany wektor cech łącznych, charakteryzujących globalnie dany obiekt, transformowany jest do dziedziny deklaracji tożsamości (klas), poprzez zastosowanie różnych metod fuzji np. sieci neuronowych, metod grupowania itp.

**Fuzja decyzji** (*ang. decision fusion*) jest to proces łączenia decyzji generowanych przez różnego typu moduły decyzyjne. Związana jest ona z architekturą rozproszoną. Wyniki wstępnych decyzji o detekcji lub klasie obiektu są wypracowywane w każdym czujniku z osobna i stanowią dane wejściowe dla procesu fuzji, gdzie podlegają dopiero procesowi łączenia (polega on na podjęciu decyzji o łącznej deklaracji tożsamości obiektu).

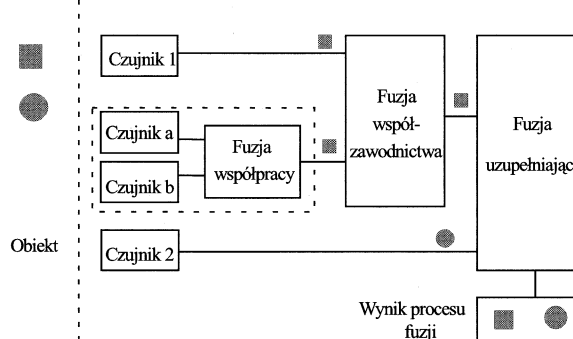
Taka trzystopniowa hierarchia jest powszechnie akceptowana, co nie oznacza, że w szczególnych przypadkach, uwarunkowanych wymaganiami konkretnego zastosowania nie może podlegać pewnym modyfikacjom. Możliwe jest uwzględnienie dodatkowego wymiaru czasowego w procesie łączenia danych i wówczas mówi się o tzw. fuzji czasowej (*ang. temporal fusion*). Proces taki jest określany jako wielokrotnie powtarzana agregacja danych zbieranych w pewnym okresie czasu, a wynik takiego działania może być zmienny w czasie. Chodzi o to aby odróżnić fuzję dokonywaną na sygnale zebranym w pewnym okresie czasu, ale będącą operacją jednorazową, od fuzji będącej procesem trwającym w czasie (np. śledzenie toru lotu samolotu).

Czasami w literaturze [5] spotyka się również określenia mówiące o fuzji przestrzennej (*ang. spatial fusion*) lub fuzji widmowej (*ang. spectral fusion*), lecz takie procesy są raczej przykładami fu-

zji właściwości, niż kategoriami samymi w sobie.

Jeśli proces fuzji rozpatruje się z punktu widzenia kompletności i dokładności uzyskiwanych rezultatów podział może przebiegać nieco inaczej (rysunek 1) i wówczas mówi się o [12]:

- **Fuzji uzupełniającej** (*complementary fusion*) mającej na celu łączenie informacji z różnych czujników, dających różnorodne informacje o obiekcie badanym, w celu stworzenia kompletnego obrazu tego obiektu. Przykładem może być pomiar parametrów pojazdu w ruchu, gdzie jedne z czujników dają informacje o prędkości, inne o liczbie osi, długości, odległościach między osiami itp., i w rezultacie gromadzi się mniej lub bardziej kompletny zestaw danych charakteryzujących obiekt pomiaru.
- **Fuzji współzawodnictwa** (*competitive fusion*), w ramach której łączone są zazwyczaj dane z różnych czujników (obarczone różnymi niepewnościami pomiaru) reagujących na to samo zjawisko fizyczne, w celu poprawy estymaty mierzonej wielkości (minimalizacja łącznej niepewności pomiaru). W ramach tego typu fuzji mogą być łączone dane uzyskane z różnych czujników w tej samej chwili, lub możliwe jest również łączenie danych pochodzących z jednego czujnika, ale pobieranych w różnych momentach czasu. W tym drugim przypadku fuzja zapewnia redukcję jedynie składowej losowej niepewności, nie poprawia jednak składowej systematycznej.
- **Fuzja współpracy** (*cooperative fusion*) ma na celu wzajemne wspieranie działania różnych czujników (w przypadkach, kiedy działanie jednego z nich byłoby niemożliwe lub niecelowe, bez wcześniejszego lub równoczesnego pozyskiwania danych z drugiego czujnika). Przykładem może być pomiar liczby osi pojazdu będącego w ruchu za pomocą np. czujników piezoelektrycznych, przy współpracy z czujnikiem (np. indukcyjnym), jednoznacznie określającym pojazd, do którego przypisany będzie wynik pomiaru.



Rys. 1. Ilustracja procesów fuzji, określonych z punktu widzenia jakości i kompletności danych wynikowych.

### 3. Model i architektury procesu fuzji danych

Najczęściej wykorzystywanym modelem procesu fuzji danych jest model zbudowany dla potrzeb Departamentu Obrony USA (początek lat 90-tych) [4]. Zaproponowany model zawiera: źródła informacji, interfejs umożliwiający interakcję operator-proces (komendy, raporty, zgłaszanie alarmów) oraz szereg poziomów przetwarzania informacji.

Danymi wejściowymi do modelu procesu fuzji są wszystkie informacje pochodzące z odpowiednich źródeł takich jak: czujniki fizycznie związane z systemem fuzji i pracujące w czasie rzeczywistym, czujniki rozproszone powiązane z systemem różnymi kanałami transmisji danych, informacje o warunkach środowiskowych, pogodowych, informacje o statusie obiektów, zagrożeniach, zakłóceniach, dane i komendy operatora, informacje przygotowane wcześniej i zgromadzone w bazach danych itp. W modelu tym wyróżniono pięć poziomów przetwarzania informacji:

**Poziom zerowy** – ma za zadanie przygotowanie danych wejściowych (działania porządkujące, formatujące, normalizujące, wstęp-

nego przetwarzania, kompresji itp.) i ich odpowiednią alokację do poszczególnych procesów.

**Poziom pierwszy** – ma za zadanie przetwarzanie i łączenie danych pochodzących z poszczególnych źródeł informacji, a związanych z obecnością, położeniem, parametrami i klasą pojedynczych obiektów lub procesów. Na tym poziomie realizowane jest przetwarzanie danych z czujników do jednolitego i spójnego formatu, określanie estymat stanu i parametrów obiektów (położenie, kinematyka, cechy charakterystyczne) oraz określanie tożsamości i klasy obiektu.

**Poziom drugi** – ma za zadanie w sposób kompletny i w założonym czasie dokonać oceny aktualnej sytuacji związanej z obiektem lub zjawiskiem, powinien określić wzajemne relacje między obiektami i zjawiskami (zdarzeniami) w powiązaniu ze środowiskiem w jakim te zjawiska i obiekty się znajdują oraz warunkami tam panującymi (warunki terenowe, pogodowe, itp.).

**Poziom trzeci** – ma za zadanie w sposób kompletny i w założonym czasie realizować analizę związaną z przewidywaniem (prognozowaniem) rozwoju sytuacji, na podstawie stanu aktualnego, oraz przeprowadzenie oceny ewentualnych poziomów zagrożeń, stanów awaryjnych itp.

**Poziom czwarty** – (nazywany też meta-procesem) ma za zadanie kontrolowanie i sterowanie przebiegiem wszystkich innych procesów wchodzących w skład modelu fuzji danych.

W modelu fuzji wyróżnia się jeszcze grupę **procedur zarządzania danymi**. Zawierają one funkcje pomocnicze dla procesu fuzji. Można do nich zaliczyć: zarządzanie bazami danych, procedury wyszukiwania, sortowania, gromadzenia, kompresji, archiwizacji i zabezpieczenia danych.

Jakkolwiek przedstawiony model procesu fuzji zaproponowany został na użytek zastosowań wojskowych, to wydaje się możliwe jego przyjęcie również dla aplikacji cywilnych, po dokonaniu pewnych modyfikacji szczególnie na poziomach wyższych.

Przedstawiony model procesu fuzji danych może być realizowany w wielu różnych architekturach zależnych od konkretnej aplikacji, parametrów i możliwości stosowanych czujników i innych źródeł informacji, posiadanych możliwości przetwarzania danych, nakładów obliczeń, oraz możliwości łączy komunikacyjnych.

Przez **architekturę** należy tutaj rozumieć zespół elementów i ich wzajemne zależności, zdolny do realizacji określonych funkcji, których realizacja przez pojedyncze elementy nie jest możliwa do osiągnięcia.

We wszystkich rodzajach (architekturach) fuzji ważne jest, aby czujniki, z których dane podlegają temu procesowi, pracowały w tym samym czasie i przestrzeni, obserwując te same obiekty (podobne zasięgi, pola widzenia itp.), szczególnie ważne jest to w przypadku czujników, które mogą się przemieszczać, lub pole ich widzenia może być zmieniane.

Kluczowym zagadnieniem wieloczujnikowej fuzji danych jest jej umiejscowienie w strukturze procesu. Rozpatrując architektury fuzji z tego punktu widzenia, mamy do czynienia z fuzją [1] [3]:

- autonomiczną (rozproszoną),
- centralną,
- hybrydową.

**Fuzja autonomiczna (rozproszona)** polega na przetwarzaniu sygnału z czujnika w systemie z nim autonomicznie związanym i bazującym tylko na danych z tego właśnie czujnika. Ważne jest aby zapewnić optymalność takiego przetwarzania. Optymalizacja przetwarzania powinna być zapewniona w odniesieniu do każdego czujnika z osobna, w zależności od jego parametrów i właściwości. W takiej strukturze wstępna detekcja lub decyzja dotycząca klasyfikacji jest podejmowana w czujniku, a potem dopiero przesyłana do centrum, gdzie dokonywane jest łączenie informacji lub decyzji. Architektura ta redukuje więc wymagania transmisyjne pomiędzy czujnikiem i procesorem centralnym, ponieważ dane są skompresowane do reprezentatywnego wektora stanu. Jednak fuzja bazująca na wektorach stanu pochodzących z poszczególnych czujników nie jest tak dokładna jak w przypadku np. fuzji centralnej, po-

nieważ na etapie przetwarzania dane pierwotne-wektor stanu, część informacji zostaje utracona i fuzja odbywa się już na danych zużożonych.

Często jako algorytmy fuzji autonomicznej stosuje się: wnioskowanie Bayesowskie, wnioskowanie metodą Dempstera-Shafera, a także metody głosowania bazującego na algebrze Boola lub głosowanie ważone.

**Fuzja centralna** bazuje na danych pierwotnych lub minimalnie przetworzonych w systemie związanym z czujnikiem. W procesorze centralnym odbywa się wstępne przetwarzanie mające na celu ujednoczenie struktury danych, sprowadzenia ich do wspólnej dziedziny (czas, koordynaty itp.), posegregowanie danych wzajemnie sobie odpowiadających (asocjacja), a następnie ich fuzja. Takie podejście zapewnia teoretycznie najbardziej dokładne przeprowadzenie fuzji, pod warunkiem, że dane zostały wstępnie poprawnie przetworzone i przyporządkowane sobie wzajemnie w sposób poprawny. Jednocześnie ten sposób fuzji danych wymaga przetransmitowania dużych strumieni danych ze źródła informacji do procesora centralnego.

**Architektura hybrydowa** stanowi kombinację architektury centralnej i autonomicznej. W tej strukturze, architektura fuzji centralnej uzupełniona jest o algorytmy przetwarzania sygnałów z każdego czujnika z osobna. Stosuje się również procesor fuzji autonomicznej, który wymienia dane z procesorem centralnym. Struktura ta zapewnia więc możliwość realizacji wybranego sposobu fuzji lub realizację obu procesów równocześnie. W przypadku prostych operacji, wygodniej jest działać na danych już wstępnie przetworzonych do postaci wektorów stanu, co ogranicza nakład obliczeń i minimalizuje problem transmisyjnych danych. W przypadkach szczególnych, kiedy np. wymagana jest większa dokładność, możliwa jest realizacja fuzji na danych pierwotnych w procesorze centralnym. Możliwe jest również prowadzenie fuzji danych z wykorzystaniem zarówno wektorów stanu jak i danych surowych, a globalne łączenie informacji z obu poziomów następuje w procesorze centralnym.

#### 4. Możliwości zastosowania metod fuzji danych w procesach pomiarowych

Możliwości zastosowania przedstawionych metod i architektur fuzji danych w procesie pomiarowym przedstawiono na przykładzie systemu do pomiaru parametrów pojazdów będących w ruchu i parametrów ruchu drogowego. System taki zbudowano w ramach projektu badawczego KBN [10]. Globalne parametry charakteryzujące ruch drogowy na wybranym odcinku, takie jak: prędkość średnia wszystkich pojazdów w określonym przedziale czasu, natężenie ruchu, średni ładunek przewożony w określonym kierunku w zadanym przedziale czasu, liczebność pojazdów w danej klasie, itp., określane są na podstawie pomiaru parametrów pojedynczych pojazdów biorących udział w ruchu. Parametry dotyczące pojedynczego pojazdu to np.: obecność w strefie pomiaru, prędkość, długość, obecność przyczepy, liczba osi pojazdu, liczba osi przyczepy, odległości pomiędzy poszczególnymi osiami, naciski osi na podłoże, klasa do jakiej pojazd należy itp.

Cały system pomiarowy składa się z trzech jednostek autonomicznych i jednej centralnej oraz linii transmisyjnych. Dwie z jednostek autonomicznych, są to systemy współpracujące z dwoma czujnikami piezoelektrycznymi i jednym czujnikiem indukcyjnym pętlowym. W każdym z systemów, sygnały z czujników są wstępnie przetwarzane, a uzyskane parametry w formie wektora stanu, przekazywane do systemu nadrzędnego (*architektura autonomiczna*). Każdy z tych systemów realizuje również *fuzję współpracy* polegającą na pomiarze liczby osi pojazdu będącego w ruchu za pomocą czujników piezoelektrycznych, przy współpracy z czujnikiem (np. indukcyjnym), jednoznacznie określającym pojazd, do którego przypisany będzie wynik pomiaru (szczególnie istotne w przypadku pojazdów jadących bardzo blisko siebie). Tworzenie łącznego wektora stanu na podstawie danych uzyskanych z czujników in-

dukcyjnych (obecność, długość, obecność przyczepy) i piezoelektrycznych (liczba osi, odległości między nimi, naciski poszczególnych osi itp.) jest przykładem *fuzji uzupełniającej*, mającej za zadanie stworzenie jak najbardziej kompletnego opisu obiektu podlegającego pomiarowi. Dzięki zastosowaniu dwóch czujników piezoelektrycznych możliwa jest weryfikacja poprawności pomiaru liczby osi (do systemu nadrzędnego może zostać przekazana informacja nie tylko o wyniku pomiaru ale również o jego wiarygodności). Dzięki dwóm czujnikom ważącym możliwa jest również lepsza estymacja statycznego nacisku poszczególnych osi pojazdu na podłożu (każdy z czujników z osobna daje łączną informację o składowej statycznej i dynamicznej nacisku). Zwiększenie liczby czujników daje możliwość dalszej poprawy estymaty nacisku statycznego i poszukiwania odpowiednich metod i algorytmów estymacji (takie możliwości daje trzeci system autonomiczny współpracujący z siedmioma czujnikami ważącymi, dwóch różnych typów, o różnej dokładności, co stwarza możliwość realizacji *fuzji współzawodnictwa*).

Konieczność poszukiwania różnych metod estymacji nacisku statycznego związana jest z różnorodnością konstrukcyjną pojazdów, a co za tym idzie, bardzo różnymi oddziaływaniami dynamicznymi na styku pojazd-jezdni. Widać stąd, że aby móc wybierać odpowiednie metody estymacji konieczne jest wcześniejsze zaliczenie pojazdu do odpowiedniej klasy. Klasyfikacja taka może być realizowana na podstawie jednego wybranego parametru np. liczby osi. Jest ona jednak w takim przypadku słabo selektywna, bo np. istnieje wiele typów samochodów pięcioosiowych, a w zależności od rozstawu osi różne są dopuszczalne naciski na poszczególne osie i inna będzie również dynamika takich pojazdów. Dodanie więc kolejnego parametru jakim są odległości między osiami pojazdu radykalnie zwiększa selektywność klasyfikacji. Niestety w przypadku pojazdów dwuosioowych, często zdarza się, że odległości między osiami dla różnych grup pojazdów (osobowe i dostawcze) są podobne, co uniemożliwia wiarygodne rozróżnienie tych grup, a jest to ważne ze względu na różne dopuszczalne masy całkowite dla tych pojazdów. Należy więc poszukiwać dodatkowej informacji, która zwiększyć może selektywność klasyfikacji. Taka informacja jest zawarta w profilu magnetycznym podwozia i jest pozyskiwana z czujnika indukcyjnego.

W przedstawianym systemie pomiarowym dane z jednostek autonomicznych w formie łącznych wektorów parametrów przesyłane są do systemu nadrzędnego i tam odbywa się proces fuzji danych w celach klasyfikacyjnych, gromadzenie wyników pomiarowych w bazach danych, oraz w celu przeprowadzenia *fuzji uzupełniającej* dla potrzeb estymacji globalnych parametrów ruchu na wybranym odcinku drogi.

Jeśli przyjąć, że systemy autonomiczne zostaną wzbogacone o możliwość rejestracji profilu magnetycznego, to w konsekwencji rozważyć można trzy przypadki:

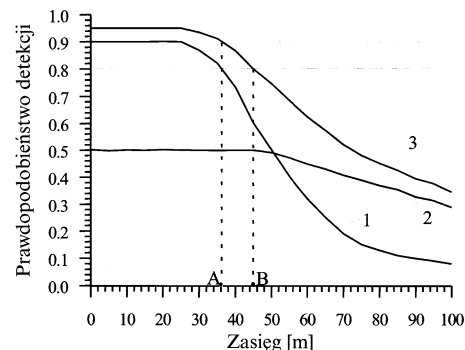
- pierwotne dane dotyczące profilu będą transmitowane do jednostki centralnej w celu dalszego przetwarzania ze względu na konieczną w tym celu znaczną moc obliczeniową (i wtedy mamy do czynienia z *hybrydowym procesem fuzji*),
- sygnał reprezentujący profil magnetyczny będzie parametryzowany w jednostce autonomicznej, a uzyskane parametry uzupełniają tylko łączny wektor parametrów (*proces fuzji autonomicznej*),
- sygnał ten będzie przetwarzany aż do uzyskania deklaracji klasy pojazdu i dopiero wtedy przesłany do jednostki centralnej (wówczas w systemie centralnym mielibyśmy do czynienia z *fuzją decyzji*).

Możliwe jest również zastosowanie większej liczby czujników indukcyjnych o odpowiednio dobranych wymiarach oraz realizacja *fuzji na poziomie danych* w celu wykorzystania synergii zawartej w profilach magnetycznych, pozwalającej na określenie dodatkowych parametrów np. liczby osi pojazdu [9].

Widać więc, że w omawianym systemie możliwe jest zastosowanie bardzo różnorodnych architektur fuzji, poziomów na których

jest ona realizowana (poziom danych, właściwości, decyzji) i metod przetwarzania danych pomiarowych, czy algorytmów estymacji parametrów obiektu mierzonego.

Jako przykład rozważono i porównano możliwość detekcji obiektów w systemie jedno i wieloczuJNIKOWYM, oraz korzyści jakie uzyskuje się w tym drugim systemie. Założymy, że istnieje czujnik o charakterystyce prawdopodobieństwa detekcji obiektu w funkcji odległości od czujnika, przedstawionej na rysunku 2 jako krzywa 1. Na rysunku zaznaczono również hipotetyczny, wymagany poziom prawdopodobieństwa detekcji o wartości 0.8. Dzięki temu możliwe jest określenie odległości w jakiej dowolny obiekt może zostać wykryty z założonym poziomem prawdopodobieństwa (punkt A). Do systemu dodano czujnik o charakterystyce 2, który nie mógłby pracować samodzielnie ze względu na swoje parametry. Założono, że na wyjściach czujników uzyskuje się dwustanowe ('jest', 'nie ma') decyzje o wykryciu obiektu. Dokonano fuzji takich decyzji polegającej na tym, że obiekt uważa się za wykryty, jeśli przynajmniej jeden z czujników podejmie decyzję o wykryciu. W efekcie modelowania takiego systemu uzyskano łączną charakterystykę systemu po fuzji (krzywa 3). Na podstawie uzyskanej charakterystyki możliwe jest wnioskowanie o korzyściach dwopakowego rodzaju: po pierwsze, przy zachowaniu poziomu prawdopodobieństwa detekcji możliwe jest zwiększenie jej zasięgu (do punktu B), tj. o około 25%; po drugie, przy zachowaniu poprzedniego zasięgu (punkt A) możliwe jest zwiększenie prawdopodobieństwa detekcji z wartości 0.8 do wartości 0.9. Przedstawiony przypadek jest przykładem fuzji decyzji.



Rys. 2. Charakterystyki pojedynczych czujników (krzywe 1 i 2) oraz łączna charakterystyka systemu po fuzji danych (krzywa 3).

## 5. Wnioski

W niektórych pracach [12] podkreśla się, że fuzja danych w niedługim czasie, będzie jednym ze standardowych podejść do analizy różnego typu systemów technicznych, ze względu na jakościowe i ilościowe korzyści wynikające z wykorzystywania danych pomiarowych, pochodzących z wielu źródeł. Do zalet jakie niesie ze sobą proces fuzji danych można zaliczyć [1] [2] [3]:

1. wzmacnianie właściwości operacyjnych systemu, zapewnienie ciągłości i niezawodności jego działania (w zbiorze wielu czujników, będą czujniki dostarczające informacji, w czasie gdy inne mogą być uszkodzone lub zakłócone, liczność czujników zapewnia redundancję systemu),
2. poszerzenie obszaru detekcji (niektóre czujniki mogą pracować w miejscach dla innych niedostępnych), przez co wzrasta prawdopodobieństwo wykrycia obiektu lub zjawiska i zmierzenia jego parametrów, (np. w pomiarach parametrów ruchu drogowego, czujniki wbudowane, działają poprawnie tylko w pasie jezdni, w którym zostały wbudowane, czujniki nieinwazyjne mogą pokrywać większy obszar),
3. redukcja niejednoznaczności wyników (uzyskanie pewności, że mierzona wielkość związana jest z konkretnym obiektem, np. poprawny pomiar liczby osi pojazdu, w przypadku dwóch pojazdów jadących bardzo blisko siebie może być trudny, jeśli nie

posiada się dodatkowego czujnika zdolnego dokonać separacji tych pojazdów),

4. zwiększona pewność detekcji zjawiska lub obiektu, gdy ma się do dyspozycji więcej niż jedno źródło informacji, a źródła są komplementarne,
5. zwiększenie dokładności wyników pomiarowych (ta sama wielkość fizyczna mierzona przez wiele czujników (przyrządów pomiarowych) jednocześnie lub mierzona wielokrotnie przez jeden czujnik i np. prosty algorytm uśredniania),
6. zwiększenie rozdzielczości przestrzennej (system wieloczujnikowy pozwala na podzielenie obszaru obserwacji na mniejsze podobszary i przydzielenie do każdego z nich wybranej grupy czujników),
7. zwiększenie wymiarowości procesu pomiarowego (jeśli zapewni się niezależność wielkości fizycznych, na które reagują czujniki) – synergia.

W procesie fuzji bardzo ważne jest również posiadanie wiedzy o samym źródle informacji, ocenianie (najlepiej prowadzone na bieżąco) niezawodności i pewności szczególnie ważnych źródeł informacji, a szczególnie wtedy, kiedy otrzymywane dane ujawniają pewne niekonsekwencje i kiedy należy wybierać spośród wielu opcji. Pewność źródeł wpływa bowiem na wiarygodność informacji. Konieczne wydaje się więc rozwijanie systemów, które korzystają raczej z par informacja-źródło, niż z samych informacji.

Jednym z istotnych elementów procesu fuzji są algorytmy przetwarzania danych. W pracy [2] mówi się o około 75 różnych algorytmach, które mogą być wykorzystane w tym procesie. Ważne jest poszukiwanie i opracowywanie algorytmów, które potrafią się adaptować do nowych wzorców danych lub sytuacji, jak również zapewniających odpowiednie sprzężenie z procesem zbierania danych.

W praktyce fuzja danych może dać rezultaty gorsze niż uzyskiwane z pojedynczego czujnika o dobrych parametrach. Możliwe

jest to w przypadku, kiedy fuzji podlegają dane o dobrej jakości i dane bardzo niedokładne lub wręcz błędne, tak więc efektywność systemu fuzji danych, powinna być w każdym przypadku poprzedzona wnikliwą analizą zarówno danych podlegających fuzji, struktury systemu jak również stosowanych metod.

#### Literatura

- [1]. Hall, Llinas: 'An introduction to multisensor data fusion', Proceedings of the IEEE, vol. 85, no 1, January 1997.
- [2]. Hall D.: 'Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion'. Artech House, London 1992.
- [3]. Klein A. L.: 'Sensor and Data Fusion Concepts and Applications'. SPIE, Washington 1999.
- [4]. Waltz E., Llinas J.: 'Multisensor Data Fusion'. Artech House, London 1990.
- [5]. Verline P.: 'A contribution to multi-modal identity verification using decision fusion', Dissertation in De l'Ecole Nationale Supérieure des Telecommunications, Paris, 1999.
- [6]. Karlsson B.: 'A Toolbox for Sensor Data Fusion in Industrial Automation'. Dissertation in Institute of Technology, Linköpings Universitet, Linköping 1999.
- [7]. Hall D.: 'Comments on the implementation of data fusion systems'. Materiały niepublikowane. Seminarium NATO ASI – Multisensor Data Fusion, Pitlochry-Szkocja, 2000.
- [8]. Shahbazian E.: 'Introduction to data fusion: models and processes, architectures, techniques and application'. Materiały niepublikowane. Seminarium NATO ASI – Multisensor Data Fusion, Pitlochry-Szkocja, 2000.
- [9]. Gajda J., Sroka R., Stencel M., Wajda A., Żegleń T.: A vehicle classification based on inductive loop detectors. Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Budapest, 2001, pp. 460-464.
- [10]. Projekt KBN: 'Opracowanie metod i systemów pomiarowych dla identyfikacji parametrów pojazdów drogowych w ruchu'. Nr 8T10C1217, wykonywany w latach 1999-2002.
- [11]. [www.inforfusion.org](http://www.inforfusion.org)
- [12]. [www.science.uva.nl](http://www.science.uva.nl)

Artykuł recenzowany

## ZAPRASZAMY do PRENUMERATY czasopisma PAK w 2002 roku

### PRENUMERATĘ I KOLPORTAŻ PROWADZĄ

#### Redakcja

#### POMIARY-AUTOMATYKA-KONTROLA

ul. Świętokrzyska 14A p. 535, 00-050 Warszawa  
tel./fax (022) 827 25 40, tel. (022) 826 74 17  
e-mail: pak@data.pl, marketing: dorpak@data.pl  
<http://www.iss.pl/pak>

#### JARD PRESS SA

Przyjmujemy prenumeratę na terenie czterech miast:  
Warszawa – tel. (022) 631 48 88 prosić Dział Prenumeraty  
Lublin – tel. (081) 747 65 21, Olsztyn – tel. (089) 527 48 74  
Płock – tel. (024) 264 79 33

#### GARMOND PRESS SA

#### Oddział w Warszawie

ul. Nakielska 3, 01-106 Warszawa, tel. (022) 836 69 21

#### KOLPORTER SA

ul. Kolberga 11, 25-620 Kielce, tel. (041) 368 36 20 do 25  
Oddziały w całym kraju

Indywidualną sprzedaż prowadzi Centralna Księgarnia Techniczna, 00-050 Warszawa, ul. Świętokrzyska 14A  
oraz bezpośrednio Redakcja