AUTOMATYKA • 2005 • Tom 9 • Zeszyt 3

Michał Turek*

Wykrywanie analogii zachowań obiektów z zastosowaniem w sterowaniu ich właściwościami

1. Wprowadzenie

Problem stawiany w artykule wiąże się z pytaniem o sposób zdefiniowania przydatnej do zautomatyzowania procesu sterowania bazy wiedzy – w taki sposób, aby możliwa była automatyczna rozbudowa tej bazy na podstawie informacji pochodzącej wyłącznie ze śledzenia zachowań sterowanych obiektów w środowisku zewnętrznym. Śledzenie to będzie dotyczyć reakcji obiektu na czynności podejmowane (przykładowo) przez człowieka zarządzającego szeregiem urządzeń. W wyniku analizy tak przygotowanej bazy wiedzy powinno być możliwe zrealizowanie modułu sterującego podobnymi urządzeniami w sposób w analogiczny, jak czyni to człowiek. Artykuł proponuje rozwiązanie unifikujące informacje pochodzące z pomiarów oraz śledzenia podejmowanych przez człowieka decyzji w jednej strukturze, z założeniem ich statystycznej poprawności. Taka właśnie informacja jest naturalnie produkowana w wyniku decyzji podejmowanych przez człowieka na bazie wskazań instrumentów pomiarowych. Omawiana metoda będzie bazowała na uogólnianiu zarejestrowanych sytuacji i decyzji faktycznie kiedyś już podjętych w analogicznych sytuacjach [1]. Dzięki analizie „analogii przypadków występujących masowo" rozwiązanie będzie w stanie zniwelować niewielki odsetek informacji błędnej, nie prezentując jej w wynikach późniejszych ekspertyz. Na podstawie automatycznie zbudowanej bazy wiedzy będzie w stanie przeprowadzać ekspertyzy produkujące decyzję o zmianach parametrów zadanego do ekspertyzy obiektu, w sposób zbieżny z wypadkową decyzji podejmowanych uprzednio przez człowieka w podobnych do zadanej sytuacjach. Docelowym przykładem zastosowania omawianego rozwiązania będzie wspomaganie decyzji podejmowanych wobec określonych obiektów na podstawie historii zdarzeń dotyczących obiektu oraz bieżącego stanu obiektu. Metoda umożliwi śledzenie serii zdarzeń, kodowanie ich w postaci reguł zestawiających zdarzenia, a następnie analizę wpływu danych czynności na przyszłe zmiany stanów obiektów. Obiektami takimi mogą być dowolne monitorowane urządzenia, posiadające zbiór fizycznych parametrów o zmieniających się w czasie skalarnych wartościach. Te fizyczne parametry to, m.in. temperatura, ciśnienie, naprężenia. Równocześnie obiekt taki

* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

otoczony jest przez urządzenia, mogące wpływać z określonym skutkiem na wspomniane parametry. Ustawienia tych urządzeń zadane będą wartościami kolejnych parametrów. Z punktu widzenia omawianej metody wszystkie te parametry (zarówno „wyjściowe", jak i „wejściowe") będą interpretowane w jednym zbiorze, a interpretacja ich wartości będzie dotyczyła związków typu „przyczyna i skutek" pomiędzy zarejestrowanymi zmianami ich wartości w na skali np. czasu.

Najlepsze wyniki metoda osiągnie w analizie obiektów występujących masowo, posiadających zadaną pulę właściwości i stanów, oraz przechodzących w skutek odpowiednich czynności w nowe stany wynikowe (reprezentowane wartościami parametrów). Rzeczywiste czynności na tych obiektach, wykonywane przez ekspertów, są statystycznie poprawne i skutkują zmianą stanów.

2. Automatyczne pozyskiwanie wiedzy

Metoda automatycznego pozyskiwania wiedzy i prowadzenia na jej podstawie analiz z użyciem techniki wykrywania analogii była już prezentowana w pracy [2]. W bieżącym rozdziale przedstawione zostaną najważniejsze kwestie z nią związane, oraz nastąpi dyskusja nad sensem i możliwościami zastosowanie jej w procesie sterującym.

Pokrótce – metoda automatycznego pozyskiwania wiedzy na podstawie rejestrowanych zdarzeń, zawierających informacje o określonej wartości danego parametru pobranej z określonego identyfikatorem obiektu i w danej chwili czasowej formułowała tendencje zmian wartości tego czynnika w czasie. W przypadku danego obiektu możliwe jest oczywiście rejestrowanie tendencji zmian wartości wielu parametrów, także z przesunięciem czasowym względem siebie. W tym momencie można podejrzewać teoretyczny związek pomiędzy zmianą wartości parametrów – a gdy dodatkowo związek taki będzie potwierdzany przez zarejestrowane rejestrowanie podobnych właściwości w przypadku innych obiektów – możliwe będzie formułowanie i wartościowanie reguł obrazujących takie właśnie związki. Na skali czasu reguły mogą się uzupełniać lub sobie przeczyć, zawierając jedynie częściowo pokrywające się zbiory tendencji danych wartości. Analiza tak sformułowanej wiedzy będzie polegała na przechodzeniu poprzez kolejno rozpatrywane reguły bazy wiedzy, polegając na systemie wartościowania reguł i unikaniu kolizji, o czym jest mowa niżej. W celu uporządkowania terminologii, zdefiniowano kilka pojęć charakteryzujących poszczególne elementy nowo powstałej bazy wiedzy takich, jak:

- czynnik wiodący,
- fakt-zdarzenie,
- tendencja faktu,
- reguła wpływu,
- reguła wynikowa.

2.1. Czynnik wiodący

Całość procesu kolekcjonowania wiedzy z otoczenia, jak i późniejszego jej wykorzystania powinna przebiegać pod kontrolą jednego wyróżnionego parametru, reprezentowa-

nego w postaci skalarnej i stanowiącego podstawowy składnik każdej informacji w bazie wiedzy [3]. Parametr ten został nazywany **czynnikiem wiodącym**.

W rozwijanej teorii analizy analogii reprezentacja tego parametru pozostaje otwarta, jednak w przypadku ewentualnego jej zastosowania w układzie sterowania (np. spinającym obliczeniami zależność pomiędzy stanem efektora a wartością dostarczaną przez detektor) czynnik ten przyjmie wymiar czasu, jaki płynie pomiędzy poszczególnymi poddawanymi analizie zdarzeniami.

Czynnik wiodący w prezentowanym modelu wiedzy służy więc jako podstawowa jednostka porównawcza, na której bazie określa się związki przyczynowo-skutkowe pomiędzy pobranymi przez system ze środowiska faktami, tworzy się, analizuje i rozbudowuje reguły spinające pobrane fakty.

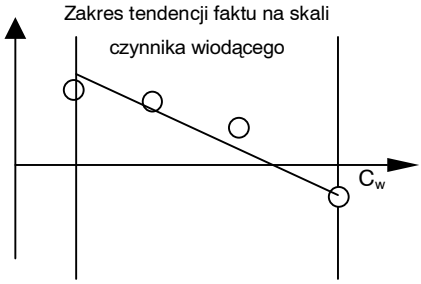
2.2. Fakty-zdarzenia

Wejściem dla procesu pozyskiwania wiedzy jest informacja pochodząca bezpośrednio z otoczenia przetworzona tak, aby dotyczyła jednoznacznie identyfikowanych obiektów z tego otoczenia, jednoznacznie identyfikowanych cech lub czynników działających na obiekty, ustalonej wartości takich czynników oraz umiejscowienia tej informacji na skali umożliwiającej wytwarzanie relacji typu przyczyna-skutek z innymi wejściowymi danymi – czyli na skali czynnika wiodącego. Jednorazową porcją informacji pobieraną z otoczenia jest więc zespolenie w formie faktu informacji powiązanej ze zdarzeniem, które miało miejsce w związku z określonym obiektem. W dalszej części rozważań taką jednostkę będziemy określali terminem **fakt-zdarzenie**. Każdy fakt-zdarzenie posiada przypisaną sobie wartość czynnika wiodącego, na którego skali wystąpiło zdarzenie. Posiada symboliczny identyfikator obiektu, próbkowanego parametru obiektu, oraz wartość tego parametru.

2.3. Tendencje faktów

Fakty-zdarzenia, skoncentrowane wokół danego obiektu mogą stanowić podstawę do ustalenia informacji zbiorczych charakteryzujących dany obiekt. Jeżeli zarejestrowano (w postaci faktów) kilka wartości nazwanych, różniących się wielkością i wartością charakteryzującego je czynnika wiodącego, to możliwe jest zdefiniowanie uogólnienia do pewnej relacji w dziedzinie czynnika wiodącego. Funkcja taka powstanie w wyniku uśrednienia punktowych odczytów wartości nazwanej w faktach-zdarzeniach. Funkcją taką będzie (dla uproszczenia procesu) wyłącznie odwzorowanie liniowe czynnika wiodącego w rozważane wartości, dające się zakodować w tendencji faktu za pomocą dwóch współczynników numerycznych. Uproszczenie to ma na celu ułatwienie obliczeń na etapie późniejszej analizy tendencji faktów. Kolejną informacją pobieraną z wartości maksymalne i minimalne czynnika wiodącego, charakteryzujących zaangażowane fakty-zdarzenia, które dostarczyły informacji. Wartości te są zdefiniowane skalarnie i będą w powstającej konstrukcji stanowiły odpowiednik ograniczenia dziedziny definiowanego odwzorowania (tendencji).

Tak zakodowaną informację o zmianie określonej skojarzonej w obiektem wartości będziemy dalej nazywali **tendencją faktu** (rys. 1).



Rys. 1. Tendencja faktu: C_w – czynnik wiodący, VID – wartość parametru, przedstawianego przez fakty-zdarzenia, F_Z – fakt-zdarzenie

Widać tu, że tendencja faktu będzie zawierała następujące informacje:

- kierunek zmian i stan początkowy danej wartości charakteryzującej obiekt (np. wartość rosnąca z prędkością zadaną współczynnikiem);
- wartość czynnika wiodącego dla chwili początkowej zaobserwowanego zjawiska;
- wartość czynnika wiodącego dla chwili zakończenia obserwacji.

Najbardziej istotną informacją przenoszoną przez tendencję faktu nie jest sama wartość określającego obiekt parametru, a kierunek jej zmian na przestrzeni czynnika wiodącego (tab. 1). Dodatkowo, jeśli wartość takiego ulegałaby znacznej zmianie (przykładowo gdy wartość parametru pierwotnie maleje, a następnie rośnie), tendencja faktu zostanie rozbita na dwie, zakodowane z różnymi wartościami takiego czynnika.

Tabela 1

Tendencja faktu: T_0, T_1 – wartości czynnika wiodącego dla chwili początkowej i końcowej zaobserwowanego zjawiska; OID – symbol obiektu, którego dotyczyły fakty składające się na tendencję faktu, VID – symbol identyfikujący zmieniający się parametr obiektu, V_0 – wartość początkowa parametru, F – współczynnik kierunku zmian

T_0	T_1	OID	VID	V_0	F

2.4. Jednolita interpretacja danych diagnostycznych i sterujących

Ponieważ celem planowanych ekspertyz na zdefiniowanym formacie wiedzy jest jedynie wykrycie analogii zjawisk występujących wokół wielu rozważanych obiektów (a tym samym związków pomiędzy tymi zjawiskami) możliwe jest ujednolicenie charakteru informacji wejściowej. Ujednolicenie to będzie polegało na jednakowym traktowaniu danych związanych z odczytem stanu obiektów, jaki i danych związanych z zewnętrznie stymulowanymi akcjami podejmowanymi wobec obiektu – i mającymi z zamierzeniu eksperta wprowadzić kolejne zmiany stanu obiektu. Dlatego zarówno odczyty stanów, jak i obserwowane akcje na obiekcie są dla bazy wiedzy takimi samymi faktami-zdarzeniami, kodo-

wanymi za pomocą nazwanej i określonej skalarnie wielkości (np. odczyt skalarnego stanu A obiektu o wartości A1, wywołanie wpływu na obiekt czynnikiem B o sile B1) oraz charakteryzowanymi dodatkowo jedynie określoną wartością czynnika wiodącego.

2.5. Reguły wpływu

Reguły wpływu konstruowane są na podstawie wiedzy postrzeganej w środowisku zewnętrznym i dotyczą pojedynczego obiektu. Nie stanowią jeszcze podstawy dla ekspertyz. Są tworem pośrednim, stanowiącym źródło dla definiowania i rozbudowy innych reguł, kompatybilnych ze sztucznie zdefiniowaną wiedzą ekspercką i kodujących korelacje zjawisk występujących zbiorczo w wielu obiektach.

Aby możliwe było zdefiniowanie najprostszej reguły wpływu potrzebne są przynajmniej dwie tendencje faktu dotyczące tego samego obiektu. Reguła wpływu nie koduje wartości czynników wiodących tendencji-faktów, które spina, a jedynie przesunięcia pomiędzy tymi wartościami nadal wyrażone skalarnie. Jest to wystarczające do zapisania zależności pomiędzy tendencjami faktów na jego skali. Tendencja faktu, cechowana najmniejszą początkową wartością czynnika wiodącego, będzie zerowym punktem odniesienia, względem którego obliczone zostanie kolejne przesunięcie początku następnej zgodnie z wartością czynnika wiodącego tendencji faktu. Reguła wpływu powstaje na podstawie tendencji faktów dotyczących tego samego obiektu. Poszczególne tendencje faktu są w regule numerowane (tab. 2). Numerację rozpoczyna reguł poruszając się zgodnie z tą numeracją w górę będzie można poszukiwać skutków (w sensie czynnika wiodącego) danego stanu obiektu, w dół – przyczyn.

Tabela 2

Reguła wpływu (po prawej) powstała na bazie kilku tendencji faktów (po lewej): N_0 – numer tendencji, T_{dist} – przesunięcie względem poprzedniej tendencji faktu, [T_{dist} .. T_{len}] – zakres względnej wartości czynnika wiodącego, na której tendencja faktu obowiązuje. Pozostałe oznaczenia jak w tabeli 1

T_0	T_1	OID	VID	V_0	F
80	110	Ob1	Val3	120	0,6
230	245	Ob1	Val7	2,4	1,3
100	130	Ob1	Val1	10	1,25

OID:	Ob1				
No	T_{dist}	T_{len}	VID	V_0	F
1	0	30	Val3	120	0,6
3	150	15	Val7	2,4	1,3
2	20	30	Val1	10	1,25

W przypadku napotkania tendencji faktów dotyczących tego samego parametru i obiektu, a z różnymi wartościami współczynnika F, dopuszczone zostaną tylko dwie z nich o najbardziej odległych współczynnikach. Pozostałe będą dopasowywane do już istniejących (niewielkie odchylenie wartości F) lub ignorowane. Takie rozwiązanie stanowi zabezpieczenie przed przepełnieniem danymi reguły w przypadku wystąpienia parametru oscylującego, produkującego w efekcie nieskończenie wiele tendencji faktu. Innym, modernizowanym obecnie podejściem, będzie wprowadzenie dodatkowego typu tendencji faktu, kodującego właśnie wartości oscylujące (z uwzględnieniem zmian amplitudy i częstotliwości, oraz początkowych wartości tych cech).

2.6. Reguły wynikowe – proces wzmacniania reguł

Reguły wynikowe przechowują zbiorczą informację o analogiach zdarzeń rejestrowanych na obiektach. **Wzmocnione** reguły wynikowe są tworzone na bazie reguł wpływu i poprzednich reguł wynikowych w momencie, gdy wobec przynajmniej dwóch różnych obiektów można zaobserwować analogiczną korelacje tendencji faktów, czyli gdy istnieją analogiczne reguły wpływu na tych obiektach.

Znaczenie słowa „analogiczny" precyzuje szereg warunków i parametrów charakteryzujących proces wzmacniania reguł.

Wśród nich można wyróżnić:

- maksymalną dopuszczalną różnicę wartości T_{dist} pomniejszoną o odpowiadające mu T_{len} w przypadku każdej możliwej pary tendencji faktów VID_i i VID_j zawartej w regule wpływu i wzmacnianej regule wynikowej;
- maksymalną dopuszczalną różnicę wartości F analogicznie pomiędzy wyżej określonymi parami;
- (opcjonalnie) maksymalną dopuszczalną różnicę wartości V_0 (tę wartość można będzie interpretować podczas realizacji dalszych eksperymentów z metodą – nie przedstawia ona danych istotnych dla określania tendencji faktu, jednak w przypadku niektórych baz wiedzy może być istotna).

Wartości tych parametrów bezpośrednio wpływają na proces kształtowania bazy wiedzy o relacjach przyczynowo-skutkowych zachodzących pomiędzy własnościami obiektów. Ustawienie ich w sposób tolerancyjny zminimalizuje wielkość bazy wiedzy, ale doprowadzi do większego uogólniania zależności przyczynowo-skutkowych. Spowodować to może zgubienie podczas ekspertyzy niektórych relacji.

Proces wzmacniania reguł wynikowych może zachodzić nie tylko w przypadku pojawienia się nowej reguły wpływu, lecz także przy korekcie już istniejącej reguły wpływu. W przypadku gdy reguła wpływu została rozbudowana o nowe tendencje faktów, a nowa tendencja faktu nie znajduje swojego analogicznego odpowiednika w regule wynikowej, reguła wpływu może zostać także wycofana z reguły wynikowej. Następuje wówczas wycofanie wzmocnienia (**osłabienie**) reguły, zaś niepasująca reguła wpływu jest ponownie rozpatrywana jako źródło dla wzmocnienia lub utworzenia innych reguł wynikowych.

Podstawową decyzją wypływającą z parametryzowanego porównywania obecnego stanu bazy wiedzy z nową regułą wpływu jest to, czy reguła wpływu stanowi potwierdzenie reguły wynikowej i tym samym przeprowadzić należy procedurę wzmocnienia reguły wynikowej.

Wzmocnienie może nastąpić, gdy wszystkie tendencje faktów zawarte w regule wpływu występują także we wzmacnianej regule wynikowej i wszystkie pary tendencji faktów są analogiczne, czyli rozbieżności ich cech mieszczą się w tolerancjach zadanych parametrami i opisanych wyżej. Możliwe jest wzmocnienie regułą wpływu posiadającą mniej tendencji faktu niż reguła wynikowa, nadal jednak z zachowaniem ich zgodności. Proces wzmocnienia reguły wpływu przebiega następująco:

Dla każdej tendencji faktu zapisanej w regule wynikowej zdefiniowana jest wartość całkowita (ozn. STR) reprezentująca siłę tej tendencji w regule, czyli opisująca to, ile razy tendencja faktu występowała już we wzmacniających bieżącą regułę wynikową regułach

wpływu. Procedura wzmocnienia spowoduje zwiększenie o 1 tych wartości, które odpowiadają tendencjom faktu występującym we wzmacniającej regule wpływu (tab. 3). Procedura osłabiania zmniejszy te wartości, a po osiągnięciu 0 usunie z reguły odpowiednią tendencję faktu. W przypadku tworzenia nowej reguły wynikowej (gdy nie doszło do żadnego dopasowania) wartości inicjowane są na 1.

Tabela 3
Reguła wynikowa: STR – siła tendencji faktu regule wpływu

No	T_{dist}	T_{len}	STR	VID	F
1	0	30	**11**	V3	0,6
3	150	15	**21**	V7	1,3
2	20	30	**23**	V1	1,25

Wygenerowana reguła nie posiada jednoznacznie zdefiniowanych tez i przesłanek, definiując jedynie możliwe konsekwencje zaobserwowanych zjawisk (tendencji faktów) na skali wartości czynnika wiodącego. Co zostanie w regule potraktowane jako przesłanka, a co jako teza – będzie miało znaczenie dopiero podczas konkretnej ekspertyzy

3. Sterowanie z użyciem wiedzy przyczynowo-skutkowej

Przetwarzanie wiedzy zebranej w wyniku opisanego w poprzednich podrozdziałach formatu umożliwia przeprowadzanie ekspertyz, determinujących przyczyny lub skutki wystąpienia podanego do ekspertyzy zjawiska. Zjawisko to może być reprezentowane przez pojedynczą tendencję faktu, której okoliczności wystąpienia chcemy poznać. Możliwe jest także podanie na wejściu ekspertyzy kilku tendencji faktów, sprzężonych ze sobą w regule wpływu. Ta informacja wejściowa dla ekspertyzy w dalszej części będzie nazywana **wzorcem**. Ponieważ podstawowym miernikiem podanego zjawiska będzie parametr wiodący, możliwe jest zdefiniowanie dwóch wariantów przeprowadzanej ekspertyzy, posiadających bliźniacze algorytmy, a w zależności od wariantu analizujących albo przyczyny, albo skutki podanego na wejściu wzorca. Całość ekspertyzy będzie polegała na przemieszczaniu obliczeń po skali wartości czynnika wiodącego, wychodząc od wartości charakteryzujących podane zjawisko wejściowe i idąc w albo w kierunku wartości C_w większych (poszukiwanie skutków, proponowanie rozwiązań) lub mniejszych (poszukiwanie przyczyn zjawiska).

Warianty ekspertyzy można więc zdefiniować jako:

- **Ekspertyza wprzód** – polega na ustalaniu konsekwencji przyczynowo-skutkowych wystąpienia podanej na wejściu sytuacji, może przykładowo służyć do sprecyzowania decyzji, jaką należy podjąć, aby właściwie zmienić zastaną sytuację lub ciąg przyczynowo-skutkowy.
- **Ekspertyza wstecz** – polega na poszukiwaniu przesłanek przyczynowo-skutkowych wystąpienia podanej na wejściu sytuacji. Może zostać użyta do wyjaśnienia przyczyn zastanej sytuacji.

Założenia dotyczące realizacji procesu ekspertyzy można ująć następująco:

Proces pobiera na wejściu regułę wpływu, kodującą poszukiwane (wejściowe) relacje pomiędzy tendencjami faktów na skali czynnika wiodącego. Reguła ta może być (w najprostszym przypadku) pojedynczą tendencją faktu. Wtedy ekspertyza dotyczyć będzie wyłącznie okoliczności wzrostu czy spadku wartości danego parametru obiektu. Tendencje faktu zapisane w tej regule tworzą wzorzec, który będzie rozwijany o nowe tendencje faktu umieszczone na skali wartości czynnika wiodącego w kierunku przeprowadzania ekspertyzy (wstecz – wartości mniejsze, do przodu – większe).

Proces będzie przeszukiwał posiadaną bazę reguł wynikowych (powstałych w wyniku automatycznego pozyskiwania wiedzy lub wprowadzonych przez eksperta dziedzinowego) dokonując próby dopasowania zadanej reguły wpływu do każdej z reguł wynikowych. Dopasowanie nastąpi w momencie, gdy wyszukana reguła będzie spełniała następujące warunki:

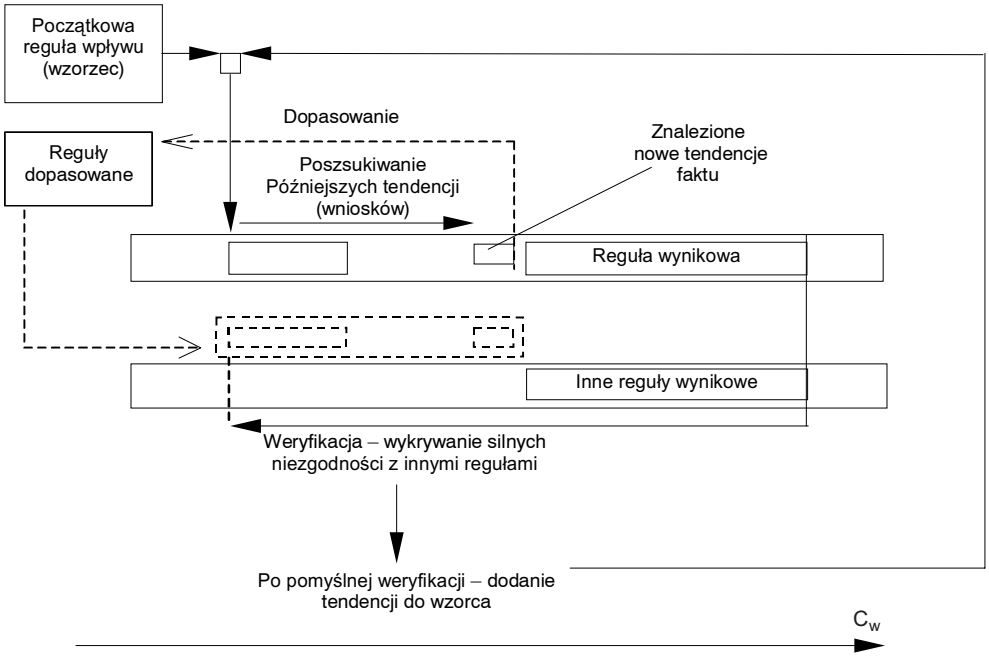
- będzie posiadała przynajmniej jedną tendencję faktu, zgodną z zawartą w już ustalonym wzorcu;
- nie będzie posiadała tendencji faktu kolidującej z którąkolwiek z pozostałych we wzorcu, czyli posiadającej takie samo VID, pokrywające się przynajmniej częściowo przedziały wartości czynnika wiodącego, lecz z kolei wartości współczynnika F o znacznie różniących się wartościach (zwłaszcza sugerujących proporcjonalność odwrotną); tolerancja takiej różnicy jest ustalana parametrycznie;
- będzie posiadała przynajmniej jedną tendencję faktu nie występującą w obecnym wzorcu i charakteryzowaną mniejszymi wartościami C_w w przypadku ekspertyzy wstecz i większymi w przypadku ekspertyzy wprzód niż którakolwiek tendencja faktu w ustalonym już wzorcu.

Z puli wyselekcjonowanych reguł dopasowanych zostanie następnie wybrana reguła, posiadająca najsilniejszą tendencję faktu (biorąc pod uwagę tylko te tendencje, które nie występowały we wzorcu). Tendencja ta poszerzy tymczasowo wzorzec. Pozostały wybór reguł zostanie zachowany i użyty po ewentualnym powrocie z bieżącego wątku ekspertyzy.

W kolejnym kroku wybrana reguła będzie weryfikowana. Weryfikacja polegać będzie na próbie ustalenia innych silnych reguł wynikowych zawierających tendencje faktów kolidujące z ustalonym już wzorcem, a znajdujących się na skali czynnika wiodącego w kierunku przeciwnym do kierunku ekspertyzy (jak pokazano na rys. 2). Innymi słowy weryfikacja będzie postępować w kierunku zmniejszających się wartości na skali C_w.

W przypadku niepowodzenia weryfikacji reguły nastąpi powrót do puli wyselekcjonowanych reguł i pobranie z niej kolejnej zgodnie ze strategią wyboru. Ekspertyza zakłada jedynie możliwość wykrycia sytuacji analogicznych do zaobserwowanych w fazie automatycznego uczenia, więc nie wymaga się od niej szukania wszystkich możliwych relacji pomiędzy faktami-zdarzeniami, które mogłyby zostać zdefiniowane na przykład na podstawie mniejszej liczby zaobserwowanych przypadków analogicznych. Naturalnie jest możliwość typowania i takich wyników – rozpatrując kolejne reguły z puli dopasowanych w przypadku powodzenia ich weryfikacji. Zweryfikowana reguła posiadać będzie nowe

tendencje faktów, które zostaną włączone do aktualnego wzorca. Reguły będą włączane kolejno zgodnie z wartościami czynnika wiodącego (więc również zależnie od kierunku ekspertyzy). Nastąpi to jednak tylko wówczas, gdy siła reguły wpływu jest przynajmniej taka sama, jak siła reguły rozpatrywanej poprzednio. Po wyczerpaniu puli wyselekcjonowanych reguł nastąpi nawrót do poprzednio zdefiniowanego zestawu reguł i próba użycia (weryfikacji) kolejnej z nich (rys. 2).



Rys. 2. Schemat procesu ekspertyzy dla wariantu: Ekspertyza wprzód

3.1. Proponowany algorytm ekspertyzy

Algorytm realizujący ekspertyzę można w skrócie zapisać w następujących punktach:

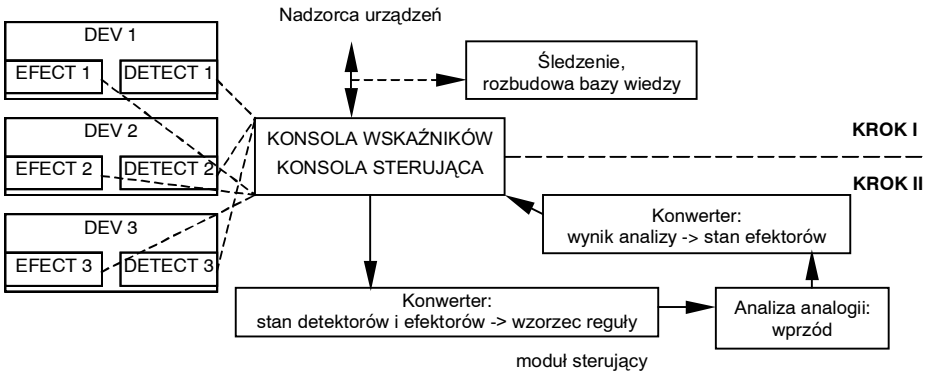
1. Zdefiniuj pulę reguł dopasowanych zgodnie z założeniami opisanymi wcześniej.
2. Jeżeli zbiór jest pusty – zakończ zwracając wzorzec bieżący.
3. Wybierz regułę z najsilniejszą nową tendencją faktu.
4. Usuń wybraną regułę ze zbioru reguł dopasowanych.
5. Dołącz tymczasowo do wzorca tendencje faktów posiadające STR większe lub równe od STR którejkolwiek tendencji faktu już znajdującej się we wzorcu. Jeżeli takich w regule nie ma – nawróć do kolejnej reguły dopasowanej, przechodząc do 3.
6. Zweryfikuj wzorzec tymczasowy (wykrywanie kolizji tendencji faktów). Jeśli kolizje wystąpiły – nawróć do kolejnej reguły w wybranych, przechodząc do 3.
7. Przyjmij wzorzec tymczasowy jako bieżący i przejdź do 1.

3.2. Ekspertyza na potrzeby sterowania

Jak wspomniano wcześniej, w proponowanej metodzie dopuszczona jest pełna zamienność znaczenia danych będących wejściem i wyjściem dla procesu uczenia czy analizy. Takie podejście gwarantuje sporą elastyczność zastosowania metody w analizie pobieranych danych i emisji wyników (nie jest konieczne adaptowanie do właściwego kierunku przepływu informacji). W przypadku sterowania rzeczywistym urządzeniem dla procesu uczenia wystarczy stworzyć konwertery, przetwarzające w zadanym interwale czasowym odczyty detektorów dla każdego z obiektów na fakty – zdarzenia. Podobnie w przypadku ustawień efektorów, sterowanych jeszcze przez nadzorcę – człowieka [4].

Użytkowanie powstałej bazy wiedzy będzie się sprowadzać do:

- rejestrowania krótkiej historii ustawień efektorów i wskazań detektorów dotyczących ustawień sterowanego obiektu;
- w interwale czasowym kodowania zabranych informacji do reguły wpływu (identycznie jak opisano wcześniej);
- zlecania bezpośrednio po takim kodowaniu ekspertyzy, podając tą regułę wpływu jako wzorzec;
- pobierania z otrzymanego wyniku tendencji faktów dotyczących możliwych do konfiguracji efektorów;
- obliczania na podstawie danych z takiej tendencji faktu (przesunięcie w regule będącej wynikiem) nowej wartości ustawienia efektora i aktywowania tej wartości w efektorze.



Rys. 3. Schemat blokowy: uczenie i wykorzystanie modułu sterującego

W najprostszym przypadku zastosowania założyć można istnienie kilku identycznych urządzeń nadzorowanych i sterowanych (początkowo) przez człowieka. Każde urządzenie monitorowane jest za pomocą podobnego zestawu detektorów, emitujących co określony czas informacje o jego wartości danego parametru. Nadzorca steruje ręcznie efektorami rzeczywistych urządzeń, produkując równocześnie uczącą informację wejściową dla przykładowego modułu sterującego. Informacja ta nie musi być idealnym rozwiązaniem dla za-

stanej przez nadzorcę sytuacji, jednak jest rozwiązaniem statystycznie poprawnym. Podawana jest do modułu razem z danymi płynącymi z detektorów, na podstawie których nadzorca podejmował decyzje (rys. 3). Obydwa typy informacji moduł traktuje identycznie, rozróżniając jedynie identyfikatory parametrów, wartości tych parametrów oraz identyfikatory obiektu diagnozowanego bądź sterowanego w danej chwili (te trzy elementy składają się na fakt-zdarzenie). Moduł na podstawie wejściowych danych rozbudowuje bazę wiedzy tworząc lub wzmacniając reguły. W końcu nadzorca wstrzymuje się od wydawania dalszych decyzji, zaś kolejną zastaną sytuację zleca do analizy.

4. Podsumowanie

W artykule został zaproponowany sposób gromadzenia wiedzy umożliwiający analizę relacji przyczynowo-skutkowych pomiędzy atrybutami obserwowanych obiektów z wykorzystaniem do w module sterującym. Moduł sterujący będzie operował w dwóch fazach:

1) uczenia, gdzie śledząc statystycznie poprawne decyzje człowieka będzie budował zaprojektowaną bazę wiedzy;
2) sterownia – gdzie na podstawie zastanej sytuacji dotyczącej nowego obiektu i treści bazy wiedzy będzie sterował tym obiektem.

W regułach budowanej bazy wiedzy nie dysponujemy jednoznacznie określoną pulą przesłanek i płynących z nich konkluzji (jest to zależne od punktu odniesienia). Mamy natomiast zakodowany ciąg często występujących po sobie w obiektach zjawisk, zapisany przy użyciu szeregu tendencji faktów. Samo wykorzystanie reprezentowanej wiedzy nieznacznie nawiązujące do przetwarzania klasycznej wiedzy regułowej, pozostaje oczywiście sprawą otwartą. Dalszymi krokami na polu testów i modyfikacji metody będą bez wątpienia kolejne eksperymenty z modyfikacjami procesu rozbudowy reguł i ekspertyz – szczególnie dotyczące przetwarzania parametrów o przebiegach oscylacyjnych. Możliwe jest także stworzenie przejrzystej prezentacji graficznej wyników ekspertyzy z przedstawieniem ścieżki przejść pomiędzy regułami wynikowymi, mającej zastosowanie w celach diagnostycznych modułu sterującego.

Literatura

[1] Mulawka J.: *Systemy ekspertowe.* WNT, 1996
[2] Turek M., Skrzyński P.: A*utomatyczne pozyskiwanie wiedzy i jej przetwarzanie na bazie wykrywania analogii*. PDFORUM, 2005
[3] Ziarko W.: *Rough Set Approaches for Discovering Rules and Attribute Dependencies.* PAN, 2000
[4] Han J.: *Characteristic Rules*. PAN, 2000