ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2006
Seria: AUTOMATYKA z. 145 Nr kol. 1728

Antoni NIEDERLIŃSKI
Politechnika Śląska

MODYFIKACJA STANFORDSKIEJ ALGEBRY WSPÓŁCZYNNIKÓW PEWNOŚCI DLA REGUŁOWO-MODELOWYCH SYSTEMÓW EKSPERTOWYCH *rmse*

Streszczenie. Istotą zaproponowanej modyfikacji jest wprowadzenie dwóch rodzajów wielokrotnych reguł o tych samych wnioskach: reguł kumulatywnych i reguł dysjunktywnych. Reguły kumulatywne mają niezależne listy warunków i wypadkowy współczynnik pewności wniosku jest wyznaczany jako kumulacja współczynników pewności wniosków poszczególnych reguł. Reguły dysjunktywne mają zależne listy warunków i tylko jedna z tych reguł określa wypadkowy współczynnik pewności wniosku.

MODIFYING THE STANFORD CERTAINTY FACTOR ALGEBRA FOR RULE- AND MODEL-BASED EXPERT SYSTEMS *rmes*

Summary. The modification consists of distinguishing two kind of multiple rules with the same conclusion: *cumulative rules* and *disjunctive rules.* Cumulative rules have independent lists of conditions and the overall certainty factor of their common conclusion is determined as a cumulation of certainty factors of the conclusions of all rules. Disjunctive rules have dependent lists of conditions and only one of them is determining the overall certainty factor of their common conclusion.

1. Wprowadzenie

Współczynniki pewności są subiektywną oceną pewności reguł i warunków, dokonaną przez twórcę lub użytkownika bazy wiedzy. Można je jednak w licznych przypadkach weryfikować eksperymentalnie. W innych przypadkach ich wybór jest odzwierciedleniem hierarchii wartości i preferencji osoby przeprowadzającej wnioskowanie.

Współczynniki pewności wprowadził w 1980 r. w David McAllister z MIT, który zarazem zaproponował metodykę wnioskowania, umożliwiającą ich zastosowanie dla systemów ekspertowych. Pierwszym znaczącym zastosowaniem tej metodyki był system ekspertowy MYCIN (Shortliffe 1976, Buchanan i Shortliffe 1984).

Metoda współczynników pewności była na przestrzeni minionych lat przedmiotem krytyk, uwypuklających brak głębszego uzasadnienie teoretycznego. Próbę dyskusji z tymi zastrzeżeniami można znaleźć w publikacji Lucasa (2001). Innym często podnoszonym zastrzeżeniem jest (stosowane w klasycznej wersji algebry współczynników pewności) założenie niezależności warunków reguł o tych samych wnioskach, por. Heckerman 1986, Russel-Norvig 2003 oraz Poole-Mackworth-Goebel 1998.

Modyfikacja będąca przedmiotem niniejszych rozważań ma na celu usunięcie niedogodności wzmiankowanego założenia. Potrzeba takiej modyfikacji wynika z rozlicznych zalet współczynników pewności, niezależnych od wzmiankowanego założenia, por. Niederliński 2006. Należy tu wymienić:

- możliwość weryfikacji *ex post* dokonanego wyboru współczynników pewności warunków i reguł na podstawie analizy danych historycznych opisujących wyniki decyzji podjętych w oparciu o wybrane współczynniki pewności. Bardzo duża liczba pakietów programowych dla celów "data mining" dostarcza bowiem wyniki w postaci umożliwiającej wyznaczenie tych współczynników;
- możliwość ich zastosowania do wyrażenia preferencji użytkownika. Systemy ekspertowe jako narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji w sposób oczywisty muszą umożliwiać wyrażenie preferencji decydenta w tych przypadkach, gdy decyzje te zależą od tych preferencji;
- niesprzeczność i intuicyjną oczywistość wyników wnioskowania stosującego współczynniki pewności. Wyniki tego wnioskowania okazują się być zgodne z wynikami "wnioskowania zdroworozsądkowego", niesformalizowanego i praktycznie zawsze stosowanego w warunkach niepewności.

2. Podstawowe założenia

Współczynniki pewności służą w niepewnych skorupowych systemach ekspertowych *rmse_EN* i *rmse_RN* do oceny stopnia pewności warunków dopytywalnych, reguł, modeli relacyjnych oraz wniosków wyprowadzonych z owych niepewnych reguł, niepewnych modeli relacyjnych i niepewnych warunków dopytywalnych. Wnioskowanie przy użyciu współczynników pewności ma siłą rzeczy charakter niepewny. Opiera się ono na następujących zasadach:

1. W bazach wiedzy niepewnych zamiast **zmiennych łańcuchowych logicznych** będą występować **zmienne łańcuchowe niepewne.** Zmienna łańcuchowa "X" jest zmienną łańcuchową niepewną, jeżeli jej inklud X zwany zmienną niepewną może przyjmować jedynie wartości ze zbioru współczynników pewności CF (Certainty Factor). Współczynnikami pewności nazywa się liczby rzeczywiste z przedziału [-1,1]. Niepewna zmienna łańcuchowa może być ukonkretniona (np. "0.6") lub nieukonkretniona (np. "X").
2. Każda reguła bazy reguł niepewnej ma postać:
   reguła(Nr, "Wniosek", Lista_Warunków, Semafor_wyświetlania, "CF_Reguły")
   gdzie:
   - "CF_reguły" jest ukonkretnioną niepewną zmienną łańcuchową; jej inklud jest współczynnikiem pewności reguły, będącym subiektywną miarą pewności reguły. Wartość CF_Reguły jest ustalana przez projektanta bazy reguł;

- "Wniosek" jest nieukonkretnioną niepewną zmienną łańcuchową;
- Lista_Warunków jest listą nieukonkretnionych niepewnych zmiennych łańcuchowych będących nazwami warunków reguły:
  ["Warunek_1",..., "Warunek_i",...,"Warunek_n"]
  Jeżeli:
  "Warunek_1" ma CF_Warunek_1
  "Warunek_i" ma CF_Warunek_i
  .....
  " Warunek_n" ma CF_Warunek_n
  to definiuje się:
  CF_Listy_Warunkow =
  Minimum(CF_Warunek_1,...,CF_Warunek_i,...,CF_Warunek_n)

3. Jeżeli Warunek_i jest dopytywalny, to wartość CF_Warunek_i zostaje:
   - albo określona przez użytkownika w trakcie wnioskowania;
   - albo zadeklarowana przez użytkownika w bazie reguł jako fakt niepewny:
     fakt("Warunek_i", "CF_Warunek_i")

   Wartość CF_Warunek_i charakteryzuje subiektywną pewność użytkownika bazy odnośnie tego, że Warunek_i jest prawdziwy (CF_warunku>0) lub nie jest prawdziwy (CF_warunku<=0).
4. Jeżeli Warunek_i jest niedopytywalny, to wartość CF_Warunek_i zostaje wyznaczona przez system wnioskujący w trakcie wnioskowania.
5. Współczynnik pewności warunku dopytywalnego negowanego jest równy dopełnieniu do zera współczynnika pewności warunku nienegowanego:
   CF("Warunek ") = - CF("Nie_Warunek ")

3. Reguły o jednakowym wniosku

Dla niepewnych systemów *rmse* postuluje się stosowanie wyłącznie dwóch typów wielokrotnych reguł o tych samych wnioskach: reguł kumulatywnych lub reguł dysjunktywnych:

1) reguły o tym samym wniosku są **regułami kumulatywnymi**, jeżeli mają wyłącznie **niezależne** listy warunków. Niezależność list warunków oznacza, że warunki z poszczególnych list mogą przyjmować całkowicie dowolne wartości. Przykładem mogą być następujące reguły kumulatywne:
   reguła(1,"Zaproponują mi awans do centrali", ["Efekty ekonomiczne"],_,"0.6")
   reguła(2,"Zaproponują mi awans do centrali",
   ["Odpowiedni współczynnik inteligencji"],_,"0.3")
   reguła(3,"Zaproponują mi awans do centrali",
   ["Odpowiednia znajomość angielskiego"],_,"0.2")
   Niezależność oznacza, że współczynnik pewności któregokolwiek z warunków "Efekty ekonomiczne", "Odpowiedni współczynnik inteligencji" i "Odpowiednia znajomość angielskiego" nie ma żadnego wpływu na współczynnik pewności innego z tych warunków.
   Z niezależności list warunków wynika **kumulatywność**: wypadkowy współczynnik pewności wniosku "Zaproponują mi awans do centrali" zależy od współczynników pewności tego wniosku dla każdej z reguł kumulatywnych. W klasycznych

zastosowaniach współczynników pewności wszystkie reguły o jednakowych wnioskach były traktowane jako kumulatywne;

2) reguły o tym samym wniosku są **regułami dysjunktywnymi**, jeżeli mają wyłącznie **zależne** listy warunków. Zależność list warunków oznacza, że współczynniki pewności list warunków nie mogą przyjmować całkowicie dowolnych wartości. Przykładem mogą być następujące reguły dysjunktywne:

reguła(1,"Efekty finansowe",["Bardzo duży zysk"],_,"0.5")
reguła(2,"Efekty finansowe",["Duży zysk"],_,"0.4")
reguła(3,"Efekty finansowe",["Mały zysk"],_,"0.2")
reguła(4,"Efekty finansowe",["Straty"],_,"– 0.8")

Zależność list warunków dla tego przykładu oznacza, że współczynniki pewności warunków "Bardzo duży zysk", "Duży zysk", "Mały zysk" i "Straty" nie mogą być całkowicie dowolne; np. jeżeli CF(Straty)>0 (co znaczy, że efektem działalności są – większe lub mniejsze – straty), to jest całkowitą nieprawdą jakakolwiek postać zysku, a więc będzie CF(Bardzo duży zysk)= –1, CF(Duży zysk)= –1 i CF(Mały zysk)= –1.

Dla powyższych reguł niedopuszczalny będzie zestaw współczynników pewności CF(Straty)>0, CF(Bardzo duży zysk)>0, CF(Duży zysk)>0 i CF(Mały zysk)>0.

Z zależności list warunków wynika **dysjunktywność**: wypadkowy współczynnik pewności wniosku "Efekty finansowe" będzie określony tylko przez jedną z reguł dysjunktywnych, np. będzie równy największemu współczynnikowi pewności wniosku tej reguły dysjunktywnej, która ma dodatni współczynnik pewności listy warunków.

Należy podkreślić, że:

- stosowanie reguł o wspólnym wniosku, nie będących ani kumulatywnymi ani dysjunktywnymi, prowadzi w niepewnych systemach *rmse* do błędnych wniosków;
- rozległe doświadczenie wykazało, na drodze odpowiedniego wyboru reguł i definiowania wniosków "pośrednich", że można zawsze otrzymać reguły o tym samym wniosku będące albo kumulatywnymi albo dysjunktywnymi.

Każdą regułę o unikatowym wniosku uważa się za regułę kumulatywną.

Wyznaczenie współczynnika pewności wniosku pojedynczej reguły zależy od rodzaju reguły:

1. Jeżeli CF_Listy_Warunkow >= 0 lub CF_Reguły >=0, a reguła jest regułą dysjunktywną lub jeżeli reguła jest kumulatywna (niezależnie od znaków CF_Listy_Warunkow i CF_Reguły), to mówimy, że reguła jest **niepewnie spełniona**, a CF jej wniosku jest dane wyrażeniem:

CF_Wniosku = CF_Listy_Warunkow * CF_Reguły

Jeżeli CF_Wniosek>0, to mówimy, że reguła jest **pozytywnie niepewnie spełniona**. Jeżeli CF_Wniosek<0, to mówimy, że reguła jest **negatywnie niepewnie spełniona**. Przypadek CF_Wniosek = 0 oznacza, że **nie może ocenić pewności wniosku.**

2. Jeżeli CF_Listy_Warunkow < 0 i CF_Reguły < 0, a reguła jest regułą dysjunktywną, to zostaje **pominięta**. Dla reguł dysjunktywnych jest bowiem niedopuszczalne, by ujemny współczynnik pewności reguły i ujemny współczynnik pewności listy

warunków dał dodatni współczynnik pewności wniosku: reguły dysjunktywne o ujemnych współczynnikach pewności reguły służą bowiem tylko do generowania ujemnych współczynników pewności wniosków.

4. Wypadkowy CF wniosku reguł kumulatywnych

Wyznaczenie wypadkowego współczynnika pewności dla wspólnego wniosku dwóch reguł kumulatywnych odbywa się na drodze działania zwanego **kumulowaniem** współczynników pewności cząstkowych, będących współczynnikami pewności wniosku dla poszczególnych reguł. Kumulowanie odbywa się zgodnie z zasadami klasycznej algebry współczynników pewności. Jeżeli:

reguła(1,"Wniosek",Lista_Warunków_1,_,"CF_Reguły_N1")

ma wniosek o cząstkowym współczynniku pewności CF1_Wniosek, a

reguła(N2,"Wniosek",Lista_Warunków_2,_,"CF_Reguły_N2")

ma wniosek o cząstkowym współczynniku pewności CF2_Wniosek, to wypadkowy CF_Wniosek będzie równy:

$$
CF_Wniosek = \begin{cases} CF1_Wniosek + CF2_Wniosek - CF1_Wniosek * CF2_Wniosek & \text{dla } CF1_Wniosek >= 0,\ CF2_Wniosek >= 0 \\ CF1_Wniosek + CF2_Wniosek + CF1_Wniosek * CF2_Wniosek & \text{dla } CF1_Wniosek <= 0,\ CF2_Wniosek <= 0 \\ \dfrac{CF1_Wniosek + CF2_Wniosek}{1 - \min(|CF1_Wniosek|, |CF2_Wniosek|)} & \text{dla } CF1_Wniosek < 0,\ CF2_Wniosek > 0. \\ & CF1_Wniosek * CF2_Wniosek >< -1 \end{cases}
$$

W przypadku większej liczby reguł kumulatywnych o współczynnikach pewności wniosku tego samego znaku korzysta się z wymienionych zasad najpierw dla dwóch reguł a otrzymany współczynnik pewności kumuluje się ze współczynnikiem pewności wniosku dla trzeciej reguły itd.

W przypadku większej liczby reguł kumulatywnych o współczynnikach pewności wniosku różnych znaków postępuje się następująco:

- kumuluje się współczynnik pewności wniosku dla reguł, dla których jest on dodatni;
- kumuluje się współczynnik pewności wniosku dla reguł, dla których jest on ujemny;
- kumuluje się skumulowane współczynniki pewności dodatni i ujemny.

Takie postępowanie zapewnia jednoznaczność wypadkowego współczynnika pewności.

5. Wypadkowy CF wniosku reguł dysjunktywnych

Wyznaczenie współczynnika pewności dla wspólnego wniosku elementarnych niepewnych reguł dysjunktywnych odbywa się zgodnie z następującymi trzema zasadami:

1. Reguły dysjunktywne o ujemnych współczynnikach pewności, dla których w trakcie wnioskowania współczynnik pewności listy warunków przyjmuje wartości ujemne, są w dalszym ciągu wnioskowania pomijane. Innymi słowy: reguła dysjunktywna o ujemnym współczynniku pewności nie może być stosowana do generowania dodatniego współczynnika pewności wniosku, lecz jedynie do generowania ujemnego współczynnika pewności wniosku*. Będziemy to nazywać *zasadą dodatniości CF.*
2. Jeżeli dla reguł dysjunktywnych, które nie zostały pominięte w wyniku zastosowania zasady dodatniości, listy warunków mają współczynniki pewności jednakowych znaków, wypadkowy współczynnik pewności wniosku jest największym spośród współczynników pewności wniosków reguł (*zasada maksymalnego współczynnika pewności dla wszystkich reguł).*
3. Jeżeli dla reguł dysjunktywnych, które nie zostały pominięte w wyniku zastosowania zasady dodatniości, listy warunków mają współczynniki pewności różnych znaków, wypadkowy współczynnik pewności wniosku jest największym spośród współczynników pewności wniosków reguł o dodatnich współczynnikach pewności list warunków (*zasada maksymalnego współczynnika pewności dla dodatnio uwarunkowanych reguł).*

System wnioskujący jest informowany o regułach dysjunktywnych na drodze wprowadzania do bazy reguł deklaracji reguła_dysjunktywna("Wniosek reguły dysjunktywnej"). Reguły o wspólnym wniosku nie wyróżnione taką deklaracją są uważane za reguły kumulatywne. Dlatego reguły o unikatowym wniosku są przez system przetwarzane tak jak reguły kumulatywne.

Zasadę dodatniości można prosto uzasadnić na przytoczonym już przykładzie reguł dysjunktywnych:

```
reguła(1,"Efekty finansowe",["Bardzo duży zysk"],_,"0.5")
reguła(2,"Efekty finansowe",["Duży zysk"],_,"0.4")
reguła(3,"Efekty finansowe",["Mały zysk"],_,"0.2")
reguła(4,"Efekty finansowe",["Straty"],_,"– 0.8")
reguła_dysjunktywna("Efekty finansowe")
```

Jeżeli CF(Straty)= –1, CF(Mały zysk)= 0.3, CF(Duży zysk)= –1 i CF(Bardzo duży zysk)= –1, to z poszczególnych reguł otrzymuje się:

```
reguła 1:        CF(Efekty finansowe) = -0.5
reguła 2:        CF(Efekty finansowe) = -0.4
reguła 3:        CF(Efekty finansowe) =  0.06
reguła 4:        CF(Efekty finansowe) =  0.8
```

*Nie odnosi się to do reguł kumulatywnych. Reguły kumulatywne o ujemnym *CF_reguły* i ujemnym *CF_Listy_warunków* są dopuszczalne. Ich sens jest taki, że niepewne niespełnienie warunków, których niepewne spełnienie normalnie skutkuje „karą", skutkuje w sposób intuicyjnie oczywisty „nagrodą".

CF(Efekty finansowe) musi być wyznaczone przez regułę 3 jako równe 0.06, a nie przez regułę 4 jako równe 0.8. Reguła 4 służy bowiem do wyznaczania ujemnego CF dla efektów finansowych w przypadku zaistnienia strat, a więc w przypadku, gdy CF(Straty)>0. Pominięcie reguły 4 naruszającej zasadę dodatniości jest więc całkowicie zasadne.

6. Wypadkowy CF zanegowanego wniosku reguł dysjunktywnych

W przypadku baz reguł rozwiniętych niepewnych, których wszystkie reguły mają niezanegowane wnioski, zaistnieć może potrzeba wyznaczenia wypadkowego współczynnika pewności dla zanegowanego wniosku reguł dysjunktywnych. Zanegowany wniosek może bowiem być warunkiem jakiejś innej reguły, jak w poniższym przykładzie:

```
reguła(1,"Wniosek",Lista_warunków_1,"CF_1")
reguła(2,"Wniosek",Lista_warunków_2,"CF_2")
reguła(3,"Wniosek_3",["nWniosek",_,_]_1,"CF_3")
```

Wyznaczenie współczynnika pewności dla zanegowanego wspólnego wniosku rozwiniętych niepewnych reguł dysjunktywnych odbywa się zgodnie z następującymi trzema zasadami:

1. Reguły dysjunktywne o ujemnych współczynnikach pewności, dla których w trakcie wnioskowania współczynnik pewności listy warunków przyjmuje wartości ujemne, są w dalszym ciągu wnioskowania pomijane. Innymi słowy: reguła dysjunktywna o ujemnym współczynniku pewności nie może być stosowana do generowania dodatniego współczynnika pewności wniosku, lecz jedynie do generowania ujemnego współczynnika pewności wniosku. Będziemy to nazywać zasadą dodatniości CF. Zasada dodatniości CF ma więc taką samą postać jak dla baz reguł elementarnych niepewnych.
2. Jeżeli dla reguł dysjunktywnych, które nie zostały pominięte w wyniku zastosowania zasady dodatniości, listy warunków mają współczynniki pewności jednakowych znaków, wypadkowy współczynnik pewności zanegowanego wniosku jest najmniejszym spośród współczynników pewności wniosków reguł (zasada minimalnego współczynnika pewności dla wszystkich reguł).
3. Jeżeli dla reguł dysjunktywnych, które nie zostały pominięte w wyniku zastosowania zasady dodatniości, listy warunków mają współczynniki pewności różnych znaków, wypadkowy współczynnik pewności zanegowanego wniosku jest najmniejszym spośród współczynników pewności wniosków reguł o dodatnich współczynnikach pewności list warunków (zasada minimalnego współczynnika pewności dla dodatnio uwarunkowanych reguł).

Zasadę dodatniości można prosto uzasadnić na następującym przykładzie reguł dysjunktywnych, dla których weryfikowana jest hipoteza Ogłoś bankructwo:

```
reguła(0,"Ogłoś bankructwo",["nEfekty finansowe"],_,"0.8")
reguła(1,"Efekty finansowe",["Bardzo duży zysk"],_,"0.5")
reguła(2,"Efekty finansowe",["Duży zysk"],_,"0.4")
reguła(3,"Efekty finansowe",["Mały zysk"],_,"0.2")
```

reguła(4,"Efekty finansowe",["Straty"],_,"– 0.8")
reguła_dysjunktywna("Efekty finansowe")

Jeżeli CF(Straty)= –1, CF(Mały zysk)=0.3, CF(Duży zysk)= –1 i CF(Bardzo duży zysk)= –1, to z poszczególnych reguł otrzymuje się:

reguła 1: CF(nEfekty finansowe) = 0.5
reguła 2: CF(nEfekty finansowe) = 0.4
reguła 3: CF(nEfekty finansowe) = – 0.06
reguła 4: CF(nEfekty finansowe) = – 0.8

a wypadkowa wartość CF:

CF(nEfekty finansowe) = – 0.06

i odpowiednio:

CF(Ogłoś bankructwo) = – 0.048

CF(nEfekty finansowe) musi być wyznaczone przez regułę 3 jako równe – 0.06, a nie przez regułę 4 jako równe – 0.8. Reguła 4 służy bowiem do wyznaczania ujemnego CF dla efektów finansowych w przypadku zaistnienia strat, a więc w przypadku, gdy CF(Straty)>0. Pominięcie reguły 4 naruszającej zasadę dodatniości jest więc ponownie całkowicie zasadne. Uzyskany wynik jest zgodny z wynikiem uzyskanym poprzednio dla niezanegowanego wniosku Efekty finansowe.

Wymienione trzy zasady są odpowiednikami omówionych poprzednio trzech zasad wyznaczania współczynnika pewności dla (niezanegowanego) wspólnego wniosku elementarnych niepewnych reguł dysjunktywnych. Uzyskane za ich pomocą wyniki muszą oczywiście odpowiadać wynikom uzyskanym dla (niezanegowanego) wspólnego wniosku elementarnych niepewnych reguł dysjunktywnych.

7. Podsumowanie

Zaproponowana modyfikacja algebry współczynników pewności usuwa jedną z przeszkód na drodze szerszego jej stosowania dla modelowania niepewności w systemach ekspertowych, a mianowicie konieczność stosowania założenia o niezależności warunków wszelkich reguł o nieunikatowych wnioskach.

LITERATURA

1. Buchanan B., Shortliffe E.: Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments. Addison-Wesley, Reading, MA, 1984.
2. Heckerman D.: Probabilistic interpretation of MYCIN's certainty factors w pracy Kanal L.N., Lemmers J.F. (Eds): Uncertainty in Artificial Intelligence. Elsevier/North Holland, Amsterdam, London, New York 1986.
3. Lucas P.J.F.: Certainty factor like structures in Bayesian belief networks. Knowledge Based Systems 14, 2001, p. 327-335.
4. Niederliński A.: Regułowo-modelowe systemy ekspertowe: http://www.rmse.pl/, 2006.
5. Niederliński A.: Regułowo-modelowe systemy ekspertowe *rmse*. Wydawnictwo PJK, Gliwice 2006.

6. Poole D., Mackworth A., Goebel R.: Computational Intelligence. A Logical Approach. Oxford University Press, New York, Oxford 1998.
7. Russel S., Norvig P.: Artificial Intelligence. A Modern Approach. II-nd Edition, Prentice Hall – Pearson Education International, Upper Saddle River, 2003
8. Shortliffe E.: Computer Based Medical Consultations: MYCIN. American Elsevier, New York 1976.

Podziękowania

Przedstawione badania były finansowane w latach 2001-2003 w części przez Fundację Nauki Polskiej w ramach subsydium profesorskiego, a w latach 2002-2006 przez Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej w ramach BK-215/RAU-1/200x.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz

Abstract

The Stanford Certainty Factor Algebra (SCFA) was originally introduced in the MYCIN expert system, designed to diagnose infectious blood diseases. It was intended to be a remedy for some of the weaknesses shown by a purely probabilistic approach used earlier. However, SCFA turned out to have some other weakness resulting from the assumption about independence of conditions of multiple rules with non-unique conclusions. The proposed modification consists of building uncertain rule bases having only two kind of rules with non-unique conclusion: *cumulative rules* and *disjunctive rules*. Cumulative rules have independent lists of conditions and the overall certainty factor of their common conclusion is determined as a cumulation of the certainty factors of the conclusions of all rules. This may be done as proposed in the original SCFA. Disjunctive rules have dependent lists of conditions and only one of them is determining the overall certainty factor of their common conclusion. A number of real-world application indicates, that it is possible to transform any sets of multiple rules with non-unique conclusions into sets of cumulative and disjunctive rules, perhaps by introducing rules for some intermediate conclusions. A set of principles for processing disjunctive rules has been proposed.