



Systemy ekspertowe

Część siódma

Reprezentacja wiedzy niepewnej i wnioskowanie w warunkach niepewności Model współczynników pewności

Autor

Roman Simiński

Kontakt

`siminski@us.edu.pl`

`www.us.edu.pl/~siminski`

Jak radzić sobie z wiedzą obarczoną niepewnością?

Czy zawsze wiemy wszystko na pewno?

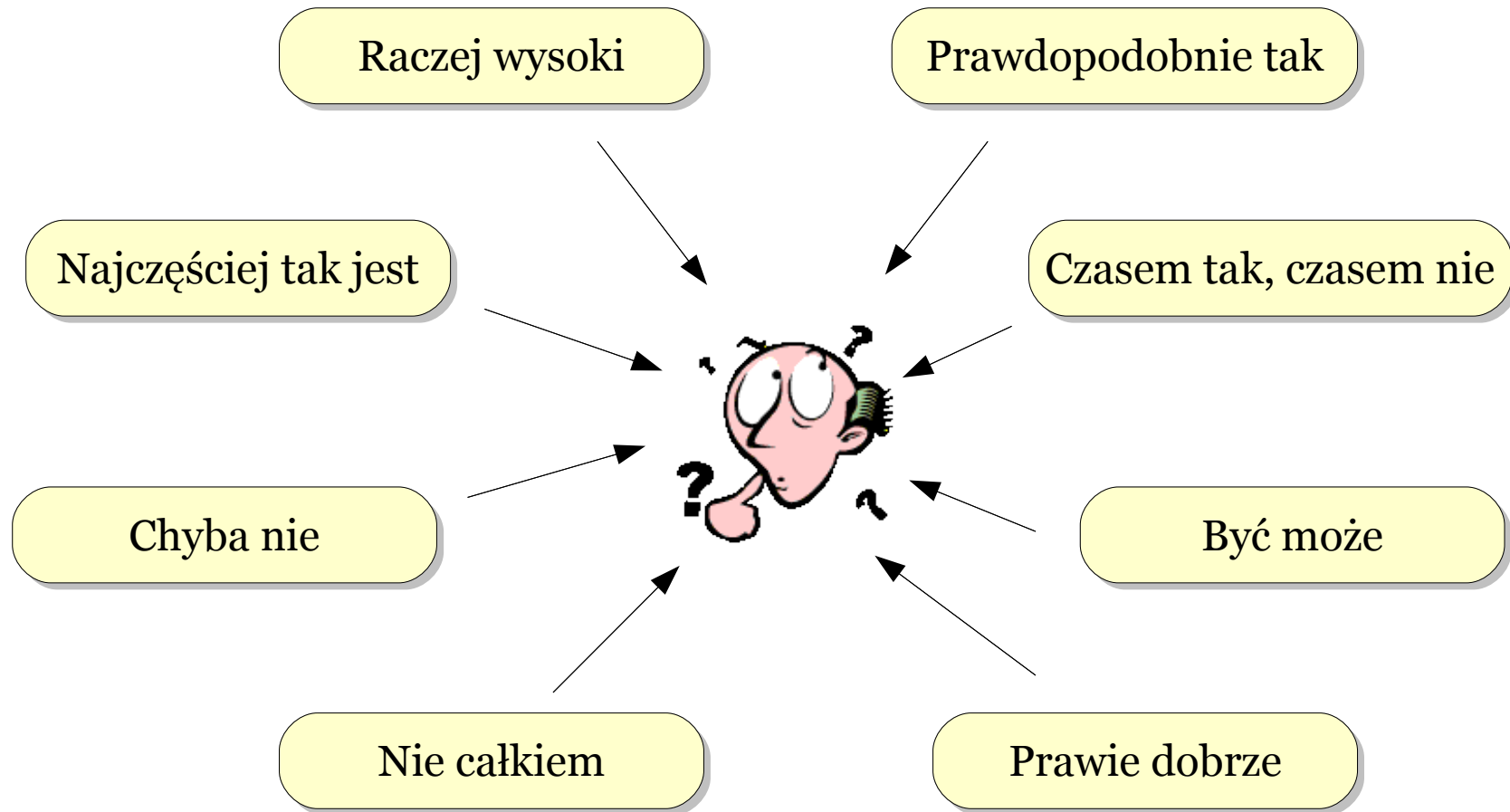
Chyba mam gorączkę
Trochę boli mnie gardło
Mam lekki katar



Gorączka, ból gardła i katar mogą
być objawami przeziębienia.
Ale być może są to początki grypy.

Jak radzić sobie z wiedzą obarczoną niepewnością?

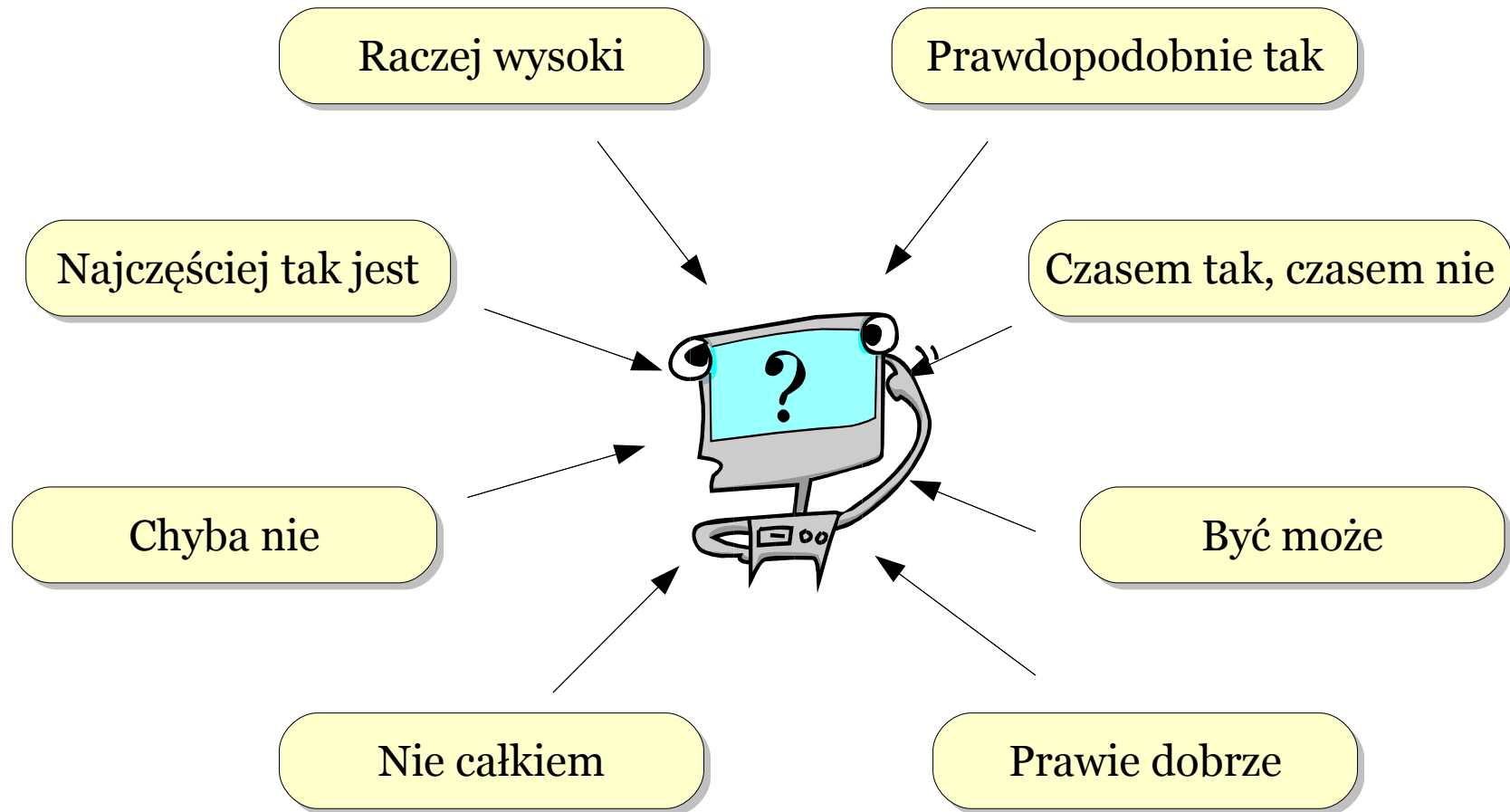
Otoczający nas świat pełen jest pojęć nieprecyzyjnych



Ludzie jakoś – lepiej lub gorzej – radzą sobie z pojęciami nieprecyzyjnymi i niepewnymi.

Jak radzić sobie z wiedzą obarczoną niepewnością?

Otoczający nas świat pełen jest pojęć nieprecyzyjnych



Jak ma z tym poradzić sobie komputer?

Jak radzić sobie z wiedzą obarczoną niepewnością?

Niepewność może dotyczyć obserwacji (faktów) jak i samej wiedzy

Fakty niepewne

Chyba mam gorączkę
Trochę boli mnie gardło
Mam lekki katar

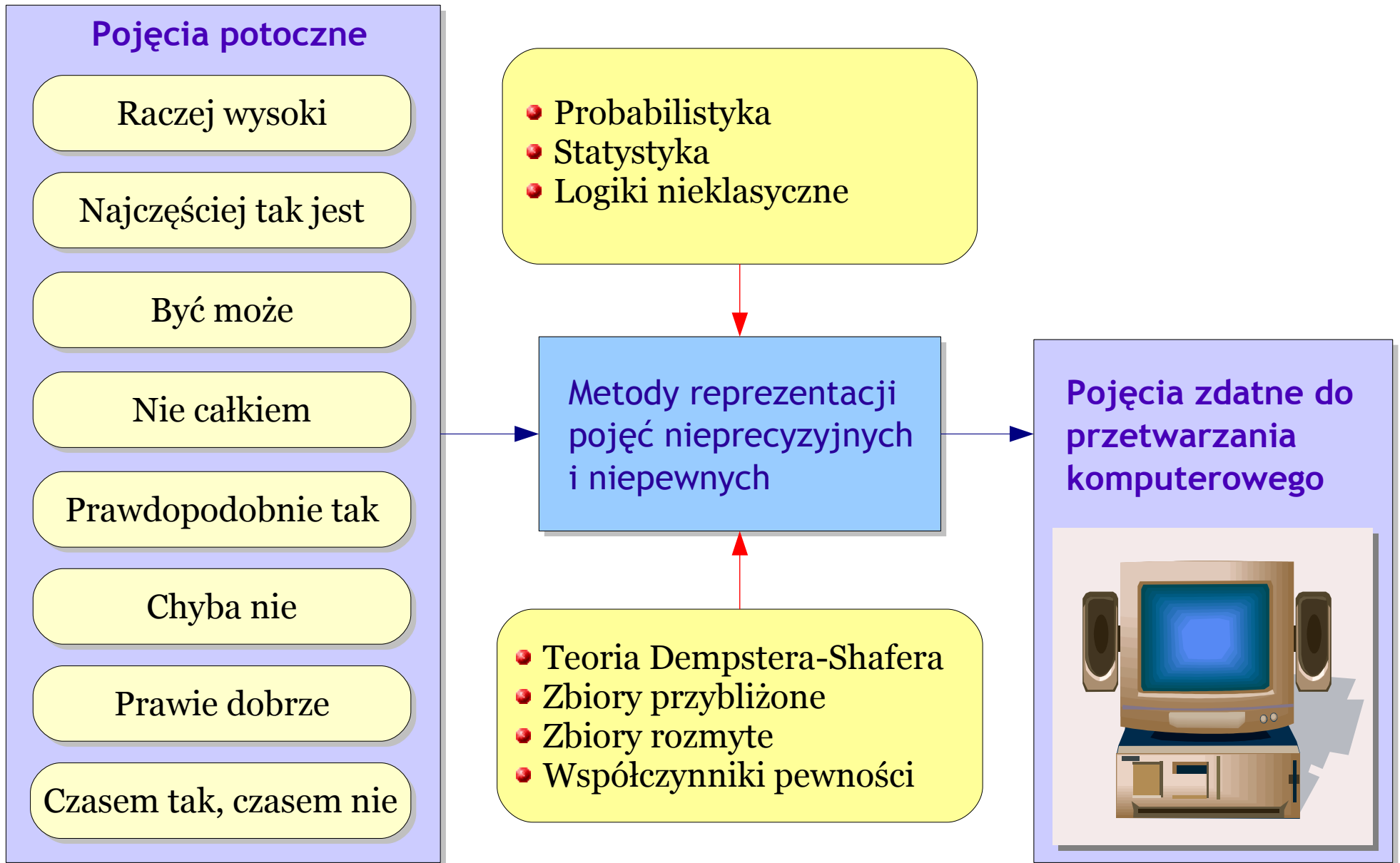
Wiedza niepewna

Gorączka, ból gardła i katar mogą
być objawami przeziębienia.
Ale być może są to początki grypy.



Jak radzić sobie z wiedzą obarczoną niepewnością?

Jak precyzyjnie opisać nieprecyzyjnie pojęcia?



Model współczynników pewności CF

Geneza

CF – współczynnik pewności – to akronim angielskiego *Certainty Factor*.

- ▶ Model współczynników pewności został opracowany w połowie lat 80-tych XX wieku.
- ▶ Autorem koncepcji jest David McAllister z MIT.
- ▶ Pierwsze znaczące zastosowanie – system MYCIN.
- ▶ Oryginalna koncepcja doczekała się kilku modyfikacji.

Koncepcja

Metoda współczynników pewności zakłada *rozszerzenie modelu regułowego* o pewne numeryczne oszacowanie stopnia pewności eksperta o prawdziwości danej reguły czy też faktu.

W modelu współczynników pewności fakty, warunki i hipotezy nie przyjmują wartości *true* lub *false*, ich wartość określona jest współczynnikiem pewności *CF*, przyjmującym wartości $-1 \leq CF \leq 1$.

Model współczynników pewności CF

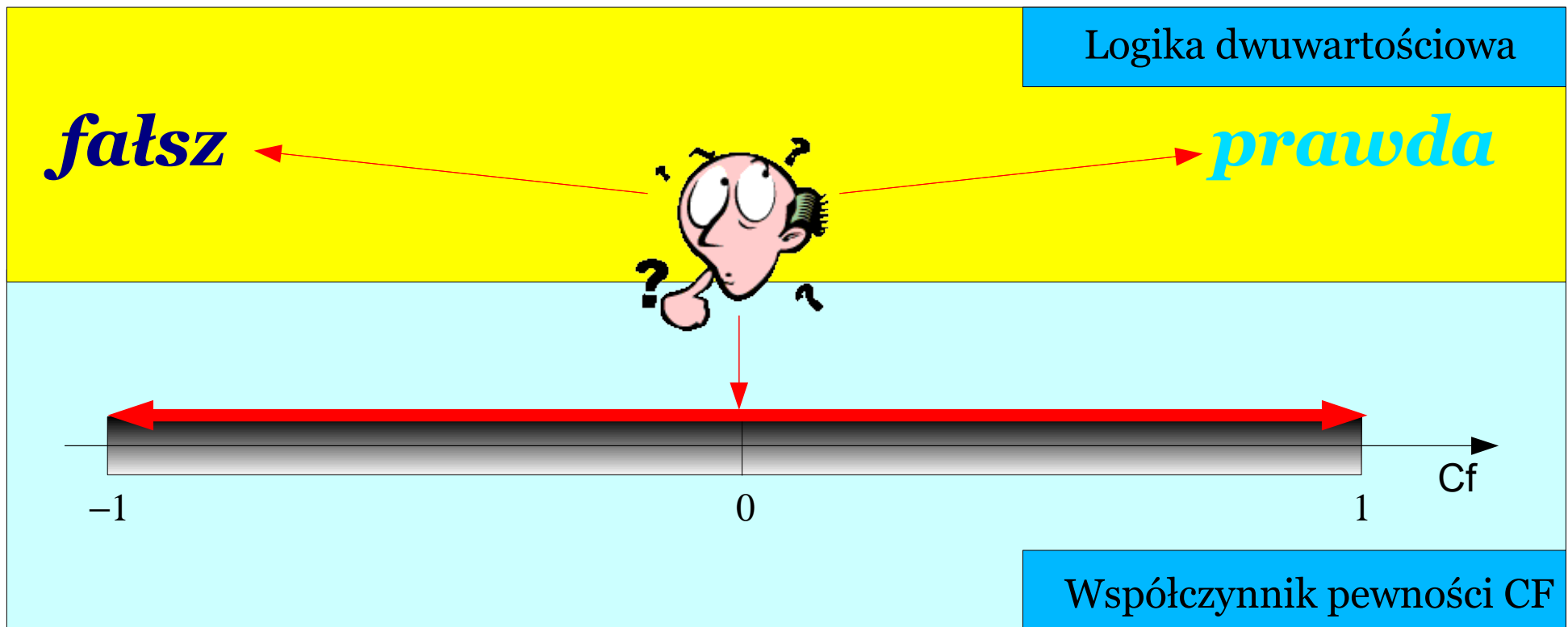
Od logiki dwuwartościowej do stopnia przekonania o prawdziwości

Logika dwuwartościowa:

- prawda,
- fałsz.

Współczynnik pewności

- $-1 \leq CF \leq 1$

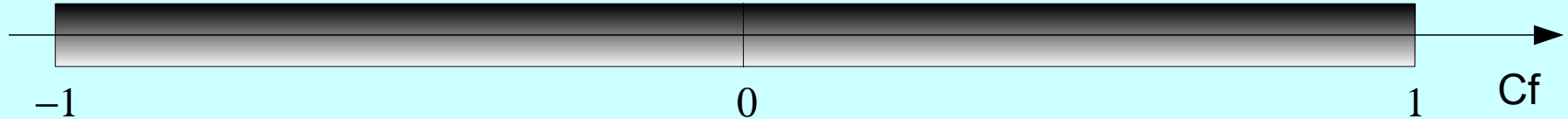


Model współczynników pewności CF

Od sceptyka do entuzjasty, czyli jak rozumieć współczynnik pewności

1

Współczynnik pewności CF



Maleje niepewność, wzrasta pewność

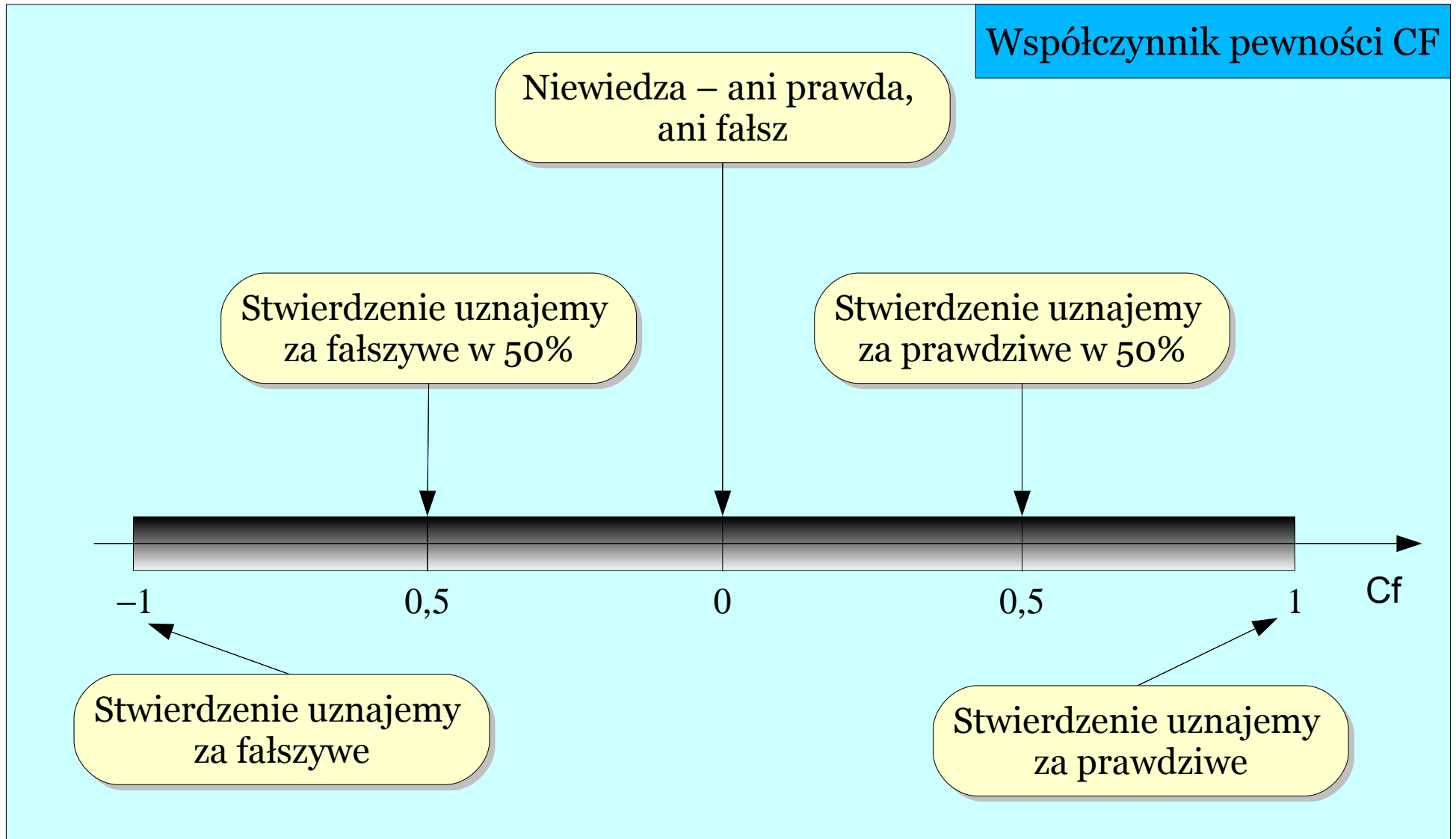


Wzrasta niepewność, maleje pewność



Od sceptyka do entuzjasty, czyli jak rozumieć współczynnik pewności

1



Formalny opis współczynników pewności

- ▶ Współczynnik pewności CF nie jest bezpośrednio rozumiany jako klasyczne prawdopodobieństwo.
- ▶ Jak podają autorzy systemu MYCIN — Shortliffe i Bachman — współczynnik pewności jest chwytem pozwalającym połączenie stopnia wiedzy oraz niewiedzy i odwzorowanie ich w postaci jednej liczby.
- ▶ Do odwzorowania *wiedzy* służy współczynnik MB zwany *miarą wiarygodności* (ang. *measure of belief*).
- ▶ Do opisanie *niewiedzy* służy współczynnik MD zwany *miarą niewiarygodności* (ang. *measure of disbelief*).

Założmy, że miary MB i MD przypisujemy do pewnego stwierdzenia s . Wtedy współczynnik pewności CF tego stwierdzenia s określony jest następująco:

$$CF(s) = MB(s) - MD(s)$$

Wartość współczynnika CF należy zatem do przedziału od $\langle -1, +1 \rangle$. Dodatnie wartości odpowiadają wzrastaniu wiarygodności stwierdzenia s , natomiast ujemne odpowiadają zmniejszaniu się wiarygodności.

Formalny opis współczynników pewności

Interpretacja miar wiarygodności MB i niewiarygodności MD w powiązaniu z prawdopodobieństwem może być następująca:

- ▶ jeżeli $P(s) = 1$ to s jest prawdziwe na pewno, wtedy $MB(s) = 1$, $MD(s) = 0$, oraz $CF(s) = 1$,
- ▶ jeżeli $P(\neg s) = 1$ to s jest fałszywe na pewno, wtedy $MB(s) = 0$, $MD(s) = 1$, oraz $CF(s) = -1$,
- ▶ jeżeli $P(\neg s) = P(s)$ wtedy $MB(s) = 0$, oraz $MD(s) = 0$, $CF(s) = 0$

Co można zapisać w zwartej postaci:

$$CF(s) = \begin{cases} 1 & P(s) = 1 \\ MB(s) & P(s) > P(\neg s) \\ 0 & P(s) = P(\neg s) \\ -MD(s) & P(s) < P(\neg s) \\ -1 & P(s) = 0 \end{cases}$$

Formalny opis współczynników pewności

1

- ▶ W praktyce próba zdefiniowania współczynnika CF jako różnicy pomiędzy MB i MD jest niewygodna.
- ▶ Definicja taka poprawia formalny „wizerunek” współczynnika pewności.
- ▶ W rzeczywistości współczynnik CF jest zwykle arbitralnie wybraną wartością z przedziału $\langle -1, 1 \rangle$, dobieraną zgodnie z przedstawioną wcześniej, intuicyjną interpretacją wartości z tego przedziału.

Model współczynników pewności CF

Nieformalna interpretacja współczynników pewności - fakty

1

Fakty niepewne

Chyba mam gorączkę
Mocno boli mnie głowa
Trochę boli mnie gardło
Mam lekki katar
Nie boli mnie brzuch



Fakty pewne

A – Mam gorączkę
B – Boli mnie głowa
C – Boli mnie gardło
D – Mam katar
E – Boli mnie brzuch

Fakty ze współ. CF

$CF(A) = 0$
 $CF(B) = 1$
 $CF(C) = 0,5$
 $CF(D) = 0,3$
 $CF(E) = -1$

Nieformalna interpretacja współczynników pewności - reguły

1

1: *if gorączka and bolGardła and katar then przeziębienie with 0.8*

2: *if gorączka and bolGardła and katar then grypa with 0.4*

Reguła 1 mówi, że gorączka, bólu gardła oraz katar są objawami przeziębienia, co stwierdzamy z wysokim, równym 0.8 stopniem pewności.

Z nieco mniejszym, bo równym 0.4, współczynnikiem pewności, reguła 2 stwierdza, że takie same objawy świadczą o grypie.



Gorączka, ból gardła i katar mogą być objawami przeziębienia. Ale być może są to początki grypy.

Wnioskowanie w systemach regułowych z współczynnikiem pewności

Reguły

1: ***if gorączka and bolGardła and katar then przeziębienie with 0.8***

2: ***if gorączka and bolGardła and katar then grypa with 0.4***

Fakty

gorączka

bolGardła

katar

Wnioskowanie w przód

Reguły

1: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** przeziębienie **with** 0.8

2: **if**

Szukamy reguł, których przesłanki są faktami

Fakty

gorączka

bolGardła

katar

Wnioskowanie w przód

Reguły

||→ 1: *if gorączka and bolGardła and katar then przeziębienie with 0.8*

||→ 2: *if gorączka and bolGardła and katar then grypa with 0.4*

Fakty

gorączka

bolGardła

katar

Wnioskowanie w przód

Reguły

→ 1: *if gorączka and bolGardła and katar then przeziębienie with 0.8*

→ 2: *if*

Uaktywniamy obie reguły, dopisujemy nowe fakty

Fakty

gorączka

bolGardła

katar

Wnioskowanie w przód

Reguły

- 1: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** przeziębienie **with** 0.8
- 2: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** grypa **with** 0.4

Fakty

gorączka

bolGardła

katar

przeziębienie

grypa



A co z CF-ami?

Wnioskowanie w przód - wersja skorygowana

Reguły

- 1: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** przeziębienie **with** 0.8
- 2: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** grypa **with** 0.4

Fakty

 $CF(\text{gorączka})=1$
 $CF(\text{bolGardła})=1$
 $CF(\text{katar})=1$
 $CF(\text{przeziębienie})=?$
 $CF(\text{grypa})=?$

Współczynniki pewności faktów startowych

Współczynniki pewności nowych faktów ???

Współczynniki CF przypisane do reguł osłabiają pewność przesłanki...

Wnioskowanie w przód - wersja skorygowana

Reguły

- 1: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** przeziębienie **with** 0.8
- 2: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** grypa **with** 0.4

Fakty

 $CF(\text{gorączka})=1$ $CF(\text{bolGardła})=1$ $CF(\text{katar})=1$ $CF(\text{przeziębienie})=0.8$ $CF(\text{grypa})=0.4$

Współczynniki pewności faktów startowych

Współczynniki pewności nowych faktów

A co będzie, jeżeli fakty startowe będą miały wartość CF inną niż 1...?

Wnioskowanie w przód - fakty startowe z CF różnym od jedności

Reguły

- 1: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** przeziębienie **with** 0.8
- 2: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** grypa **with** 0.4

Fakty

$CF(\text{gorączka})=0.5$

$CF(\text{bolGardła})=0.9$

$CF(\text{katar})=0.8$

$CF(\text{przeziębienie})=?$

$CF(\text{grypa})=?$

Współczynniki pewności faktów startowych

Współczynniki pewności nowych faktów ???

W jaki sposób wyznaczyć CF konkluzji dla niepewnych faktów i reguły z CF ?

Wnioskowanie w przód - współczynnik pewności przesłanki koniunkcyjnej

Reguły

1: *if gorączka and bolGardła and katar then przeziębienie with 0.8*

$CF(\text{gorączka and bolGardła and katar}) = ?$

2: *if gorączka and bolGardła and katar then grypa with 0.4*

Wnioskowanie w przód - współczynnik pewności przesłanki koniunkcyjnej

Reguły

1: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** przeziębienie **with** 0.8


$$CF(\text{gorączka and bolGardła and katar}) \\ = \text{Minimum}(CF(\text{gorączka}), CF(\text{bolGardła}), CF(\text{katar})) = 0.5$$

2: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** grypa **with** 0.4

Wnioskowanie w przód - współczynnik pewności przesłanki dyzjunkcyjnej

Reguły

1: **if** gorączka **or** bolGardła **or** katar **then** przeziębienie **with** 0.8


$$CF(\text{gorączka or bolGardła or katar}) \\ = \text{Maksimum}(CF(\text{gorączka}), CF(\text{bolGardła}), CF(\text{katar})) = 0.9$$

2: **if** gorączka **or** bolGardła **or** katar **then** grypa **with** 0.4

Wnioskowanie w przód - współczynnik pewności konkluzji reguły

Reguły

1: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** przeziębienie **with** 0.8

$$CF(\text{gorączka and bolGardła and katar}) = 0.5$$

$$CF(r1) = 0.8$$

$$CF(\text{przeziębienie}) = CF(\text{gorączka and bolGardła and katar}) * CF(r1) = 0.4$$

$$CF(\text{przeziębienie}) = CF(\text{gorączka and bolGardła and katar}) * CF(r2) = 0.2$$

$$CF(\text{gorączka and bolGardła and katar}) = 0.5$$

$$CF(r2) = 0.4$$

2: **if** gorączka **and** bolGardła **and** katar **then** grypa **with** 0.4

Model współczynników pewności CF

Współczynnik pewności przesłanki koniunkcyjnej - podsumowanie

*if warunek₁ **and** warunek₂ **and** ... warunek_n **then** konkluzja **with** CF_reguły*

$$CF(\text{przesłanka}) = \text{Minimum}(CF(\text{warunek}_1), CF(\text{warunek}_2), \dots, CF(\text{warunek}_n))$$

Współczynnik pewności przesłanki dyzjunkcyjnej - podsumowanie

*if warunek₁ **or** warunek₂ **or** ... warunek_n **then** konkluzja **with** CF_reguły*

$$CF(\text{przesłanka}) = \text{Maksimum}(CF(\text{warunek}_1), CF(\text{warunek}_2), \dots, CF(\text{warunek}_n))$$

Współczynnik pewności konkluzji - podsumowanie

*if przesłanka **then** konkluzja **with** CF_reguły*

$$CF(\text{konkluzja}) = CF(\text{przesłanka}) * CF_reguły$$

Współczynnik pewności konkluzji - interpretacja

- ▶ Współczynnik pewności reguły koryguje pewność przesłanki o numeryczne oszacowanie stopnia „zaufania” do wiedzy reprezentowanej przez regułę.
- ▶ Gdy $CF_reguły = 1$, reguła całkowicie wspiera pewność przesłanki reguły.
- ▶ Gdy $CF_reguły = -1$, reguła całkowicie osłabia pewność przesłanki reguły.
- ▶ Gdy $CF_reguły = 0$, przesłanka reguły nie mają wpływu na pewność konkluzji.
- ▶ Gdy $CF_reguły \in (0, 1)$ reguła koryguje pewność przesłanki – wzmacnia w przypadku gdy $CF(\text{przesłanki}) < 0$, osłabia w niewielkim stopniu gdy $CF(\text{przesłanki}) > 0$.
- ▶ Gdy $CF_reguły \in (-1, 0)$ reguła koryguje pewność przesłanki – osłabia w przypadku gdy $CF(\text{przesłanki}) > 0$, wzmacnia (!) w niewielkim stopniu gdy $CF(\text{przesłanki}) < 0$.

Model współczynników pewności CF

Współczynnik pewności konkluzji warunkowanych przez wiele reguł - wartości dodatnie

Reguły

1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** 0.8

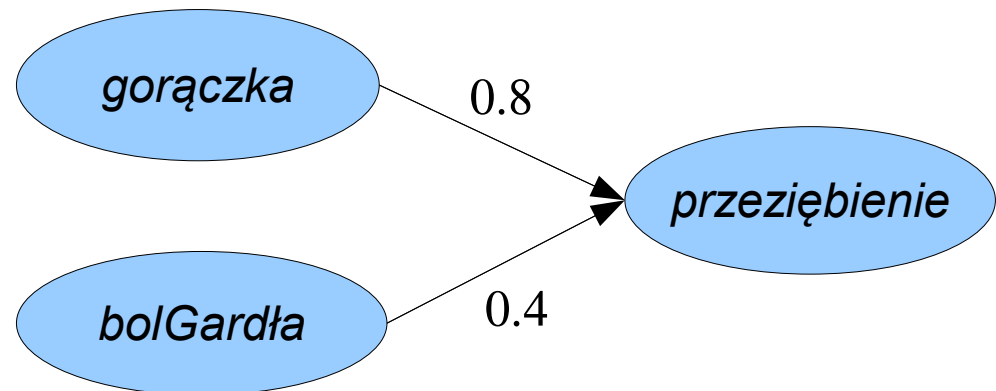
2: **if** bolGardła **then** przeziębienie **with** 0.4

Niezależne warunki

Fakty

$CF(\text{gorączka})=1$

$CF(\text{bolGardła})=1$



Jaki jest współczynnik pewności konkluzji $CF(\text{przeziębienie}) = ?$

Model współczynników pewności CF

Współczynnik pewności konkluzji warunkowanych przez wiele reguł - wartości dodatnie

Reguły

1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** 0.8

2: **if** bolGardła **then** przeziębienie **with** 0.4

Niezależne warunki

Fakty

$CF(\text{gorączka})=1$

$CF(\text{bolGardła})=1$

CF(przeziębienie) z reguł 1 i 2:

$CF_1(\text{przeziębienie})=1 * 0.8 = 0.8 > 0$

$CF_2(\text{przeziębienie})=1 * 0.4 = 0.4 > 0$

Współczynniki pewności obu konkluzji obu reguł są dodatnie

Łączny CF(przeziębienie):

$$CF(\text{przeziębienie}) = CF_1(\text{przeziębienie}) + CF_2(\text{przeziębienie}) - CF_1(\text{przeziębienie}) * CF_2(\text{przeziębienie}) = 0.8 + 0.4 - 0.8 * 0.4 = 1.2 - 0.32 = 0.88$$

Model współczynników pewności CF

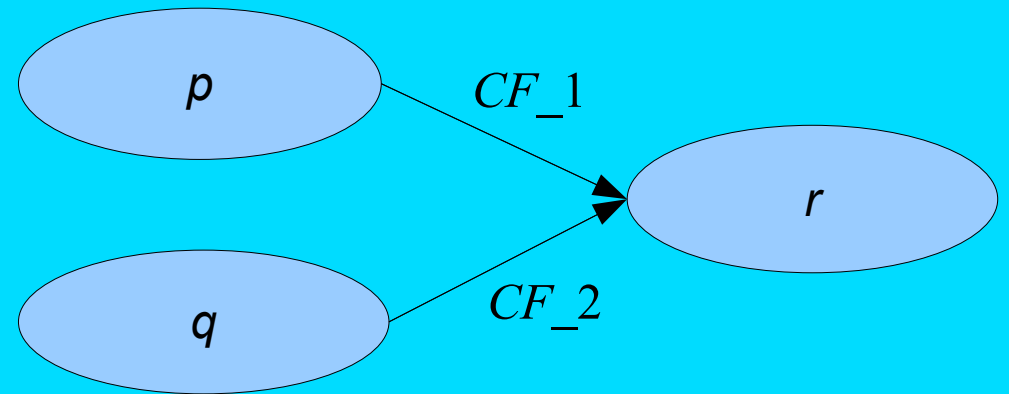
Współczynnik pewności konkluzji warunkowanych przez wiele reguł - wartości dodatnie

Reguły

1: **if** p **then** r **with** CF_1

2: **if** q **then** r **with** CF_2

gdzie: $CF_1 > 0$ i $CF_2 > 0$



Łączny $CF(r)$ dla $CF_1(r) \geq 0$ i $CF_2(r) \geq 0$:

$$CF(r) = CF_1(r) + CF_2(r) - CF_1(r) * CF_2(r)$$

Współczynnik pewności konkluzji warunkowanych przez wiele reguł - wartości dodatnie

- ▶ Dodatnie wartości współczynników pewności konkluzji reguł wzmacniają wynikowy współczynnik pewności przypisywany takiej konkluzji.
- ▶ Wzrasta pewność konkluzji wspieranej przez więcej niż jedną regułę z dodatnimi współczynnikami pewności.
- ▶ Współczynnik pewności wzrasta, jednak nie przekracza wartości 1.

Współczynnik pewności konkluzji, wartości dodatnie - przykłady 1

Reguły

1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** 0.6

2: **if** bolGardła **then** przeziębienie **with** 1

Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

$$CF(\text{bolGardła})=1$$

CF(przeziębienie) z reguł 1 i 2:

$$CF_1(\text{przeziębienie})=1 * 0.6 = 0.6 \quad > 0$$

$$CF_2(\text{przeziębienie})=1 * 1 = 1 \quad > 0$$

Współczynniki pewności obu konkluzji obu reguł są dodatnie

Łączny CF(przeziębienie):

$$CF(\text{przeziębienie}) = CF_1(\text{przeziębienie}) + CF_2(\text{przeziębienie}) -$$

$$CF_1(\text{przeziębienie}) * CF_2(\text{przeziębienie}) = 0.6 + 1 - 0.6 * 1 = 1.6 - 0.6 = 1$$

Współczynnik pewności konkluzji, wartości dodatnie - przykłady 2

Reguły

1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** 1

2: **if** bolGardła **then** przeziębienie **with** 1

Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

$$CF(\text{bolGardła})=1$$

CF(przeziębienie) z reguł 1 i 2:

$$CF_1(\text{przeziębienie})=1 * 1 = 1 \quad > 0$$

$$CF_2(\text{przeziębienie})=1 * 1 = 1 \quad > 0$$

Współczynniki pewności obu konkluzji obu reguł są dodatnie

Łączny CF(przeziębienie):

$$CF(\text{przeziębienie}) = CF_1(\text{przeziębienie}) + CF_2(\text{przeziębienie}) -$$

$$CF_1(\text{przeziębienie}) * CF_2(\text{przeziębienie}) = 1 + 1 - 1 * 1 = 1 \quad 1 = 1$$

Współczynnik pewności konkluzji, wartości dodatnie - przykłady 3

Reguły

1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** 0.5

2: **if** bolGardła **then** przeziębienie **with** 0.5

Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

$$CF(\text{bolGardła})=1$$

CF(przeziębienie) z reguł 1 i 2:

$$CF_1(\text{przeziębienie})=1 * 0.5 = 0.5 \quad > 0$$

$$CF_2(\text{przeziębienie})=1 * 0.5 = 0.5 \quad > 0$$

Współczynniki pewności obu konkluzji obu reguł są dodatnie

Łączny CF(przeziębienie):

$$CF(\text{przeziębienie}) = CF_1(\text{przeziębienie}) + CF_2(\text{przeziębienie}) -$$

$$CF_1(\text{przeziębienie}) * CF_2(\text{przeziębienie}) = 0.5 + 0.5 - 0.5 * 0.5 = 1 - 0.25 = 0.75$$

Model współczynników pewności CF

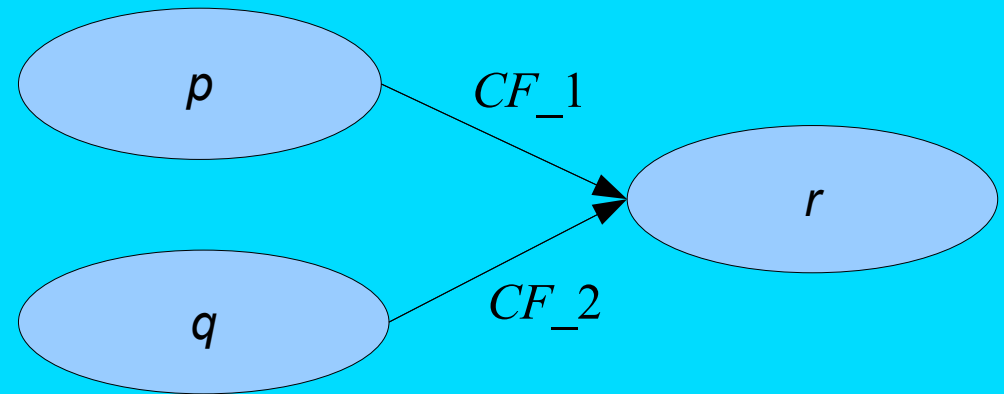
Współczynnik pewności konkluzji warunkowanych przez wiele reguł - wartości ujemne

Reguły

1: **if** p **then** r **with** CF_1

2: **if** q **then** r **with** CF_2

gdzie: $CF_1 < 0$ i $CF_2 < 0$



Łączny $CF(r)$ dla $CF_1(r) < 0$ i $CF_2(r) < 0$:

$$CF(r) = CF_1(r) + CF_2(r) + CF_1(r) * CF_2(r)$$

Współczynnik pewności konkluzji warunkowanych przez wiele reguł - wartości ujemne

- ▶ Ujemne wartości współczynników pewności konkluzji reguł osłabiają wynikowy współczynnik pewności przypisywany takiej konkluzji.
- ▶ Maleje pewność konkluzji wspieranej przez więcej niż jedną regułę z ujemnymi współczynnikami pewności.
- ▶ Współczynnik pewności maleje, jednak nie mniej niż wartość -1 .

Współczynnik pewności konkluzji, wartości ujemne - przykłady 4

Reguły

1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** -0.6

2: **if** bolGardła **then** przeziębienie **with** -1

Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

$$CF(\text{bolGardła})=1$$

CF(przeziębienie) z reguł 1 i 2:

$$CF_1(\text{przeziębienie})=1 * -0.6 = -0.6 < 0$$

$$CF_2(\text{przeziębienie})=1 * -1 = -1 < 0$$

Współczynniki pewności obu konkluzji obu reguł są ujemne

Łączny CF(przeziębienie):

$$CF(\text{przeziębienie}) = CF_1(\text{przeziębienie}) + CF_2(\text{przeziębienie}) +$$

$$CF_1(\text{przeziębienie}) * CF_2(\text{przeziębienie}) = -0.6 + (-1) + (-0.6) * (-1) = -1.6 + 0.6 = -1$$

Współczynnik pewności konkluzji, wartości ujemne - przykłady 5

Reguły

1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** -0.5

2: **if** bolGardła **then** przeziębienie **with** -0.6

Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

$$CF(\text{bolGardła})=1$$

CF(przeziębienie) z reguł 1 i 2:

$$CF_1(\text{przeziębienie})=1 * -0.5 = -0.5 < 0$$

$$CF_2(\text{przeziębienie})=1 * -0.6 = -0.6 < 0$$

Współczynniki pewności obu konkluzji obu reguł są ujemne

Łączny CF(przeziębienie):

$$CF(\text{przeziębienie}) = CF_1(\text{przeziębienie}) + CF_2(\text{przeziębienie}) +$$

$$CF_1(\text{przeziębienie}) * CF_2(\text{przeziębienie}) = -0.5 + (-0.6) + (-0.5) * (-0.6) = -0.8$$

Współczynnik pewności konkluzji, wartości ujemne - przykłady 6

Reguły

1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** -1

2: **if** bolGardła **then** przeziębienie **with** -1

Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

$$CF(\text{bolGardła})=1$$

CF(przeziębienie) z reguł 1 i 2:

$$CF_1(\text{przeziębienie})=1 * -1 = -1 < 0$$

$$CF_2(\text{przeziębienie})=1 * -1 = -1 < 0$$

Współczynniki pewności obu konkluzji obu reguł są ujemne

Łączny CF(przeziębienie):

$$CF(\text{przeziębienie}) = CF_1(\text{przeziębienie}) + CF_2(\text{przeziębienie}) +$$

$$CF_1(\text{przeziębienie}) * CF_2(\text{przeziębienie}) = -1 + (-1) + (-1) * (-1) = -2 + 1 = -1$$

Model współczynników pewności CF

Współczynnik pewności konkluzji warunkowanych przez wiele reguł - różne znaki

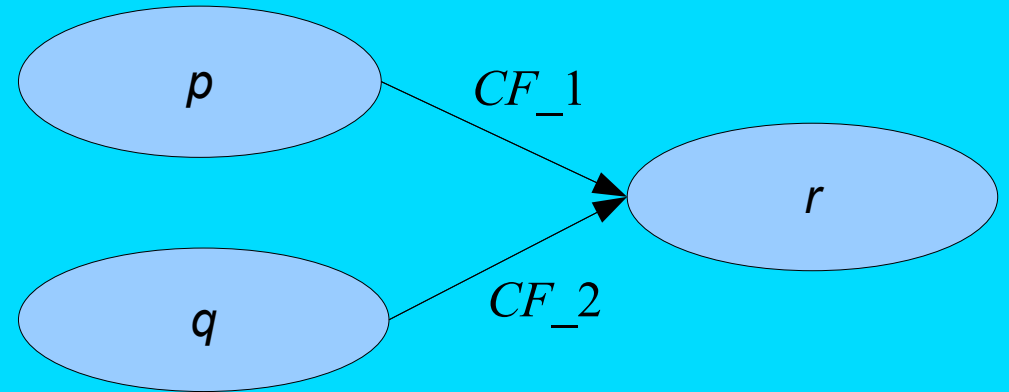
Reguły

1: **if** p **then** r **with** CF_1

2: **if** q **then** r **with** CF_2

gdzie: $(CF_1 * CF_2 < 0)$

oraz: $CF_1 * CF_2 \neq -1$



Łączny $CF(r)$ dla $CF_1(r) < 0$ i $CF_2(r) < 0$:

$$CF(r) = \frac{CF_1(r) + CF_2(r)}{1 - \min(|CF_1(r)|, |CF_2(r)|)}$$

Współczynnik pewności konkluzji warunkowanych przez wiele reguł - różne znaki

- ▶ Konkluzja z ujemną wartością CF jest czynnikiem zmniejszającym łączną pewność. Jednak wpływ ten jest tym mniejszy, im większa jest pewność wniosku z dodatnią wartością CF.
- ▶ Wypadkowy współczynnik pewności *zwiększa się* w miarę *zwiększania się* liczby jednakowych wniosków o dodatnich współczynnikach pewności, nie stanie się on jednak równy lub większy 1.
- ▶ Wypadkowy współczynnik pewności *zmniejsza się* w miarę *zmniejszania się* liczby jednakowych wniosków o ujemnych współczynnikach pewności, nie stanie się on jednak równy lub mniejszy -1 .

Współczynnik pewności konkluzji, różne znaki - przykłady 7

Reguły

- 1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** -1
- 2: **if** bolGardła **then** przeziębienie **with** 0.8

Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

$$CF(\text{bolGardła})=1$$

CF(przeziębienie) z reguł 1 i 2:

$$CF_1(\text{przeziębienie})=1 * -1 = -1 < 0$$

$$CF_2(\text{przeziębienie})=1 * 0.8 = 0.8 > 0$$

Współczynniki pewności obu konkluzji obu reguł są ujemne

Łączny CF(przeziębienie):

$$CF(\text{przeziębienie}) = -0.2 / (1 - 0.8) = -0.2 / 0.2 = -1$$

Współczynnik pewności konkluzji, różne znaki - przykłady 8

Reguły

- 1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** 1
- 2: **if** bolGardła **then** przeziębienie **with** -0.6

Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

$$CF(\text{bolGardła})=1$$

CF(przeziębienie) z reguł 1 i 2:

$$CF_1(\text{przeziębienie})=1 * 1 = 1 > 0$$

$$CF_2(\text{przeziębienie})=1 * -0.6 = -0.6 < 0$$

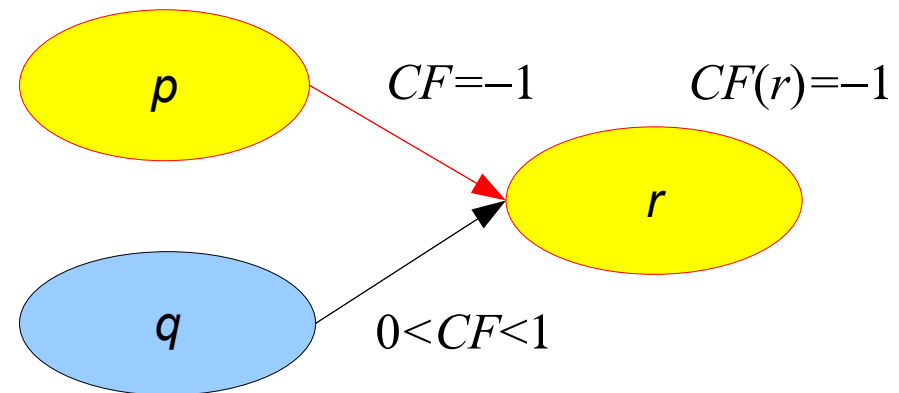
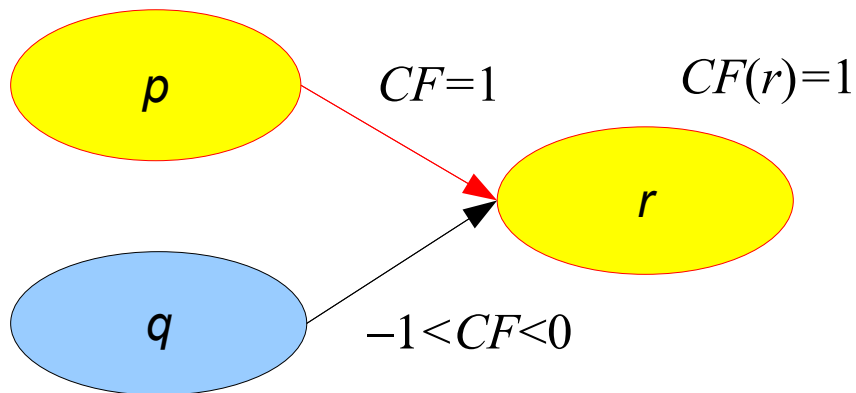
Współczynniki pewności obu konkluzji obu reguł są ujemne

Łączny CF(przeziębienie):

$$CF(\text{przeziębienie}) = 0.4 / (1 - 0.6) = 0.4 / 0.4 = 1$$

Współczynnik pewności konkluzji, różne znaki - komentarz

- ▶ Osobne reguły posiadające jednakowe konkluzje, opisują alternatywne drogi wnioskowania, prowadzące do tego samego wniosku.
- ▶ Jeżeli w trakcie wnioskowania realizowanego jedną ze ścieżek, konkluzja zostanie uznana za pewną ($CF=1$), wówczas niepewność wprowadzana przez ścieżkę alternatywną jest ignorowana.
- ▶ Jeżeli w trakcie wnioskowania realizowanego jedną ze ścieżek, konkluzja zostanie uznana za całkowicie niepewną ($CF=-1$), wówczas pewność wprowadzana przez ścieżkę alternatywną jest ignorowana.



Współczynnik pewności konkluzji, różne znaki - przykłady 9

Reguły

1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** 1

2: **if** bolGardła **then** przeziębienie **with** -1

Fakty

$CF(\text{gorączka})=1$

$CF(\text{bolGardła})=1$

CF(przeziębienie) z reguł 1 i 2:

$CF_1(\text{przeziębienie})=1 * 1 = 1 > 0$

$CF_2(\text{przeziębienie})=1 * -1 = -1 < 0$

Współczynniki pewności obu konkluzji obu reguł są ujemne

Łączny CF(przeziębienie):

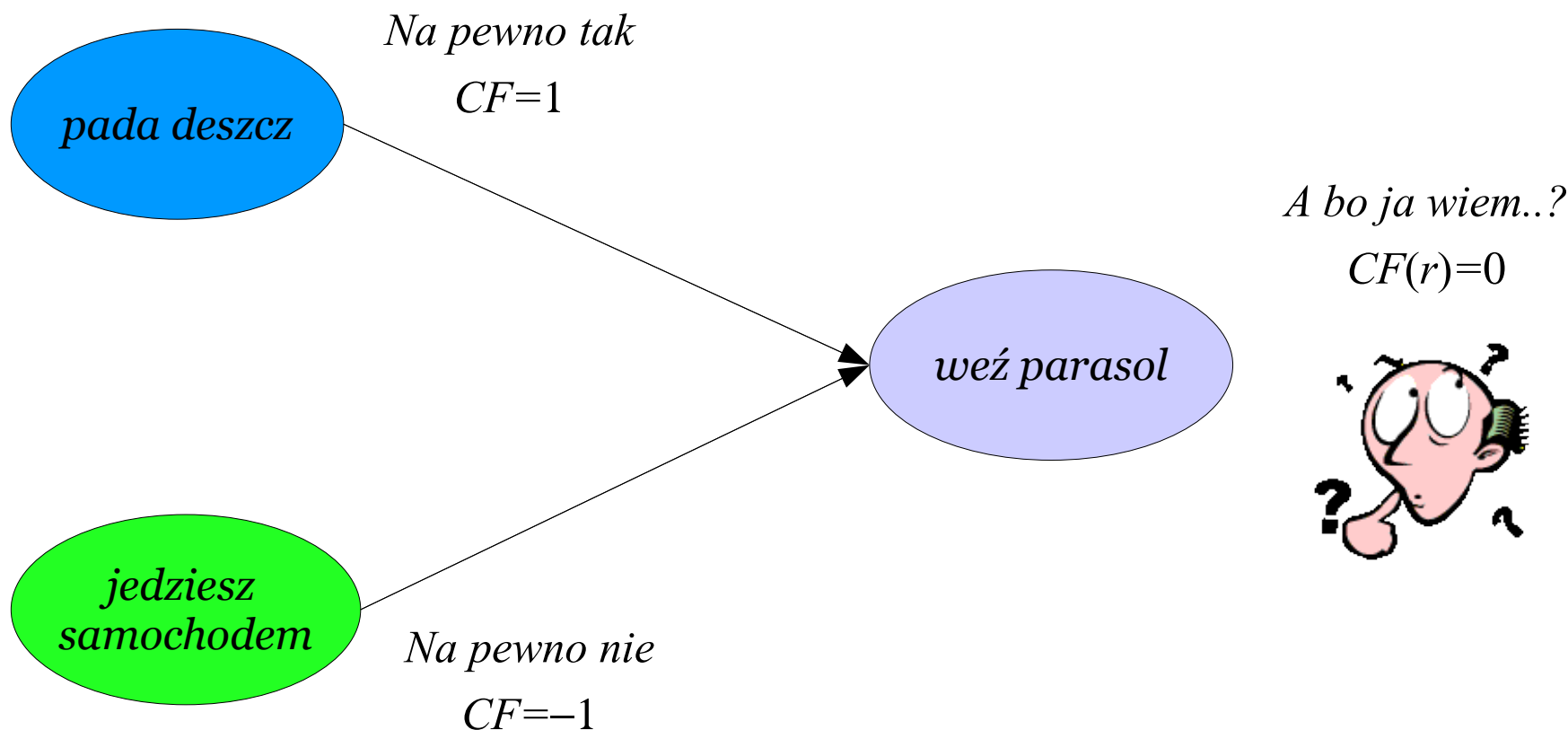
$CF(\text{przeziębienie}) = 0$ ←

Jeżeli z równą pewnością konkluzja jest całkowicie prawdziwa i całkowicie nieprawdziwa dla innej reguły, to nic nie można powiedzieć o pewności wniosku.

Model współczynników pewności CF

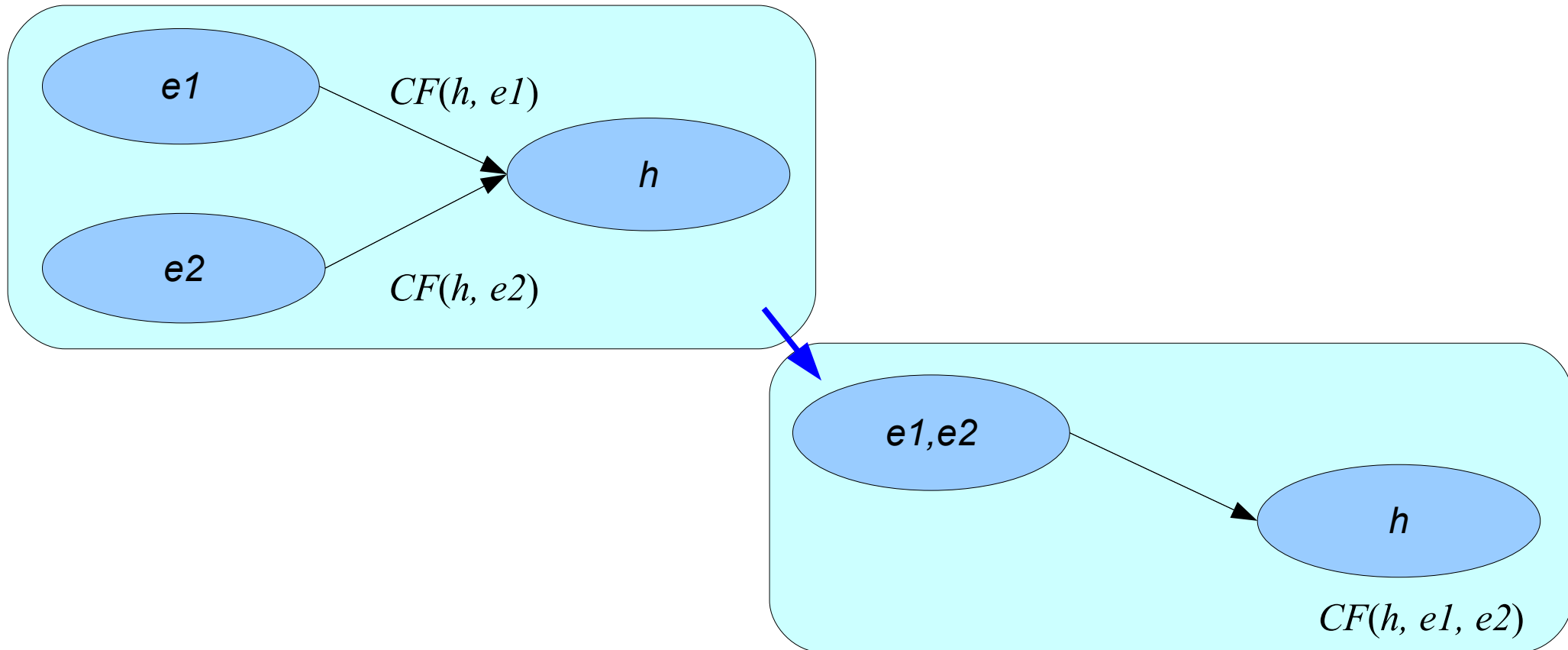
Współczynnik pewności konkluzji, $CF = 1$ i $CF = -1$

- ▶ Jeżeli z równą pewnością konkluzja będąca wynikiem pewnej reguły jest *całkowicie prawdziwa* i *całkowicie nieprawdziwa* dla innej reguły, to nic nie można powiedzieć o pewności wniosku.
- ▶ Przyjmujemy wtedy, że współczynnik pewności konkluzji równy jest 0.



Model współczynników pewności CF

Współczynnik pewności konkluzji - podsumowanie



$$CF(h, e_1, e_2) = \begin{cases} CF(h, e_1, e_2) = CF(h, e_1) + CF(h, e_2) - CF(h, e_1)CF(h, e_2), & CF(h, e_1) \text{ i } CF(h, e_2) \geq 0 \\ \frac{CF(h, e_1) + CF(h, e_2)}{1 - \min(|CF(h, e_1)|, |CF(h, e_2)|)}, & CF(h, e_1) * CF(h, e_2) < 0, \\ CF(h, e_1) + CF(h, e_2) + CF(h, e_1)CF(h, e_2), & CF(h, e_1) \text{ i } CF(h, e_2) < 0 \end{cases}$$

Współczynnik pewności konkluzji, łańcuch wnioskowania, przykład 1

Reguły

- 1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** 0.5
- 2: **if** przeziębienie **then** idźDoLekarza **with** 1

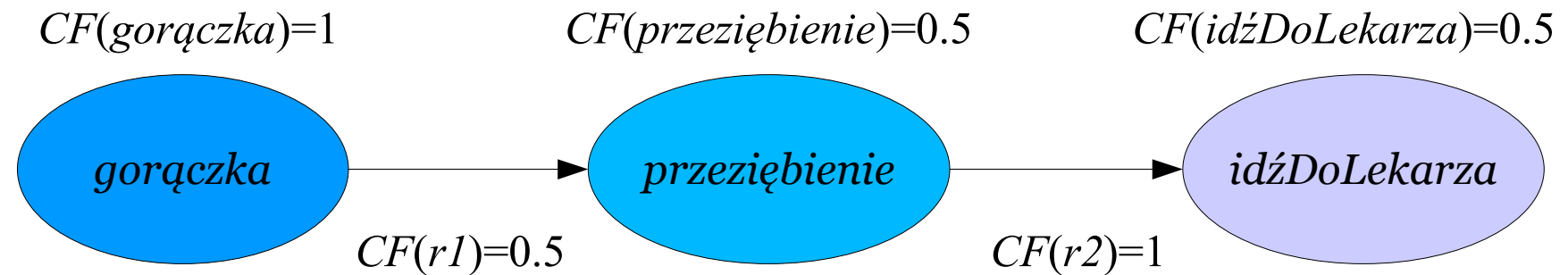
Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

CF(przeziębienie) i CF(idźDoLekarza):

$$CF(\text{przeziębienie})=1 * 0.5 = 0.5$$

$$CF(\text{idźDoLekarza})=0.5 * 1 = 0.5$$



Współczynnik pewności konkluzji, łańcuch wnioskowania, przykład 2

Reguły

- 1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** 0.5
- 2: **if** przeziębienie **then** idźDoLekarza **with** -1

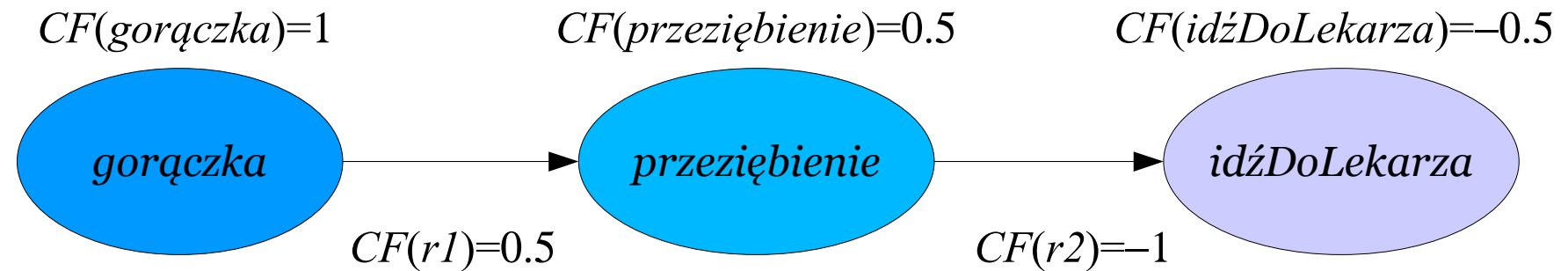
Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

CF(przeziębienie) i CF(idźDoLekarza):

$$CF(\text{przeziębienie})=1 * 0.5 = 0.5$$

$$CF(\text{idźDoLekarza})=0.5 * -1 = -0.5$$



Współczynnik pewności konkluzji, łańcuch wnioskowania, przykład 3

Reguły

- 1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** 0.5
- 2: **if** przeziębienie **then** idźDoLekarza **with** 0.5

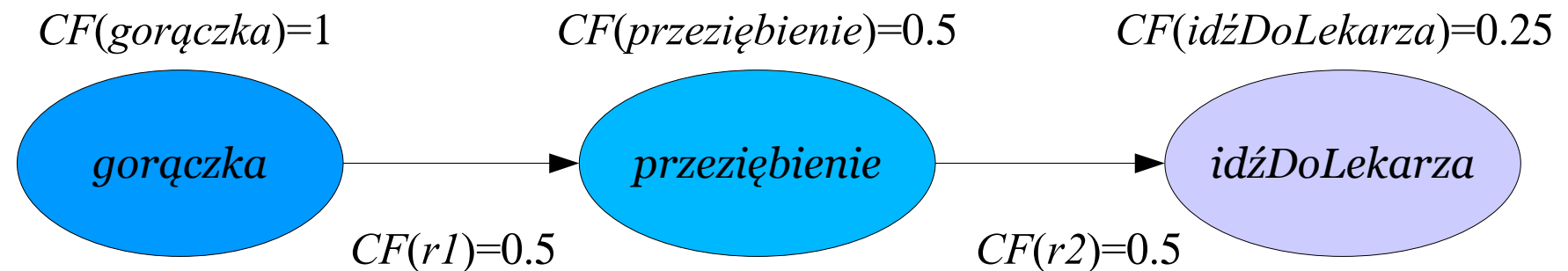
Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

CF(przeziębienie) i CF(idźDoLekarza):

$$CF(\text{przeziębienie})=1 * 0.5 = 0.5$$

$$CF(\text{idźDoLekarza})=0.5 * 0.5 = 0.25$$



Współczynnik pewności konkluzji, łańcuch wnioskowania, przykład 4

Reguły

- 1: **if** gorączka **then** przeziębienie **with** 0.5
- 2: **if** przeziębienie **then** idźDoLekarza **with** -0.5

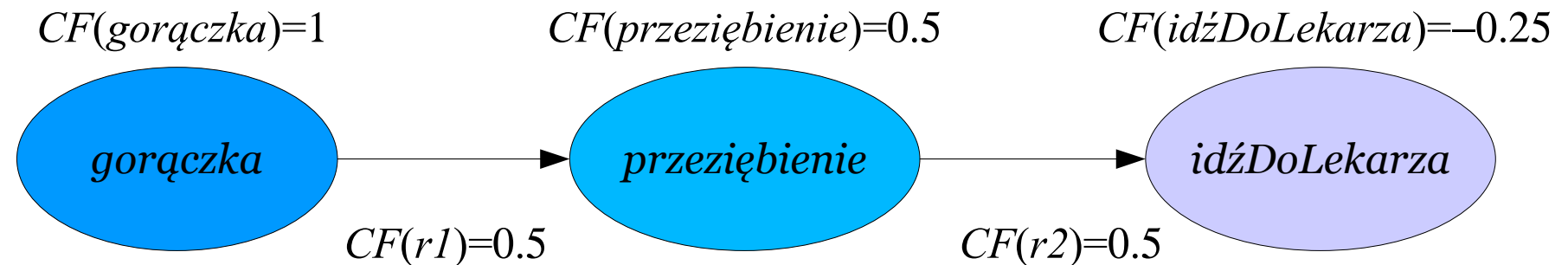
Fakty

$$CF(\text{gorączka})=1$$

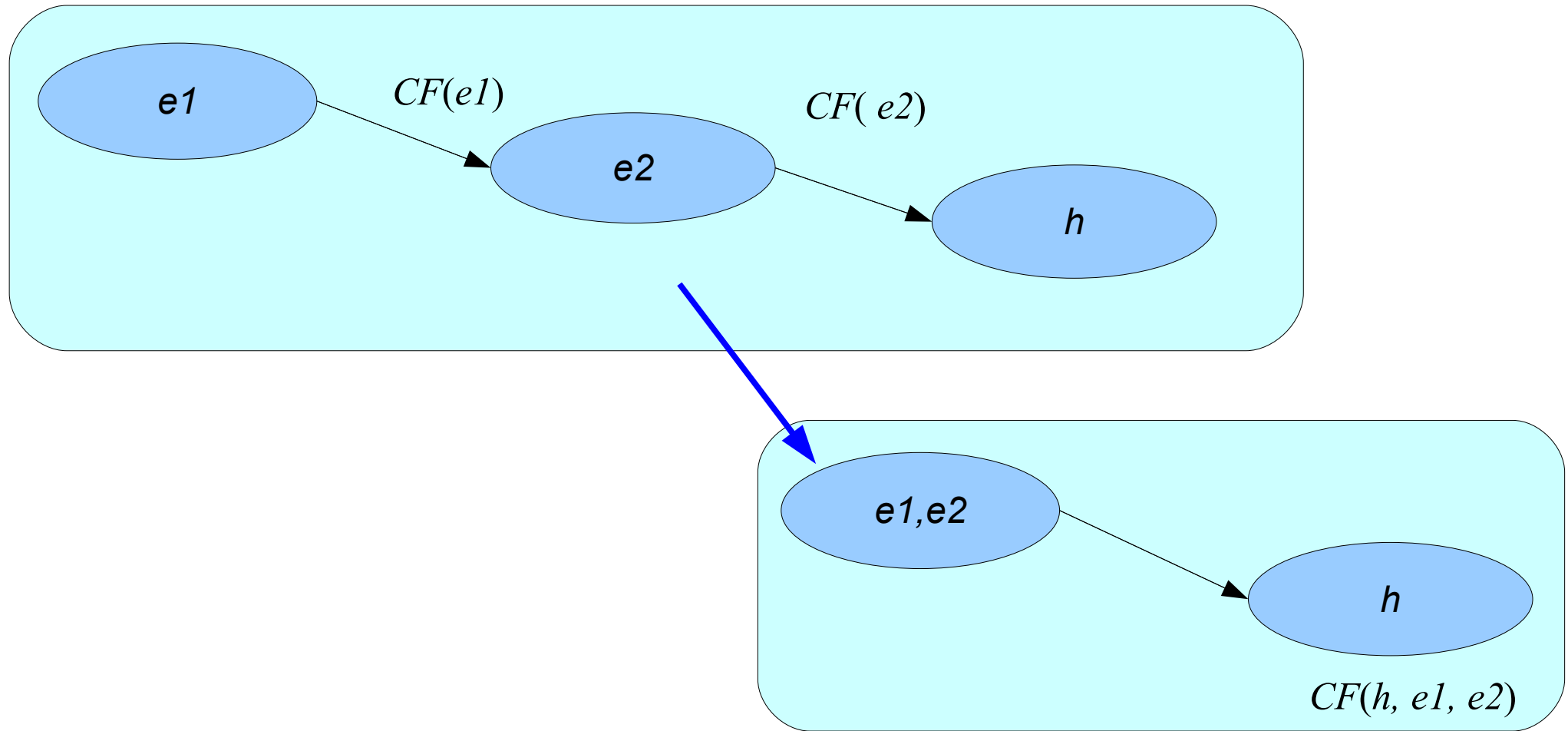
CF(przeziębienie) i CF(idźDoLekarza):

$$CF(\text{przeziębienie})=1 * 0.5 = 0.5$$

$$CF(\text{idźDoLekarza})=0.5 * -0.5 = -0.25$$



Współczynnik pewności konkluzji, łańcuchy wnioskowania - podsumowanie



$$CF(h, e1, e2) = CF(e2, e1) * CF(h, e2)$$