

УДК 681.3:355.4

О.С. Андрощук

Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, Хмельницький

ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ ОРГАНАМИ ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ НА ОСНОВІ ПРАВИЛ

Подано підходи на основі правил щодо побудови бази знань, як складової інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень з управління органами охорони державного кордону в особливих ситуаціях. Для подання знань, які характеризуються умовами невизначеності використано "розмиті" моделі і відповідні їм види семантики. Протиріччя між великою кількістю правил та обмеженим часом на їх опрацювання вирішується шляхом побудови ієрархічної бази знань.

Ключові слова: база знань, правила, модель, особлива ситуація.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасна система управління Державною прикордонною службою України (ДПСУ) є великою складною динамічною системою, яка базується на засобах автоматизації.

Теперішній етап розвитку інтегрованої інформаційно-телекомунікаційної системи (ІТС) ДПСУ "Гарт" характеризується принципово новими вимогами до процедур отримання, збереження і передачі інформації, які можуть бути виконані за рахунок упровадження засобів нових інформаційних технологій [1]. Серед них ключове місце займають інтелектуальні системи, що засновані на знаннях.

Особливо нагальним це питання є в умовах ускладнення обстановки на ділянці відповідальності органу (підрозділу) охорони державного кордону (ДК), коли є загроза незаконного перетинання лінії ДК України, порушення його режиму, виникнення надзвичайних та інших нештатних ситуацій тощо, які можна класифікувати як особливі ситуації (ОС).

Особливі ситуації (ситуації, коли спостерігається відхилення від звичайних умов здійснення оперативно-службової діяльності) розрізняються за часом розвитку і, відповідно, за часовими ресурсами управління. Слід зазначити, що в ОС неможливо повністю виключити людину з процесу управління (замінивши його, наприклад, інтелектуальним агентом) як з міркувань безпеки, так і через необхідність збереження юридичної відповідальності. Знання, виражене у формі правил, може допомогти керівнику прийняти рішення в ситуаціях, які раніше не зустрічалися йому на практиці. Передбачається, що недосвідчений у деяких питаннях керівник (черговий) може впоратися з ОС, опираючись на знання відповідних правил. Крім того, правила є необхідними для адаптації рішень, які містяться в прецедентах поточної ситуації. В ОС, що характеризуються

малим резервом часу, керівник потребує своєчасної підказки, яка чітко орієнтує його на прийняття рішень та реалізацію керуючих дій, іноді навіть у командній формі. У такому разі найбільш відповідною формою подання знань є правила, як найбільш повна і зрозуміла людині модель, що дає можливість швидко сформулювати рекомендацію щодо прийняття рішення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій засвідчив, що предметна область ІТС "Гарт" не може бути адекватно описана існуючими засобами інженерії знань [2 – 4] з причин наявності своїх характерних особливостей: велика кількість різноманітних ОС, невизначеності при вирішенні завдань, обмеженість часових умов тощо. Відсутня обґрунтованість вибору моделей подання знань для відповідних ПО та умов їх застосування.

Мета статті – обґрунтування підходів на основі правил щодо побудови бази знань, як складової інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) з управління органами та підрозділами (далі – органами) охорони ДК в ОС.

Виклад основного матеріалу

Відомості про класи й об'єкти ПО, відносини між ними і взаємодія класів та об'єктів, зазвичай, подаються у знаковій формі. Проблема подання знань розуміється як проблема перекладу з природної мови опису процесу управління органами охорони ДК в особливих ситуаціях і з мови об'єктно-орієнтованого моделювання на формальну мову логіки. Логіка є формалізмом подання знань, що забезпечується процедурами виведення дійсних тверджень на основі передбачуваних коректних початкових гіпотез.

Автором з'ясовано, що для БЗ, які розробляються для підтримки прийняття рішення з управління органами охорони ДК, найбільш відповідною

моделлю подання правил є продукційна модель, в якій правило прийняття рішень формулюється як аксіома правил продукцій.

Продукційне правило є виразом вигляду: “ЯК-ЩО α , ТО β ”. Правила мають ліву частину (антецедент α) та праву частину (консеквент β). Ліва частина є кон’юнкцією елементарних виразів (умов), а права – висновком у загальному випадку (що є складною формулою, термами якої є елементарні вирази, пов’язані логічними зв’язками: І, АБО, НЕ, ІМПЛІКАЦІЯ).

Перевагою системи правил продукцій є наявність автономності. Вона є гнучкою, має високу модульність і легко адаптується до будь-яких змін ПО. Для неї розроблено відлагоджені механізми логічного висновку.

Відносини між об’єктами в предметній області (ПО) – управлінні органами охорони ДК – майже завжди є складними. Одні ознаки, обставини, події пояснюють (визначають) наявність інших, діючи на фоні третіх. У даному випадку правила – це спосіб подання основних знань ПО, які пояснюють виникнення тих чи інших явищ, дають можливість прогнозувати розвиток ситуацій, допомагають пов’язувати окремі об’єкти реального світу в єдине ціле. Пропонується для підтримки прийняття рішення в ОС використовуються правила таких типів:

- 1) правила управління в ОС:
 - правила виявлення ОС;
 - правила розпізнавання ОС;
 - правила прийняття рішень в ОС;
- 2) правила побудови бази знань (БЗ)
 - правила індексування термінів;
 - правила знаходження ваг ознак;
 - правила комплектації запитів користувачів до інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення (ІСППР);
 - правила адаптації прецедентів до поточної ситуації;
 - правила оцінки ефективності відновлення нормальних режимів.

За допомогою правил продукцій можна наочно та зручно подати правила прийняття рішень. Такі правила є зручними для реалізації прямого ланцюжка логічних висновків, що йдуть від фактів, які описують ОС, до мети – рішення. Функціонування ситуаційної БЗ розглядається як взаємодія об’єктів (ситуацій, правил і прецедентів), з якими асоціюються методи обробки знань: дедуктивне виведення правила або процедура встановлення, схожість об’єктів (прецедентів та ситуацій). Реальні завдання містять у собі нечіткі умови і деяку нечіткість мети у зв’язку з тим, що їх постановку здійснює людина. Наявність чинника невизначеності при вирішенні завдань багато в чому змінює методи прийняття рішення: змінюється принцип подання початкових

даних і параметрів моделі, стають неоднозначними поняття вирішення завдання та його оптимальності.

Інтелектуальні системи управління з використанням нечіткої логіки реалізовано практично в багатьох прикладних галузях [5]: управління виробничими технологічними процесами, управління літальними апаратами, оперативно-диспетчерське управління. У даному випадку поведінка керівного персоналу найкраще описується лінгвістичними правилами поведінки, а відхилення від прийнятих алгоритмів (помилки) і невдалі рішення керівників, несправності, виниклі перешкоди моделюються з використанням нечітких алгоритмів.

Майже всі реально працюючі прикладні системи, що використовують нечіткі знання – це або системи, засновані на нечітких продукційних правилах, або реляційні системи, які використовують нечіткі відносини. Теоретично робота таких систем заснована на використанні композиційних правил нечітких висновків. Для подання знань щодо прийняття рішень з управління органами охорони ДК в ОС, що характеризуються умовами невизначеності, використано “розмиті” моделі та відповідні їм види семантик. У роботі сформульовано правила нечіткого управління за методом Такаґи-Сугено-Канґа, які являють собою нечітку імплікацію вигляду:

$$\begin{aligned}
 R^{(1)}: & \text{Якщо } x_1 \in A_1^1 \text{ І } x_2 \in A_2^1 \text{ І } \dots x_n \in A_n^1 \text{ ТО} \\
 & y = f^{(1)}(x_1, \dots, x_n). \\
 R^{(N)}: & \text{Якщо } x_1 \in A_1^N \text{ І } x_2 \in A_2^N \text{ І } \dots x_n \in A_n^N \text{ ТО} \\
 & y = f^{(N)}(x_1, \dots, x_n).
 \end{aligned} \quad (1)$$

Тут A_i^j – це лінгвістичні значення, ідентифіковані нечітким способом через відповідні функції приналежності (ФП) $\mu_{A_i^j}(x)$ для змінних x_i . Змінні x_1, x_2, \dots, x_n утворюють n -мірний вхідний вектор $x_i \in X$ процесу управління, а y є вихідним сигналом. Приписування єдиного значення ФП, що описує багатовимірну умову, будемо називати агрегацією передумови. Приписування єдиного значення ФП усієї передумови називається процедурою агрегації на рівні імплікації.

Кожній імплікації $A \rightarrow B$ можна приписати єдине значення функції приналежності $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$. Значення $\mu_{A_i^j}(x_i)$, яке належить до рівня імплікації (рівень активації правила), інтерпретується з використанням нечіткої T -норми. Вироблення рішення здійснюється відповідно до узагальненого нечіткого правила *modus ponens*, вихідний сигнал визначається як нормалізована зважена сума окремих виходів:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N w^k \bar{y}_k}{\sum_{k=1}^N w^k}, \quad w^k = \min(\mu_{A_1^k}(\bar{x}_1), \dots, \mu_{A_n^k}(\bar{x}_n)). \quad (2)$$

Використання правил здійснюється через механізм логічного виводу. Логічне управління означає, що логіка управління експерта подається у вигляді нечітких правил із різноманітними передумовами, яким зіставляється деяка дія. Формування вихідних змінних (керуючих дій) включає такі етапи:

- отримання вектора вхідних змінних $X = \{X_1, \dots, X_n\}$;
- “фазифікація” цих змінних, тобто перехід від чітких значень змінних до їх нечітких інтерпретацій, тобто лінгвістичних змінних;
- визначення нечітких значень вихідних змінних U_1, \dots, U_m (у вигляді функцій приналежності змінних $\mu(U)$ відповідним нечітким підмножинам) на основі правил логічного висновку;
- “дефазифікація”, тобто перехід від одержаних функцій приналежності нечітким множинам до відповідних єдиним чітким значенням вихідних змінних.

Лінгвістична змінна визначається як $\langle L, T(x_i), U, G, M \rangle$, де L – назва лінгвістичної змінної; $T(x_i)$ – терм-множина лінгвістичної змінної; U – універсальна множина; G – синтаксичне правило (у формі граматики, що породжує назви значень змінної); M – семантичне правило, що ставить у відповідність кожній нечіткій змінній x_i її сенс $M(x_i)$, тобто нечітку множину U [6].

Задати нечітку підмножину A_j , відповідну визначеному (j -му) терму лінгвістичної змінної, означає задати область визначення числової змінної x_i і ФП елементу x_i до підмножини A_j . Питання про те, як обирається (або задається) у кожному конкретному випадку функція приналежності $\mu(x)$ та який вона має сенс, залишається значною мірою неоднозначним і мало вивченим. Існує 4 способи складання правил нечіткого управління: на основі досвіду та знань експерта (шляхом організації діалогу з експертом); шляхом створення моделі дій оператора; шляхом навчання (наприклад, з використанням нечітких нейронних мереж); на основі нечіткої моделі ПО.

Одновимірною нечіткою підмножиною A_j визначається як сукупність упорядкованих пар $\{x, \mu_A(x)\}$, $x \in X$. У теорії нечітких множин визначено декілька стандартних варіантів форм функцій приналежності: лінійна, яка передбачає подання функції приналежності у формі трикутної, трапецеїдальної функції або їх деякої комбінації; S-образна, що передбачає подання функції приналежності у формі деякої S-образної, Z-образної або П-образної кривої тощо.

Огляд простих функцій приналежності, які асоціюються з нечіткими твердженнями “величина x – велика”, “величина x – мала”, “величина $|x|$ – мала”, наведено у [5].

Докази ефективності нечітких систем прийнят-

тя рішень базуються на таких результатах. Доведено теорему [7], що нечітка система є універсальною апроксимацією, тобто може апроксимувати будь-яку безперервну функцію на множині U з довільною точністю, якщо використовує набір $f(f \rightarrow \infty)$ правил вигляду:

$$r_i: \text{якщо } x_i \in A_i \text{ і } y_i \in B_i, \text{ тоді } z_i \in C_i, i = 1, \dots, f. \quad (3)$$

Доведення вищезгаданої теореми дає можливість стверджувати, що для кожної дійсної безперервної функції g , заданої на компактній множині U , і для довільного $\varepsilon > 0$ існує нечітка система, яка формує вихідну функцію $y(x)$ таку, що $\text{Sup} \|g(x) - y(x)\| \leq \varepsilon$.

Таким чином, безперервну функцію межі області допустимих значень параметрів стану органу охорони ДК на компактній інформаційній просторі ознак можна апроксимувати нечіткою системою (за дотримання перерахованих вище умов), що і використовувалося при побудові нечітких правил прийняття рішень з управління органами охорони ДК в ОС.

Формування нечітких правил запропоновано здійснювати на основі навчання штучних нейронних мереж із прямим розповсюдженням сигналу. У процесі навчання з використанням алгоритму зворотного розповсюдження помилки визначають параметри функцій приналежності $\mu_{A_j}(x_i)$.

Інтелектуальна система підтримки прийняття рішення з управління органами охорони ДК, як достатньо складної ПО, вимагає значної кількості правил. У складних системах, стан яких характеризується великою кількістю ознак, виникає проблема забезпечення повноти БЗ. Відомо, що кількість правил, необхідних для опису n вхідних змінних, значення яких визначається з використанням m термів, дорівнює $R = m^n$.

Отже, кількість правил збільшується експоненційно зі збільшенням кількості вхідних змінних, що призводить до збільшення часу логічного виведення рішення БЗ, що містить велику кількість правил, є складною в сприйнятті, редагуванні та використанні. Але процес прийняття рішень вимагає, проте, повного осмислення ОС. Це протиріччя вирішується шляхом побудови ієрархічної БЗ таким чином, що клас правил може бути класом верхнього рівня або підкласом, що асоціюється з окремим об'єктом ПО (рис. 1). Такий підхід відповідає ієрархічній структурі процесу управління органами охорони ДК в ОС. Адекватним засобом моделювання даної структури є нечітка ієрархічна система. Декомпозиція бази правил здійснюється відповідно до ієрархії об'єктів, яка встановлена в результаті об'єктного моделювання. Таким чином, кожне правило включає обмежену кількість вхідних змінних.

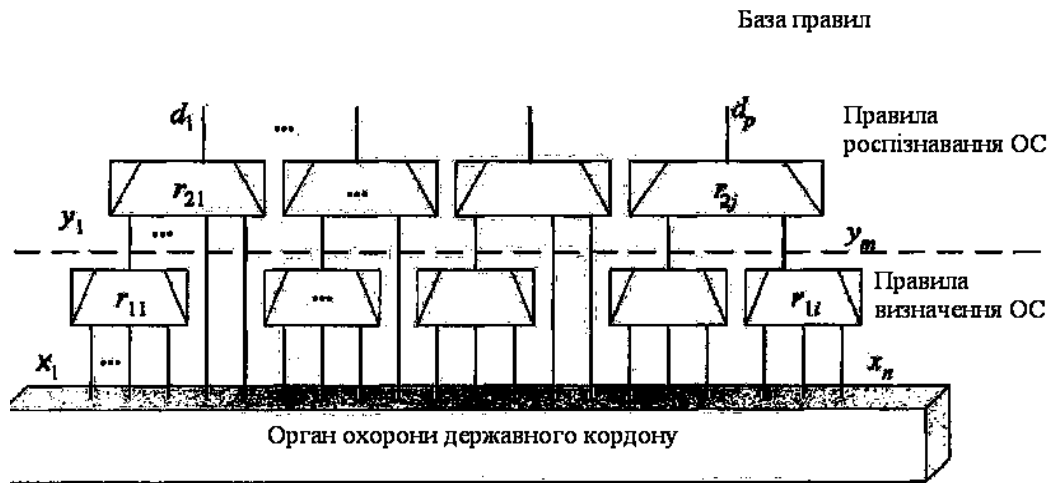


Рис. 1. Ієрархія правил управління в БЗ

Вихід модуля БЗ i -го рівня є входом модуля БЗ $(i + 1)$ рівня.

Завданням правил першого рівня є оцінка порушення межі області допустимих значень щодо окремих змінних стану, що найбільш повно характеризує класи ОС, оскільки за визначенням кожний клас ОС характеризується порушенням гранично допустимих значень однієї або декількох змінних стану.

Для встановлення можливих причин порушення гранично допустимих значень за кожною змінною розробляються моделі станів, що показують, які поточні стани окремих підсистем, поведінка органу охорони ДК і зовнішні впливи можуть призвести до таких порушень. Таким чином, моделлю процесу є нечітке дерево рішень із вершинами X_j , кожній з яких поставлено у відповідність деяку кількість лінгвістичних значень A_{ij} , що характеризують стан вершини. Кожній некінцевій вершині також приписано деяку процедуру агрегації, що дає можливість на основі оцінок стану підлеглих вершин обчислювати її стан (тобто обирати один з елементів відповідної множини значень). Вибір операції нечіткої логіки, що реалізується в процедурі агрегації, визначається властивостями моделі ПО. Вибір здійснюється з використанням однієї з перерахованих вище процедур наповнення БЗ, аналізу функціонування моделі та навчання БЗ.

Оптимальним варіантом, який дає можливість забезпечити як достатню точність виявлення ОС, так і порівняльну простоту реалізації бази правил, є формування множини правил контролю виходу змінних за допустимі значення, відтворюючи окремі ділянки сплайн-функції, що апроксимує криволінійну гіперповерхню гранично допустимих значень параметрів стану органу охорони ДК. Правила формуються на основі множини висловів експертів про конкретизацію залежностей між класами й об'єктами ПО, виявлених у резуль-

таті об'єктно-пізнавального аналізу, який запропоновано автором у [8].

Одні з порушень гранично допустимих значень змінних стану є причинами, інші – наслідками, тобто вони з'являються неодноразово. Тому необхідно спостерігати розвиток ОС упродовж деякого інтервалу часу $\Delta t \leq t_{рез.}$, зберігаючи в базах даних повідомлень щодо ОС проміжні результати появи цих повідомлень. Спостерігаючи за зміною стану системи (рух вектора стану в узагальненому просторі ознак), можна точніше виявити і класифікувати ОС.

Правила першого рівня формують рішення про встановлення порушення меж області допустимих значень особливих змінних в окремій підсистемі складної системи. Другий рівень об'єднує сигнали з виходів правил першого рівня у вектор, що характеризує стан дієздатності органу охорони ДК у даний момент.

Отже, простір ознак класифікації ОС $Y(t)$, які є входами правил другого рівня, є виродженим відображенням простору ознак $X(t)$. Правило другого рівня координує рішення правил першого рівня, здійснюючи об'єднання інформації з метою більш точного розпізнавання класів ОС. Необхідність такої координації обумовлено взаємозалежністю особливих станів окремих підсистем. Призначенням правил другого рівня є розпізнавання класу ОС. Приклад правила розпізнавання ОС:

$$r_{2c}: \text{ЯКЩО } y_r = V_r \mathbf{I} \dots \mathbf{I} Y_s = V_s \text{ ТО } w(S_i) = h, \quad (4)$$

де $w(S_i)$ – клас ОС S_i ; h – ім'я класу ОС з множини найменувань W^h .

Наведені правила розпізнавання ОС забезпечують точнішу апроксимацію меж області допустимих станів порівняно з існуючими логічними схемами оповіщення, що позначають межу області особливих режимів за яким-небудь одним параметром однією крапкою.

Правила прийняття рішень 2-го рівня визначають також типові рішення для розпізнаних класів ОС:
 $r_{2k}: \text{ЯКЩО } w(S_r) = h \text{ ТО } d_k = D^h, \quad (5)$

де d_k – типове рішення значення D^h щодо управління.

Правила рівня 3 можуть визначати також спрацювання автоматичних пристроїв парирування ОС:

$$r_{2k}: \text{ЯКЩО } w(S_r) = h \text{ ТО } z_f = 1, \quad (6)$$

де z_f – ознака спрацювання f -го автоматичного пристрою.

Розробка ієрархічної нечіткої бази правил включає такі специфічні етапи, як декомпозиція правил прийняття рішень відповідно до результатів кластерного аналізу вхідних змінних та оцінка несуперечності ієрархії правил відповідно до принципу “наслідування властивостей”.

Висновки

У даній статті подано підходи на основі правил щодо побудови БЗ, як складової ІСППР з управління органами охорони ДК в ОС. Виділено дві групи правил: правила управління в ОС і правила побудови БЗ. Найбільш відповідною моделлю подання правил у даному випадку є продукційна модель. Для подання знань, які характеризуються умовами невизначеності використано “розмиті” моделі і відповідні їм види семантики. У роботі сформульовано правила нечіткого управління за методом Такаґи-Сугено-Канґа.

Формування нечітких правил запропоновано здійснювати на основі навчання штучних нейронних мереж з прямим розповсюдженням сигналу. Протиріччя між великою кількістю правил та обмеженим часом на їх опрацювання вирішується шляхом побудови ієрархічної БЗ.

У сукупності застосування запропонованих підходів надасть змогу будувати ІСППР з управління органами охорони ДК, реалізація якої призведе до

зменшення часу на вироблення рішення і підвищення його обґрунтованості.

Напрямок подальшої роботи слід вважати обґрунтування алгоритму підтримки прийняття рішень на основі бази правил та бази прецедентів.

Список літератури

1. Програма розвитку телекомунікаційної мережі та інформатизації Державної прикордонної служби України на період до 2015 року. Наказ Адмін. Держ. прикордон. служби України від 05 трав. 2006 р. № 326. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до матеріалу: <http://www.pvu.gov.ua/control/uk>.
2. Герасимов Б.М. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности / Б.М. Герасимов, М.М. Дивизинюк, И.Ю. Субач. – Севастополь: Государственный океанариум, 2004. – 260 с.
3. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб: Питер, 2000. – 384 с. : ил.
4. Джексон П. Введение в экспертные системы: учебное пособие; пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2001. – 624 с.
5. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1996. – 340 с.
6. Асаи К. Прикладные нечеткие системы: пер. с япон. / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иван и др.; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
7. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 260 с.
8. Андросчук О.С. Технологія розробки інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень управління охороною кордону в особливих умовах / О.С. Андросчук, Ю.С. Паламарчук // Зб. наук. пр. Нац. акад. Держ. прикордон. служби України ім. Б. Хмельницького; за ред. В.О. Балашова. – Хмельницький, 2008. – № 42, частина II. – С. 40-45.

Надійшла до редколегії 10.11.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М. С. Вертузаєв, Інститут Служби зовнішньої розвідки, Київ.

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ОРГАНАМИ ОХРАНЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ НА ОСНОВЕ ПРАВИЛ

А.С. Андросчук

Представлены подходы на основе правил по построению базы знаний, как составляющей интеллектуальной системы поддержки принятия решений в управлении органами охраны государственной границы в особенных ситуациях. Для представления знаний, которые характеризуются условиями неопределенности использованы “размытые” модели и соответствующие им виды семантики. Противоречие между большим количеством правил и ограниченным временем на их обработку решается путем построения иерархической базы знаний.

Ключевые слова: база знаний, правила, модель, особенная ситуация.

SUPPORT OF DECISION-MAKING IN A MANAGEMENT THE ORGANS OF GUARD OF STATE BOUNDARY ON THE BASIS OF RULES

O.S. Androshchuk

Approaches are given on the basis of rules in relation to knowledge acquisition, as component intellectual system of support of decision-making from a management the organs of guard of state boundary in the special situations. For representation of knowledges which are characterized the terms of vagueness the “washed” out models and proper by him types of semantics are used. Contradiction between a generous amount governed and limited sometimes on their working decides by hierarchical knowledge acquisition.

Keywords: base of knowledges, governed, model, special situation.