ПОСТРОЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЛОГИК ДЛЯ РОБОТА

А.П. Калуцкая

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана,
кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства»
105005, Россия, г. Москва, ул. 2-я бауманская, д.5
телефон: + 7(499)263-63-88; e-mail: k_a_p@rbcmail.ru
web: www.rk9.bmstu.ru

В данной работе рассматриваются псевдофизические пространственные логики, предложенные Д.А. Поспеловым. Дано описание пространственной модели внешнего мира робота с помощью аппарата обобщенной теории неопределенности Л. Заде. Рассмотрены различные случаи распространения нечетких лингвистических ограничений в задачах анализа пространственной ситуации.

Ключевые слова – система информационная интеллектуальная, робот интеллектуальный, логики пространственные.

1 ВВЕДЕНИЕ

При разработке интеллектуальных роботов, имеющих специальные устройства для получения информации о внешнем мире (объектах, расположенных в нём), возникает проблема создания описания пространственной ситуации вокруг робота из информации, полученной от оператора на ограниченном естественном языке. Кроме того, при описании пространственной ситуации важно как статическое описание объектов внешнего мира робота, так и динамика их пространственных перемещений [1–3].

Классификация пространственных логик, используемая в данной работе, приведена на рис.1.

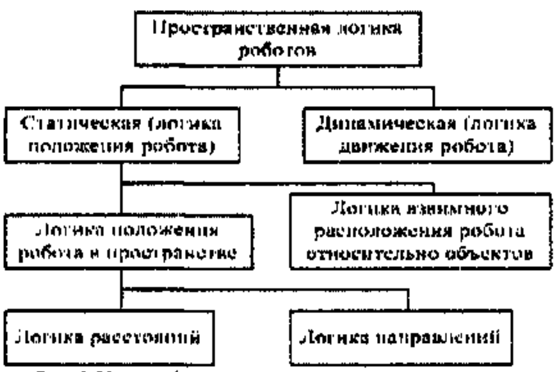

Рис.1 Классификация пространственных логик

Пространственная логика относится к классу псевдофизических логик. К этому же классу принадлежат временная логика, логика действий, каузальная логика, логика оценок и др. Эти логики при использовании их в системах управления и планирования действий не являются независимыми. Так, действия в физической среде протекают в пространстве и времени, а при принятии решений о реализации того или иного действия необходимо учитывать последствия, к которым оно может привести (т.е. использовать правила вывода каузальных логик). Ещё одной особенностью псевдофизических логик является наличие шкал (абсолютных, относительных и размытых), на которые проецируются формулы этих логик и на которых работают правила вывода.

2 МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВА

В пространственных логиках для робототехнических систем чаще всего используются нечеткие бинарные пространственные отношения трех типов: а) отношения для расстояний; б) отношения для направлений; в) отношения взаимного расположения объектов.

Для формального описания нечетких отношений будем использовать аппарат обобщенных ограничений Л.Заде, который подробнее описан в работах [5-7].

Так отношения для расстояний обычно имеют исходные значения «близко-далеко», на основе которых строятся составные значения «очень близко», «довольно далеко» и пр. Соответственно, значения лингвистической переменной «*Расстояние между объектами a и b*» ограничиваются функциями принадлежности (распределениями возможности). Эти распределения получены в результате оценки дистанции человеком-оператором; их можно записать в виде нечеткого лингвистического ограничения:

$$X(a;b)\ \ is\ \ d_j,\ \ \ j=[0;6],$$

где d_j – термы лингвистической переменной «Расстояние»: d_0 – *вплотную*, d_1 – *очень близко*, d_2 – *близко* и т.д. (в соответствии с табл.1). Каждое такое ограничение образует гранулу, т.е. группировку объектов по их, подобию или неразличимости. Возможность изменения размеров и центров гранул позволяет варьировать степень точности описания пространственной ситуации.

Отношения для направлений выражаются базовыми термами «впереди», «слева», а также нечеткими оценками типа «немного левее», «значительно правее» и пр.

Взаимная угловая ориентация между объектами обычно определяется с помощью базовых направлений, связанных с системой координат наблюдателя. В самом простом случае, это впереди–сзади и справа–слева [3,4]. Их комбинация дает восемь базовых направлений и лингвистическая переменная «Направление» принимает значения f_i, i=1,2,...,8, где f_1 – впереди, f_2 – впереди и слева, f_3 – слева и т.д. Нечеткое ограничение для ЛП «Направление» имеет вид:

$$X(a;b)\ \ is\ \ f_i,\ \ i=[1;8]$$

Например, для двух объектов a, b обобщенное ограничение $X(a;b)$ *is* f_2 соответствует утверждению «b впереди и левее a»; $X(a;b)$ *is* f_8 – «b впереди и правее a».

Взаимное положение объектов можно представить конъюнкцией обобщенных ограничений на расстояние и ориентацию:

$$[X(a_1;a_2)\ \ is\ \ d_j]\&[X(a_1;a_2)\ \ is\ \ f_i]=[X(a_1;a_2)\ \ is\ \ d_j]\ \ is\ \ f_i$$

Например, отношение «робот a находится *далеко и справа* от объекта b» можно записать как $[X(a;b)$ *is* $d_4]\&$ $\&[X(a;b)$ *is* $f_7] = [X(a;b)$ *is* $d_4]$ *is* f_7.

Более тонкая градация направлений получается путем добавления не только логического условия «и», но и модификаторов «слегка», «немного», «сильно» и пр. Например, «впереди и немного правее», «чуть впереди и сильно левее» и т.п. Нечеткая круговая диаграмма значений лингвистической переменной «Угловая ориентация» изображена на рис.2.

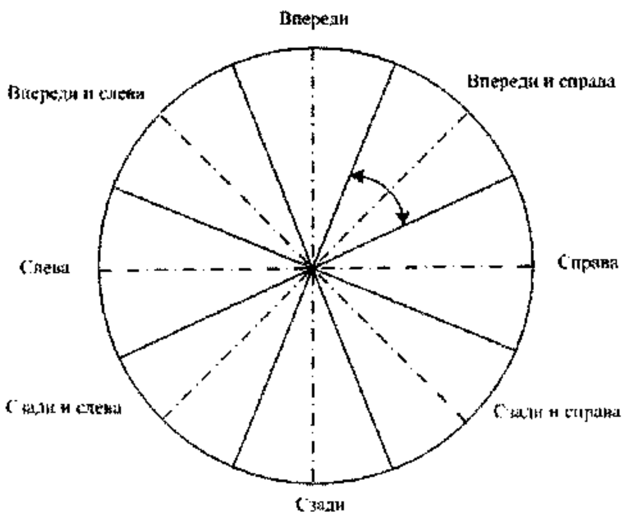

Рис.2. Нечеткая круговая диаграмма взаимной угловой ориентации

3 ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЛОГИКА

Главную роль в организации нечетких пространственных рассуждений робота играет распространение нечетких ограничений от посылок к заключениям. В частности, «если робот a находится рядом с роботом b, а тот держит схватом объект c, то робот a находится вблизи объекта c».

Несомненный интерес представляет построение рассуждений на основе системы связанных между собой неоднородных ограничений, в частности, относящихся к лингвистическим переменным «Расстояние» и «Размер».

Гипотеза о влиянии размеров объектов на оценку оператором расстояния между ними, описанная в работах [1–4], позволяет производить замену пространственных отношений для расстояний на размеры объектов и, наоборот, в соответствии с табл.1.

ТАБЛИЦА 1

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОТНОШЕНИЙ «РАССТОЯНИЕ» И «РАЗМЕР»

№	Расстояние	Размер
0	вплотную	Нулевой
1	очень близко	очень маленький
2	близко	Маленький
3	не далеко – не близко	Средний
4	далеко	Большой
5	очень далеко	очень большой
6	очень-очень далеко	очень-очень большой

Например, «если робот a находится близко от объекта b, а между объектами b и c расположен объект очень большого размера (скажем, здание), то робот a находится не далеко и не близко от объекта c».

Сначала рассмотрим частный случай расположения объектов на плоскости, когда они находятся на одной прямой (рис.3). Правила вывода для полного анализа отношений между объектами должны связывать между собой цепочки их трех объектов.

Схема вывода, связанная с распространением нечетких лингвистических ограничений, имеет вид:

$$[X(a_1^x;a_2^y)\ \ is\ \ d_i]\&[X(a_2^y;a_3^z)\ \ is\ \ d_j]\Rightarrow X(a_1^x;a_3^z)\ \ is\ \ d_?$$

При поиске $d_?$ возможны четыре случая:
1) x =y; di=dj; 2) x=z; di≠dj; 3) x≠z; di=dj; 4) x≠z; di≠dj.

$$\begin{tikzcd} a_1^x \arrow[r, "d_i"] \arrow[rr, bend left, "d_?"] & a_2^y \arrow[r, "d_j"] & a_3^z \end{tikzcd}$$

Рис.3. Схема расположения объектов на прямой

Случай 1. Размеры объектов a_1 и a_2 и расстояния между ними совпадают. Схема распространения нечетких лингвистических ограничений имеет вид:

$$[X(a_1^x;a_2^x)\ \ is\ \ d_i]\&[X(a_2^x;a_3^z)\ \ is\ \ d_i]\Rightarrow X(a_1^x;a_3^z)\ \ is\ \ d_?$$

Тогда результирующее $d_? = d_{i+1}$, где i – это порядковый номер отношения расстояния, который соответствует значению ЛП «Расстояние» (ст.1 табл.1).

Например, робот a находится *близко* к роботу b, а робот b находится близко от препятствия c. Будем считать, что роботы *средних* размеров, а препятствие *маленькое*. Тогда расстояние от робота a до препятствия c определяется по формуле:

$$[X(a^{cp};b^{cp}) \text{ is близко}] \& [X(b^{cp};c^{м}) \text{ is близко}] \Rightarrow X(a^{cp};c^{м}) \text{ is не далеко и не близко}$$

Случай 2. Размеры объектов a_1 и a_2 совпадают, а расстояния между ними различны. Схема распространения нечетких лингвистических ограничений записывается в виде:

$$[X(a_1^x;a_2^x) \text{ is } d_i] \& [X(a_2^x;a_3^x) \text{ is } d_j] \Rightarrow X(a_1^x;a_3^x) \text{ is } d_?$$

Результирующее $d_? = \begin{cases} \max(d_i;d_j), & \text{если } i-j>1; \\ \max(d_i;d_j)\dot{+}1, & \text{если } i=j=1. \end{cases}$

где $\dot{+}$ – это увеличение порядкового номера отношения.

Случай 3. Размеры объектов a_1 и a_2 не совпадают, а отношения расстояния одинаковы.

$$[X(a_1^x;a_2^y) \text{ is } d_i] \& [X(a_2^y;a_3^z) \text{ is } d_i] \Rightarrow X(a_1^x;a_3^z) \text{ is } d_?.$$

В этом случае необходимо, используя связь между размерами объектов и отношением расстояния, перейти к объектам с одинаковым размером. Порядковый номер нового отношения расстояния определяется по формуле $j^*=i+x-y$, где i, j, x, y – это порядковые номера отношений расстояния и размеров объектов (ст.1 табл.1). В результате получим схему распространения нечетких лингвистических ограничений:

$$[X(a_1^x;a_2^x) \text{ is } d_i] \& [X(a_2^x;a_3^z) \text{ is } d_{j^*}] \Rightarrow X(a_1^x;a_3^z) \text{ is } d_?.$$

В зависимости от разницы $i-j^*$ этот случай сводится к первым двум.

Пример. Маленький робот находится близко к большому станку, а станок стоит близко к стене. Имеем:

$$X(a_1^{м};a_2^{б}) \text{ is близко}; \; X(a_2^{б};a_3^{оОб}) \text{ is близко},$$

значит, в соответствии с табл.1, $x=2$, $y=4$, $i=2$. Тогда $j^*=4$, что соответствует отношению расстояния *далеко*. Вычисление расстояния от робота до стены сводится к случаю 2. $d_? = \max(d_i;d_{j^*}) = d_{j^*}$, следовательно, от робота до стены *далеко*.

Случай 4. Как размеры объектов, так и отношения расстояния между ними различны. Схема вывода примет вид:

$$[X(a_1^x;a_2^y) \text{ is } d_i] \& [X(a_2^y;a_3^z) \text{ is } d_j] \Rightarrow X(a_1^x;a_3^z) \text{ is } d_?$$

В этом случае, аналогично случаю 3, переходим к объектам одинакового размера. Как и в случае 3, нахождение результирующего отношения сводится к первым двум случаям.

Теперь перейдем к рассмотрению случая, когда объекты расположены на одной плоскости (рис.4). Из взаимосвязи размеров объектов и отношений расстояния следует, что достаточно построить логику на плоскости для произвольно расположенных точечных объектов. Отношения расстояния между объектами различных размеров могут быть получены, используя правило соотнесения размеров и расстояний (случай 3 логики на прямой).

На рис.4 изображены три точечных объекта на плоскости. Примем объект a_2 за точку отсчета. Проведем окружность с центром в точке a_2 и радиусом d_j для фиксации направлений на плоскости. Рассмотрим объекты, которые находятся на пересечении этой окружности с вертикальной прямой. Из рисунка видно, что искомое отношение удовлетворяет неравенству: $d_{min} \le d_? \le d_{max}$.

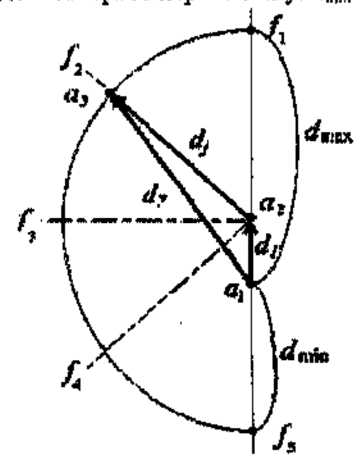

Рис. 4. Схема расположения объектов на плоскости

Границы неравенства определяются по формулам:

$$d_{max} = d_i \oplus d_j; \quad d_{min} = d_i \Theta d_j,$$

где операции $\oplus$ и Θ определяются по следующим правилам:

$$d_k \oplus d_k = d_k \dot{+} 1; \quad d_k \oplus d_{k+1} = d_{k+1} \dot{+} 1;$$
$$d_k \oplus d_{k+i} = d_{k+i}, \text{ если } i \ge 2.$$
$$d_k \Theta d_k = d_0; \text{ где } d_0 \text{ вблизи};$$
$$d_{k+1} \Theta d_k = d_{k-1};$$
$$d_{k+i} \Theta d_k = d_{k+i}, \text{ если } i \ge 2.$$

Для получения $d_?$ воспользуемся тем, что в построенной модели пространства направления фиксированы. Для объектов, изображенных на рис.4 получим:

$$d(f_1) = d_{max} \ge d(f_2) \ge d(f_3) \ge d(f_4) \ge d(f_5) = d_{min}$$

Рассматривается только одна полуплоскость, так как вторая симметрична первой. Нам необходимо уметь находить $d_?$ на фиксированных угловых направлениях f. Для этого построим табл.2.

$$n^* = n(d_{max}) - n(d_{min}),$$

где $n(d_{max})$, $n(d_{min})$ – это порядковый номер отношений расстояния, определенный по табл.1. Операция «–» обозначает уменьшение порядкового номера отношения расстояния.

Для случая $n^*=1$ и $d_{min} = d_0$ (*вплотную*) получим:

$$d(f_1) = d(f_2) = d(f_3) = d(f_4) = d_1; \; d(f_5) = d_0.$$

Таблица 2

Таблица поиска отношения расстояния в зависимости от отношения направления

f_k	$n^*=0$	$n^*=1$ ($d_{min} \neq d_0$)	$n^*=2$	$n^*=3$	$n^*=4$	$n^*=5$	$n^*=6$
f_1	d_{max}	d_{max}	d_{max}	d_{max}	d_{max}	d_{max}	d_{max}
f_2	d_{max}	d_{max}	$d_{max}-1$	d_{max}	$d_{max}-1$	$d_{max}-2$	$d_{max}-2$
f_3	d_{max}	$d_{max}-1$	$d_{max}-1$	$d_{max}-1$	$d_{max}-2$	$d_{max}-3$	$d_{max}-4$
f_4	d_{max}	$d_{max}-1$	$d_{max}-2$	$d_{max}-2$	$d_{max}-3$	$d_{max}-4$	$d_{max}-5$
f_5	d_{max}	d_{min}	d_{min}	d_{min}	d_{min}	d_{min}	d_{min}

Построенная логика на плоскости позволяет выводить новые пространственные отношения расстояния, являющиеся функцией направления.

Пример. Проиллюстрируем работу построенной логики на примере. Пусть имеется гибкий производственный модуль (ГПМ), содержащий станок и робот-манипулятор, робокар, перемещаясь между складом и ГПМ, обеспечивает последний заготовками. Пусть пространственное положение компонентов данной гибкой производственной системы описывается в виде: «Впереди не далеко и не близко от робокара расположен ГПМ 1, очень близко и справа от ГПМ 1 находится ГПМ 2. Близко и сзади – справа от ГПМ 2 размещен склад заготовок для ГПМ 1, 2» (рис. 5).

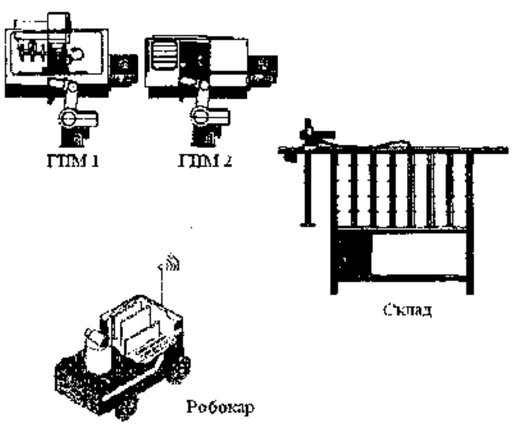

Рис. 5. Гибкая производственная система

Введем обозначения: a_1 – робокар; a_2 – ГПМ 1; a_3 – ГПМ 2; a_4 – склад. В соответствии с введенными обозначениями для значений ЛП «Расстояние» и «Направление» (рис.2 и табл.1) получим исходные ограничения:

1) $[X(a_1;a_2)\ is\ d_3]\ is\ f_1$;
2) $[X(a_2;a_3)\ is\ d_1]\ is\ f_7$;
3) $[X(a_3;a_4)\ is\ d_2]\ is\ f_6$.

С помощью распространения ограничений получим новые факты для пространственной ситуации робокара: $[X(a_1;a_3)\ is\ d_3]\ is\ f_1$, т.к. $n(d_3) - n(d_1) = 2 \geq 2$, . $d_{max}= d_{min}$.

$[X(a_1;a_4)\ is\ d_2]\ is\ f_8$, так как $n^*=n(d_{max}=d_4) - n(d_{min}=d_1) = 3$, далее по табл. 2 находим $d(f_4)$, потому что направление f_6 симметрично направлению f_4, рассмотренному на рис.4.

Таким образом, построенная пространственная логика на плоскости позволяет выводить дополнительные нечеткие пространственные ограничения, явно не описанные оператором.

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен вариант описания статической пространственной логики для робота на основе комбинации подхода псевдофизических логик Д.А. Поспелова и аппарата обобщенных ограничений Л. Заде. Исследованы варианты распространения нечетких лингвистических ограничений в задачах анализа пространственной ситуации. Дальнейшие исследования будут связаны с построением логики пространственного перемещения робота, опирающейся на механизм распространения нечетких лингвистических ограничений и правила с гранулярными производными типа: "если положение X робота описывается термом «*далеко*» (в интервале $[a, b]$) от цели, то скорость его перемещения dX/dt характеризуется лингвистическим значением большая".

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты №07-01-00656 и №08-01-00917.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Поспелов, Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. – М.: Энергоиздат, 1981.

[2] Кандрашина, Е.Ю. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах. / Е.Ю. Кандрашина, Л.В. Литвинцева, Д.А. Поспелов – М.: Наука, 1989.

[3] Поспелов, Д.А. Знания и шкалы в модели мира// Модели мира. – М.: РАИИ, 1997. – С.69-84.

[4] Варосян, С.О. Неметрическая пространственная логика / С.О. Варосян, Д.А. Поспелов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1985. – №5. – С.86-89.

[5] Zadeh, L. Generalized Theory of Uncertainty – Principal Concepts and Ideas// Computational Statistics and Data Analysis.– 2006.– №51.–P.15-46.

[6] Zadeh, L. From Computing with Numbers to Computing with Words – from Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions// International Journal Application Math. Computer Science. – 2002. – Vol.12, №3. – P.307-324.

[7] Калуцкая, А.П. Обобщенные ограничения: применение к управлению роботами// Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Труды V-й Международной конференции (Коломна, 28-30 мая 2009г.). – М.: Физматлит, 2009. – Т.1. – С.510-519.