

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ РОБОТА В СРЕДЕ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Орловский И. А.,

Запорожский национальный технический университет.

Рассмотрена система управления перемещением робота на плоскости, выполненная из одинаковых параллельно работающих автоматов-клеток, имеющих один и тот же алгоритм работы. Количество автоматов-клеток определяется точностью отработки положения. Система позволяет выполнять с высоким быстродействием целенаправленное управление перемещением робота в среде с препятствиями по кратчайшей траектории. В системе Matlab выполнено моделирование алгоритма работы системы управления.

Построение быстродействующих систем управления интеллектуальных мобильных роботов, позволяющих осуществлять оптимальное целенаправленное перемещение робота в сложной меняющейся естественной среде, является актуальной и далеко не решенной задачей. Такая же задача оптимизации возникает при перемещении различных ресурсов (электроэнергии, информации, газа, воды и т.д.).

Адаптивные системы управления широко используют средства микропроцессорной техники. Ядром систем управления адаптивных роботов является, как правило, промышленный контроллер. В последнее время широко используются мультипроцессорные вычислительные системы, где различными узлами и системами робота управляют отдельные процессоры. Несложные системы управления реализуются на жесткой логике. Алгоритм управления реализуется в виде программы или в виде определенного порядка соединения логических элементов. Реализация системы управления на микропроцессорах, наряду с гибкостью, простотой изменения алгоритма, имеет из-за последовательной обработки информации гораздо более низкое быстродействие по сравнению с системой на жесткой логике.

В данной статье рассматривается система управления перемещением робота, обработка информации в которой,

осуществляется параллельно. Система управления состоит из одинаковых одновременно работающих автоматов-клеток, выполненных на жесткой логике, либо на микроконтроллерах. Все автоматы-клетки имеют один и тот же алгоритм работы. Будем считать, что количество автоматов-клеток неограниченно велико. В ограниченном пространстве робот может находиться в определенном количестве точек (клеток) N , определяемом точностью отработки положения. Управление роботом в каждой точке осуществляет свой отдельный автомат-клетка, следовательно, для реализации данной системы управления используется N автоматов-клеток. Остальные автоматы-клетки в данном случае в управлении не участвуют и могут быть использованы при повышении точности отработки перемещения, расширении зоны работы робота или для замены поврежденного автомата-клетки.

Такую систему управления можно отнести к системам с клеточными автоматами, которую, впервые серьезно исследовал Дж. Фон Нейман [1] и показал неограниченные возможности таких систем на примере реализации самовоспроизводящихся автоматов. Каждый автомат-клетка у Дж. Фона Неймана имеет 29 состояний. Вся система внутренне однородна, то есть поведение каждой клетки подчиняется одному и тому же правилу. Это "правило переходов" выражает состояние клетки в текущий момент времени через состояние самой клетки и её непосредственных соседей в предыдущие моменты времени. С позиции современных информационных технологий система управления может быть отнесена к системам управления выполненных на нейронных сетях. В этом случае каждый искусственный нейрон имеет гораздо более сложный алгоритм работы (а именно, алгоритм автомата-клетки), по сравнению с нейронами МакКалоча-Питса. Усложнение алгоритма работы искусственного нейрона приближает аналогию с биологией, так как в каждой нервной клетке хранится вся генетическая информация (алгоритм) построения и управления живым организмом.

Постановка задачи. Необходимо осуществить управление перемещением робота на плоскости (рис.1). В зоне работы робота находятся препятствия, ограничивающие траектории движения.

Роботу задається "цель" – точка пространства (клетка), к которой выполняется перемещение робота. Для упрощения задачи полагается, что робот может перемещаться только во взаимно перпендикулярных направлениях [2]. Перемещения робота необходимо осуществлять оптимально, то есть траектория движения к "цели" должна быть кратчайшей. Система управления должна быть адаптивной к расположению препятствий. Время для выработки сигнала управления должно быть минимальным.

Основные результаты. Для реализации поставленной задачи разместим на рисунке, для наглядности, автоматы-клетки, составляющие систему управления (рис.2), также как и соответствующие им точки (клетки) 2 фиксации положения робота на плоскости (рис.1). Каждый автомат-клетка соединен с четырьмя соседними автоматами, с двигателями, осуществляющими перемещение робота, датчиками перемещения и с системой управления более высокого уровня, задающей положение цели и первоначальное соответствие положения робота определенному автомату-клетке. При перемещении робота в новую клетку автомат-клетка, осуществляющий управление роботом в этой точке, практически мгновенно выдает сигнал управления, так как этот сигнал вычислен заранее при определении оптимальной траектории. Перед началом движения робота необходимо знать размещение препятствий. Когда препятствия известны, система управления определяет кратчайшую траекторию и выполняет перемещение робота по ней. Если имеются датчики, позволяющие в процессе движения робота определять изменение расположения препятствий, то система управления, одновременно выполняя управление движением робота, определяет новый оптимальный маршрут и дальнейшее движение робота происходит по этому маршруту. В качестве датчиков определения препятствий, могут быть оптические, размещенные на роботе, либо датчики установленные в каждой клетке плоскости, информация с которых поступает в соответствующие автоматы-клетки.

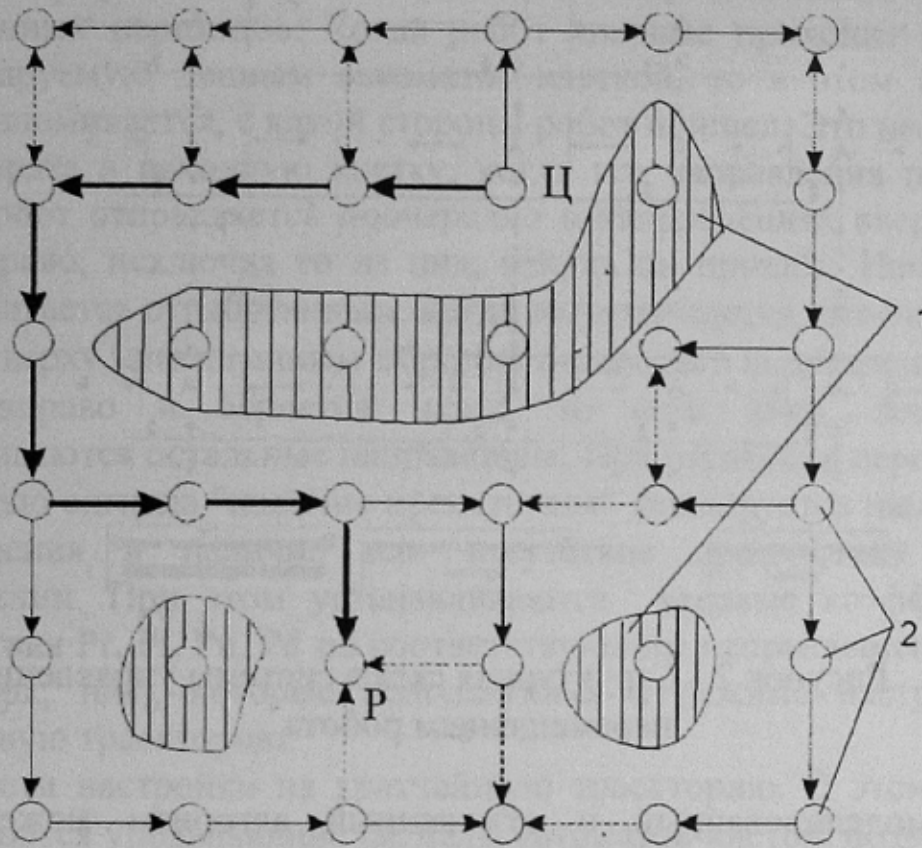


Рисунок 1 - Зона перемещения робота

- 1 – препятствия;
- 2 – точки возможного положения робота;
- Р – местонахождение робота;
- Ц – положение цели;
- – направление распространения волн;
- ▶ – безуспешная попытка распространения волны (приоритеты направления волны для принимающей точки в порядке убывания: лево, право, верх, низ);
- – кратчайшая траектория волны от цели к роботу.

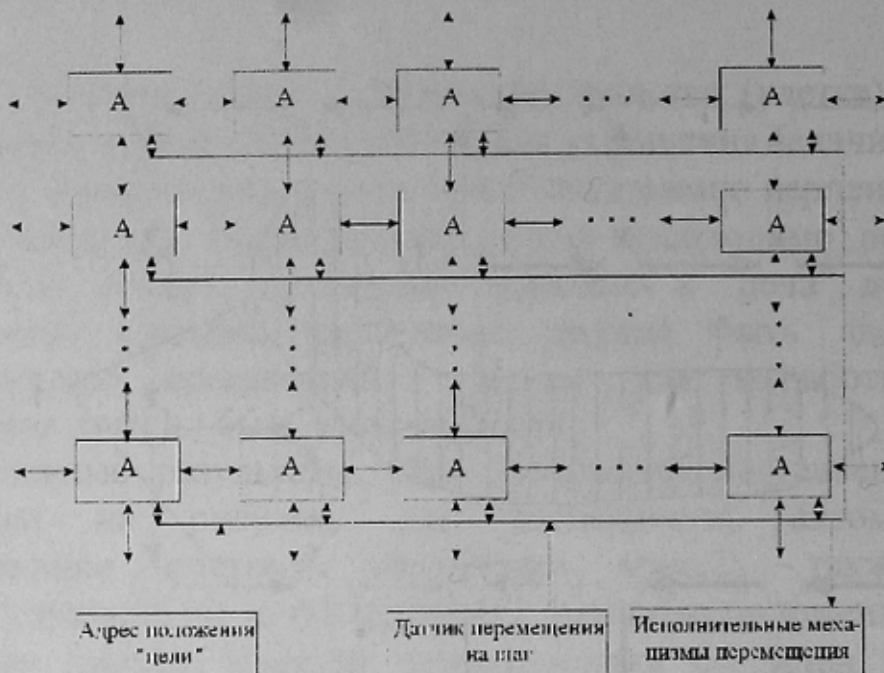


Рисунок 2 - Структурная схема системы управления перемещением робота

Промоделированный и отлаженный алгоритм может быть реализован на жесткой логике. В этом случае для выдачи сигнала управления исполнительными механизмами необходим лишь сигнал передачи управления данному автомату. Тогда при асинхронной работе задержка времени выдачи сигнала управления может составить время срабатывания двух логических элементов (один элемент для выдачи сигнала передачи управления в соседнем автомате, второй для выдачи сигнала управления в данном автомате).

Описание алгоритма работы автомата-клетки. Каждый автомат-клетка в зависимости от входных сигналов может работать в одном из режимов:

- режим определения препятствий;
- режим настройки на кратчайшую траекторию;
- режим перемещения к цели.

Режим определения препятствий. Расположение препятствий может задаваться сразу от сенсорных элементов, определяющих наличие препятствия в данной клетке, либо от системы управления более высокого уровня. Если такой возможности нет, то препятствия определяются путем выполнения перемещения или попытки

перемещения робота по всем переходам между клетками и выявления запрещенных переходов. Когда робот впервые приходит в клетку, контролируемую данным автоматом-клеткой, то в этом автомате-клетке запоминается, с какой стороны робот пришел. Это необходимо для возврата в исходную клетку, когда все направления пройдены. Далее робот отправляется поочередно в направлениях вверх, влево, вниз, вправо, исключая то из них, откуда он пришёл. Направление вверх считается отработанным, когда автомат-клетка, отвечающий за клетку вверху, аналогичным образом отработает направления вверх, влево, вправо и вернется назад, то есть вниз. Аналогично отрабатываются остальные направления. При отработке перемещения с помощью сигнала "наличие препятствия" фиксируется направление перемещения и наличие или отсутствие препятствия в этом направлении. При этом устанавливаются весовые коэффициенты препятствия P_r , P_l , P_u , P_d по соответствующим направлениям (право, лево, верх, низ), которые используются в режиме настройки на кратчайшую траекторию.

Режим настройки на кратчайшую траекторию. В этом режиме определяются управляющие сигналы автоматов-клеток, позволяющие управлять перемещением робота к цели среди препятствий по кратчайшей траектории. Для осуществления этой задачи автомат-клетка, клетка которого помечена как "цель" (поступил сигнал на вход target), посылает "волну" соседним автоматам. Соседние автоматы-клетки могут получить сигнал "волны" из четырех направлений. Направление открыто если весовой коэффициент препятствий по этому входу, установленный в режиме определения препятствий, сообщает, что препятствия на этом переходе нет. Получив сигнал "волны", автомат-клетка устанавливает весовой коэффициент траектории по тому входу, откуда первым появился сигнал "волны", равный 1, а весовые коэффициенты траектории по другим входам устанавливаются в 0, тем самым, запрещая поступление сигналов "волны" по другим входам. При одновременном поступлении сигналов "волны" с нескольких направлений выбирается одно направление в соответствии с приоритетом. В алгоритме первым анализируется сигнал от левого соседа, далее от правого, затем верхнего и последним сигнал от

нижнього соседа. После этого посылается "волна" дальше. Перемещение волны происходит только по направлениям, где препятствия отсутствуют. Если во время перемещения к цели произошло изменение расположения препятствий, то автомат-клетка, помеченный как "цель", снова посылает волну и определяется новая кратчайшая траектория от цели к клетке, где находится робот. Дальнейшее движение робота выполняется по новой траектории.

Режим перемещения к цели. В режиме перемещения к цели, автомат-клетка, в клетке которого находится робот, выдает управляющий сигнал перемещения робота в направлении, для которого весовой коэффициент траектории равен единице. При достижении соседней клетки, о чем сигнализирует датчик перемещения, управление передаётся соответствующему ей автомат-клетке. Получив подтверждение о передаче управления соседнему автомату, данный автомат-клетка переходит в состояние "Ожидания" следующей волны. При достижении клетки "цель" режим перемещения к цели заканчивается, и тогда все автоматы-клетки находятся в состоянии "Ожидания" до появления сигнала "цель" в автомате-клетке, где нет робота.

Реализация алгоритма работы автомата. Для реализации алгоритма работы автомата-клетки в режиме настройки на кратчайшую траекторию и режиме перемещения к цели использованы следующие входные, выходные и внутренние сигналы (рис.3).

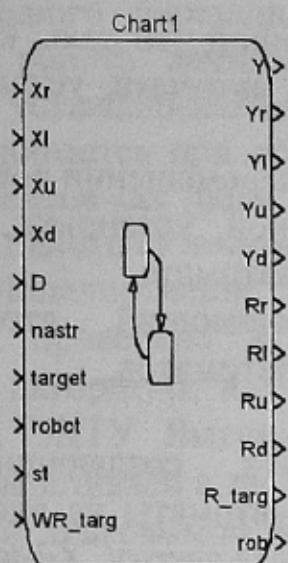


Рисунок 3 - Входные и выходные сигналы автомата-клетки в режиме определения препятствий и перемещения к цели

Входные сигналы.

Xr-вход от соседа справа, подключается к сигналу Y соседа справа.

Xl-вход от соседа слева, подключается к сигналу Y соседа слева.

Xu-вход от соседа сверху, подключается к сигналу Y соседа сверху.

Xd-вход от соседа снизу, подключается к сигналу Y соседа снизу.

Сигналы Xi (i=r,l,u,d) необходимы для приема "волны", которую посылают соседние автоматы на выходе Y.

nastr-сигнал, устанавливающий режим определения препятствий. Если nastr=1, то автомат-клетка находится в режиме настройки на кратчайшую траекторию и режиме перемещения к цели. Если nastr=0, то автомат находится в режиме определения препятствий.

robot-сигнал, указывающий что управление роботом осуществляет данный автомат, устанавливается от соседних автоматов, подключается к выходу Rr автомата справа, Rl автомата слева, Ru автомата сверху, Rd-автомата снизу.

target-сигнал, указывающий что цель, куда перемещается робот, находится в клетке данного автомата, устанавливается от внешнего источника.

D-сигнал от датчика о перемещении робота на одну клетку.

st-сигнал первоначальной установки. Указывает, что робот находится в клетке данного автомата.

WR_targ-сигнал, указывающий, что робот достиг цели, подключается к R_targ всех автоматов.

Выходные сигналы

Y - выход автомата, создающий "волну". Поступает одновременно на соседние автоматы на входы: Xr-автомата справа, Xl-автомата слева, Xu-автомата сверху, Xd-автомата снизу.

Yr - сигнал управления перемещением робота вправо.

Yl - сигнал управления перемещением робота влево.

Yu - сигнал управления перемещением робота вверх.

Yd - сигнал управления перемещением робота вниз.

R_targ-сигнал, указывающий что робот достиг цели, подключается к WR_targ всех автоматов.

Rob-сигнал визуализации. Если gob=1, то в клетке данного автомата находится робот. Если gob=11111111, то препятствия не позволяют попасть в данную клетку.

Внутренние переменные.

Wr-весовой коэффициент траектории по входу Xr.

Wl-весовой коэффициент траектории по входу Xl.

Wu-весовой коэффициент траектории по входу Xu.

Wd-весовой коэффициент траектории по входу Xd.

Wi (i=r,l,u,d) необходимы для запоминания направления, откуда "волна" пришла первой, чтобы в режиме перемещения к цели робот двигался по кратчайшей траектории.

Pr-весовой коэффициент препятствия по входу Xr.

Pl- весовой коэффициент препятствия по входу Xl.

Pu-весовой коэффициент препятствия по входу Xu.

Pd-весовой коэффициент препятствия по входу Xd.

Pi (i=r,l,u,d) устанавливается в режиме определения препятствий.

strob- сигнал начального перемещение робота. Выполняется начальное перемещение робота данным автоматом-клеткой, если $strob = 1$. Первоначально устанавливается от внешнего источника. В процессе работы устанавливается при достижении цели в автомате, клетка которого была отмечена как "цель".

Диаграмма stateflow одного автомата-клетки приведена на рис.4.

Моделирование. Моделирование системы управления с клеточными автоматами проведено в системе Matlab в пакете Stateflow. В разработке алгоритма и отладке принимали участие студенты кафедры ЭПА ЗНТУ Высокис Александр и Ксендзюк Роман. Автомат-клетка представлен в виде блока Stateflow, в котором алгоритм работы задаётся диаграммой Stateflow (рис.4), во многом напоминающей обычную блок-схему алгоритма. Блок, представляющий автомат-клетку, соединяется с другими блоками в Simulink модели. Здесь же подключаются блок задания цели, блок датчиков, блок, формирующий сигналы исполнительным механизмам (рис.5). Отработка алгоритма выполнялась на 9 автоматах. При моделировании препятствия во время движения робота к цели не изменялись. Результаты моделирования подтвердили правильность алгоритма автомата-клетки и работоспособность всей системы в целом.

Выводы. Рассмотренная система управления, состоящая из параллельно работающих автоматов-клеток, позволяет осуществлять целенаправленное управление перемещением робота в среде с изменяющимися препятствиями по кратчайшей траектории. Предложенный алгоритм управления обеспечивает адаптивность системы управления к расположению препятствий. Высокое быстродействие алгоритма достигается за счет параллельной работы всех автоматов-клеток. Время выработки сигнала управления при движении робота по плоскости с неизменными препятствиями составляет время задержки нескольких логических элементов.

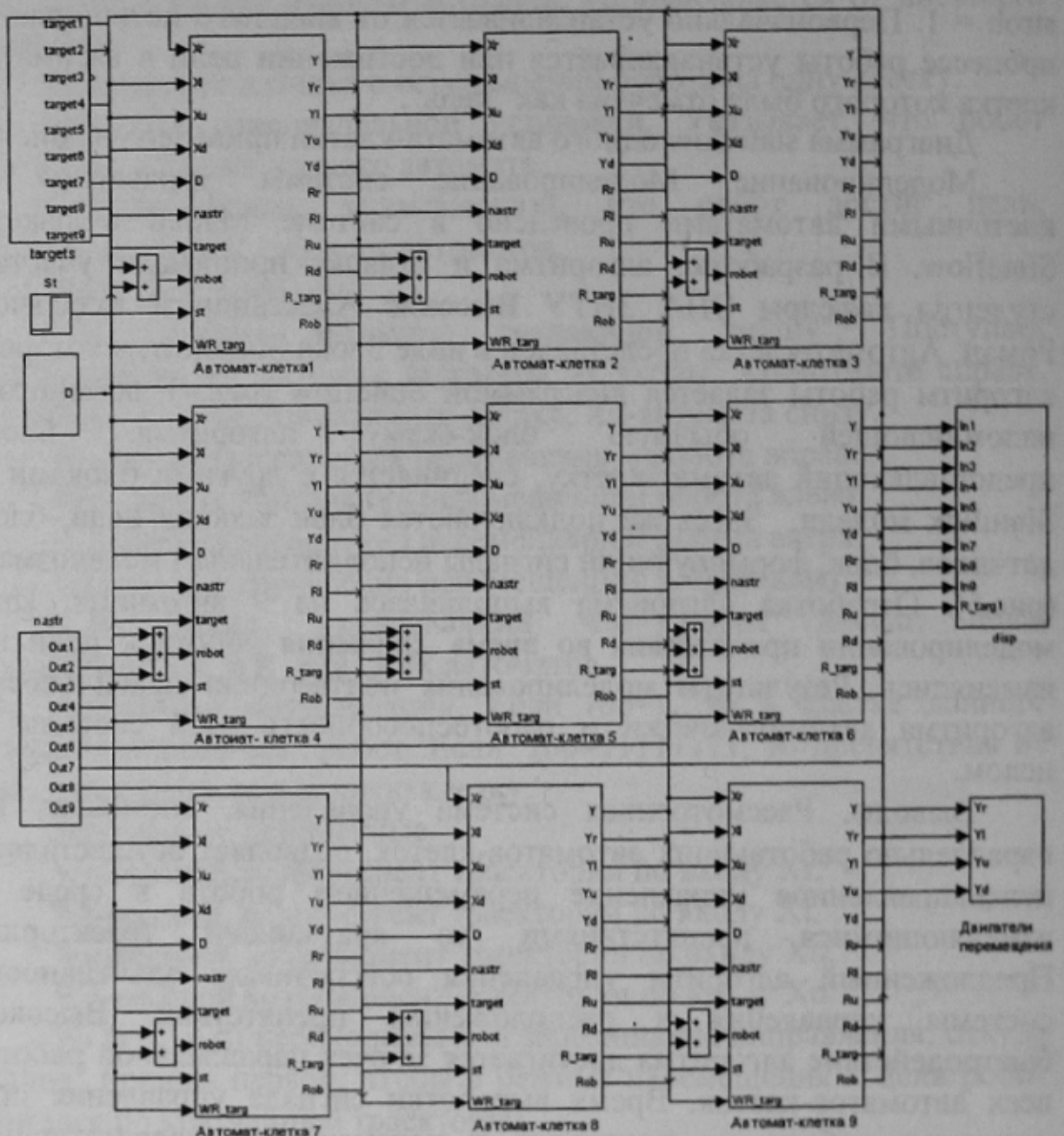


Рисунок 4 - Simulink модель системи управління

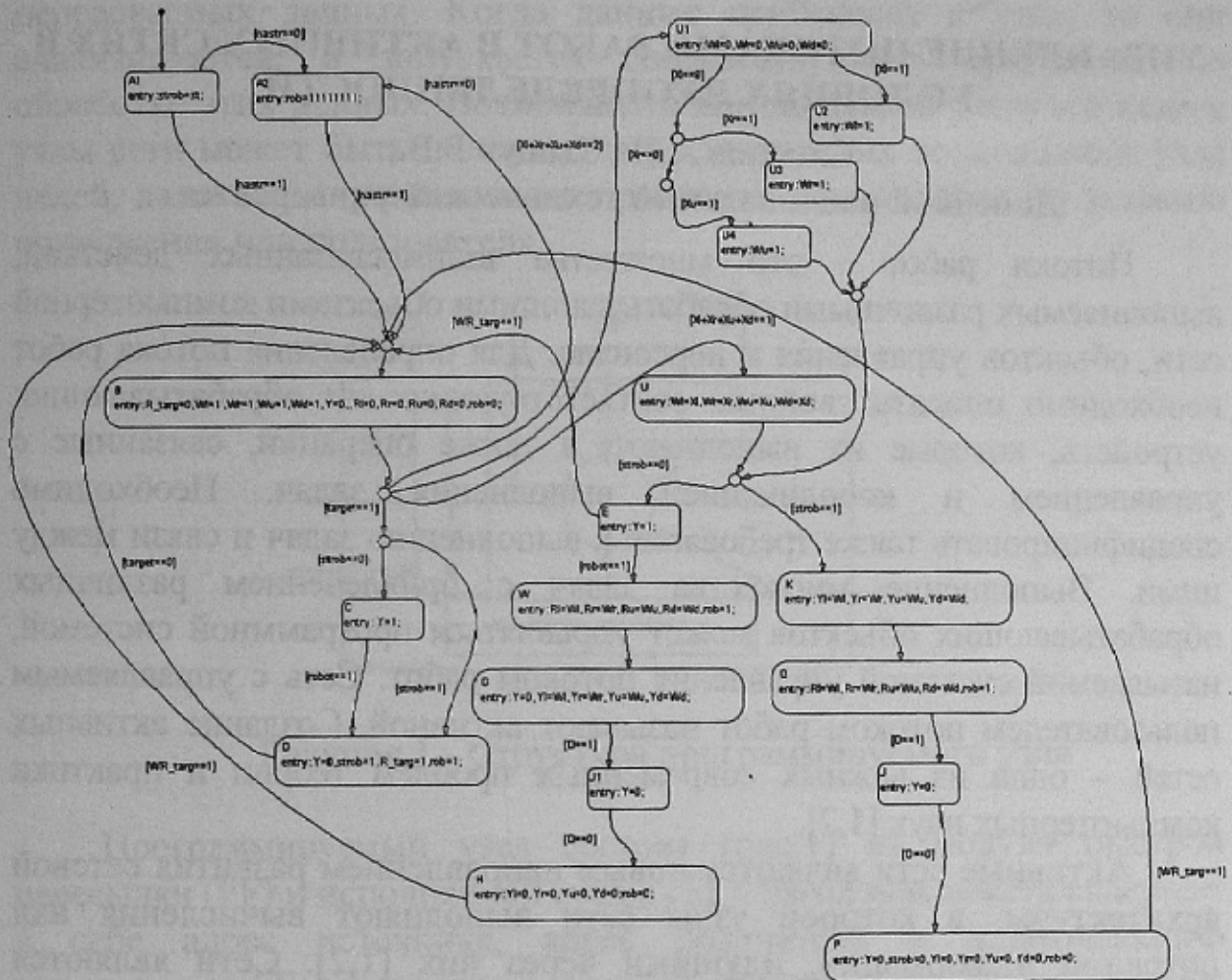


Рисунок 5 - Диаграмма Stateflow автомата-клетки в режимах определения препятствий и перемещения к цели

Список источников:

1. Дж. Фон Нейман. Теория самовоспроизводящихся автоматов.- М.: Мир, 1971.
2. Моделирование нейросетевых систем управления интеллектуальных мобильных роботов/ Ю.В. Чернухин, В.Х. Пшихонов, С.Н. Писаренко и др.; Труды международной конференции "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO 2000. Москва, 2000.