ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.896

Г.А. Сахопотинов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ РОБОТОВ

В последние годы робототехника совершила качественный скачок в широте возможностей одиночных роботов. Созданы роботы, способные быстро бегать, водить автомобиль, проводить финансовые операции. Перед роботами ставились такие задачи, как: вождение автомобиля, разбор завалов, манипуляции с переключателями и вентилями.

В то же время, большие возможности может предоставить и использование групп взаимодействующих роботов. За счет группового поведения роботов можно получить следующие выгоды:

- повышение надежности,
- возможность решать более сложные задачи,
- возможность проявления сложных форм поведения.

При создании группы роботов возникают дополнительные проблемы, связанные с решением задачи управления группой роботов. Вот одна из ее формулировок [1]: задача группового управления заключается в отыскании и реализации таких действий каждого отдельного робота группы, которые приводят к оптимальному, с точки зрения некоторого критерия, достижения общей групповой цели.

В общем случае существует два подхода к решению задачи группового управления [1]:

- Централизованный, предполагающий выделение в группе некоторого центра принятия решений, указания которого выполняются всеми роботами в группе.
- Децентрализованный, предполагающий отсутствие каких-либо центров принятия решений.

Сделаны оценки зависимости времени принятия решения в различных концепциях в зависимости от числа роботов в группе [1] (рис.1): Из графика следует, что децентрализованные алгоритмы позволяют снизить время принятия решения в больших группах роботов. Эти выводы подтверждаются и другими авторами [1,2].

Т.к. группа роботов является мультиагентной системой, она может рассматриваться как некое целое. Очевидно, что такого объекта существует ряд внутренних переменных, характеризующих его состояние. В данном случае это могут быть цель и задачи системы, текущее состояние выполнения задач и т.д. В то же время, система состоит из отдельных агентов, обладающих собственными переменными состояния, собственной памятью,

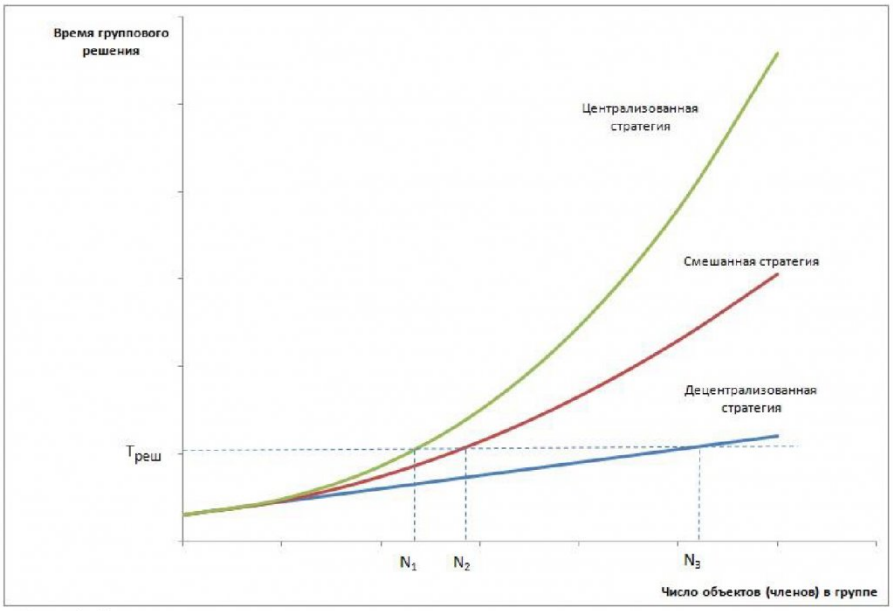

Рис. 1. Зависимость времени принятия решения от стратегии управления

недоступной другим агентам. Таким образом, для возможности работы всей системы необходимо каким либо образом хранить общую информацию о ней и передавать ее от одного агента к другому. В централизованных подходах управления такая задача синхронизации решается просто, т.к. все необходимые данные находятся в центре принятия решений. Но в децентрализованных системах подобное решение неприемлемо. Соответственно, необходимо передавать информацию от робота к роботу постоянно, пока она не распространится по всей группе. В то же время, возникает ряд вопросов связанных с количеством переданных сообщений и общим временем распространения информации. Может показаться, что число сообщений в групповой сети будет расти как факториал (число перестановок от N – числа роботов в группе). В дальнейшем будет показан простейший алгоритм распространения такой информации и доказано, что затраты времени на передачу информации растут намного медленнее, чем может показаться на первый взгляд.

Рассмотрим передачу сообщений на примере графа (рис. 2).

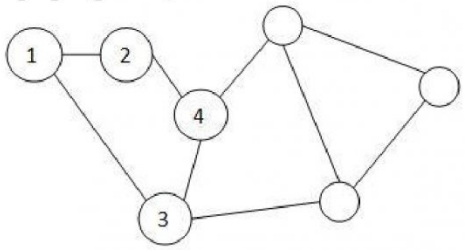

Рис. 2. Представление сети роботов в виде графа

Роботы в сети обозначены как вершины графа, а дуги – связи между ними. Определим время распространения информации в системе. Для расчета будем исходить из наихудшего случая, когда источником распространения стал только один робот. Пусть в группе будет N роботов, у каждого робота может быть до k подключений. Время передачи одного сообщения по связи – t, прошедшее время - T.

Время t, необходимое для передачи данных между двумя роботами,

$$t = t_п + t_т$$

где $t_п$ – время передачи данных по каналу, $t_т$ – время затраченное на обработку сигнала сетевым интерфейсом робота. Очевидно, что $t_п << t_т$. Т.к. время обработки сигнала не зависит от расстояния между источником и приемником, можно считать что

$$t \approx t_т$$

и t, таким образом, является фактически постоянной величиной для заданного размера сообщения и типа аппаратной платформы. Если считать, что распространение события начинается с одного робота в группе, то через время t о событии узнает еще k роботов, где k – количество связей первого робота. Затем каждый из k роботов разошлет событие всем связанным с ним роботам и т.д. Т.к. время t всегда одинаковое, количество агентов n, получивших информацию, растет во времени скачкообразно (рис. 3).

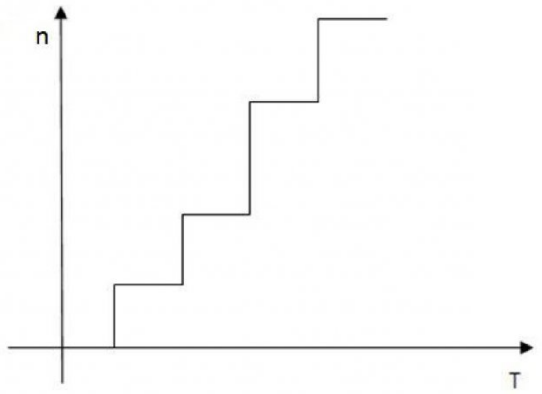

Рис. 3. Дискретное распространение информации в группе роботов

Таким образом, процесс распространения информации происходит дискретно во времени, что позволяет рассматривать как переменную не собственно время, а номер дискретного интервала длиной t. Тогда, если для распространения информации по всей группе понадобилось τ интервалов, общее время будет

$$T = t \times \tau$$

В дальнейшем будем оперировать именно величиной количества интервалов τ, т.к. это позволит абстрагироваться от физических и аппаратных свойств реализации робота.

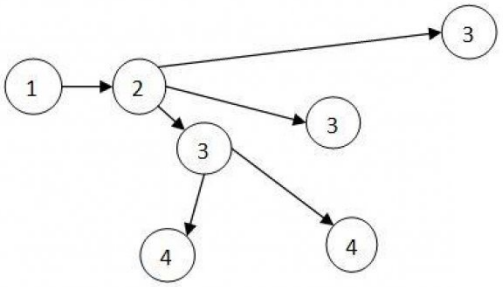

Рис. 4. Представление группы роботов в виде дерева

Т.к. при нормальной работе системы граф связей должен быть связным (если это не так, то невозможно говорить о единой мультиагентной системе), можно считать, что в системе всегда можно выделить подграф, являющийся деревом. Пусть агент, вначале генерирующий событие, считается корнем дерева.

Тогда распространение информации можно представить на схеме (рис.4):

Очевидно, если время прохождения сигнала через связь постоянно, то уровень узла равен количеству интервалов передачи данных, через которые узел получит информацию о событии. Тогда время распространения информации (в интервалах) будет равно высоте дерева. Очевидно, что наибольшая высота дерева, которое можно построить на N узлах – N-1. В этом случае граф можно будет представить в виде прямой линии, а степень всех узлов, кроме корня и самого отдаленного от корня равна двум. Отсюда получаем время распространения информации:

$$\tau \leq N - 1$$

Если же каждый узел в дереве имеет степень не менее 3, можно наложить более сильное ограничение. Рассмотрим минимальный случай с регулярным деревом, когда каждый узел имеет степень k. Тогда количество узлов, получивших информацию на i-м интервале:

$$n_i = (k-1)n_{i-1}$$

Очевидно, это формула геометрической прогрессии, причем $n_1 = k$, так с корня дерева информация уходит по всем связям, а на других узлах – всем, кроме родительского узла. Тогда количество узлов, охваченных информацией на i-м интервале, будет:

$$n_i = \frac{k\left(1-(k-1)^i\right)}{1-(k-1)} = \frac{k\left((k-1)^i-1\right)}{k-2}$$

Приравнивая $n_i = N$, получим следующую формулу для определения количества интервалов для распространения события:

$$\tau = \log_{k-1}\frac{(N(k-2)+1)}{k}$$

В результате, время распространения события будет увеличиваться пропорционально логарифму от N, что вполне приемлемо и соответствует ранее приведенным графикам времени принятия решения.

В общем случае, граф связей группы роботов деревом не является. Если обратиться к предыдущему рисунку, то видно, что можно рассматривать реальный граф связей как дерево, к которому добавили новые дуги. Можно выделить два типа таких дуг:

- дуга, соединяющая два узла одинакового уровня,
- дуга, соединяющая два узла разного уровня.

В первом случае дуга никак не влияет на распространение сигнала. Т.к. лежащие на ней вершины получат информацию почти одновременно, они просто отправят ее друг другу по данной связи. В результате, на следующем интервале число получивших информацию узлов останется таким же, как и в исходном дереве.

Рассмотрим подробнее второй случай. Для определенности, предположим, что дуга соединяет некоторые узлы 1 и 2, причем уровень узла 1 больше, чем уровень узла 2. Тогда узел 1 получит информацию раньше, чем он получил бы ее, если бы дополнительной дуги не было. После получения информации узел 1 разошлет информацию, в результате чего она пойдет не только в сторону увеличения уровня узла, как это происходило изначально, но и уменьшения. В итоге на одном из узлов изначальный сигнал встретится с копией сигнала от узла 1 и одна из дуг будет выключена из распространения информации далее. В итоге снова получается ситуация при которой скорость распространения информации не уменьшилась.

Таким образом, распространение информации в большой децентрализованной сети роботов не может сильно замедлить скорость ее работы, даже при использовании простейшего алгоритма. Вполне вероятно, что централизация при кажущейся простоте может приводить даже к большим замедлениям в работе. Если в группе для принятия решений используются алгоритмы, основанные на обмене данными, то можно считать что полученная формула описывает и время принятия решения в системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О проблеме группового управления роботами [Журнал] / Е.И. Юревич // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2004 г..

2. Сб. научн.трудов Всероссийской научной школы [Конференция] / Карпов В.Э. // Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное. - 2011.

Автор статьи

Сахопотинов Григорий Александрович, ассистент каф. информационных и автоматизированных производственных систем КузГТУ, E-mail: sogris@yandex.ru.

Поступило в редакцию 22.01.2015