

## 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.

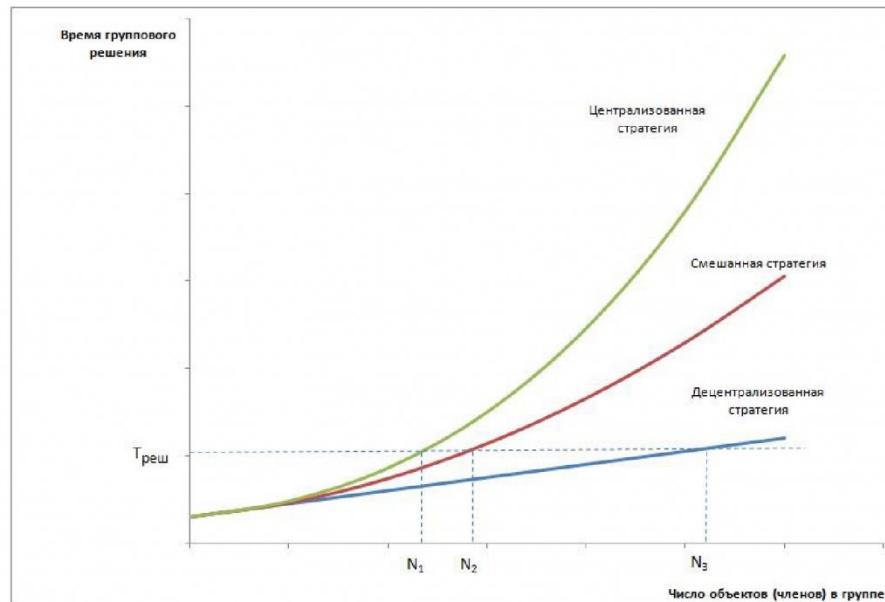
При создании группы роботов возникают дополнительные проблемы, связанные с решением задачи управления группой роботов. Вот одна из ее формулировок [1]: задача группового управления заключается в отыскании и реализации таких действий каждого отдельного робота группы, которые приводят к оптимальному, с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

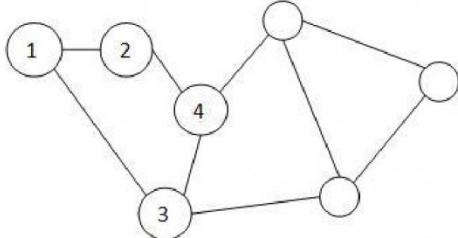


Рис. 2. Представление сети роботов в виде графа

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,

$$t = t_n + t_t$$

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

$$t \approx t_t$$

и  $t$ , таким образом, является фактически по-

стоянной 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).

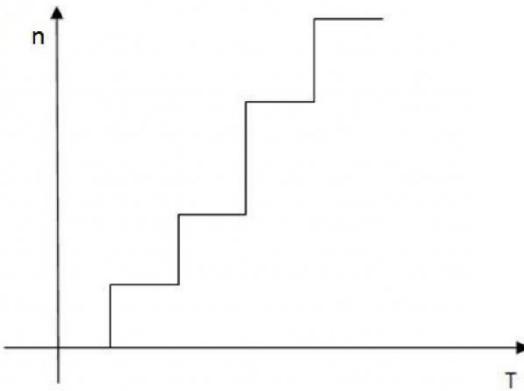


Рис. 3. Дискретное распространение информации в группе роботов

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

$$T = t \times \tau$$

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

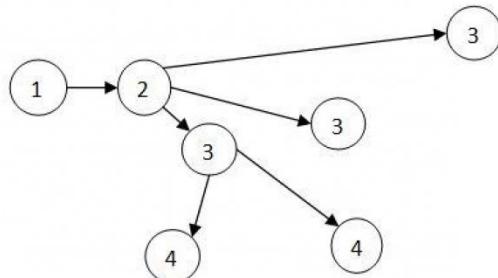


Рис. 4. Представление группы роботов в виде дерева

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 которыеузел 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 удаленного 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:

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

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](mailto:sogris@yandex.ru).

Поступило в редакцию 22.01.2015