

## Лекция № 2

## Тема: Мультиагентный подход описания распределенных систем

Существующие способы, такие как классические математические модели или системная динамика, либо постулируют «монолитный» (статичный) подход к описанию распределенной системы обработки информации, либо предлагают «макроскопическое» описание, не отвечающее на вопрос о фактической структуре распределенной системы и протекающих внутри микропроцессах.

Распределенные системы обработки информации, функционирующие в условиях непрогнозируемого изменения входящих информационных потоков, должны оперативно реагировать на такие изменения с целью сохранения скорости и качества обработки информации. Изменение информационных потоков может быть как количественным, так и качественным. В первом случае происходит количественное изменение объема информации определенного характера, поступающего для обработки на узел распределенной системы обработки информации. При первоначальном превышении «мощности» узла – объема информации, который узел может обработать в единицу времени, – возникает задача оптимизации процесса обработки информации, заключающаяся в оптимальном перераспределении «излишков» информационного потока для обработки на соседних узлах. В дальнейшем увеличение или уменьшение объемов информации также требует оптимизации информационных потоков, заключающейся в их перераспределении по узлам распределенной системы обработки информации. Условием оптимальности в данном случае может служить минимальное время задержки обработки излишков информации.

Возможен и второй случай – качественное изменение информационных потоков, когда происходит замещение или возникновение нового информационного потока с качественно иной информацией в отличие от той, что уже обрабатывается узлом распределенной системы обработки информации. Например, на узел, обрабатывающий текстовую информацию, начинает поступать потоковое видео. Возникает задача реструктуризации – изменения самой архитектуры – распределенной системы обработки информации или отдельных ее узлов с целью приведения ее в соответствие с изменившейся структурой входящих информационных потоков. В противном случае возможны сбои в работе системы, искажение информации, падение эффективности работы распределенной системы.

Переход от локальной компьютеризации к распределенным системам обработки информации требует расширить понятия, которыми мы оперируем, а также глубину понимания их природы. Информационные потоки в современных информационных системах – уже не просто набор сетевых пакетов, пересылаемых между источником и приемником информации. Сегодня информационные потоки формируются различными *элементарными квантами информации*, в роли которых могут выступать как сетевые пакеты, так и другие информационные объекты (например, файлы), и даже интеллектуальные агенты (или другие программы). Детерминированный подход к их описанию не дает ответ на вопрос о принципах существования информационных потоков: их зарождении, эволюции, угасании.

Рассмотрим простой пример вирусной эпидемии – одной из наиболее актуальных проблем нашего времени, которая близко касается не только крупных промышленных предприятий и распределенных систем обработки информации, но и рядовых пользователей персональных компьютеров. Современные авторы [6] исследуют различные эпидемиологические модели, описывающие количественные характеристики распространения вирусной эпидемии, в то время как пространственно-временное распределение вирусов остается неизученным. Проще говоря, известно число зараженных вирусом компьютеров, но какие именно компьютеры заражены – совершенно неясно. Очевидно, что при всей своей полезности подобные модели существенно ограничены в возможностях описания исследуемого явления и не дают информации о путях распространения вирусной эпидемии, необходимой для «точечного» подавления вирусной эпидемии в ключевых узлах на ее пути. Как результат, производители антивирусных средств [7] «де факто» признают свое

поражение в борьбе с вирусной угрозой и ищут принципиально новые решения для борьбы с ней.

Возможно ли избавиться от этого недостатка? Да. При всей своей непредсказуемости рассматриваемое явление носит вероятностный характер, а значит – может быть описано функцией распределения случайной величины. Более того, случайный по своей природе процесс подчиняется ряду закономерностей, позволяющих говорить о *влиянии информационной среды* на его протекание, и на формирование, в конечном итоге, информационных потоков. Говоря об информационной среде, мы понимаем *совокупность всех программно-аппаратных средств (факторов) рассматриваемой распределенной системы обработки информации*, оказывающих влияние на распространение элементарных квантов информации и их обработку. Применительно к рассматриваемому примеру, такими факторами могут быть качество каналов связи, интенсивность использования тех или иных функций отдельно взятого узла (например, частота проверки электронной почты), наличие или отсутствие определенного программного обеспечения (антивируса).

Среди всех факторов, определяющих формирование информационных потоков, особенно выделить стоит один, который определяет потенциальную *достижимость* узла распределенной системы для элементарного кванта информации. **Достижимость узла** – важное понятие, характеризующее принципиальную возможность размещения элементарного кванта информации на определенном узле распределенной системы. Например, из двух узлов, связь с которыми осуществляется по качественно различным каналам связи, более доступным будет тот, связь с которым лучше. А на узле, временно недоступном из-за сбоя канала связи, размещения кванта информации принципиально невозможно. Если же неактивный узел соединяет два сегмента распределенной системы обработки информации, то каждый из них становится недостижимым для квантов информации из соседнего сегмента.

Последний пример без каких-либо дополнительных аналогий иллюстрирует известное физическое понятие – потенциальный барьер, препятствующий распространению информационных процессов в «закрытый»

*потенциальный барьер — это область пространства, разделяющая две другие области с различными или одинаковыми потенциальными энергиями. Основной характеристикой потенциального барьера является его «высота» — минимальная энергия частицы, необходимая для преодоления барьера.*

Обратим внимание на еще одну аналогию с физическими концепциями, а именно — туннельный эффект (Рис. 1). Как известно, *туннельный эффект или туннелирование — это преодоление частицей потенциального барьера в случае, когда ее полная энергия (остающаяся при туннелировании неизменной) меньше высоты барьера.* Данный эффект — явление исключительно квантовой природы, противоречащее и невозможное в классической механике. Вместе с тем, определенные признаки туннельного эффекта наблюдаются и в изучаемой нами области.

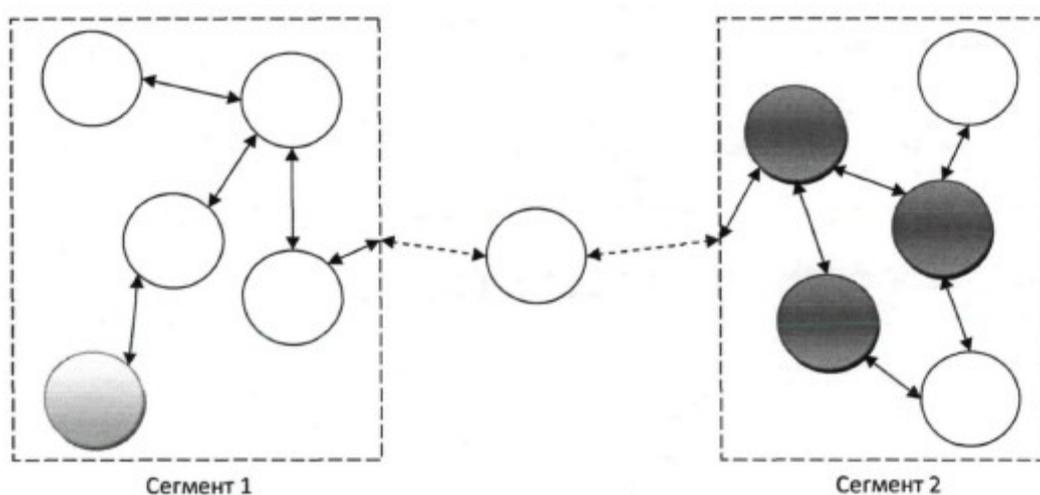


Рис. 1. Преодоление элементарными квантами информации потенциального барьера – туннельный эффект

Вернемся к уже рассмотренному примеру распространения вирусной эпидемии в распределенной системе обработки информации, разделенной на два сегмента, соединенных единственным временно недоступным узлом.

Несмотря на разделение распределенной системы на два не связанных друг с другом сегмента, проникновение вируса из Сегмента 1 в Сегмент 2 **принципиально возможно**. Как и в квантовой механике, существует вероятность того, что вирус будет перенесен в Сегмент 1, минуя нарушенный канал связи. Например, на переносном носителе. В результате происходит «переход» через потенциальный барьер, пусть и не совсем обычным способом. При этом вирус в Сегменте 1 может быть обнаружен на любом узле, а не только том, который непосредственно связан с «точкой входа» из Сегмента 2.

Все это заставляет задуматься, достаточно ли описания информационных систем как набора программных и аппаратных средств, или настало время искать новые подходы, новую парадигму распределенных систем обработки информации, новую методологию их описания. В классической физике ученые изучали свойства материи, и только затем элементарных частиц, из которых она состоит. В информационных системах предстоит пройти аналогичный путь, только в противоположном направлении, от «информационных атомов» – программ и устройств – до понятий более высоких уровней абстракции – «информационной материи», **информационной среды**. Толчком к такому переходу служит стремительное развитие информатизации общества и экспоненциальный рост сложности информационных систем. Уже сейчас смоделировать сеть Интернет, состоящую из миллиардов устройств, и спрогнозировать ее поведение в той или иной ситуации практически невозможно. Однако, механика сплошной среды точно предсказывает поведение металлического стержня при скручивании, не пытаясь при этом описать поведение каждого отдельного атома. Время перехода от дискретного представления информационных систем как набора программно-аппаратных средств к описанию их как информационной среды настало.

Новый подход к пониманию распределенных систем обработки информации как некоторой информационной среды требует и новых способов ее описания. Анализ подходов, используемых в классической физике, позволяет предложить два различных варианта описания – с позиций механики сплошной среды и с позиций квантовой теории поля, причем второй подход видится более естественным, исходя из рассмотренных выше примеров. Таким образом, ключевой характеристикой распределенной системы обработки информации как информационной среды является *информационный потенциал*, формируемый информационной средой и определяющий поведение элементарных квантов информации, помещенных в эту среду.

Формальное определение понятия «информационный потенциал», как и любого другого нового понятия, представляет собой очень сложную и важную задачу. От правильности выбранного подхода зависит успех дальнейших исследований, а также практическая значимость, и главное – применимость полученных результатов.

Существует еще один важный аргумент в пользу потенциального подхода, связанный со свойствами сетевых структур простейших топологий – шина, кольцо, звезда. Как известно, все сети строятся на основе трех базовых топологий. Эти топологии определяют способ соединения компьютеров в сети, но что более важно для нас – пути прохождения сигналов или, в нашей терминологии, распространения элементарных квантов информации. Каждая из базовых топологий сети может быть представлена в виде графа и накладывает свои ограничения на способы распространения элементарных квантов информации в ней.

Топология типа «шина» (Рис. 2) представляет собой множество компьютеров, подключенных к единой **незамкнутой** магистрали данных – шине. На концах шины устанавливаются «терминаторы» – устройства для погашения передаваемых сигналов после их прохождения по шине. Особенностью топологии является то, что передаваемые по шине сигналы доступны **всем** подключенным к ней компьютерам. А основным достоинством является то, что сеть сохраняет работоспособность при отключении или выходе из строя произвольного компьютера. Однако, при повреждении шины вся сеть перестает работать.



Рис. 2. Топология типа «шина»

Топология шина обладает еще одним существенным ограничением. Максимальная длина шины ограничена и зависит от используемой технологии. Например, для технологии Ethernet максимальная длина шины составляет 185 метров, и для увеличения длины необходимо разбивать сеть на сегменты (Рис. 3), соединенные специальными устройствами (повторителями, концентраторами или хабами).

Существенное ограничение длины позволяет нам пренебречь задержкой времени на передачу сигнала по шине. Действительно, скорость распространения сигнала для технологии Ethernet составляет

, где – скорость света (299 792 458 м/с).

Тогда на сегменте длиной 185 метров задержка сигнала составит **менее 0.000001 секунды** (одной миллионной секунды).

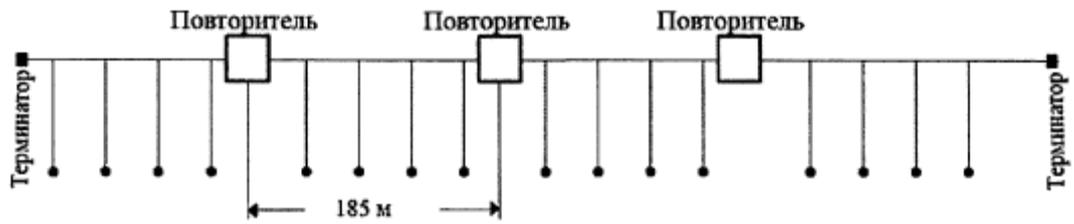


Рис. 3. Разбиение сети на сегменты

Как мы видим, при размещении элементарного кванта информации на одном из компьютеров сети все остальные узлы **равнодоступны** для размещения новой копии элементарного кванта информации. Этот вывод делается в предположении об идентичности компьютеров с точки зрения используемых программных и аппаратных решений, а также незначительности задержек, связанных с непосредственной передачей информации по каналам связи. Фактически, информационная среда, образуемая распределенной системой с сетевой структурой топологии шины, имеет равномерно распределенную «сопротивляемость» – проще говоря, формирует **равномерный потенциал**.

Отдельный интерес представляет также модификация топологии шина, представляющая собой **последовательно** соединенные компьютеры (Рис. 4).

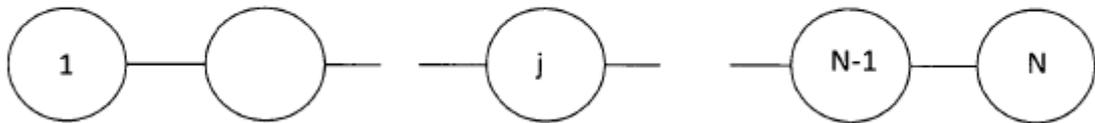


Рис. 4. Сетевая структура с последовательным соединением компьютеров

В случае размещения первого элементарного кванта информации на концевом узле дальнейшее распространение элементарных квантов информации происходит последовательно (Рис. 5).

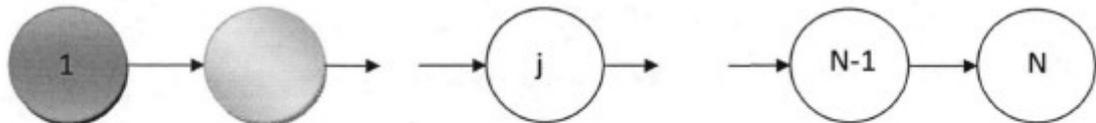


Рис. 5. Первый элементарный квант информации размещается на концевом узле

Таким образом, чтобы достигнуть узел с номером  $N$ , элементарный квант информации должен быть предварительно размещен на узле с номером  $N - 1$ , а также всех узлах с меньшими номерами (см. Рис. 5).

Очевидно, что достижимость узла с номером  $j$  напрямую связана с расстоянием от него до конечного узла, с которого началось распространение элементарных квантов информации, и **убывает с ростом расстояния**.

При размещении первого элементарного кванта информации на одном из внутренних узлов (Рис. 6) достижимость соседних с ним узлов также убывает с ростом расстояния, однако это убывание распространяется, так же как и сами элементарные кванты информации, уже в обе стороны от узла, на котором был размещен первый элементарный квант информации.

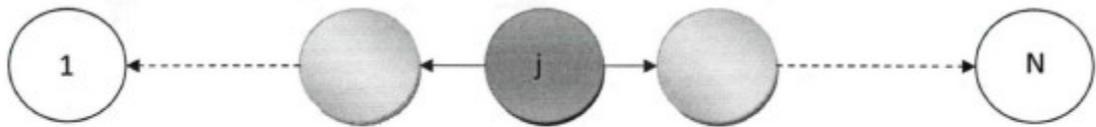


Рис. 6. Первый элементарный квант информации размещается на внутреннем узле

В отличие от классической топологии шина, представляющей собой некоторую **однородную** среду, рассмотренная нами модификация сетевой структуры может быть описана убывающим с ростом расстояния потенциалом. Примерами таких потенциалов служат кулоновский потенциал  $U = \frac{a}{\rho}$ ,  $a < 0$  и потенциал центробежных сил  $U = \frac{a}{\rho^2}$ ,  $a < 0$ .

При распространении элементарных квантов информации в сетевой структуре топологии звезда (Рис. 7) также можно выделить два случая:

- первый элементарный квант информации размещается на узле одного из «лучей»;

- первый элементарный квант информации размещается в центральном узле звезды.

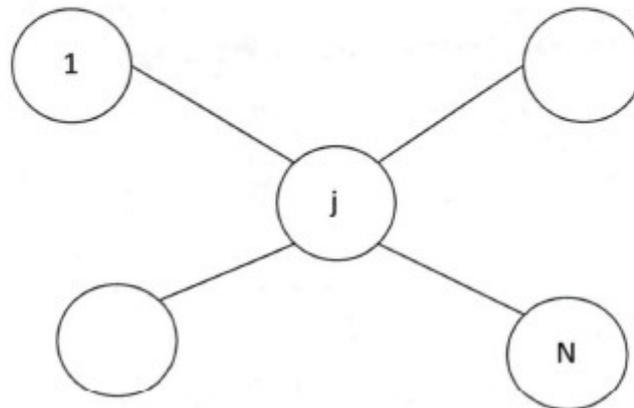


Рис. 7. Сетевая структура топологии звезда

При размещении первого элементарного кванта информации на узле одного из «лучей» дальнейшее распространение элементарных квантов информации происходит **только после** размещения элементарного кванта информации в центральном узле звезды (Рис. 8).

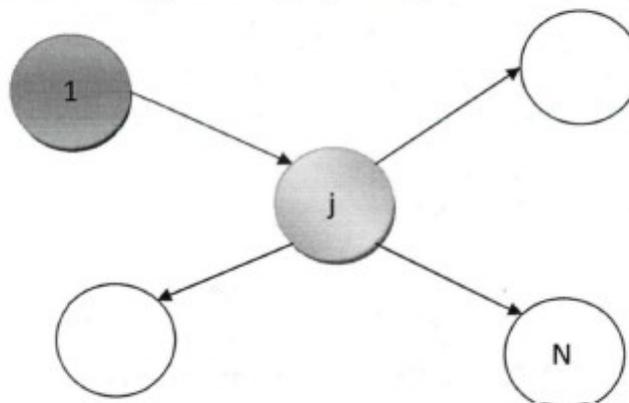


Рис. 8. Первый элементарный квант информации размещается на узле одного из «лучей»

При этом достижимость центрального узла звезды выше, чем всех остальных узлов сетевой структуры, а достижимости узлов остальных «лучей» **равны** при условии *равноценности используемых технических решений для организации каналов связи и построения самих узлов.*

При размещении первого элементарного кванта информации сразу в центральном узле звезды (Рис. 9) возникает ситуация, когда остальные узлы сетевой структуры равнозначны с точки зрения **достижимости** при условии равноценности используемых технических решений для организации каналов связи и построения самих узлов.

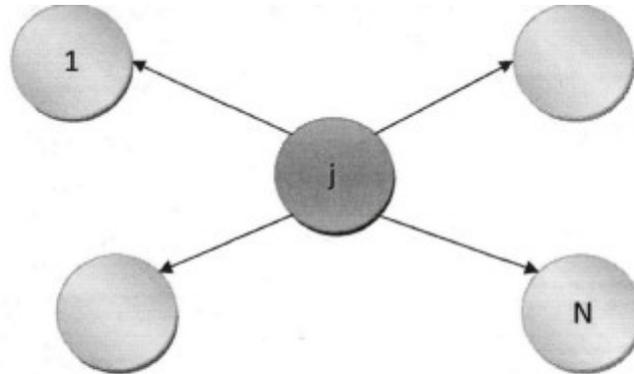


Рис. 9. Первый элементарный квант информации размещается на центральном узле

Рассмотренная ситуация имеет много общего с классической топологией шина и может быть описана уже упоминавшимся **равномерным потенциалом**  $U = a$ .

Мы видим, что отличительной особенностью сетевой структуры топологии звезда с точки зрения характеристических свойств информационной среды является высокая **достижимость** узлов, а также быстрая трансформация ситуации в случай, описываемый равномерным потенциалом  $U = a$ .

При распространении элементарных квантов информации в сетевой структуре топологии кольцо (Рис. 10) первый элементарный квант информации может быть размещен на произвольном узле кольца.

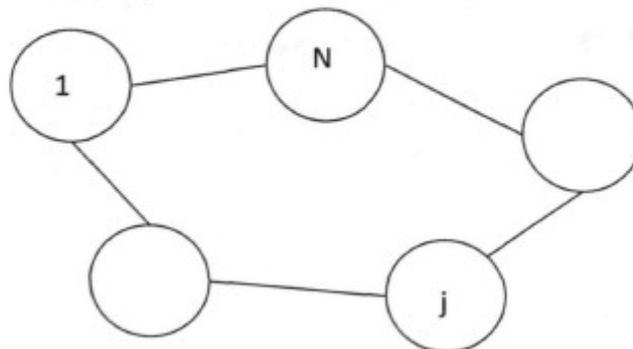


Рис. 10. Сетевая структура топологии кольцо

Дальнейшее распространение элементарного кванта информации происходит аналогично случаю, рассмотренному для сетевой структуры топологии шина, – в обе стороны от узла, на котором был размещен первый интеллектуальный агент (Рис. 11). При этом достижимость узлов уменьшается с ростом расстояния до них.

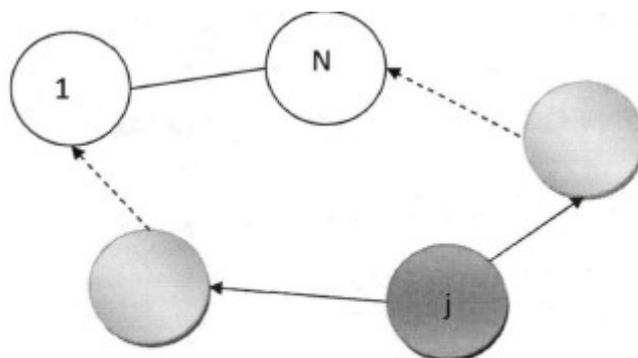


Рис. 11. Распространение элементарных квантов информации в сетевой структуре топологии кольцо

Однако в силу специфики рассматриваемой топологии достижимость узлов уменьшается не безгранично, а только до «критичного» узла, равноудаленного от концевых узлов той области сетевой структуры, которая уже занята элементарными квантами информации (Рис. 12).

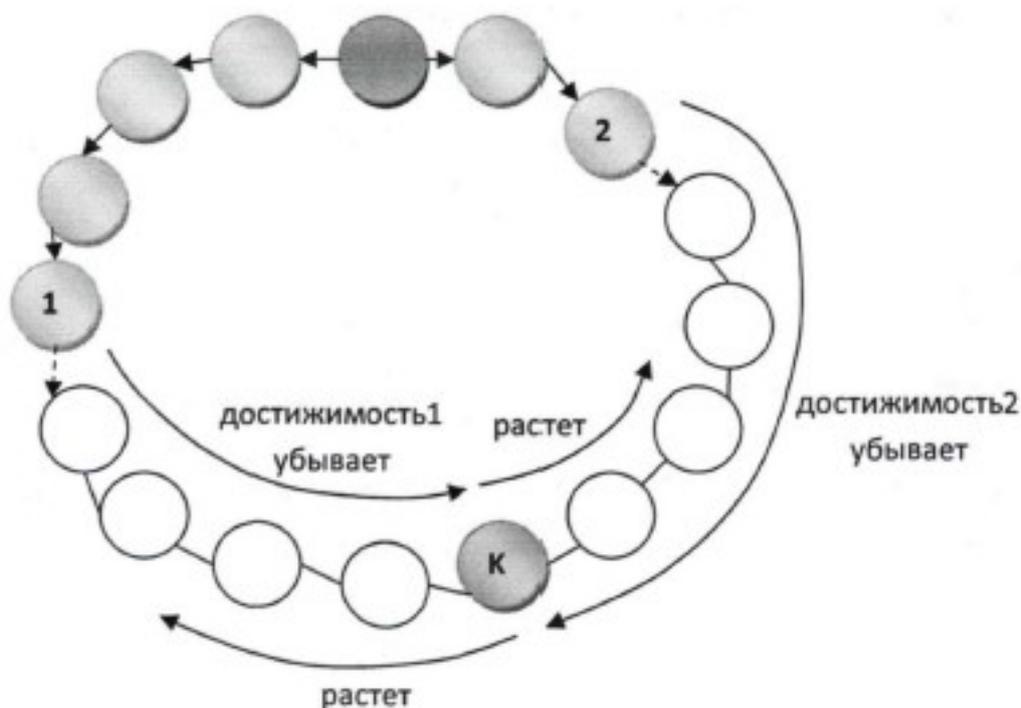


Рис. 12. Положение «критичного узла»

Далее достижимость узлов начинает расти вне зависимости от выбранного ранее направления «движения» (с увеличением или уменьшением номера узла). Отметим, что положение «критичного» узла не абсолютно, а зависит от конфигурации и размера области сетевой среды, уже охваченной элементарными квантами информации.

**Обновление программного обеспечения** распределенной системы – одна из наиболее актуальных и важных задач, от успешного решения которой зависит эффективность и качество функционирования распределенных систем (особенно географически распределенных).

Несмотря на кажущуюся простоту, задача все еще ожидает своего решения, поиск которого осложняется отсутствием необходимой теоретической базы, описывающей как поведение самих распределенных систем обработки информации, так и возможных вариантов построения систем управления функционированием распределенных систем.

Качество работы программного обеспечения на узле распределенной систем обработки информации или вычислительной грид-системы напрямую влияет не только на эффективность работы узла – скорость обработки информации, но и качество его работы (корректность информации, получаемой в результате обработки). Очевидно, что при обнаружении ошибок в программном обеспечении распределенной системы обработки информации необходимо произвести его скорейшее обновление. При этом зачастую стоит не только задача доставки пакета обновления программного обеспечения до каждого узла распределенной системы обработки информации, но и согласованного проведения обновления на **всех узлах распределенной системы одновременно**. Так как в случае нарушения согласованности обновления возможны не только сбои в работе распределенной системы обработки информации, но и искажение выходной информации.

**Запоминание структуры** распределенной системы (сохранение структуры) необходимо для восстановления работоспособной структуры распределенной системы после сбоев. Сохранение структуры может осуществляться с помощью распределенной самоорганизующейся мультиагентной подсистемы управления распределенной системой обработки информации. Возникновение конфликтных ситуаций возможно в процессе динамического изменения структуры распределенной системы. В этом случае возникают негативные процессы двух видов: появление новых, ранее не

учтенных узлов в распределенной системе и, наоборот, исчезновение ранее сохраненных узлов. И если в первом случае просто неэффективно используются ресурсы распределенной системы обработки информации (попросту говоря, вообще **не** используются новые ресурсы), то во втором случае обращение к несуществующему узлу может привести к ошибочной обработке и искажению информации, а в худшем случае – к потере обрабатываемой информации в результате нарушения функционирования распределенной системы обработки информации.

**Запоминание согласованного глобального состояния** распределенной системы (резервное копирование) – задача, во многом схожая с рассмотренной выше проблемой сохранения структуры распределенной системы. Однако, здесь есть и один осложняющий все фактор. Речь идет о необходимости не просто сохранения структуры распределенной системы, но о сохранении **согласованного глобального** состояния, позволяющего произвести восстановление работоспособной системы в целом с возможностью **продолжить работу** с момента, в который было произведено резервное копирование. Поставленная задача подразумевает выполнение сохранения состояния системы «между транзакциями», то есть когда все сообщения между узлами получены, и в каналах связи нет необработанных сообщений.

Очевидно, что для решения задачи требуется формирование транспортной подсистемы системы коммуникации, контролирующей процесс пересылки сообщений между узлами распределенной системы, а также блокирующей дальнейшую отправку новых сообщений в определенный момент времени (в момент начала резервного копирования) с последующей отправкой после успешного завершения резервного копирования.

**Мониторинг текущего состояния** распределенной системы обработки информации особенно необходим и сложен в тех случаях, когда структура сети изменяется динамически, как, например, это происходит в GRID-системах. Непосредственно мониторинг оказывается в этом случае неразрывно связанным с задачей определения и запоминания текущей структуры распределенной системы. Причем для эффективного мониторинга недостаточно просто знать текущую структуру распределенной системы, но и

необходимо иметь инструменты для оперативного изменения структуры элементов системы мониторинга.

**Оперативное управление (администрирование)** узлами распределенной системы, а также функционированием всей распределенной системы в целом – задача, во многом похожая на обновление программного обеспечения и тесно связанная с определением множества узлов распределенной системы, на которые распространяется выбранное управление, а также оперативным распространением управляющего воздействия.

**Обмен информацией (коммуникация)** между узлами распределенной системы – актуальная задача, требующая своего решения для оптимизации процессов обработки информации, а также повышения общей эффективности функционирования распределенной системы.

Оперативный обмен сообщениями вряд ли возможен без построения распределенной коммуникационной подсистемы, осуществляющей связь произвольного узла с другим узлом в условиях отсутствия информации о структуре распределенной сети у каждого конкретного узла.

Часть распределенной коммуникационной подсистемы будет отвечать непосредственно за коммуникационные функции, а другая часть – за мониторинг текущей конфигурации узлов распределенной системы, т.е. выполнять «адресную» функцию.

В рамках поставленной задачи необходимо решить не только проблему «точечной» коммуникации «узел-узел», но и задачу организации широкополосной связи между узлами, а также быстрого и удобного определения подмножества узлов распределенной системы, на которое предполагается вести широкополосную передачу. Решение задачи коммуникации позволит оптимизировать целый ряд процессов в распределенной системе обработки информации, требующих оперативного получения информации о функционировании соседних узлов. Например, перенаправление информационных потоков с перегруженного узла на соседние, менее загруженные узлы.

**Обнаружение вредоносных программ и процессов** может рассматриваться с двух точек зрения: первоначальное обнаружение вредоносных (чуждых) элементов и процессов в распределенной системе обработки информации и их плановое выявление в процесс реализации управляющего воздействия (нормализации функционирования распределенной системы).

**Выработка стратегии оптимального противодействия** напрямую определяет эффективность нейтрализации негативных последствий появления вредоносных программ и процессов, а значит, влияет на общую эффективность работы распределенной системы, оптимальность процессов обработки информации. Очевидным критерием оптимальности в данном случае становится время от момента обнаружения вредоносных программ и процессов до момента полной нормализации функционирования распределенной системы обработки информации, а также сама задержка от момента фактического появления вредоносных программ и процессов до момента их обнаружения.

В последнее время с каждым годом нарастает также острота проблемы **фильтрации нежелательной или вредоносной информации (спама)**. Так, например, только среди пересылаемых в настоящее время почтовых сообщений по разным данным от 80 до 90% являются спамом, т.е. нежелательной информацией. Несложно оценить в такой ситуации эффективность, а точнее **неэффективность** использования каналов связи, которые осуществляют пересылку никому не нужной информации. С другой стороны – сама распределенная система функционирует неэффективно, обрабатывая нежелательную, а иногда и попросту вредоносную информацию.

Непосредственно **безопасность распределенной системы**, очевидно, недостаточно отождествлять с безопасностью каждого конкретного узла, а необходимо рассматривать в целом как вопрос безопасности распределенной сетевой структуры. Реализацию управляющего воздействия необходимо рассматривать как комплексную меру по нормализации функционирования всей системы в целом, а не множества ее отдельных узлов. В частности, это означает необходимость разработки стратегии оптимальной реализации управляющего воздействия с точки зрения эффективности процессов обработки информации, а также надежности распределенной системы.

Наиболее сложным, представляется вопрос оперативного определения зарождения или распространения вирусной эпидемии. Одним из решений может стать эвристический анализ состояния распределенной системы обработки информации с целью определения переходных процессов, вызванных появлением контрагентов. Примером такого переходного процесса может служить, например, увеличение энтропии IP-адресов назначения в передаваемых по сети пакетах с течением времени [11].

Окончание лекции № 2