

# ПРОТОКОЛЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

И. ХАРАНГОЗО и И. СЕНТЕР

Кафедра управления процессов,  
Будапештского Технического Университета, Н-1521 Budapest

## Summary

The technical development made the application of principle of "distributed control" in process control possible. Appearance of local networks gave new possibilities for creating distributed process control systems.

The paper—after having summarized the main features of local networks—introduces the architecture of local networks through the Reference Model of computer networks. Since access methods determine the applicability of local networks for process control, the second part of this paper presents the two fundamental access methods: the CSMA/CD and token concepts. On the basis of virtual ring concept the paper reports on the applicability of the token access method for bus topology networks.

Finally, the CSMA/CD and the token access methods have been compared.

## Введение

Системы для управления промышленными процессами в последние годы переходят через значительные изменения.

Энергохозяйство, контроль загрязнения среды, распоряжения для замораживания природных энергоносителей идут в то направление, что они предъявят высшие требования к управляющим системам промышленных процессов, им надо иметь более хорошие параметры управления, уменьшенную цену и им надо дать более точные информации к нужным решениям для производства. В то же время быстрое развитие микроэлектроники дало возможность для осуществления некоторых местных снабжений приборами и функций управления на основе микропроцессорных устройств.

Это значит не только простые замещения, но и увеличение эффективности системы, и дало возможность для появления применения в большом масштабе.

Быстрое развитие электронных связей и развитие систем передачи данных помогает возникновению нового поколения систем управления процессами.

Все дешевле и во все большем масштабе распространенные микропроцессоры вместе с устройствами передачи данных требовали выработки новых систем управления процессами, и изменения традиционного центрального управления. Новый принцип, принцип раздельного управления, ставит управляющую функцию на тот пункт, где её легко осуществлять, напоминая нам о натуральных методах ручного управления, в которых приборы, аппаратуры преобразования сигналов, регуляторы были встроены непосредственно в технологических устройствах.

Система раздельного управления соединяет в себе преимущества раздельного аналогового управления и централизованного цифрового управления. Техническая надежность системы и экономическая эксплуатация её развивает.

Безошибочное действие управляющей системы обязательно требует быстрого и непрерывного контакта между отдельными блоками, то есть, как технологический частичный процесс и управляющее устройство постоянно знать о важнейших параметрах состояния, принадлежащих к той же управляющей системе.

Элементы раздельной управляющей системы являются интеллигентными блоками, то есть микро-ЭВМ, микропроцессорные управляющие устройства и устройства передачи данных, для работы которых необходимо осуществление программных функций. Для этого очень важна подробная спецификация программных и аппаратных модулей системы, определение интерфейсов между отдельными модулями и точное определение протоколов, то есть определение правил передачи информации между модулями.

### **Реализация раздельного управления локальной сетью**

Раздельная управляющая система возникает так, что с помощью устройств передачи данных соединяют в единую систему интеллигентные измерительные и регулирующие устройства частных технологических процессов [3]. Элементы систем тесно связаны с частными технологическими процессами, которые обычно находятся на одном заводе, в одном здании.

Такие системы передачи данных, которые расположены на относительно маленьком расстоянии и обеспечивают большую скорость передачи данных, различая от вычислительных сетей, обеспечивающих

связь на большом расстоянии (Wide Area Computer Networks) называются локальными сетями (Local Area Networks).

Хотя точное определение локальных сетей очень трудно дать, они располагают следующими свойствами:

- Максимальное расстояние между станциями 0,1—10 км.
- Последовательная передача по битам в канале.
- Скорость передачи данных 0,1—10 мбит/с.
- Число станций может достигать 200.
- Станции могут быть типа: микро-ЭВМ и мини-ЭВМ, интеллигентные терминалы, интеллигентные измерительные и управляющие устройства.

По топологии системы, скорости передачи данных и по другим свойствам локальные системы отличаются от больших вычислительных сетей и от мульти-микропроцессорных систем использующих параллельный интерфейс для связи.

### **Связь открытой системы ISO и архитектур локальных сетей**

Как исследование локальных сетей развивалось из исследований вычислительных сетей, и образует специальное направление, так и по архитектурам вычислительных сетей осуществлялись локальные архитектуры. В рамках Международной организации по стандартизации (ISO) с конца 1970-ых годов началась очень интенсивная исследовательская работа по теме соединения так называемых открытых систем (Open Systems Interconnection — OSI).

Открытая система означает такой принцип организации системы, который дает возможность для пользователей в том, что любое программное или аппаратное средство, или пользователь, удовлетворяющий некоторым ранее определенным условиям, может свободно подключаться к сети [1]. Эти условия — принципиальные рассуждения, а не имплементационные предписания.

Для изучения соединения систем была изготовлена модель референции.

Модель референции — это архитектура систем, связанных друг с другом — одна форма, которая дает возможность для того, чтобы специалисты, занимающиеся теоретическими и практическими вопросами, говорили на едином языке и работали по единой концепции.

По основной концепции OSI, одна система состоит из одной или больше вычислительных машин и из присоединяющихся к ним программ, периферий, терминалов, операторов, физических процессов и устройств передачи информации, и т. д., которые образуют автономную единицу, которая подходит к обработке или передаче информации.

Система содержит прикладные процессы, которые выполняют обработку информации, необходимую для отдельных применений.

Один прикладной процесс (Application Process) может быть например, оператор, работающий на одном терминале, или программа FORTRAN на локальной вычислительной машине, которая была присвоена некоторому технологическому процессу и связана с системой управления заводом.

Другая концепция OSI та, что занимается описанием обмена информацией не в одной системе, а между системами. Обмен информацией анализируется не только с точки зрения передачи данных, а здесь на первом плане способность кооперации (координация) между системами для осуществления рездельной обработки.

Основой модели референции является то соображение, что одна система осуществляет разные функции. Эти функции по принципам можно ввести в систему. Много ступенчатая иерархическая система функций осуществляется по следующему соображению: к осуществлению данной функции используется ряд услуг, полученный после осуществления других функций. Эти в сущности, такие услуги, которые обеспечивают более низкими уровнями, в то время как данный уровень обеспечивает услуги для расположенного над ним уровня.

Данный уровень транспарентно управляет использованными услугами, то есть не интересно, как низшие уровни осуществляют их функции, в то время он сам транспарент для расположенного над ним уровня. Это так называемый принцип черного ящика обеспечивает рекурсивную управляемость модели референции.

Модель референции состоит из 7 уровней:

— Прикладной уровень (Application Layer)

Это высший уровень, который обеспечивает обмен информацией для прикладных процессов.

— Представительной уровень (Presentation Layer)

Обеспечивает для функциональных элементов прикладного уровня такие услуги, которые передают данные по единым форматам для прикладных процессов и так им же надо заниматься различиями в синтаксисах данных и структур данных.

— Сеансовый уровень (Session Layer)

Обеспечивает для представительного уровня такие услуги, в течение которых организует и синхронизирует их диалог и обмен данных.

— Транспортный уровень (Transport Layer)

Обеспечивает для сеансового уровня такие услуги, в течение которых поддерживает конечную связь между передающей и конечной станциями и гарантирует эффективную и достоверную передачу информации.

— Сетевой уровень (Network Layer)

Обеспечивает оптимальную маршрутизацию для элементов.

— Канальный уровень (Data Link Layer)

Устанавливает связь данных и совершает её проведение, обеспечивает управление передающими и принимающими процессами между элементами сетевого уровня для передачи информации.

— Физический уровень (Physical Layer)

Совершает механические и электрические функции между элементами для физической связи.

Он обеспечивает передачу бит через физический канал.

Модель референции OSI очень важна и с точки зрения локальных сетей, потому что помогает пониманию связи между различными

Модель референции OSI	Модель референции локальной сети	
Прикладной уровень	Прикладной уровень	Прикладной уровень
Представительный уровень	Представительный уровень	Представительный уровень
Сеансовый уровень	Сеансовый уровень	Сеансовый уровень
Транспортный уровень	Транспортный уровень	Транспортный уровень
Сетевой уровень	Сетевой уровень	Сетевой уровень
Канальный уровень	Уровень логической связи	Уровень логической связи
	Уровень доступа канала	Уровень доступа канала
Физический уровень	Физический уровень	Физический уровень
Канал		Канал

Рис. 1. Сравнение моделей референции

элементами локальных сетей и дает возможность для создания локальных сетей по единой концепции.

Принципы модели референции очень хорошо используются при создании модели референции локальных сетей.

Хотя архитектурными вопросами занимается много организаций (ЕСМА, ИЕС, IEEE и т. д.), с точки зрения создания модели референции локальных сетей большое значение имеет две организации — ISO и IEEE.

Организация IEEE максимально принимала в новой модели результаты ISO [2] и соответственно этому модель референции локальных сетей содержит свойства модели референции ISO и в основном состоит из двух частей: из физического и канального уровней, выработанных IEEE, и из высших уровней, которые одинаковы с уровнями модели референции ISO (Рис. 1.).

#### **Протоколы локальных сетей, подходящих к цели управления процессами**

Сравнение модели референции OSI и модели локальной сети видно на следующем рисунке: прикладной, представительный, сеансовый, транспортный и сетевой уровни в двух моделях не отличаются.

Два низших уровня модели OSI в модели локальной сети соответствуют 3 уровням: уровню логической связи, доступному и физическому уровням.

#### *Уровень логической связи (Logical Link Control Layer)*

Обеспечивает две услуги для процессов сетевого уровня:

— Логическая связь без соединения значит, что обмен информацией происходит без установления логической связи. Передача информации не содержит подтверждения и услуги flow control и error recovery.

— Логическая связь с соединением обозначает, что между двумя процессами перед передачей информации надо устанавливать логическую связь. Она обеспечивает правильный порядок единиц информации и есть flow control и error recovery.

### *Доступный уровень (Medium Access Control Layer)*

Он обеспечивает две услуги для процессов сетевого уровня:

— Алгоритм типа CSMA/CD обеспечивает стохастический доступ к каналу.

— Алгоритм типа “token” (управляющий жетон) обеспечивает детерминистический доступ канала.

Доступный уровень по терминологии OSI содержит некоторые функции канального и физического уровней (напр.: порядковый контроль блоков данных и обработка заголовков блоков данных).

### *Физический уровень (Physical Layer)*

Для уровня над ним он обеспечивает передачу данных на битовом уровне в широкополосной системе (broadband) или в системе передачи в базовой полосе (baseband).

Описание архитектуры содержит протоколы, которые дают правила обмена информацией на данном уровне и описание интерфейсов между уровнями и описания тех услуг, которые можно использовать через данный интерфейс. В дальнейшем мы занимаемся только описанием протоколов.

### **Алгоритмы доступа для управления процессами**

У описания архитектуры локальной сети мы видели, что только 3 низших уровня отличаются от модели референции OSI, поэтому мы занимаемся описанием только этих трех уровней. Один из них — доступный уровень, который стоит в центре нашего внимания. Причина этого, что уровень логической связи и его протоколы очень похожи на протоколы HDLC канального уровня OSI, которые мы уже хорошо знаем из ранних исследований.

Хотя физический уровень содержит много интересных вопросов, но преимущественно надо его исследовать с точки зрения техники связи.

Протоколы доступного уровня можно понимать на основе изучения т.н. методов доступа. Алгоритмы доступа у большинства сегодня работающих локальных сетей по топологии сети разделяются на две больших группы [4, 5]:

- Стохастические алгоритмы доступа, связанные с топологией “магистраль”, по которым и сеть называется сетью со стохастическим алгоритмом доступа.
- Детерминистические алгоритмы доступа, связанные с сетью типа “кольцо”.

Сеть типа “магистраль” такая локальная сеть, в которой элементы сети подключаются к единственной линии связи, как шине, которая замыкается на концах согласующими нагрузками.

Каждая станция имеет одинаковые права для доступа к магистрали и каждая станция может иметь связь с любой станцией (нет выделенной станции).

Из-за одинаковых прав доступа могут возникать гоночные ситуации, даже столкновения.

Для использования магистралей и эффективной передачи данных выработали много методов, из которых мы опишем только доступный алгоритм типа CSMA/CD, который стандартизировал IEEE.

Суть метода типа CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), что каждая станция перед передачей должна детектировать, происходит ли передача на магистрали. Станция начинает передачу только тогда, если не принимала “carrier” с магистрали. Если принимала “carrier”, надо ждать.

При свободной магистрали в любой момент можно начинать передачу. Когда начинается передача, может быть столкновение, потому что и другие станции одновременно могут детектировать магистраль свободной и могут начинать их передачи [6].

Каждая станция располагает такой цепью, которая детектирует эти столкновения таким образом, что распознает, что информация на магистрали неодинакова со своей посланной информацией, т. е. произошло столкновение. При столкновении передающая станция действует по следующему алгоритму:

- Если магистраль свободна, начинается передача.
- Если магистраль занята, ждет до того, пока будет свободной и тогда начинается передача.
- В случае столкновения передающая станция продолжает передачу через время 32—48 битов, чтобы каждая станция могла установить столкновение, после этого заканчивает передачу, ждет и после некоторой задержки опять начинает передачу по тому же самому алгоритму.

Величина времени задержки, нужная к повторной передаче значительно влияет на использование магистрали. Время задержки



измеряется в единицах временной паузы (slot), которые одинаковы со временем передачи размера минимального пакета (512 битов). Это время наверняка больше, чем время, нужное для детектирования столкновения (2 время задержки магистрали + время детектирования).

Станция измеряет время с момента столкновения в единицах временной паузы.

Число единиц времени, определяющее время ожидания дает следующий алгоритм:

Станция перед " $n$ "-ым повторением случайно вырабатывает число " $r$ " ( $0 \leq r \leq 2 \exp K$ , где  $K = \min(n, 10)$ ), который определяет число единицы времени.

Перед " $n$ "-ым повторением математическое ожидание " $r$ " в 2 раза больше, чем перед " $(n-1)$ "-ым повторением.

Алгоритм доступа "token" (token passing) разработали для сетей типа "кольцо". Такая топологическая сеть, в которой станции присоединяются к вернувшемуся в себе каналу называется сети типа "кольцо". Так пакеты данные на канал могут вернуться на передающую станцию. Алгоритм типа "token" — это один из методов доступа, который применяется в сетях типа "кольцо".

"Token" в сущности короткий сигнал в канале, который идет по кругу от станции к станции и принципиально не исчезает.

Та станция, которая имеет "token", имеет право дать сообщение на кольцо.

После окончания передачи она должна передать дальше "token".

Любой длинный пакет можно дать на кольцо, только надо обозначать конец пакета.

Регулярно передающая станция вынимает пакет с кольца, когда он вернется к дающей станции.

И приоритетный доступ осуществляется, если в заголовке пакета положим число, которое связано с приоритетом станции.

Каждая станция при принятии пакета сравнивает приоритетное число данного пакета со своим приоритетным числом.

Так может решить, что свой пакет может ли дать на кольцо, с которым задерживает принятый пакет, или свою передачу надо задерживать и так передает принятый пакет (Рис. 2.).

У сети типа "магистраль" есть возможность для осуществления алгоритма типа "token", так как каждая станция может иметь связь с каждой другой станцией, и так можно формировать виртуальное кольцо.

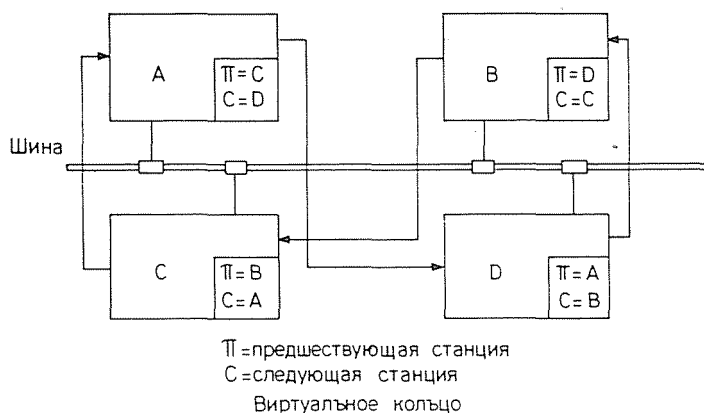


Рис. 2. Виртуальное кольцо

Виртуальное кольцо образуется так, что на станциях представленного кольца составляем таблицу, которая содержит адрес предшествующей и следующей станций. "Token" в виртуальном порядке станций — определенном при генерации системы — кружит по кольцу [8].

### Выводы

Общая характеристика показанных методов, что сеть состоит из одинаковых станций и нет в сети выделенной станции.

В сетях со случайным доступом, из-за столкновений скорость передачи зависит от числа активных станций и от расстояния между станциями. Детерминистические методы такого ограничения не имеют.

Алгоритм CSMA/CD при маленькой нагрузке эффективнее, так как при большей нагрузке использование шины уменьшается. Это значительно увеличивает время доступа канала, которое ведет к замедлению системы.

В случае детерминистических методов время доступа не зависит от нагрузки, так замедления не будет [7].

В случае CSMA/CD подтверждение пакетов очень трудно, пока в детерминистическом случае очень просто.

Приоритетная передача пакетов в случае стохастических методов очень сложна, в то время как детерминистический метод гарантирует более легкое осуществление.

Несколько характерных свойств двух методов доступа в локальных сетях содержит первая таблица:

**Таблица I**  
Сравнение методов доступа канала

	CSMA/CD	Token
Цена	1,0	0,75
Топология	только магистраль	кольцо магистраль
Метод передачи	передача в базовой полосе	передача в базовой полосе широкополосная передача
Приоритетная передача	возможно только после модификации	многоуровневый приоритет
Управление сетями	стохастическое возможность в реальном масштабе времени ("ge- altime") только в модифицирован- ном варианте при большой нагрузке не стабильно	детерминистическое работа в реальном масштабе времени ("real-time") стабильно
Свойства передачи сети	параметры скорости/расстояния ограничивают скорость передачи только передача данных при маленькой нагрузке возможно и передача звука	не зависят от отношения скорость/расстояние при любой нагрузке передача данных и звука

### Резюме

Развитие техники в управлении промышленными процессами дает возможность для применения принципа "раздельного управления".

Появление локальных сетей дало новые основы для осуществления систем с раздельным управлением. После обобщения важных свойств локальных сетей эта работа показывает архитектуры локальных сетей через основную модель референции для вычислительных сетей.

Так как методы доступа детерминируют применение локальных сетей в целях управления процессами, поэтому работа в дальнейшем описывает два частейших метода доступа — принципы CSMA/CD и "token".

Через концепцию виртуального кольца показывается применение метода "token" для сети типа "магистраль".

Работа заканчивается сравнением методов доступа CSMA/CD и "token".

### Литература

1. ISO — Information processing system — open systems interconnection — Basic reference model. ISO/D/S 7498 Apr. 1982.
2. IEEE 802 Local Network Standard. Draft D 1983.

3. ROM—FOBOGI: Message-based priority functions in local multiaccess communication systems. *Computer Networks*, 1981, p. 273—286.
4. KRYSKOW—MILLER: Local Area Networks Part 1, 2. *Computer Design* Febr., March 1981.
5. PENNEY, BAGHDADI: Survey of computer communication loop networks Part 1, 2. *Computer Communications* Aug., Oct. 1979.
6. The Ethernet; A Local Area Network; Data Link Layer and Physical Layer Specifications. Version 1, Sept. 30, 1980.
7. MARK STIEGLITZ: Local Network Access Tradeoffs. *Computer Design* Oct. 1981.
8. MILLER, THOMPSON: Making a case for token passing in local networks. *Data Communications* March, 1982.

Dr. József HARANGOZÓ }  
János SZENTNER } 1521 Budapest