

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ДОСТУПА К МОНОКАНАЛУ

При разработке любого из методов доступа к моноканалу один из базовых посылов -- это учет топологических особенностей сегмента. Если случайные методы уместно использовать при шинной топологии, применительно к которой четко выражена возможность возникновения коллизий, то детерминированные методы хорошо «ложатся» на кольцевую топологию.

Концептуальная разница между случайными и детерминированными методами заключается в том, возникает ли случайность при «обращении» станции к моноканалу.

Кольцо можно рассматривать как своеобразный моноканал, один такт работы которого представляет собой полный либо частичный «обход» кадром всех станций. Более подробно типичную кольцевую топологию можно представить следующим образом.

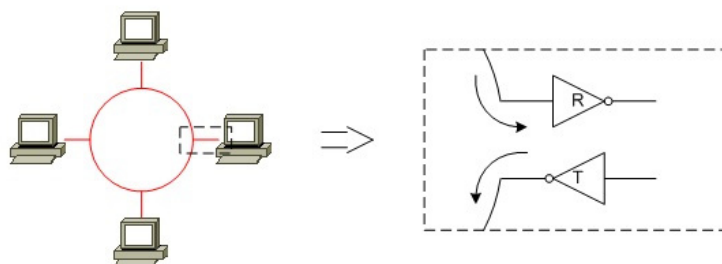


Рисунок -- Цепи передатчика и приемника типичной кольцевой топологии

Применительно к приведенной топологии, при доступе к моноканалу никаких проблем казалось бы возникать не должно. Действительно, физические коллизии для такой схемы невозможны, но проявляется то, что можно назвать особым видом логических коллизий. Если при некотором такте кольца какая-либо из станций имеет собственный кадр для передачи и при этом получила из кольца еще один кадр, который необходимо «продвигать» дальше, то появляется вопрос о том, какой из этих кадров передавать.

Частично противоречие может быть разрешено буферизацией кадров. Но возлагать на обычную пользовательскую станцию функции полноценного сетевого моста канального уровня крайне нецелесообразно. Кроме того, буферизация позволяет только «удерживать», то есть не терять кадры. Сугубо алгоритмический вопрос о том, какой же из кадров (имеющийся кадр для трансляции либо принятый кадр для ретрансляции) передавать раньше все-таки остается без ответа.

Единственным способом преодоления логических коллизий является введение *приоритетов* (priorities). В то время как все случайные методы «завязаны» на генератор случайных задержек, все детерминированные методы «завязаны» на систему приоритетов в том или ином виде. Возникает задача распределенного либо централизованного назначения приоритетов, причем ни одна из станций кольца заранее ничего «не знает» о других станциях.

При использовании механизма приоритетов не обойтись без так или иначе выраженного арбитра.

В качестве арбитра может выступать специальный служебный кадр, который в русскоязычной литературе обычно называют *маркером* (token).

Таким образом, основные критерии классификации детерминированных методов:

- централизованное либо распределенное управление;
- алгоритм назначения приоритетов;
- топологические особенности.

На эффективность детерминированных методов наиболее существенное влияние оказывают те же факторы, что и в ситуациях со случайными методами:

- количество взаимодействующих станций;
- частота синхронизации;
- длина кадра.

Если оценивать реализации, которые уже имеются на рынке, то все же детерминированные алгоритмы в среднем демонстрируют бо́льшую производительность. Однако оборудование в среднем более дорогостоящее.

С точки зрения изучения детерминированных методов доступа к моноканалу наиболее наглядным примером является классический алгоритм, описанный в стандарте Token Ring (IEEE 802.5).

В Token Ring применяется централизованное управление. Закономерным следствием является необходимость включения в кольцо по крайней мере одной управляющей станции, наделенной особыми полномочиями и призванной инициализировать кольцо и следить за его работоспособностью. В терминологии Token Ring такую управляющую станцию обобщенно называют *станцией-монитором* (monitor station). Кроме единственной основной станции-монитора (active monitor) в состав кольца может входить некоторое количество резервных (standby monitors).

Функции станции-монитора:

1. Инициализировать подключившиеся к кольцу станции.
2. Тактировать работу кольца.

3. Контролировать наличие и валидность маркера.
4. Предотвращать закликивания.

В отличие от сегмента Ethernet, где все станции равноправны и действуют по одному и тому же алгоритму, в сегменте Token Ring предусмотрены станции нескольких видов. Наряду с выделяемыми на канальном уровне станциями-мониторами, на более высоких уровнях рекомендуется выделять следующие станции:

1. System managers -- системные менеджеры (на них сосредоточены управляющие системой на основе Token Ring процессы).
2. Servers -- различные серверы (configuration report servers, ring error monitors, ring parameter servers).
3. Data stations -- информационные станции (обычные пользовательские станции).

Функциональное наполнение перечисленных видов станций выходит за рамки стандарта.

Не смотря на то, что теоретически кольцо предполагает некоторую возможность «распараллеливания» (то есть, одновременно по разным частям кольца могут циркулировать несколько кадров), очень обобщенно алгоритм Token Ring можно представить как «бесконечно» циркулирующий под управлением станции-монитора маркер, который анализируется всеми пользовательскими станциями и к которому при необходимости «цепляются» данные.

Для того чтобы понять заложенный в стандарт алгоритм, сначала необходимо рассмотреть форматы кадров Token Ring и назначение основных полей.

В стандарте предусмотрены четыре вида передаваемых последовательностей:

1. Token -- маркер.
2. Frame -- кадр.
3. Abort Sequence -- прерывающая последовательность.
4. Fill -- заполняющая последовательность.

Каждая из станций в любое время должна распознавать (и различать) маркеры, кадры и специальные последовательности.

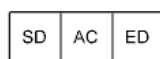


Рисунок -- Формат маркера Token Ring

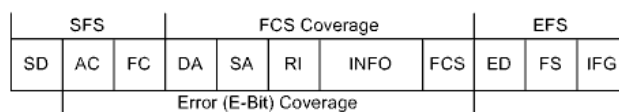


Рисунок -- Формат кадра Token Ring

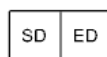


Рисунок -- Формат прерывающей последовательности Token Ring

Поля:

1. SD (Starting Delimiter) -- начальный разделитель.
2. AC (Access Control) -- контроль доступа.
3. FC (Frame Control) -- контроль кадра.
4. DA (Destination Address) -- адрес назначения.
5. SA (Source Address) -- адрес источника.
6. RI (Routing Information) -- информация о маршрутизации (может отсутствовать).
7. INFO (Information) -- данные (могут отсутствовать).
8. FCS (Frame Check Sequence) -- контрольная сумма.
9. ED (Ending Delimiter) -- конечный разделитель.
10. FS (Frame Status) -- состояние кадра.
11. IFG (InterFrame Gap) -- межкадровый интервал.

SD и ED фактически являются флагами начала и конца кадра.

Между IFG и SD передается заполняющая последовательность.

С точки зрения алгоритма контроля доступа наибольший интерес представляет одноименное поле, а также поле состояния кадра.

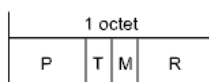


Рисунок -- Формат поля контроля доступа

Где:

1. P (Priority bits) -- текущий уровень приоритета.
2. T (Token bit) -- идентификатор маркера: 0 -- маркер, 1 -- кадр.
3. M (Monitor bit) -- бит монитора.
4. R (Reservation bits) -- запрашиваемый уровень приоритета.

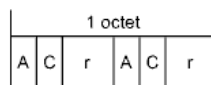


Рисунок -- Формат поля состояния кадра

Где:

1. A (Address-recognized bit) -- флаг распознавания адреса (дублируется).
2. C (frame-Copied bit) -- флаг копирования кадра (дублируется).
3. r (reserved) -- зарезервировано.

В стандарт заложена комплексная система приоритетов, однако некоторые «тонкости» оставлены на откуп реализациям.

Механизм приоритетов Token Ring основывается на связке двух полей -- P и R. Поле P отображает текущий уровень приоритета, а поле R -- запрашиваемый. Каждое из этих полей может иметь значение от 000b до 111b, то есть доступно восемь уровней приоритета.

Условно можно выделить два режима взаимодействия:

1. Все станции имеют одинаковые приоритеты («отсутствие» приоритетов).
2. Станции могут иметь разные приоритеты («наличие» приоритетов, расширение первого режима, некоторые станции могут пользоваться кольцом более интенсивно, связь с QoS).

При «отсутствии» приоритетов станция-монитор создает и «запускает» в кольцо маркер с нулевыми полями P и R (назначение этих полей не проявляется).

С помощью маркера, который передается по цепочке от станции к станции, предоставляется право на передачу. Если у станции нет своего кадра для передачи, то она передает маркер дальше. Если у станции есть кадр для передачи, то она захватывает маркер, заменой значения поля T с нуля на единицу преобразует маркер в кадр, добавляет все соответствующие поля и передает. Приоритет автоматически «достается» станции, до которой маркер дошел раньше.

Внесенный таким образом в кольцо кадр ретранслируется всеми промежуточными станциями до тех пор, пока не достигнет адресованной станции-абонента. За удаление кадра из кольца ответственна станция, создавшая его. Поэтому станция-абонент, распознавшая свой адрес в принятом кадре, вместо удаления кадра отмечает факт распознавания присваиванием единичных значений обоим битам A и передает кадр дальше. Если станция-абонент «забирает» данные из кадра, то она присваивает единичные значения и обоим битам C. Значения битов A и C проверяются при возвращении кадра к создавшей его станции. На основании результатов проверки делаются соответствующие выводы. Но нужно освободить маркер. В нормальном случае станция освобождает маркер сразу после того, как дождетс возвращении кадра. Но существует возможность ускоренного освобождения маркера (early token release) -- маркер передается вслед за кадром.

Существует опциональная возможность освободить маркер более быстро. При раннем освобождении маркера (early token release) сразу вслед за кадром передается новый маркер, а старый маркер не воссоздается. В результате, несколько кадров смогут находиться в кольце одновременно (максимальное количество кадров будет равно максимальному количеству станций), но маркер всегда будет только один. За счет того, что разные такты кольца «накладываются» друг на друга, потенциально можно получить значительный временной выигрыш. Станции, не использующие и использующие раннее освобождение маркера, могут сосуществовать.

Владение маркером ограничено во времени и контролируется с помощью таймера THT (Token Holding Time).

При наличии приоритетов взаимодействие значительно усложняется. В такой ситуации необходимо различать следующие приоритеты (применительно к каждой станции):

1. P_f (в стандарте P_m) -- уровень приоритета ожидающего передачи кадра (в общем случае станция может генерировать кадры с разными уровнями приоритета).
2. P_r -- значение поля P в принятом маркере либо кадре.
3. R_r -- значение поля R в принятом маркере либо кадре.
4. P_t (более «узко» в стандарте определен как P_x) -- значение поля P, которое будет записано в передаваемый маркер либо кадр ($P_x = \max(P_m, R_r)$).
5. R_t (в стандарте явно не определен) -- значение поля R, которое будет записано в передаваемый маркер либо кадр.
- +6. S_r -- текущее значение сохраненного P_r (вершина стека LIFO).
- +7. S_t (в стандарте S_x) -- текущее значение сохраненного P_t (вершина стека LIFO).

Рассмотрим IBM-совместимую модель приоритетов (стандарт создавался на базе разработки IBM, как и стандарт Ethernet создавался на базе разработки Хехо).

С точки зрения отдельно взятой станции порядок доступа к кольцу можно свести к трем шагам:

1. Захват маркера и передача кадра.
2. Освобождение маркера и при необходимости коррекция текущего уровня приоритета.
3. Восстановление текущего уровня приоритета если он был скорректирован.

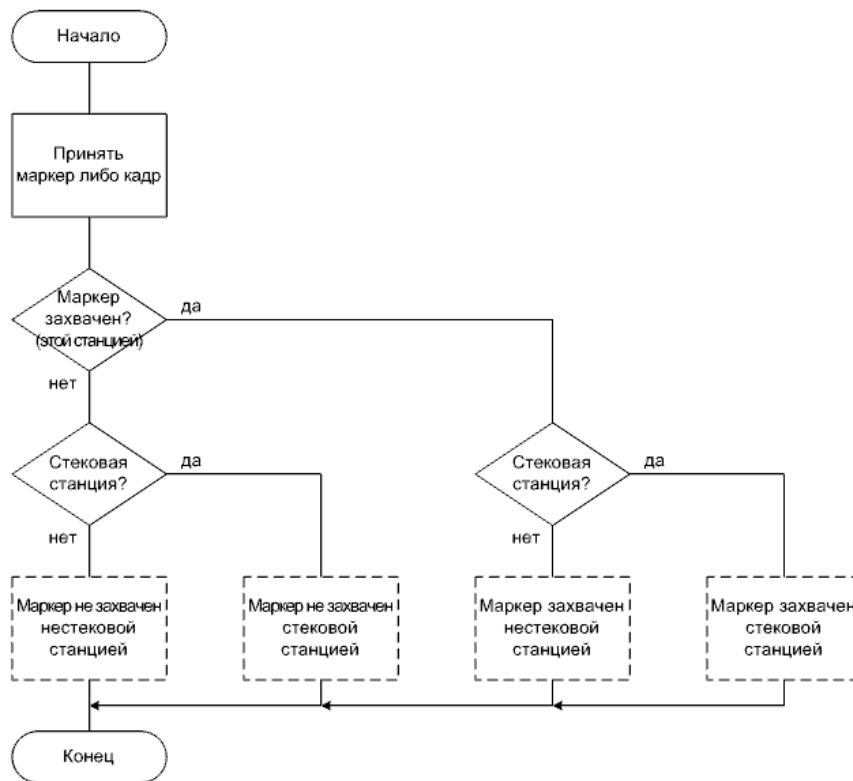


Рисунок -- Алгоритм Token Ring. Приоритеты

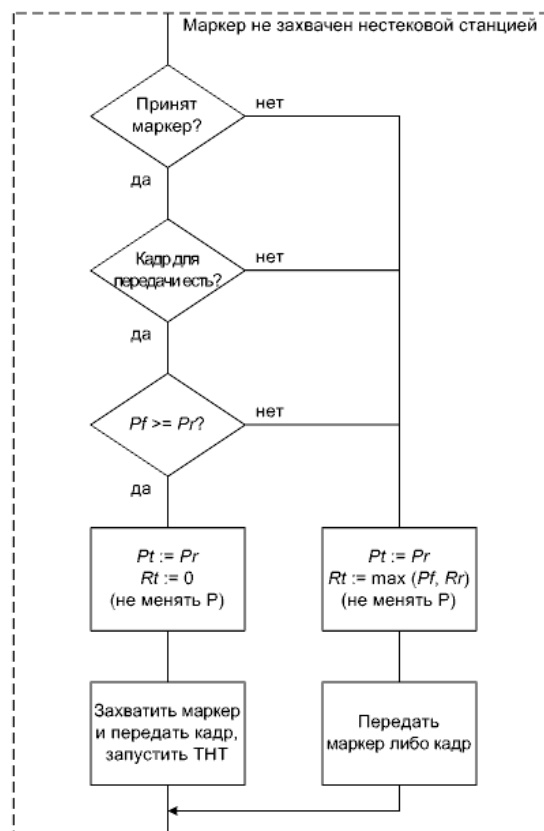


Рисунок -- Алгоритм Token Ring. Приоритеты. Маркер не захвачен нестековой станцией

Кроме уровня приоритета станции, точнее кадра на станции, имеет место уровень приоритета в кольце, то есть текущий уровень приоритета.

«Такт» кольца начинается с захвата маркера некоторой станцией. При захвате маркера уровень приоритета в кольце не меняется.

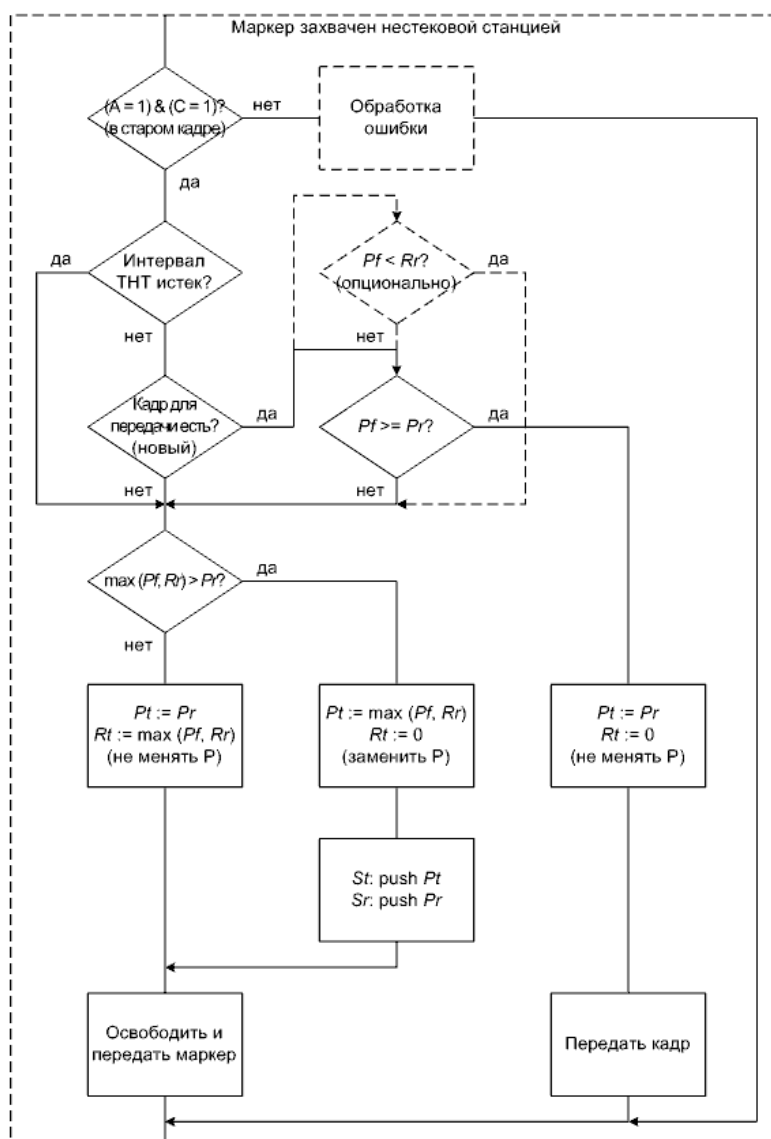


Рисунок -- Алгоритм Token Ring. Приоритеты. Маркер захвачен нестековой станцией

Для того чтобы в кольце с конкуренцией наиболее приоритетный кадр либо кадры, которые находятся на одной либо нескольких станциях, передать в первую очередь необходимо повысить приоритет в кольце до соответствующего уровня. При этом нужно учесть все возникшие запросы. Для того чтобы отследить запросы нужно «обойти» кольцо полностью. Для дальнейшего продвижения всегда выбирается запрос о наибольшем уровне. Так что запросы могут теряться. Вполне логично совместить обход с первым либо очередным тактом и новый уровень приоритета в кольце установить именно при освобождении маркера станцией. Данная схема не требует вмешательства станции-монитора. Если бы уровень приоритета в кольце меняла станция-монитор, то реакция была бы более замедленной. Станция-монитор, как и при «отсутствии» приоритетов, только создает маркер с нулевыми полями P и R и контролирует его. Понятно, что изначально уровень приоритета в кольце должен быть минимальным. Станция повышает приоритет в кольце для себя или для других станций (одной либо нескольких). Приоритет в кольце может быть поднят сразу через несколько уровней. Одна станция может повысить приоритет в кольце несколько раз. При всем этом получается, что до одного уровня приоритет в кольце может быть повышен только одной станцией.

При замене уровня приоритета в кольце необходимо сохранить как старое, так и новое значения. Для этого задействуются два стека LIFO и станция переходит в ранг стековой (stacking station).

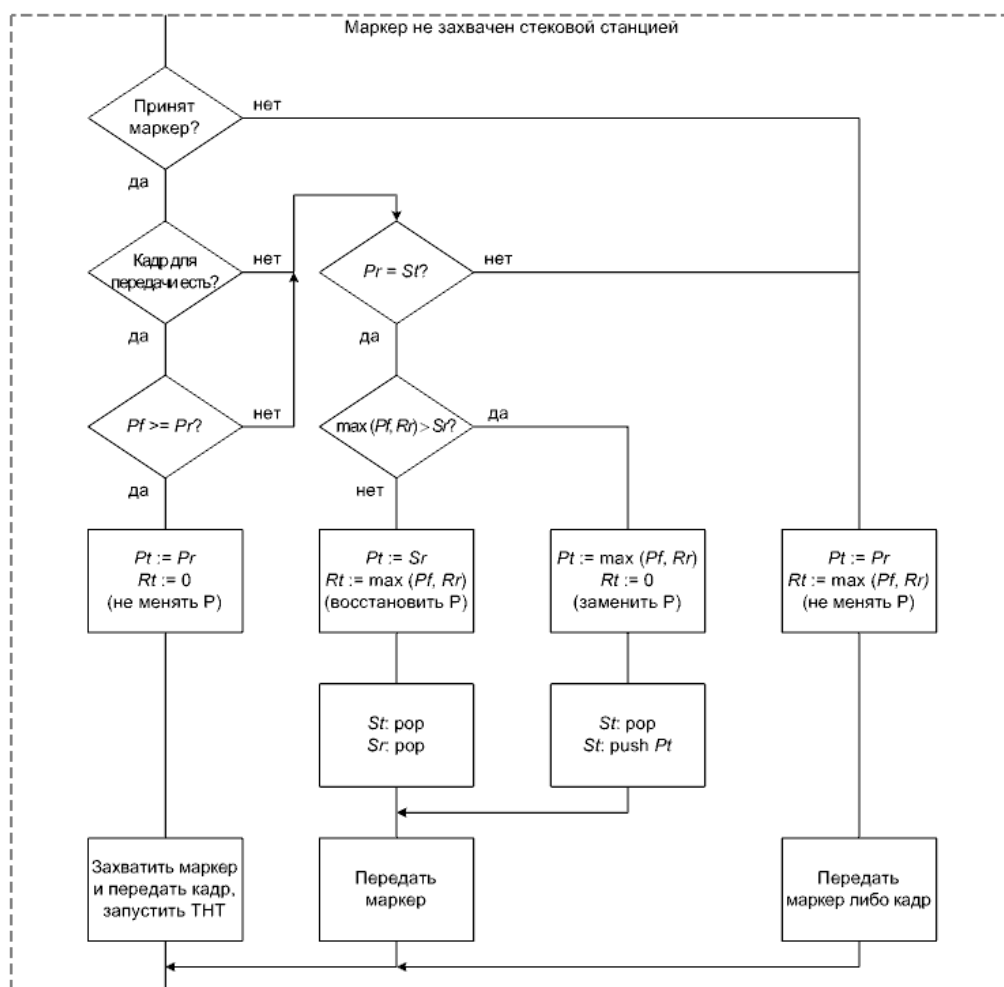


Рисунок -- Алгоритм Token Ring. Приоритеты. Маркер не захвачен стековой станцией

За восстановление старого уровня приоритета в кольце ответственна стековая станция, осуществившая замену. Попытка восстановления происходит при подходящих условиях. На стековой станции, не захватившей маркер, восстановление возможно только после принятия маркера -- когда обслужены все соответствующие запросы. При равенстве уровня приоритета в кольце уровню приоритета на вершине стека LIFO, в котором хранятся значения, на которые выполнялись замены, станция «понимает», что этот приоритет установила именно она. Если при освобождении маркера нестековой станцией уровень приоритета в кольце может измениться только в большую сторону, то при обработке маркера стековой станцией только в меньшую сторону. Приоритет в кольце не обязательно восстанавливается -- может быть понижен, опять же, до максимального из «представленных» уровней.

При освобождении маркера нестековой станцией приоритет в кольце не опускается именно для того, чтобы исключить «прыжки вниз», которые привели бы к бессмысленному восстановлению более высоких уровней.

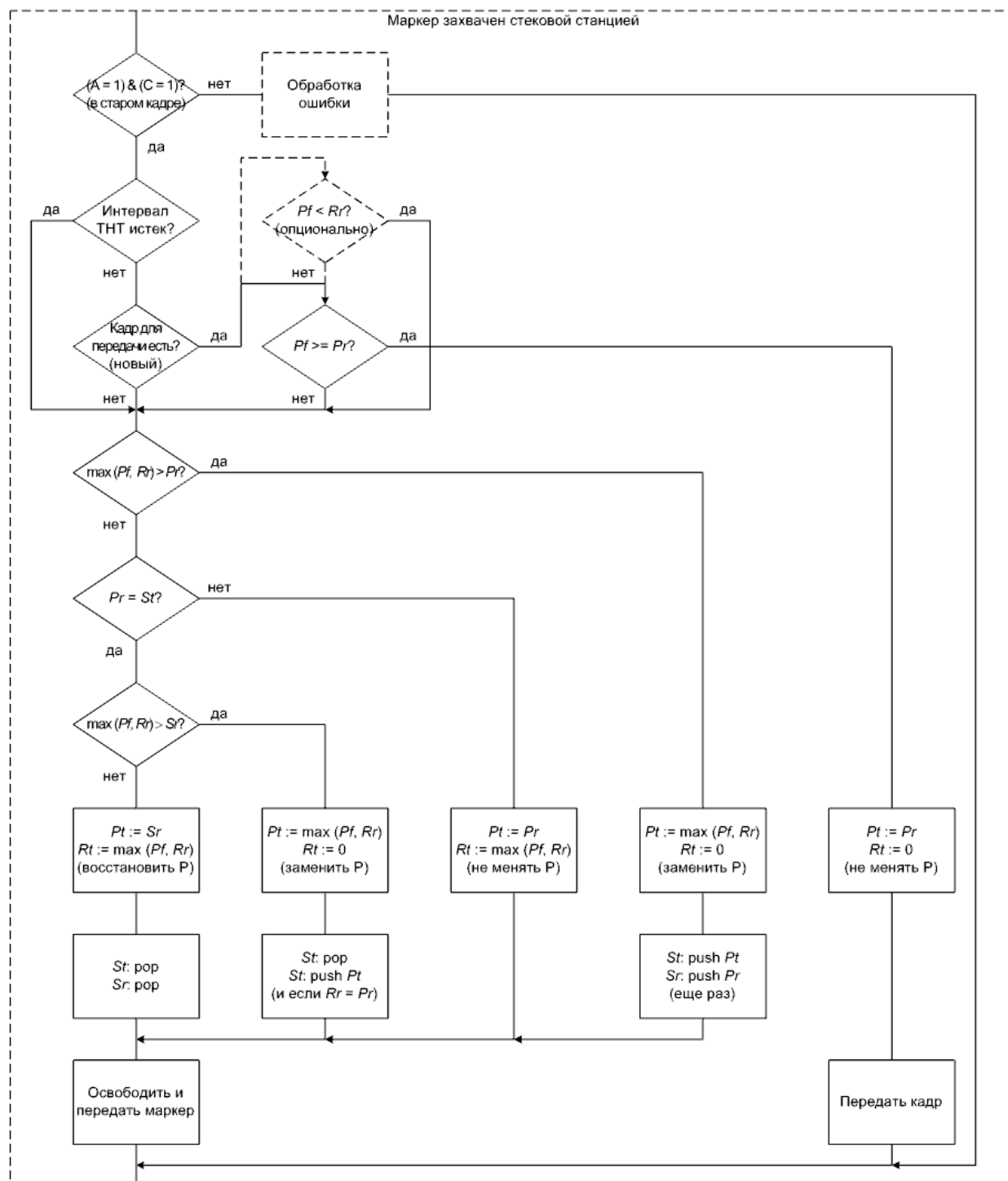


Рисунок -- Алгоритм Token Ring. Приоритеты. Маркер захвачен стековой станцией

Станция, захватившая маркер, вполне может быть стековой и, следовательно, сочетать в себе функции повышения и понижения приоритета в кольце.

При каждом захвате маркера и при каждой замене текущего уровня приоритета происходит сброс запрашиваемого уровня приоритета так как соответствующие запросы считаются учтенными.

Важно, что кадры на станции могут появляться произвольным образом, и это влияет на поведение. Чтобы передать свой кадр станция не упускает случай. Неприоритетный кадр справедливо ждет своей очереди. Чужой кадр станция никогда не буферизирует.

Соблюдение перечисленных правил гарантирует, что любая станция с любым приоритетом рано или поздно дождется возможности передать кадр.

Посредством кадров кроме сугубо пользовательской информации может передаваться и служебная, относящаяся к каналному уровню. Отличительной особенностью Token Ring является то, что на канальном уровне регламентируется

очень многое. При этом в поле данных включаются так называемый вектор (vector) и некоторое количество подвекторов (subvectors). Предусмотрено множество обязательных примитивов.

Временны'е интервалы контролируются больши'м количеством обязательных таймеров.

Кроме всего прочего, в Token Ring заложено несколько механизмов обеспечения надежности, включая автопереконфигурирование (autoreconfiguration) и сигнализацию об ошибках (beaconing).

Для предотвращения закликивания станция-монитор метит каждый проходящий через нее кадр (маркер с $P > 0$) устанавливая значение бита М в единицу. Остальные станции этот бит не модифицируют. При исправном состоянии кольца уже помеченный кадр не должен еще раз «дойти» до станции-монитора. Если же это происходит, то станция-монитор инициирует «починку» кольца.

Во время передачи кадра при обнаружении ошибки станция прекращает передавать текущий кадр и передает прерывающую последовательность, тем самым сообщая принимающей станции о сбойном кадре.

Имеются возможности (в том числе аппаратные) гибкого подключения (inserting) и отключения (bypassing) станций от кольца.

В качестве контрольного кода используется код CRC.

Скорость Token Ring равна 4 либо 16 Mbit/s (100 Mbit/s -- самые поздние реализации).

Предпринимались попытки разработать Wireless Token Ring.

Кроме Token Ring следует упомянуть еще ряд существующих технологий -- реализаций детерминированных методов.

Технология ARCNET (Attached Resource Computer NETwork) была первой технологией ЛКС, нашедшей массовое применение до экспансии Ethernet, в том числе благодаря своей дешевизне. Стандарт ATA 878.1 был разработан и утвержден ARCNET Trade Association. В настоящее время является сильно устаревшей. Скорость: 2,5 Mbit/s. Логическая топология: однонаправленное кольцо. Физическая топология: шина или звезда. Во втором случае требовалось дополнительное сетевое оборудование (пассивные или активные концентраторы). Алгоритм являлся аналогом упрощенного варианта алгоритма Token Ring (без системы приоритетов).

Технология Token Bus разрабатывалась параллельно с Token Ring. Была стандартизирована как IEEE 802.4. Благодаря плохому масштабированию и сложности восстановления после сбоев, почти не применялась, только в промышленных сетях некоторых индустриальных компаний. Разработка давно остановлена, является сильно устаревшей. Скорость: 1, 5, 10, 20 Mbit/s. Логическая топология: однонаправленное кольцо. Физическая топология: шина. Алгоритм представлял собой адаптацию алгоритма Token Ring к шинной топологии.

Технология FDDI (Fiber Distributed Data Interface) разрабатывалась целенаправленно для поддержки оптических Срд и позволяет значительно увеличить дальность передачи. Кроме собственно FDDI, еще был разработан аналогичный вариант для электрических Срд под названием CDDI (Copper Distributed Data Interface). FDDI формализовали в виде комплекса стандартов, которые разрабатывались постепенно -- в основном ANSI и ISO. Ключевыми являются стандарты: ISO 9314-1, ISO 9314-2 и ISO 9314-3. FDDI стал быстро вытесняться с рынка сетевых технологий после появления более дешевого Fast Ethernet, но ограниченно применяется до сих пор. CDDI распространения так и не получил. Скорость: 100 Mbit/s, 200 Mbit/s. Логическая топология: однонаправленное кольцо с резервированием, то есть два отдельных кольца (если оба кольца исправны, то они функционируют параллельно). Физическая топология: двойное кольцо, к которому с помощью дополнительного сетевого оборудования могут подключаться деревья (узлами дерева являются концентраторы, листьями -- станции, концентратор-корень включается в двойное кольцо). Алгоритм представляет собой расширение алгоритма Token Bus.

Технология 100VG-AnyLAN была разработана HP и стала альтернативой Fast Ethernet. Идея заключалась в получении по тем временам высокоскоростного гибрида между Ethernet и Token Ring, причем с сохранением совместимости с их кадрами. Позже была стандартизована как IEEE 802.12. На технологию возлагались больши'е надежды, но она была быстро отвергнута рынком и в скорости практически исчезла. Скорость: 100 Mbit/s. Логическая топология: дерево. Физическая топология: дерево (с опциональным резервированием), формируемое с помощью дополнительного сетевого оборудования (узлами дерева являются повторители, листьями -- станции или мосты, с помощью мостов можно подключать сегменты Ethernet или Token Ring). Метод доступа получил название Demand-priority. Основывается на программном автомате под названием MAC state machine.

Таким образом, существуют три основных способа выбора активного передатчика:

1. Передача маркера (token passing).
2. Резервирование (reservation).
3. Опрос (polling).

Выбор может происходить и по расписанию.

Если в топологиях с множественным доступом канал не является моноканалом, то совместно использоваться он может следующими методами (channelization):

1. FDMA (Frequency Division Multiple Access) -- множественный доступ на разных частотах (частотное разделение).
2. TDMA (Time Division Multiple Access) -- множественный доступ на одной частоте в разные временны'е окна (временное разделение).
3. CDMA (Code Division Multiple Access) -- множественный доступ на одной частоте с изменением параметров кодирования.