Network Working Group
Request for Comments: 4204
Category: Standards Track

J. Lang, Ed.
Sonos, Inc.

October 2005

Протокол управления каналом (LMP)

Link Management Protocol (LMP)

Статус документа

В этом документе содержится проект стандарта для протокола Internet, предложенного сообществу Internet. Документ служит приглашением к дискуссии в целях развития и совершенствования протокола. Текущее состояние стандартизации протокола вы можете узнать из документа Internet Official Protocol Standards (STD 1). Документ может распространяться без ограничений.

Авторские права

Аннотация

В целях эффективного масштабирования множество каналов передачи данных может объединяться в один канал организации трафика (TE[1]). Кроме того, управление каналами TE не ограничивается передачей сообщений в основной полосе и может осуществляться с помощью специальных каналов управления. Этот документ содержит спецификацию протокола управления каналом (LMP[2]), который поддерживается между парами узлов и служит для управления каналами TE. В частности, LMP будет применяться для поддержки связности каналов управления, проверки физической связности каналов данных, корреляции данных о свойствах каналов, подавления сигналов в нисходящем направлении и локализации отказов на каналах для защиты и восстановления в множестве разнотипных сетей.

Оглавление

[1]Traffic engineering - организация (построение) трафика.
[2]Link management protocol - протокол управления каналом.

1. Введение

Разрабатывают сети с маршрутизаторами, коммутаторами, кросс-коннекторами, системами DWDM[1] и мультиплексорами ADM[2], использующими общий уровень управления (common control plane), например, GMPLS[3] для динамического распределения ресурсов и обеспечения жизнестойкости сети с использованием средств защиты и восстановления. Пара узлов может иметь тысячи соединений между собой и каждое такое соединение может включать множество каналов передачи данных с использованием мультиплексирования (например, Frame Relay DLCI на уровне 2 или временные интервалы TDM[4], длины волн WDM[5] на уровне 1). В целях масштабирования множество каналов данных может объединяться в один канал TE.

Для обеспечения коммуникаций между узлами для маршрутизации, сигнализации и управления каналами требуется пара доступных один для другого интерфейсов IP. Такую пару интерфейсов будем называть здесь «каналом управления». Отметим, что взаимная доступность интерфейсов не предполагает наличия между ними непосредственного соединения IP - между узлами может находиться сеть IP. Более того, интерфейс, через который передаются и принимаются управляющие сообщения может не совпадать с интерфейсом, используемым для передачи потока данных. Этот документ задаёт спецификацию протокола управления каналом (LMP), работающего между парами узлов и используемого для поддержки соединений TE и проверки доступности канала управления. Далее в документе узлы, участвующие в работе протокола, зазываются соседями LMP ил просто соседними узлами.

[1]Dense wavelength division multiplexed - мультиплексирование по длине волны с высокой плотностью.
[2]Add-drop multiplexor - мультиплексор с ответвлением.
[3]Generalized MPLS - обобщённая коммутация по меткам.
[4]Time division multiplexed - мультиплексирование с разделением по времени.
[5]Wavelength division multiplexed - мультиплексирование с разделением по длине волны.

В GMPLS управляющие каналы между двумя смежными узлами уже не обязаны использовать ту же физическую среду, которая служит для передачи данных между этими узлами. Например, канал управления может использовать отдельное виртуальное устройство, длину волны, волокно, соединение Ethernet, туннель IP чрез отдельную сеть управления или сеть IP с множеством интервалов пересылки. Следствием возможности организации каналов управления между парой узлов отдельно (логически или физически) от канала передачи данных между этими узлами является то, что жизнестойкость канала управления не связано с жизнестойкостью каналов передачи данных и наоборот. Следовательно, нужно чётко различать канал управления и каналы передачи данных. Для управления каналами данных требуется разработать новые механизмы как в плане обеспечения связности, так и для контроля отказов.

К выполняемым протоколом LMP задачам относится проверка группировки каналов в соединения TE, а также проверка совпадения свойств этих каналов на обеих сторонах соединения - это называется корреляцией свойств каналов (link property correlation). Кроме того, LMP может обмениваться этими свойствами с модулем IGP, который, в свою очередь, может анонсировать их другим узлам сети. LMP может также сообщать модулю сигнализации отображения между соединениями TE и каналами управления. Таким образом, LMP исполняет функции «склеивания» на уровне управления.

Следует отметить, что наличие сети управления (одно- или многоинтервальной) требуется для возможности коммуникаций, но не является достаточным для этого. Например, если два интерфейса разделены сетью IP, отказ в этой сети может привести к разрыву пути от одного интерфейса к другому и, следовательно, прерыванию коммуникаций между этими интерфейсами. С другой стороны, не каждый отказ в сети управления воздействует на данный канал управления, следовательно, нужна организация и поддержка каналов управления.

Для целей этого документа канал данных может рассматриваться каждым узлом, как завершающийся на порту или компонентном соединении, в зависимости от возможностей мультиплексирования конечной точки данного канала - компонентное соединение поддерживает мультиплексирование, порт не поддерживает. Это различие важно, поскольку управление такими каналами (включая, например, выделение ресурсов, присвоение меток и из физическую верификацию) зависит от возможностей мультиплексирования. Например, коммутатор Frame Relay может демультиплексировать интерфейс по виртуальным устройствам на основе значений DLCI, кросс-коннектор SONET с интерфейсами OC-192 может демультиплексировать поток OC-192 в 4 потока OC-48. Если множество интерфейсов группируется в один канал TE с использованием связывания (link bundling) [RFC4201], ресурсы канала должны идентифицироваться с использованием трёх уровней - Link_Id, идентификатор компонентного соединения и метка, указывающая виртуальное устройство, временной интервал и т. п. Выделение ресурсов происходит на нижнем уровне (метки), а физические соединения выполняются на уровне компонентного канала. В качестве другого примера рассмотрим оптический коммутатор (например, PXC) прозрачно коммутирующий оптические пути OC-192. Если множество интерфейсов снова группируется в один канал TE, связывания каналов [RFC4201] не требуется и нужны только два уровня идентификации - Link_Id и Port_Id. В этом случае выделение ресурсов и физическое подключение выполняются на нижнем уровне (порт).

Для обеспечения взаимодействия между устройствами с разными возможностями мультиплексирования поддерживающим LMP устройствам **следует** разрешать локальную настройку субканалов на компонентных соединениях, как (логических) каналов данных. Например, если маршрутизатор с интерфейсами 4 OC-48 подключён через мультиплексор 4:1 MUX к кросс-коннектору с интерфейсами OC-192, кросс-коннектору следует обеспечивать возможность настройки каждого субканала (например, STS-48c SPE, если 4:1 MUX является мультиплексором SONET), как канала данных.

Протокол LMP предназначен для поддержки агрегирования одного или множества каналов данных в канал TE (порты или компонентные соединения в каналы TE). Целью формирования канала TE является группировка/отображение информации о некоторых физических ресурсах (и их свойствах) в информацию, которая будет применяться CSPF [1] для расчёта пути, а также послужит для сигнализации GMPLS.

1.1. Терминология

Ключевые слова **необходимо** (MUST), **недопустимо** (MUST NOT), **требуется** (REQUIRED), **нужно** (SHALL), **не нужно** (SHALL NOT), **следует** (SHOULD), **не следует** (SHOULD NOT), **рекомендуется** (RECOMMENDED), **возможно** (MAY), **необязательно** (OPTIONAL) в данном документе должны интерпретироваться в соответствии с [RFC2119].

Предполагается, что читатель знаком с терминологией [RFC3471], [RFC4202] и [RFC4201].

Bundled Link - составной канал
: В соответствии с [RFC4201] составной канал является каналом TE и по этом причине для целей сигнализации GMPLS комбинации <link identifier, label> не достаточно для однозначной идентификации соответствующих ресурсов, используемых LSP. Составной канал включает два или более компонентных соединения.

Control Channel - канал управления
: Канал управления представляет собой пару доступных один для другого интерфейсов, которые служат для обеспечения связи между узлами с целями маршрутизации, сигнализации и управления каналами.

Component Link - композитный канал
: В соответствии с [RFC4201] компонентное соединение представляет собой подмножество ресурсов канала TE, такое, что (a) отделение от других минимально и (b) в каждом подмножестве метки достаточно для однозначной идентификации соответствующих ресурсов, используемых LSP.

Data Link - канал передачи данных
: Канал данных представляет собой пару интерфейсов, служащих для передачи пользовательских данных. Отметим, что в GMPLS канал(ы) управления между двумя смежными узлами больше не обязаны использовать ту же физическую среду передачи, которая применяется для канала данных между этими узлами.

Link Property Correlation - корреляция свойств канала
: Процедура организации связи (корреляции) между локальными и удалёнными свойствами канала TE.

Multiplex Capability - возможности мультиплексирования
: Способность мультиплексировать/демультиплексировать поток данных по субпотокам для коммутирования.

[1] Constrained SPF - поиск кратчайшего пути с учётом ограничений.

Node_Id - идентификатор узла

Для узла OSPF идентификатор LMP Node_Id совпадает с адресом, содержащимся в OSPF Router Address TLV. Для узла IS-IS при анонсировании TE Router ID TLV идентификатор Node_Id совпадает с анонсируемым Router ID.

Port - порт

Интерфейс, завершающий канал данных.

TE Link - канал TE

В соответствии с [RFC4202] канал TE является логической конструкцией, представляющей способ группировки/отображения информации о неких физических ресурсах (и их свойствах), соединяющих маршрутизаторы LSR, в данные, используемые CSPF для расчёта пути и сигнализации GMPLS.

Transparent - прозрачный

Устройство называется X-прозрачным, если оно пересылает входящие сигналы со входа на выход без проверки и изменения X-компоненты этих сигналов. Например, коммутатор Frame Relay прозрачен на сетевом уровне, а оптические коммутаторы прозрачны для электрических сигналов.

2. Обзор LMP

Двумя основными процедурами LMP являются поддержка канала управления и корреляция свойств канала. Поддержка канала управления служит для организации и обслуживания каналов управления между смежными узлами. Это выполняется с использованием сообщений Config и механизма ускоренного обмена сообщениями keep-alive, который нужен в тех случаях, когда не доступны механизмы нижележащих уровней для обнаружения отказов в канале управления. Корреляция свойств канала используется для синхронизации свойств канала TE и проверки его конфигурации.

LMP требует, чтобы между парой узлов имелся хотя бы один активный двухсторонний канал управления. Каждое направление канала управления идентифицируется значением CC_Id[1] и два направления связываются между собой с помощью обмена сообщениями LMP Config. За исключением сообщений Test, которые могут применяться транспортным механизмом для обмена в основной полосе, все пакеты LMP передаются по протоколу UDP через порт LMP. Кодирование для канала управления на уровне логического канала (L2) выходит за рамки этого документа.

LMP-смежность между парой узлов возникает при наличии хотя бы одного двухстороннего канала управления между ними. Для каждой смежности может существовать множество одновременно действующих каналов управления, однако характеристики **должны** согласовываться для каждого канала индивидуально. При использовании LMP fast keep-alive не канале управления обмен сообщениями LMP Hello **должен** выполняться через канал управления. Другие сообщения LMP **могут** передаваться через любой активный канал управления между парой смежных узлов. Активные каналы управления могут группироваться в логический канал управления для сигнализации маршрутизации и сопоставления свойств.

Функция сопоставления свойств канала LMP предназначена для агрегирования множества каналов данных (порты или компонентные соединения) в канал TE и синхронизации свойств канала TE. Частью этой функции является обмен сообщениями LinkSummary. Такие сообщения включают локальный и удалённый идентификатор Link_Id, список всех каналов данные в составе канала TE и различные свойства канала. Сообщения LinkSummaryAck или LinkSummaryNack **должны** передаваться в ответ на сообщение LinkSummary, указывающее согласование свойств канала или отмену такого согласования.

Сообщения LMP передаются с гарантией доставки, основанной на использовании Message_Id и повторов передачи. Идентификаторы сообщений передаются в объектах MESSAGE_ID. В сообщении LMP можно включать не более одного объекта MESSAGE_ID. Для сообщений, относящихся к каналам управления, Message_Id находятся в области действия канала управления, через который сообщение передаётся. Для сообщений, относящихся к каналам TE, значения Message_Id находятся в области действия смежности LMP. Значения Message_Id монотонно увеличиваются с возвратом в 0 при достижении максимума.

В этом документе определены две дополнительных процедуры LMP - проверка связности канала и контроль отказов. Эти процедуры полезны, в частности, когда каналы управления физически отделены от каналов данных. Проверка связности канала используется для обнаружения уровня данных (data plane discovery), обмена Interface_Id (эти идентификаторы применяются в сигнализации GMPLS в качестве меток порта или идентификатора композитного соединения, в зависимости от конфигурации), а также проверки физической связности. Проверка выполняется путём передачи сообщений Test через каналы данных и возврата в ответ на них сообщений TestStatus через канал управления. Отметим, что сообщение Test является единственным сообщением LMP, передаваемым по каналам данных. Обмен сообщениями ChannelStatus между применяется смежными узлами для подавления нисходящих сигналов и локализации отказов в целях защиты и восстановления.

Для проверки связности канала LMP сообщение Test передаётся. по каналам данных. Для X-прозрачных устройств это требует проверки и изменения аспекта X в сигналах. Процедура проверки связности канала LMP координируется с помощью обмена сообщениями BeginVerify через канал управления. Для поддержки разных аспектов прозрачности в сообщения BeginVerify и BeginVerifyAck включён механизм VTM[2]. Отметим, что не вводится требования одновременной потери прозрачности всеми каналами данных - считается возможной потеря прозрачности, как минимум, на одном канале. Также не требуется использовать одну физическую среду для канала управления и канала TE, однако канал управления **должен** завершаться на тех же двух элементах управления, которые служат для управления каналом TE. Поскольку обмен сообщениями BeginVerify координирует процедуру Test, он естественным образом координирует режим прозрачности каналов данных.

Процедура контроля отказов LMP основана на обмене сообщениями ChannelStatus, включающем ChannelStatus, ChannelStatusAck, ChannelStatusRequest и ChannelStatusResponse. Сообщение ChannelStatus передаётся. без запроса и служит для уведомления соседа LMP о состоянии одного или множества каналов данных в канале TE. Сообщение ChannelStatusAck служит для подтверждения приёма ChannelStatus. Сообщение ChannelStatusRequest используется для запроса у соседа LMP данных о состоянии одного или множества каналов данных в канале TE. Сообщение ChannelStatusResponse служит для подтверждения приёма ChannelStatusRequest и содержит запрошенные данные.

[1]Control Channel Id - идентификатор канала управления.
[2]Verify Transport Mechanism - механизм проверки транспорта.

3. Поддержка канала управления

Для организации смежности LMP между двумя узлами **должен** быть активирован хотя бы один двухсторонний канал управления. Каналы управления могут применяться для обмена управляющей информацией типа данных о поддержке канала или контроле отказов (с использованием протокола сообщений типа описанного здесь LMP), данных управления путями или распространением меток (с использованием сигнального протокола типа RSVP-TE [RFC3209]) и данных о сетевой топологии и распространении сведений о состояниях (с использованием расширений для организации трафика в протоколах типа OSPF [RFC3630] или IS-IS [RFC3784]).

Для целей LMP точная реализация канала управления не задаётся - это может быть, например, отдельная длина волны или волокно, соединение Ethernet, туннель IP через отдельную сеть управления или просто дополнительные байты в канале данных. Каждый узел задаёт для канала управления уникальный (для себя) 32-битовый целочисленный идентификатор, отличный от 0, CC_Id. Значения идентификаторов берутся из одного пространства с идентификаторами безадресных интерфейсов. Пакеты LMP передаются по протоколу UDP с использованием порта LMP. Таким образом, канальное представление управляющего канала не является частью спецификации LMP.

Для организации канала управления нужно знать IP-адрес, которому будут приниматься пакеты на удалённой стороне. Этот адрес можно задать в конфигурации вручную или определить автоматически. Отметим, что для сигнализации по основному каналу (in-band signaling) канал управления можно явно задать в конфигурации конкретного канала данных. В этом случае можно использовать обмен сообщениями Config для динамического определения адреса IP на удалённом конце канала управления. Это выполняется путём передачи сообщения Config с индивидуальным адресом отправителя по групповому адресу IP (224.0.0.1 или ff02::1). В ответ **должны** передаваться сообщения ConfigAck и ConfigNack по адресу IP из поля отправителя в заголовке пакета с сообщением Config.

Каналы управления существуют независимо от каналов TE и между парой узлом может быть организовано множество одновременных каналов управления. Отдельные каналы управления могут быть реализованы разными способами, например, один может быть создан в оптическом волокне, а другой вне волокна. В любом случае параметры **должны** согласовываться через каждый канал управления для поддержки связности LMP, если иные механизмы не доступны. Поскольку каналы управления электрически завершаются на каждом узле, можно детектировать отказы каналов управления с использованием нижележащих уровней (например, SONET/SDH).

Имеется четыре сообщения LMP, которые применяются для управления отдельными каналами - Config, ConfigAck, ConfigNack и Hello. Эти сообщения **должны** передаваться через канал, к которому они относятся. Все прочие сообщения LMP можно передавать через любой активный канал управления между парой смежных узлов LMP.

Для поддержки смежности LMP требуется наличие хотя бы одного активного канала между парой смежных узлов (напомним, что между парой узлом может одновременно существовать множество активных каналов управления). При отказе канала управления можно использовать дополнительный канал управления, как описано ниже.

3.1. Согласование параметров

Активизация канала управления начинается с обмена для согласования параметров, использующего сообщения Config, ConfigAck и ConfigNack. Содержимое этих сообщений создаётся на основе объектов LMP, которые могут быть согласуемыми или несогласуемыми (указываются битом N в заголовке объектов). Согласуемые объекты могут применяться для согласования партнёрами LMP неких значений. Несогласуемые объекты служат для анонсирования конкретных значений, которые не нужно или невозможно согласовать.

Для активизации канала управления удалённому партнёру **должно** быть передано сообщение Config и от него локальный узел **должен** получить сообщение ConfigAck. В сообщении Config содержится локальный идентификатор канала управления (CC_Id), идентификатор узла-отправителя (Node_Id), идентификатор сообщения Message_Id для обеспечения гарантированной доставки, а также объект CONFIG. Возможно одновременное начало процедуры активизации канала управления с обеих сторон. Для предотвращения неоднозначностей в таких случаях «выигрывает» узел с большим значением Node_Id, а узел с меньшим Node_Id **должен** прекратить передачу сообщения Config и ответить на принятое сообщение Config. Если значения Node_Id совпадают, это говорит о некорректной настройке конфигурации одного или обоих узлов. В этом случае узлы **могут** продолжить повторы передачи сообщений Config, надеясь на устранение конфигурационных ошибок. Отметим, что эту проблему может решить оператор, сменив значение Node_Id на одной или обеих сторонах.

Сообщения ConfigAck служат для подтверждения приёма сообщений Config и выражения согласия со **всеми** конфигурационными параметрами (согласуемыми и несогласуемыми).

Сообщения ConfigNack подтверждают приём Config и указывают какие (если они есть) из несогласуемых объектов CONFIG не приемлемы, а также предлагают дополнительные значения для согласуемых параметров.

Если узел получает сообщение ConfigNack с устраивающими его дополнительными значениями для согласуемых параметров, ему **следует** передать в ответ сообщение Config с соответствующими значениями параметров.

Если узел получает сообщение ConfigNack с неподходящими дополнительными значениями, он **может** продолжить повтор сообщений Config в надежде на исправление конфигурационных ошибок. Отметим, что эту проблему может решить оператор, сменив значения параметров на одной или обеих сторонах.

При использовании множества каналов управления на одном физическом интерфейсе обмен для согласования параметров выполняется для каждого канала управления. Разные сообщения LMP для согласования параметров связываются с соответствующими каналами по уникальным в масштабе узла значениям идентификаторов (CC_Id).

3.2. Протокол Hello

Как только будет активизирован канал управления между парой смежных узлов, через него можно начинать использование протокола LMP Hello для организации связности между узлами и детектирования отказов в канале управления. Протокол LMP Hello используется в качестве облегчённого механизма проверки «живучести» канала (keep-alive) для быстрого реагирования на отказы, чтобы не терялись сообщения IGP Hello и соответствующие отношения смежности (link-state adjacency) без необходимости не удалялись.

3.2.1. Согласование параметров Hello

До отправки сообщений Hello **должны** быть согласованы параметры HelloInterval и HelloDeadInterval на локальном и удалённом узлах. Обмен этими параметрами выполняется в сообщении Config. Параметр HelloInterval задаёт частоту передачи сообщений LMP Hello в миллисекундах (мсек). Например, при значении параметра 150 передающий узел будет отправлять сообщения Hello хотя бы один раз за каждые 150 мсек. HelloDeadInterval указывает интервал (в мсек), в течение которого устройство будет ожидать сообщения Hello, пока не сочтёт канал управления «умершим».

Значение HelloDeadInterval **должно** быть больше HelloInterval и следует делать его по крайней мере втрое больше HelloInterval. Если не используется механизм ускоренной проверки живучести (fast keep-alive) LMP, для параметров HelloInterval и HelloDeadInterval **должно** устанавливаться значение 0.

Значения HelloInterval и HelloDeadInterval следует выбирать аккуратно для обеспечения быстрого отклика на отказы канала управления и отсутствия перегрузок. В силу этого очевидно использование различных значений параметров в разных реализациях каналов управления. Для каналов управления, организованных через прямое соединение, предлагается по умолчанию использовать значения HelloInterval = 150 и HelloDeadInterval = 500 мсек.

Когда узел передал или получил сообщение ConfigAck, он может начинать отправку сообщений Hello. После отправки сообщения Hello и получения приемлемого Hello (т. е., с ожидаемым порядковым номером - см. параграф 3.2.2) канал управления переходит в активное состояние (up) (возможен переход в состояние up без отправки сообщений Hello, если для индикации двухсторонней связности канала управления применяются другие методы; например, данные о связности канала управления могут быть получены от транспортного уровня). Однако, если узел получает сообщение ConfigNack взамен ConfigAck, он **должен** отказаться от передачи сообщения Hello, а канал управления **не следует** переводить в состояние up. Машина конечный состояний (FSM) для канала управления описана в параграфе 11.1.

3.2.2. Ускоренная проверка жизнеспособности

Каждое сообщение Hello содержит два порядковых номера - первый (TxSeqNum) указывает номер сообщения Hello, которое будет передаваться, а второй (RcvSeqNum) – номер последнего сообщения Hello, полученного от смежного узла через данный канал управления.

Для порядковых номеров имеется два специальных значения. Для TxSeqNum **недопустимо** использовать значение 0. TxSeqNum = 1 используется для индикации того, что отправитель только начал работу и ещё не знает номера последнего переданного сообщения. Таким образом, первое сообщение Hello передаётся. с TxSeqNum = 1 и RxSeqNum = 0. Когда TxSeqNum достигает значения 2^{32}-1, следующим номером будет 2, а не 0 или 1, поскольку эти номера имеют особое значение.

При нормальной работе разница между RcvSeqNum в полученном сообщении Hello и локальным номером TxSeqNum для генерируемого сообщений в большинстве случаев будет составлять 1. Эта разность может становиться больше 1 только при перезапуске управляющего канала или достижении максимального номера.

Поскольку 32-битовые порядковые номера могут достигать максимума, можно воспользоваться приведённым ниже выражением для проверки того, что недавно полученное значение TxSeqNum меньше полученного перед этим.

```
if ((int) old_id - (int) new_id > 0) {
   новое значение меньше старого;
}
```

Наличие порядковых номеров в сообщениях Hello позволяет каждому узлу убедиться, что его партнёр получает сообщения Hello. За счёт включения RcvSeqNum в пакеты Hello локальный узел узнает какие пакеты Hello получены удаленным узлом.

Приведённый ниже пример показывает применение порядковых номеров. Отметим, что показаны операции лишь на одном из узлов и возможны другие варианты.

1) После завершения конфигурационного этапа узел A передаёт сообщения Hello узлу B с {TxSeqNum=1;RcvSeqNum=0}.
2) Узел A получает Hello от узла B с {TxSeqNum=1;RcvSeqNum=1}. По истечении интервала HelloInterval узел A передаёт узлу B сообщения Hello {TxSeqNum=2;RcvSeqNum=1}.
3) Узел A получает Hello от узла B с {TxSeqNum=2;RcvSeqNum=2}. По истечении интервала HelloInterval узел A передаёт узлу B сообщения Hello {TxSeqNum=3;RcvSeqNum=2}.

3.2.3. Отключение канала управления

Для обеспечения возможности аккуратного отключения канала управления с административными целями имеется флаг ControlChannelDown в базовом заголовке (Common Header) пакетов LMP. При наличии между парой узлов активных каналов передачи данных административное отключение канала управления **следует** использовать только в тех случаях, когда имеются другие активные каналы управления, которые можно использовать для поддержки каналов данных.

При административном отключении канала управления узел **должен** устанавливать флаг ControlChannelDown во всех сообщениях LMP, передаваемых через канал управления. Инициировавший отключение управляющего канала узел может прекратить передачу сообщений Hello по истечении HelloDeadInterval секунд или при получении через этот же канал управления сообщения LMP с установленным флагом ControlChannelDown.

Узлу, получившему пакет LMP с установленным флагом ControlChannelDown, **следует** передать сообщение Hello с установленным флагом ControlChannelDown и перевести канал управления в отключённое состояние (down).

3.2.4. Вырожденное состояние

Следствием того, что каналы управления могут физически отличаться от связанных с ними каналов данных, может не оказаться ни одного активного канала управления при наличии используемых каналов данных. Для многих приложений неприемлем разрыв канала передачи данных лишь по причине недоступности канала управления, однако для трафика

через такие каналы данных уже не будет возможности обеспечить прежний уровень обслуживания. Следовательно, канал TE будет находиться в вырожденном (Degraded) состоянии.

Когда канал TE находится в состоянии Degraded, **следует** уведомлять системы маршрутизации и сигнализации о том, что не нужно воспринимать новые соединения через этот канал TE и нужно анонсировать для него отсутствие незарезервированных ресурсов.

4. Сопоставление свойств каналов

В рамках LMP для каналов TE определён обмен для сопоставления свойств каналов с помощью сообщений LinkSummary, LinkSummaryAck и LinkSummaryNack. Содержимое этих сообщений создаётся с использованием объектов LMP, которые могут быть согласуемыми или несогласуемыми (указывается флагом N в заголовке объекта). Согласуемые объекты служат для того, чтобы стороны могли совместно выбирать значения некоторых параметров канала. Несогласуемые объекты служат для анонсирования конкретных значений, которые не нужно или невозможно согласовать.

Каждый канал TE имеет идентификатор (Link_Id), выделенный на каждой стороне соединения. Эти идентификаторы **должны** быть одного типа (т. е., IPv4, IPv6 или безадресный) на обеих сторонах. Если принимается сообщение LinkSummary с разными типами канала TE на локальной и удалённой стороне, в ответ **должно** передаваться сообщение LinkSummaryNack с кодом ошибки Bad TE Link Object. Аналогично, на каждой стороне канала присваивается идентификатор интерфейса (Interface_Id). Эти идентификаторы также **должны** иметь одинаковый тип на обеих сторонах. При получении LinkSummary с разнотипными Interface_Id на локальной и удалённой стороне в ответ **должно** передаваться сообщение LinkSummaryNack с кодом ошибки Bad Data Link Object.

Сопоставление свойств канала **следует** выполнять до того, как канал будет активизирован (up) и оно **может** быть выполнено в любой момент, когда канал активен и не находится в процессе проверки (Verification).

Сообщения LinkSummary служат для проверки согласованности информации о канале данных и TE на обеих сторонах, а также для (1) агрегирования множества каналов данных (портов или компонентных каналов) в один канал TE, (2) обмена, сопоставления (для обнаружения несогласованности) или изменения параметров канала TE и (3) обмена, сопоставления (для обнаружения несогласованности) или изменения значений Interface_Id (Port_Id или идентификаторы компонентных каналов).

Сообщение LinkSummary включает объект TE_LINK, за которым следует один или множество объектов DATA_LINK. Объект TE_LINK указывает идентификаторы Link_Id на локальной и удалённой стороне канала TE, а также поддержку процедур контроля отказов и верификации для канала TE. Объекты DATA_LINK служат для указания характеристик каналов данных, образующих канал TE. Эти объекты включают локальный и удалённый идентификатор Interface_Id и могут включать один или множество субобъектов с дополнительным описанием свойств каналов данных.

Если от удалённого узла получено сообщение LinkSummary и отображение Interface_соответствует локальной копии, это говорит о том, что два узла согласовали процедуру Verification (см. раздел 5) и настройку идентификации канала данных. Если процедура проверки не используется, сообщение LinkSummary можно применять для проверки согласования при настройке вручную.

Сообщение LinkSummaryAck служит для сигнализации о согласовании отображений Interface_Id и определений свойств каналов. В остальных случаях **должно** передаваться сообщение LinkSummaryNack, показывающее интерфейсы с некорректным отображением и/или неприемлемые свойства канала. Если сообщение LinkSummaryNack показывает, что отображение Interface_Id некорректно, а процедура проверки включена, процесс проверки канала **следует** повторить для всех несоответствующих свободных каналов данных. Если сообщение LinkSummaryNack включает согласуемые параметры, **должны** быть указаны приемлемые значения этих параметров. Если полученное сообщение LinkSummaryNack включает согласуемые параметры, инициатору сообщения LinkSummary **следует** отправить новое сообщение LinkSummary. В это новое сообщение LinkSummary **следует** включить новые значения для согласуемых параметров. В этих значениях **следует** принимать во внимание приемлемые значения параметров из сообщения LinkSummaryNack.

Сообщение LinkSummary может стать довольно большим по причине большого числа объектов DATA LINK. Реализациям LMP **следует** поддерживать возможность фрагментации при передаче сообщений LMP и они **должны** поддерживать сборку фрагментов IP при получении сообщений LMP.

5. Проверка связности для канала

В этом разделе описана необязательная процедура, которая может применяться для проверки физической связности каналов данных и динамического обнаружения связей между каналом TE и Interface_Id. Процедуру **следует** выполнять при организации канала TE, а потом периодически повторять для всех нераспределенных (свободных) каналов данных соединения TE.

Поддержка этой процедуры указывается флагом Link Verification Supported в объекте TE_LINK сообщений LinkSummary.

Если получено сообщение BeginVerify, а проверка каналов не поддерживается для соединений TE, в ответ **должно** передаваться сообщение BeginVerifyNack с кодом ошибки (Error Code), показывающим, что проверка для этого канала TE не поддерживается (Link Verification Procedure not supported for this TE Link).

Уникальной характеристикой прозрачных устройств является то, что данные не изменяются и не проверяются в процессе нормальной работы. Это создаёт сложности при проверке связности каналов данных и организации отображения меток. Поэтому для обеспечения подобающей проверки связности канала данных требуется непрозрачность таких каналов до того момента, как они будут выделены для пользовательского трафика. Для поддержки той или иной степени непрозрачности (например, проверка служебных байтов, и терминирование полезной нагрузки IP и т. п.) и, следовательно, поддержки различных механизмов транспортировки сообщений Test в сообщения BeginVerify и BeginVerifyAck включается поле Verify Transport Mechanism.

Требование одновременного завершения (терминирования) всех каналов данных не задаётся, но каналы данных **должны** (как минимум) обеспечивать поддержку такой возможности. Кроме того, для процедуры проверки каналов

предполагается, что архитектура узлов позволяет передавать и принимать сообщения через любой канал данных. Отметим, что это требование является тривиальным для непрозрачных устройств, поскольку каждый канал данных завершается электрически и обрабатывается до пересылки в следующее непрозрачное устройство. Однако для прозрачных устройств это создаёт дополнительное требование.

Для соединения двух устройств между ними определяется канал TE и **должен** присутствовать хотя бы один активный канал управления между этими узлами. Для проверки связности канал TE **должен** включать хотя бы один канал данных.

После организации между двумя узлами канала управления проверку связности канала данных можно проверить путём обмена сообщениями Test через каждый из каналов данных, указанный в канале TE. Следует отметить, что все сообщения LMP, за исключением Test, будут передаваться через каналы управления и обмен сообщениями Hello через каждый канал управления будет продолжаться и после завершения проверки каналов данных. Сообщение Test передаются через проверяемые каналы. Каналы данных тестируются в направлении передачи, поскольку они являются односторонними. Следовательно, оба узла могут выполнять обмен сообщениями Test одновременно (и независимо).

Для начала процедуры проверки канала локальный узел **должен** отправить через канал управления сообщение BeginVerify. Для ограничения процедуры Link Verification конкретным каналом TE, локальное значение Link_Id **должно** отличаться от 0. Если это поле равно 0, канал данных может охватывать множество каналов TE и/или в число проверяемых каналов TE могут попасть ещё не настроенные. Для случаев локального Link_Id = 0 используется флаг Verify all Links в объекте BEGIN_VERIFY, позволяющий различать каналы данных, охватывающие множество каналов TE и каналы данных, ещё не связанные с каналом TE. В частности, проверка каналов данных, охватывающих множество каналов TE, указывается локальным полем Link_Id = 0 и установкой флага Verify all Links. Проверка каналов данных, которые ещё не привязаны к каналам TE, указывается установкой локального поля Link_Id = 0 и сбросом флага Verify all Links.

Сообщение BeginVerify содержит также число проверяемых каналов данных, интервал, в течение которого будут передаваться сообщения Test (VerifyInterval), поддерживаемую схему кодирования и транспортные механизмы, скорость передачи для сообщений Test, а также (в тех случаях, когда каналы данных соответствуют оптическим волокнам) идентификаторы длин волн, на которых будут передаваться сообщения Test.

Если удалённый узел получил сообщение BeginVerify и готов обрабатывать сообщения Test, он **должен** передать в ответ сообщение BeginVerifyAck, указывающее желаемый для сообщений TEST транспортный механизм. Удалённый узел включает в это сообщение 32-битовое значение Verify_Id, уникальное в масштабах данного узла. Значение Verify_Id **может** выбираться случайно, однако **недопустимо** его совпадение с любым Verify_Id, используемым в это же время выбравшим значение узлом. Verify_Id после этого используется во всех проверочных сообщениях для того, чтобы различать разных партнёров LMP и/или параллельные процедуры Test. Когда локальный узел получит сообщение BeginVerifyAck от удалённого узла, он может начать тестирование каналов данных путём периодической отправки сообщений Test в каждый канал. Сообщение Test включает Verify_и локальное значение Interface_Id для соответствующего канала данных. Удалённый узел **должен** передавать в ответ сообщение TestStatusSuccess или TestStatusFailure для каждого проверяемого канала. Для подтверждения приёма TestStatusSuccess и TestStatusFailure **должно** передаваться сообщение TestStatusAck. Неподтвержденные сообщения TestStatusSuccess и TestStatusFailure **следует** повторять по получения подтверждения или достижения предельного числа повторов (см. также раздел 10).

Для отправителя допустимо прерывание процедуры Test в любой момент после отправки сообщения BeginVerify. Для этого **следует** передать сообщение EndVerify.

Сопоставление сообщений выполняется с использованием идентификаторов сообщений и значений Verify_Id, это позволяет параллельно проверять каналы данных, относящиеся к разным группам каналов или сессиям LMP.

При получении сообщения Test идентификатор интерфейса Interface_Id из этого сообщения (используется в GMPLS как метка порта или идентификатор компонентного канала в зависимости от конфигурации) записывается и отображается на локальный идентификатор Interface_Id для принявшего сообщение канала данных, а в ответ **должно** передаваться сообщение TestStatusSuccess, включающее локальное значение Interface_Id, а также значения Interface_Id и Verify_Id из принятого сообщения Test. Получение TestStatusSuccess показывает, что сообщение Test было обнаружено удаленным узлом и физическая связность канала данных была подтверждена. При получении TestStatusSuccess локальному узлу **следует** пометить канал данных как активный и отправить удалённому узлу сообщение TestStatusAck. Однако, если сообщение Test не было обнаружено на удалённой стороне в течение периода наблюдения (задаётся значением VerifyDeadInterval), удалённый узел **должен** передать через канал управления сообщение TestStatusFailure, показывающее неудачу при проверке физической связности канала данных. Локальному узлу, получившему сообщение TestStatusFailure, **следует** пометить канал данных как сбойный (FAILED) и передать удалённому узлу сообщение TestStatusAck. После проверки всех каналов данных локальному узлу **следует** передать сообщение EndVerify для индикации завершения тестирования на данном канале.

Если известно отображение локальных каналов данных на удалённые, процедуру проверки каналов можно оптимизировать, проверяя каналы данных в определённом порядке, который знают оба узла. Предлагается выбирать порядок в соответствии с ростом значений Interface_Id на удалённой стороне.

Локальному и удалённому узлу **следует** поддерживать полный список отображений Interface_Id для целей сопоставления.

5.1. Пример проверки связности для канала

На рисунке 1 показан пример проверки связности, которая выполняется при добавлении канала между узлами A и B. В этом примере канал TE состоит из трёх свободных портов (каждый из которых использует своё волокно) и связан с двухсторонним каналом управления (отмечен буквой c). Процесс проверки связности поэтапно описан ниже.

- Узлу B через канал управления передаётся. сообщение BeginVerify, говорящее о начале проверки портов, образующих канал TE. Объект LOCAL_LINK_ID в сообщении BeginVerify содержит идентификатор (адрес IP или индекс интерфейса), присвоенный каналу узлом A.

- Получив сообщение BeginVerify, узел B создаёт идентификатор Verify_Id и привязывает его к каналу TE от A. Эта привязка используется при получении узлом B сообщений Test от узла A, содержащих Verify_Id. Узел B определяет идентификатор (адрес IP или индекс интерфейса), который узел A присвоил каналу TE, просматривая объект LOCAL_LINK_ID из полученного сообщения BeginVerify (если порты данных ещё не выделены для TE Link, привязка ограничена Node_Id для узла A). В ответ на сообщение BeginVerify узел B передаёт сообщение BeginVerifyAck узлу A. Объект LOCAL_LINK_ID в сообщении BeginVerifyAck служит для передачи идентификатора (адрес IP или индекс интерфейса), который узел B присвоил каналу TE. Объект REMOTE_LINK_ID в сообщении BeginVerifyAck служит для привязки идентификаторов Link_Id, выделенных узлами A и B. Значение Verify_Id возвращается узлу A в сообщении BeginVerifyAck по каналу управления.

- Когда узел A получает сообщение BeginVerifyAck, он начинает периодическую отправку сообщений Test через первый порт (Interface Id=1). Сообщение Test включает Interface_Id для порта и значение Verify_Id, присвоенное злом B.

- При получении узлом B сообщений Test он отображает полученный идентификатор Interface_Id на свой локальный идентификатор Interface_Id = 10 и передаёт сообщение TestStatusSuccess узлу A через канал управления. Сообщение TestStatusSuccess включает локальное и принятое значения Interface_Id для портов, а также Verify_Id. Идентификатор Verify_Id используется для определения локального и удалённого идентификаторов канала TE (адреса IP или индексы интерфейсов), к которым относятся каналы данных.

- Узел A будет передавать через канал управления узлу B сообщение TestStatusAck, показывающее, что он получил сообщение TestStatusSuccess.

- Процесс повторяется до завершения проверки всех портов.

- После этого узел A передаёт через канал управления сообщение EndVerify, говорящее узлу B о завершении проверки.

- B отвечает на это сообщение отправкой через канал управления узлу A сообщения EndVerifyAck.

Отметим, что эта процедура может применяться для «обнаружения» связности между портами данных.

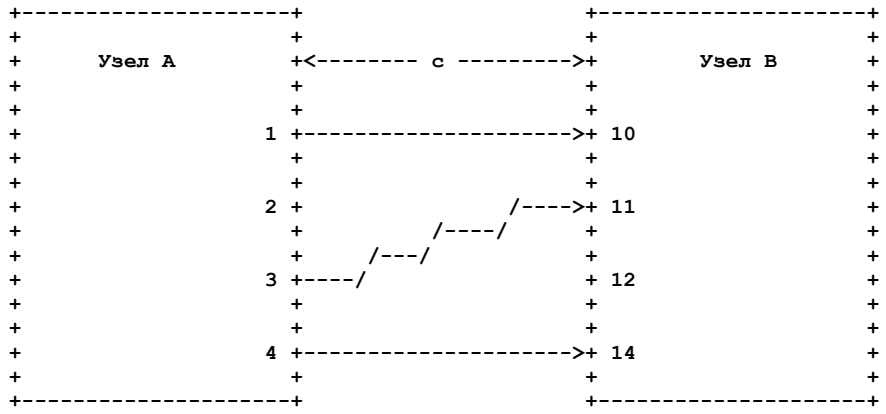


Рисунок 1. Пример проверки связности между узлами A и B.

6. Обработка отказов

В этом разделе описана необязательная процедура LMP, служащая для обработки отказов путём быстрого уведомления о состоянии одного или множества каналов данных в канале TE. Областью действия этой процедуры является канал TE и поэтому применение этой процедуры согласуется в процессе обмена LinkSummary. Процедура может служить для быстрой изоляции отказов каналов данных и канала TE и предназначена для использования как на односторонних, так и на двухсторонних LSP.

Важным следствием применения прозрачных устройств является неприменимость традиционных методов отслеживания состояний выделенных каналов данных. Вместо детектирования отказов на уровнях 2 и 3 эта функция перенесена на физический уровень (т. е., обнаружение потери оптического сигнала или оптический мониторинг данных).

Напомним, что канал TE, соединяющий два узла, может состоять из множества каналов данных. В случае отказа одного или нескольких таких каналов нужен механизм быстрого уведомления с целью запуска соответствующей процедуры защиты/восстановления. При восстановлении отказавшего канала этот же механизм должен уведомлять об устранении отказа и восстановлении нормальной работы канала.

6.1. Детектирование отказов

Детектирование отказов должно происходить на ближайшем к отказу уровне - для оптических сетей это физический (оптический) уровень. Одним из способов обнаружения отказов на физическом уровне является детектирование «потери света» (LOL[1]). Другие методы мониторинга оптических сигналов пока находятся в стадии разработки и не рассматриваются в этом документе. Однако следует понимать, что механизм, используемый для уведомлений об отказах в LMP, не зависит от способа детектирования отказов и основан просто на фактах обнаружения отказа.

6.2. Процедура локализации отказа

В некоторых ситуациях отказ канала данных между двумя узлами распространяется в нисходящем направлении так, что все нисходящие узлы обнаруживают отказ без его локализации. Для предотвращения множественных уведомлений об одном отказе LMP обеспечивает уведомление об отказах с помощью сообщений ChannelStatus. Это сообщение

[1]Loss of light.

можно использовать для индикации отказа одного или многих каналов данных, а также всего канала TE. Сопоставление отказов выполняется локально на каждом узле, получившем уведомление об отказе.

Для связывания отказа с конкретным каналом между смежными узлами нисходящий (в смысле потока данных) узел , обнаруживший отказ канала данных будет передавать своему соседу в восходящем направлении сообщение ChannelStatus, показывающее, что обнаружен отказ (уведомления для всех каналов с отказами объединяются). Получивший сообщение ChannelStatus восходящий узел **должен** передать в ответ сообщение ChannelStatusAck, подтверждающее приём ChannelStatus. Восходящему узлу следует провести сопоставление с целью определить, обнаружен ли этот отказ локально для соответствующих LSP. Если, например, будет ясно, что отказ наблюдается на входе восходящего узла или внутри него, восходящий узел будет знать точку отказа. После сопоставления информации об отказах восходящему узлу **следует** передать нисходящему узлу сообщение ChannelStatus, которое показывает наличие или отсутствие отказа в канале. Если сообщение ChannelStatus не будет получено нисходящим узлом, тому **следует** передать сообщение ChannelStatusRequest для соответствующего канала. После определения точки отказа можно использовать сигнальный протокол для инициирования процедур защиты или восстановления интервала (span) или пути.

Если отказ произошёл на всех каналах данных соединения TE, восходящий узел **может** быть уведомлен об отказе канала TE без указания конкретных каналов данных. Это выполняется путём отправки уведомления в сообщении ChannelStatus, идентифицирующем канал TE без указания Interface_Id в объекте CHANNEL_STATUS.

6.3. Примеры локализации отказов

На рисунке 2 приведён пример сети, где 4 узла соединены в линейный массив. Каналы управления являются двухсторонними и помечены буквой c. Все LSP также являются двухсторонними.

В первом случае [(a) на рисунке] возникает отказ на одном из направлений двухстороннего LSP. Узел 4 обнаружит этот отказ и передаст узлу 3 сообщение ChannelStatus, сообщающее об отказе (например, LOL) соответствующему восходящему узлу. Узел 3, получив сообщение ChannelStatus от узла 4, вернёт тому сообщение ChannelStatusAck и выполнит для него локальное сопоставление. Когда узел 3 выполнит сопоставление для этого отказа и проверит его, он свяжет отказ с каналом данных между узлами 3 и 4. В этот момент узлу 3 следует отправить на узел 4 сообщение ChannelStatus, говорящее о локализации отказа.

Во втором случае [(b) на рисунке] один отказ (например, повреждение волокна) воздействует на оба направления двухстороннего LSP. Узел 2 (узел 3) обнаружит отказ в восходящем (нисходящем) направлении и отправит восходящему (относительно потока данных) узлу сообщение ChannelStatus, говорящее об отказе (например, LOL). Одновременно (не учитывая задержек при распространении) узел 1 (узел 4) обнаружит отказ на восходящем (нисходящем) направлении и будет передавать соответствующему восходящему (относительно потока данных) узлу сообщение ChannelStatus, говорящее об отказе. Узлы 2 и 3 будут локализовать отказ в двух направлениях.

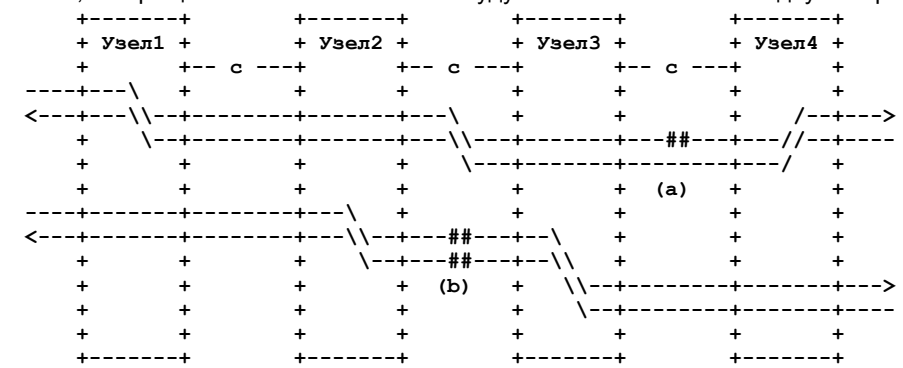


Рисунок 2. Показаны 2 типа отказов на каналах данных (символы ##):
(A) канал данных нисходящего направления в двухстороннем LSP,
(B) два канала данных, соответствующих разным направлениям двухстороннего LSP. Каналы управления между узлами помечены буквой c.

6.4. Индикация активации канала

Сообщения ChannelStatus могут служить также для уведомления соседа LMP о том, что для канала данных следует вести активный мониторинг. Это называется индикацией активации канала (Channel Activation Indication). Особенно полезно это в сетях с прозрачными узлами, где может потребоваться переключение состояния канала данных с помощью управляющих сообщений. Например, если канал данных подготовлен заранее, а на физическом канале возникает отказ после проверки канала но до начала отправки туда пользовательского трафика, нужен механизм индикации того, что активность канала сохраняется, поскольку иначе отказ может остаться не обнаруженным.

Сообщение ChannelStatus используется для индикации канала или группы каналов, которые в настоящий момент активны. В ответ на такое сообщение **должно** передаваться сообщение ChannelStatusAck. При получении ChannelStatus соответствующий канал(ы) данных **должен** переводиться в состояние Active. Если при переводе канала в активное состояние обнаруживается отказ, **следует** передать сообщение ChannelStatus, как описано в параграфе 6.2.

6.5. Индикация деактивации канала

Сообщения ChannelStatus могут служить также для уведомления соседа LMP о том, что для канала данных больше не следует вести активный мониторинг. Это сообщение по смыслу обратно описанному в предыдущем параграфе.

При получении сообщения с Channel Deactive Indication соответствующий канал(ы) данных должен выйти из активного состояния.

7. Использование идентификаторов сообщений

Объекты MESSAGE_ID и MESSAGE_ID_ACK включаются в сообщения LMP для обеспечения гарантированной доставки сообщений. Применение таких объектов рассматривается в данном разделе. Объекты MESSAGE_ID и MESSAGE_ID_ACK содержат поле Message_Id.

В любом сообщении LMP может присутствовать лишь один объект MESSAGE_ID/MESSAGE_ID_ACK.

Для сообщений, связанных с каналами управления, поле Message_Id относится к области CC_Id, для сообщений, относящихся к каналу TE, Message_Id относится к области смежности LMP.

Поле Message_Id в объекте MESSAGE_ID содержит выбранное генератором значение. Эти значения **должны** монотонно возрастать. Значение считается ранее использованным, если оно было передано в сообщении LMP с таким же CC_Id (для относящихся к каналу управления сообщений) или смежностью LMP (для сообщения, относящихся к TE Link). Поле Message_Id в сообщении MESSAGE_ID_ACK содержит значение Message_Id из подтверждаемого сообщения.

Неподтвержденные сообщения с объектом MESSAGE_ID **следует** передавать повторно, пока оно не будет подтверждено, если число повторов не будет исчерпано раньше (см. раздел 10).

Отметим, что 32-битовое поле Message_Id может достигать верхней границы. Для проверки отношений между последним и предшествующим ему значениями Message_Id можно использовать приведённое ниже выражение:

```
Если ((int) old_id - (int) new_id > 0) {
   Новое значение меньше предыдущего;
}
```

Узлам, обрабатывающим входящие сообщения, **следует** проверять соответствие нового сообщения порядку доставки - сообщения, нарушающие порядок можно игнорировать. Нарушение порядка можно обнаружить путём проверки значений поля Message_Id. Нарушающие порядок доставки сообщения следует отбрасывать без уведомления отправителя.

Если получено сообщение Config и значение Message_Id в нем меньше наибольшего значения Message_Id, принятого от того же отправителя для CC_Id, это сообщение **следует** считать нарушающим порядок.

Если получено сообщение LinkSummary и значение Message_Id в нем меньше наибольшего значения Message_Id, принятого от того же отправителя для TE Link, это сообщение **следует** считать нарушающим порядок.

Если получено сообщение ChannelStatus с Message_Id меньше наибольшего полученного ранее от того же отправителя Message_Id для заданного канала TE, получателю **следует** проверить полученное ранее значение Message_Id для состояния каждого канала данных, указанного в сообщении ChannelStatus. Если значение Message_Id превышает наибольшее принятое раньше значение Message_Id по крайней мере для одного из каналов данных, указанных в сообщении, **недопустимо** считать сообщение нарушающим порядок доставки, в противном случае его **следует** считать нарушающим порядок. Однако **недопустимо** менять состояние любого канала данных, если значение Message_Id меньше полученного недавно Message_Id, связанного с каналом данных.

Все остальные сообщения **недопустимо** считать нарушающими порядок доставки.

8. Аккуратный перезапуск

В этом разделе описан механизм повторной синхронизации состояния LMP после перезапуска уровня управления. Такой перезапуск может быть обусловлен восстановлением первого канала управления после коммуникационного отказа. Сбой коммуникаций может быть результатом отказа LMP-смежности или проблемы на узле, когда состояние управления LMP теряется без воздействия на уровень передачи данных. Последнее обнаруживается установкой флага LMP Restart в общем заголовке (Common Header) сообщений LMP. При отказе на уровне управления в результате потери канала управления информацию канала LMP следует сохранять. В некоторых случаях узел может оказаться способным сохранить информацию о состоянии канала LMP даже при отказе на этом узле. Однако в обоих случаях **должна** происходить повторная синхронизация состояний каналов данных.

Предполагается, что значения Node_Id и Local Interface_Id сохраняются при перезапуске уровня управления.

После перезапуска уровня управления на узле требуется заново организовать канал(ы) управления с использованием процедур из параграфа 3.1. При повторной организации каналов управления **следует** передавать сообщение Config с использованием индивидуальных (unicast) адресов IP для отправителя и получателя.

Если отказ уровня управления был результатом отказа узла, при котором состояние управления LMP было потеряно, в сообщениях LMP **должен** устанавливаться флаг LMP Restart, пока не будет получено сообщение Hello с RcvSeqNum = TxSeqNum (локальное значение). Это показывает активизацию канала управления и обнаружение перезапуска соседа LMP.

Далее предполагается, что перезапуск компоненты LMP происходит только на одной стороне канала TE. При перезапуске компоненты LMP на обеих сторонах TE Link следует использовать обычную процедуру LinkSummary, как описано в разделе 4.

После активизации канала управления сосед LMP **должен** передать сообщение LinkSummary для каждого TE Link через смежность. Для всех объектов в сообщении LinkSummary бит N **должен** быть сброшен (0) для индикации того, что параметры не согласуются. Это обеспечивает отображения между локальными/удалёнными Link_Id и Interface_Id, параметры соответствующих каналов данных и индикацию каналов данных, выделенных для пользовательского трафика. Когда узел получает сообщение LinkSummary, он проверяет локальную конфигурацию. Если узел способен сохранить информацию о канале LMP при перезапуске, он должен обработать сообщение LinkSummary в соответствии с разделом 4, но флаг выделения (allocated/de-allocated) в объекте DATA_LINK из принятого сообщения LinkSummary **должен** получать предпочтение по сравнению с любым локальным значением. Однако, если узел не способен сохранить информацию канала LMP при перезапуске, он **должен** воспринять параметры каналов данных из сообщения LinkSummary и ответить сообщением LinkSummaryAck.

По завершении обмена LinkSummary узлу, выполнявшему перезапуск управления, **следует** отправить сообщение ChannelStatusRequest для канала TE. Узлу **следует** также проверить связность всех не выделенных каналов.

9. Адресация

Все сообщения LMP передаются по протоколу UDP через порт LMP (за исключением в некоторых случаях сообщений Test, которые могут быть ограничены транспортным механизмом для передачи сообщений в основной полосе - in-band). Адресом получателя пакета IP **может** быть адрес, полученный в процедуре Configuration (т. е., адрес отправителя из заголовка пакета с сообщением Config), адрес IP, заданный в конфигурации удалённого узла или Node_Id. Сообщение Config является исключением, как отмечено выше.

Манера адресации для сообщений Config может зависеть от транспортного механизма сигнализации. При использовании канала «точка-точка» сообщения Config **следует** направлять по групповому адресу (224.0.0.1 или ff02::1). В остальных случаях сообщения Config **должны** направляться по IP-адресу соседнего узла. Этот адрес может задаваться в конфигурации на обеих сторонах канала управления или определяться автоматически.

10. Процедуры экспоненциального роста интервалов повтора

Этот раздел основан на [RFC2961] и описывает процедуры экспоненциального роста интервалов повторной передачи. Реализации **должны** использовать описанные процедуры или их эквивалент.

10.1. Работа

Ниже описан один из возможных механизмов экспоненциального увеличения интервалов повтора неподтвержденных сообщений LMP. Передающий узел повторяет сообщение, пока не будет получено подтверждение или достигнуто предельное число повторов. Получив подтверждение, передающий узел прекращает отправку повторов. Интервал между повторными сообщениями определяется таймером ускоренного повтора (rapid retransmission timer). Отсчёт этого таймера начинается с небольшого значения, а потом интервал экспоненциально увеличивается вплоть до установленного максимума.

Ниже описаны параметры, которые будут полезны для управления процедурой.

Интервал ускоренного повтора - Ri

> Ri определяет интервал повтора передачи неподтвержденного сообщения. После отправки сообщения передающий узел будет повторять передачу (если нет подтверждения) через Ri мсек.

Предел ускоренного повтора - Rl

> Rl определяет максимальное число повторов передачи неподтвержденного сообщения.

Увеличение интервала повтора Delta

> Параметр Delta задаёт скорость, с которой отправитель увеличивает интервал повтора передачи. Отношение между двумя последовательными интервалами определяется значением (1 + Delta).

По умолчанию предлагается использовать начальный интервал (Ri) в 500 мсек с удвоением каждого следующего интервала (Delta = 1) и максимальным числом повторов 3.

10.2. Алгоритм повтора передачи

После передачи узлом сообщения, которое требует подтверждения, ему незамедлительно следует запланировать повтор передачи через интервал Ri. Если соответствующее подтверждение придёт раньше, повтор передачи **следует** отменить. В противном случае сообщение передаётся. заново по истечении интервала (1+Delta)*Ri[1]. Повтор передачи следует продолжать, пока не будет получено подтверждение или достигнуто предельное число повторов Rl.

Передающий узел может применять для повтора требующих подтверждения сообщений приведённый ниже алгоритм.

```
Перед исходной передачей устанавливаются значения Rk = Ri и Rn = 0.
пока (Rn++ < Rl) {
  передать сообщение;
  выждать Rk мсек;
  Rk = Rk * (1 + Delta);
}
/* подтверждение или отсутствие отклика от получателя за время Rl */
выполнить всю требуемую очистку;
выход;
```

Асинхронно, когда отправитель получает соответствующее подтверждение, он меняет значения счётчика повторов Rn на Rl.

Отметим, что передающий узел не анонсирует и не согласует использование описанной выше процедуры увеличения интервала в сообщениях Config или LinkSummary.

11. Конечные автоматы LMP

11.1. FSM управляющего канала

Конечный автомат (FSM) канала управления определяет состояния и логику работы канала управления LMP.

[1]Так написано в оригинале, хотя это явно противоречит началу данного абзаца и приведённому ниже алгоритму. Указанное значение относится ко второму повтору, а не к первому, как написано в тексте. *Прим. перев.*

11.1.1. Состояния управляющего канала

Канал управления может находиться в одном из перечисленных ниже состояний. Каждое состояние соответствует некоторым условиям в канале управления и обычно связано с конкретным типом сообщений LMP, которые периодически отправляются на удалённую сторону.

Down

Это начальное состояние канала управления. В этом состоянии не предпринимается попыток активизации канала управления и передачи сообщений. Для параметров канала управления следует установить начальные значения.

ConfSnd

Канал находится в состоянии согласования параметров. В этом состоянии узел периодически отправляет сообщения Config, ожидая от удалённой стороны ответа в форме сообщения ConfigAck или ConfigNack. FSM не переходит в активное (Active) состояние, пока удалённая сторона не подтвердит параметры.

ConfRcv

Канал находится в состоянии согласования параметров. В этом состоянии узел ждёт подходящих конфигурационных параметров от удалённой стороны. После получения и подтверждения этих параметров FSM может переходить в состояние Active.

Active

В этом состоянии узел периодически отправляет сообщения Hello и ждёт в ответ приемлемых сообщений Hello. После приёма приемлемого сообщения Hello канал может переходить в рабочее (Up) состояние.

Up

Канал управления находится в рабочем состоянии. Узел получает приемлемые сообщения Hello и передаёт свои сообщения Hello.

GoingDown

Канал управления может перейти в это состояние в результате действий администратора. Пока канал находится в этом состоянии, узел устанавливает бит ControlChannelDown во всех отправляемых сообщениях.

11.1.2. События канала управления

Работа канала управления LMP описывается состояниями и событиями FSM. События порождаются нижележащими протоколами и программными модулями, а также процедурами обработки пакетов и FSM соответствующих каналов TE. Каждое событие имеет номер и символьное имя. Описания событий канала управления приведены ниже.

1: evBringUp - вызванное внешними обстоятельствами событие, показывающее, что следует начать согласование канала управления. Это событие может быть вызвано, например, успешным завершением процедуры организации (bootstrap) или настройкой конфигурации канала управления. В зависимости от конфигурации это будет вызывать одно из указанных ниже действий:

1a) передача сообщения Config;

1b) ожидание приёма сообщения Config от удалённого узла.

2: EvCCDn - это событие возникает при наличии индикации недоступности канала управления.

3: EvConfDone - это событие показывает приём сообщения ConfigAck, подтверждающего параметры из Config.

4: EvConfErr - это событие показывает приём сообщения ConfigNack, отвергающего параметры из Config.

5: EvNewConfOK - новое сообщение Config было принято от соседа и подтверждено ConfigAck.

6: evNewConfErr - новое сообщение Config было принято от соседа и отвергнуто с передачей ConfigNack.

7: evContenWin - новое сообщение Config было принято от соседа и в тот же момент соседу было передано сообщение Config. Локальный узел «выиграл состязание» и принятое сообщение Config игнорируется.

8: evContenLost - новое сообщение Config было принято от соседа и в тот же момент этому соседу было передано сообщение Config. Локальный узел «проиграл состязание».

8a) Сообщение Config подтверждено ConfigAck;

8b) Сообщение Config отвергнуто ConfigNack.

9: EvAdminDown - администратор запросил отключить канал управления административно.

10: EvNbrGoesDn - от соседа получен пакет с флагом ControlChannelDown.

11: EvHelloRcvd - получен пакет Hello с ожидаемым значением SeqNum.

12: EvHoldTimer - завершился отсчёт таймера HelloDeadInterval при отсутствии пакетов Hello, что переводит канал управления назад в состояние Negotiation и инициирует один из вариантов (в зависимости от конфигурации)

12a) периодическая отправка сообщений Config;

12b) ожидание сообщений Config от удалённого узла.

13: EvSeqNumErr - получено сообщение Hello с неожиданным SeqNum, сообщение отброшено.

14: EvReconfig - параметры канала управления были изменены и требуется новое согласование.

15: EvConfRet - завершился отсчёт таймера повтора и сообщение Config передано снова.

16: evHelloRet - завершился отсчёт таймера HelloInterval и сообщение Hello передано снова.

17: evDownTimer - завершился отсчёт таймера, но не было получено ни одного сообщения с флагом ControlChannelDown.

11.1.3. Описание FSM канала управления

На рисунке 3 показана работа FSM канала управления в форме диаграммы состояний FSM.

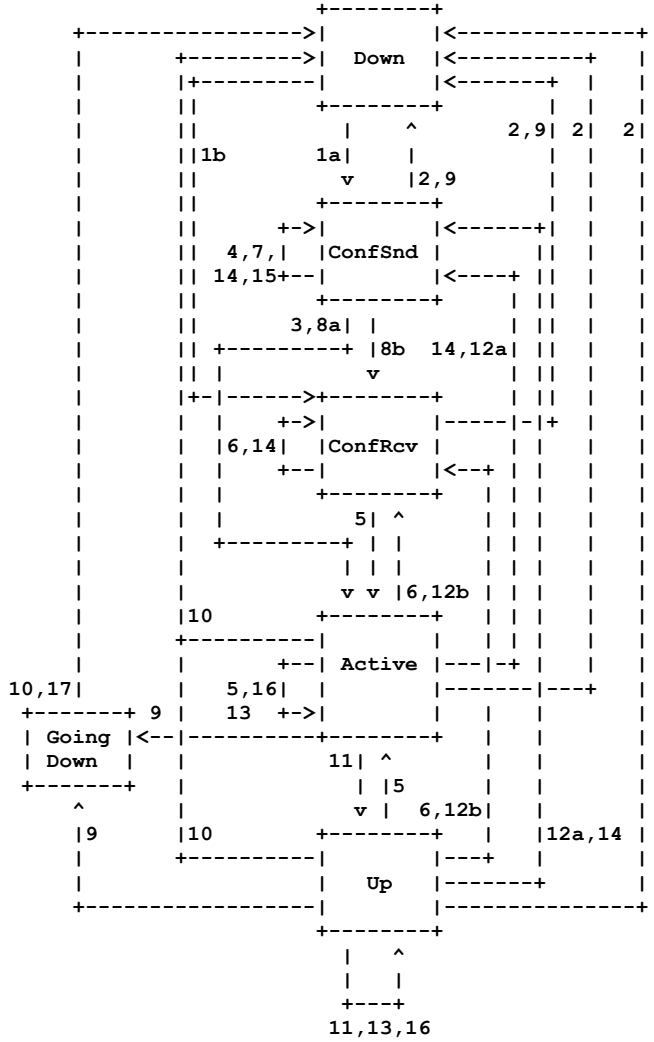


Рисунок 3. Диаграмма состояний FSM канала управления.

Событие evCCDn всегда переводит FSM в состояние Down, события evHoldTimer и evReconfig всегда переводят FSM в состояние Negotiation (ConfSnd или ConfRcv).

11.2. FSM канала TE

Машина конечных состояний TE Link FSM определяет состояния и логику работы LMP TE Link.

11.2.1. Состояния канала TE

Канал TE в LMP может находиться в одном из описанных ниже состояний. Каждое состояние соответствует некоторым условиям в канале TE и обычно связано с конкретными типами сообщений LMP, которые периодически передаются на удалённую сторону через соответствующий канал управления или в основной полосе через каналы данных.

Down

Для канала TE ещё не выделено каналов данных.

Init

Для канала TE выделены каналы данных, но конфигурация ещё не синхронизирована с соседом LMP. Соседу LMP периодически отправляются сообщения LinkSummary.

Up

Это нормальное рабочее состояние канала TE. Для работы между узлами, использующими канал TE, требуется организация хотя бы одного канала управления LMP. В процессе нормальной работы соседу LMP могут передаваться сообщения LinkSummary, генерируемые периодически или по внешним запросам.

Degraded

В этом состоянии управляющие каналы LMP не работают (Down), но канал TE продолжает включать некоторые каналы данных, выделенные для пользовательского трафика.

11.2.2. События каналов TE

Работа канала LMP TE описывается состояниями и событиями FSM. События канала TE порождаются программами обработки пакетов и машинами FSM соответствующих каналов управления и каналов данных. Каждое событие имеет номер и символьное имя, приведённые ниже.

1: EvDCUp - один или множество каналов данных включены и связаны с каналом TE.

2: EvSumAck - получено и подтверждено сообщение LinkSummary.

3: EvSumNack - получено и отвергнуто сообщение LinkSummary.

4: evRcvAck - получено сообщение LinkSummaryAck, подтверждающее конфигурацию TE Link.

5: evRcvNack - получено сообщение LinkSummaryNack.

6: evSumRet - завершился отсчёт таймера повтора и сообщение LinkSummary передано снова.

7: evCCUp - включён первый активный канал управления.

8: evCCDown - отключён последний активный канал управления.

9: evDCDown - удалён последний канал данных TE Link.

11.2.3. Описание машины конечных состояний канала TE

На рисунке 4 показана работа машины конечных состояний LMP TE Link в форме диаграммы смены состояний FSM.

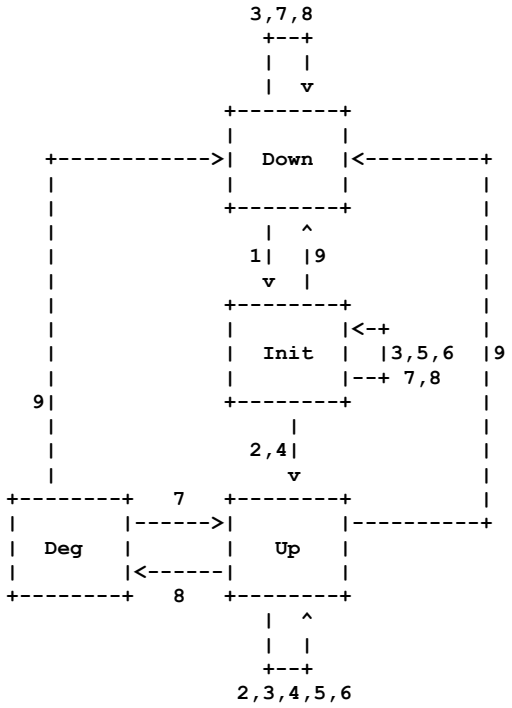


Рисунок 4. Диаграмма состояний FSM канала LMP TE.

На рисунке 4 субсостояния, возникающие в процессе выполнения процедуры проверки каналов, опущены.

11.3. FSM канала данных

FSM определяет состояния и логику работы канала данных в рамках канала LMP TE. Работа канала данных описывается состояниями и событиями FSM. Каналы данных могут находиться в активном (передача), когда через них передаются сообщения Test, или в пассивном (приём), когда сообщения Test передаются через них. Для обеспечения ясности приведены две FSM для активного и пассивного режима, а набор состояний и событий определён один.

11.3.1. Состояния канала данных

Любой канал данных может находиться в одном из описанных ниже состояний, каждое из которых соответствует неким условиям на канале.

Down
Канал данных не включён в пул ресурсов (т. е., канал не обслуживается).

Test
Канал данных тестируется и через него периодически передаются сообщения LMP Test.

PasvTest
Канал данных был проверен входящими тестовыми сообщениями.

Up/Free
Канал данных успешно протестирован и сейчас включён в пул ресурсов (обслуживается). Однако канал ещё не выделен для передачи трафика.

Up/Alloc
Канал выделен для передачи трафика.

11.3.2. События канала данных

События канала данных создаются программами обработки пакетов и FSM связанного канала управления и канала TE.

Каждое событие имеет номер и символьное имя, представленные ниже.

1: evCCUp - поднят (up) первый активный канал управления.

2: evCCDown - потеряна связность с соседом LMP. Это говорит об отказе на последнем канале управления LMP между соседними узлами.

3: evStartTst - внешнее событие, включающее передачу сообщений Test через канал данных.

4: evStartPsv - внешнее событие, включающее прослушивание (приём) сообщений Test через канал данных.

5: evTestOK - проверка канала завершилась успехом и этот канал может использоваться для организации пути.

(a) Это событие говорит об успешном завершении процедуры Link Verification (раздел 5) для данного канала и получении через канал управления сообщения TestStatusSuccess.

(b) Это событие показывает готовность канала для организации пути, но процедура Link Verification не использовалась. Для сигнализации в основной полосе канала управления организации этого канала может быть достаточно для проверки канала.

6: evTestRcv - было получено сообщение Test через порт данных и передано сообщение TestStatusSuccess в канал управления.

7: evTestFail - отрицательный результат процедуры проверки канала, который мог быть обусловлен (a) получением сообщения TestStatusFailure или (b) завершением процедуры проверки без приёма сообщения TestStatusSuccess или TestStatusFailure для канала данных.

8: evPsvTestFail - отрицательный результат процедуры проверки канала, который показывает, что сообщение Test не было обнаружено и (a) время VerifyDeadInterval истекло или (b) процедура проверки завершилась до истечения времени VerifyDeadInterval.

9: evLnkAlloc - канал данных выделен.

10: evLnkDealloc - выделение канала данных отменено.

11: evTestRet - завершился отсчёт таймера повтора и сообщение Test передано заново.

12: evSummaryFail - LinkSummary не соответствует порту данных.

13: evLocalizeFail - для этого канала данных был обнаружен (локализован) отказ.

14: evdcDown - канал данных больше не доступен.

11.3.3. Описание FSM активного канала данных

На рисунке 5 показана работа FSM активного канала данных LMP в форме диаграммы смены состояний FSM.

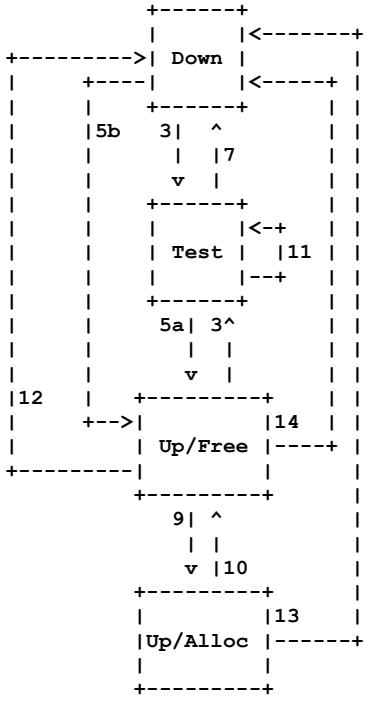


Рисунок 5. FSM активного канала данных.

11.3.4. Описание FSM пассивного канала данных

На рисунке 6 показана работа FSM пассивного канала данных LMP в форме диаграммы смены состояний FSM.

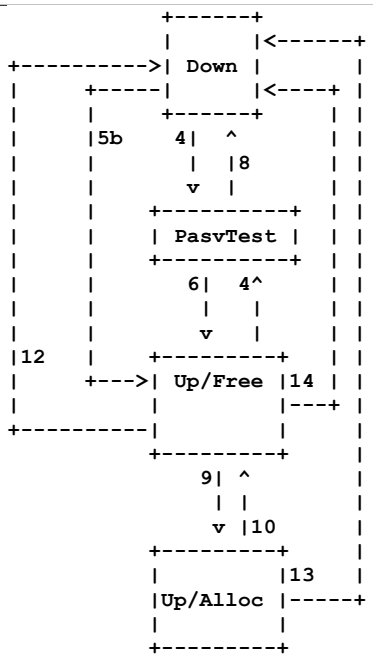


Рисунок 6. FSM пассивного канала данных.

12. Форматы сообщений LMP

Все сообщения LMP (за исключением в некоторых случаях сообщений Test, которые могут быть ограничены транспортным механизмом передачи сообщений по основному каналу) передаются по протоколу UDP через порт LMP (701).

12.1. Общий заголовок

В дополнение к заголовку UDP и стандартному заголовку IP все сообщения LMP (за исключением в некоторых случаях сообщений Test, которые могут быть ограничены транспортным механизмом передачи сообщений по основному каналу) используют показанный ниже формат заголовков.

```
 0                   1                   2                   3
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
| Vers  |      (резерв)         |    Flags      |    Msg Type   |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|           LMP Length          |          (резерв)             |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Все резервные (Reserved) поля следует устанавливать в 0 при передаче и игнорировать на приёмной стороне.

Все значения указаны в сетевом порядке байтов (big-endian - сначала старший байт).

Vers (4 бита)

Номер версии протокола (1 для текущей версии).

Flags (8 битов)

Ниже приведены две определённых комбинации битов. Все остальные биты являются резервными и их следует устанавливать в 0 при передаче и игнорировать на приёмной стороне.

0x01: ControlChannelDown

0x02: LMP Restart

Этот бит устанавливается для индикации отказа на узле и потери состояния управления LMP. Флаг может быть сброшен в 0 при получении сообщения Hello со значением RcvSeqNum, равным локальному TxSeqNum.

Msg Type (8 битов)

Ниже перечислены определённые значения, все остальные значения являются резервными.

1 = Config
2 = ConfigAck
3 = ConfigNack
4 = Hello
5 = BeginVerify
6 = BeginVerifyAck
7 = BeginVerifyNack
8 = EndVerify
9 = EndVerifyAck
10 = Test
11 = TestStatusSuccess
12 = TestStatusFailure
13 = TestStatusAck
14 = LinkSummary
15 = LinkSummaryAck
16 = LinkSummaryNack
17 = ChannelStatus
18 = ChannelStatusAck
19 = ChannelStatusRequest
20 = ChannelStatusResponse

Все сообщения, передаются через канал управления, **за исключением** сообщений Test, которые передаются через тестируемый канал данных.

LMP Length (16 битов)

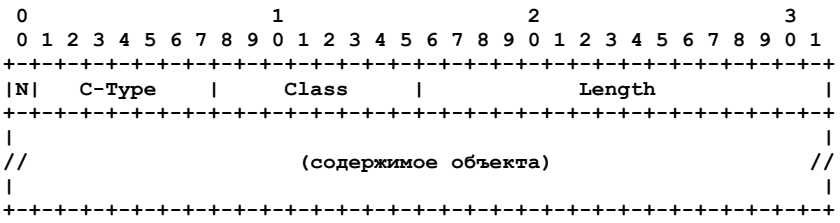
Общий размер данного сообщения LMP в байтах с учётом общего заголовка и последующих объектов переменного размера.

12.2. Формат объекта LMP

Сообщения LMP создаются с использованием объектов, каждый из которых идентифицируется классом (Object Class) и типом (Class-type). Каждый объект имеет имя, которое в данном документе всегда указывается заглавными буквами. Объекты LMP могут быть согласуемыми или несогласуемыми (указывается битом N в заголовке объекта). Согласуемые объекты могут использоваться для того, чтобы устройства могли согласовать некие значения. Несогласуемые объекты служат для анонсирования конкретных значений, которые не нужно или невозможно согласовать.

Все значения указываются в сетевом порядке байтов (т. е., big-endian).

Формат объекта LMP показан ниже.



N (1 бит)

Флаг N указывает возможность согласования объекта (N=1).

C-Type (7 битов)

Значение Class-type, уникальное в данном Object Class. Значения типов определены в разделе 13.

Class (8 битов)

Поле Class указывает тип объекта. Каждый объект имеет имя, которое в данном документе всегда указывается заглавными буквами.

Length (16 битов)

Указывает размер объекта в байтах с учётом полей N, C-Type, Class и Length.

12.3. Сообщения при согласовании параметров

12.3.1. Сообщение Config (Msg Type = 1)

Сообщения Config используются в фазе согласования канала управления LMP. Содержимое сообщений Config создаётся с использованием объектов LMP. Формат сообщения Config показан ниже.

```
<Config Message> ::= <Common Header> <LOCAL_CCID> <MESSAGE_ID> <LOCAL_NODE_ID> <CONFIG>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Объект MESSAGE_ID находится с зоне действия объекта LOCAL_CCID.

Сообщения Config **должны** передаваться периодически, пока не будет (1) получено сообщение ConfigAck или ConfigNack, (2) достигнуто предельное число повторов при отсутствии ConfigAck или ConfigNack или (3) получено сообщение Config от удалённого узла и «состязание» было проиграно (например, Node_Id удалённого узла больше локального Node_Id). Интервал повтора и предельное число попыток задаются в локальной конфигурации.

12.3.2. Сообщение ConfigAck (Msg Type = 2)

Сообщения ConfigAck служат для подтверждения приёма сообщений Config и говорят о согласии со всеми предложенными в них параметрами.

```
<ConfigAck Message> ::= <Common Header> <LOCAL_CCID> <LOCAL_NODE_ID>
                        <REMOTE_CCID> <MESSAGE_ID_ACK> <REMOTE_NODE_ID>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Содержимое объектов REMOTE_CCID, MESSAGE_ID_ACK и REMOTE_NODE_ID **должно** копироваться из подтверждаемого сообщения Config.

12.3.3. Сообщение ConfigNack (Msg Type = 3)

Сообщения ConfigNack служат для подтверждения приёма сообщений Config и говорят о несогласии с предложенными (несогласуемыми) параметрами или предлагают другие значения для согласуемых параметров. Параметры, по которым имеется согласие, **недопустимо** включать в сообщение ConfigNack Message. Формат сообщения ConfigNack показан ниже.

```
<ConfigNack Message> ::= <Common Header> <LOCAL_CCID> <LOCAL_NODE_ID> <REMOTE_CCID>
                         <MESSAGE_ID_ACK> <REMOTE_NODE_ID> <CONFIG>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Содержимое объектов REMOTE_CCID, MESSAGE_ID_ACK и REMOTE_NODE_ID **должно** копироваться из отвергаемого сообщения Config.

В сообщении Config может оказаться множество неприемлемых параметров.

Если в сообщение ConfigNack включён объект CONFIG для согласуемых параметров, он **должен** содержать приемлемые значения этих параметров.

Если в сообщение ConfigNack включён объект CONFIG для несогласуемых параметров, он **должен** содержать копии из объектов CONFIG, полученных в сообщении Config.

Если полученное сообщение ConfigNack включает только согласуемые объекты CONFIG, в ответ **следует** передать новое сообщение SHOULD. В значениях объекта CONFIG в этом новом сообщении Config **следует** принимать во внимание приемлемые значения параметров из сообщения ConfigNack.

Если узел получает сообщение Config и распознает в нем объект CONFIG, но не распознает C-Type, в ответ **должно** быть передано сообщение ConfigNack, включающее неизвестный объект CONFIG.

12.4. Сообщение Hello (Msg Type = 4)

Формат сообщения Hello показан ниже.

```
<Hello Message> ::= <Common Header> <LOCAL_CCID> <HELLO>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Сообщения Hello **должны** передаваться периодически, хотя бы 1 раз каждые HelloInterval мсек. Если в течение интервала HelloDeadInterval не было получено ни одного сообщения Hello, предполагается отказ канала управления.

12.5. Сообщения для проверки канала

12.5.1. Сообщение BeginVerify (Msg Type = 5)

Сообщение BeginVerify передаётся. через канал управления и служит для инициирования процесса проверки канала. Формат сообщения показан ниже.

```
<BeginVerify Message> ::= <Common Header> <LOCAL_LINK_ID>
                          <MESSAGE_ID> [<REMOTE_LINK_ID>] <BEGIN_VERIFY>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Для ограничения области действия Link Verification конкретным каналом TE Link поле Link_Id в объекте LOCAL_LINK_ID **должно** иметь ненулевое значение. Если это поле равно 0, каналы данных будут охватывать множество каналов TE и/или могут включать ещё не организованный канал TE. В специальном случае установки локального значения Link_Id = 0 используется флаг Verify all Links объекта BEGIN_VERIFY для того, чтобы различить каналы данных, входящие во множество каналов TE, от тех каналов, которые ещё не выделены для канала TE (см. раздел 5).

Если известно отображение между локальным и удаленным Link_Id, может включаться объект REMOTE_LINK_ID.

При включении объекта REMOTE_LINK_ID поле Link_Id в нем **должно** быть отлично от 0.

Сообщения BeginVerify **должны** передаваться периодически, пока (1) узел не получит сообщения BeginVerifyAck или BeginVerifyNack о восприятии или отказе от проверки или (2) не будет достигнуто предельное число повторов без BeginVerifyAck или BeginVerifyNack. Интервал и число повторов являются параметрами локальной конфигурации.

12.5.2. Сообщение BeginVerifyAck (Msg Type = 6)

При наличии готовности обрабатывать сообщения Test в ответ на приём сообщения BeginVerify **должно** передаваться сообщение BeginVerifyAck.

```
<BeginVerifyAck Message> ::= <Common Header> [<LOCAL_LINK_ID>]
                             <MESSAGE_ID_ACK> <BEGIN_VERIFY_ACK> <VERIFY_ID>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Если отображение между локальным и удаленным Link_Id известно или может быть определено из сообщения BeginVerify, может включаться объект LOCAL_LINK_ID.

При включении объекта LOCAL_LINK_ID поле Link_Id в нем **должно** быть отлично от 0.

Содержимое объекта MESSAGE_ID_ACK **должно** копироваться из подтверждаемого сообщения BeginVerify.

Объект VERIFY_ID содержит уникальное в рамках узла значение, выделяемое создателем сообщения BeginVerifyAck. Это значение служит для уникальной идентификации проверочных процессов (Verification) от множества соседей LMP и/или параллельных процедур Test между парой соседей LMP.

12.5.3. Сообщение BeginVerifyNack (Msg Type = 7)

При отсутствии готовности или желания обрабатывать сообщения Test в ответ на приём сообщения BeginVerify **должно** передаваться сообщение BeginVerifyNack.

```
<BeginVerifyNack Message> ::= <Common Header> [<LOCAL_LINK_ID>] <MESSAGE_ID_ACK> <ERROR_CODE>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Содержимое объекта MESSAGE_ID_ACK **должно** копироваться из отвергаемого сообщения BeginVerify.

Если процесс проверки не поддерживается, поле ERROR_CODE **должно** указывать, что процедура Link Verification не поддерживается.

Если процесс проверки поддерживается, но узел не способен начать процедуру, поле ERROR_CODE **должно** указывать Unwilling to verify. При получении BeginVerifyNack с таким значением ERROR_CODE узлу, инициировавшему BeginVerify, **следует** запланировать повтор BeginVerify по истечении Rf секунд (Rf задаётся локальным параметром).

Если механизм Verification Transport не поддерживается, поле ERROR_CODE **должно** указывать Unsupported verification transport mechanism.

Если удалённая установка Link_Id не поддерживается и содержимое объекта REMOTE_LINK_ID (из сообщения BeginVerify) не соответствует ни одному из заданных в конфигурации значений, поле ERROR_CODE **должно** указывать ошибку конфигурации Link_Id.

Если узел, получивший сообщение BeginVerify, распознает объект BEGIN_VERIFY, но не распознает C-Type, поле ERROR_CODE **должно** указывать Unknown object C-Type.

12.5.4. Сообщение EndVerify (Msg Type = 8)

Сообщение EndVerify передаётся. через канал управления и служит для прерывания процесса тестирования канала. Сообщение EndVerify может передаваться в любой момент узлом, желающим прервать процедуру Verify. Формат сообщения показан ниже.

```
<EndVerify Message> ::=<Common Header> <MESSAGE_ID> <VERIFY_ID>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Сообщения EndVerify передаются периодически, пока не будет (1) получено сообщение EndVerifyAck или (2) исчерпано число повторов без получения EndVerifyAck. Интервал повтора и число попыток задаются параметрами локальной конфигурации.

12.5.5. Сообщение EndVerifyAck (Msg Type = 9)

Сообщение EndVerifyAck передаётся. через канал управления и служит для подтверждения окончания процесса проверки. Формат сообщения показан ниже.

```
<EndVerifyAck Message> ::= <Common Header> <MESSAGE_ID_ACK> <VERIFY_ID>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Содержимое объекта MESSAGE_ID_ACK **должно** быть получено из подтверждаемого сообщения EndVerify.

12.5.6. Сообщение Test (Msg Type = 10)

Сообщение Test передаётся. через канал данных и служит для проверки физической связности канала. Если явно не указано иное, эти сообщения **должны** передаваться по протоколу UDP, как и все остальные сообщения LMP. Формат сообщения Test показан ниже.

```
<Test Message> ::= <Common Header> <LOCAL_INTERFACE_ID> <VERIFY_ID>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Отметим, что эти сообщения передаются через канал данных, а **не** канал управления. Механизм транспортировки сообщений Test согласуется с помощью поля Verify Transport Mechanism в объекте BEGIN_VERIFY и поля Verify Transport Response в объекте BEGIN_VERIFY_ACK (см. параграфы 13.8 и 13.9).

Локальный (передающий) узел передаёт данное сообщение Test периодически (по крайней мере один раз за каждые VerifyInterval мсек) в соответствующий канал данных, пока (1) не получит ответное сообщение TestStatusSuccess или TestStatusFailure по каналу управления от удалённого (отвечающего) узла или (2) не произойдёт отказ на всех активных каналах управления между этими узлами. Удалённый узел будет передавать данное сообщение TestStatus через канал управления периодически, пока не получит соответствующее сообщение TestStatusAck или EndVerify.

12.5.7. Сообщение TestStatusSuccess (Msg Type = 11)

Сообщение TestStatusSuccess передаётся. через канал управления и служит для передачи отображений между локальным Interface_Id и Interface_Id интерфейса, принявшего сообщение Test.

```
<TestStatusSuccess Message> ::= <Common Header> <LOCAL_LINK_ID> <MESSAGE_ID>
                                <LOCAL_INTERFACE_ID> <REMOTE_INTERFACE_ID> <VERIFY_ID>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Содержимое объекта REMOTE_INTERFACE_ID **должно** браться из подтверждаемого сообщения Test.

12.5.8. Сообщение TestStatusFailure (Msg Type = 12)

Сообщение TestStatusFailure передаётся. через канал управления и служит для для индикации того, что сообщение Test не было получено.

```
<TestStatusFailure Message> ::= <Common Header> <MESSAGE_ID> <VERIFY_ID>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

12.5.9. Сообщение TestStatusAck (Msg Type = 13)

Сообщение TestStatusAck служит для подтверждения приёма сообщения TestStatusSuccess или TestStatusFailure.

```
<TestStatusAck Message> ::= <Common Header> <MESSAGE_ID_ACK> <VERIFY_ID>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Содержимое объекта MESSAGE_ID_ACK **должно** браться из подтверждаемого сообщения TestStatusSuccess или TestStatusFailure.

12.6. Сообщения о состоянии канала

12.6.1. Сообщение LinkSummary (Msg Type = 14)

Сообщения LinkSummary служат для синхронизации Interface_Id и сопоставления свойств каналов TE. Формат LinkSummary показан ниже.

```
<LinkSummary Message> ::= <Common Header> <MESSAGE_ID> <TE_LINK> <DATA_LINK> [<DATA_LINK>...]
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Обмен сообщениями LinkSummary может происходить в любой момент, когда на канале не выполняется процесс Verification. Сообщения LinkSummary **должны** передаваться периодически, пока (1) узел не получит ответного сообщения LinkSummaryAck или LinkSummaryNack или (2) не будет достигнуто предел повторов без получения LinkSummaryAck или LinkSummaryNack. Интервал передачи и число повторов задаются в локальной конфигурации.

12.6.2. Сообщение LinkSummaryAck (Msg Type = 15)

Сообщение LinkSummaryAck служит для индикации согласия на синхронизацию Interface_Id и восприятия/согласия всех параметров канала. Именно при получении этого сообщения локальный узел создаёт привязки Link_Id.

```
<LinkSummaryAck Message> ::=  <Common Header> <MESSAGE_ID_ACK>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

12.6.3. Сообщение LinkSummaryNack (Msg Type = 16)

Сообщение LinkSummaryNack служит для индикации несогласия с несогласуемыми (non-negotiated) предложенными параметрами или предложения других значений согласуемых параметров. Параметры, со значениями которых узел согласен, **недопустимо** включать в сообщение LinkSummaryNack.

```
<LinkSummaryNack Message> ::= <Common Header> <MESSAGE_ID_ACK> <ERROR_CODE> [<DATA_LINK>...]
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Объект данных DATA_LINK **должен** включать подходящие значения всех согласуемых параметров. Если LinkSummaryNack включает объекты DATA_LINK для несогласуемых параметров, они **должны** копироваться из объектов DATA_LINK в принятом сообщении LinkSummary.

Если полученное сообщение LinkSummaryNack включает лишь согласуемые параметры, в ответ **следует** отправить новое сообщение LinkSummary. Значения параметров из принятого сообщения LinkSummary **следует** принимать во внимание при включении подходящих параметров в новое сообщение LinkSummaryNack.

Если получено сообщение LinkSummary с неприемлемыми несогласуемыми параметрами, поле ERROR_CODE **должно** указывать Unacceptable non-negotiable LINK_SUMMARY parameters.

Если получено сообщение LinkSummary с неприемлемыми согласуемыми параметрами, поле ERROR_CODE **должно** указывать Renegotiate LINK_SUMMARY parameters.

Если получено сообщение LinkSummary с непригодным объектом TE_LINK, поле ERROR_CODE **должно** указывать Invalid TE_LINK object.

Если получено сообщение LinkSummary с непригодным объектом DATA_LINK, поле ERROR_CODE **должно** указывать Invalid DATA_LINK object."

Если получено сообщение LinkSummary с объектом TE_LINK, но тип C-Type не известен, поле ERROR_CODE **должно** указывать Unknown TE_LINK object C-Type.

Если получено сообщение LinkSummary с объектом DATA_LINK, но тип C-Type не известен, поле ERROR_CODE **должно** указывать Unknown DATA_LINK object C-Type.

12.7. Сообщения контроля отказов

12.7.1. Сообщение ChannelStatus (Msg Type = 17)

Сообщение ChannelStatus передаётся. через канал управления и служит для уведомления соседа LMP о состоянии канала данных. Получивший ChannelStatus узел **должен** ответить сообщением ChannelStatusAck. Формат ChannelStatus показан ниже.

```
<ChannelStatus Message> ::= <Common Header> <LOCAL_LINK_ID> <MESSAGE_ID> <CHANNEL_STATUS>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Если объект CHANNEL_STATUS не содержит ни одного Interface_Id, это говорит об отказе канала TE целиком.

12.7.2. Сообщение ChannelStatusAck (Msg Type = 18)

Сообщение ChannelStatusAck служит для подтверждения приёма ChannelStatus. Формат сообщения показан ниже.

```
<ChannelStatusAck Message> ::= <Common Header> <MESSAGE_ID_ACK>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Содержимое объекта MESSAGE_ID_ACK **должно** копироваться из подтверждаемого сообщения ChannelStatus.

12.7.3. Сообщение ChannelStatusRequest (Msg Type = 19)

Сообщения ChannelStatusRequest передаются через канал управления для запроса данных о состоянии одного или множества каналов данных. Принявший ChannelStatusRequest узел **должен** ответить сообщением ChannelStatusResponse. Формат ChannelStatusRequest показан ниже.

```
<ChannelStatusRequest Message> ::= <Common Header> <LOCAL_LINK_ID>
                                   <MESSAGE_ID> [<CHANNEL_STATUS_REQUEST>]
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Если объект CHANNEL_STATUS_REQUEST не включён в сообщение, ChannelStatusRequest будет служить запросом состояния **всех** каналов данных в TE Link.

12.7.4. Сообщение ChannelStatusResponse (Msg Type = 20)

Сообщение ChannelStatusResponse служит для подтверждения приёма ChannelStatusRequest и уведомления соседа LMP о состоянии каналов данных. Формат сообщения показан ниже.

```
   <ChannelStatusResponse Message> ::= <Common Header> <MESSAGE_ID_ACK> <CHANNEL_STATUS>
```

Указанный выше порядок объектов **следует** соблюдать.

Содержимое объекта MESSAGE_ID_ACK **должно** копироваться из подтверждаемого сообщения ChannelStatusRequest.

13. Определения объектов LMP

13.1. Класс CCID (Control Channel ID)

```
Class = 1
C-Type = 1, LOCAL_CCID
 0                   1                   2                   3
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                            CC_Id                              |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

CC_Id - 32 бита

Это значение **должно** отличаться от 0 и быть уникальным в масштабе узла. CC_Id указывает канал управления, который отправитель связывает с сообщением.

Объект не согласуется.

```
C-Type = 2, REMOTE_CCID
 0                   1                   2                   3
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                            CC_Id                              |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

CC_Id - 32 бита

Это значение указывает CC_Id удалённого узла и **должен** отличаться от 0.

Объект не согласуется.

13.2. Класс NODE_ID

```
Class = 2
C-Type = 1, LOCAL_NODE_ID
 0                   1                   2                   3
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                      Node_Id (4 байта)                        |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Node_Id

Это значение указывает узел, создавший пакет LMP.

Объект не согласуется.

```
C-Type = 2, REMOTE_NODE_ID
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                      Node_Id (4 байта)                        |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Node_Id

Это значение указывает удалённый узел.

Объект не согласуется.

13.3. Класс LINK_ID

```
Class = 3
C-Type = 1, IPv4 LOCAL_LINK_ID
C-Type = 2, IPv4 REMOTE_LINK_ID
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                      Link_Id (4 байта)                        |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+

C-Type = 3, IPv6 LOCAL_LINK_ID
C-Type = 4, IPv6 REMOTE_LINK_ID
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +                      Link_Id (16 байтов)                      +
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
C-Type = 5, Unnumbered LOCAL_LINK_ID
C-Type = 6, Unnumbered REMOTE_LINK_ID
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                      Link_Id (4 байта)                        |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Link_Id

Для LOCAL_LINK_ID указывает канал отправителя, связанный с сообщением, и **должно** быть отлично от 0.

Для REMOTE_LINK_ID указывает Link_Id удалённого узла и **должно** быть отлично от 0.

Объект не согласуется.

13.4. Класс INTERFACE_ID

```
Class = 4
C-Type = 1, IPv4 LOCAL_INTERFACE_ID
C-Type = 2, IPv4 REMOTE_INTERFACE_ID
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                      Interface_Id (4 байта)                   |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
C-Type = 3, IPv6 LOCAL_INTERFACE_ID
C-Type = 4, IPv6 REMOTE_INTERFACE_ID
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +                      Interface_Id (16 байтов)                 +
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
C-Type = 5, Unnumbered LOCAL_INTERFACE_ID
C-Type = 6, Unnumbered REMOTE_INTERFACE_ID
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                      Interface_Id (4 байта)                   |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Interface_Id

Для LOCAL_INTERFACE_ID это значение указывает канал данных, оно **должно** отличаться от 0 и быть уникальным в масштабе узла.

Для REMOTE_INTERFACE_ID это значение указывает канал данных на удалённом узле и **должно** отличаться от 0.

Объект не согласуется.

13.5. Класс MESSAGE_ID

```
Class = 5
C-Type=1, MessageId
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                          Message_Id                           |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Message_Id

Поле Message_Id служит для идентификации сообщения. Значение поля инкрементируется и может уменьшаться только при достижении максимума. Идентификаторы сообщений используются для подтверждения.

Объект не согласуется.

```
C-Type = 2, MessageIdAck
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                          Message_Id                           |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Message_Id

Поле Message_Id служит для идентификации подтверждаемого сообщения и копируется из объекта MESSAGE_ID в этом сообщении.

Объект не согласуется.

13.6. Класс CONFIG

```
Class = 6.
C-Type = 1, HelloConfig
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |         HelloInterval         |      HelloDeadInterval        |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

HelloInterval - 16 битов

Указывает интервал между передачей последовательных пакетов Hello в миллисекундах.

HelloDeadInterval - 16 битов

Если в течение интервала HelloDeadInterval не было принято пакетов Hello, предполагается отказ канала управления. Значение HelloDeadInterval указывается в миллисекундах. Значение HelloDeadInterval **должно** быть больше HelloInterval и его **следует** делать не меньше 3 * HelloInterval.

Если в LMP не применяется ускоренный механизм keep-alive, в полях HelloInterval и HelloDeadInterval **должно** быть установлено значение 0.

13.7. Класс HELLO

```
Class = 7
C-Type = 1, Hello
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                          TxSeqNum                             |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                          RcvSeqNum                            |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

TxSeqNum - 32 бита

Это поле указывает текущий порядковый номер для данного сообщения Hello. Это значение будет инкрементироваться, когда порядковый номер будет отражён поле RcvSeqNum пакета Hello, полученного через канал управления.

Значение TxSeqNum=0 не разрешается, TxSeqNum=1 служит для обозначения первого сообщения Hello, передаваемого через канал управления.

RcvSeqNum - 32 бита

Указывает порядковый номер последнего сообщения Hello, принятого через канал управления. Значение RcvSeqNum=0 служит для обозначения того, что сообщений Hello ещё не было получено.

Объект не согласуется.

13.8. Класс BEGIN_VERIFY

```
Class = 8
C-Type = 1
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |    Flags                      |         VerifyInterval        |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                      Number of Data Links                     |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |    EncType    |   (резерв)    |  Verify Transport Mechanism   |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                      TransmissionRate                         |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                         Wavelength                            |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Резервные поля следует устанавливать в 0 при передаче и игнорировать при получении.

Flags - 16 битов

Определённые в настоящее время флаги перечислены ниже.

0x0001 Verify all Links - проверить все каналы

Установленный флаг задаёт проверку всех не распределенных каналов, при сброшенном флаге проверяются лишь новые порты и компонентные соединения, добавленные в этот TE link.

0x0002 Data Link Type - тип канала данных

При установленном флаге будут проверяться порты, при сброшенном - компонентные соединения.

VerifyInterval - 16 битов

Указывает интервал между последовательными сообщениями Test в миллисекундах.

Number of Data Links - 32 бита

Указывает число проверяемых каналов данных.

EncType - 8 битов

Указывает тип кодирования для канала данных. Определённые значения EncType согласованы со значениями LSP Encoding Type из [RFC3471].

Verify Transport Mechanism - 16 битов

Определяет транспортный механизм для сообщений Test. Область действия этой битовой маски ограничена для каждого типа кодирования. Локальный узел будет устанавливать биты, соответствующие разным механизмам, которые он может поддерживать для передачи тестовых сообщений LMP. Получатель выбирает подходящий механизм в сообщении BeginVerifyAck.

Ниже приведён флаг, определённый для всех типов кодирования, все остальные флаги зависят от Encoding Type.

0x8000 - Payload (тестовое сообщение будет передаваться в поле данных - payload)

Возможна передача сообщений Test в поле данных (payload). Сообщение Test передаётся. в форме пакета IP, как описано выше.

TransmissionRate - 32 бита

Указывает скорость передачи канала данных, через который будут отправляться сообщения Test. Скорость указывается в бит/с с использованием формата IEEE floating-point.

Wavelength - 32 бита

Когда канал данных связан с портом или компонентным каналом, способным передавать на разных длинах волн (т. е. оптический порт с поддержкой диапазона длин волн), важно знать, на какой длине волны будет передаваться тестовое сообщение. Это значение соответствует длине волны, используемой для передачи сообщений Test, и имеет локальную значимость. Если используемая для передачи тестовых сообщений длина волны определена однозначно, в этом поле **следует** указывать значение 0.

13.9. Класс BEGIN_VERIFY_ACK

```
Class = 9
C-Type = 1
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |      VerifyDeadInterval       |   Verify_Transport_Response   |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

VerifyDeadInterval - 16 битов

Если сообщение Test не было обнаружено в течение интервала VerifyDeadInterval, узел будет передавать сообщение TestStatusFailure для этого канала данных.

Verify_Transport_Response - 16 битов

Получатель сообщения BeginVerify (и будущий получатель сообщений TEST) выбирает транспортный механизм из числа предложенных отправителем сообщений Test. В отклике для проверки транспорта **должен** устанавливаться один и только один бит.

Объект не согласуется.

13.10. Класс VERIFY_ID

```
Class = 10
C-Type = 1
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                          Verify_Id                            |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Verify_Id - 32 бита

Это значение служит для того, чтобы отделить сообщения Test разных каналов TE и/или партнёров LMP. Значение уникально в масштабе узла и выделяется получателем сообщения BeginVerify.

Объект не согласуется.

13.11. Класс TE_LINK

```
Class = 11
C-Type = 1, IPv4 TE_LINK
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |     Flags     |                    (резерв)                   |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                      Local_Link_Id (4 байта)                  |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                      Remote_Link_Id (4 байта)                 |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+

C-Type = 2, IPv6 TE_LINK
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |     Flags     |                    (резерв)                   |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +                      Local_Link_Id (16 байтов)                +
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +                      Remote_Link_Id (16 байтов)               +
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
C-Type = 3, Unnumbered TE_LINK
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |     Flags     |                    (резерв)                   |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                      Local_Link_Id (4 байта)                  |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                      Remote_Link_Id (4 байта)                 |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Резервные поля следует устанавливать в 0 при передаче и игнорировать при получении.

Flags - 8 битов

Определённые к настоящему моменту флаги приведены ниже. Все остальные биты следует сбрасывать в 0 при передаче и игнорировать при получении.

0x01 - поддерживается контроль отказов:

0x02 - поддерживается проверка канала.

Local_Link_Id

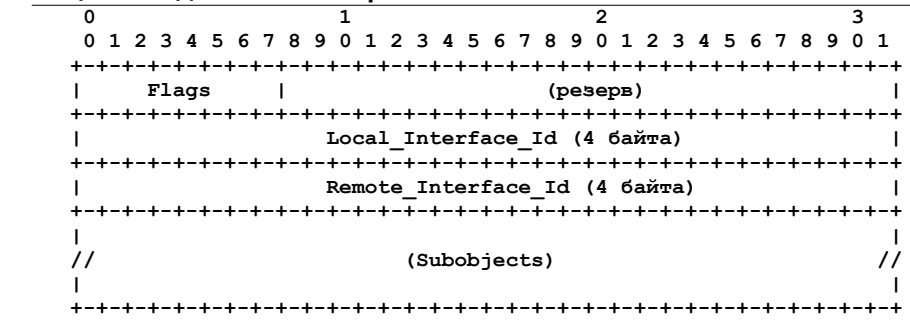
Указывает Link_Id для локального узла и **должен** отличаться от 0.

Remote_Link_Id

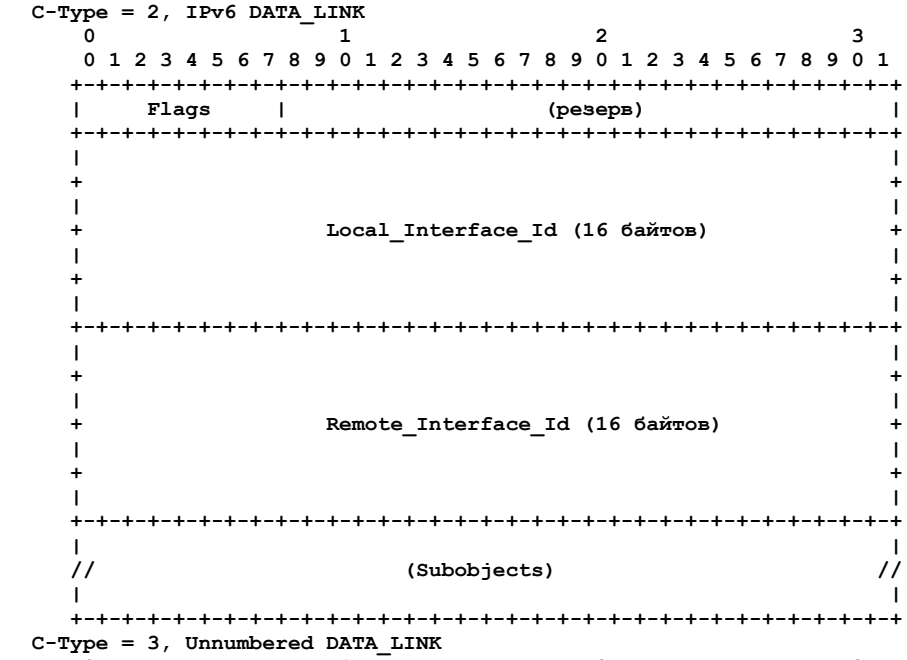
Указывает Link_Id для удалённого узла и **должен** отличаться от 0.

13.12. Класс DATA_LINK

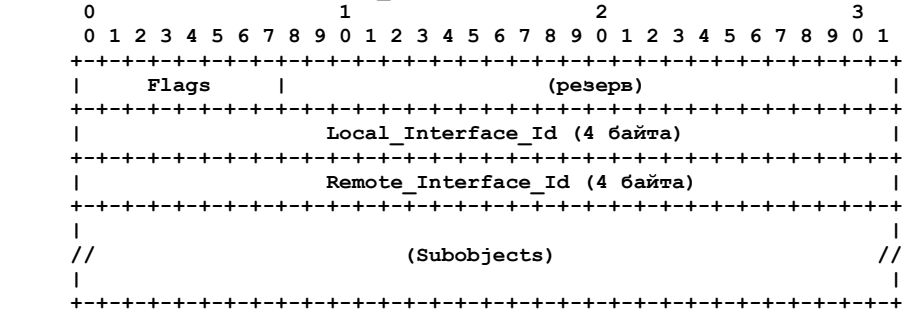
```
Class = 12
C-Type = 1, IPv4 DATA_LINK
```



C-Type = 2, IPv6 DATA_LINK



C-Type = 3, Unnumbered DATA_LINK



Резервные поля следует устанавливать в 0 при передаче и игнорировать при получении.

Flags - 8 битов

Определённые к настоящему моменту флаги приведены ниже. Все остальные биты следует сбрасывать в 0 при передаче и игнорировать при получении.

0x01 - тип интерфейса; флаг устанавливается для порта и сбрасывается для компонентного канала;

0x02 - распределенный канал; установленный флаг говорит о выделении канала для пользовательского трафика; при использовании одного Interface_Id для приёмного и передающего каналов данных этот бит относится лишь к передающему интерфейсу;

0x04 - отказавший канал; установленный флаг говорит об отказе канала и его непригодности для пользовательского трафика.

Local_Interface_Id

Локальный идентификатор канала данных. **Должен** быть уникальным в масштабе узла и отличным от 0.

Remote_Interface_Id

Удалённый идентификатор канала данных. **Должен** быть отличным от 0.

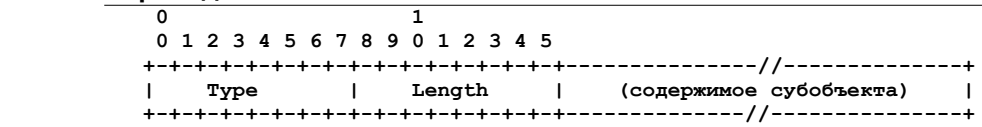
Subobjects

Содержимое объекта DATA_LINK включает последовательность элементов данных переменного размера, называемых субобъектами (определены ниже в параграфе 13.12.1).

Объект DATA_LINK может включать более одного субобъекта. Может присутствовать несколько субобъектов одного типа, если для канала поддерживается множество свойств (capability).

13.12.1. Субобъекты канала данных

Содержимое объекта DATA_LINK включает последовательность элементов данных переменного размера, называемых субобъектами, форма которых показана ниже.



Type - 8 битов

Поле Type указывает тип содержимого субобъекта. В настоящее время определены:

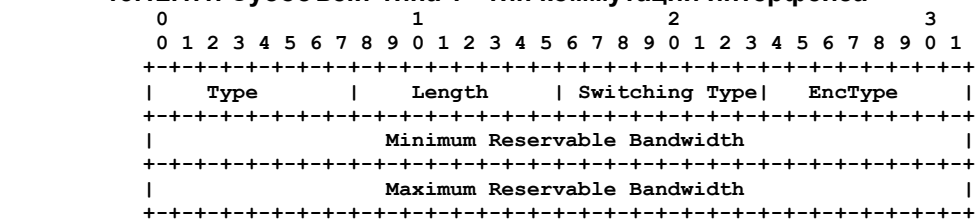
Type = 1, тип коммутации интерфейса;

Type = 2, длина волны.

Length - 8 битов

Поле Length указывает размер субобъекта в байтах с учётом полей Type и Length. Значение поля Length **должно** быть кратно 4.

13.12.1.1. Субобъект типа 1 - тип коммутации интерфейса



Switching Type - 8 битов

Служит для указания локального Interface Switching Type канала TE в соответствии с определением [RFC3471].

EncType - 8 битов

Тип кодирования канала данных. Определённые значения EncType совместимы с LSP Encoding Type [RFC3471].

Minimum Reservable Bandwidth - 32 бита

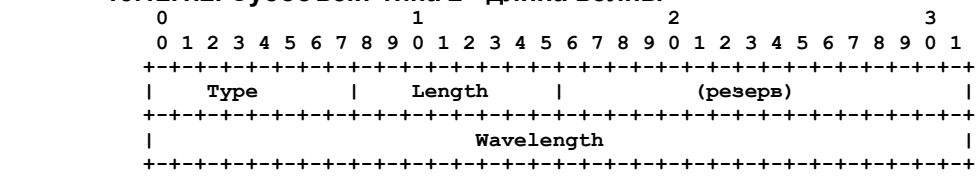
Максимальная резервируемая пропускная способность в бит/сек, указанная в формате IEEE floating point.

Maximum Reservable Bandwidth - 32 бита

Минимальная резервируемая пропускная способность в бит/сек, указанная в формате IEEE floating point.

Если интерфейс поддерживает лишь одну скорость, максимальное и минимальное значения совпадают.

13.12.1.2. Субобъект типа 2 - длина волны



Резервное поле следует устанавливать в 0 при передаче и игнорировать при получении.

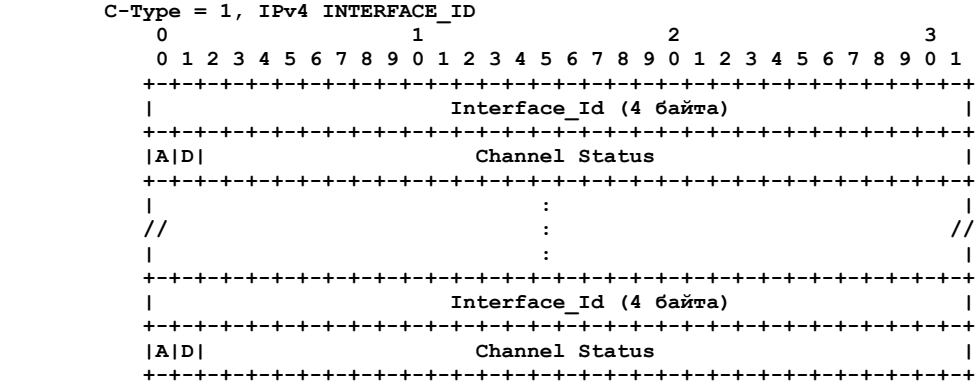
Wavelength - 32 бита

Указывает значение длины волны для данного порта. Это поле имеет значимость только между парой соседей.

13.13. Класс CHANNEL_STATUS

Class = 13

C-Type = 1, IPv4 INTERFACE_ID



```
C-Type = 2, IPv6 INTERFACE_ID
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +                       Interface_Id (16 байтов)                +
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |A|D|                     Channel Status                        |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                               :                               |
   //                              :                              //
   |                               :                               |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +                       Interface_Id (16 байтов)                +
   |                                                               |
   +                                                               +
   |                                                               |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |A|D|                     Channel Status                        |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
C-Type = 3, Unnumbered INTERFACE_ID
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                     Interface_Id (4 байта)                    |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |A|D|                     Channel Status                        |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                               :                               |
   //                              :                              //
   |                               :                               |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                     Interface_Id (4 байта)                    |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |A|D|                     Channel_Status                        |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Active (A) - 1 бит

Указывает, что Channel выделен для пользовательского трафика и для канала данных следует использовать активный мониторинг.

Direction (D) - 1 бит

Указывает направление (передача или приём) канала данных, заданного в объекте CHANNEL_STATUS. Установленный флаг говорит об использовании канала данных для передачи.

Channel_Status - 30 битов

Указывает состояние канала данных. Определённые значения приведены ниже, все прочие остаются в резерве.

1 Signal Okay (OK) - канал в рабочем состоянии.
2 Signal Degrade (SD) - некритичная ошибка, вызванная превышением порога BER, заданного конфигурацией.
3 Signal Fail (SF) - серьёзные ошибки, включая (но не ограничиваясь) потерю сигнала (LOS[1]) или кадра (LOF[2]) и Line AIS.

Этот объект содержит один или множество идентификаторов Interface_Id, за которыми следует поле Channel_Status.

Для индикации состояния TE Link в целом **должно** указываться единственное значение Interface_Id = 0.

13.14. Класс CHANNEL_STATUS_REQUEST

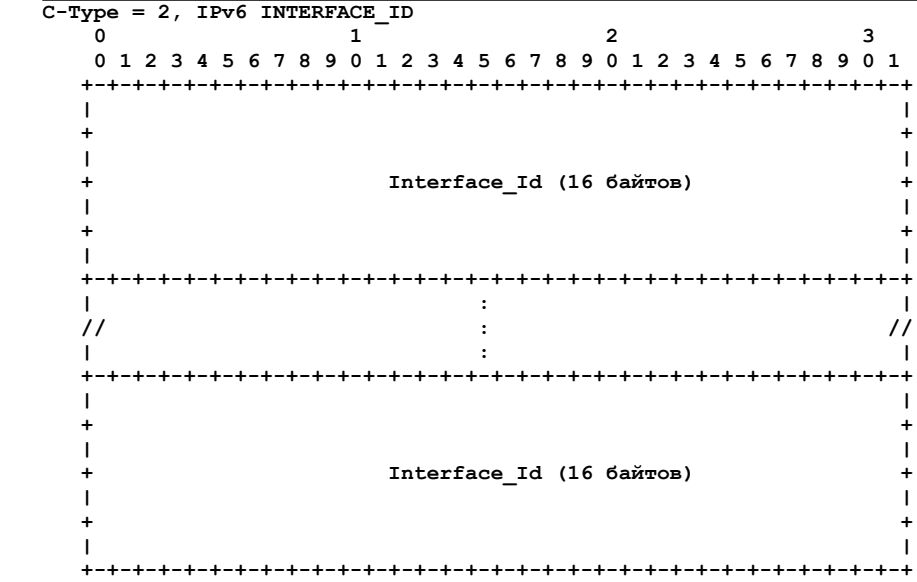
```
Class = 14
C-Type = 1, IPv4 INTERFACE_ID
    0                   1                   2                   3
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                     Interface_Id (4 байта)                    |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                               :                               |
   //                              :                              //
   |                               :                               |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
   |                     Interface_Id (4 байта)                    |
   +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Этот объект содержит один или множество идентификаторов Interface_Id.

Поле Length этого объекта содержит значение 4 + 4N (в байтах), где N - число идентификаторов Interface_Id.

[1]Loss of signal.
[2]Loss of frame.

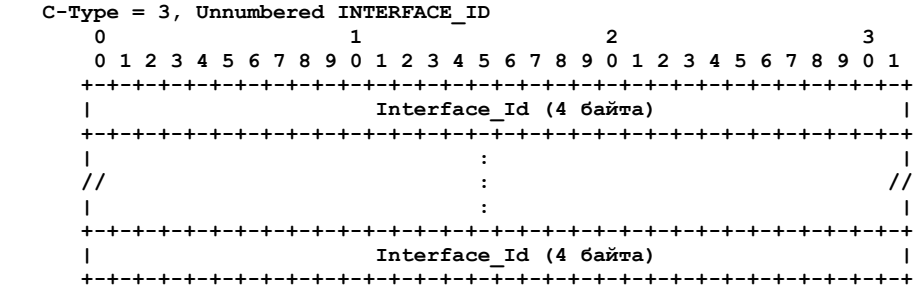
C-Type = 2, IPv6 INTERFACE_ID



Этот объект содержит один или множество идентификаторов Interface_Id.

Поле Length этого объекта содержит значение 4 + 16N (в байтах), где N - число идентификаторов Interface_Id.

C-Type = 3, Unnumbered INTERFACE_ID



Этот объект содержит один или множество идентификаторов Interface_Id.

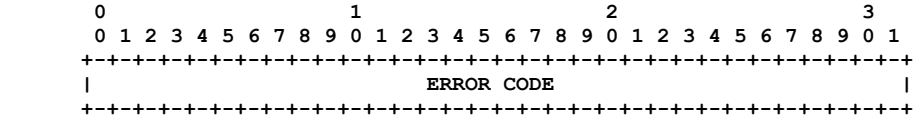
Поле Length этого объекта содержит значение 4 + 4N (в байтах), где N - число идентификаторов Interface_Id.

Объект не согласуется.

13.15. Класс ERROR_CODE

Class = 20

C-Type = 1, BEGIN_VERIFY_ERROR



Приведённые ниже битовые значения определены для сетевого порядка байтов (big-endian):

0x01 = процедура Link Verification не поддерживается;

0x02 = нежелание проверять;

0x04 = не поддерживается транспортный механизм проверки;

0x08 = ошибка конфигурации Link_Id;

0x10 = неизвестный объект C-Type.

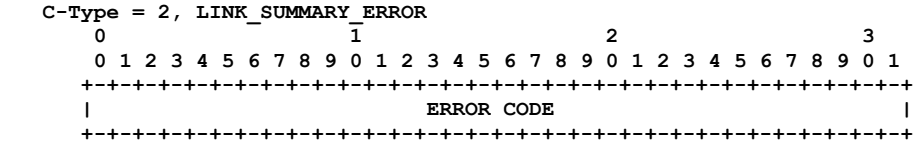
Все прочие битовые значения являются резервными, их следует устанавливать в 0 при передаче и игнорировать при получении.

Для индикации множества ошибок может быть установлено соответствующее множество битов.

Объект не согласуется.

Если сообщение BeginVerifyNack получено с Error Code 2, узлу-инициатору BeginVerify **следует** запланировать повторную передачу BeginVerify по истечении Rf (Rf является параметром локальной конфигурации).

C-Type = 2, LINK_SUMMARY_ERROR



Приведённые ниже битовые значения определены для сетевого порядка байтов (big-endian):

0x01 = неприемлемые несогласуемые параметры LINK_SUMMARY;

0x02 =повторное согласование параметров LINK_SUMMARY;

0x04 = непригодный объект TE_LINK;

0x08 = непригодный объект DATA_LINK;

0x10 = неизвестный объект TE_LINK C-Type;

0x20 = неизвестный объект DATA_LINK C-Type.

Все прочие битовые значения являются резервными, их следует устанавливать в 0 при передаче и игнорировать при получении.

Для индикации множества ошибок может быть установлено соответствующее множество битов.

Объект не согласуется.

14. Литература

14.1. Нормативные документы

[RFC2119] Bradner, S., "Key words for use in RFCs to Indicate Requirement Levels", BCP 14, RFC 2119, March 1997.

[RFC4201] Kompella, K., Rekhter, Y., and L. Berger, "Link Bundling in MPLS Traffic Engineering (TE)", RFC 4201, October 2005.

[RFC4202] Kompella, K., Ed. and Y. Rekhter, Ed., "Routing Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS)", RFC 4202, October 2005.

[RFC2961] Berger, L., Gan, D., Swallow, G., Pan, P., Tommasi, F., and S. Molendini, "RSVP Refresh Overhead Reduction Extensions", RFC 2961, April 2001.

[RFC2402] Kent, S. and R. Atkinson, "IP Authentication Header", RFC 2402, November 1998.

[RFC2406] Kent, S. and R. Atkinson, "IP Encapsulating Security Payload (ESP)", RFC 2406, November 1998.

[RFC2407] Piper, D., "The Internet IP Security Domain of Interpretation for ISAKMP", RFC 2407, November 1998.

[RFC2409] Harkins, D. and D. Carrel, "The Internet Key Exchange (IKE)", RFC 2409, November 1998.

[RFC3471] Berger, L., Ed., "Generalized MPLS - Signaling Functional Description", RFC 3471, January 2003.

14.2. Дополнительная литература

[RFC3630] Katz, D., Kompella, K., and D. Yeung, "Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2", RFC 3630, September 2003.

[RFC3784] Smit, H. and T. Li, "Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Extensions for Traffic Engineering (TE)", RFC 3784, June 2004.

[RFC2401] Kent, S. and R. Atkinson, "Security Architecture for the Internet Protocol", RFC 2401, November 1998.

[RFC2434] Narten, T. and H. Alvestrand, "Guidelines for Writing an IANA Considerations Section in RFCs", BCP 26, RFC 2434, October 1998.

[RFC3209] Awduche, D., Berger, L., Gan, D., Li, T., Srinivasan, V., and G. Swallow, "RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels", RFC 3209, December 2001.

15. Вопросы безопасности

Существует множество атак, с которыми могут столкнуться протокольные сессии LMP. Ниже приведены несколько примеров:

- злоумышленник может использовать подставные пакеты управления;
- злоумышленник может изменить пакеты управления в пути передачи;
- злоумышленник может повторно использовать собранные пакеты управления;
- злоумышленник может изучить множество пакетов управления и попытаться взломать (подобрать) ключ, используя криптографические средства; если используемый алгоритм хеширования или шифрования имеет известные уязвимости, атакующему будет проще узнать ключ с использованием простых средств.

В этом разделе описан механизм защиты LMP на основе IPsec.

15.1. Требования безопасности

Приведённые ниже требования относятся к описанному в этом разделе механизму.

- Защита LMP **должна** обеспечивать проверку подлинности, целостность и предотвращение повторного использования пакетов (replay).
- Для трафика LMP защита конфиденциальности не требуется. Нужна лишь проверка подлинности для обеспечения уверенности в том, что пакеты управления (пакеты, переданные через LMP Control Channel) исходили от нужного источника и не были изменены в процессе передачи. Для пакетов LMP Test, передаваемых через каналы данных, защита не требуется.
- Для трафика LMP защита отождествления конечных точек LMP в общем случае не требуется.

- Механизму защиту следует поддерживать чётко определённые схемы управления ключами, которые следует проанализировать с точки зрения криптографии. Схемы управления ключами должны обеспечивать масштабирование и автоматизацию.

- Используемые для проверки подлинности алгоритмы **должны** быть криптостойкими. Кроме того, протокол защиты **должен** поддерживать использование разных алгоритмов аутентификации и возможность их согласования.

15.2. Механизмы защиты

Стек протоколов IPsec служит для защиты коммуникаций между парой партнёров на сетевом уровне. Этот стек протоколов описан в документах по архитектуре IP Security [RFC2401], IKE [RFC2409], IPsec AH [RFC2402] и IPsec ESP [RFC2406]. Протокол IKE обеспечивает управления ключами в сетях IP, а протоколы AH и ESP служат для защиты трафика IP. IKE определён применительно к протоколу IP.

С учётом требований, приведённых в параграфе 15.1, реализациям рекомендуется в тех случаях, когда требуется защита для LMP, использовать IPsec в соответствии с приведённым ниже описанием.

1. Реализациям LMP на основе протоколов IPsec **следует** поддерживать режим ручной установки ключей.

   Этот режим обеспечивает простой способ организации и диагностики функциональности IPsec.

   Однако следует отметить, что ручной режим не позволяет эффективно поддерживать такие функции, как защита от повторного использования пакетов (replay) и автоматическая смена ключей. Разработчикам, использующим ручной режим, следует принимать это во внимание.

   Разработчикам рекомендуется использовать ручной режим только для диагностики и применять протокол динамической установки ключей для поддержки функций защиты от повторной и автоматической смены ключей.

2. **Должен** поддерживаться протокол IPsec ESP с трейлерной аутентификацией в туннельном режиме.

3. Реализации **должны** поддерживать протоколы аутентифицированного обмена ключами. **Должен** применяться протокол IKE [RFC2409] в качестве протокола обмена ключами, если партнёры согласовали динамическую установку ключей.

4. Реализации **должны** использовать IPsec DOI [RFC2407].

5. Для протокола IKE идентификаторы SA, согласованные в Quick Mode, представляют трафик, для которого партнёры согласовали защиту, и включают информацию о пространстве адресов, протоколе и портах.

   При работе LMP на основе IPsec рекомендуется включать в поля данных идентификаторов для режима Quick перечисленную ниже информацию.

   Идентификаторы **должны** иметь тип адресов IP, а в качестве значений идентификаторов **следует** указывать IP-адреса коммуникационных партнёров.

   В поле протокола **должно** быть указано UDP. В поле порта **следует** указывать значение 0 для индикации того, что номера портов следует игнорировать. Это подразумевает, что весь трафик UDP между партнёрами будет передаваться через туннель IPsec. Если реализация поддерживает селекторы по номерам портов, это позволяет сделать селектор более точным, указав поле порта LMP. Однако, если партнёр не использует селекторов по номерам портов, реализация **должна** вернуться к использованию в поле порта значения 0.

6. **Должен** поддерживаться «агрессивный» режим согласования IKE.

   Когда взаимодействие с партнёром настроено для использования IPsec, предполагается, что все сообщения LMP будут передаваться через туннель IPsec (криптоканал). Точно так же получателю LMP, настроенному на работу с использованием IPsec, следует отвергать весь трафик LMP, пришедший не из криптоканала.

   Криптоканал к соседу LMP может быть организован заранее или первое сообщение LMP, отправленное партнёру, инициирует создание туннеля IPsec.

   Через один криптоканал может быть организовано множество каналов управления. При использовании сообщений LMP Hello для контроля состояния канала управления важно принимать во внимание, что отказ keep-alive в канале управления может быть следствием отказа в криптоканале. Ниже описан метод, рекомендуемый для обеспечения корректной работы коммуникационного пути LMP.

   - Если LMP Hello говорит об отказе в канале управления, переключитесь на другой канал и/или попытайтесь организовать новый канал управления.

   - Обеспечьте работоспособность каналов управления с помощью сообщений LMP Hello. Если на всех каналах управления зафиксированы отказы и нет возможности создать новый канал управления, отключите (удалите) все имеющиеся каналы управления, а также криптоканал (IKE SA и все IPsec SA).

   - Организуйте криптоканал заново. Отказ при организации криптоканала служит индикатором невозможности коммуникаций LMP.

   - Активизируйте канал управления. Отказ при организации канала управления служит индикатором невозможности коммуникаций LMP.

   При динамическом обнаружении партнёров LMP (особенно инициаторов) следует принимать во внимание приведённые ниже замечания.

   > При проверке подлинности с заранее распространенным ключом в режиме защиты подлинности (основной режим) общий ключ требуется для расчёта значения SKEYID (служит для создания ключей, используемых для шифрования сообщений в процессе обмена ключами). В основном режиме (main mode) IKE заранее

известный общий ключ должен быть идентифицирован до получения данных отождествления партнёра. Такой общий требуется для расчёта SKEYID. В этом момент единственной доступной информацией о партнёре является адрес IP с которого выполняется согласование. Определение общего ключа по этому адресу не представляется возможным, поскольку адреса являются динамическими и не известны заранее.

Может использоваться агрессивный режим (aggressive mode) обмена ключами, поскольку идентификационные данные передаются в первом сообщении.

Однако следует отметить уязвимость агрессивного режима к пассивным атакам на службы. Использование общего секрета (групповой секрет) множеством партнёров настоятельно не рекомендуется, поскольку это открывает возможность для организации MITM[1]-атак.

Проверка подлинности на основе цифровых подписей не сталкивается с такими проблемами. **рекомендуется** использовать такой механизм аутентификации в тех случаях, когда это возможно.

Если требуется проверка подлинности на основе заранее распространённого общего ключа (pre-shared key), **следует** применять агрессивный режим. Значения общих заранее распространённых ключей аутентификации IKE **следует** защищать, подобно паролям учётных записей пользователей.

16. Взаимодействие с IANA

Агентство IANA выделило номер 701 для порта LMP.

Ниже приведены рекомендации для IANA в части распределения значения в каждом пространстве имён LMP. Диапазоны распределяемых значений поделены на Private Use, Expert Review и Standards Action (в соответствии с [RFC2434]).

Распределение значений LMP из пространства Private Use (т. е., для частных расширений) не требуется документировать. Независимые реализации LMP, использующие одинаковые значения из пространства Private Use в общем случае не смогут взаимодействовать и следует принимать соответствующие меры при использовании таких значения в среде с продукцией разных производителей.

Распределение значений из пространств LMP по процедуре Expert Review осуществляется экспертами, назначенными IESG. Данный документ предполагает использование значений из этих диапазонов лишь для экспериментальных расширений и выделение значений **должно** сопровождаться RFC со статусом Experimental. Если такие расширения будут сочтены полезными для развёртывания, их следует описать в RFC со статусом Standards Track и им **должны** быть выделены значения из диапазонов Standards Action.

Выделение значений из диапазонов LMP по процедуре Standards Action **должно** документироваться в Standards Track RFC, которые обычно подаются рабочими группами IETF и в любом случае должны соответствовать обычным процедурам IETF для документов со статусом Proposed Standards.

Резервные биты LMP Common Header следует распределять по процедуре Standards Action, в соответствии с правилами, описанными в [RFC2434].

LMP определяет несколько пространств имён, для которых требуется управление:

- LMP Message Type (тип сообщения);
- LMP Object Class (класс объекта);
- LMP Object Class type (C-Type) (тип класса объектов, который уникален в рамках Object Class);
- LMP Sub-object Class type (Type) (тип класса субобъектов, который уникален в рамках Object Class).

Пространство LMP Message Type следует распределять в соответствии с правилами, заданными в [RFC2434], - значения 0 - 127 распределяются по процедуре Standards Action, 128 - 240 по процедуре Expert Review, а 241 - 255 резервируются для Private Use.

Пространство LMP Object Class следует распределять в соответствии с правилами, заданными в [RFC2434], - значения 0 - 127 распределяются по процедуре Standards Action, 128 - 247 по процедуре Expert Review, а 248 - 255 резервируются для Private Use.

Правила распределения значений LMP Object Class являются частью определения конкретного класса. Определение Class должно включать описание правил выделения значений Object Class.

Правила распределения значений LMP Sub-object Class являются частью определения конкретного класса. Определение Class должно включать описание правил выделения значений для субобъектов.

Ниже перечислены пространства имён, выделенные IANA.

Пространство имён LMP Message Type.

Сообщение	**Тип**
Config	1
ConfigAck	2
ConfigNack	3
Hello	4
BeginVerify	5
BeginVerifyAck	6

[1]Man-in-the-middle - атака с перехватом и изменением данных в пути при участии человека.

BeginVerifyNack	7
EndVerify	8
EndVerifyAck	9
Test	10
TestStatusSuccess	11
TestStatusFailure	12
TestStatusAck	13
LinkSummary	14
LinkSummaryAck	15
LinkSummaryNack	16
ChannelStatus	17
ChannelStatusAck	18
ChannelStatusRequest	19
ChannelStatusResponse	20

Пространства имён LMP Object Class и Class type (C-Type)

CCID Class name (1)

Пространство типов CCID Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- LOCAL_CCID (C-Type = 1)
- REMOTE_CCID (C-Type = 2)

NODE_ID Class name (2)

Пространство типов NODE ID Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- LOCAL_NODE_ID (C-Type = 1)
- REMOTE_NODE_ID (C-Type = 2)

LINK_ID Class name (3)

Пространство типов LINK_ID Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- IPv4 LOCAL_LINK_ID (C-Type = 1)
- IPv4 REMOTE_LINK_ID (C-Type = 2)
- IPv6 LOCAL_LINK_ID (C-Type = 3)
- IPv6 REMOTE_LINK_ID (C-Type = 4)
- Unnumbered LOCAL_LINK_ID (C-Type = 5)
- Unnumbered REMOTE_LINK_ID (C-Type = 6)

INTERFACE_ID Class name (4)

Пространство типов INTERFACE_ID Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- IPv4 LOCAL_INTERFACE_ID (C-Type = 1)
- IPv4 REMOTE_INTERFACE_ID (C-Type = 2)
- IPv6 LOCAL_INTERFACE_ID (C-Type = 3)
- IPv6 REMOTE_INTERFACE_ID (C-Type = 4)
- Unnumbered LOCAL_INTERFACE_ID (C-Type = 5)
- Unnumbered REMOTE_INTERFACE_ID (C-Type = 6)

MESSAGE_ID Class name (5)

Пространство типов MESSAGE_ID Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- MESSAGE_ID (C-Type = 1)

- MESSAGE_ID_ACK (C-Type = 2)

CONFIG Class name (6)

Пространство типов CONFIG Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- HELLO_CONFIG (C-Type = 1)

HELLO Class name (7)

Пространство типов HELLO Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- HELLO (C-Type = 1)

BEGIN_VERIFY Class name (8)

Пространство типов BEGIN_VERIFY Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- Type 1 (C-Type = 1)

BEGIN_VERIFY_ACK Class name (9)

Пространство типов BEGIN_VERIFY_ACK Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- Type 1 (C-Type = 1)

VERIFY_ID Class name (10)

Пространство типов VERIFY_ID Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- Type 1 (C-Type = 1)

TE_LINK Class name (11)

Пространство типов TE_LINK Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- IPv4 TE_LINK (C-Type = 1)
- IPv6 TE_LINK (C-Type = 2)
- Unnumbered TE_LINK (C-Type = 3)

DATA_LINK Class name (12)

Пространство типов DATA_LINK Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- IPv4 DATA_LINK (C-Type = 1)
- IPv6 DATA_LINK (C-Type = 2)
- Unnumbered DATA_LINK (C-Type = 3)

Пространство имён DATA_LINK Sub-object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 127 выделяются по процедуре Standards Action, 128 - 247 по процедуре Expert Review, а 248 - 255 резервируются для Private Use.

- Interface Switching Type (sub-object Type = 1)
- Wavelength (sub-object Type = 2)

CHANNEL_STATUS Class name (13)

Пространство типов CHANNEL_STATUS Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- IPv4 INTERFACE_ID (C-Type = 1)
- IPv6 INTERFACE_ID (C-Type = 2)
- Unnumbered INTERFACE_ID (C-Type = 3)

CHANNEL_STATUS_REQUESTClass name (14)

Пространство типов CHANNEL_STATUS_REQUEST Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- IPv4 INTERFACE_ID (C-Type = 1)
- IPv6 INTERFACE_ID (C-Type = 2)
- Unnumbered INTERFACE_ID (C-Type = 3)

ERROR_CODE Class name (20)

Пространство типов ERROR_CODE Object Class следует распределять в соответствии с правилами [RFC2434] - значения 0 - 111 выделяются по процедуре Standards Action, 112 - 119 по процедуре Expert Review, а 120 - 127 резервируются для Private Use.

- BEGIN_VERIFY_ERROR (C-Type = 1)
- LINK_SUMMARY_ERROR (C-Type = 2)

17. Благодарности

Авторы благодарны Andre Fredette за большой вклад в этот документ. Спасибо также Ayan Banerjee, George Swallow, Adrian Farrel, Dimitri Papadimitriou, Vinay Ravuri и David Drysdale за их значимые комментарии и предложения. Спасибо John Yu, Suresh Katukam и Greg Bernstein за их полезные предложения в части применимости канала управления в основной полосе (in-band).

18. Участники работы

Jonathan P. Lang
Sonos, Inc.
223 E. De La Guerra St.
Santa Barbara, CA 93101
EMail: jplang@ieee.org

Krishna Mitra
Independent Consultant
EMail: kmitra@earthlink.net

John Drake
Calient Networks
5853 Rue Ferrari
San Jose, CA 95138
EMail: jdrake@calient.net

Kireeti Kompella
Juniper Networks, Inc.
1194 North Mathilda Avenue
Sunnyvale, CA 94089
EMail: kireeti@juniper.net

Yakov Rekhter
Juniper Networks, Inc.
1194 North Mathilda Avenue
Sunnyvale, CA 94089
EMail: yakov@juniper.net

Lou Berger
Movaz Networks
EMail: lberger@movaz.com

Debanjan Saha
IBM Watson Research Center
EMail: dsaha@us.ibm.com

Debashis Basak
Accelight Networks
70 Abele Road, Suite 1201
Bridgeville, PA 15017-3470
EMail: dbasak@accelight.com

Hal Sandick
Shepard M.S.
2401 Dakota Street
Durham, NC 27705
EMail: sandick@nc.rr.com

Alex Zinin
Alcatel
EMail: alex.zinin@alcatel.com

Bala Rajagopalan
Intel Corp.
2111 NE 25th Ave
Hillsboro, OR 97123
EMail: bala.rajagopalan@intel.com

Sankar Ramamoorthi
Juniper Networks, Inc.
1194 North Mathilda Avenue
Sunnyvale, CA 94089
EMail: sankarr@juniper.net

Информация для контактов
Jonathan P. Lang
Sonos, Inc.
829 De La Vina, Suite 220
Santa Barbara, CA 93101
EMail: jplang@ieee.org

Перевод на русский язык

Николай Малых

nmalykh@protokols.ru

либо гарантий (явных или подразумеваемых), включая (но не ограничиваясь) любые гарантии того, что использование представленной здесь информации не будет нарушать чьих-либо прав, и любые предполагаемые гарантии коммерческого использования или применимости для тех или иных задач.

Интеллектуальная собственность

IETF не принимает какой-либо позиции в отношении действительности или объема каких-либо прав интеллектуальной собственности (Intellectual Property Rights или IPR) или иных прав, которые, как может быть заявлено, относятся к реализации или использованию описанной в этом документе технологии, или степени, в которой любая лицензия, по которой права могут или не могут быть доступны, не заявляется также применение каких-либо усилий для определения таких прав. Сведения о процедурах IETF в отношении прав в документах RFC можно найти в BCP 78 и BCP 79.

Копии раскрытия IPR, предоставленные секретариату IETF, и любые гарантии доступности лицензий, а также результаты попыток получить общую лицензию или право на использование таких прав собственности разработчиками или пользователями этой спецификации, можно получить из сетевого репозитория IETF IPR по ссылке http://www.ietf.org/ipr.

IETF предлагает любой заинтересованной стороне обратить внимание на авторские права, патенты или использование патентов, а также иные права собственности, которые могут потребоваться для реализации этого стандарта. Информацию следует направлять в IETF по адресу ietf-ipr@ietf.org.

Подтверждение

Финансирование функций RFC Editor обеспечено Internet Society.