

A YANG Data Model for RIB Extensions

Модель данных YANG для расширений RIB

Аннотация

База маршрутной информации (Routing Information Base или RIB) - это список маршрутов и соответствующих административных данных и административного состояния.

В RFC 8349 определены базовые блоки для построения модели данных RIB, а эта модель дополняет их для поддержки множества следующих узлов (next hop) для каждого маршрута, а также дополнительных атрибутов.

Статус документа

Документ относится к категории Internet Standards Track.

Документ является результатом работы IETF¹ и представляет согласованный взгляд сообщества IETF. Документ прошёл открытое обсуждение и был одобрен для публикации IESG². Дополнительную информацию о стандартах Internet можно найти в разделе 2 в RFC 7841.

Информацию о текущем статусе документа, ошибках и способах обратной связи можно найти по ссылке <https://www.rfc-editor.org/info/rfc9403>.

Авторские права

Copyright (c) 2023. Авторские права принадлежат IETF Trust и лицам, указанным в качестве авторов документа. Все права защищены.

К документу применимы права и ограничения, указанные в BCP 78 и IETF Trust Legal Provisions и относящиеся к документам IETF (<http://trustee.ietf.org/license-info>), на момент публикации данного документа. Прочтите упомянутые документы внимательно. Фрагменты программного кода, включённые в этот документ, распространяются в соответствии с упрощённой лицензией BSD, как указано в параграфе 4.e документа IETF Trust Legal Provisions, без каких-либо гарантий (как указано в Revised BSD License).

Оглавление

1. Введение.....	1
2. Термины и обозначения.....	2
2.1. Диаграммы деревьев.....	2
2.2. Префиксы в именах узлов данных.....	2
3. Устройство модели.....	2
3.1. Теги и предпочтения.....	2
3.2. Ремонтный путь.....	3
4. Дерево модели RIB.....	3
5. Модуль YANG RIB Extension.....	3
6. Вопросы безопасности.....	7
7. Взаимодействие с IANA.....	8
8. Литература.....	8
8.1. Нормативные документы.....	8
8.2. Дополнительная литература.....	8
Приложение А. Комбинированное дерево.....	9
Приложение В. Пример ietf-rib-extension.yang.....	10
Благодарности.....	13
Адреса авторов.....	13

1. Введение

Этот документ задаёт модель данных YANG [RFC7950] расширяющую модель данных RIB из модуля YANG ietf-routing [RFC8349] дополнительными атрибутами маршрутов.

RIB представляет собой набор маршрутов с атрибутами, управляемыми и поддерживаемыми протоколами плоскости управления. Каждая база RIB содержит маршруты лишь для одного семейства адресов [RFC8349]. В рамках протокола маршруты выбираются на основе используемой этим протоколом метрики и протокол помещает маршруты в RIB. Предпочтительный или активный маршрут RIB выбирает, сравнивая предпочтения (административная дистанция) маршрутов-кандидатов, установленных разными протоколами.

Заданный в этом документе модуль расширяет RIB для поддержки дополнительных атрибутов маршрута, таких как несколько следующих узлов (next hop), метрика маршрута, административные теги.

¹Internet Engineering Task Force - комиссия по решению инженерных задач Internet.

²Internet Engineering Steering Group - комиссия по инженерным разработкам Internet.

Рассматриваемые в документе модули YANG соответствуют архитектуре хранилищ данных управления сетью (Network Management Datastore Architecture или NMDA) [RFC8342].

2. Термины и обозначения

В [RFC8342] определены термины:

- configuration - конфигурация;
- system state - состояние системы;
- operational state - рабочее состояние.

В [RFC7950] определены термины:

- action - действие;
- augment - дополнение;
- container - контейнер;
- container with presence¹ - контейнер присутствия;
- data model - модель данных;
- data node - узел данных;
- leaf - лист;
- list - список;
- mandatory node - обязательный узел;
- module - модуль;
- schema tree - дерево схемы.

В параграфе 5.2 [RFC8349] определён термин RIB.

2.1. Диаграммы деревьев

Деревья в этом документе представлены в нотации [RFC8340].

2.2. Префиксы в именах узлов данных

В этом документе имена узлов данных, действий и других объектов модели данных часто указываются без префикса, если контекст позволяет определить модуль YANG, где это имя задано. В остальных случаях имена указываются со стандартным префиксом соответствующего модуля YANG, как показано в таблице 1.

Таблица 1: Префиксы и соответствующие им модули YANG.

Префикс	Модуль YANG	Документ
if	ietf-interfaces	[RFC8343]
rt	ietf-routing	[RFC8349]
v4ur	ietf-ipv4-unicast-routing	[RFC8349]
v6ur	ietf-ipv6-unicast-routing	[RFC8349]
inet	ietf-inet-types	[RFC6991]
ospf	ietf-ospf	[RFC9129]
isis	ietf-isis	[RFC9130]

3. Устройство модели

Заданный в этом документе модуль YANG дополняет модули ietf-routing, ietf-ipv4-unicast-routing и ietf-ipv6-unicast-routing, определённые в [RFC8349] и обеспечивающие базу для определения модели данных системы маршрутизации. Вместе с модулем ietf-routing и другими модулями YANG из [RFC8349], базовая модель данных YANG RIB, определённая здесь, служит для реализации и мониторинга RIB.

Модули из [RFC8349] также задают базовую конфигурацию и рабочее состояние для статических маршрутов IPv4 и IPv6. Этот документ задаёт дополнения для статических маршрутов, поддерживающие несколько next hop и дополнительные атрибуты next-hop.

3.1. Теги и предпочтения

Отдельные маршрутные теги поддерживаются как на уровне маршрута, так и на уровне next-hop. Для выбора предпочтительного статического маршрута следующего узла поддерживаются предпочтения по next hop. Ниже приведено дерево с тегами и предпочтения, дополняющими следующий интервал статических индивидуальных маршрутов IPv4 и IPv6.

```
augment /rt:routing/rt:control-plane-protocols
  /rt:control-plane-protocol/rt:static-routes/v4ur:ipv4
    /v4ur:route/v4ur:next-hop/v4ur:next-hop-options
      /v4ur:simple-next-hop:
        +--rw preference? uint32
        +--rw tag?       uint32
augment /rt:routing/rt:control-plane-protocols
  /rt:control-plane-protocol/rt:static-routes/v4ur:ipv4
    /v4ur:route/v4ur:next-hop/v4ur:next-hop-options
```

¹На самом деле в RFC 7950 приведено определение термина presence container. *Прим. перев.*

```

/v4ur:next-hop-list/v4ur:next-hop-list/v4ur:next-hop:
+--rw preference?   uint32
+--rw tag?          uint32
augment /rt:routing/rt:control-plane-protocols
      /rt:control-plane-protocol/rt:static-routes/v6ur:ipv6
      /v6ur:route/v6ur:next-hop/v6ur:next-hop-options
      /v6ur:simple-next-hop:
+--rw preference?   uint32
+--rw tag?          uint32
augment /rt:routing/rt:control-plane-protocols
      /rt:control-plane-protocol/rt:static-routes/v6ur:ipv6
      /v6ur:route/v6ur:next-hop/v6ur:next-hop-options
      /v6ur:next-hop-list/v6ur:next-hop-list/v6ur:next-hop:
+--rw preference?   uint32
+--rw tag?          uint32
augment /rt:routing/rt:ribs/rt:rib/rt:routes/rt:route:
+--ro metric?       uint32
+--ro tag*          uint32
+--ro application-tag? uint32

```

3.2. Ремонтный путь

Расчёт быстрой перемаршрутизации (IP Fast Reroute или IPFRR) протоколом маршрутизации заранее определяет ремонтные пути [RFC5714] и эти пути помещаются в RIB.

Следующий узел (next hop) каждого маршрута в RIB дополняется ремонтным путём, как показано ниже.

```

augment /rt:routing/rt:ribs/rt:rib/rt:routes/rt:route
      /rt:next-hop/rt:next-hop-options/rt:simple-next-hop:
+--ro repair-path
+--ro outgoing-interface? if:interface-state-ref
+--ro next-hop-address?   inet:ip-address-no-zone
+--ro metric?            uint32
augment /rt:routing/rt:ribs/rt:rib/rt:routes/rt:route
      /rt:next-hop/rt:next-hop-options/rt:next-hop-list
      /rt:next-hop-list/rt:next-hop:
+--ro repair-path
+--ro outgoing-interface? if:interface-state-ref
+--ro next-hop-address?   inet:ip-address-no-zone
+--ro metric?            uint32

```

4. Дерево модели RIB

Дерево модуля ietf-routing.yang с дополнениями этого документа приведено в Приложении А с нотацией [RFC8340].

5. Модуль YANG RIB Extension

Этот модуль YANG ссылается на [RFC6991], [RFC8343], [RFC8349], [RFC9129], [RFC9130], [RFC5714].

```

<CODE BEGINS> file "ietf-rib-extension@2023-11-20.yang"
module ietf-rib-extension {
  yang-version 1.1;
  namespace "urn:ietf:params:xml:ns:yang:ietf-rib-extension";
  prefix rib-ext;

  import ietf-inet-types {
    prefix inet;
    reference
      "RFC 6991: Common YANG Data Types";
  }
  import ietf-interfaces {
    prefix if;
    reference
      "RFC 8343: A YANG Data Model for Interface Management";
  }
  import ietf-routing {
    prefix rt;
    reference
      "RFC 8349: A YANG Data Model for Routing
        Management (NMDA Version)";
  }
  import ietf-ipv4-unicast-routing {
    prefix v4ur;
    reference
      "RFC 8349: A YANG Data Model for Routing
        Management (NMDA Version)";
  }
  import ietf-ipv6-unicast-routing {
    prefix v6ur;
    reference
      "RFC 8349: A YANG Data Model for Routing
        Management (NMDA Version)";
  }

  import ietf-ospf {
    prefix ospf;
    reference "RFC 9129: YANG Data Model for the OSPF Protocol";
  }
}

```

```

import ietf-isis {
  prefix isis;
  reference "RFC 9130: YANG Data Model for the IS-IS Protocol";
}

organization
  "IETF RTGWG (Routing Area Working Group)";
contact
  "WG Web: <https://datatracker.ietf.org/wg/rtgwg/>
   WG List: <mailto:rtgwg@ietf.org>

  Author: Acee Lindem
         <mailto:acee.ietf@gmail.com>
  Author: Yingzhen Qu
         <mailto:yingzhen.qu@futurewei.com>;
description
  "Этот модуль YANG расширяет RIB из модуля YANG ietf-routing
   дополнительными атрибутами маршрутов.

   Модуль YANG соответствует архитектуре NMDA (RFC 8342).

   Авторские права (Copyright (c) 2023) принадлежат IETF Trust
   и лицам, указанным в качестве авторов кода. Все права защищены.

   Распространение и использование в исходной или двоичной форме с
   изменениями или без таковых разрешено в соответствии с лицензией
   Simplified BSD, изложенной в разделе 4 IETF Trust's Legal
   Provisions применительно к документам IETF
   (http://trustee.ietf.org/license-info).

   Эта версия данного модуля YANG является частью RFC 9403, где
   правовые вопросы рассмотрены более полно.";

revision 2023-11-20 {
  description
    "Исходная версия.";
  reference
    "RFC 9403: A YANG Data Model for RIB Extensions";
}

/* Группировки */

grouping rib-statistics {
  description
    "Статистика, применяемая для дополнения RIB.";
  container statistics {
    config false;
    description
      "Контейнер для статистики RIB.";
    leaf total-routes {
      type uint32;
      description
        "Полное число маршрутов в RIB.";
    }
    leaf total-active-routes {
      type uint32;
      description
        "Полное число активных маршрутов в RIB. Активными считаются
        маршруты, имеющие предпочтение перед другими маршрутами к
        тому же префиксу получателей.";
    }
    leaf total-route-memory {
      type uint64;
      units "bytes";
      description
        "Память для всех маршрутов RIB.";
    }
    list protocol-statistics {
      description
        "Статистика RIB для протоколов маршрутизации, помещающих
        маршруты в RIB.";
      leaf protocol {
        type identityref {
          base rt:routing-protocol;
        }
        description
          "Протокол маршрутизации, помещающий маршруты в RIB.";
      }
      leaf routes {
        type uint32;
        description
          "Полное число маршрутов в RIB для протокола
          маршрутизации, указанного узлом protocol.";
      }
      leaf active-routes {

```

```

    type uint32;
    description
        "Полное число активных маршрутов в RIB для протокола
        маршрутизации, указанного узлом protocol. Активными
        считаются маршруты, имеющие предпочтение перед другими
        маршрутами к тому же префиксу получателей.";
    }
    leaf route-memory {
        type uint64;
        units "bytes";
        description
            "Память для всех маршрутов в RIB для протокола
            маршрутизации, указанного узлом protocol.";
    }
}
}
}

grouping repair-path {
    description
        "Группировка для ремонтного пути IP Fast Reroute (IPFRR).";
    container repair-path {
        description
            "IPFRR next-hop для ремонтного пути.";
        leaf outgoing-interface {
            type if:interface-state-ref;
            description
                "Имя выходного интерфейса.";
        }
        leaf next-hop-address {
            type inet:ip-address-no-zone;
            description
                "IP-адрес следующего узла.";
        }
        leaf metric {
            type uint32;
            description
                "Метрика ремонтного пути. Хотя этот путь является локальным
                и его метрика не анонсируется наружу, она полезна для
                поиска и устранения неполадок.";
        }
        reference
            "RFC 5714: IP Fast Reroute Framework";
    }
}

augment "/rt:routing/rt:control-plane-protocols/"
+ "rt:control-plane-protocol/rt:static-routes/v4ur:ipv4/"
+ "v4ur:route/v4ur:next-hop/v4ur:next-hop-options/"
+ "v4ur:simple-next-hop" {
    description
        "Дополнение simple-next-hop в индивидуальном маршруте IPv4.";
    leaf preference {
        type uint32;
        default "1";
        description
            "Предпочтение служит для выбора среди статических маршрутов.
            Предпочтительны маршруты с меньшим значением preference, а
            одинаковые значения ведут к статическим маршрутам с
            равноценными путями (Equal-Cost Multipath или ECOMP).";
    }
    leaf tag {
        type uint32;
        default "0";
        description
            "Связанный с маршрутом 32-битовый не анализируемый тег,
            который может применяться в решениях на основе правил,
            например для анонсирования или фильтрации маршрута.";
    }
}

augment "/rt:routing/rt:control-plane-protocols/"
+ "rt:control-plane-protocol/rt:static-routes/v4ur:ipv4/"
+ "v4ur:route/v4ur:next-hop/v4ur:next-hop-options/"
+ "v4ur:next-hop-list/v4ur:next-hop-list/v4ur:next-hop" {
    description
        "Дополнение конфигурации статического маршрута next-hop-list.";
    leaf preference {
        type uint32;
        default "1";
        description
            "Предпочтение служит для выбора среди статических маршрутов.
            Предпочтительны маршруты с меньшим значением preference, а
            одинаковые значения ведут к статическим маршрутам с
            равноценными путями (Equal-Cost Multipath или ECOMP).";
    }
}

```

```

leaf tag {
  type uint32;
  default "0";
  description
    "Связанный с маршрутом 32-битовый не анализируемый тег,
    который может применяться в решениях на основе правил,
    например для анонсирования или фильтрации маршрута.";
}

augment "/rt:routing/rt:control-plane-protocols/"
+ "rt:control-plane-protocol/rt:static-routes/v6ur:ipv6/"
+ "v6ur:route/v6ur:next-hop/v6ur:next-hop-options/"
+ "v6ur:simple-next-hop" {
  description
    "Дополнение simple-next-hop в индивидуальном маршруте IPv6.";
  leaf preference {
    type uint32;
    default "1";
    description
      "Предпочтение служит для выбора среди статических маршрутов.
      Предпочтительны маршруты с меньшим значением preference, а
      одинаковые значения ведут к статическим маршрутам с
      равноценными путями (Equal-Cost Multipath или ECMP).";
  }
  leaf tag {
    type uint32;
    default "0";
    description
      "Связанный с маршрутом 32-битовый не анализируемый тег,
      который может применяться в решениях на основе правил,
      например для анонсирования или фильтрации маршрута.";
  }
}

augment "/rt:routing/rt:control-plane-protocols/"
+ "rt:control-plane-protocol/rt:static-routes/v6ur:ipv6/"
+ "v6ur:route/v6ur:next-hop/v6ur:next-hop-options/"
+ "v6ur:next-hop-list/v6ur:next-hop-list/v6ur:next-hop" {
  description
    "Дополнение конфигурации статического маршрута next-hop-list.";
  leaf preference {
    type uint32;
    default "1";
    description
      "Предпочтение служит для выбора среди статических маршрутов.
      Предпочтительны маршруты с меньшим значением preference, а
      одинаковые значения ведут к статическим маршрутам с
      равноценными путями (Equal-Cost Multipath или ECMP).";
  }
  leaf tag {
    type uint32;
    default "0";
    description
      "Связанный с маршрутом 32-битовый не анализируемый тег,
      который может применяться в решениях на основе правил,
      например для анонсирования или фильтрации маршрута.";
  }
}

augment "/rt:routing/rt:ribs/rt:rib" {
  description
    "Добавление статистики в RIB.";
  uses rib-statistics;
}

augment "/rt:routing/rt:ribs/rt:rib/"
+ "rt:routes/rt:route" {
  description
    "Дополнение маршрута с базовыми атрибутами в RIB.";
  leaf metric {
    when "not(derived-from(
      + "../rt:source-protocol, 'ospf:ospf')) "
    + "and not(derived-from(
      + "../rt:source-protocol, 'isis:isis'))" {
      description
        "Это дополнение действительно лишь для маршрутов,
        полученных не от протоколов OSPF и IS-IS. Модели YANG
        для OSPF и IS-IS уже включают дополнение metric.";
    }
    type uint32;
    description
      "Метрика — целое число, указывающее стоимость маршрута с
      точки зрения установившегося маршрута протокола маршрутизации.
      В общем случае меньшее значение метрики в рамках одного
      протокола маршрутизации говорит о меньшей стоимости маршрута

```

```

и его предпочтительности по сравнению с большей метрикой.
Метрика разных протоколов маршрутизации не сравнима.";
}
leaf-list tag {
  when "not(derived-from("
    + "../rt:source-protocol, 'ospf:ospf')) "
    + "and not(derived-from("
    + "../rt:source-protocol, 'isis:isis'))" {
    description
      "Это дополнение действительно лишь для маршрутов,
      полученных не от протоколов OSPF и IS-IS. Модели YANG
      для OSPF и IS-IS уже включают дополнение tag.";
  }
  type uint32;
  description
    "Связанный с маршрутом 32-битовый не анализируемый тег,
    который может применяться в решениях на основе правил,
    например для анонсирования или фильтрации маршрута.";
}
leaf application-tag {
  type uint32;
  description
    "Связанный с приложением дополнительный тег, который может
    использоваться приложениями, требующими семантики и/или
    правил, отличных от принятых для обычных тегов. Например,
    тег обычно автоматически анонсируется в OSPF AS-External
    LSA, а связанный с приложением тег не анонсируется неявно.";
}
}

augment "/rt:routing/rt:ribs/rt:rib/"
  + "rt:routes/rt:route/rt:next-hop/rt:next-hop-options/"
  + "rt:simple-next-hop" {
  description
    "Добавление repair-path в simple-next-hop.";
  uses repair-path;
}

augment "/rt:routing/rt:ribs/rt:rib/"
  + "rt:routes/rt:route/rt:next-hop/rt:next-hop-options/"
  + "rt:next-hop-list/rt:next-hop-list/rt:next-hop" {
  description
    "Добавление ремонтного пути в next-hop.";
  uses repair-path;
}
}
<CODE ENDS>

```

6. Вопросы безопасности

Заданный этим документом модуль YANG определяет схему для данных, предназначенную для доступа через сеть с использованием протоколов управления, таких как NETCONF [RFC6241] или RESTCONF [RFC8040]. Нижним уровнем NETCONF служит защищённый транспорт с обязательной поддержкой SSH (Secure Shell) [RFC6242]. Нижним уровнем RESTCONF служит протокол HTTPS с обязательной поддержкой защиты на транспортном уровне (TLS) [RFC8446].

Модель доступа к конфигурации сети (NACM – Network Configuration Access Control Model) [RFC8341] обеспечивает возможность разрешить доступ лишь определённых пользователей NETCONF или RESTCONF к заранее заданному подмножеству операций NETCONF или RESTCONF и содержимого.

В заданном здесь модуле ietf-rib-extension.yang определено множество узлов данных, которые разрешают запись, создание и удаление (т. е. config true, как принято по умолчанию). Эти узлы могут быть конфиденциальными или уязвимыми в некоторых сетевых средах. Запись в такие узлы (например, edit-config) без должной защиты может негативно влиять на работу сети. Ниже перечислены ветви и узлы, которые могут быть конфиденциальными или уязвимыми.

```

/v4ur:next-hop-options/v4ur:simple-next-hop/rib-ext:preference
/v4ur:next-hop-options/v4ur:simple-next-hop/rib-ext:tag
/v4ur:next-hop-options/v4ur:next-hop-list/v4ur:next-hop-list/v4ur:next-hop/rib-ext:preference
/v4ur:next-hop-options/v4ur:next-hop-list/v4ur:next-hop-list/v4ur:next-hop/rib-ext:tag
/v6ur:next-hop-options/v6ur:simple-next-hop/rib-ext:preference
/v6ur:next-hop-options/v6ur:simple-next-hop/rib-ext:tag
/v6ur:next-hop-options/v6ur:next-hop-list/v6ur:next-hop-list/v6ur:next-hop/rib-ext:preference
/v6ur:next-hop-options/v6ur:next-hop-list/v6ur:next-hop-list/v6ur:next-hop/rib-ext:tag

```

Для этих дополнений модуля ietf-routing.yang возможность удалять, добавлять и изменять предпочтения и теги для статических маршрутов может приводить к ошибочной маршрутизации трафика.

Некоторые из доступных для чтения узлов в этом модуле YANG могут быть конфиденциальными или уязвимыми в той или иной сетевой среде. Важно контролировать доступ к таким объектам (например, get, get-config, notification). Ниже перечислены ветви и узлы, которые могут быть конфиденциальными или уязвимыми.

```

/rt:routing/rt:ribs/rt:rib/rib-ext:statistics
/rt:routing/rt:ribs/rt:rib/rt:routes/rt:route/rib-ext:metric
/rt:routing/rt:ribs/rt:rib/rt:routes/rt:route/rib-ext:tag
/rt:routing/rt:ribs/rt:rib/rt:routes/rt:route/rib-ext:application-tag
/rt:route/rt:next-hop/rt:next-hop-options/rt:simple-next-hop/rib-ext:repair-path
/rt:routes/rt:route/rt:next-hop/rt:next-hop-options/rt:next-hop-list/rt:next-hop-list/rt:next-hop/rib-ext:repair-path

```

Раскрытие RIB будет показывать топологию маршрутизации в сети. Это может быть нежелательно, поскольку такое раскрытие может способствовать другим атакам. Кроме того, операторы могут считать сведения о топологии конфиденциальными.

Соображения безопасности, рассмотренные в [RFC8349], применимы к расширениям, описанным здесь.

7. Взаимодействие с IANA

Этот документ регистрирует URI в IETF XML Registry [RFC3688].

URI: urn:ietf:params:xml:ns:yang:ietf-rib-extension

Registrant Contact: The IESG.

XML: N/A; регистрируемый URI является пространством имён XML.

Агентство IANA зарегистрировало указанный ниже подуль YANG в реестре YANG Module Names [RFC6020].

Name: ietf-rib-extension

Namespace: urn:ietf:params:xml:ns:yang:ietf-rib-extension

Prefix: rib-ext

Reference: RFC 9403

8. Литература

8.1. Нормативные документы

- [RFC3688] Mealling, M., "The IETF XML Registry", BCP 81, [RFC 3688](#), DOI 10.17487/RFC3688, January 2004, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc3688>>.
- [RFC6020] Bjorklund, M., Ed., "YANG - A Data Modeling Language for the Network Configuration Protocol (NETCONF)", [RFC 6020](#), DOI 10.17487/RFC6020, October 2010, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc6020>>.
- [RFC6241] Enns, R., Ed., Bjorklund, M., Ed., Schoenwaelder, J., Ed., and A. Bierman, Ed., "Network Configuration Protocol (NETCONF)", [RFC 6241](#), DOI 10.17487/RFC6241, June 2011, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc6241>>.
- [RFC6242] Wasserman, M., "Using the NETCONF Protocol over Secure Shell (SSH)", [RFC 6242](#), DOI 10.17487/RFC6242, June 2011, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc6242>>.
- [RFC6991] Schoenwaelder, J., Ed., "Common YANG Data Types", [RFC 6991](#), DOI 10.17487/RFC6991, July 2013, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc6991>>.
- [RFC7950] Bjorklund, M., Ed., "The YANG 1.1 Data Modeling Language", [RFC 7950](#), DOI 10.17487/RFC7950, August 2016, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc7950>>.
- [RFC8040] Bierman, A., Bjorklund, M., and K. Watsen, "RESTCONF Protocol", [RFC 8040](#), DOI 10.17487/RFC8040, January 2017, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8040>>.
- [RFC8341] Bierman, A. and M. Bjorklund, "Network Configuration Access Control Model", STD 91, [RFC 8341](#), DOI 10.17487/RFC8341, March 2018, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8341>>.
- [RFC8342] Bjorklund, M., Schoenwaelder, J., Shafer, P., Watsen, K., and R. Wilton, "Network Management Datastore Architecture (NMDA)", [RFC 8342](#), DOI 10.17487/RFC8342, March 2018, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8342>>.
- [RFC8343] Bjorklund, M., "A YANG Data Model for Interface Management", [RFC 8343](#), DOI 10.17487/RFC8343, March 2018, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8343>>.
- [RFC8349] Lhotka, L., Lindem, A., and Y. Qu, "A YANG Data Model for Routing Management (NMDA Version)", [RFC 8349](#), DOI 10.17487/RFC8349, March 2018, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8349>>.
- [RFC8446] Rescorla, E., "The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3", [RFC 8446](#), DOI 10.17487/RFC8446, August 2018, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8446>>.
- [RFC9129] Yeung, D., Qu, Y., Zhang, Z., Chen, I., and A. Lindem, "YANG Data Model for the OSPF Protocol", [RFC 9129](#), DOI 10.17487/RFC9129, October 2022, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc9129>>.
- [RFC9130] Litkowski, S., Ed., Yeung, D., Lindem, A., Zhang, J., and L. Lhotka, "YANG Data Model for the IS-IS Protocol", [RFC 9130](#), DOI 10.17487/RFC9130, October 2022, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc9130>>.
- [W3C.REC-xml-20081126] Bray, T., Paoli, J., Sperberg-McQueen, M., Maler, E., and F. Yergeau, "Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition)", World Wide Web Consortium Recommendation REC-xml-20081126, November 2008, <<https://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126>>.

8.2. Дополнительная литература

- [RFC5714] Shand, M. and S. Bryant, "IP Fast Reroute Framework", RFC 5714, DOI 10.17487/RFC5714, January 2010, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc5714>>.
- [RFC7951] Lhotka, L., "JSON Encoding of Data Modeled with YANG", [RFC 7951](#), DOI 10.17487/RFC7951, August 2016, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc7951>>.
- [RFC8340] Bjorklund, M. and L. Berger, Ed., "YANG Tree Diagrams", BCP 215, [RFC 8340](#), DOI 10.17487/RFC8340, March 2018, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8340>>.
- [RFC8792] Watsen, K., Auerswald, E., Farrel, A., and Q. Wu, "Handling Long Lines in Content of Internet-Drafts and RFCs", [RFC 8792](#), DOI 10.17487/RFC8792, June 2020, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8792>>.

Приложение А. Комбинированное дерево

Ниже представлено комбинированное дерево модулей ietf-routing.yang, ietf-ipv4-unicast-routing.yang, ietf-ipv6-unicast-routing.yang, ietf-rib-extension.yang.

```

module: ietf-routing
  +--rw routing
  +--rw router-id?                yang:dotted-quad {router-id}?
  +--ro interfaces
  | +--ro interface*   if:interface-ref
  +--rw control-plane-protocols
  | +--rw control-plane-protocol* [type name]
  | | +--rw type                identityref
  | | +--rw name                string
  | | +--rw description?       string
  | | +--rw static-routes
  | | | +--rw v4ur:ipv4
  | | | | +--rw v4ur:route* [destination-prefix]
  | | | | | +--rw v4ur:destination-prefix   inet:ipv4-prefix
  | | | | | +--rw v4ur:description?       string
  | | | | | +--rw v4ur:next-hop
  | | | | | | +--rw (v4ur:next-hop-options)
  | | | | | | | +--rw (v4ur:simple-next-hop)
  | | | | | | | | +--rw v4ur:outgoing-interface?
  | | | | | | | | | if:interface-ref
  | | | | | | | | +--rw v4ur:next-hop-address?
  | | | | | | | | | | inet:ipv4-address
  | | | | | | | | +--rw rib-ext:preference?   uint32
  | | | | | | | | +--rw rib-ext:tag?         uint32
  | | | | | | | | +--rw (v4ur:special-next-hop)
  | | | | | | | | | +--rw v4ur:special-next-hop? enumeration
  | | | | | | | | +--rw (v4ur:next-hop-list)
  | | | | | | | | | +--rw v4ur:next-hop-list
  | | | | | | | | | | +--rw v4ur:next-hop* [index]
  | | | | | | | | | | | +--rw v4ur:index                string
  | | | | | | | | | | | +--rw v4ur:outgoing-interface?
  | | | | | | | | | | | | if:interface-ref
  | | | | | | | | | | | +--rw v4ur:next-hop-address?
  | | | | | | | | | | | | | inet:ipv4-address
  | | | | | | | | | | | +--rw rib-ext:preference?   uint32
  | | | | | | | | | | | +--rw rib-ext:tag?         uint32
  | | | | +--rw v6ur:ipv6
  | | | | | +--rw v6ur:route* [destination-prefix]
  | | | | | | +--rw v6ur:destination-prefix   inet:ipv6-prefix
  | | | | | | +--rw v6ur:description?       string
  | | | | | | +--rw v6ur:next-hop
  | | | | | | | +--rw (v6ur:next-hop-options)
  | | | | | | | | +--rw (v6ur:simple-next-hop)
  | | | | | | | | | +--rw v6ur:outgoing-interface?
  | | | | | | | | | | if:interface-ref
  | | | | | | | | | +--rw v6ur:next-hop-address?
  | | | | | | | | | | | inet:ipv6-address
  | | | | | | | | | +--rw rib-ext:preference?   uint32
  | | | | | | | | | +--rw rib-ext:tag?         uint32
  | | | | | | | | | +--rw (v6ur:special-next-hop)
  | | | | | | | | | | +--rw v6ur:special-next-hop? enumeration
  | | | | | | | | | +--rw (v6ur:next-hop-list)
  | | | | | | | | | | +--rw v6ur:next-hop-list
  | | | | | | | | | | | +--rw v6ur:next-hop* [index]
  | | | | | | | | | | | | +--rw v6ur:index                string
  | | | | | | | | | | | | +--rw v6ur:outgoing-interface?
  | | | | | | | | | | | | | if:interface-ref
  | | | | | | | | | | | | +--rw v6ur:next-hop-address?
  | | | | | | | | | | | | | | inet:ipv6-address
  | | | | | | | | | | | | +--rw rib-ext:preference?   uint32
  | | | | | | | | | | | | +--rw rib-ext:tag?         uint32
  +--rw ribs
  | +--rw rib* [name]
  | | +--rw name                string
  | | +--rw address-family      identityref
  | | +--ro default-rib?        boolean {multiple-ribs}?
  | | +--ro routes
  | | | +--ro route* []
  | | | | +--ro route-preference? route-preference
  | | | | +--ro next-hop
  | | | | | +--ro (next-hop-options)
  | | | | | | +--rw (simple-next-hop)
  | | | | | | | +--ro outgoing-interface?
  | | | | | | | | if:interface-ref
  | | | | | | | +--ro v4ur:next-hop-address?
  | | | | | | | | | inet:ipv4-address
  | | | | | | | +--ro v6ur:next-hop-address?
  | | | | | | | | | inet:ipv6-address
  | | | | | | | +--ro rib-ext:repair-path
  | | | | | | | | +--ro rib-ext:outgoing-interface?
  | | | | | | | | | if:interface-state-ref

```

Приложение В. Пример *ietf-rib-extension.yang*

```
<routing xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:ietf-routing">
  <control-plane-protocols>
    <control-plane-protocol>
      <type>static</type>
      <name>static-routing-protocol</name>
      <static-routes>
        <ipv4 xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
          ietf-ipv4-unicast-routing">
          <route>
            <destination-prefix>0.0.0.0/0</destination-prefix>
            <next-hop>
```

```

    <next-hop-address>192.0.2.2</next-hop-address>
    <preference xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
      ietf-rib-extension">30</preference>
    <tag xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
      ietf-rib-extension">99</tag>
  </next-hop>
</route>
</ipv4>
<ipv6 xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
  ietf-ipv6-unicast-routing">
  <route>
    <destination-prefix>::/0</destination-prefix>
    <next-hop>
      <next-hop-address>2001:db8:aaaa::1111</next-hop-address>
      <preference xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
        ietf-rib-extension">30</preference>
      <tag xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
        ietf-rib-extension">66</tag>
    </next-hop>
  </route>
</ipv6>
</static-routes>
</control-plane-protocol>
</control-plane-protocols>
<ribs>
  <rib>
    <name>ipv4-primary</name>
    <address-family xmlns:v4ur="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
      ietf-ipv4-unicast-routing">v4ur:ipv4-unicast</address-family>
    <default-rib>true</default-rib>
    <routes>
      <route>
        <destination-prefix xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
          ietf-ipv4-unicast-routing">0.0.0.0/0</destination-prefix>
        <next-hop>
          <next-hop-address xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
            ietf-ipv4-unicast-routing">192.0.2.2</next-hop-address>
        </next-hop>
        <route-preference>5</route-preference>
        <source-protocol>static</source-protocol>
        <last-updated>2015-10-24T18:02:45+02:00</last-updated>
      </route>
      <route>
        <destination-prefix xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
          ietf-ipv4-unicast-routing">198.51.100.0/24\
        </destination-prefix>
        <next-hop>
          <next-hop-address xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
            ietf-ipv4-unicast-routing">192.0.2.2</next-hop-address>
          <repair-path xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
            ietf-rib-extension">
            <next-hop-address>203.0.113.1</next-hop-address>
            <metric>200</metric>
          </repair-path>
        </next-hop>
        <route-preference>120</route-preference>
        <source-protocol xmlns:rip="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
          ietf-rip">rip:rip</source-protocol>
        <last-updated>2015-10-24T18:02:45+02:00</last-updated>
      </route>
    </routes>
  </rib>
  <rib>
    <name>ipv6-primary</name>
    <address-family xmlns:v6ur="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
      ietf-ipv6-unicast-routing">v6ur:ipv6-unicast</address-family>
    <default-rib>true</default-rib>
    <routes>
      <route>
        <destination-prefix xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
          ietf-ipv6-unicast-routing">0::/0</destination-prefix>
        <next-hop>
          <next-hop-address xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
            ietf-ipv6-unicast-routing">2001:db8:aaaa::1111\
          </next-hop-address>
        </next-hop>
        <route-preference>5</route-preference>
        <source-protocol>static</source-protocol>
        <last-updated>2015-10-24T18:02:45+02:00</last-updated>
      </route>
      <route>
        <destination-prefix xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
          ietf-ipv6-unicast-routing">2001:db8:bbbb::/64\
        </destination-prefix>
        <next-hop>
          <next-hop-address xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\

```

```

    ietf-ipv6-unicast-routing">2001:db8:aaaa::1111\
  </next-hop-address>
  <repair-path xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
    ietf-rib-extension">
    <next-hop-address>2001:db8:cccc::2222</next-hop-address>
    <metric>200</metric>
  </repair-path>
</next-hop>
<route-preference>120</route-preference>
<source-protocol xmlns:rip="urn:ietf:params:xml:ns:yang:\
  ietf-rip">rip</source-protocol>
<last-updated>2015-10-24T18:02:45+02:00</last-updated>
</route>
</routes>
</rib>
</ribs>
</routing>

```

Ниже представлен тот же пример в формате JSON [RFC7951].

```

{
  "ietf-routing:routing": {
    "control-plane-protocols": {
      "control-plane-protocol": [
        {
          "type": "static",
          "name": "static-routing-protocol",
          "static-routes": {
            "ietf-ipv4-unicast-routing:ipv4": {
              "route": [
                {
                  "destination-prefix": "0.0.0.0/0",
                  "next-hop": {
                    "next-hop-address": "192.0.2.2",
                    "ietf-rib-extension:preference": 30,
                    "ietf-rib-extension:tag": 99
                  }
                }
              ]
            },
            "ietf-ipv6-unicast-routing:ipv6": {
              "route": [
                {
                  "destination-prefix": "::/0",
                  "next-hop": {
                    "next-hop-address": "2001:db8:aaaa::1111",
                    "ietf-rib-extension:preference": 30,
                    "ietf-rib-extension:tag": 66
                  }
                }
              ]
            }
          }
        }
      ]
    },
    "ribs": {
      "rib": [
        {
          "name": "ipv4-primary",
          "address-family": "ietf-ipv4-unicast-routing:ipv4-unicast",
          "default-rib": true,
          "routes": {
            "route": [
              {
                "next-hop": {
                  "ietf-ipv4-unicast-routing:next-hop-address": \
                    "192.0.2.2"
                },
                "route-preference": 5,
                "source-protocol": "static",
                "last-updated": "2015-10-24T18:02:45+02:00",
                "ietf-ipv4-unicast-routing:destination-prefix": \
                  "0.0.0.0/0"
              },
              {
                "next-hop": {
                  "ietf-rib-extension:repair-path": {
                    "next-hop-address": "203.0.113.1",
                    "metric": 200
                  },
                  "ietf-ipv4-unicast-routing:next-hop-address": \
                    "192.0.2.2"
                },
                "route-preference": 120,
                "source-protocol": "ietf-rip:rip",
                "last-updated": "2015-10-24T18:02:45+02:00",

```

Благодарности

Адреса авторов

Yingzhen Qu
Futurewei Technologies
2330 Central Expressway
Santa Clara, CA 95050
United States of America
Email: yingzhen.qu@futurewei.com

Николай Малых
nmalykh@protokols.ru