**Введение**

Адресация — это основная функция протоколов сетевого уровня, которая позволяет узлам обмениваться данными вне зависимости от того, находятся ли узлы в одной или нескольких сетях. IP-протокол версии 4 (IPv4) и IP-протокол версии 6 (IPv6) обеспечивают иерархическую адресацию пакетов, которые служат для передачи данных.

**Двоичное представление чисел**

Чтобы понять, как работают устройства в сети, необходимо взглянуть на адреса и другие данные так, как это делают устройства — то есть в двоичном представлении. Двоичное представление информации осуществляется с помощью только единиц и нулей. Компьютеры взаимодействуют с использованием двоичных данных. Двоичные данные можно использовать для представления разных видов информации. Например, когда пользователь набирает символы на клавиатуре, они отображаются на экране в удобном для чтения и понимания виде. Однако компьютер преобразует каждый символ в серии двоичных цифр для удобства хранения и передачи. Для преобразования этих символов компьютер использует Американский стандартный код для обмена информацией (ASCII).

Например, буква «А» в коде ASCII представлена в виде бита 01000001. В свою очередь, буква нижнего регистра «a» представлена в виде бита 01100001. Используйте преобразователь ASCII на рисунке 1 для преобразования символов в двоичную форму.

Хотя в целом людям не нужно углубляться в преобразование символов, необходимо понимать, как двоичные числа используются в IP-адресации. Каждое устройство в сети должно быть уникально представлено с помощью двоичного адреса. В IPv4-сетях этот адрес представлен с помощью серии из 32 бит (единиц и нулей). Затем на сетевом уровне пакеты включают в себя эту уникальную идентификационную информацию для систем источника и назначения. Таким образом, в IPv4-сети каждый пакет включает в себя 32-битный адрес источника и 32-битный адрес назначения в заголовке уровня 3.

Большинству людей сложно понять строку из 32 бит и тем более сложно её запомнить. Поэтому вместо двоичной системы для представления IPv4-адресов мы используем десятичный формат с разделительными точками. Это означает, что мы рассматриваем каждый байт (октет) в виде десятичного числа от 0 до 255. Чтобы понять этот принцип работы, необходимо уметь преобразовывать двоичные представления в десятичный формат.

**Позиционное представление чисел**

Чтобы научиться преобразовывать двоичные представления в десятичные, нужно понимать математические основы позиционной системы исчисления. В позиционном представлении цифра представляет разные значения в зависимости от своего расположения. Основанием системы позиционного представления является корень. В десятичной системе корнем является 10. Корень для двоичной системы — 2. Термины «основание» и «корень» можно использовать как синонимы. Если точнее, то значение, представленное цифрой, умножается на основание, или корень, который представлен позицией, занимаемой цифрой. Несколько примеров помогут вам лучше понять, как работает эта система.

Для десятичного числа 192 единица (1) представляет значение 1\*10^2 (1 раз 10 на 2). Единица находится на позиции сотни (100). Позиционное представление передаёт эту позицию, как основание^2, поскольку основание, или корень, — это 10, а степень — это 2. Цифра 9 представлена как 9\*10^1 (9 раз 10 на 1). Позиционное представление десятичного числа 192 показано на рисунке 2.

С помощью позиционного представления в системе исчисления с корнем 10 число 192 представлено следующим образом:

192 = (1 \* 10^2) + (9 \* 10^1) + (2 \* 10^0)

или

192 = (1 \* 100) + (9 \* 10) + (2 \* 1)

**Двоичная система исчисления**

В протоколе IPv4-адреса представлены 32-битными числами. Однако для упрощения использования двоичные схемы, представляющие IPv4-адреса, выражаются десятичными представлениями с разделительными точками. Сначала каждый байт (8 бит) 32-битной комбинации (октета) отделяется точкой. Он называется октетом потому, что каждое десятичное число представляет один байт или 8 бит.

Двоичный адрес:

11000000 10101000 00001010 00001010

выражается в виде разделённых точками десятичных чисел:

192.168.10.10

На рисунке 1 нажимайте каждую кнопку, чтобы увидеть, как 32-битный двоичный адрес представлен десятичными октетами с разделительными точками.

Но как определяются их фактические десятичные эквиваленты?

**Двоичная система исчисления**

Корнем для двоичной системы исчисления является 2. Таким образом, каждое расположение представляет значение в степени 2. В 8-битных двоичных числах расположения представляют следующие суммы:

2^7 2^6 2^5 2^4 2^3 2^2 2^1 2^0

128 64 32 16 8 4 2 1

Система с основанием 2 располагает только двумя цифрами: 0 и 1.

Когда мы представляем байт в виде десятичного числа, то единица означает, что расположение представляет сумму. Если же у нас цифра ноль, то суммы нет, как показано на рисунке 1.

Рисунок 2 демонстрирует представление десятичного числа 192 в двоичном формате. Единица (1) в определённой позиции означает, что мы прибавляем это значение к общей сумме. Ноль (0) означает, что мы не добавляем это значение. Двоичное число 11000000 имеет 1 в позиции 2^7 (десятичное значение 128) и 1 в позиции 2^6 (десятичное значение 64). Оставшиеся биты — это нули, поэтому не нужно добавлять соответствующие десятичные значения. При сложении 128 + 64 получаем сумму 192, десятичный эквивалент которой 11000000.

Рассмотрим другие два примера.

**Пример 1. Октет, содержащий все единицы: 11111111**

Единица в каждой позиции означает, что мы прибавляем значение к этой позиции до общей суммы. Если в сумме все единицы, то значения каждой позиции включены в общую сумму; таким образом, значение всех единиц равняется 255.

128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 255

**Пример 2. Октет, содержащий все нули: 00000000**

Ноль в каждой позиции указывает на то, что значение для данной позиции не включено в сумму. Если в каждой позиции стоит ноль, то вся сумма равняется 0.

0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0

Разные комбинации единиц и нулей создают различные десятичные значения.

**Преобразование из десятичного формата в двоичный**

Необходимо уметь преобразовывать числа не только из двоичной системы в десятичную, но и наоборот.

Поскольку мы представляем IPv4-адреса в десятичном формате с разделительными точками, нам необходимо изучить только процесс преобразования 8-битного двоичного значения в десятичное от 0 до 255 для каждого октета в IPv4-адресе.

Чтобы начать процесс преобразования, мы определяем, является ли десятичное число равным или больше, чем наибольшее десятичное значение, представленное самым старшим разрядом. В наивысшей позиции мы определяем, является ли октет равным или больше числа 128. Если октет меньше 128, то мы ставим 0 в позиции бита для десятичного значения 128 и переходим к позиции бита десятичного значения 64.

Если октет в позиции бита десятичного значения 128 больше или равен 128, то мы ставим 1 в позиции бита для десятичного значения 128 и вычитаем 128 из значения преобразуемого октета. Затем мы сравниваем остаток данной операции со следующим по меньшинству значением — 64. Аналогичное действие мы применим ко всем оставшимся позициям бита.

Нажимайте на рисунки от 1 до 6, чтобы увидеть процесс преобразования числа 168 в двоичный эквивалент 10101000.

**Сетевая и узловая части IPv4-адреса**

Понимание двоичной системы исчисления особенно важно, чтобы установить, находятся ли два узла в одной и той же сети. Как вы помните, IP-адрес является иерархическим адресом, который состоит из двух частей: сетевой и узловой. Определяя ту или иную часть, необходимо обращать внимание не на десятичное значение, а на 32-битный поток. В 32-битном потоке одна часть битов составляет сеть, а другая — узел.

Биты в сетевой части адреса должны быть одинаковыми для всех устройств, которые находятся в одной и той же сети. Биты в узловой части адреса должны быть уникальными, чтобы можно было определить конкретный узел в сети. Независимо от того, совпадают ли десятичные числа в двух IPv4-адресах, если два узла имеют одну битовую комбинацию в определённой сетевой части 32-битного потока, то эти два узла находятся в одной и той же сети.

Но как узлы определяют, какая из частей 32-битного потока является сетевой, а какая — узловой? Для этого используется маска подсети.

При настройке IP-узла ему присваивается не только IP-адрес, но и маска подсети. Как и IP-адрес, маска состоит из 32 бит. Она определяет, какая часть IP-адреса относится к сети, а какая — к узлу.

Маска сравнивается с IP-адресом побитно, слева направо. В маске подсети единицы соответствуют сетевой части, а нули — адресу узла. Как показано на рисунке 1, маска подсети создаётся путём размещения единицы (1) в каждой позиции бита, представляющей сетевую часть, и размещения нуля (0) в каждой позиции бита, которая представляет узловую часть. Обратите внимание, что маска подсети не содержит сетевую или узловую часть IPv4-адреса; она только сообщает компьютеру, в каком месте искать эти части в данном IPv4-адресе.

Как и IPv4-адреса, маска подсети для простоты использования представлена в десятичном формате с разделительными точками. Маска подсети настроена на узловом устройстве в сочетании с IPv4-адресом и необходима для того, чтобы узел мог определить, к какой сети он принадлежит. На рис. 2 показаны допустимые маски подсети для IPv4-октета.

**Сетевой адрес, адрес узла и широковещательный адрес сети IPv4**

В диапазоне адресов каждой сети IPv4 существуют три типа адресов:

* Сетевой адрес
* Узловые адреса
* Широковещательный адрес

**Сетевой адрес**

Сетевой адрес — это стандартный способ обозначения сети. Маска подсети или длина префикса могут использоваться при обозначении сетевого адреса. Например, сеть, показанную на рисунке 1, можно обозначить как 10.1.1.0, 10.1.1.0 255.255.255.0 или 10.1.1.0/24. Все узлы в сети 10.1.1.0/24 будут иметь одинаковую сетевую часть.

Как показано на рисунке 2, в пределах диапазона IPv4-адресов первый из них зарезервирован для сетевого адреса. В каждом узловом бите узловой части этого адреса указан ноль. Все узлы в этой сети используют одну сеть.

**Адрес узла**

Для обмена данными по сети каждому оконечному устройству необходим уникальный адрес. В IPv4-адресах значения между сетевым и широковещательным адресами могут быть назначены оконечным устройствам в сети. Как показано на рисунке 3, в узловой части этот адрес может иметь любую комбинацию нулей и единиц, но при этом не может состоять только из нулей или только из единиц.

**Широковещательный адрес**

Широковещательный IPv4-адрес — это особый адрес для каждой сети, который осуществляет связь для всех узлов, расположенных в этой сети. Для единовременной отправки данных на все узлы в сети узел может отправить один пакет, назначенный широковещательному адресу сети, а каждый узел в этой сети, который получит этот пакет, обработает его содержимое.

Для широковещательной рассылки используется наивысший адрес диапазона сети. В этом адресе все части узла представлены единицами (1). Сумма единиц октета в двоичной форме равняется значению 255 в десятичном формате. Таким образом, как показано на рисунке 4, для сети 10.1.1.0/24, в которой последний октет используется для узловой части, широковещательный адрес будет равен 10.1.1.255. Обратите внимание, что узловая часть не всегда представлена всем октетом целиком. Также этот адрес называют прямой широковещательной рассылкой.

**Побитовая операция И**

Если устройству назначен IPv4-адрес, то это устройство использует маску подсети, чтобы определить, к какому сетевому адресу оно принадлежит. Сетевой адрес представляет все устройства в одной и той же сети.

При отправке данных по сети устройство использует эту информацию, чтобы определить, может ли оно пересылать пакеты локально, либо оно должно отправлять пакеты на шлюз по умолчанию для удалённой отправки. Когда узел отправляет пакет, он сравнивает сетевые части собственного IP-адреса и IP-адреса назначения, который зависит от маски подсети. Если биты сетевой части совпадают, значит, узлы источника и назначения находятся в одной и той же сети, и пакет доставляется локально. Если биты не совпадают, отправляющий узел передаёт пакет на шлюз по умолчанию для отправки в другую сеть.

**Операция И**

Операция И — одна из трёх основных двоичных операций, используемых в дискретной логике. Кроме того, существуют операции ИЛИ и НЕТ. Хотя все они используются в сетях передачи данных, операция И используется для определения сетевого адреса. Поэтому в данном случае мы рассмотрим только логическую операцию И. Логическая операция И — это сравнение двух битов со следующими результатами:

1 И 1 = 1 (см. рис. 1)

0 И 1 = 0 (см. рис. 2)

0 И 0 = 0 (см. рис. 3)

1 И 0 = 0 (см. рис. 4)

IPv4-адрес узла постепенно, бит за битом, прошел операцию И, и его маска подсети определила сетевой адрес, с которым связан узел. В результате выполнения побитовой операции И между адресом и маской подсети создаётся сетевой адрес.

**Присвоение узлу статического IPv4-адреса**

**Адреса для устройств конечных пользователей**

В большинстве сетей передачи данных многие узлы представлены оконечными устройствами, такими как компьютеры, смартфоны, планшетные ПК, принтеры и IP-телефоны. Поскольку это основная часть устройств в сети, наибольшее количество адресов должно быть присвоено именно этим узлам. Таким узлам присваиваются IP-адреса из диапазона доступных адресов в сети. IP-адреса можно присваивать статически или динамически.

**Статическое присвоение**

Используя статический адрес, сетевой администратор может вручную настраивать сетевые данные узла. На рис. 1 показано диалоговое окно со свойствами сетевого адаптера. Чтобы настроить статический IPv4-адрес, выберите IPv4 на экране сетевого адаптера, затем ключ в статическом адресе, маску подсети и шлюз по умолчанию. На рис. 2 показана минимальная статическая конфигурация: IP-адрес, маска подсети и шлюз по умолчанию.

Статическая адресация обладает несколькими преимуществами. Например, её можно использовать для принтеров, серверов и других сетевых устройств, которые редко меняют местоположение и должны быть доступны для клиентов сети, основанной на фиксированном IP-адресе. Если обычно узлы получают доступ к серверу через конкретный IP-адрес, то изменение IP-адреса повлечёт за собой некоторые проблемы. Кроме того, статическое присвоение адресов усиливает контроль над сетевыми ресурсами. Например, можно создать фильтры доступа в зависимости от трафика по направлению к определённому IP-адресу и от него. Однако ввод статической адресации на каждом узле требует много времени.

При использовании статической IP-адресации необходимо ввести точный список IP-адресов, присвоенных каждому устройству. Эти адреса постоянны и обычно не используются повторно.

**Одноадресная передача**

В IPv4-сети узлы могут взаимодействовать одним из трёх следующих способов.

* **Одноадресная рассылка** — процесс отправки пакета с одного узла на индивидуальный
* **Широковещательная рассылка** — процесс отправки пакета с одного узла на все узлы в сети
* **Многоадресная рассылка** — процесс отправки пакета с одного узла выбранной группе узлов, возможно, в различных сетях

Эти три типа связи используются в сетях передачи данных для различных целей. Во всех трёх типах IPv4-адрес исходного узла размещён в заголовке пакета в качестве адреса источника.

**Одноадресный трафик**

Одноадресная передача используется для обычного обмена данными между узлами как в сети типа «клиент/сервер», так и в одноранговой сети. Для одноадресной рассылки пакетов в качестве адреса назначения используются адреса целевого устройства. Пакеты могут быть направлены через объединённую сеть.

Чтобы увидеть пример одноадресной передачи, включите анимационное представление.

В IPv4-сети индивидуальные адреса, применяемые к оконечному устройству, называются узловыми адресами. Для одноадресной передачи адреса, присвоенные двум оконечным устройствам, используются в качестве IPv4-адресов источника и назначения. Во время процесса инкапсуляции исходный узел размещает свой IPv4-адрес в заголовке пакета одноадресной рассылки в качестве адреса источника, а IPv4-адрес узла назначения — в заголовке пакета в качестве адреса назначения. Независимо от того, является ли пункт назначения, определивший пакет, одноадресным, широковещательным или многоадресным, источник всегда является индивидуальным адресом исходного узла.

**Примечание**. В этом курсе любая связь между устройствами является одноадресной, если не указано иное.

Узловые IPv4-адреса являются одноадресными и входят в диапазон адресов от 0.0.0.0 до 223.255.255.255. Однако в этом диапазоне есть множество адресов, зарезервированных для специальных целей. Такие адреса будут рассмотрены позже.

**Публичные и частные IPv4-адреса**

Хотя большая часть узловых IPv4-адресов являются публичными, т. е. предназначенными для использования в сетях, доступных через Интернет, существуют блоки адресов, которые используются в сетях, требующих ограниченного доступа в Интернет или не требующих его совсем. Эти адреса называются частными.

**Частные адреса**

Блоки частных адресов включают в себя:

10.0.0.0–10.255.255.255 (10.0.0.0/8)

172.16.0.0–172.31.255.255 (172.16.0.0/12)

192.168.0.0–192.168.255.255 (192.168.0.0/16)

Частные адреса определены в документе RFC 1918 «Присвоение адресов для частного Интернета». Иногда эти адреса называют адресами RFC 1918. Как показано на рисунке, блоки адресов частного пространства используются в частных сетях. Узлы, которые не требуют доступа в Интернет, могут использовать частные адреса. Однако в рамках частной сети узлы по-прежнему должны иметь уникальные IP-адреса внутри частного пространства.

Узлы в различных сетях могут использовать одни и те же адреса частного пространства. Пакеты, использующие эти адреса в качестве источника или назначения, не должны появляться в публичном Интернете. Маршрутизатор или устройство межсетевого экрана по периметру этих частных сетей должны блокировать или преобразовывать эти адреса. Даже если бы пакеты сами прокладывали свой путь через Интернет, у маршрутизаторов в любом случае не появилось бы маршрутов для пересылки их в соответствующую частную сеть.

В документе RFC 6598 IANA (Администрация адресного пространства Интернет) зарезервировала другую группу адресов, которая называется общим адресным пространством. Так же, как и в пространстве частных адресов RFC 1918, адреса общего адресного пространства недоступны глобально. Однако эти адреса предназначены только для использования в сетях операторов связи. Блок общих адресов — 100.64.0.0/10.

**Публичные адреса**

Подавляющее большинство адресов в диапазоне узлов одноадресной IPv4-рассылки являются публичными адресами. Эти адреса предназначены для использования в узлах с открытым доступом из Интернета. Даже в диапазоне этих блоков IPv4-адресов существует множество адресов, предназначенных для других особых целей.

**IPv4-адреса специального назначения**

Некоторые адреса невозможно назначить узлам. Также существуют особые адреса, которые могут быть назначены узлам, но с ограничениями того, как эти узлы могут взаимодействовать в сети.

**Адреса сети и широковещательной рассылки**

Как было указано выше, в каждой сети первый и последний адреса не могут быть назначены узлам. Это сетевой и широковещательный адреса соответственно.

**Логический интерфейс loopback**

Один из таких зарезервированных адресов — IPv4-адрес логического интерфейса loopback 127.0.0.1. Loopback — это особый адрес, который используют узлы, чтобы направлять трафик самим себе. Адрес обратной связи позволяет создавать ускоренный метод взаимодействия для приложений и сервисов TCP/IP, которые работают на одном и том же устройстве. С использованием loopback-адреса вместо назначенного IPv4-адреса узла два сервиса на одном узле могут обойти нижние уровни стека протоколов TCP/IP. Для проверки настройки TCP/IP на локальном узле можно послать эхо-запрос на loopback-адрес.

Хотя используется только адрес 127.0.0.1, резервируются адреса с 127.0.0.0 до 127.255.255.255. Любой адрес из этого блока даст обратную связь с локальным узлом. Ни один адрес из этого блока не должен появляться в какой-либо сети.

**Локальные адреса каналов**

В качестве локальных адресов канала используются IPv4-адреса в блоке адресов от 169.254.0.0 до 169.254.255.255 (169.254.0.0 /16). Эти адреса могут быть автоматически присвоены операционной системой локальному узлу в средах, где настройка IP-сети недоступна. Они могут использоваться в небольшой одноранговой сети или для узла, который не может автоматически получить адрес от DHCP-сервера.

Коммуникация с помощью локальных IPv4-адресов подходит только для обмена данными с другими устройствами, подключёнными к той же сети, как показано на рисунке. Узел не должен отправлять пакет с локальным IPv4-адресом назначения какому-либо маршрутизатору для пересылки, а должен задать время жизни (TTL) IPv4 для этих пакетов в значении 1.

Локальные адреса не предоставляют сервисы за пределами локальной сети. Однако многие приложения типа клиент-сервер и одноранговые приложения будут работать надлежащим образом с локальными IPv4-адресами.

**Адреса TEST-NET**

Блок адресов от 192.0.2.0 до 192.0.2.255 (192.0.2.0/24) отложен для обучающих и учебных целей. Эти адреса могут использоваться в документации и сети. В отличие от экспериментальных адресов сетевые устройства принимают эти адреса в свои конфигурации. Эти адреса часто используются в сочетании с такими доменными именами, как example.com или example.net в серии документов, имеющих статус стандартов (RFC), в документации поставщиков и протоколов. Адреса из этого блока не должны появляться в сети Интернет.

**Экспериментальные адреса**

Адреса в блоке от 240.0.0.0 до 255.255.255.254 указаны в качестве зарезервированных для использования в будущем (RFC 3330). В настоящее время эти адреса могут использоваться только в исследовательских или экспериментальных целях, но не могут использоваться в IPv4-сети. Тем не менее, в соответствии с документом RFC 3330, в будущем технически они могут быть преобразованы в доступные адреса.

**Присвоение IP-адресов**

Чтобы располагать сетевыми узлами, например веб-серверами, компании или организации необходим блок назначенных публичных адресов. Как вы помните, публичные адреса должны быть уникальными, а использование этих публичных адресов контролируется и назначается отдельно для каждой организации. Это утверждение является верным в отношении IPv4- и IPv6-адресов.

**IANA (Администрация адресного пространства Интернет) и RIR (региональные интернет-регистраторы)**

Администрация адресного пространства Интернет IANA ([http://www.iana.org](http://www.iana.org/)) регулирует назначение IPv4- и IPv6-адресов. До середины 1990-х гг. управление всем адресным IPv4-пространством осуществлялось напрямую организацией IANA. В то время оставшееся адресное IPv4-пространство было распространено среди различных регистраторов для облегчённого управления конкретными целями и регионами. Такие регистрационные компании называются региональными интернет-регистраторами (RIR), как показано на рисунке.

Основные реестры:

* AfriNIC (Африканский сетевой информационный центр) — Африканский регион [http://www.afrinic.net](http://www.afrinic.net/)
* APNIC (Азиатско-Тихоокеанский сетевой информационный центр) — Азиатско-Тихоокеанский регион [http://www.apnic.net](http://www.apnic.net/)
* ARIN (Американский реестр интернет-адресов) — Североамериканский регион [http://www.arin.net](http://www.arin.net/)
* LACNIC (Латиноамериканский и Карибский сетевой информационный центр) — Латинская Америка и некоторые острова Карибского моря [http://www.lacnic.net](http://www.lacnic.net/)
* RIPE NCC (Координационный центр европейской континентальной сети) — Европа, Ближний Восток и Азия [http://www.ripe.net](http://www.ripe.net/)

**Интернет-провайдеры**

Региональные интернет-регистраторы отвечают за выделение IP-адресов интернет-провайдерам (ISP). Большинство компаний или организаций получают блоки IPv4-адресов от интернет-провайдеров. Обычно, помимо всех остальных услуг, провайдер предоставляет своим заказчикам небольшое количество доступных IPv4-адресов (6 или 14). Большие блоки адресов можно получить в соответствии с потребностями и за дополнительную плату.

По сути, провайдеры одалживают своим клиентам эти адреса. При смене интернет-провайдера новый поставщик услуг предоставляет адреса из своих адресных блоков, а предыдущий получает обратно свои адреса и одалживает их другому заказчику.

IPv6-адреса можно получить от интернет-провайдера или, в некоторых случаях, напрямую от интернет-регистраторов. IPv6-адреса и блоки адресов стандартных размеров будут рассмотрены в этой главе далее.