

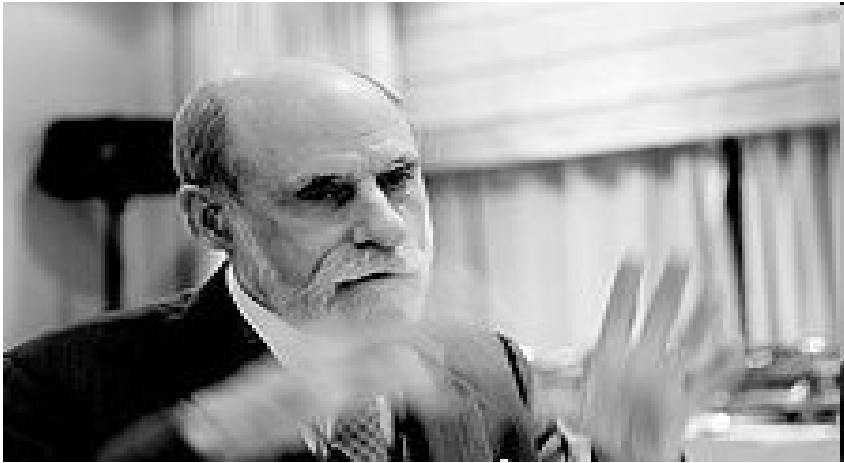
Мрежов протокол IPv4

Адресация, подмрежи и маски.
CIDR

Какво ще научим?

- Задачата на IP протокола
- Формат на IPv4 пакета
- Класове от IP адреси. Видове адреси според обхвата.
- Мрежи, подмрежи, маски, префикси
- CIDR и VLSM
- Разпределение на IP адреси в публичното пространство

IP. История.



Съществуващите към момента различни мрежови методи трябвало да се унифицират. За целта **Robert E. Kahn** от ARPANET наема **Vinton Cerf** от Stanford University.

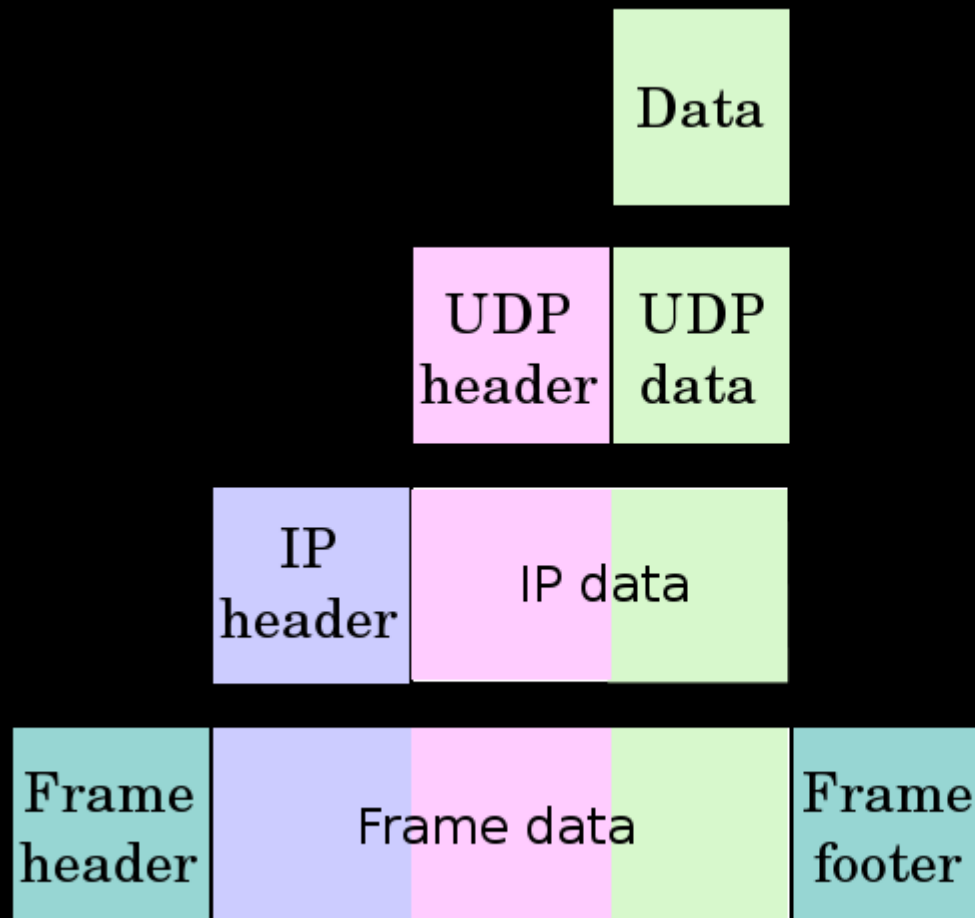
IP. История.

Към 1973 г. успяват сериозно да реформират мрежата, като различията между мрежовите протоколи се скриват под общ **internetwork protocol**, вместо мрежата да е отговорна за надеждността, както е в ARPANET, тя се прехвърля към хостовете.

През декември, 1974 г., излиза спецификацията:

RFC 675 - Specification of Internet Transmission Control Program

Мястото на IP протокола



Задачата на IP протокола

IP е “**routed**” протокол. (*passive voice*).
(За разлика от “**routing**” протоколите, които извършват маршрутизацията - *active voice*.)

Задачата му е да извърши успешно предаване на пакети от източника до получателя, без значение дали те са в една и съща мрежа или в различни мрежи.

Транспортното ниво взима потоци от байтове и ги разделя на **сегменти** (TCP) или **дейтаграми** (UDP), които се “обличат” като **пакети** (наричат ги още **дейтаграми**).

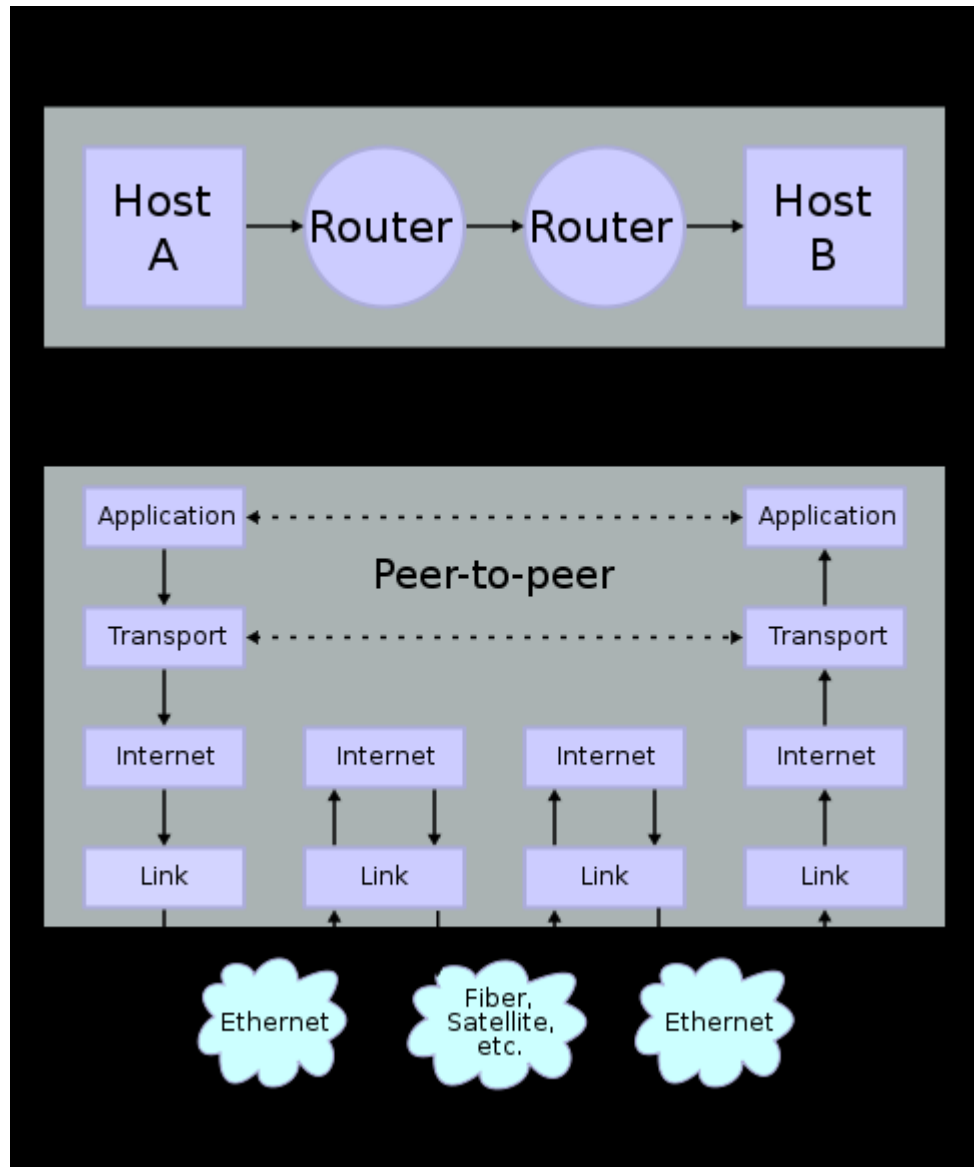
Пакетите могат на теория да достигнат 64KB, но за момента не са по-големи от 1500 байта.
routed

Задачата на IP протокола

Всеки пакет се изпраща самостоятелно, като по пътя може да се фрагментира на по-малки единици. Когато тези единици достигнат до получателя, те се реасемблират от мрежовото ниво за получаване на оригиналния пакет.

По-нататък данните от този пакет се подават на транспортното ниво на получателя, което ги вмъква в потока от байтове на съответното приложение.

Задачата на IP протокола



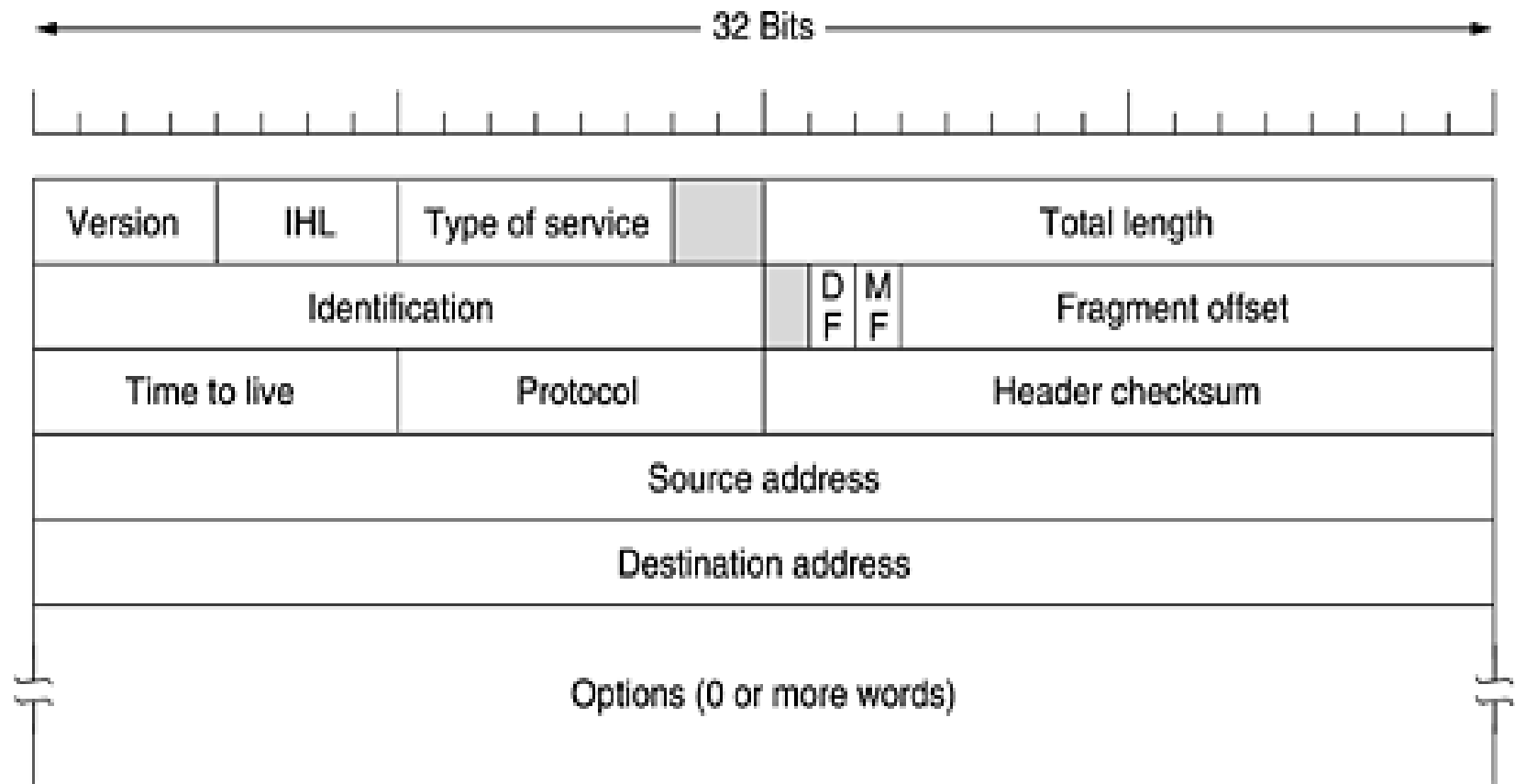
Формат на IPv4 пакета

IP пакета във версия 4 е с 32-битови адреси.

Пакетът се предава в **Big-Endian** формат, т.е. от старшите към младшите битове.

IP пакетът се състои от **заглавна** част и част за **данни**. Заглавната част е 20B+опции с променлива дължина и има следния формат:

Формат на IPv4 пакета



Формат на IPv4 пакета

- Полето **Version** указва версията на протокола, към който принадлежи пакета.
- Полето **IHL** указва дължината на заглавната част в 32-битови думи. То е необходимо, тъй като полето Options има променлива дължина.
- **Минималната стойност е 5**, което отговаря на случая когато полето **Options** е празно.
- **Максималната стойност е 15**, което ограничава заглавната част до 60B, т.е. полето за опции до 40B.

Формат на IPv4 пакета

- Полето **Type of service** показва какво обслужване очаква пакета. В днешно време се използва **DiffServ** (**Differentiated Services - QoS**) и **ECN** (**Explicit Congestion Notification** – и двете страни трябва да са съгласни да го използват).
- Полето **Total length** съдържа общата дължина на пакета (заглавна част + данни). Максималната дължина е 65535 байта.
- Полето **Identification** съдържа номер на пакета. Всички фрагменти на една и същ пакет имат еднакъв номер и по този начин получателя разбира кой фрагмент към коя дейтаграма принадлежи.

Формат на IPv4 пакета

Флагът **DF** (don't fragment) указва на маршрутизаторите да не фрагментират пакета.

Всички автономни системи трябва да могат да приемат фрагменти от **поне 576 В**. Ако размерът на фрагментите е по-голям и флагът DF е 1, то пакета може да пропусне някоя автономна система с по-малка дължина на пакета, дори тя да се намира на оптималния маршрут.

Формат на IPv4 пакета

- Флагът **MF** (more fragments) за всички фрагменти на пакета, освен последния е **1**, а за последния е **0**, т.е. дали **полученият фрагмент** е последен или не.
- Полето **Fragment offset** указва къде се намира фрагмента в оригиналната дейтаграма.
- Всички фрагменти, освен последния трябва да са с дължина кратна на 8 В.
- Fragment offset е **13 бита**, максималният брой фрагменти в една дейтаграма е **8192**.

Формат на IPv4 пакета

Полето **Time to live (TTL)** е брояч, който отброява времето в секунди, има дължина **8 бита**, така че максималното време за живот е **255 секунди**.

Това поле се намалява с единица на всеки **hop**, а освен това се намалява с единица и за всяка секунда престой в маршрутизатор.

При **нулиране** пакета се премахва и в обратна посока се изпраща предупредителен пакет.

Полето **Protocol** указва протокола на транспортно ниво: **TCP** (transmission control protocol), **UDP** (user datagram protocol) или някой друг.

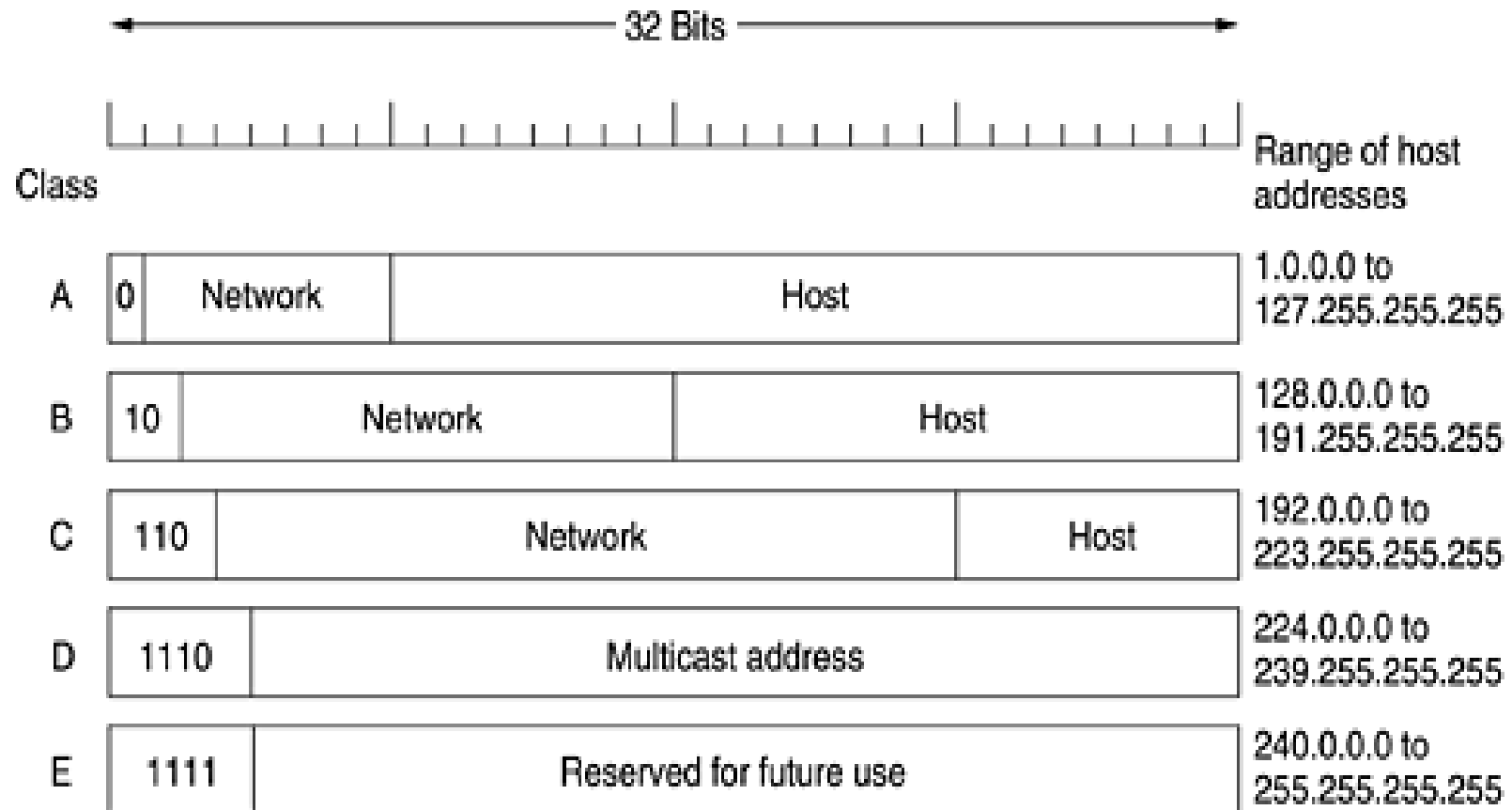
Формат на IPv4 пакета

- Полето **Header checksum** е контролна сума само на заглавната част. Тя трябва да се преизчислява на всеки hop, тъй като поне едно поле се променя - TTL.
- Полетата **Source Address** и **Destination Address** съдържат съответно адрес на източника и адрес на получателя.

Формат на IPv4 адреса

- Всеки хост и маршрутизатор в мрежата има IP-адрес.
- Всички IP-адреси са **32-битови**. Всеки IP адрес се **дели на две части** – номер на мрежа и номер на хост.
- **Номерът на мрежата (prefix)** е в лявата част на адреса, а **номерът на хоста** е останалата порция от битове в дясната част на адреса.
- В зависимост от структурата си IP-адресите се делят на следните пет класа:

Класове от IP адреси



Класове от IP адреси

Битовете в началото на адреса, които определят неговия клас, се наричат **сигнални битове**.

В **клас А** са възможни **127** мрежи, всяка с приблизително **16000000** хоста.

В **клас В** са възможни приблизително **16000** мрежи, всяка с приблизително **65000** хоста.

В **клас С** са възможни приблизително **2000000** мрежи, всяка с по **254** хоста.

Клас D е предназначен за работа с групови (**multicast**) адреси, а **клас Е** е резервиран за бъдеща употреба (научни цели и др.).

Записване на IP-адресите

За удобство IP-адресите се изписват в **точкова десетична нотация**, като всеки от четирите байта се изписва като десетично число от **0 до 255**. Най-малкия IP-адрес е **0.0.0.0**, а най-големия **255.255.255.255**.

Адрес, който съдържа само единици се интерпретира като **broadcast**-адрес, т.е. адресират се всички хостове в дадена мрежа.

Представяне на десетичното число **106** в двоичен формат

Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1
128 (2^7)	64 (2^6)	32 (2^5)	16 (2^4)	8 (2^3)	4 (2^2)	2 (2^1)	1 (2^0)

Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1
0	1	1	0	1	0	1	0

Представяне на десетичното число 106 в двоичен формат (обяснение)

$$106 < 2^{**7} = 128 \rightarrow 0$$

$$106 > 64 (2^{**6}) \rightarrow 1$$

$$106 - 64 = 42 > 2^{**5} = 32 \rightarrow 1$$

$$42 - 32 = 10 < 2^{**4} = 16 \rightarrow 0$$

$$42 - 32 = 10 > 2^{**3} = 8 \rightarrow 1$$

$$10 - 8 = 2 < 2^{**2} = 4 \rightarrow 0$$

$$10 - 8 = 2 = 2^{**1} = 2 \rightarrow 1$$

$$2 - 2 = 0 < 2^{**0} = 1 \rightarrow 0$$

Мрежи и подмрежи

Голям недостатък на IP-адресацията е, че половината адреси са от клас A и се разпределят само между 127 автономни системи, въпреки че всяка от тях може да съдържа милиони хостове.

Всяка мрежа трябва да има уникален номер и всички хостове в дадена мрежа трябва да имат един и същ номер на мрежата.

Това води до проблеми при нарастване на броя на мрежите.

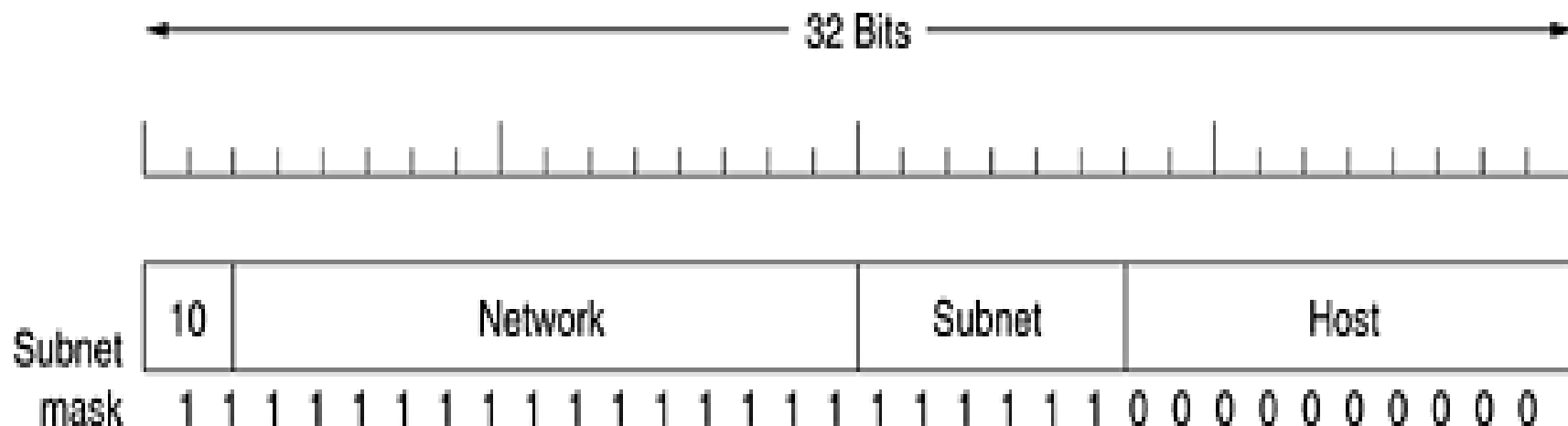
Мрежи и подмрежи

Решението на проблема е да се разреши разделянето на една мрежа на **подмрежи**. За целта полето за мрежов номер се разширява надясно, като се отнемат битове от номера на хост.

Например за един адрес от клас В вместо 16 бита за номер на мрежата и 16 бита за номер на хост се използват 22 бита за номер на мрежа, като десните 6 от тях са за номер на подмрежа и 10 бита за номер на хост.

Мрежи и подмрежи

За реализация на подмрежите маршрутизаторите се нуждаят от **подмрежова маска (Subnet Mask - SM)**, която определя границата между номера на мрежата + номера на подмрежата и номера на хоста. В долния пример имаме мрежовата маска на една разцепена клас В мрежа:



Мрежи и подмрежи

При разделяне на една мрежа на подмрежи взимаме “назаем” (**borrow**) битове от хост частта на адресите.

Получава се следното:

N S H

Броят на подмрежите е: 2^S

Броят на хостовете в подмрежата ще е: $2^H - 2$

(нулевият адрес остава за **номер на подмрежата**, а последният – за **broadcast**)

Изписване на маската. Префикси.

SM има същия формат като IPv4 адреса:
старшите битове, които не принадлежат на хост
частта са = 1 и се наричат префикс¹,
а останалите (хост частта) са = 0.

Възможни са два начина на изписване на
мрежов адрес. Напр., следния клас C адрес:

С мрежовата маска: 192.168.1.0 255.255.255.0

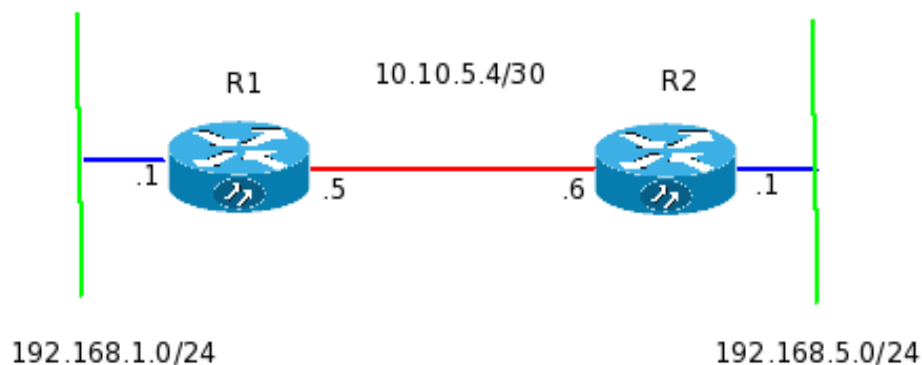
или

192.168.1.0/24

Второто означение се нарича 24-битов префикс
или просто префикс. **По-нататък ще
използваме него.**

¹ Представка

Ролята на префикса и маската



Всеки маршрутизатор(напр. **R1**) има таблица с маршрутите (**Routing Table**), която определя пътя на пакета.

Всеки ред съдържа **IP адреса на мрежа / дължина на префикс в битове**, следващ възел по пътя, изходящ интерфейс и др., например:

C 192.168.1.0/24 [0] is directly connected, eth0

S 192.168.5.0/24 [1/0] via 10.10.5.6, eth1

C 10.10.5.4/30 [1/0] is directly connected, eth1

Ролята на маската

Когато пристигне IP пакет неговият адрес на получател (напр. 192.168.5.1) се преглежда. Извършва се операцията “**Логическо умножение**” между IP адреса на получателя и маската:

Destination IP .AND. SM (1)

Какво означава това? Всяко число, умножено по 0, дава 0. (Важи и за лог.)

Т.е операция **(1)** ни дава номера на мрежа / подмрежа.

Разделяне на класове и безкласово делене

Първоначално IP адресите са били само от клас А:

- **Network ID**: първи (най-старши) октет (байт);
- **Host ID**: младшите три октета.

Т.е. имаме само 256 мрежи. (Подобно е положението сега с IPv6). С разрастването на Интернет това става безсмислено.

Въведени са **класове** (**classful networking**). От петте класа (А, В, С, D и Е), три (А, В и С) имат различна дължина на мрежовата част. Групите - Клас D (multicast) идентифицират отделни хостове. Клас Е са резервирани.

Classless Inter-Domain Routing

Около 1993 г. класовете А, В и С е заменено с **Classless Inter-Domain Routing (CIDR)**.

CIDR включва:

- **VLSM (variable-length subnet masking)** – префикси с произволна дължина. Записва се с /брой на битове (1-ци) в префикса например, **192.168.0.0/16**. По-ефективно използване на изчерпващите се IPv4 адреси.
- събиране (**aggregation**) на множество последователни префикси в “**супермрежи**” (**supernets**)
- когато се прави обобщаване на маршрути към **classful** граница - **route summarization**.

CIDR и VLSM

С помощта на VLSM се извършва обобщаване в супермрежи (supernetting) – съкращаване на броя на 1-те от дясно на ляво, което е обратно на деленето на подмрежи (subnetting) - увеличаване на броя на 1-те от ляво на дясно.

Където е възможно в Интернет се анонсират супермрежите, намалявайки броя на “редовете” в глоблната таблица с маршрутите.

Например, 16 последователни Клас C (/24) ще се анонсират като един единствен /20 префикс, респ. маршрут ($2^4 = 16$). Два последователни префикса /20 - като /19 ($2^1 = 2$).

Пример: 32 * /24 мрежи

IANA е делегирала на RIPE префикс:

62.0.0.0/8 == 00111110.0.0.0/8

11111111.**0.0.0** – **subnet mask**

На молба от организация да получи 32 Клас C
(32 * /24) мрежи RIPE делегира префикс:

62.44.96.0/19

11111111.11111111.11100000.0

Отговорете си как се получават (32 * /24), $2^5=32$

Пример: 32 * /24 мрежи

Мрежовите админ-и получават:

62.44.96.0/24 ; 62.44.97.0/24 ... 62.44.127.0/24.

На ФМИ делегират префикса:

62.44.100.0/23

11111111.11111111.111111110.0

Т.е ($2^1=2$) ФМИ получава:

62.44.100.0/24 и 62.44.101.0/24

Сървър e-learning 62.44.100.150/24

Пример: Разцепване на подмрежи.

62.44.109.0/24

62.44.109.0/26 – 1-ва подмрежа

62.44.109.64/27 – 2-а подмрежа

62.44.109.128/25 – 3-та подмрежа

CIDR и VLSM

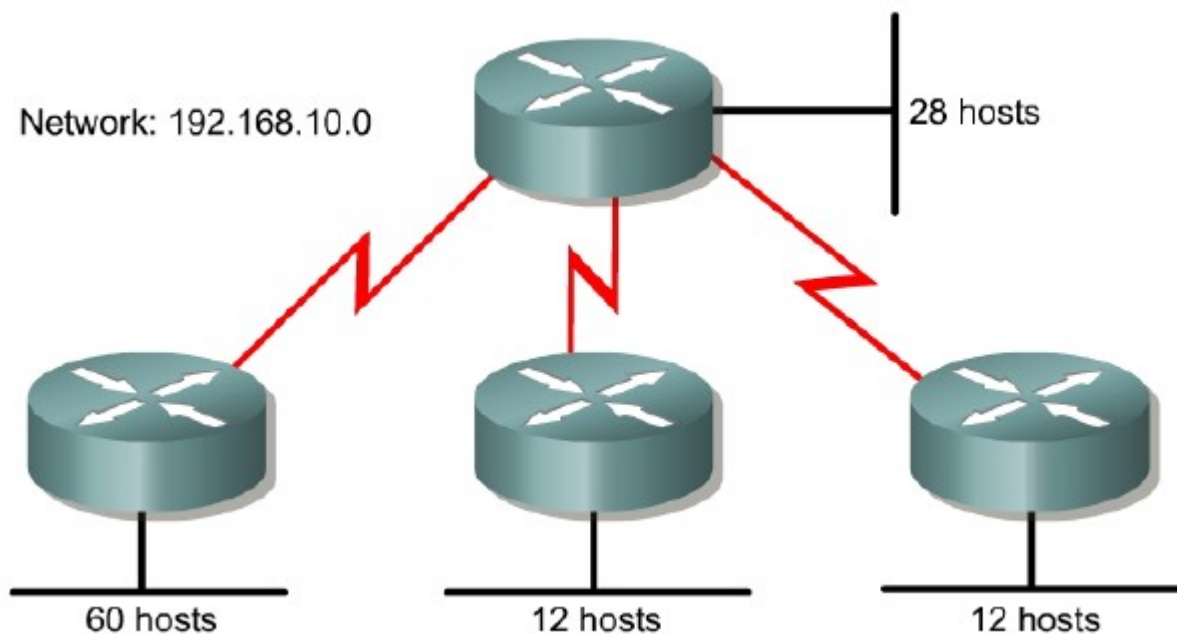
IPv4 CIDR Chart				RIPE NCC
IP Addresses	Bits	Prefix	Subnet Mask	
1	0	/32	255.255.255.255	
2	1	/31	255.255.255.254	
4	2	/30	255.255.255.252	
8	3	/29	255.255.255.248	
16	4	/28	255.255.255.240	
32	5	/27	255.255.255.224	
64	6	/26	255.255.255.192	
128	7	/25	255.255.255.128	
256	8	/24	255.255.255.0	
512	9	/23	255.255.254.0	
1 K	10	/22	255.255.252.0	
2 K	11	/21	255.255.248.0	
4 K	12	/20	255.255.240.0	
8 K	13	/19	255.255.224.0	
16 K	14	/18	255.255.192.0	
32 K	15	/17	255.255.128.0	
64 K	16	/16	255.255.0.0	
128 K	17	/15	255.254.0.0	
256 K	18	/14	255.252.0.0	
512 K	19	/13	255.248.0.0	
1 M	20	/12	255.240.0.0	
2 M	21	/11	255.224.0.0	
4 M	22	/10	255.192.0.0	
8 M	23	/9	255.128.0.0	
16 M	24	/8	255.0.0.0	
32 M	25	/7	254.0.0.0	
64 M	26	/6	252.0.0.0	
128 M	27	/5	248.0.0.0	
256 M	28	/4	240.0.0.0	
512 M	29	/3	224.0.0.0	
1024 M	30	/2	192.0.0.0	
2048 M	31	/1	128.0.0.0	
4096 M	32	/0	0.0.0.0	

K = 1,024 • M = 1,048,576

Contact Registration Services:
hostmaster@ripe.net • lir-help@ripe.net

www.ripe.net

Примерна задача



Задача. Внимание.

!!! $N = 2^h - 2$, където

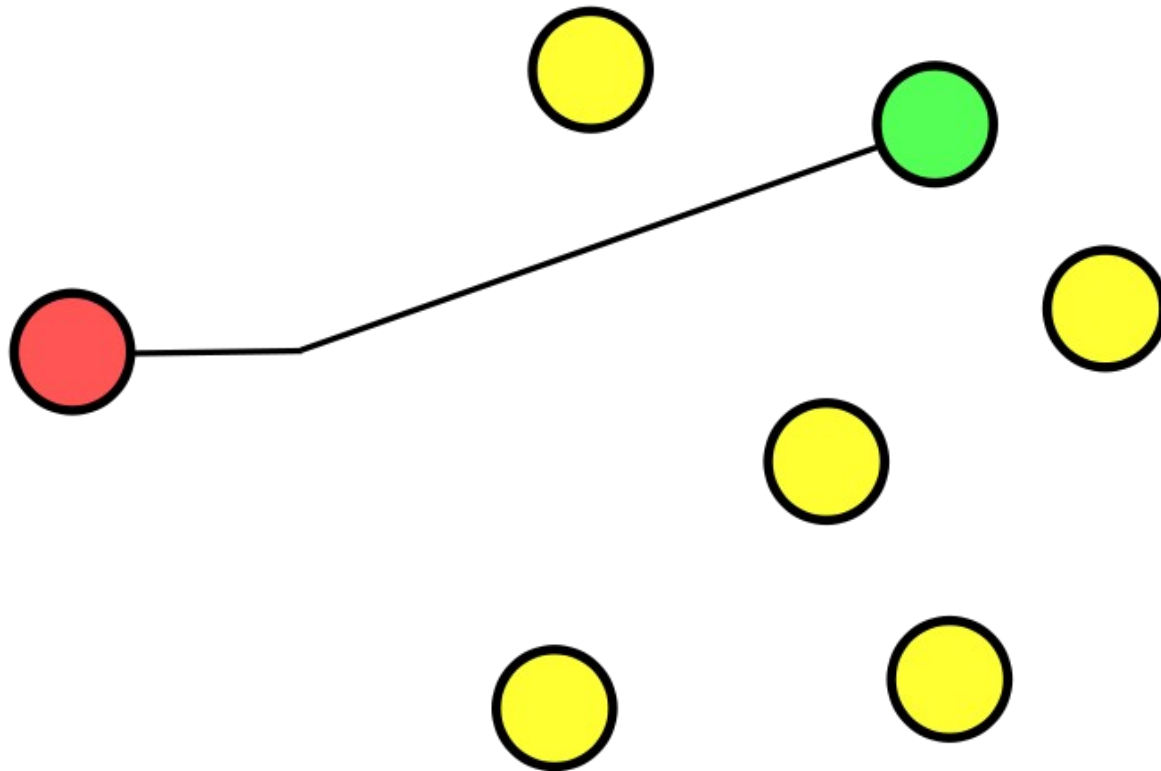
N – бр. хостове, h – бр. битове в хост частта на IP адреса

Point-to-point мрежи. Трябват им 2 и само 2 хоста. Коя SM (префикс) ще изберем???

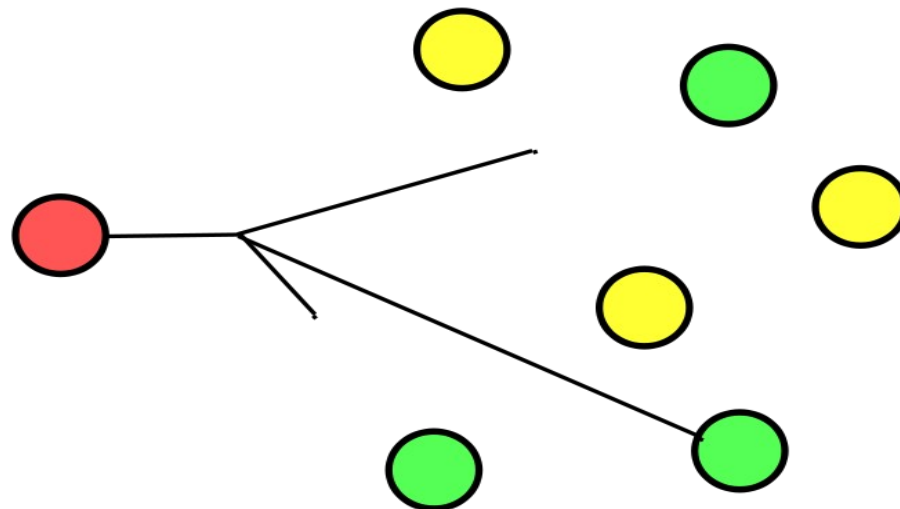
Unicast, Multicast, Anycast, Broadcast

	получател	Места в (под)мрежата
Unicast	1	1
Anycast	1	Много, но репликирани, избира най-близко
Multicast	МНОГО	МНОГО
Broadcast	ВСИЧКИ	ВСИЧКИ

Unicast

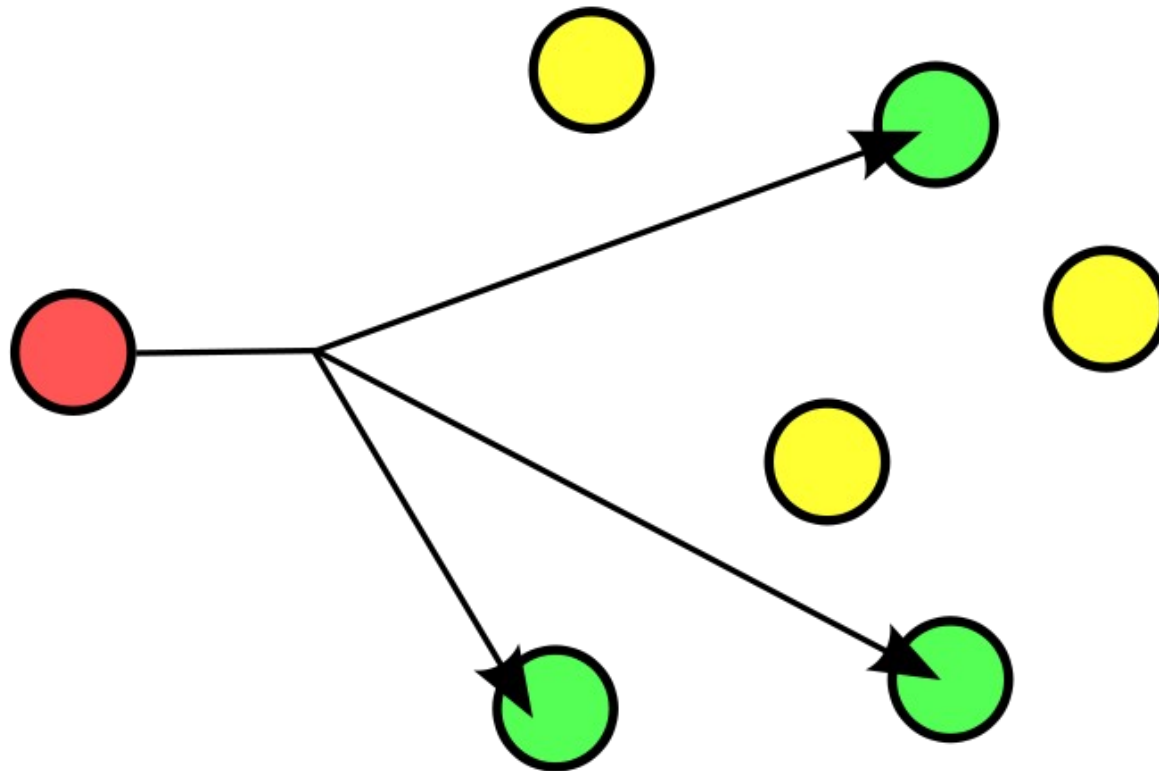


Anycast

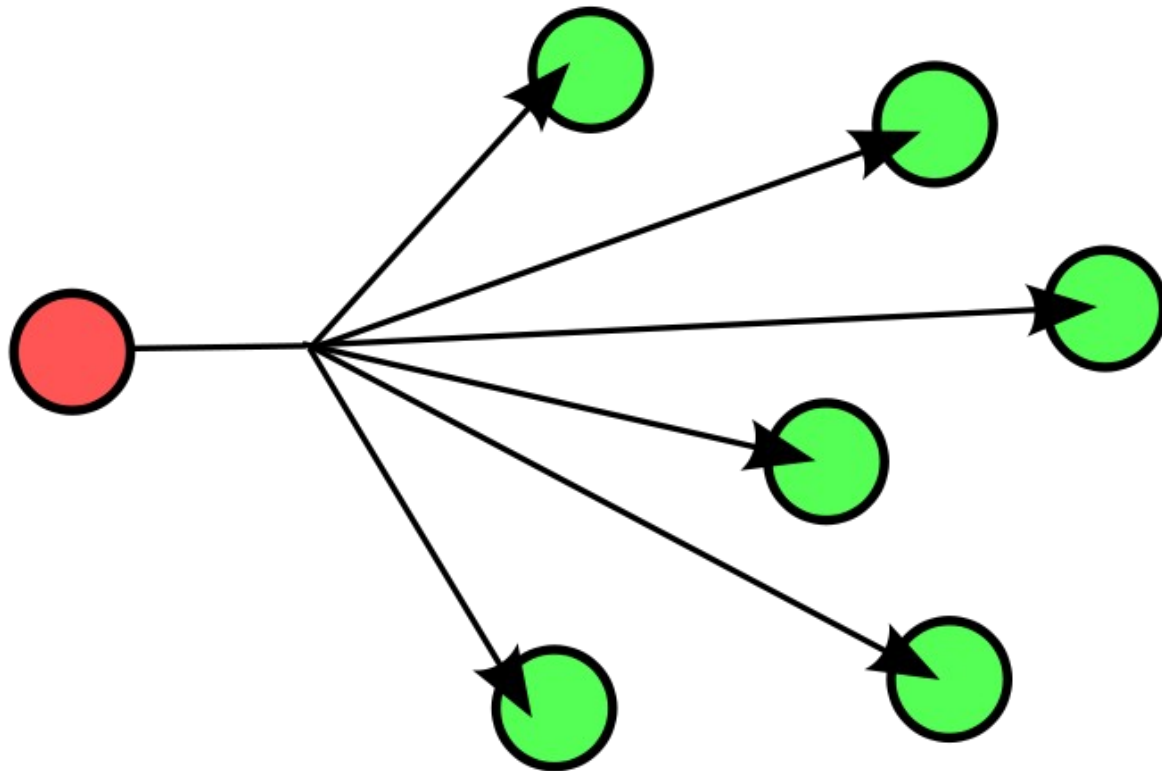


Anycast са **част от** unicast пространството.
Синтактически по нищо не се
различават.

Multicast

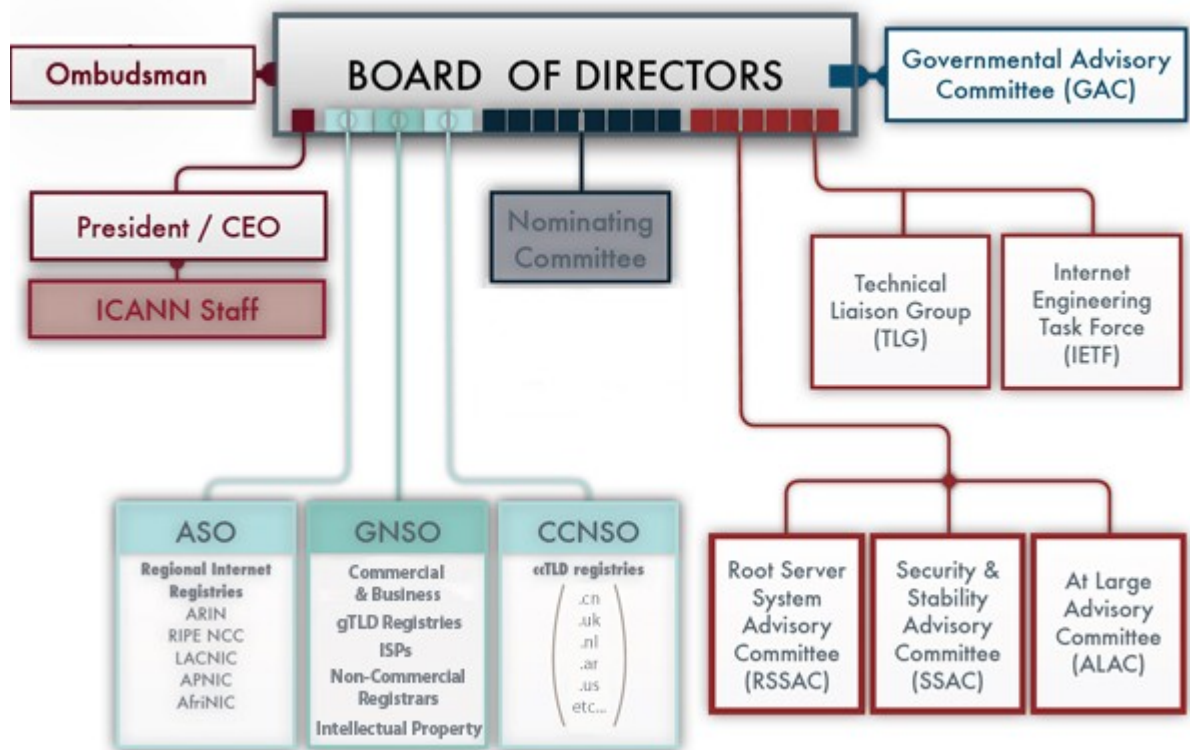


Broadcast



Раздаване на IP адреси (Address Allocation). ICANN.

Internet Corporation for Assigned Names and Numbers - ICANN
(icann.org) координира процеса по разпределяне на уникалните идентификатори в Интернет.
ICANN е основана в 1998 г.



Address Allocation. IANA.

The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window displaying the IANA (Internet Assigned Numbers Authority) website. The browser's address bar shows the URL <http://www.iana.org/>. The page features the IANA logo, which consists of the word "iana" in a stylized, colorful font. Below the logo, the text "Internet Assigned Numbers Authority" is displayed. A paragraph explains that IANA is responsible for the global coordination of the DNS Root, IP addressing, and other Internet protocol resources, with a link to "Learn more about what we do »". The page is organized into three main sections: "Domain Names", "Number Resources", and "Protocol Assignments".

Domain Names

IANA manages the DNS Root Zone (assignments of ccTLDs and gTLDs), as well as the .int registry, and the .arpa zone.

- [Root Zone Management](#)
- [Database of Top Level Domains](#)
- [.int Registry](#)
- [.arpa Registry](#)
- [IDN Practices Repository](#)
- [Interim Trust Anchor Repository](#)

Number Resources

IANA coordinates the global IP and AS number space, and allocates these to Regional Internet Registries.

- [IP Addresses & AS Numbers](#)
- [Think we're attacking you?](#)

Protocol Assignments

IANA is the central repository for protocol name and number registries, used in many Internet protocols.

- [Protocol Registries](#)
- [Apply for an assignment](#)

The browser's search bar at the bottom shows the text "Find: Cerf". The browser's status bar at the bottom shows the URL <http://www.iana.org/numbers/>.

RIRs



Address Allocation (Присвояване на IP адреси)

IP адресите се разпределят от IANA между 5-те Regional Internet Registries (**RIRs**).

RIRs управляват, разпределят и регистрират публичните Internet Number Resources в поверените им области.

Имаме пет регионални регистратора - RIRs:

- **AfriNIC** (afrinic.net)
- **APNIC** (apnic.net)
- **ARIN** (arin.net)
- **LACNIC** (lacnic.net)
- **RIPE NCC** (ripe.net)

IANA е делегирала широк обхват от Интернет ресурси на RIRs:

<http://iana.org/assignments/ipv4-address-space/ipv4-address-space.xml>

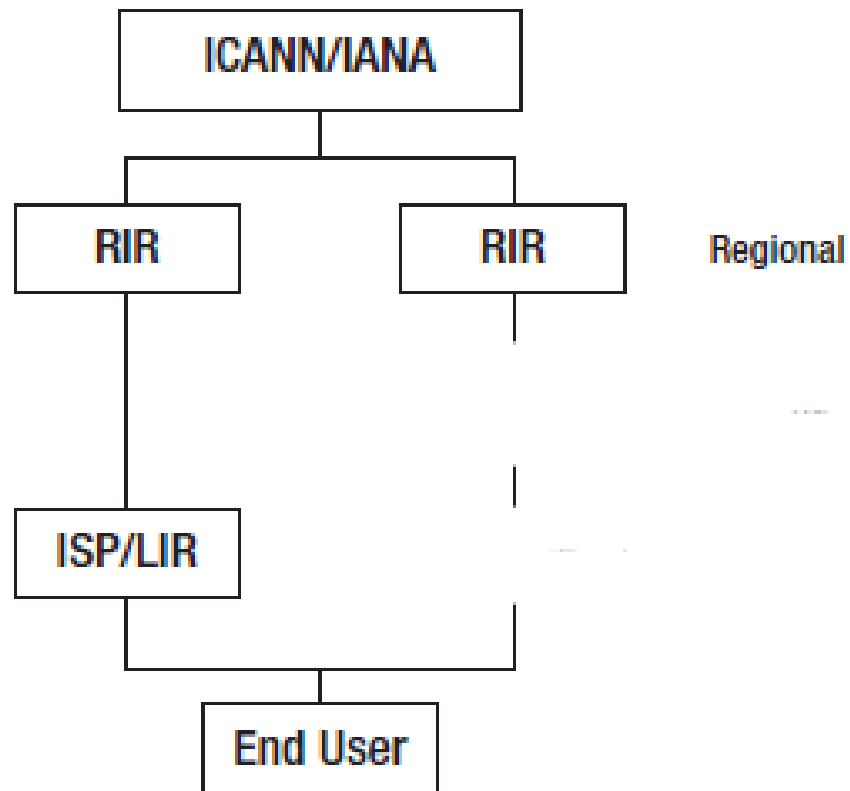
<http://iana.org/assignments/multicast-addresses/multicast-addresses.xml>

Присвояване на адреси

Всеки RIR поддържа публична база от данни **WHOIS** с информация за присвоените IP адреси.

RIRs ги присвояват на ISPs (които са LIR – Local Internet Registries), които ги раздават на своите клиенти (**PA** – **Provider Assigned**)...

PA vs. PI



PI присвояване на адреси

...или директно на крайни клиенти (**Provider Independent - PI**), които съответно се разпределят по LANs вътре в организацията.

Присвояването на адреси не е произволно. Основен принцип в маршрутизацията е, че IP адресът да показва мястото на обекта (възел, устройство) в мрежата. Т.е адрес, присвоен в една част от мрежата, няма да функционира в друга.

WHOIS 62.44.96.0/19

inetnum: 62.44.96.0 - 62.44.127.255

netname: BG-SUNET

descr: Sofia University

descr: BG-1164 Sofia

org: ORG-UoS32-RIPE

country: BG

...

status: ASSIGNED PI

(**inetnum** – съдържа подробности за алокацията или присвояването на IPv4 адресно пространство)

Големи български LIRs

<http://www.ripe.net/membership/indices/>

Е показан списък на RIPE NCC Local Internet Registries.

Големи български LIRs са:

- * Bulgarian Telecommunications Company Plc.
- * Global Communication Net Plc
- * Eurocom Cable Management Bulgaria Ltd
- * ITD Network SA
- * Neterra Ltd.
- * Spectrum NET Jsc
- * NetArt Group s.r.o. <Registry Based in CZ>
- * Equant Inc. <Registry Based in EU>
- * AT&T Global Network Services Nederland B.V. <Reg. in EU>
- * Interoute Communications Limited <Registry Based in GB>

Примерни задачи

- Имате префиксите 62.44.120.0/24; 62.44.121.0/24 и 62.44.123.0/24. Как ще ги представите с една супермрежа?
- Колко хоста могат да получат адреси в IP мрежа 172.19.18.0/29?
- Какъв е максималния брой подмрежи за IP мрежа 201.36.5.0/24, като във всяка подмрежа да могат да получат адреси 15 хоста? Каква е маската?