

УДК 621.39

**АЛГОРИТМ ДИНАМИЧЕСКОЙ АДРЕСАЦИИ
ОБЪЕКТОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ**

ВОРОБИЕНКО П.П., ТИХОНОВ В.И., СМИРНОВ И.В., СОПИНА У.И.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

**DYNAMIC ADDRESSING ALGORITHM
FOR THE TELECOMMUNICATION NETWORK OBJECTS**

P.VOROBIEENKO, V.TIKHONOV, I.SMIRNOV, U.SOPINA

Odessa national academy of telecommunications n.a. O.S. Popov

***Аннотация.** Разработан алгоритм динамической адресации объектов телекоммуникационной сети с переменной длиной адреса и открытым адресным пространством. Данный алгоритм может быть использован в сетях будущих поколений.*

***Annotation.** The algorithm of the telecommunication network dynamic addressing is studied with variable address length and open addressing space. This algorithm could be used for the next generation network design.*

Проблема адресации в Интернет актуальна с точки зрения эффективности функционирования сетей. Количество объектов Сети растет высокими темпами, поэтому использование одинаковой длины адреса не может удовлетворить противоречивым требованиям адресации в сетях разных масштабов. В локальных сетях удобно использовать короткие адреса, а для глобальной адресации требуются достаточно длинные адреса, чтобы охватить растущее количество объектов сети. Способы адресации объектов сети во многом определяют механизмы маршрутизации и коммутации информационных потоков и отдельных сообщений. Адресная информация, передаваемая по каналам связи вместе с полезными данными, является дополнительной служебной нагрузкой на транспортную сеть.

В современной сети Интернет используется глобальная система IP-адресации. Наиболее распространенная версия IPv4 оперирует адресами фиксированной длины 4 байта, и ресурсы адресного пространства IPv.4 уже близки к исчерпанию [1]. Альтернативная версия IPv.6 определяет фиксированные адреса 16 байт, что является избыточным в большинстве приложений и увеличивает накладные расходы транспорта информации по сети [2]. По этой причине IPv.6 еще не получил широкого распространения.

В работах [3-6] предложен общий подход к построению открытой системы адресации узлов глобальной сети с переменной длиной адреса, в которой выделены две отдельные составляющие части адреса (глобальный и локальный). **Однако** в литературе отсутствует конкретные механизмы и алгоритмы реализации данного подхода.

Целью данной работы является построение алгоритма динамической адресации объектов телекоммуникационной сети с переменной длиной адреса и открытым адресным пространством сети.

Представим глобальную сеть в виде иерархической древовидной структуры с выделением уровней иерархии, рисунке 1. Назовем эту сеть *опорной*.

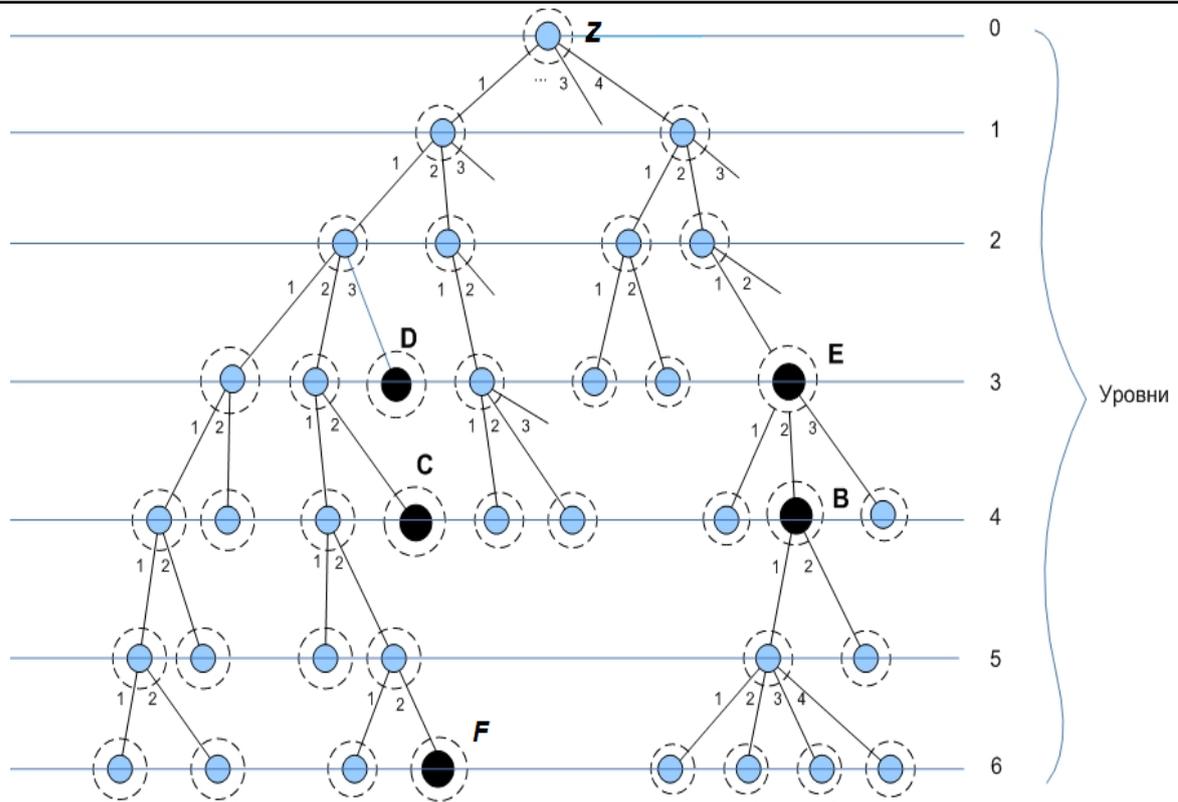


Рисунок - 1. Иерархическая структура опорной сети

Сеть на рисунке 1 является примером шестиуровневой опорной сети. Узлы сети обозначены буквами. Узел «Z» находится на нулевом уровне иерархии, узлы «D» и «E» - на третьем уровне, «C» и «B» - на четвертом, а узел «F» - на шестом. Пользовательские устройства (*хосты*) подключаются к узлам этой сети. Хосты на рисунке 1 в явном виде не показаны, а обозначены виртуально пунктирной линией вокруг узлов. Ветви графа на рис. 1 пронумерованы целыми числами.

Максимально возможное количество ветвей спуска из каждого узла к узлам нижеследующего уровня примем равным 255. Номера этих ветвей изменяются от 1 до 255 включительно. Полный адрес A любого узла или хоста сети UA-ITT состоит из двух частей - *префикса* и *суффикса*. Обозначим их соответственно как PrA и SfA . Узлы и хосты сети будем называть общим термином «*объекты сети*» (или просто «*объекты*»).

Для построения алгоритма адресации вначале рассмотрим частный случай. Пусть префикс адреса состоит из отдельных частей, каждая из которых содержит один байт кода адреса. Предположим, что суффикс адреса также содержит один байт кода. Адрес A имеет фиксированную длину. Для того, чтобы каждый узел опорной сети на рис. 1 имел уникальный адрес, достаточно шесть частей префикса. Запишем префикс адреса в виде $X.X.X.X.X.X$, где X - это код одной части префикса. Точки условно разделяют части префикса между собой для наглядности записи.

Значения отдельных байт префикса для некоторого узла, читаемые слева - направо, определяют последовательность номеров ветвей при спуске из вершины опорной сети (узла «Z») к заданному узлу. Если узел находится не на нижнем уровне иерархии, то префикс дополняется необходимым количеством нулей справа, т.к. префикс адреса A по нашему допущению имеет фиксированную длину. Например, для 6-уровневой сети на рис. 1 префикс адреса A узла «С» имеет вид 1.1.2.2.0.0, т.е. содержит ровно 6 частей префикса.

В опорной сети на нулевом уровне иерархии находится только один узел, на первом уровне могут находиться не более 255 узлов, на втором – не более чем 255^2 . На n -ом уровне иерархии могут находиться не более чем 255^n узлов. К каждому узлу опорной сети, на любом уровне иерархии, могут подключаться хосты. Для конкретизации адреса A хостов используется суффикс адреса. В общем написании адресные части префикса и суффикса будем отделять друг от друга знаком «-»: X.X.X.X.X.X-X. Например, если к узлу «Е» на рис.1 подключен хост с номером 154, то адрес A этого хоста равен 4.2.2.0.0-154.

Значения суффикса SfA для хостов начинаются от 1, а нулевое значение суффикса присваивается непосредственно узлу опорной сети. Например, адрес вида 130.240.1.0.0-0 идентифицирует узел опорной сети, находящийся на 3-м уровне иерархии. Адрес вида 130.240.1.0.0-50 идентифицирует хост, который подключен к тому же узлу.

Описанную выше структуру адреса, состоящего из полного набора частей префикса и суффикса, назовем *статическим адресом* (Static Address – SA). Такие адреса определяют уникальные идентификаторы объектов при их регистрации в соответствующих базах данных. Для передачи адресной информации по сети, будем предлагаться использовать т.н. *динамические адреса* (Dynamic Address – DA). Динамические адреса, в свою очередь, разделим на абсолютные и относительные динамические адреса. Обозначим их ADA (Absolute Dynamic Address) и RDA (Relative Dynamic Address) соответственно. Первым байтом динамического адреса определим т.н. ключ адреса (Key), который служит для указания конкретного типа динамического адреса.

Абсолютный динамический адрес ADA получается из статического адреса SA путем удаления нулевых частей префикса и добавления слева байта ключа. Например, адрес SA 4.2.2.0.0-154 преобразуется в ADA $Key\backslash 4.2.2-154$. Здесь символ «\» используется для обозначения ключа. Два значения байта ключа («0» и «255») зарезервируем для специальных целей управления. При этом свободными остаются 254 значений ключа (от 1 до 254). Ключ адреса типа SA определяет количество ненулевых частей префикса, равное уровню иерархии n объекта. А именно, ключ SA равен $n+1$. Например, если статический адрес объекта в 6-уровневой сети равен 7.12.0.0.0-0, то ключ абсолютного динамического адреса этого объекта есть $Key=3$. Таким образом, адрес $SA=7.12.0.0.0-0$ для передачи по сети преобразуется в $ADA=3\backslash 7.12-0$, который на 3 байта короче, чем SA .

Введение адресов ADA приводит к сокращению длины адреса при его передаче по сети. В определенных ситуациях длину передаваемого адреса можно дополнительно уменьшить за счет использования относительных динамических адресов RDA . Например, если заложить в протокол адресации значение префикса адреса A в 13 байт, то в течение определенного периода эксплуатации сети реально используемые динамические адреса не будут выходить за пределы 7 байт. В этом случае длина адреса A сокращается на 6 байт.

Рассмотрим способ формирования относительных динамических адресов RDA . Адрес RDA получателя вычисляется отправителем на основании известных статических адресов отправителя и получателя. Далее, путем сравнения статических адресов отправителя и получателя, находим ближайший общий узел для получателя и отправителя. При этом RDA

получаем путем удаления из адреса получателя общей префиксной части адресов отправителя и получателя, а также добавления байта ключа.

Например, для двух статических адресов 6-ти уровневой сети $A1=5.3.7.1.9.4-50$ и $A2=5.3.4.2.8.0-30$, имеем $RDA=Key\backslash 4.2.8-30$. Отправитель находится на 6-м уровне иерархии (поскольку все шесть частей префикса $PrA1$ отличны от нуля), а получатель находится на 5-м уровне иерархии (поскольку одна из шести частей префикса $PrA2$ равна нулю). Отсюда следует, что для достижения адресата $A2$ из точки отправления $A1$, нужно вначале подняться вверх по дереву иерархии на 4 уровня, а затем опуститься вниз на 3 уровня. Для подъема по дереву иерархии из любого узла опорной сети есть только один возможный путь, и этот путь не нужно указывать явно. Однако для спуска вниз по дереву иерархии в общем случае существует множество возможных путей, поэтому для каждого перехода вниз по иерархии следует указать номер ветви, по которой следует спускаться. Для любой пары объектов сети можно указать необходимое число подъемов и спусков, которые обеспечат т.н. называемый «маршрут по умолчанию», т.е. гарантированный маршрут продвижения информации между каждой парой узлов.

Количество всевозможных комбинаций подъемов и спусков образует множество типов относительных динамических адресов RDA . Для 6-уровневой сети множество RDA представлено в таблице 1. Обозначим ее как матрицу $T6(i, j)$, где $i, j \in [0, N]$. Матрица $T6(i, j)$ является квадратной размером $(N+1) \times (N+1) = 49$ элементов. Значения ключа от 1 до $N+1=7$ зарезервированы для ADA , а следующие 49 значений (от 8 до 56) используются для RDA . Сравним абсолютные динамические адреса (ADA) и относительные динамические адреса (RDA).

Таблица 1 – Ключи RDA для 6-уровневой сети

Число подъемов i	Количество спусков j						
	0	1	2	3	4	5	6
0	8	9	10	11	12	13	14
1	15	16	17	18	19	20	21
2	22	23	24	25	26	27	28
3	29	30	31	32	33	34	35
4	36	37	38	39	40	41	42
5	43	44	45	46	47	48	49
6	50	51	52	53	54	55	56

Рассмотрим два характерных случая:

а) ближайший общий узел для отправителя и получателя - вершина сети, т.е. узел Z . Например, $A1=5.3.4.1.9.4-50$ (отправитель), $A2=1.3.4.1.0.0-50$ (получатель). В этом случае имеем:

$ADA=5\backslash 1.3.4.1-50$. Значение ключа вычисляется как уровень иерархии узла-получателя плюс единица, т.е. $4+1=5$. $RDA=54\backslash 1.3.4.1-50$. Значение ключа 54 вычисляется по таблице 1 в строке с числом подъемов 6 и в столбце с числом спусков 4. В этом случае ADA и RDA имеют одинаковую длину по 6 байт.

б) ближайший общий узел для отправителя и получателя расположен не в вершине сети. Например, $A1=5.3.4.1.9.4-50$ (отправитель), $A2=5.3.2.1.0.0-50$ (получатель). В этом случае имеем: $ADA=5\backslash 5.3.2.1-50$. $RDA=24\backslash 2.1-50$. Ключ 24 определен по таблице 1 в строке с числом подъемов 2 и числом спусков 2. В этом случае RDA на два байта короче, чем ADA .

В общем случае длина RDA меньше либо равна длине ADA , однако при равной длине ADA и RDA адреса ADA более предпочтительны, т.к. они определяют адрес получателя безотносительно к отправителю.

Рассмотрим вариант построения алгоритма адресации для случая, когда общая длина динамического адреса (ключ + префикс + суффикс) не превышает 16 байт. Такая длина общего IP-адреса принята в протоколе IPv6 ([7]). Данный протокол предусматривает разделение общего IP-адреса на 2 равные части: префикс и суффикс по 8 байт каждый. Применительно к технологии UA-ITG для кодирования суффикса вполне достаточно 2 байта (что обеспечит возможность подключения до $255^2 \approx 65000$ хостов к одному узлу опорной сети). Выделяя один байт для ключа динамического адреса, получим количество байт для представления префикса динамического адреса, равное $16-2-1=13$. Это соответствует 13-уровневой сети. В такой сети общее количество типов динамических адресов (абсолютных и относительных) равно $(13+1) + (13+1)^2 = 210$. Эти типы кодируются значениями ключа Key от 1 до 210. При этом остаются свободными $254-210=44$ значений ключа.

Свободные значения ключа адреса будем использовать для дополнительного уменьшения избыточности передаваемой по сети адресной информации. А именно, все значения ключа от 211 до 254 назначим признаком того, что адресат подключен к тому же узлу, что и отправитель. Следовательно, в этом случае отсутствует необходимость указания префикса адреса получателя; это сокращает длину динамического относительного адреса. Значение ключа $Key=254$ будем интерпретировать как широковещательную адресацию (всем хостам данного узла). Значение $Key=253$ зарезервируем как признак того, что суффикс адреса состоит из трех байт, $Key=252$ - из двух байт, $Key=251$ - признак однобайтного суффикса. При этом для адресации хостов данного узла остаются свободными $250-210=40$ значений ключа (в диапазоне от 211 до 250). Это означает, что если суффикс в адресе хоста не превышает 40, то для динамической адресации в пределах множества хостов от 1 до 40, связанных с общим узлом, требуется всего один байт динамического адреса (которым является ключ адреса). В этом случае суффикс хоста вычисляется по формуле $SfA' = Key - 210$, а префикс не нужен вообще. Сети с ограниченным числом хостов (до 40), подключенных к общему узлу опорной сети, являются достаточно распространенными (сети малых и средних предприятий, офисные сети, сети учебные лаборатории и др.). Если хосты отправителя и получателя подключены к разным узлам опорной сети, то суффикс относительного (динамического) адреса по умолчанию имеет фиксированную длину 2 байта.

На рисунке 2 приведен обобщенный алгоритм обработки адреса в узле опорной сети. Алгоритм содержит три ветви анализа для расчета абсолютного, относительного и специального адресов (т.е. A , A' , A_S).

Вычисление адреса A :

- читается префикс адреса PrA в n байтах после ключа $KeyA$, а также 2 байта суффикса SfA в $(n+1)$ -м и в $(n+2)$ -м байтах после ключа адреса;
- значение $Sf=255$ зарезервировано для широковещательного адреса; адрес A' вычисляется одним из трех методов в зависимости от значения $KeyA$.

Далее алгоритм разделяется на три ветви.

1) Если $KeyA \in T[0,0]$, т.е. нулевому столбцу и нулевой строке, то это указывает на отсутствие подъемов и спусков, что является признаком того, что отправитель и получатель находятся в окрестности одного и того же узла опорной сети. Такой формат адреса назовем *локальным* и обозначим его A_L . В этом случае сразу после ключа адреса следует двухбайтный суффикс.

2) Если $KeyA \in T[i,0]$, т.е. нулевому столбцу таблицы ключей адреса, это указывает на наличие подъемов к общему родственному узлу, но отсутствие спусков к получателю. Т.к. спусков нет, то не нужно указывать доменный префикс. Сразу за ключом адреса следует суффикс.

3) Если $KeyA \in T[i, j]$, где $j \neq 0$, т.е. охватывает все значения кроме тех, которые попадают в нулевой столбец таблицы ключей адреса, то кроме подъемов к общему родственному узлу есть спуски к получателю. Число спусков равно j . Таким образом, первых j байт после ключа $KeyA$ читаем как доменный префикс. Байт $(j+1)$ и $(j+2)$ после $KeyA$ читаем как суффикс адреса.

Вычисление специального адреса A_S :

- если $KeyA=255$, то A - это широковещательный адрес (аналог адреса «limited broadcast» в IPv4);

- если $KeyA=224$, то A - это адрес групповой рассылки (multicast);

- если $KeyA=227$, то это адрес обратной связи (loop back) и др.

Всего при 13-уровневой иерархической сети можно определить $(255-209) = 46$ типов специальных адресов.

В **заключение** отметим следующие выводы.

1. Перспективной технологией транспортных сетей уровня ядра является Ethernet, которая использует 48-битные MAC-адреса. Однако, 48-битный адрес для локальных сетей является избыточным. Адресация на уровне межсетевого взаимодействия представлена на сегодня преимущественно протоколом IPv4, который уже исчерпывает свои возможности.

2. Расширение адресации на транспортном уровне в сетях IPv4 осуществляется за счет логических портов, идентифицирующих прикладные процессы. Это позволяет выполнить трансляцию адресов и портов и несколько расширить пространство адресации IPv4.

3. Вероятной технологией сетей следующих поколений является версия IPv6, которая предлагает значительно больший размер адресного пространства для сети Интернет. Основной проблемой этого протокола является жесткая фиксация длины адреса (16 байт). В ближайшие десятилетия адреса такой длины являются избыточными и необоснованно увеличивают накладных расходов транспорта информации по сети.

4. Предложенный в работе алгоритм обработки адресов предусматривает два базовых формата адресов: статические и динамические адреса. В свою очередь, динамические адреса разделены на две категории - динамические абсолютные и динамические относительные адреса. Динамический адрес, в отличие от статических, передается по сети в составе команды. Формат динамического адреса зависит от первого байта адреса - ключа. С помощью ключа реализуется переменная длина адреса.

5. Максимально возможная длина адреса согласно предложенному алгоритму составляет 16 байт, что равно длине адресов IPv6. Однако в отличие от IPv6, динамические адреса в каждом конкретном случае имеют минимально достаточную длину. При необходимости пространство динамической адресации может быть расширено за счет введения дополнительных уровней иерархии без изменения базовых протоколов адресации.

6. Разработанный алгоритм динамической адресации состоит из трех основных ветвей. Эти три ветви соответствуют абсолютному, относительному и специальному адресу. Тип адреса зависит от значения ключа адреса, являющегося первым байтом в поле адресной информации.

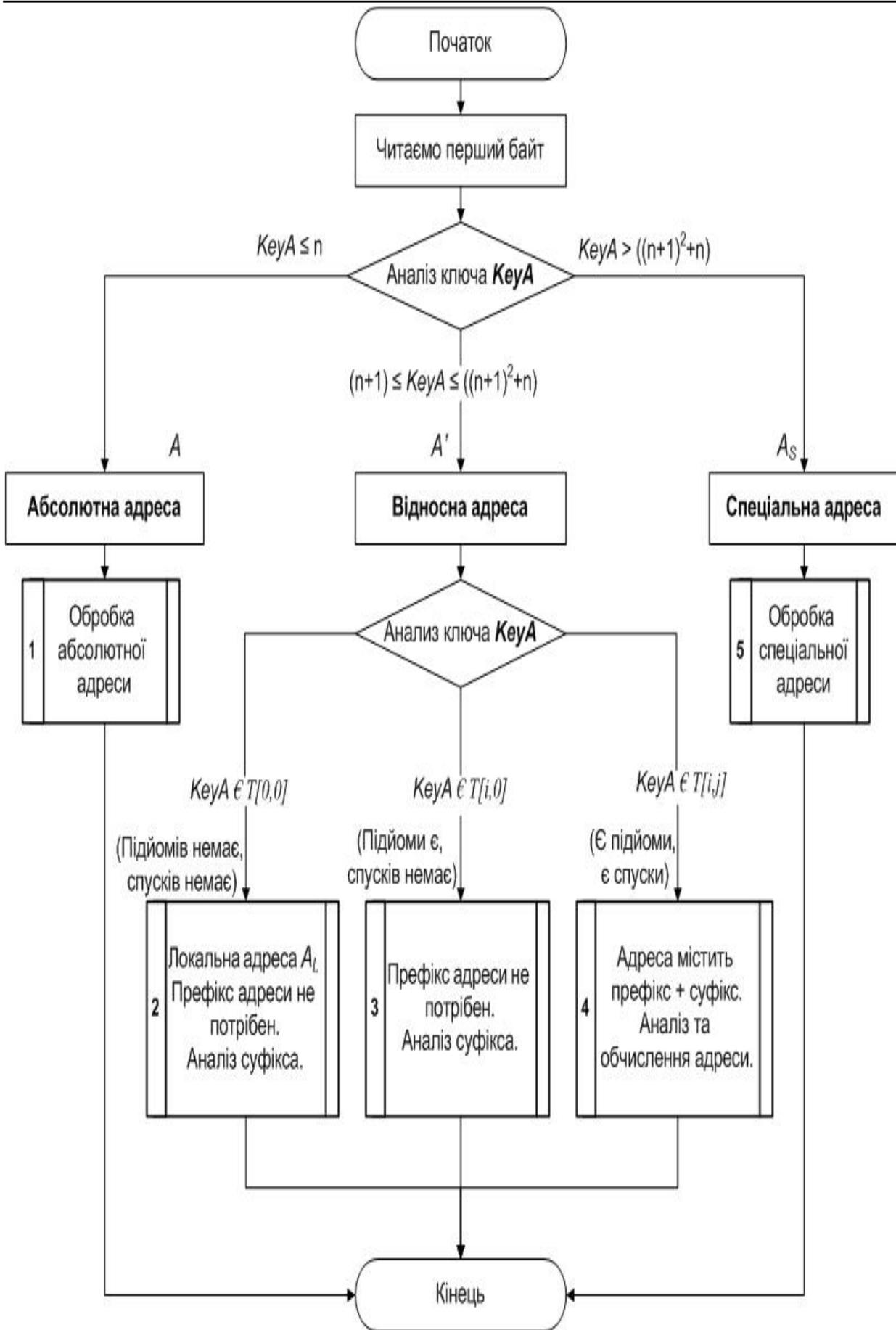


Рисунок 2 - Алгоритма обробки адреса в узле опорной сети

7. Рассмотренный выше алгоритм является одной из возможных реализаций системы адресации с переменной длиной адреса и открытым для расширения адресным пространством глобальной сети. Он позволяет использовать короткий динамический адрес при пересылке пакета в пределах общих адресных доменов. В локальной окрестности одного общего узла опорной сети длина адреса сокращается до величины 3 байта. Как показали расчеты, адресное пространство при 13-ти уровнях иерархии составит $1,268 \cdot 1036$, что является достаточным на многие десятилетия вперед.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pijtsch van Beijnum. BGP Expert. - 29 May 2010. //web: <http://bgpexpert.com/addressespercountry.php>.
2. RFC 3513 - Internet Protocol Version 6 (IPv6) Addressing Architecture
3. Воробієнко П.П., Тіхонов В.І. Відкрита система гнучкої адресації вузлів мережі. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 29473 від 15.07.2009 р.
4. Воробієнко П.П., Тіхонов В.І. Спосіб адаптивної адресації вузлів телекомунікаційних пакетних мереж. Патент України на корисну модель № 46477 від 25.12.2009 р. (Реєстр. № у 2009 06513 від 22.06.2009 р.).
5. Воробієнко П.П., Тіхонов В.І. Спосіб побудови телекомунікаційних пакетних мереж з динамічною адресацією вузлів. Патент України на корисну модель № 46762 від 11.01.2010 (Реєстр. № у 2009 05194 від 25.05.2009р.).
6. В.И.Тихонов. Метод динамической адресации по технологии UA-ИТТ. 64-а Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів. 1-4 грудня 2009 р. Матеріали конференції, ч.1 –«Інфокомунікації», с.55-62.
7. The IEEE defined 64-bit extended unique identifier (EUI-64) is a concatenation of the 24-bit /_or 36-bit_ /company_id value by the IEEE Registration ...