

ИНЖЕНЕРНЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ИНТЕГРАЦИИ СЕТЕЙ МОБИЛЬНЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ В СЕТЯХ 6G

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы и новые задачи, возникающие у виртуальных операторов MVNO (Mobile Virtual Network Operator) при переходе к сетям пятого и последующих поколений (6G) с виртуализацией сетевых функций, шарингом и слайсингом, облачными и туманными вычислениями, etc. Показаны необходимость новых подходов к перспективным MVNO для работы с MNO (Mobile Network Operators) поколений 6G, математического моделирования новых стратегий доступа к сетевым ресурсам и приоритетного обслуживания запросов, анализа вероятностно-временных характеристик системно-сетевого взаимодействия MVNO и PMNO.

Ключевые слова: Beyond 6G, виртуальные операторы мобильной связи MVNO (Mobile Virtual Network Operators), сетевые архитектуры, SLA (Service Level Agreement), показатели качества обслуживания QoS, вероятностно-временные характеристики.

Введение

Сдвиг парадигмы MVNO в сетях 5/6G в значительной степени обусловлен именно технологией логического разделения сетей Network Slicing, который был введен консорциумом 3GPP еще в релизе 14, а затем развит в последующих релизах 15, 16, 17.

По прогнозу [5] данная новая парадигма MVNO в условиях сетевого слайсинга является существенным изменением в мире сотовых сетей, позволяющим создавать многоуровневые сетевые структуры, схожие с современной сетью Интернет и обеспечивающие совместное использование ресурсов с логической изоляцией между несколькими MVNO. Более того, представляется реальной в самом ближайшем будущем развитая иерархия MVNO, в результате развития которой подавляющее большинство сетей мобильной связи будут виртуальными при относительно небольшом количестве опорных физических мобильных сетей MNO.

Но основное внимание в данной работе уделено встречному процессу, при котором один MVNO имеет возможность подключаться к нескольким MNO. Исследование вероятностно-временных характеристик в обоих этих сценариях развития является безусловно актуальной задачей.

Архитектура базовой сети 6G Core включает совокупность функциональных модулей базовой сети и сетевых интерфейсов, соединяющих эти модули [5]. Сетевые элементы 6G реализованы в виде виртуальных сетевых функций – VNF (Virtual Network Functions).

Три архитектуры MVNO в сетях 6G

Начнем рассмотрение с архитектуры MVNO 6G на базе технологии GWCN (Gateway Core Network), восходящее еще к сетям LTE и предусматривающее совместное использование несколькими операторами системы радиодоступа, модулей управления мобильностью MME, но организацию в MVNO собственных шлюзов базовой сети SGW/PGW и сервера домашней базы данных пользователей HSS [6].

Сценарии и соглашения при взаимодействии между MNO и MVNO при GWCN в 6G тоже аналогичны сетям LTE. Фактически, это эволюционный подход построения виртуальных операторов модели Full-MVNO из LTE.

Новым фактором, который вносит ограничения и который необходимо учитывать для MVNO и в этом варианте архитектуры, являются сетевые сегменты (слайсы) и их



совместимость между сетями MVNO и MNO для реализации сервисов с заданными параметрами качества обслуживания. В данной архитектуре сеть радиодоступа остается закрытой для MVNO.

Архитектура MVNO 6G на базе технологии MOCN (Multi-Operator Core Network) определяет сценарий совместного использования только сети радиодоступа между несколькими операторами MNO и MVNO. Опорная сеть 6G принадлежит и управляется MVNO целиком. Ресурсы радиодоступа распределяются между операторами на основании заключенных MNO и MVNO соглашений SLA (Service Layer Agreement).

Реализация логики распределения абонентов между базовыми сетями PMNO и MVNO возлагается на базовые станции 6G (NG-RAN). Определение базовой сети (PMNO или MVNO) для абонента (SIM-карты) ведется на основании кода мобильной сети, в которой регистрируется абонент. Технология MOCN также была описана в стандартах и для сетей 4G LTE, однако широкого практического применения для построения виртуальных операторов не получила. Одна из причин – невозможность контроля и учета PMNO потоков данных виртуальных MVNO, так как трафик проходит только через базовые станции опорного оператора. Другая проблема заключается в том, что для подключения MVNO необходимо производить реконфигурацию всех базовых станций MNO, число которых может измеряться сотнями тысяч. Данные ограничения актуальны и для сетей 6G. В связи с этим, большого количества запусков MVNO на основе технологии MOCN также не прогнозируется.

Построение MVNO 6G на базе технологии Network Slicing позволяет разделить сеть 6G на несколько виртуальных сетей. Каждая виртуальная сеть может быть оптимизирована для обслуживания конкретного сервиса. Данная технология позволяет конфигурировать и многократно использовать сетевые элементы и функции в каждом сетевом сегменте (slice) для удовлетворения определенных требований.

Построение сети 6G на базе технологии Network Slicing позволяет операторам не только выделять сегменты для реализации своих сервисов, но и предлагать их третьим сторонам. Такой подход полностью укладывается в концепцию MVNO – виртуальная сеть для виртуального оператора. Эти новые механизмы, обеспечивающих распределение ресурсов как по радиоинтерфейсу, так и по опорной сети, обеспечивают возможность виртуализировать ресурсы MNO и обеспечить высокую степень логической изоляции между MVNO, как это предусмотрено документом ассоциации GSMA [7].

Анализ характеристик подключения MVNO

Наиболее значимыми параметрами подключения MVNO к MNO являются стоимостные показатели и вероятностно-временные характеристики (VBX). Финансовые показатели вычисляются через стоимость C_S обслуживания абонента MVNO и соответственная оплата C_N , от оператора MVNO сети MNO, к которой он подключен. Разумеется, $C_S > C_N$, иначе бизнес MVNO перестает быть рентабельным. С другой стороны, в выборе соотношения величин C_S и C_N иногда следует учитывать экономическую выгоду для абонента подключаться к MVNO, а не напрямую к MNO.

Но в большинстве случаев экономия средств не является главным фактором для принятия решения относительно MVNO. Как правило, существенную роль играют некоторые дополнительные функциональные возможности, особые требования к SLA (Service Level Agreement), аспекты информационной безопасности, нумерации, администрирования, etc. И, разумеется, численные характеристики обслуживания, такие как время установления соединения $T_{connect}$ между MVNO и MNO, которое складывается задержки сигнального обмена (signalling delays) – T_{signal} , процессов аутентификации и авторизации – T_{auth} и времени выделения сетевых ресурсов – T_{alloc} .

$$T_{connect} = T_{signal} + T_{auth} + T_{alloc}$$



Вероятность успешного подключения (P_{success}), т.е. вероятность успешного установления соединения MVNO с инфраструктурой MNO:

$$P_{\text{success}} = 1 - P_{\text{failure}} \quad (1)$$

где P_{failure} – вероятность отказа, которая может быть вызвана отказами оборудования, ошибками аутентификации и т.д.

Среднее время обслуживания, включая время ожидания в очереди, что для простейшей модели M/M/1 вычисляется по известной формуле:

$$M[T_{\text{connect}}] = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (2)$$

где λ – интенсивность входящих запросов подключения, а μ – интенсивность обслуживания.

Вероятность перегрузки (P_{overload}), когда интенсивность запросов от MVNO превышает возможность MNO, что для простейшего случая модели Эрланга оценивается через вероятность:

$$P_{\text{overload}} = \frac{\frac{p^N}{N!}}{\sum_{k=0}^N \frac{p^k}{k!}} \quad (3)$$

где $p = \frac{\lambda}{\mu}$ и целый ряд других вероятностно-временных характеристик (ВВХ), для вычисления которых необходимы более сложные математические модели, в частности, [3,5,8].

Вероятностно-временные характеристики подключения MVNO к трем MNO

Рассмотрим ситуацию, когда MVNO имеет договоры на подключение с тремя разными операторами MNO. Достаточно понятная ситуация при наличии в стране Большой тройки мобильных операторов MNO (рис. 1).

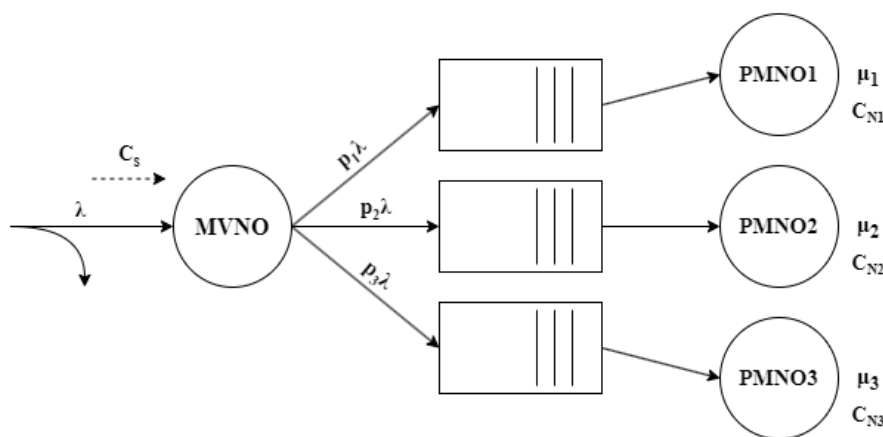


Рисунок 1. ВВХ подключения MVNO к трем MNO

Продолжаем считать поток пуассоновским с интенсивностью λ , который распределяется три потока таким образом, что пуассоновский поток со средней скоростью поступления $\lambda_1 = p_1\lambda$ направляется в MNO 1, пуассоновский поток со средней скоростью поступления $\lambda_2 = p_2\lambda$ направляется в MNO 2, а пуассоновский поток со средней скоростью поступления $\lambda_3 = p_3\lambda$ направляется в MNO 3.

Во всех трех MNO поддерживается стационарное состояние $\lambda_i < \mu_i$, т.е. для каждого потока от MVNO к MNO должно быть $p_i\lambda < \mu_i$, для $i = 1, 2, 3$.

Вероятности p_i – коэффициенты распределения трафика MVNO между MNO:

$$p_1 + p_2 + p_3 = 1. \quad (4)$$



Соответственно среднее время пребывания (ожидания и обслуживания) вычисляется по следующей формуле:

$$M[T_{connect}] = \frac{p_1}{p_1\lambda - \mu_1} + \frac{p_2}{p_2\lambda - \mu_2} + \frac{1-p_1-p_2}{(1-p_1-p_2)\lambda - \mu_3} \quad (5)$$

Таким образом, оператор MVNO получая текущие значения μ_1 , μ_2 и μ_3 от каждого MNO может пересчитывать вероятности p_1 , p_2 , p_3 , чтобы при обязательном соблюдении ограничения $p_i \lambda < \mu_i$ минимизировать время $M[T_{connect}]$ или максимизировать экономический эффект $C_s - C_n$.

Назначая и переназначая значения p_1 , p_2 , p_3 в реальном времени оператор MVNO может перераспределять трафик между тремя MNO и тем самым оптимизировать свой бизнес.

Заключение

В этой работе обсуждены некоторые аспекты проблематики функционирования MVNO в сетях поколений 6G и B6G и сделан весьма оптимистический прогноз относительно дальнейших перспектив MVNO, постепенного преобразования мобильных операторов в направлении виртуализации их деятельности, развития целой иерархии сетей MVNO. Основное внимание уделено вероятностно-временным характеристикам подключения MVNO и функционированию MVNO в среде мульти-MNO. Рассмотрен частный случай, когда число MNO равно трем. Предложен инструмент для оптимизации перераспределения трафика с целью повышения эффективности функционирования MVNO в мобильных сетях связи.

Список литературы:

1. А. Кучерявый, Б. Гольдштейн. Сети пост-NGN. // СПб.: БХВ-Петербург. 2013.
2. Тихвинский В., Девяткин Е., Белявский В. По пути от 5G к 5G Advanced: релизы 17 и 18 // Первая миля. 2021. № 6 (98). С. 38-47.
3. N.Yarkina, Y.Gaidamaka, L. Correia, K. Samouylov. An Analytical Model for 5G Network Resource Sharing with Flexible SLA-Oriented Slice Isolation // Mathematics. 2020. №8.
4. Б.С. Гольдштейн. Инфокоммуникационные сети и системы // СПб.: БХВ-Петербург. 2024
5. Д. А. Молчанов, В. О. Бегишев, К. Е. Самуйлов, Е. А. Кучерявый. Сети 5G/6G: архитектура, технологии, методы анализа и расчета: монография // Москва: РУДН, 2022. – 516 с.
6. Е. Зайчик. Совместное использование сетевой инфраструктуры операторами связи // Первая миля. 2019. №7 (84). С. 54-59
7. GSMA NG.116 «Generic Network Slice Template», Version 9.0, 2023.
8. Abdelhamied A. Ateya, Ahmed A. Abd El-Latif, Ammar Muthanna, Artem Volkov, Andrey Koucheryavy. Enabling Metaverse and Telepresence Services in 6G Networks // River Publishers Series in Communications and Networking. 2025.
9. Елисеев С., Гринева А. Подходы к виртуализации сетей мобильных операторов связи поколения 4/5G // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2021). сборник научных статей: в 4-х томах. Санкт-Петербург, 2021. С. 426-429.
10. Гольдштейн Б.С. Инфокоммуникационные сети и системы. // СПб.: БХВ-Петербург. 2024.
11. Вэнь Тонг, Пейин Чжу Сети 6G. Путь от 5G к 6G глазами разработчиков / Пер. с англ. Яценков В. – М.: ДМК Пресс. 2022. 624 с.
12. Darshan A. Ravi, Vijay K. Shah, Chengzhang Li, Tom Hou, Jeffrey H. Reed. RAN Slicing in Multi-MVNO Environment under Dynamic Channel Conditions // IEEE Internet of Things Journal. 2022. V.9. №6.

