

УДК 65.011.56
ГРНТИ 50.41.25

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕТЕВЫХ РЕСУРСОВ В СЕТИ 5G НА ОСНОВЕ ИГРОВОГО ПОДХОДА

К. В. Белозеров¹, С. В. Кисляков^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
²НТЦ АРГУС

Разделение ресурсов является важным аспектом при создании сетевых срезов, поскольку различные виды услуг могут требовать различных параметров передачи данных. Представлен метод выделения ресурсов кэш-памяти с использованием теории игр, в частности, игры в банкротство, для оптимизации распределения кэш-памяти между срезами сети пятого поколения

теория игр, слайсинг, сети 5G, управление сетью.

Технология сетевой нарезки (слайсинга)

Сетевой слайсинг – это технология в сетях 5G, которая позволяет разделить физическую инфраструктуру сети на несколько виртуальных сегментов, каждый из которых может быть оптимизирован для конкретных требований пользователей и приложений. Это позволяет предоставлять различные типы услуг, которые требуют разной скорости передачи данных, качества обслуживания, безопасности и других параметров

Распределение ресурсов между срезами является важным аспектом, поскольку различные услуги могут требовать различных ресурсов и «бороться» за них.

Архитектура сетевого слайсинга показана на рис. 1

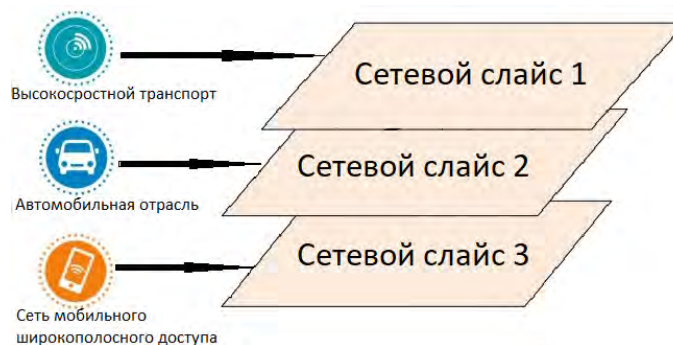


Рис. 1. Архитектура сетевого слайсинга

Исследования по оптимизации распределения ресурсов публиковались в ряде работ. Так, в работе Ю. В. Самуйлова [1] предложен и реализован алгоритм освобождения ресурсов слайсами-нарушителями, а также предложен и реализован алгоритм распределения ресурсов на основе весов слайсов. Разработано средство имитационного моделирования механизма распределения ресурсов. В статье Ю. В. Гайдамака [2] построена математическая модель разделения ресурсов соты между двумя виртуальными операторами, которая иллюстрирует влияние параметров изоляции на метрики производительности сети.

Однако задача оптимального разделения ресурсов в сетях 5G всё ещё считается актуальной.

Теории игр

Теория игр (ТИ) – раздел прикладной математики, с помощью которого можно исследовать поведение нескольких «игроков» и принятые ими решения в условиях следования собственным интересам. ТИ находится на стыке компьютерной науки и направлена на изучение и создание алгоритмов для стратегий.

ТИ – это средство для моделирования и изучения взаимодействия между субъектами, заинтересованными «в себе» [4]. Она изучает проблемы, связанные с разработкой стратегий взаимодействия, которые позволят максимизировать благосостояние агента в случае взаимодействия нескольких агентов. В [4] выработка рекомендаций для агентов является главной задачей, решаемой при помощи ТИ. Стратегия агента – это система правил, которая определяет поведение агента на каждом ходе. Когда стратегии агентов пересекаются, образуется ситуация, в которой каждый агент получает определенный результат. Результат может быть, как положительным, так и отрицательным. Выбор стратегии основан на получении желаемого в самый короткий срок, но нельзя забывать про шаги противоположного агента, так как они тоже влияют на ситуацию в целом.

Модель игры в банкротство

Игра в банкротство – это одна из кооперативных игр, которая используется для решения проблем распределения и моделируется как кооперативная игра. Если активов банкротной [4, 5] компании недостаточно для удовлетворения всех требований кредиторов, все кредиторы могут использовать игру в банкротство для распределения активов компании. Алгоритм игры в банкротство показана на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм игры в банкротство

Под игрой мы будем понимать процесс, в котором участвуют две и более сторон, ведущие борьбу за реализацию своих интересов. Пусть условия игры допускают совместные действия и перераспределения выигрыша. Главная задача исследования – это оптимальное распределение благ между членами объединения. Пусть $N = \{1, 2, \dots, n\}$ – это множество всех игроков в рамках рассматриваемой модели. Тогда любое непустое подмножество $S \subset N$ мы будем называть коалицией. Под характеристической функцией v будем понимать функцию, которая для каждой возможной коалиции ставит в соответствие вещественное число. Для любых двух непересекающихся коалиций $T \subset N$ и $S \subset N$ выполняется неравенство: $v(T) + v(S) \leq v(T \cup S)$. Это означает, что коалиция $T \cup S$ имеет не меньше возможностей, чем две непе-

ресекающиеся коалиции T и S , действующие в одиночку. Тогда кооперативной игрой назовём пару (N, v) и определим её решение. Чаще всего используются принципы оптимальности такие как С-ядро, НМ-решение, вектор Шепли. Но мы выберем метод, который подходит для решения задачи справедливого дележа и, который гарантирует единственность решения. Этот принцип вводится аксиоматически.

Аксиомы Шепли.

Аксиома 1. Если S – любой носитель игры (N, v) , то выполняется:

$$\sum_{i \in S} \varphi_i [v] = v(S).$$

Аксиома 2. Для любой подстановки π и $\forall i \in N$ верно:

$$\varphi_{\pi(i)}[\pi v] = \varphi_i[v].$$

Аксиома 3. Если (N, v) и (N, u) – две произвольные кооперативные игры, то:

$$\varphi_i[v + u] = \varphi_i[u] + \varphi_i[v].$$

Пусть φ – это функция, которая ставит в соответствие согласно аксиомам (1)-(3) любой игре (N, v) вектор $\varphi(v)$. Тогда этот вектор будем называть вектором Шепли игры (N, v) .

Применение ТИ для оптимизации ресурсов слайсинга

Операторы должны экономить ресурсы, так как им выгодно внедрять максимум услуг используя минимальное количество ресурсов, но для стабильной работы им необходимо иметь резерв, который они смогут использовать при сбоях работы срезов. Рассмотрим ситуацию, когда размер кэш-памяти намного меньше, чем размер требования каждого среза. Тогда срезы работают вместе, чтобы сформировать коалицию, которая определяется как подмножество игроков. Предполагая, что игроки обмениваются информацией о соответствующих требованиях (размер пространства кэша), претензии могут быть смоделированы как совместная игра. Выбор игровой характеристической функции [6], представляющей интересы, приписываемые каждому игроку в коалиционной игре, является предпосылкой формирования коалиций. Игровая характеристическая функция показана ниже.

$$u^{(d,E)}(S) = \max\{E - \sum d_i, 0\}, i \in N \setminus S,$$

где E – это общее количество кэш памяти, $d = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ – требования каждого среза, $N = \{1, 2, \dots, n\}$ – множество всех игроков в рамках рассматриваемой модели, S – любой носитель игры, а u – характеристическая функция кооперативной игры.

После создания коалиций и формирования всех ограничений, рассчитываются значения вектора Шепли. Формула расчета значения Шепли приведена ниже.

$$\Phi(u)_i = \sum_{i \in K} \frac{(k-1)!(N-k)!}{N!} (u(K) - u(K \setminus i)),$$

где N – количество игроков, k – количество участников коалиции K .

Значения Шепли предназначено для более справедливого распределения результирующих выгод между участниками игры. Метод расчета значения Шепли заключается в следующем. В модели есть значение размера пространства кэша, полученного срезом. Значение Шепли [6] выбирается для получения стабильного вектора решения. При значении Шепли ресурсы кэша логически и справедливо распределяются между фрагментами, что повышает эффективность использования пространства кэша. Если срезам недостаточно памяти, т. е. происходят сбои, задержки, то выделяется дополнительное количество ресурсов, которое также распределяется, как и основное.

Результаты работы модели

Для реализации данного алгоритма был выбран язык программирования Python.

Для проведения тестов алгоритма были взяты следующие входные данные: $E = 1000$ и $E1 = 1500$, $d = (400, 500, 700)$. В результате получили распределение ресурсов кэш-памяти между сетевыми срезами. Частично результаты приведены ниже на рис. 3.

В результате разработан алгоритм двухуровневого оптимального распределения кэш-памяти между сетевыми срезами сети.

```
1 Вариант
Коалиции
[0, 0, 0, 100, 300, 500, 600, 1000]

Распределение кэша
(250.0, 300.0, 450.0)

Проверка
1000

2 Вариант
Коалиции
[0, 300, 400, 600, 800, 1000, 1100, 1500]

Распределения кэша
(333.3, 383.3, 783.3)

Проверка
1500
```

Рис. 3. Результаты алгоритма

Список используемых источников

1. Агеев К. А., Сопин Э. С., Яркина Н. В., Самуйлов К. Е., Шоргин С. Я. Анализ механизмов нарезки сети с учетом гарантий для различных типов трафика // Информатика и её применение. 2020. Т. 14, N 3. С. 94–100.
2. Москалева Ф. А., Гайдамака Ю. В., Шоргин В. С. Влияние параметров изоляции на разделение ресурсов при нарезке сети // Информатика и её применение. 2020. Т. 14, N 4. С. 9–16.
3. Мухизи С., Киричек Р. В. Анализ технологии слайсинга в сетях связи пятого поколения // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Т. 5. N 4. С. 57–63.

4. Parsons S., Wooldridge M. Game Theory and Decision Theory in Multi-Agent Systems // Department of Computer Science, University of Liverpool, Liverpool L69 7ZF, United Kingdom.

5. Bamdad M., Jamali S., Fotohi R. Dynamic Allocation of 5G Network Resources using Game Theory // Faculty of Computer Science and Engineering, Shahid Beheshti University, G. C. Evin, Tehran 1983969411, IRAN.

6. Zhang L., Wang G., Wang F. A Bankruptcy Game for Optimize Caching Resource Allocation in Small Cell Networks // KSII Transactions on Internet and Information Systems. 2019. Vol. 13, No. 5. PP. 2319–2337. DOI: 10.3837/tiis.2019.05.005.