Модуль UE\_MODULE: Моделирование пользовательского оборудования в LTE

**1. Введение**

Модуль UE\_MODULE предназначен для моделирования пользовательских устройств (User Equipment, UE) в системе LTE. Этот модуль предоставляет классы и методы для описания характеристик UE, управления их состоянием и взаимодействия с другими компонентами симуляции LTE.

**2. Зависимости**

Для корректной работы UE\_MODULE требуются следующие библиотеки:

* numpy: Для математических операций и работы с массивами.
* typing: Для статической типизации и аннотации типов.

Кроме того, UE\_MODULE предполагает взаимодействие со следующими модулями:

* MOVEMENT\_MODEL: Моделирование движения UE.
* CHANNEL\_MODEL: Моделирование канала связи между UE и базовой станцией.
* TRAFFIC\_MODEL: Генерация трафика для UE.

**3. Классы модуля**

**3.1. Класс Buffer**

Предназначен для моделирования буфера данных в пользовательском устройстве. Буфер используется для хранения пакетов данных, которые ожидают передачи.

**3.1.1. Инициализация**

**Параметры:**

* max\_size (int): Максимальный размер буфера в байтах. Значение по умолчанию - 1048576 байт (1 МБ).

**Описание:**

При создании объекта Buffer задается его максимальный размер, обнуляется текущий размер и создаются пустые списки для хранения пакетов и счетчика отброшенных пакетов.

**3.1.2. Метод ADD\_PACKET**

**Параметры:**

* packet\_size (int): Размер добавляемого пакета в байтах.
* creation\_time (int): Время создания пакета в миллисекундах (мс).
* priority (int): Приоритет пакета (целое число от 0 до 10, где 0 - самый низкий приоритет).

**Описание:**

Этот метод добавляет новый пакет данных в буфер. Если добавление пакета приведет к превышению максимального размера буфера, то пакет отбрасывается, увеличивается счетчик отброшенных пакетов (self.dropped\_packets), и возвращается False.  
В противном случае создается словарь с информацией о пакете, добавляется в список пакетов, увеличивается текущий размер буфера и возвращается True.

**3.1.3. Метод GET\_PACKETS**

**Параметры:**

* max\_bytes (int): Максимальное количество байт, которое можно передать.
* current\_time (int): Текущее время в миллисекундах.

**Описание:**

Этот метод извлекает из буфера список пакетов для передачи. Пакеты сортируются по приоритету (чем выше приоритет, тем раньше пакет будет выбран) и времени ожидания (чем дольше пакет ждет, тем раньше он будет выбран). Выбранные пакеты немедленно удаляются из буфера.

**3.1.4. Метод GET\_STATUS**

**Параметры:**

* current\_time (int): Текущее время в миллисекундах.

**Описание:**

Этот метод возвращает статистику о состоянии буфера, такую как текущий размер, количество пакетов, задержка самого старого пакета, средняя задержка и заполненность буфера.

**3.1.5. Метод DESTROY\_BUFFER**

**Параметры:**

* Нет

**Описание:**

Этот метод полностью очищает буфер, удаляя все пакеты и сбрасывая текущий размер буфера до нуля.

**3.2. Класс UserEquipment**

Предназначен для моделирования пользовательского устройства (UE) в сети LTE. Содержит информацию о местоположении, скорости, модели трафика, параметрах канала и т.д.

**3.2.1. Инициализация**

**Параметры:**

* UE\_ID (int): Уникальный идентификатор пользователя.
* x (float): Начальная координата X (в метрах).
* y (float): Начальная координата Y (в метрах).
* buffer\_size (int): Размер буфера в байтах.
* ue\_class (str): Класс пользователя ("stationary", "pedestrian", "vehicular", "train").

**Описание:**

При создании объекта UserEquipment задаются его основные параметры, такие как идентификатор, координаты, класс, размер буфера и т.д. Модели движения, трафика и канала устанавливаются позже.

**3.2.2. Метод SET\_MOVEMENT\_MODEL**

**Параметры:**

* model: Объект модели движения.

**Описание:**

Метод устанавливает модель движения для пользовательского устройства. Модель движения определяет, как изменяются координаты пользователя со временем.

**3.2.3. Метод SET\_CH\_MODEL**

**Параметры:**

* model: Объект модели канала.

**Описание:**

Метод устанавливает модель канала связи для пользовательского устройства. Модель канала определяет качество сигнала между UE и базовой станцией.

**3.2.4. Метод SET\_TRAFFIC\_MODEL**

**Параметры:**

* model: Объект модели трафика.

**Описание:**

Метод устанавливает модель генерации трафика для пользовательского устройства. Модель трафика определяет, как UE генерирует данные для передачи.

**3.2.5. Метод UPD\_POSITION**

**Параметры:**

* time\_ms (int): Текущее время в миллисекундах.
* bs\_position (Tuple[float, float]): Координаты базовой станции (x, y) в метрах.

**Описание:**

Обновляет позицию UE на основе заданной модели движения. Также вычисляет расстояние до базовой станции.

**3.2.6. Метод UPD\_CH\_QUALITY**

**Параметры:**

* time\_ms (int): Текущее время в миллисекундах.
* bs\_position (Tuple[float, float]): Координаты базовой станции (x, y) в метрах.

**Описание:**

Обновляет параметры качества канала (SINR и CQI) на основе заданной модели распространения сигнала.

**3.2.7. Метод GEN\_TRFFC**

**Параметры:**

* time\_ms (int): Текущее время в миллисекундах.

**Описание:**

Генерирует новый трафик на основе заданной модели трафика и добавляет сгенерированные пакеты в буфер.

**3.2.8. Метод UPD\_THROUGHPUT**

**Параметры:**

* bits\_transmitted (int): Количество переданных бит.
* time\_interval\_ms (int): Интервал времени в миллисекундах.

**Описание:**

Обновляет статистику пропускной способности, вычисляя текущую и среднюю пропускную способность пользователя.

**3.2.9. Метод CALC\_PF\_METRIC**

**Параметры:**

* Нет

**Описание:**

Рассчитывает метрику Proportional Fair (PF), которая используется для планирования ресурсов.

**3.2.10. Метод GET\_BUFFER\_STATUS**

**Параметры:**

* current\_time (int): Текущее время в миллисекундах.

**Описание:**

Возвращает текущий статус буфера, используя метод GET\_STATUS класса Buffer.

**3.2.11. Метод GET\_CH\_QUALITY**

**Параметры:**

* Нет

**Описание:**

Возвращает текущие параметры качества канала: CQI, SINR и расстояние до базовой станции.

**3.2.12. Метод SINR\_TO\_CQI**

**Параметры:**

* SINR (float): Отношение сигнал/шум+помехи в dB.

**Описание:**

Преобразует значение SINR в CQI (Channel Quality Indicator) в соответствии со стандартом LTE. CQI является показателем качества канала и используется для выбора MCS (Modulation and Coding Scheme).

**3.3 Класс UECollection**

Предназначен для хранения и управления коллекцией пользовательских устройств.

**3.3.1 Инициализация**

**Параметры:**

* bs\_position (Tuple[float, float]): Координаты базовой станции (x, y) в метрах.

**Описание:**

При создании UECollection инициализируется пустой словарь для хранения пользователей и задаются координаты базовой станции.

**3.3.2 Метод ADD\_USER**

**Параметры:**

* ue (UserEquipment): Объект пользовательского устройства.

**Описание:**

Добавляет пользователя в коллекцию, если пользователя с таким ID еще нет.

**3.3.3 Метод REMOVE\_USER**

**Параметры:**

* UE\_ID (int): Идентификатор пользователя.

**Описание:**

Удаляет пользователя из коллекции по его ID.

**3.3.4 Метод GET\_USER**

**Параметры:**

* UE\_ID (int): Идентификатор пользователя.

**Описание:**

Возвращает объект пользователя по его ID или None, если пользователь не найден.

**3.3.5 Метод GET\_ALL\_USERS**

**Параметры:**

* Нет

**Описание:**

Возвращает список всех пользователей в коллекции.

**3.3.6 Метод UPDATE\_ALL\_USERS**

**Параметры:**

* time\_ms (int): Текущее время в миллисекундах.

**Описание:**

Обновляет состояние всех пользователей в коллекции, вызывая методы UPD\_POSITION, UPD\_CH\_QUALITY и GEN\_TRFFC для каждого пользователя.

**3.3.7 Метод GET\_ACTIVE\_USERS**

**Параметры:**

* Нет

**Описание:**

Возвращает список активных пользователей, т.е. тех, у которых есть данные в буфере.

**3.4 Функция prepare\_users\_for\_scheduler**

**Параметры:**

* ue\_collection (UECollection): Коллекция пользователей.
* time\_ms (int): Текущее время в миллисекундах.

**Описание:**

Эта функция подготавливает данные о пользователях для передачи планировщику ресурсов. Она собирает информацию о состоянии буфера и параметрах канала для каждого пользователя и возвращает список словарей с этими данными.

**4. Примеры использования**

**4.1. Создание и добавление пользователей**

python

*# Создание коллекции пользователей*

ue\_collection = UECollection(bs\_position=(0, 0))

*# Создание пользователей*

ue1 = UserEquipment(UE\_ID=1, x=100, y=200, ue\_class="pedestrian")

ue2 = UserEquipment(UE\_ID=2, x=300, y=400, ue\_class="vehicular")

*# Добавление пользователей в коллекцию*

ue\_collection.ADD\_USER(ue1)

ue\_collection.ADD\_USER(ue2)

**4.2. Обновление состояния пользователей**

python

*# Обновление состояния всех пользователей*

time\_ms = 1000

ue\_collection.UPDATE\_ALL\_USERS(time\_ms)

**4.3. Подготовка данных для планировщика**

python

*# Подготовка данных для планировщика*

time\_ms = 1000

users\_data = prepare\_users\_for\_scheduler(ue\_collection, time\_ms)

*# users\_data теперь содержит список словарей с данными о пользователях*

**5. Возможные улучшения**

1. **Реализовать модели движения, трафика и канала**: В текущей версии они только объявлены, но не реализованы.
2. **Добавить обработку ошибок**: Предусмотреть обработку ошибок в методах, например, при попытке получить пользователя с несуществующим ID.
3. **Добавить методы для управления параметрами пользователей**: Например, метод для изменения класса пользователя, координат, скорости и т.д.
4. **Оптимизировать код**: Проверить код на производительность и оптимизировать узкие места.
5. **Добавить поддержку разных типов трафика**: Например, VoIP, HTTP, потоковое видео и т.д.
6. **Реализовать интерфейсы для моделей**: Определить базовые классы или интерфейсы для моделей движения, трафика и канала, чтобы обеспечить единообразие и упростить добавление новых моделей.
7. **Реализовать логирование и отладку**: Добавьте функциональность логирования, чтобы упростить отладку и анализ поведения симуляции.

**6. Вывод**

Модуль UE\_MODULE представляет собой основу для моделирования пользовательских устройств в системе LTE. Он предоставляет широкие возможности для описания характеристик UE, управления их состоянием и взаимодействия с другими компонентами симуляции.