

# **ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ**

**Факултет по телекомуникации  
Катедра „Комуникационни мрежи“**

**маг. инж. Деница Петюва Кирева-Михова**

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА МОДЕЛИ И МЕТОДИ ЗА ОТВОРЕН ДОСТЪП  
ДО ФУНКЦИИ В МРЕЖАТА ЗА РАДИОДОСТЪП**

## **АВТОРЕФЕРАТ**

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен  
**„ДОКТОР“**

Област: 5 Технически науки

Професионално направление: 5.3 Комуникационна и компютърна техника

Научна специалност: Комуникационни мрежи и системи

**Научни ръководители:**

**проф. д-н Евелина Пенчева**

**доц. д-р Венцислав Трифонов**

**СОФИЯ, 2018**

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Комуникационни мрежи“ към Факултет по телекомуникации на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 15.10.2018 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 11.02.2019 г. от 15:00 часа в конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.3.-08 / 12.11.2018 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-н Евелина Николова Пенчева
2. проф. д-р Георги Любенов Илиев
3. проф. д-р Розалина Стефанова Димова
4. проф. д-р Александър Богданов Бекярски
5. доц. д-р Тодор Димитров Ганчев

Рецензенти:

1. проф. д-р Розалина Стефанова Димова
2. проф. д-р Александър Богданов Бекярски

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в канцеларията на Факултет по телекомуникации на ТУ-София, блок № 1, кабинет № 1254.

Дисертантът е докторант на самостоятелна подготовка към катедра „Комуникационни мрежи“ на Факултет по телекомуникации. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проект.

Автор: маг. инж. Деница Кирева-Михова

Заглавие: Изследване на модели и методи за отворен достъп до функции в мрежата за радиодостъп

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

# **I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

## **Актуалност на проблема**

С бързото развитие на приложенията за мобилен Интернет и Интернет на нещата (*Internet of Things - IoT*) се повишават изискванията към услугите за обработка на данни и понастоящем създават нови предизвикателства, както за доставчиците на услуги, така и за операторите на мобилни мрежи. Визията на бъдещите 5G системи е да осигурят персонализирани и центрирани около потребителите услуги на достъпна цена, която да позволява контекстно-съобразни и близки услуги, доставка на услуги в гъсто населени райони и в движение, както и усъвършенствани мултимедийни услуги. Съществуващата централизирана архитектура на изчислителните облаци среща сериозни предизвикателства при посрещане на изискванията на услугите като ниска латентност, ограничения на капацитета, ограничени ресурси, непрекъснатост на обслужването и засилена сигурност. Съществува спешна нужда от усъвършенствана парадигма за изчислителни облаци, различна от централизираната архитектура, която да посреща ограниченията за капацитет и латентност, за да се справи с тези предизвикателства. Интернет на нещата се отнася до взаимодействието и комуникацията между милиарди устройства, които произвеждат и обменят данни, свързани с обекти от реалния свят (т.е. неща). Приложенията на IoT генерират огромно количество данни от сензори. Изпращането на всички данни в облак обаче изисква голяма честотна лента на мрежата. Научните изследвания се фокусират върху начина на по-добро използване на възможностите в края на мрежата за разгръщането на IoT и неговите потребности. При изчисленията в края на мрежата (*edge computing*), масивните данни, генерирани от различни видове устройства за предаване на данни, могат да бъдат обработени в мрежата, вместо да се предават към централизирана облачна инфраструктура, поради съображения, свързани с широчината на честотната лента и разхода на енергия. Крайните изчисления може да осигурят услуги с по-бърз отговор и по-високо качество в сравнение с облачните изчисления и са по-подходящи за интегриране с IoT при осигуряване на ефективни и сигурни услуги за голям брой крайни потребители. Платформата за мобилни крайни изчисления (*Mobile Edge Computing - MEC*), която разгръща облачни сървъри в базови станции, е обещаващо решение за крайни изчисления, тъй като изчислителните възможности са по-близо до мобилните устройства. Научните изследвания и стандартизацията за разработване на авангардни мобилни крайни услуги са в процес на развитие, като все още има множество нерешени проблеми, свързани с разгръщането на MEC. Една от ключовите области е разработването на приложни програмни интерфейси, които ще дадат възможност на приложенията да получат достъп до ресурсите на мобилна крайна платформа и просто и ефективно да ги управляват.

## **Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване**

*Целта на настоящия дисертационен труд е да се изследват функции за отворен достъп до мениджмънт на радиоресурсите, като се усъвършенстват стандартизираните и се разработят нови модели и методи за създаване и разгръщане на услуги в среда на мобилни крайни изчисления.*

Основната цел е декомпозирана на следните специфични подцели, за всяка от които са формулирани задачи:

1. Изследване на функции за отворен достъп до мениджмънт на качеството на обслужване в мрежата за радиодостъп с цел усъвършенстване на функциите за управление на широчината на честотната лента.

2. Изследване на функции за отворен достъп до услуга, базирана на близост между мобилни устройства, с цел управление на разтоварването на потребителския трафик от клетъчната мрежа към директни комуникации между устройства.
3. Изследване на функции за отворен достъп до управление на междусистемния хендовър с цел оптимизиране на качеството на възприятие за крайния потребител.
4. Изследване на услуги, свързани с контекста на потребителя, в мрежата за радиодостъп с цел подобряване на работоспособността на мрежата и потребителското възприятие.

Разработените модели на ресурси, които представят виждането на приложение и виждането на мрежата за състоянието на ресурсите трябва да бъдат синхронизирани т.е. да излагат еквивалентно поведение. За да се провери верността на моделите и тяхното синхронно изпълнение се използва математически формализъм на бисимулация между системи с именувани преходи.

### **Научна новост**

Основните приноси в дисертационния труд имат научноприложен характер. Изследвани са аспекти на разгръщането на стандартизирани мобилни крайни услуги в мрежата за радиодостъп, като са предложени и техни разширения, които са насочени към увеличаване на потенциала на изчисленията в края на мобилната мрежа за подобряване на работоспособността на мрежата и качеството на възприятие на крайния потребител. Разработени са методи за дефиниране на нови мобилни крайни услуги, които се възползват от възможностите за изчисления и съхранение в края на мрежата на оператора. Това са услуги, от които обикновено крайните потребители не могат да се възползват директно, но могат да се експлоатират съвместно с компании от трета страна. Разработени са методи за разгръщане на мобилните крайни услуги за: мениджмънт на широчината на честотната лента, достъп до информация за местоположението и достъп до информация за мрежата за радиодостъп. Методите включват: функционално проектиране на приложните програмни интерфейси на услугите върху процедурите на управляващите протоколи между мрежата за достъп и опорната мрежа, свързани с мениджмънт на носещите ресурси, позициониране и мениджмънт на хендовъра; и модели на състоянията на ресурсите от гледна точка на мрежата и на мобилно крайно приложение. Разработен е метод за дефиниране на разширение на мобилната крайна услуга за мениджмънт на широчината на честотната лента в мрежата за радиодостъп. Разширението представя възможност на мобилни крайни приложения да наблюдават и управляват процедурите за мениджмънт на носещите ресурси, заделени за сесиите на даден потребител. Методът включва описание на услугата с типични случаи на използване, моделиране на данни, дефиниране на интерфейси и моделиране на състоянието на носещите ресурсите. Разработен е метод за отворен достъп до функции за определяне на близост и инициране на директни комуникации между устройства, който се базира на архитектурния стил REST. Методът включва описание на функциите с типични случаи на използване, моделиране на данни, дефиниране на интерфейси и моделиране на състоянието на ресурсите. Разработен е метод за отворен достъп до функции, свързани с управление на междусистемния хендовър. Методът включва проектиране на мобилни крайни услуги, които са описани с типични случаи на използване, RESTful интерфейси, модели на данни и модели на състоянието на хендовъра от гледна точка на мобилно крайно приложение, обслужващата и целевата мрежа за достъп. Разработен е метод за дефиниране на нова мобилна крайна услуга, която осигурява възможност на приложенията да излъчват мултимедийно съдържание в мрежата и да следят

състоянието на излъчване на съдържанието. Методът включва описание на функционалността на услугата с типични случаи на използване, моделиране на структури ресурси, дефиниране на интерфейси за манипулиране на ресурсите и моделиране на състоянието на излъчване на мултимедийно съобщение.

### **Практическа приложимост**

Изследванията, представени в дисертационния труд, могат да разширят приложимостта на МЕС технологията и да направят средата за изчисления в края на мрежата по-атрактивна за разработващите приложения от трета страна.

### **Апробация**

Апробацията на дисертационния труд е извършена пред Катедрен съвет на катедра „Комуникационни мрежи“, Факултет по телекомуникации на 15.10.2018 г.

### **Публикации**

Резултатите от изследванията са представени в общо 14 авторски труда. От тях 6 са в списания, като едно от списанията е индексирани в Web of Science, а друга е със SCOPUS SJR. Докладите на международни конференции са 8, като 6 от тях са на конференции, индексирани в SCOPUS, а 3 от конференциите са със SCOPUS SJR.

### **Структура и обем на дисертационния труд**

Дисертационният труд е в обем от 188 страници, като включва увод, една глава, идентифицираща проблемите, четири глави за формулиране и решаване на основните задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията, декларация за оригиналност и използвана литература. Цитирани са общо 207 литературни източници на латиница. Работата включва общо 78 фигури и 9 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

## **II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

---

### **Първа глава. Анализ на предизвикателствата пред крайните облачни изчисления**

В първа глава е направен анализ на технологиите за облачни изчисления в края на мобилната мрежа. Обобщени и сравнени са три типични крайни изчислителни технологии като мобилните крайни изчисления, облаците и изчисленията в мъгла. Поспециално внимание е обърнато на усилията за стандартизация, принципите, архитектурите и приложенията за тези три технологии. В авторски публикации [A1] и [A2] е поставена основата за анализ на предизвикателствата пред крайните облачни изчисления. Прегледът на научните изследвания в областта дава възможност да се идентифицират проблемите и да се формулират основната цел и задачите на дисертационния труд.

### **Втора глава. Изследване на функции за отворен достъп до мениджмънт на качеството на обслужване в мрежата за радиодостъп**

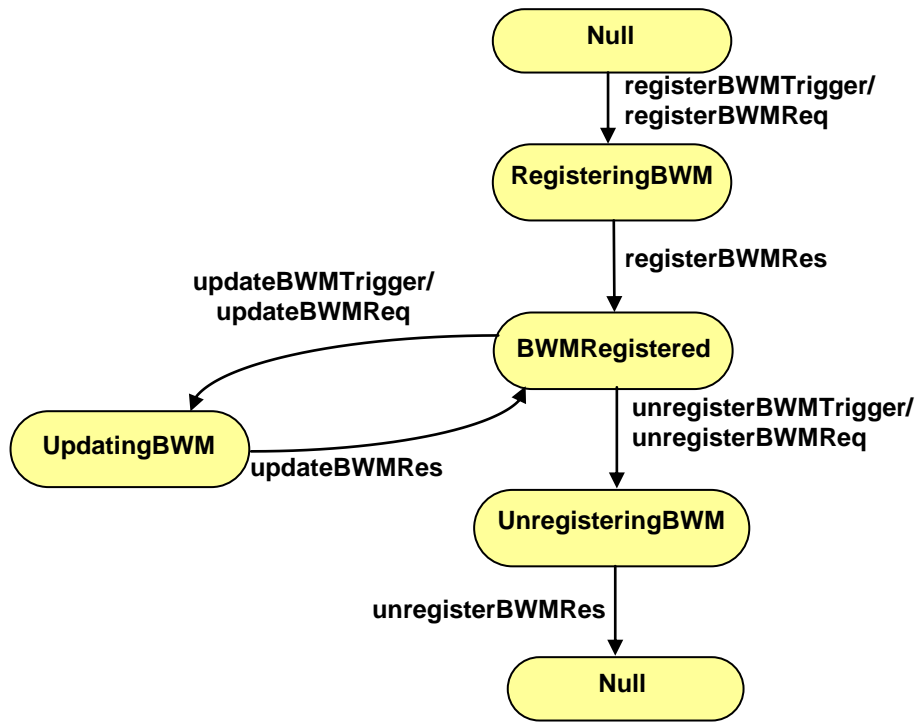
Във втора глава са анализирани аспекти на разгръщането на услугата на мобилна крайна система, която разрешава на външни за мрежата приложения да управляват разпределянето на носещи ресурси със специфично качество на обслужване за сесиите

на краен потребител. Предложено е разширение на услугата с цел усъвършенстване на функциите за управление на широчината на честотната лента.

Съществуващата мобилна крайна услуга *Bandwidth Management (BWMS)* осигурява възможност на различни мобилни крайни приложения да поставят свои специфични изисквания за широчина на честотната лента, приоритет или и двете, необходими както за изпълнение на самото приложение, така и за потребителската сесия. BWMS може да обобщи всички заявки и да действа по начин, който помага за оптимизиране на използването на широчината на честотната лента.

Представено е изследване на начина, по който мобилната крайна услуга BWMS може да се разгърне в среда на MEC. Резултатите от изследването са включени в авторска публикация [A3].

Разработен е модел, отразяващ виждането на мобилно крайно приложение за състоянието на заделената честотна лента (фиг.2.8) и модел на състоянието на носещите радиоресурси (*E-UTRAN Radio Access Bearer - E-RAB*), който трябва да се поддържа от eNodeB (фиг.2.9).



**Фигура 2.8** Модел на състоянието на заделената честотна лента от гледна точка на мобилно крайно приложение

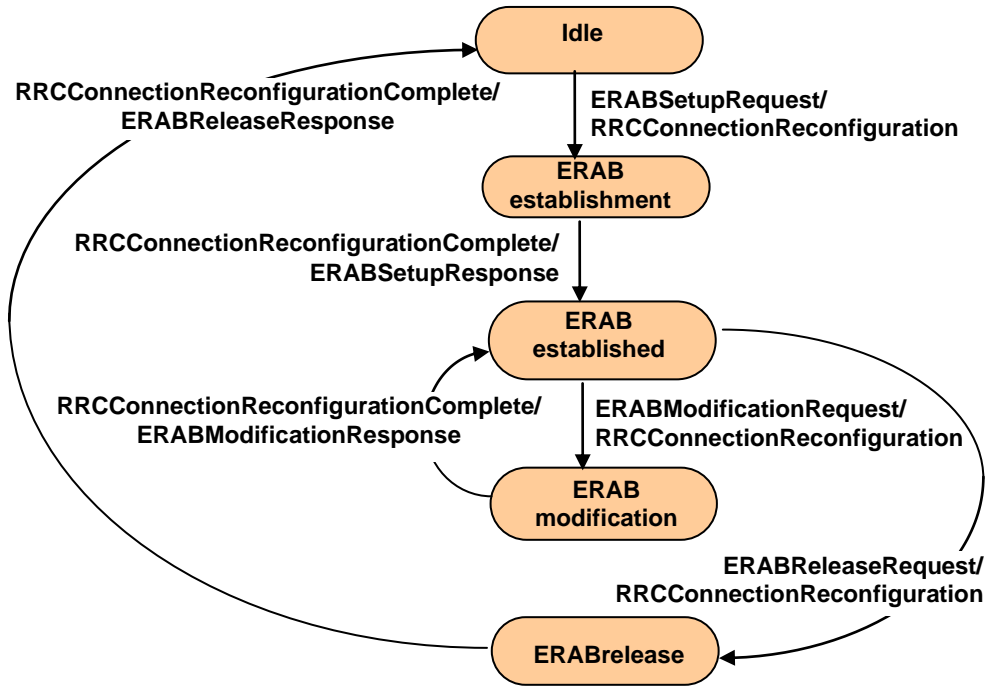
Посредством  $BWM_{App} = (S_{App}, Act_{App}, \rightarrow_{App}, s_0^{App})$  се означава система с именувани преходи (*Labeled Transition System – LTS*), представлява виждането на мобилно крайно приложение за състоянието на заделената честотна лента, където:

$$S_{App} = \{Null [s_1^A], RegisteringBWM [s_2^A], BWMRegistered [s_3^A], UpdatingBWM [s_4^A], UnregisteringBWM [s_5^A]\};$$

$$Act_{App} = \{registerBWMTrigger [t_1^A], registerBWMRes [t_2^A], updateBWMTrigger [t_3^A], updateBWMRes [t_4^A], unregisterBWMTrigger [t_5^A], unregisterBWMRes [t_6^A]\};$$

$$\rightarrow_{App} = \{(s_1^A t_1^A s_2^A), (s_2^A t_2^A s_3^A), (s_3^A t_3^A s_4^A), (s_4^A t_4^A s_3^A), (s_3^A t_5^A s_5^A), (s_5^A t_6^A s_1^A)\}.$$

$$s_0^{App} = \{s_1^A\}.$$



**Фигура 2.9** Модел на състоянието на носещите ресурси, заделени от мобилно крайно приложение от гледна точка на eNodeB

Посредством  $BWM_{eNB} = (S_{eNB}, Act_{eNB}, \rightarrow_{eNB}, s_0^{eNB})$  се означава LTS, представяща модела на състоянието на носещите ресурси, заделени от мобилно крайно приложение от гледна точка на eNodeB, където:

$$S_{eNB} = \{Idle [s_1^N], ERABestablishment [s_2^N], ERABestablished [s_3^N], \\ ERABmodification [s_4^N], ERABrelease [s_5^N]\}$$

$$Act_{eNB} = \{ERABSetupRequest [t_1^N], RRCConnectionReconfigurationComplete_{Est} [t_2^N], \\ ERABModificationRequest [t_3^N], RRCConnectionReconfigurationComplete_{Mod} [t_4^N], \\ ERABReleaseRequest [t_5^N], RRCConnectionReconfigurationComplete_{Rel} [t_6^N]\};$$

$$\rightarrow_{eNB} = \{(s_1^N, t_1^N, s_2^N), (s_2^N, t_2^N, s_3^N), (s_3^N, t_3^N, s_4^N), (s_4^N, t_4^N, s_3^N), (s_3^N, t_5^N, s_5^N), (s_5^N, t_6^N, s_1^N)\}; \\ s_0^{eNB} = \{s_1^N\}.$$

Основавайки се на формалното описание на моделите, представляващи състоянието на заделената честотна лента и съответните носещи ресурси, от гледна точка на мобилно крайно приложение и мрежата, може да се докаже, че тези модели са синхронизирани, т.е. те излагат еквивалентно поведение.

**Твърдение 2.1:** Системите  $BWM_{App}$  и  $BWM_{eNB}$  са в релация на строга бисимулация.

**Доказателство 2.1:** Първо се идентифицира хомоморфизъм  $H_{BWM} (t_x^A, t_y^N)$  между действията на двете LTS, показан в табл. 2.1.

Съгласно дефиницията на строга бисимулация, е необходимо да се идентифицира релация на бисимулация между състоянията на двете LTS и да се определят съответстващите си преходи. Нека  $U_{AppeNB}$  е релация между състоянията на  $BWM_{App}$  и  $BWM_{eNB}$ , където  $U_{AppeNB} = \{(s_1^A, s_1^N), (s_2^A, s_2^N), (s_3^A, s_3^N), (s_4^A, s_4^N), (s_5^A, s_5^N)\}$ . Тогава за следните събития се идентифицират съответните преходи:

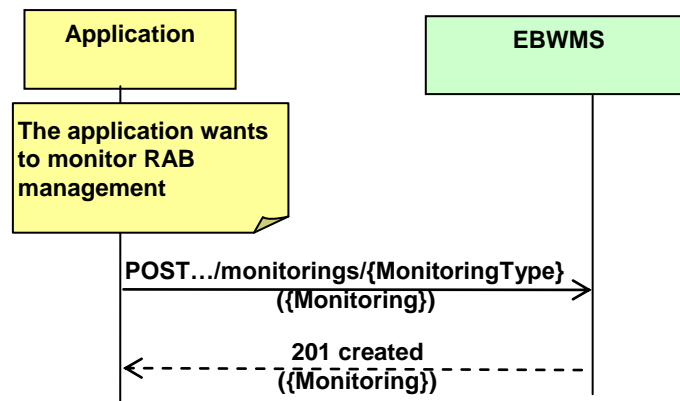
1. В случай на  $H_{\text{BWM}}(t_1^A, t_1^N)$ : за  $(s_1^A t_1^A s_2^A) \exists (s_1^N t_1^N s_2^N)$ .
2. В случай на  $H_{\text{BWM}}(t_2^A, t_2^N)$ : за  $(s_2^A t_2^A s_3^A) \exists (s_2^N t_2^N s_3^N)$ .
3. В случай на  $H_{\text{BWM}}(t_3^A, t_3^N)$ : за  $(s_3^A t_3^A s_4^A) \exists (s_3^N t_3^N s_4^N)$ .
4. В случай на  $H_{\text{BWM}}(t_4^A, t_4^N)$ : за  $(s_4^A t_4^A s_3^A) \exists (s_4^N t_4^N s_3^N)$ .
5. В случай на  $H_{\text{BWM}}(t_5^A, t_5^N)$ : за  $(s_5^A t_5^A s_5^A) \exists (s_5^N t_5^N s_5^N)$ .
6. В случай на  $H_{\text{BWM}}(t_6^A, t_6^N)$ : за  $(s_5^A t_6^A s_1^A) \exists (s_5^N t_6^N s_1^N)$ .

**Таблица 2.1** Хомоморфизъм между действията на  $\text{BWM}_{\text{App}}$  и  $\text{BWM}_{\text{eNB}}$

$H_{\text{BWM}}(t_x^A, t_y^N)$	Описание на действието
$H_{\text{BWM}}(t_1^A, t_1^N)$	Мобилно крайно приложение изпраща заявка за регистриране на честотна лента към BWMS.
$H_{\text{BWM}}(t_2^A, t_2^N)$	BWMS отговаря с одобрение на заявката за регистриране на честотна лента.
$H_{\text{BWM}}(t_3^A, t_3^N)$	Мобилно крайно приложение изпраща заявка за изменение на заделената честотна лента към BWMS.
$H_{\text{BWM}}(t_4^A, t_4^N)$	BWMS отговаря с одобрение на изменението.
$H_{\text{BWM}}(t_5^A, t_5^N)$	Мобилно крайно приложение изпраща заявка за освобождаване на заделената честотна лента към BWMS.
$H_{\text{BWM}}(t_6^A, t_6^N)$	BWMS отговаря с одобрение на deregистрирането.

Следователно  $\text{BWM}_{\text{App}}$  и  $\text{BWM}_{\text{eNB}}$  са в релация на строга бисимулация. ■

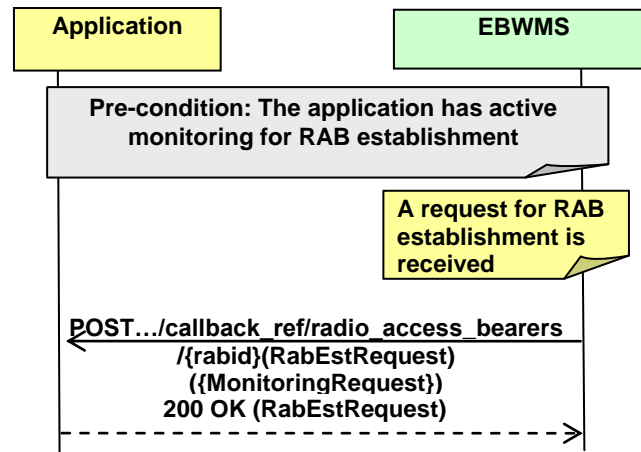
В авторски публикации [A4] и [A5] е предложено разширение на BWMS (*Enhanced Bandwidth Management Service - EBWMS*), което предоставя функции за мониторинг на мениджмънта на носещи ресурси за радиодостъп. Целта на разширението на BWMS е да предостави прости функции на разработващите приложения за определяне на начина, по който да се третират QoS (*Quality of Service*) ресурсите, така че да се подобри QoE (*Quality of Experience*) на потребителите и да се оптимизира работата на мрежата. EBWMS осигурява достъп до функциите за управление на RAB (*Radio Access Bearer*) чрез API (*Application Programming Interface*), както за мобилното крайно приложение, така и за мобилната крайна платформа. Фигура 2.10 показва сценарий, при който мобилно крайно приложение използва процедури, базирани на REST (*Representational State Transfer*), за да създаде мониторинг върху събития, свързани с мениджмънта на RAB.



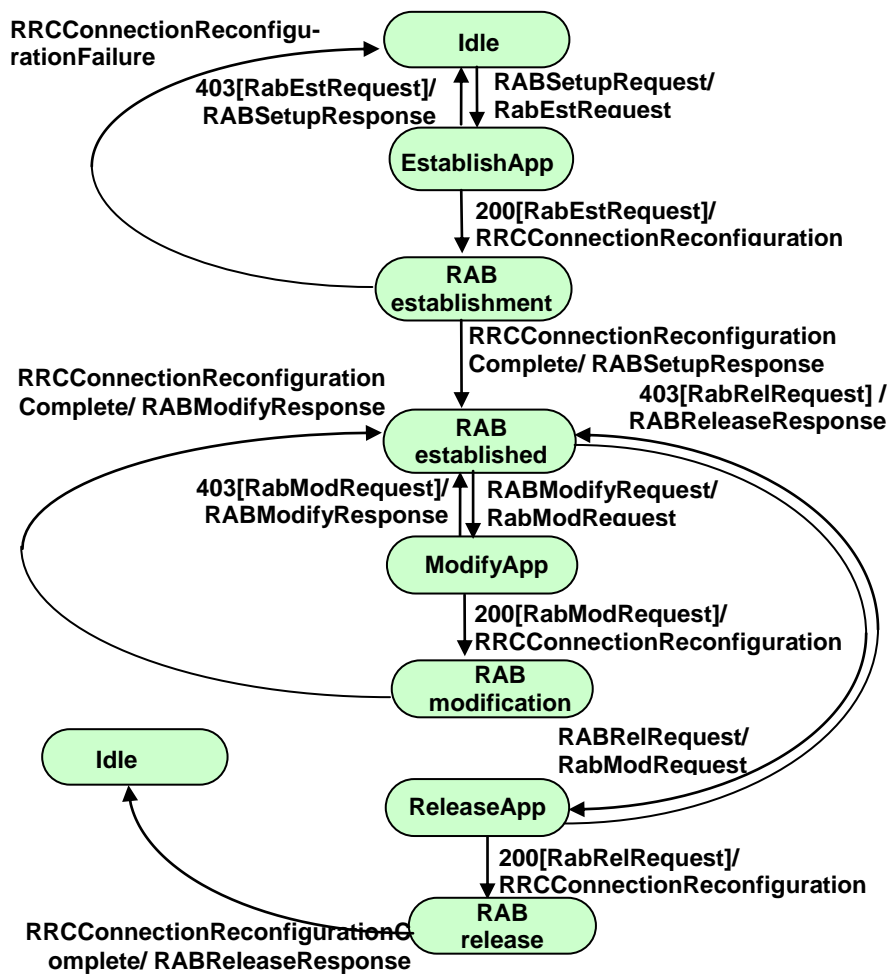
**Фигура 2.10** Диаграма при създаване на мониторинг върху мениджмънта на RAB от мобилно крайно приложение



Фигура 2.14 представя сценария, в който EBWMS изпраща постъпила заявка за създаване на RAB към мобилното крайно приложение с активен мониторинг върху мениджмънта на RAB, а фиг.2.15 представя сценария, в който EBWMS изпраща постъпила заявка за изменение на RAB, чието изграждане е одобрено от мобилното крайно приложение.



Фигура 2.14 Диаграма при изпращане на постъпила заявка за изграждане на RAB към мобилно крайно приложение за одобрение



Фигура 2.21 Модел, представящ виждането на eNodeB за състоянието на носещите ресурси за дадено потребителско оборудване (UE)

Разработен е модел на данни, който представя ресурсите, свързани с мониторинга на събития за мениджмънт на RAB, упражняван от мобилно крайно приложение, и модел на данни, който представя одобрените от мобилното крайно приложение заявки за мениджмънт на RAB.

Посредством  $T_{eNB} = (S_{eNB}, Act_{eNB} \rightarrow_{eNB}, s_0^{eNB})$  се означава LTS, представяща модела на състоянието на RAB за дадено UE (User Equipment) от гледна точка на eNodeB, където:

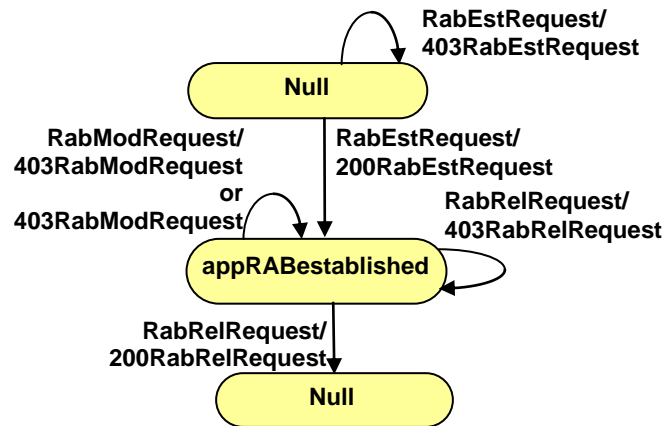
$$S_{eNB} = \{Idle [s_1^N], EstablishApp [s_2^N], RABestablishment [s_3^N], RABestablished [s_4^N], \\ ModifyApp [s_5^N], RABmodification [s_6^N], ReleaseApp [s_7^N], RABrelease [s_8^N]\}$$

$$Act_{eNB} = \{RABSetupRequest [t_1^N], RRCConnectionReconfigurationComplete [t_2^N], \\ RABModifyRequest [t_3^N], RABReleaseRequest [t_4^N], 200RabEstRequest [t_5^N], \\ 403RabEstRequest [t_6^N], 200RabModRequest [t_7^N], 403RabModRequest [t_8^N], \\ 200RabRelRequest [t_9^N], 403RabRelRequest [t_{10}^N], \\ RRCConnectionReconfigurationFailure [t_{11}^N]\};$$

$$\rightarrow_{eNB} = \{(s_1^N t_1^N s_2^N), (s_2^N t_6^N s_1^N), (s_2^N t_5^N s_3^N), (s_3^N t_2^N s_4^N), (s_4^N t_3^N s_5^N), (s_5^N t_8^N s_4^N), (s_5^N t_7^N s_6^N), \\ (s_6^N t_2^N s_4^N), (s_4^N t_4^N s_7^N), (s_7^N t_{10}^N s_4^N), (s_7^N t_9^N s_8^N), (s_8^N t_2^N s_1^N), (s_3^N t_{11}^N s_1^N)\};$$

$$s_0^{eNB} = \{s_1^N\}.$$

Фигура 2.22 показва опростен модел на състоянието на RAB за дадено UE, поддържан от мобилно крайно приложение.



**Фигура 2.22** Модел на състоянието на RAB за дадено UE, поддържан от мобилно крайно приложение

Посредством  $T_{AppRAB} = (S_{AppRAB}, Act_{AppRAB}, \rightarrow_{AppRAB}, s_0^{appRAB})$  се означава LTS, представяща модела на състоянието на RAB за дадено UE от гледна точка на мобилно крайно приложение, където:

$$S_{AppRAB} = \{Null [s_1^A], appRABestablished [s_2^A]\};$$

$$Act_{AppRAB} = \{RabEstRequest [t_1^A], RabModRequest [t_2^A], RabRelRequest [t_3^A]\};$$

$$\rightarrow_{AppRAB} = \{(s_1^A t_1^A s_2^A), (s_1^A t_1^A s_1^A), (s_2^A t_2^A s_2^A), (s_2^A t_3^A s_2^A), (s_2^A t_3^A s_1^A)\};$$

$$s_0^{appRAB} = \{s_1^A\}.$$

Използва се понятието за слаба бисимулация за формалната верификация на моделите.

**Твърдение 2.2:**  $T_{AppRAB}$  и  $T_{eNB}$  са в релация на слаба бисимулация.

**Доказателство 2.2:** Съгласно дефиницията за слаба бисимулация е необходимо да се идентифицира релация на бисимулация между състоянията на двете LTS и да се идентифицира съответното функционално проектиране на преходите. Нека с  $U_{RABAppeNB}$  се означава релация между състоянията на  $T_{AppRAB}$  и  $T_{eNB}$ , където  $U_{RABAppeNB} = \{(Null, Idle), (appRABestablished, RABestablished)\}$ . Преходите в модела, представящ виждането на мобилното крайно приложение се задействат, когато се получи заявка за одобрение за мениджмънт на RAB, така че да може да се установи хомоморфизъм между мрежовите събития, свързани с управлението на RAB, и заявката за одобряване на съответната процедура за управление на RAB. Тогава

1. В случай на заявка за изграждане на RAB, която е одобрена от приложението: за  $(s_1^N t_1^N s_2^N), (s_2^N t_5^N s_3^N), (s_3^N t_2^N s_4^N) \exists (s_1^A t_1^A s_2^A)$ .
2. В случай на заявка за изграждане на RAB, която се отхвърля от приложението: за  $(s_2^N t_6^N s_1^N) \exists (s_1^A t_1^A s_1^A)$ .
3. В случай на заявка за изменение на RAB, която е одобрена от приложението: за  $(s_4^N t_3^N s_5^N), (s_5^N t_9^N s_6^N), (s_6^N t_2^N s_4^N) \exists (s_2^A t_2^A s_2^A)$ .
4. В случай на заявка за изменение на RAB, която се отхвърля от приложението: за  $(s_4^N t_3^N s_5^N), (s_5^N t_8^N s_4^N) \exists (s_2^A t_2^A s_2^A)$ .
5. В случай на заявка за освобождаване на RAB, която е одобрена от приложението: за  $(s_4^N t_4^N s_7^N), (s_7^N t_9^N s_8^N), (s_8^N t_2^N s_1^N) \exists (s_2^A t_3^A s_1^A)$ .
6. В случай на заявка за освобождаване на RAB, която се отхвърля от приложението: за  $(s_4^N t_4^N s_7^N), (s_7^N t_{10}^N s_4^N) \exists (s_2^A t_3^A s_2^A)$ .
7. В случай на неуспешно изграждане на RAB: за  $(s_3^N t_{11}^N s_1^N) \exists (s_1^A t_1^A s_1^A)$ .

Следователно  $T_{AppRAB}$  и  $T_{eNB}$  са в релация на слаба бисимулация. ■

С предложеното разширение, мобилно крайно приложение може да управлява по-ефективно създаването и модифицирането на носещите ресурси, като разполага с актуална информация за радиомрежата и разглежда информация за текущото ниво на натоварване на мрежата.

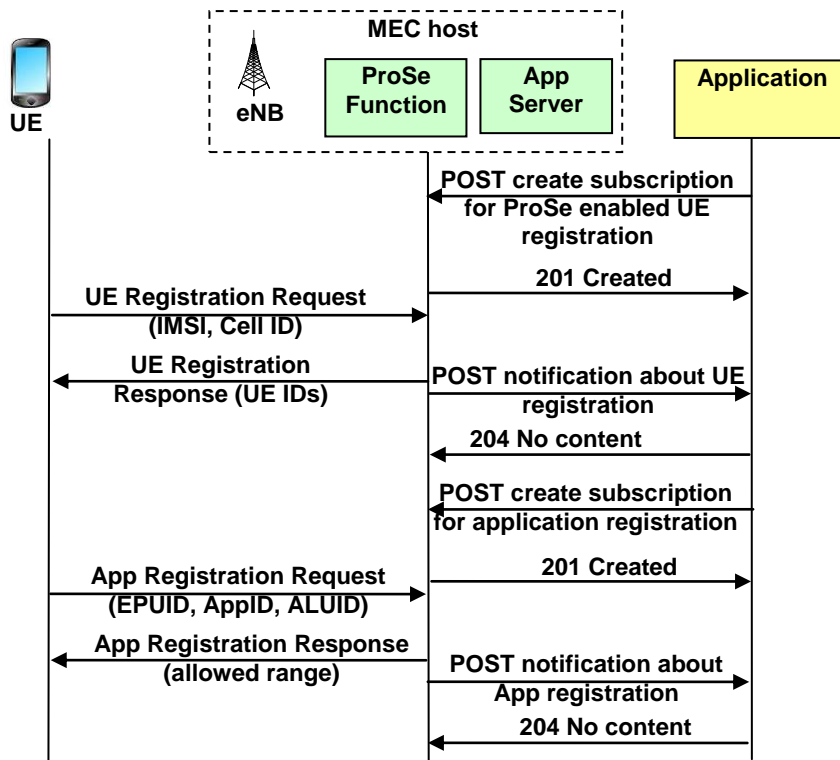
### **Трета глава. Изследване на функции за отворен достъп до услуга, базирана на близост между мобилни устройства**

Изследвани са функции за отворен достъп до услуга, базирана на близост между мобилни устройства, с цел управление на разтоварването на потребителския трафик от клетъчната мрежа към директни комуникации между устройства. Представен е метод за отворен достъп до функционалност на *Proximity-based Service (ProSe)* на базата на подпомогнато от мрежата откриване на близост между мобилни устройства. Методът е развит в два варианта: уеб услуги, базирани на *Service-Oriented Architecture (SOA)* и RESTful услуги за разгръщане в мобилна крайна система. Моделирано е състояние на ProSe от гледна точка на ProSe приложение и от гледна точка на мрежата, като моделите са описани по формален начин и са верифицирани.

В авторска публикация [A6] е представен метод за отворен достъп до ProSe въз основа на SOA, използвайки технологията за уеб услуги. При настоящите стандарти UE е единицата, която инициира откриването на близост и разтоварването на комуникациите. С предложения метод тази функционалност се делегира на приложение на трета страна или мрежов оператор, което инициира процедурите и по този начин управлява връзката с устройства с ProSe възможности. Оторизирано приложение може

да вземе решение за разтоварване на базата на натоварване на мрежата за достъп, местоположението на устройството, кредита на доставчика на устройства и т.н.

В авторска публикация [A7] е представен метод за дефиниране на RESTfull интерфейси за отворен достъп до ProSe, които могат да бъдат реализирани в MEC среда. Предложената мобилна крайна услуга *Application-driven ProSe (ADPS)* позволява на приложенията да идентифицират, че устройства с функции на ProSe са в близост и да инициират директни *Device-to-Device (D2D)* комуникации. Разполагайки с информация за регистрирано UE с ProSe функции, свързано с мобилния краен хост, приложението може да инициира откриване на близостта на регистрирани устройства и да се абонира за получаване на сигнали за близост (фиг. 3.6.).



**Фигура 3.6 Абонамент и известяване за регистриране на UE и приложение за ProSe**

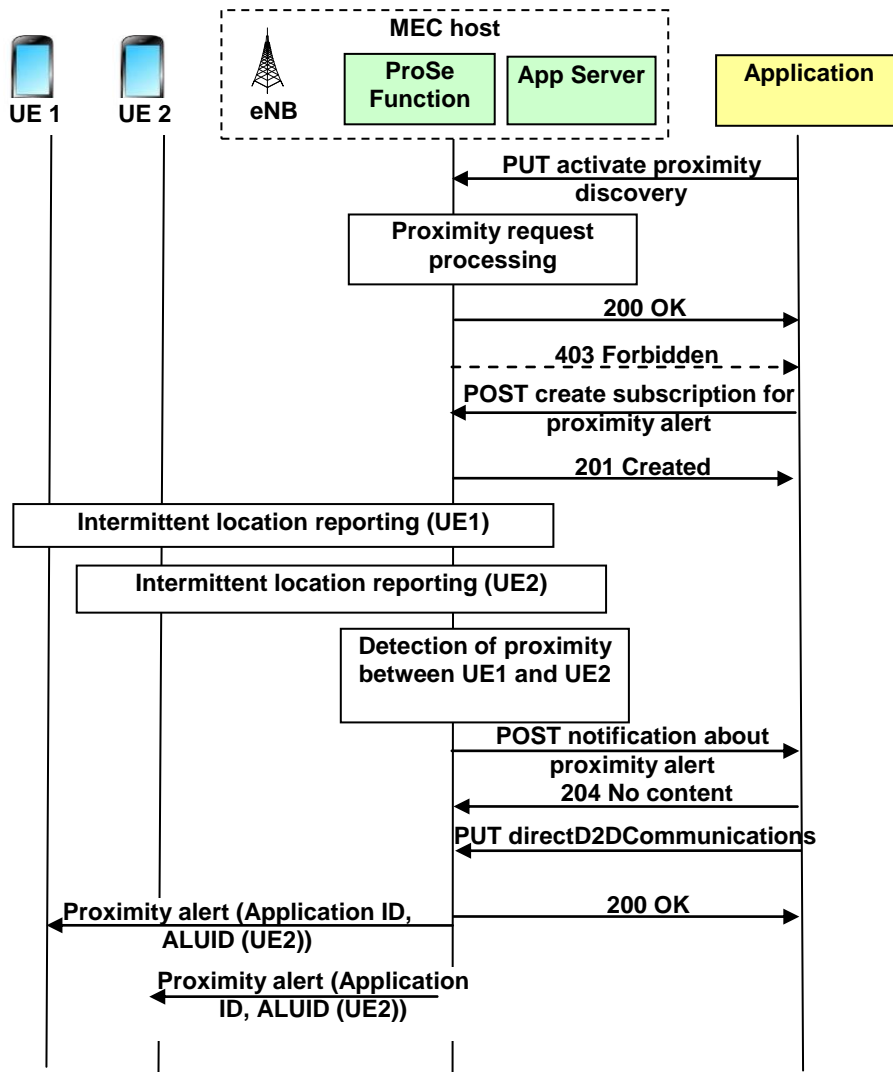
Мобилният краен хост трябва да включва функционалност на *ProSe Function* и *ProSe Application Server*. За целите на ProSe, управлявана от приложенията, необходимата функция *ProSe Discovery* е на ниво опорна мрежа. Потокът на съобщенията за регистрация на UE и регистрация на приложение е показан на фиг.3.6.

Когато ProSe функцията открие, че устройствата са в близост, тя уведомява мобилното крайно приложение, което на свой ред решава, дали да предупреди или не устройствата за тяхната близост. Потокът на съобщението за заявка за близост, отчитане на местоположението и предупреждение за близост е показан на фиг.3.7.

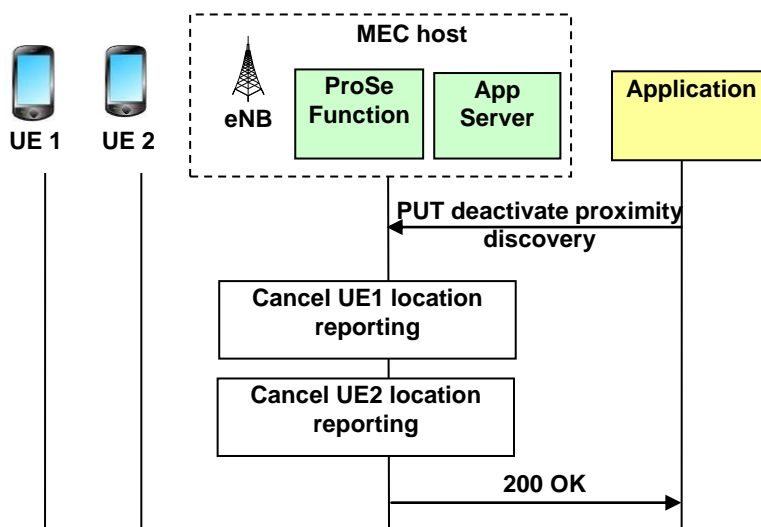
По всяко време мобилното крайно приложение може да инициира deregistration на UE за ProSe (например, поради промяна в местоположението на UE, прекратяване на съответното приложение или поради завършване на определено събитие) (фиг.3.8).

Моделът на данни дефинира структурата на данните, които се използват в представянето на ресурсите. Таблица 3.1 описва семантиката на атрибутите на ресурсите, а таблица 3.2 показва поддържаните ресурси и методи.

Ресурсът *<proSeEnabledUE>* представлява информация за UE с ProSe функции. Ресурсът *proSeUEApplications* е контейнер на едно или повече специфични приложения за UE с ProSe функции.



Фигура 3.7 Заявка за близост, докладване на местоположението и известяване за близост



Фигура 3.8 Иницирано от приложението deregистране на UE

**Таблица 3.1 Описание на семантиката на атрибутите**

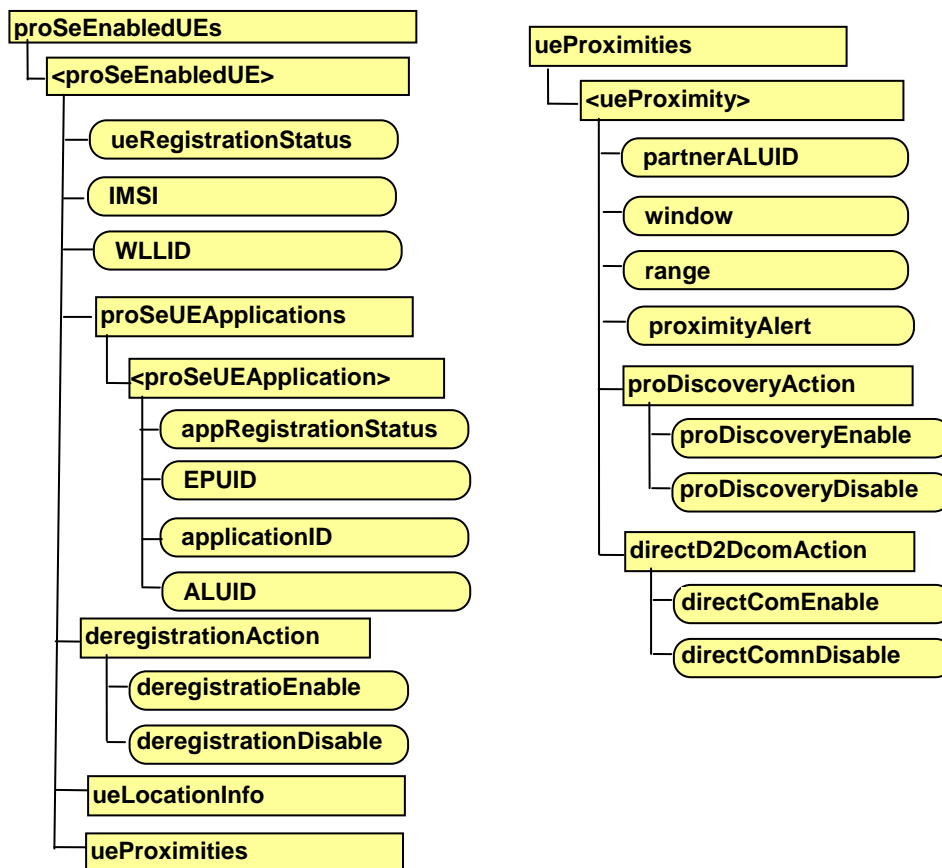
Име на атрибут	Достъп	Описание
ueRegistrationStatus	RO	Посочва статуса на ProSe регистрацията
IMSI	RO	International Mobile Subscriber Identity – Уникална идентификация на потребителя
WLLID	RO	WLAN Link Layer ID – идентификация на линията
appRegistrationStatus	RO	Посочва статуса на регистрация на приложение
EPUIID	RO	EPC ProSe User ID за оторизирано UE
applicationID	RO	Посочва идентификатор на приложение
ALUID	RO	Application Layer User ID – идентификатор на UE за ProSe услугата
deregistrationEnable	RW	Действие, което разрешава deregистриране от услугата ProSe
deregistrationDisable	RW	Действие, което забранява deregистриране от услугата ProSe
partnerALUID	RW	Посочва ALUID на друго UE
window	RW	Посочва период от време, през който е валидна заявката
range	RW	Клас на обхвата на заявката за това приложение, избран от множество разрешени класове
proximityAlert	RO	Посочва дали устройствата са в близост
proDiscoveryEnable	RW	Действие, което разрешава откриване на близост
proDiscoveryDisable	RW	Действие, което забранява откриване на близост
directComEnable	RW	Действие, което разрешава директни D2D комуникации
directComDisable	RW	Действие, което забранява директни D2D комуникации

Ресурсът *ueLocationInfo* съдържа информация за местоположението на UE. Ресурсът *ueProximities* е контейнер за един или повече ресурси *<ueProximity>*, където ресурсът *<ueProximity>* представлява информация за заявката за близост. Ресурсът *proDiscoveryAction* съдържа действието за откриване на близост, което трябва да бъде изпълнено. Ресурсът *directD2DcomAction* съдържа действие, свързано с уведомяване на устройствата за тяхната близост и по този начин позволява директна комуникация D2D.

**Таблица 3.2 Ресурси и поддържани методи**

Име на ресурс	Resource URI	HTTP методи
proSeEnabledUEs	/proSeEnabledUEs	GET
proSeEnabledUE	/proSeEnabledUEs/proSeEnabledUE	POST, GET, DELETE
proSeUEApplications	/proSeEnabledUEs/proSeEnabledUE/proSeUEApplications	GET
proSeUEApplication	/proSeEnabledUEs/proSeEnabledUE/proSeUEApplications/proSeUEApplication	POST, GET, DELETE
deregistrationAction	/proSeEnabledUEs/proSeEnabledUE/deregistrationAction	GET, PUT
ueLocationInfo	/proSeEnabledUEs/proSeEnabledUE/ueLocationInfo	POST, GET, DELETE
ueProximities	/proSeEnabledUEs/proSeEnabledUE/ueProximities	GET
ueProximity	/proSeEnabledUEs/proSeEnabledUE/ueProximities/ueProximity	POST, GET, DELETE
proDiscoveryAction	/proSeEnabledUEs/proSeEnabledUE/ueProximities/ueProximity/proDiscoveryAction	GET, PUT
directD2DcomAction	/proSeEnabledUEs/proSeEnabledUE/ueProximities/ueProximity/directD2DcomAction	GET, PUT

Фигура 3.9 показва дървовидната структура, представляваща ресурсите.



Фигура 3.9 Структура на ресурсите

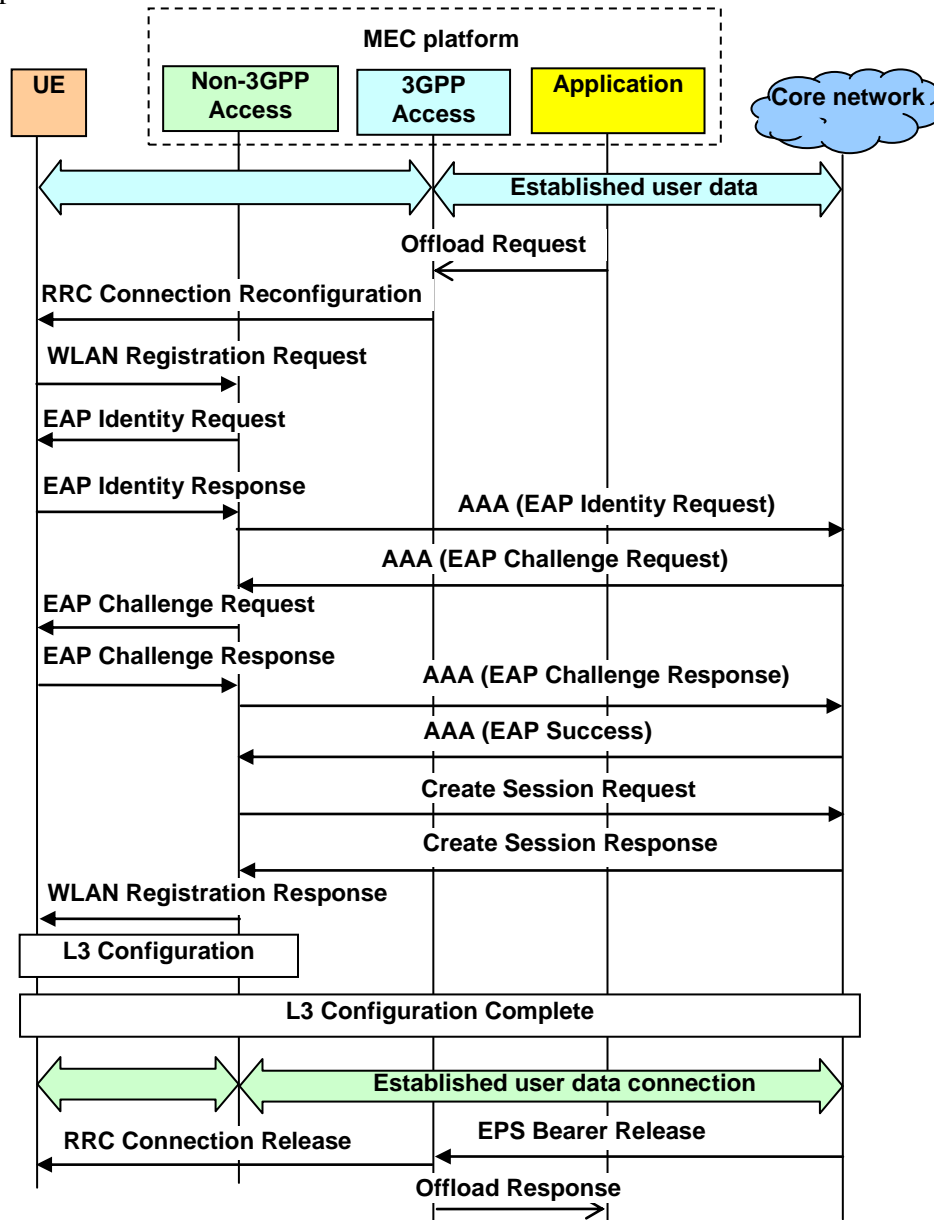
Схемата за разтоварване на D2D може да бъде полезна за потребители, които са в края на обслужващата клетка, в изолирана среда като сутерени или големи сгради и изискват обслужване. Ползата от разработените методи за операторите се състои основно в присъщата им възможност за намаляване претоварването в мрежата чрез процедури за разтоварване. Приложенията, т.е. третата страна, могат да участват в този процес, като същевременно се стремят да изпълняват собствени политики за качество на обслужване, особено по отношение на загуби и латентност. И накрая, качеството на възприятие за крайния потребител също ще се подобри.

#### Четвърта глава. Изследване на функции за отворен достъп до управление на междусистемен хендовър в мрежата за радиодостъп

В четвърта глава са изследвани функции за отворен достъп до управление на междусистемен хендовър, които позволяват смяната на използвания носещ ресурс да се инициира от мобилни крайни приложения при наличие на среда с множество технологии за радиодостъп. Представен е метод за проектиране на RESTful услуга за управление на междусистемния хендовър, включващ типични случаи на използване, модел на данни и приложни програмни интерфейси. Предложени и формално проверени са модели, представящи състоянието на хендовъра от гледна точка на външно за мрежата мобилно крайно приложение, обслужващата мрежа и целевата мрежа за достъп.

В авторски публикации [A8] и [A9] е предложен метод за дефиниране на мобилна крайна услуга за разтоварване на трафика в клетъчна мрежа към *Wireless Local Area Network (WLAN)*, която позволява на приложенията, изпълняващи се в края на мрежата, да управляват разтоварването на мобилни данни, т.е. да задействат използването на

WLAN технологията за предаване на данни, които първоначално са били насочени към клетъчната мрежа. С предложението метод се дава възможност на мобилно крайно приложение да инициира разтоварване към WLAN въз основа на конкретна политика, дефинирана от приложението. Например, приложението може да задейства разтоварването на WLAN в случай на претоварване на мрежата за радиодостъп или на базата на местоположението на потребителя. Друга причина може да бъде качеството на обслужване (*QoS*), предоставено на потребителя или изискваните скорости на данни в права и обратна посока.



Фигура 4.1 Мобилно крайно приложение иницира разтоварване от 3GPP достъп към надеждна WLAN

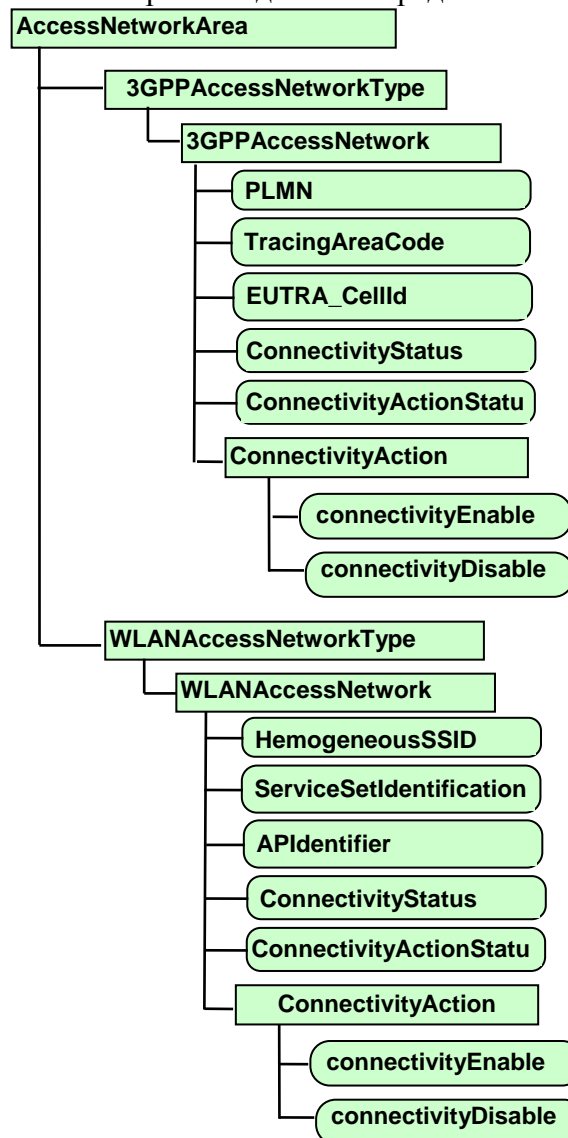
Мобилността (междусистемният хендовър) е механизъм за превключване между 3GPP мрежи (например *LTE - Long Term Evolution*) и не-3GPP мрежи (напр. WLAN). Има два метода за мобилност: иницирана от мрежата и иницирана от UE. Предложението метод за разтоварване към WLAN се основава на мобилност, иницирана от мрежата. Целта на разтоварването към WLAN е да осигури



безпроблемна непрекъснатост на услугите (загуба на данни и време за прекъсване) между технологиите за достъп.

Фигура 4.1 показва цялостната процедура за случай, при който UE започва комуникация в LTE и мобилно крайно приложение инициира превключване към WLAN.

Моделът на данни за предлаганата мобилна крайна услуга представя ресурсите като дървовидна структура (фиг.4.2). Ресурсът за *AccessNetworkArea* съдържа един или повече типове мрежи за достъп, налични за UE. За целите на взаимодействието между мрежите за достъп на 3GPP и мрежите за достъп на WLAN се приема, че наличните типове мрежи за достъп са представени от ресурси на *3GPPAccessNetworkType* и *WLANAccessNetworkType*. Всеки от ресурсите *3GPPAccessNetworkType* и *WLANAccessNetworkType* действа като контейнер на една или повече мрежи за достъп от съответния тип. Всяка налична мрежа за достъп е представена от ресурс.



Фигура 4.2 Ресурси, представляващи областта на мрежи за достъп

Общите атрибути за всички мрежи за достъп са *ConnectivityStatus* и *ConnectivityActionStatus*. Атрибутът *ConnectivityStatus* показва състоянието на свързване на UE по отношение на конкретната мрежа за достъп (свързано/несвързано). Атрибутите *ConnectivityActionStatus* показват състоянието на действието за свързване

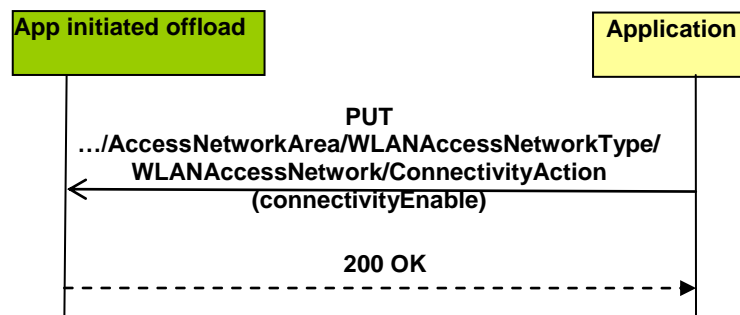
(включително индикатор за прогрес, крайно състояние и напомняне за исканото действие). Ресурсът *ConnectivityAction* съдържа подресурси, показващи действието на хендовъра, което позволява и забранява връзката. Атрибутът *connectivityEnable* инициира хендовър към целевата мрежа за достъп, а атрибутът *connectivityDisable* инициира освобождаването на радиоресурсите в старата мрежа за достъп. Изпълнението на действие се задейства с операция UPDATE върху съответния тип действие.

Таблица 4.1 предоставя общ преглед на дефинираните ресурси и приложими HTTP методи.

**Таблица 4.1 Ресурси и приложими HTTP методи**

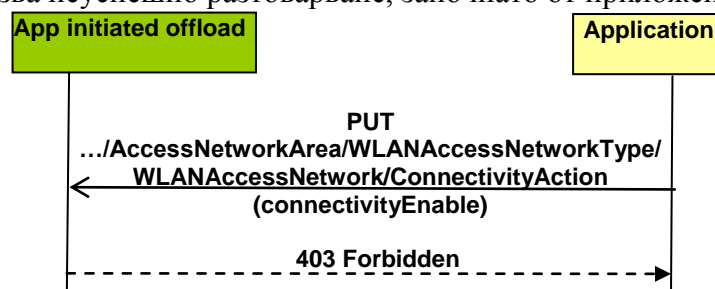
Име на ресурс	URI на ресурс	HTTP метод
AccessNetworkArea	/AccessNetworkArea	GET
3GPPAccess NetworkType	/AccessNetworkArea/3GPPAccessNetworkType	GET
3GPPAccess Network	/AccessNetworkArea/3GPPAccessNetworkType/ 3GPPAccessNetwork	POST, GET, PUT, DELETE
WLANAccess NetworkType	/AccessNetworkArea/WLAN AccessNetworkType	GET
WLANAccess Network	/AccessNetworkArea/WLAN AccessNetworkType/ 3GPPAccessNetwork	POST, GET, PUT, DELETE
Connectivity Action	/AccessNetworkArea/{AccessNetworkType}/ {AccessNetwork}/ConnectivityAction	GET, PUT

Фигура 4.3 показва успешно разтоварване, иницирано от приложението.



**Фигура 4.3 Успешно разтоварване към WLAN от приложението**

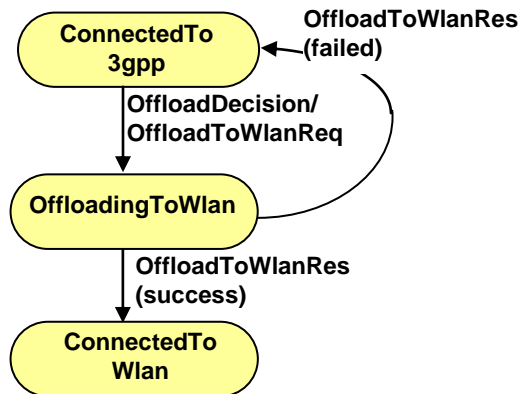
Фигура 4.4 показва неуспешно разтоварване, започнато от приложението.



**Фигура 4.4 Неуспешно стартиране на разтоварване към WLAN**

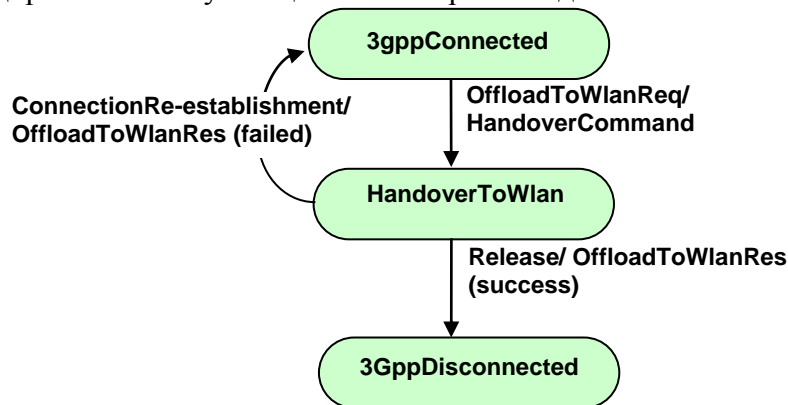
Като доказателство за реализуемост на метода за отворен достъп до управление на междусистемния хендовър са проектирани модели на състоянието на междусистемния хендовър, представящи виждането на мобилно крайно приложение, обслужващата 3GPP мрежа за достъп и целевата WLAN мрежа за достъп. Тези модели за дадено UE трябва да бъдат синхронизирани, т.е. да имат еквивалентно поведение. На фиг.4.5 е

показан моделът на състоянието на разтоварване, поддържан от мобилно крайно приложение.



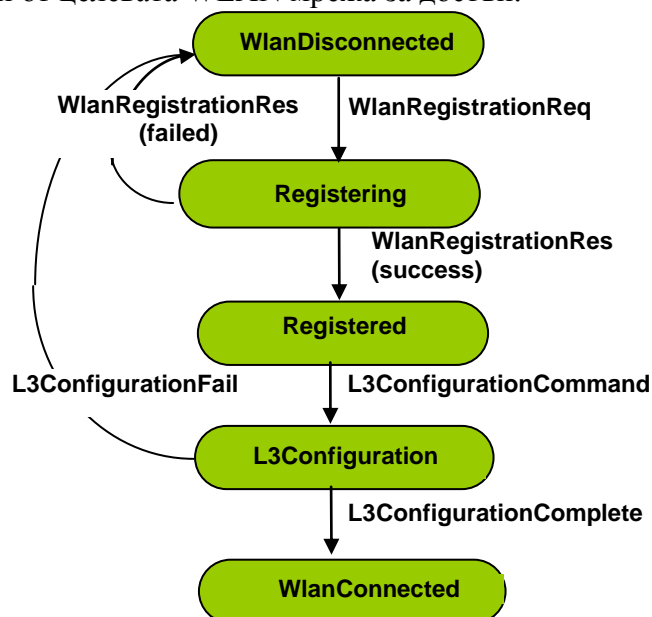
**Фигура 4.5** Модел на състоянието на разтоварване, поддържан от мобилно крайно приложение

На фиг.4.6 е показан моделът на състоянието на процедурата за междусистемен хендовър, поддържан от обслужващата 3GPP мрежа за достъп.



**Фигура 4.6** Модел на състоянието на междусистемен хендовър, поддържан от обслужващата 3GPP мрежа за достъп

Фигура 4.7 показва модела на състоянието на процедурата за междусистемен хендовър, поддържан от целевата WLAN мрежа за достъп.



**Фигура 4.7** Модел на състоянието на междусистемен хендовър, поддържан от целевата WLAN мрежа за достъп

Посредством  $T_{App} = (S_{App}, Act_{App}, \rightarrow_{App}, s_0^{App})$  се означава LTS, представяща модела на състоянието на разтоварване, поддържан от приложението, където:

$$S_{App} = \{ConnectedTo3gpp [s_1^A], OffloadingToWlan [s_2^A], ConnectedToWlan [s_3^A]\};$$

$$Act_{App} = \{OffloadDecision [t_1^A], OffloadToWlanRes(success) [t_2^A], \\ OffloadToWlanRes(failed) [t_3^A]\};$$

$$\rightarrow_{App} = \{(s_1^A t_2^A s_2^A), (s_2^A t_3^A s_1^A), (s_2^A t_2^A s_3^A)\};$$

$$s_0^{App} = \{s_1^A\}.$$

Посредством  $T_{3GPP} = (S_{3GPP}, Act_{3GPP}, \rightarrow_{3GPP}, s_0^{3GPP})$  се означава LTS, представяща модела на състоянието на междусистемен хендовър, поддържан от обслужващата 3GPP мрежа за достъп, където:

$$S_{3GPP} = \{3gppConnected [s_1^O], HandoverToWlan [s_2^O], 3gppDisconnected [s_3^O]\};$$

$$Act_{3GPP} = \{OffloadToWlanReq [t_1^O], Release [t_2^O], ConnectionRe-establishment [t_3^O]\};$$

$$\rightarrow_{3GPP} = \{(s_1^O t_1^O s_2^O), (s_2^O t_3^O s_1^O), (s_2^O t_2^O s_3^O)\};$$

$$s_0^{3GPP} = \{s_1^O\}.$$

Посредством  $T_{WLAN} = (S_{WLAN}, Act_{WLAN}, \rightarrow_{WLAN}, s_0^{WLAN})$  се означава LTS, представяща модела на състоянието на междусистемен хендовър, поддържан от целевата WLAN мрежа за достъп, където:

$$S_{WLAN} = \{WlanDisconnected [s_1^N], Registering [s_2^N], Registered [s_3^N], \\ L3Configuration [s_4^N], WlanConnected [s_5^N]\};$$

$$Act_{WLAN} = \{WlanRegistrationReq [t_1^N], WlanRegistrationRes(success) [t_2^N], \\ WlanRegistrationRes(failed) [t_3^N], L3ConfigurationCommand [t_4^N], \\ L3ConfigurationComplete [t_5^N], L3ConfigurationFail [t_6^N]\};$$

$$\rightarrow_{WLAN} = \{(s_1^N t_1^N s_2^N), (s_2^N t_3^N s_1^N), (s_2^N t_2^N s_3^N), (s_3^N t_4^N s_4^N), (s_4^N t_6^N s_1^N), (s_4^N t_5^N s_5^N)\};$$

$$s_0^{WLAN} = \{s_1^N\}.$$

$$s_0^{WLAN} = \{s_1^N\}.$$

**Твърдение 4.1:** Системите  $T_{App}$ ,  $T_{3GPP}$  и  $T_{WLAN}$  са във връзка на слаба бисимулация.

**Доказателство 4.1:** За да се докаже връзката на слаба бисимулация между всяка от системите, трябва да се докаже, че съществува бисимулационна връзка между техните състояния. Посредством  $U_{AON}$  се означава релация на състоянията на  $T_{App}$ ,  $T_{3GPP}$  и  $T_{WLAN}$ , където:

$$U_{AON} = \{(ConnectedTo3gpp, 3gppConnected, WlanDisconnected), \\ (OffloadingToWlan, HandoverToWlan, Registering), \\ (ConnectedToWlan, 3gppDisconnected, WlanConnected)\}.$$

Необходимо е да се идентифицират последователностите на прехода за следните състояния: от  $s_1^A, s_1^O, s_1^N$  към  $s_2^A, s_2^O, s_2^N$ ; от  $s_2^A, s_2^O, s_2^N$  към  $s_3^A, s_3^O, s_5^N$ ; и от  $s_2^A, s_2^O, s_2^N$  към  $s_1^A, s_1^O, s_1^N$ .

Тогава съществува следната  $U_{AON}$  релация за събитията, свързани с разтоварването към WLAN:

1. В случай на инициране от мобилно крайно приложение разтоварване към WLAN: за  $(s_1^A t_1^A s_2^A) \exists (s_1^O t_1^O s_2^O) \sqcap (s_1^N t_1^N s_2^N)$ .
2. В случай на успешно разтоварване към WLAN, иницирано от мобилно крайно приложение: за  $(s_2^A t_2^A s_3^A) \exists (s_2^O t_2^O s_3^O) \sqcap \{(s_3^N t_4^N s_4^N), (s_4^N t_5^N s_5^N)\}$ .

3. В случай на неуспешно разтоварване към WLAN, иницирано от мобилно крайно приложение: за  $(s_2^A t_3^A s_1^A) \exists (s_2^O t_3^O s_1^O) \cap \{(s_2^N t_3^N s_1^N) \sqcup (s_2^N t_2^N s_3^N), (s_3^N t_4^N s_4^N), (s_4^N t_6^N s_1^N)\}$ .

Следователно  $T_{App}$ ,  $T_{3GPP}$  и  $T_{WLAN}$  са във връзка на слаба бисимулация. ■

Ползата за внедряването на функцията за инициране на междусистемен хендвър като мобилна крайна услуга е по-навременна реакция на динамичните промени в условията на радиомрежата. Делегирането на логическото решение за разтоварване към WLAN на приложение на трета страна позволява създаване и разгръщане на атрактивни приложения, които прилагат различни политики за разтоварване.

В авторски публикации [A10] и [A11] е предложен метод за дефиниране на мобилна крайна услуга *управление на междусистемния хендвър*. Междусистемният хендвър, инициран от мобилно крайно приложение, може да бъде насочен към по-добро използване на наличните мрежови ресурси. Реалните скорости на данни за мултимедийна сесия зависят от това, колко близо или колко далеч е потребителят от базовата станция. В случай, че е налице алтернативно покритие, например за HRPD (*High Rate Packet Data*), текущата мултимедийна сесия на приложението, което изисква голяма широчина на честотната лента, може да се превключи към HRPD базовата станция, която осигурява по-високи скорости на данните на това място.

Предложената мобилна крайна услуга предоставя функционалност за управление на вертикалния хендвър. Тя може да се използва от упълномощени мобилни крайни приложения за: 1) получаване на информация за възможностите на UE и 2) инициране на хендвър между отделните системи, в съответствие със специфичната за приложението политика.

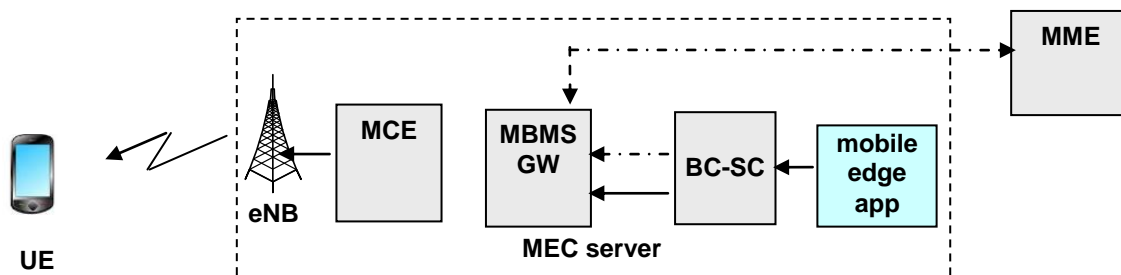
Разгръщането на RESTful API за разтоварване към WLAN и управление на междусистемен хендвър дава възможност за създаване на приложения, насочени към ефективно използване на ограничените радиоресурси и оптимизиране на управлението на радиоресурсите. За разработващите приложения от трета страна това е възможност за създаване на нови атрактивни приложения, а за мрежовите оператори това е нов източник на генериране на приходи поради намаляването на разходите за доставка на данни.

### **Пета глава. Изследване на услуги, свързани с контекста на потребителя, в мрежата за радиодостъп**

В пета глава са изследвани мобилни крайни услуги, които осигуряват достъп до информация за контекста на даден потребител (например местоположението му и информация за радиомрежата, която го обслужва) и му предоставят контекстно-обвързана информация. Представени са методи за разгръщане в мрежата за достъп на мобилната крайна услуга, осигуряваща достъп до информация за местоположението и информация за радиомрежата. Дефинирана е нова мобилна крайна услуга, която осигурява отворен достъп до функции за излъчване на мултимедийна информация.

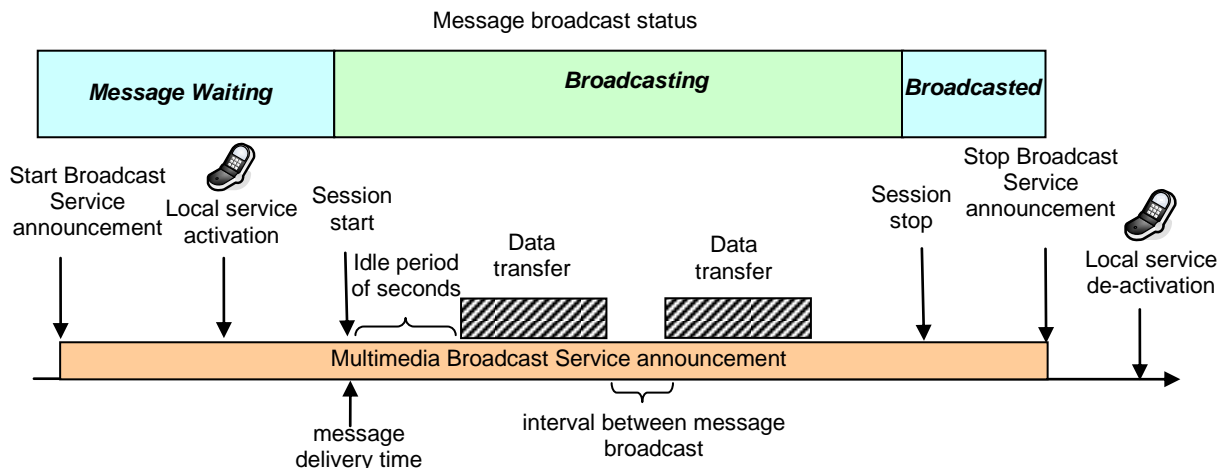
В авторска публикация [A12] е изследван метод за разгръщане на *Location API* в мрежата за радиодостъп. В авторска публикация [A13] е разработен метод за дефиниране на RESTful интерфейси за достъп до функции за управление на излъчване на мултимедийно съдържание. В авторска публикация [A14] е изследван метод за разгръщане на RNIS API (*Radio Network Information Service*) в мрежата за радиодостъп.

В мобилна мрежа излъчването на мултимедийни съобщения се осъществява от услугата *Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS)*. Архитектурата за разгръщане на услугата за мултимедийно излъчване в среда на мобилни крайни изчисления е показана на фиг.5.8.



**Фигура 5.8 Архитектура за разгръщане на услуга за мултимедийно излъчване в среда на мобилни крайни изчисления**

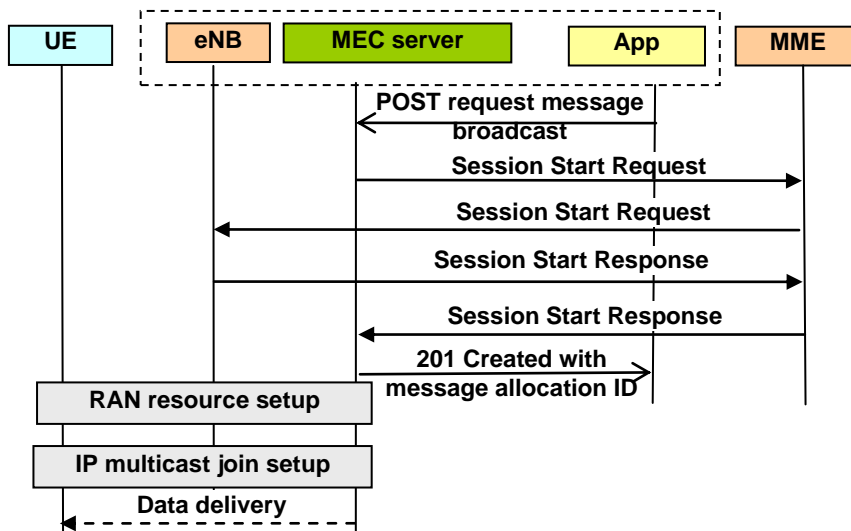
Предложената мобилна крайна услуга за излъчване на съобщения *Message Broadcast Service (MBS)* позволява на приложенията да изпращат съобщения в определена географска област. Услугата осигурява механизъм за наблюдение на състоянието на радиоразпръскване и също така механизъм за асинхронно известяване състоянието на радиоразпръскване. С помощта на MBS API мобилно крайно приложение може да управлява абонамента си за уведомяване състоянието на радиоразпръскване. Фигура 5.9 илюстрира времевата линия на излъчване на съобщения и статуса на излъчване на съобщенията.



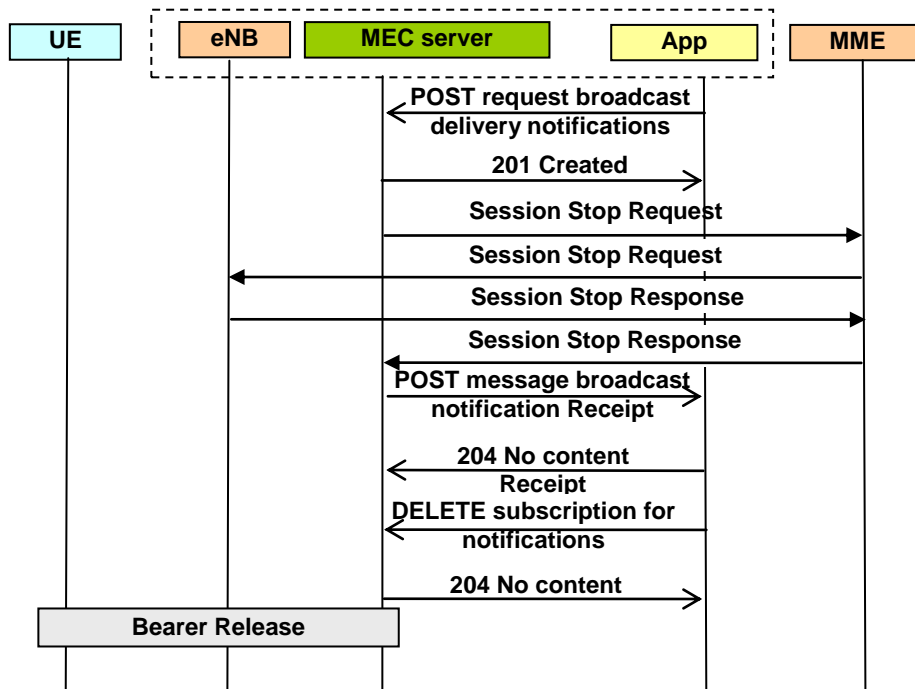
**Фигура 5.9 Времева линия и статус на излъчване на съобщения**

Етапите на предоставяне на радиоразпръскване включват: обявяване на услугата, начало на сесията, известие за излъчване, предаване на данни и спиране на сесията. Обявяването на услугата информира UE за предстоящото излъчване на съобщения. Началото на сесията е точката, в която MCE сървърът е готов да изпрати данни. Началото на сесията е задействането на изграждане на носещи ресурси за предаване на данни. Етапът за предаване на данни е, когато данните се предават към UE. Спирането на сесията е точката, в която услуга за разпръскване установи, че няма да има повече данни, които да се изпращат, и носещите ресурси се освобождават.

Фигура 5.10 показва потока за излъчено съобщение, изпратено чрез мобилно крайно приложение. Фигура 5.11 показва сценарий, при който мобилното крайно приложение се регистрира, за да получава известия за състоянието на доставка на излъчване и получава известие за спиране на сесията.

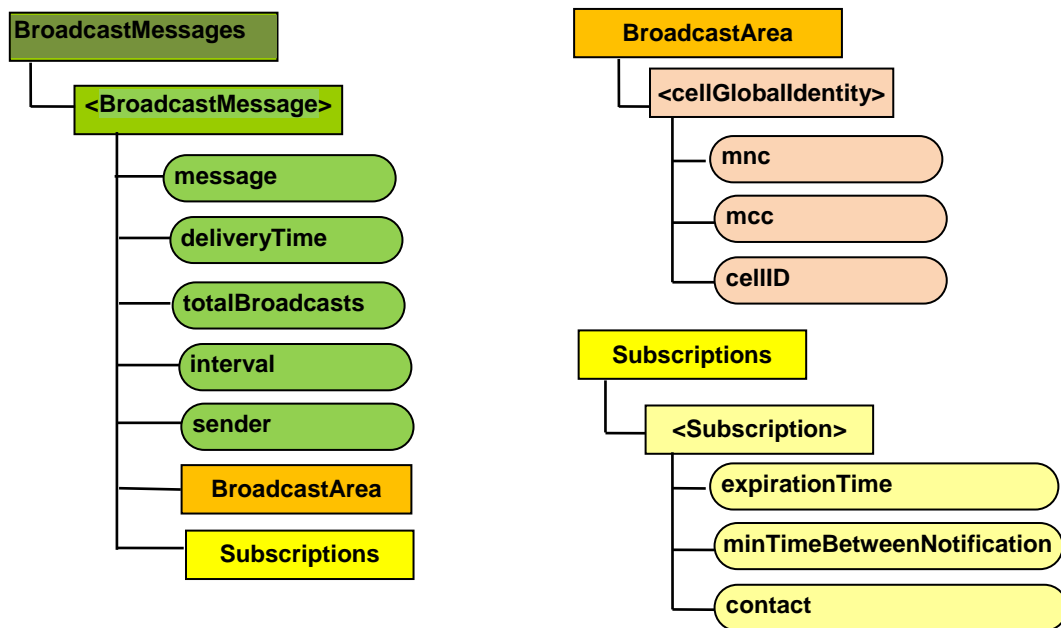


Фигура 5.10 Излъчване на съобщения, иницирано от мобилно крайно приложение



Фигура 5.11 Комуникация при управление на абонаментите и уведомяване за състоянието на предаването на съобщения

Структурите на данни, използвани при представянето на ресурсите, са показани на фиг.5.12.



Фигура 5.12 Структури на ресурси

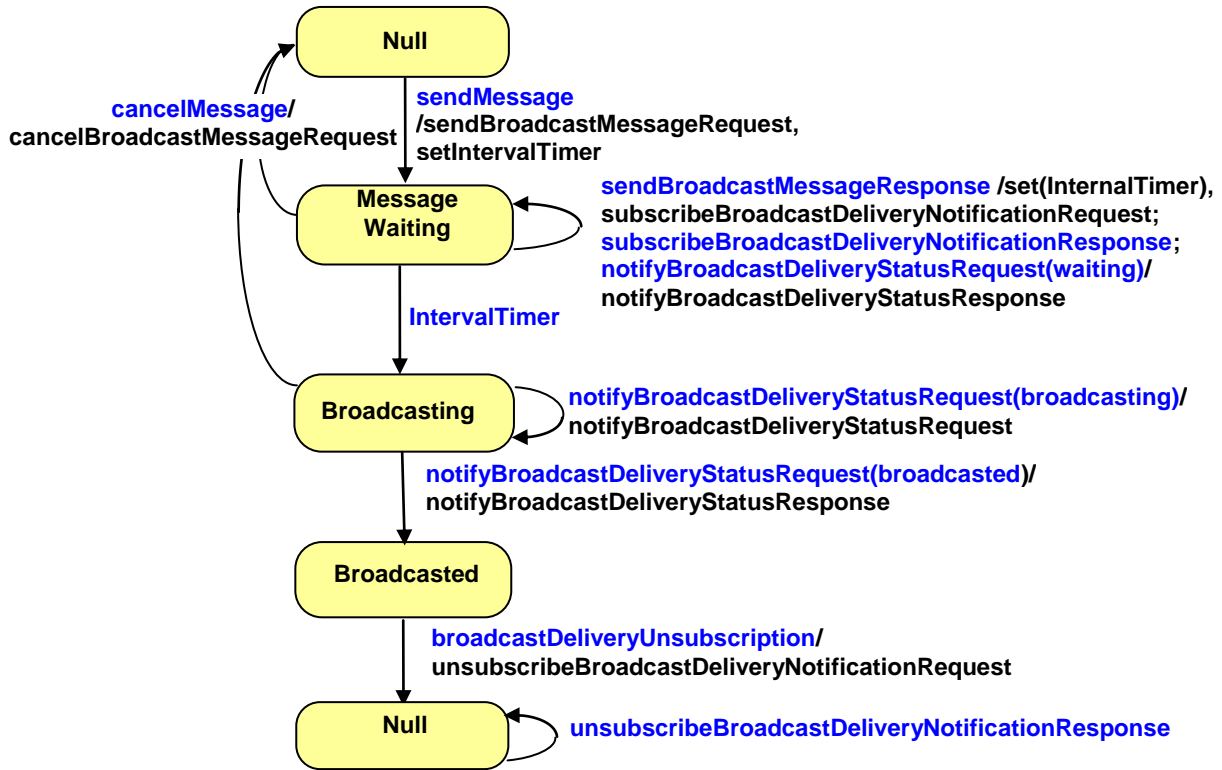
Ресурсът на *BroadcastMessages* е контейнер за един или повече ресурси *<BroadcastMessage>*. Ресурсът *<BroadcastMessage>* представлява съобщението, което ще бъде излъчено. Атрибутът *message* е съдържанието, което ще бъде излъчено. Атрибутът *deliveryTime* определя времето за инициране на излъчване на съобщения в мрежата. Атрибутът *totalBroadcasts* е общият брой излъчвания. Атрибутът *interval* определя времевата разлика между последователните излъчвания. Атрибутът *sender* идентифицира изпращащия съобщението. Ресурсът на *BroadcastArea* е контейнер за един или повече ресурси *<cellGlobalIdentity>*, който от своя страна представлява клетка в района на излъчване и е описан с *mobile network code (mnc)*, *mobile country code (mcc)* и идентификация на клетката (*cellID*). Ресурсът *Subscriptions* съдържа активни абонаменти за състоянието на предаване на съобщения. Ресурсът *<Subscription>* има атрибути, които определят времето за изтичане на абонамента (*expirationTime*), минималното време между известията (*minTimeBetweenNotifications*) и URI, където абонатът желае да получи своите уведомления (*contact*). Таблица 5.1 показва ресурсите и поддържаните методи.

Таблица 5.1 Ресурси и поддържани методи

Име на ресурс	URI на ресурс	HTTP метод
Broadcast Messages	/BroadcastMessages	GET
Broadcast Message	/BroadcastMessages/BroadcastMessage	POST, GET, DELETE
Broadcast Area	/BroadcastMessages/BroadcastMessage/BroadcastArea	GET
cellGlobalIdentity	/BroadcastMessages/BroadcastMessage/BroadcastArea/cellGlobalIdentity	POST, GET, DELETE
Subscriptions	/BroadcastMessages/BroadcastMessage/Subscriptions	GET
Subscription	/BroadcastMessages/BroadcastMessage/Subscriptions/Subscription	POST, GET, DELETE

Като доказателство за концепцията са проектирани модели, представящи статуса на предаване на съобщения, както се вижда от мобилно крайно приложение и MEC сървър. Моделите трябва да бъдат синхронизирани, т.е. да излагат еквивалентно поведение. Фигура 5.15 показва виждането на приложението за състоянието на излъчване на съобщения.





Фигура 5.13 Статус на излъчване, както се вижда от приложението

Посредством  $T_{App} = (S_{App}, Act_{App}, \rightarrow_{App}, s_0^{App})$  се означава LTS, представяща модела на състоянието на излъчване, поддържан от мобилно крайно приложение, където:

$$S_{App} = \{Null [s_1^A], MessageWaiting [s_2^A], Broadcasting [s_3^A], Broadcasted [s_4^A]\};$$

$$Act_{App} = \{sendMessage [t_1^A], sendBroadcastMessageResponse [t_2^A], cancelMessage [t_3^A], \\ subscribeBroadcastDeliveryNotificationResponse [t_4^A], \\ notifyBroadcastDeliveryStatusRequest(waiting) [t_5^A], intervalTimer [t_6^A], \\ notifyBroadcastDeliveryStatusRequest(broadcasting) [t_7^A], \\ notifyBroadcastDeliveryStatusRequest(broadcasted) [t_8^A], \\ broadcastDeliveryUnsubscription [t_9^A], \\ unsubscribeBroadcastDeliveryNotificationResponse [t_{10}^A]\};$$

$$\rightarrow_{App} = \{(s_1^A t_1^A s_2^A), (s_2^A t_2^A s_2^A), (s_2^A t_4^A s_2^A), (s_2^A t_5^A s_2^A), (s_2^A t_3^A s_1^A), (s_2^A t_6^A s_3^A), (s_3^A t_7^A s_3^A), \\ (s_3^A t_8^A s_1^A), (s_3^A t_8^A s_4^A), (s_4^A t_9^A s_1^A), (s_1^A t_{10}^A s_1^A)\}$$

$$s_0^{App} = \{s_1^A\}.$$

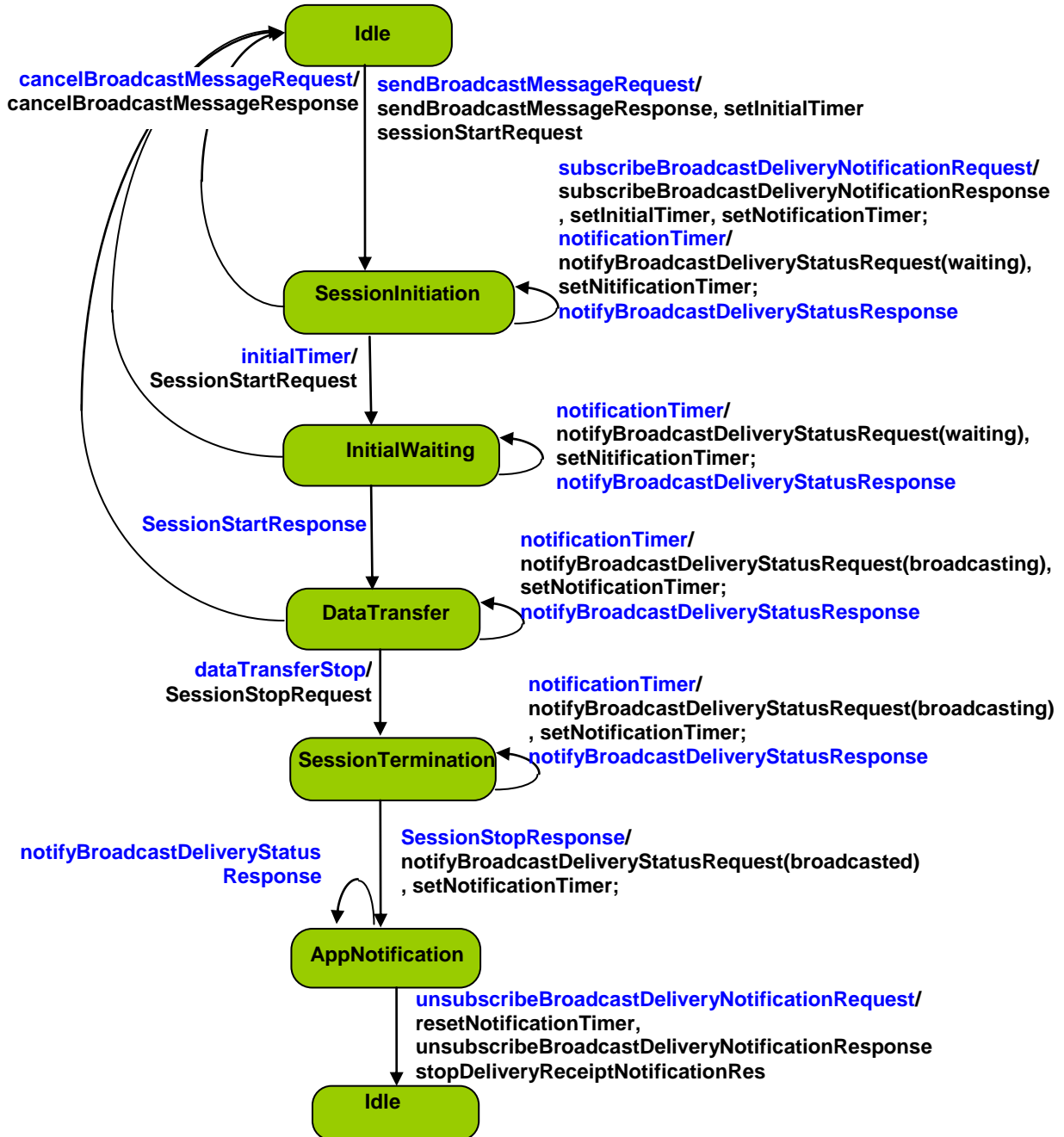
Фигура 5.14 илюстрира състоянието на излъчване на съобщения, което се поддържа от MEC сървъра.

Посредством  $T_{MEC} = (S_{MEC}, Act_{MEC}, \rightarrow_{MEC}, s_0^{MEC})$  се означава LTS, представяща модела на състоянието на излъчване, поддържан от MEC сървъра, където:

$$S_{MEC} = \{Idle [s_1^M], SessionInitiation [s_2^M], InitialWaiting [s_3^M], DataTransfer [s_4^M], \\ SessionTermination [s_5^M], AppNotification [s_6^M]\};$$

$$Act_{MEC} = \{sendBroadcastMessageRequest [t_1^M], \\ subscribeBroadcastDeliveryNotificationRequest [t_2^M], notificationTimer [t_3^M],$$

*notifyBroadcastDeliveryStatusResponse* [ $t_4^M$  ], *cancelBroadcastMessageRequest* [ $t_5^M$  ],  
*initialTimer* [ $t_6^M$  ], *SessionStartResponse* [ $t_7^M$  ], *dataTransferStop* [ $t_8^M$  ],  
*SessionStopResponse* [ $t_9^M$  ],  
*notifyBroadcastDeliveryStatusResponse* (broadcasted) [ $t_{10}^M$  ],  
*unsubscribeBroadcastDeliveryNotificationRequest* [ $t_{11}^M$  ]};



Фигура 5.14 Статус на излъчване, както се вижда от MEC сървъра

$$\rightarrow_{MEC} = \{ (s_1^M t_1^M s_2^M), (s_2^M t_2^M s_2^M), (s_2^M t_3^M s_2^M), (s_2^M t_4^M s_2^M), (s_2^M t_5^M s_1^M), (s_2^M t_6^M s_3^M), \\
 (s_3^M t_3^M s_3^M), (s_3^M t_4^M s_3^M), (s_3^M t_5^M s_1^M), (s_3^M t_7^M s_4^M), (s_4^M t_3^M s_4^M), (s_4^M t_4^M s_4^M), \\
 (s_4^M t_8^M s_5^M), (s_4^M t_5^M s_1^M), (s_5^M t_3^M s_5^M), (s_5^M t_4^M s_5^M), (s_5^M t_9^M s_6^M), (s_6^M t_{10}^M s_6^M), \\
 (s_6^M t_{11}^M s_1^M) \};$$

$$s_0^{MEC} = \{s_1^M\}.$$

И двата модела трябва да бъдат синхронизирани, т.е. те трябва да излагат еквивалентно поведение.

**Твърдение 5.2:**  $T_{App}$  и  $T_{MEC}$  са в релация на слаба бисимулация.

**Доказателство 5.2:** Посредством  $U_{AppMEC}$  се означава релация между състоянията на  $T_{App}$  и  $T_{MEC}$ , където  $U_{AppMEC} = \{(Null, Idle), (MessageWaiting, SessionInitiation), (Broadcasting, DataTransfer), (Broadcasted, AppNotification)\}$ , тогава:

1. Мобилното крайно приложение изпраща съобщение за излъчване и предстоящата излъчвана сесия е обявена: за  $(s_1^A t_1^A s_2^A) \exists (s_1^M t_1^M s_2^M)$ .
2. По време на обявяване на сесията за излъчване, приложението се абонира за получаване на известия за статуса на излъчването: за  $(s_2^A t_2^A s_2^A), (s_2^A t_4^A s_2^A) \exists (s_2^M t_2^M s_2^M)$ .
3. По време на обявяване на сесията за излъчване, приложението се известява за статуса на излъчването: за  $(s_2^A t_5^A s_2^A) \exists (s_2^M t_3^M s_2^M), (s_2^M t_4^M s_2^M)$ .
4. По време на обявяване на сесията за излъчване, приложението прекратява излъчването на съобщения: за  $(s_2^A t_3^A s_1^A) \exists (s_2^M t_5^M s_1^M)$ .
5. Началният таймер преди излъчването на съобщението изтича, MBMS сесията се стартира успешно и предаването на данни започва: за  $(s_2^A t_6^A s_3^A) \exists (s_2^M t_6^M s_3^M), (s_3^M t_3^M s_3^M), (s_3^M t_4^M s_3^M), (s_3^M t_7^M s_4^M)$ .
6. По време на изграждане на сесията мобилното крайно приложение отменя излъчването на съобщения: за  $(s_2^A t_3^A s_1^A) \exists (s_2^M t_6^M s_3^M), (s_3^M t_5^M s_1^M)$ .
7. По време на излъчване мобилното крайно приложение се известява за статуса на излъчването на съобщения: за  $(s_3^A t_7^A s_3^A) \exists (s_4^M t_3^M s_4^M), (s_4^M t_4^M s_4^M)$ .
8. По време на излъчване мобилното крайно приложение прекратява излъчването на съобщения: за  $(s_2^A t_3^A s_1^A) \exists (s_4^M t_5^M s_1^M)$ .
9. Съобщението е излъчено, MBMS сесията завършва и приложението се уведомява: за  $(s_3^A t_8^A s_4^A) \exists (s_4^M t_8^M s_5^M), (s_5^M t_3^M s_5^M), (s_5^M t_4^M s_5^M), (s_5^M t_9^M s_6^M), (s_6^M t_{10}^M s_6^M)$ .
10. Приложението спира известяването: за  $(s_4^A t_9^A s_1^A), (s_1^A t_{10}^A s_1^A) \exists (s_6^M t_{11}^M s_1^M)$ .

Следователно  $T_{App}$  и  $T_{MEC}$  са в релация на слаба бисимулация. ■

Предложената нова мобилна крайна услуга осигурява възможност на приложенията да изпращат съдържание в мрежата, което се разпространява към заинтересовани крайни потребители, и да следят състоянието на излъчване на съдържанието.

Изследванията в авторска публикация [A14] акцентират върху аспекти на реализацията на RNIS за изменения в клетката.

### Заклучение и основни приноси

Изчисленията в края на мобилната мрежа са признати като една от ключовите архитектурни и технологични концепции, позволяващи развитието на IoT и хоризонталните решения. Концепцията за MEC е представена от ETSI като технология, която предоставя IT-среда и възможностите на облачните изчисления на ръба на мобилната мрежа, в самата мрежа за радиодостъп и в непосредствена близост до крайните мобилни устройства. ETSI стандартизира архитектурата MEC, която се счита за основен компонент в изграждането на бъдещите поколения мрежи и дефинира мобилни крайни услуги, които могат да се разгърнат в среда на MEC.

В дисертационния труд са изследвани аспекти на разгръщането на стандартизирани мобилни крайни услуги в мрежата за радиодостъп, предложено е разширение на тези услуги, които са насочени към увеличаване на потенциала на изчисленията в края на мобилната мрежа за подобряване на работоспособността на мрежата и качеството на възприятие на крайния потребител. Разработени са методи за дефиниране на нови мобилни крайни услуги, които се възползват от възможностите за изчисления и съхранение в края на мрежата на оператора. Това са услуги, от които обикновено крайните потребители не могат да се възползват директно, но могат да се експлоатират съвместно с компании от трета страна.

Основните приноси в дисертационния труд имат научноприложен характер и може да се обобщят по следния начин:

- Разработени са метод за разгръщане на мобилните крайни услуги за: мениджмънт на широчината на честотната лента, достъп до информация за местоположението и достъп до информация за мрежата за радиодостъп. Методите включват: функционално проектиране на приложните програмни интерфейси на услугите върху процедурите на управляващите протоколи между мрежата за достъп и опорната мрежа, свързани с мениджмънт на носещите ресурси, позициониране и мениджмънт на хендовъра; и модели на състоянията на ресурсите от гледна точка на мрежата и на мобилно крайно приложение;
- Разработен е метод за дефиниране на разширение на мобилната крайна услуга за мениджмънт на широчината на честотната лента в мрежата за радиодостъп. Разширението предоставя възможност на мобилни крайни приложения да наблюдават и управляват процедурите за мениджмънт на носещите ресурси, заделени за сесиите на даден потребител. Методът включва описание на услугата с типични случаи на използване, моделиране на данни, дефиниране на интерфейси и моделиране на състоянието на носещите ресурси;
- Разработен е метод за отворен достъп до функции за определяне на близост и инициране на директни комуникации между устройства, който се базира на архитектурния стил REST. Методът включва описание на функциите с типични случаи на използване, моделиране на данни, дефиниране на интерфейси и моделиране на състоянието на ресурсите;
- Разработен е метод за отворен достъп до функции, свързани с управление на междусистемния хендовър. Методът включва проектиране на мобилни крайни услуги, които са описани с типични случаи на използване, RESTful интерфейси, модели на данни и модели на състоянието на хендовъра от гледна точка на мобилно крайно приложение, обслужващата и целевата мрежа за достъп;
- Разработен е метод за дефиниране на нова мобилна крайна услуга, която осигурява възможност на приложенията да излъчват мултимедийно съдържание в мрежата и да следят състоянието на излъчването на съдържанието. Методът включва описание на функционалността на услугата с типични случаи на използване, моделиране на структури ресурси, дефиниране на интерфейси за манипулиране на ресурсите и моделиране на състоянието на излъчване на мултимедийно съобщение.

Изследванията, представени в дисертационния труд, могат да разширят приложимостта на MEC технологията и да направят средата за изчисления в края на мрежата по-атрактивна за разработващите приложения от трета страна.

### Авторски публикации, свързани с изследванията в дисертационния труд

- [A1] Деница Кирева. “Преглед на облачни технологии в мобилни мрежи”, Годишник на ТУ-София, приета за публикуване, януари 2018.
- [A2] Деница Кирева. “Облачни изчисления в мрежата за радиодостъп: характеристики и технологии за реализиране”, Годишник на ТУ-София, приета за публикуване, януари 2018.
- [A3] **Kireva, D.**, E. Pencheva, I. Atanasov, V. Trifonov, “Deployment of Mobile Edge Bandwidth Management Service”, International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, ICEST, 2018, Sozopol, Bulgaria, pp. 154-157
- [A4] Pencheva, E., **D. Kireva**, I. Atanasov, V. Trifonov, “An Extension of Mobile Edge Computing Bandwidth Management API”, International Symposium on Networks, Computers and Communications, ISNCC, 2018, Rome, Italy, pp.1-6, **Indexed in SCOPUS**
- [A5] Pencheva, E., I. Atanasov, **D. Kireva**, V. Trifonov, “Enhanced Mobile Edge Bandwidth Management Service”, 18<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth and Planetary Sciences SGEM 2018, Albena, Bulgaria, vol.18, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, pp.333-344, **SCOPUS SJR: 0.211**
- [A6] Pencheva, E., **D. Kireva**, I. Atanasov, V. Trifonov. “An Approach to Provide Open Access to Proximity-Based Service”, International Journal on Information Technologies and Security, No.1, vol.10, 2018, pp.13-24, **Indexed in Web of Science**
- [A7] Pencheva, E., **D. Kireva**, I. Atanasov, V. Trifonov, “RESTful Interfaces for Application Initiated D2D Communications”, Tenth International Conference on Ubiquitous Future Networks ICUFN, Prague, Czech Republic, **SCOPUS SJR: 0.155**
- [A8] Pencheva, E., **D. Kireva**, I. Atanasov, “Multi-access Edge Service for Application-initiated Offload”, Journal Electrotechnica&Electronica, vol.53, No.1-2, 2018, pp.35-41
- [A9] Pencheva, E., I. Atanasov, **D. Kireva**, V. Trifonov, “Third Party Initiated WLAN Offloading”, IEEE IX National conference with international participation Electronica, 2018, Sofia, Bulgaria, pp.1-4, **Indexed in SCOPUS**
- [A10] Pencheva, E., I. Atanasov, **D. Kireva**, V. Trifonov, “Mobile Edge Service for Intersystem Handover”, International Conference on Communications, Management and Information Technologies ICCMIT 2018, Madrid, Spain, pp.1-18, International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.13), pp.141-148, **SCOPUS SJR: 0.102**
- [A11] Pencheva, E., **D. Kireva**, I. Atanasov, V. Trifonov, “Open Access to Intersystem Handover Control Using Multi-access Edge Computing”, International Symposium on Networks, Computers and Communications, ISNCC, 2018, Rome, Italy, pp.1-6, **Indexed in SCOPUS**.
- [A12] **Kireva, D.**, E. Pencheva, I. Atanasov, V. Trifonov, “Deployment of Mobile Edge Location Service”, International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, ICEST, 2018, Sozopol, Bulgaria, pp. 150-153.
- [A13] Pencheva, E, I. Atanasov, **D. Kireva**, K. Nikolova, “RESTful Interfaces for Multimedia Broadcasting,” 18<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth and Planetary Sciences SGEM 2018, Albena, Bulgaria, vol.18, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, pp.665-676, **SCOPUS SJR: 0.211**
- [A14] **Kireva, D.**, E. Pencheva, I. Atanasov, K. Nikolova, “Deployment of Mobile Edge Radio Network Information Service”, IEEE, IX National conference with international participation Electronica, 2018, Sofia, Bulgaria, pp.1-4, **Indexed in SCOPUS**.

Изследванията, свързани с дисертационния труд, са по научноизследователски проект на тема „Изследване на архитектури, модели и методи за автономен мениджмънт в интернет на бъдещето“, договор ДН 07/10 от 15.12.2016 г., финансиран от ФОНД НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ към МОН, Република България.

## **STUDY OF MODELS AND METHODS FOR OPEN ACCESS TO FUNCTIONS IN THE RADIO ACCESS NETWORK**

### *Abstract*

The requirements for data processing services are increased and they create new challenges for both service providers and mobile network operators with the rapid development of mobile Internet and Internet of Things (IoT) applications. The vision of future 5G systems is to provide personalized and customer-centric services at a reasonable price that allows contextual and customized services, service delivery in densely populated areas and advanced multimedia services. The dissertation explores aspects of the deployment of standardized mobile edge services in the radio access network, and their extensions are proposed, which are aimed at increasing the potential of the mobile edge computing (MEC) to improve the network performance and the quality of experience of the end user. Methods have been developed to define new mobile edge services that take advantage of the computing and storage capabilities at the edge of the operator's network. These are services that end users can usually benefit directly and can be operated with third-party companies. A method for deploying mobile edge services has been developed for: bandwidth management, access to location-based information and access to radio access network information. The methods include: Functional design of the service application programming interfaces over the management protocol procedures between the access network and the core network related to the radio access bearer (RAB) management, positioning and handover management; and state models of the resources from a network and a MEC application view.

A method for defining an enhanced mobile edge bandwidth management service in the radio access network has been developed. The extension introduces the ability of mobile edge applications to monitor and manage the RAB management procedures assigned to user sessions. The method includes a description of the service with typical use cases, data models, interface definition, and RAB state modelling.

A method for open access to proximity-based location functions and direct communication initiation is developed, based on the REST architectural style. The method includes a description of functions with typical use cases, data models, interface definition, and resource state modelling.

A method for open access to functions related to inter-system handover management has been developed. The method includes the development of mobile edge services that are described with typical use cases, RESTful interfaces, data models, and handover state models from a mobile edge application, serving access network and target access network view.

A method for defining a new mobile edge service has been developed to enable applications to broadcast multimedia content on the network and to monitor the content broadcasting status. The method includes a description of service functionality with typical use cases, resource modelling, defining interfaces for resource manipulation, and modelling the broadcasting status of a multimedia message.