РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R BT.1832[[1]](#footnote-1)\*

Сценарии развертывания и соображения относительно планирования наземной системы обратного канала, организованного на основе стандарта цифрового телевизионного радиовещания (DVB-RCT)

(Вопрос МСЭ-R 16/6)

(2007)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации описываются некоторые сценарии развертывания и приводятся соображения в помощь регуляторным органам, которые должны будут выполнять распределение спектра для интерактивных обратных трактов с использованием наземной системы обратного канала, организованного на основе стандарта цифрового телевизионного радиовещания (DVB-RCT).

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

*a)* что DVB-RCT является системой электросвязи, предназначенной для работы совместно с цифровой наземной телевизионной системой радиовещания, DVB-T, с целью обеспечить для нее обратный тракт и возможности интерактивного применения;

*b)* что в Рекомендациях МСЭ-R BT.1306-1 и МСЭ-R BT.1667, наряду с перекрестной ссылкой на Документ ЕТСИ EN 301 958 V.1.1.1 (2002/03), уже определены потенциальные системные характеристики для обратного тракта;

*c)* что обратный тракт может быть факультативно развернут так, как описано в Приложении 1, для обеспечения высокой эффективности спектра и повторного использования спектра;

*d)* что технология множественного доступа с ортогональным частотным разделением (OFDMA) для обратного тракта системы DVB-RCT обладает внутренней гибкостью и масштабируемостью, поскольку она обеспечивает компромисс между пропускной способностью (в расчете на пользователя), емкостью (числом поддерживаемых пользователей), доступными каналами и размером ячейки. Эти свойства достигаются при помощи адаптивной модуляции и кодирования, наряду с концентрацией мощности в присвоениях субтрактов, обуславливающих усиление системы за счет станций пользователей;

*e)* что качество системы DVB-RCT успешно протестировано в условиях эксплуатации на нескольких экспериментальных системах в ряде стран. Эти системы включали различные интерактивные применения, развернутые с целью проверки совместного использования обратного тракта большим числом пользователей;

*f)* что система DVB-RCT способна обеспечить высокую эффективность и большую емкость системы. Она может стать оптимальным решением для развертывания в крупных ячейках в обслуживаемых в недостаточной степени и сельских районах, способствующим таким образом преодолению цифрового разрыва[[2]](#footnote-2),

рекомендует,

**1** чтобы при планирования развертывания системы DVB-RCT учитывались соображения относительно планирования, описанные в Приложении 1;

**2** чтобы данные о качестве системы DVB-RCT и возможные сценарии развертывания могли стать основой для будущих исследований совместной работы без создания помех первичным службам;

**3** чтобы результаты соответствующих измерений, полученные в условиях эксплуатации, использовались для обновления данных о емкости ячейки и при анализе эффективности, как определено в Приложении 1.

Приложение 1  
  
Сценарии развертывания и соображения относительно   
планирования системы DVB-RCT

# 1 Данные системы DVB-RCT

## 1.1 Системные параметры

Основными параметрами системы DVB-RCT, описанными в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ‑R BT.1667, являются:

– частота прямого тракта радиовещания, ОВЧ: 170–230 МГц (174–230 МГц)

УВЧ: 470–860 МГц (470–862 МГц);

– мощность передачи в обратном тракте: 20 дБм (типовая) – 30 дБм (максимальная);

– усиление антенны обратного тракта: 13 дБи (направленное),

усиление антенны пользователя: 3 дБи (ненаправленное);

– чувствительность приемника базовой станции

– фиксированный приемник в сельском районе, разнесение 1 кГц,   
модуляция 4-QAM 1/2: –135 дБм,

– городской район/переносимый приемник, разнесение 4 кГц,   
модуляция 64-QAM 3/4: –109 дБм;

– рабочее значение *C*/*N* для базовой станции

– фиксированный приемник в сельском районе, разнесение 1 кГц,   
модуляция 4-QAM 1/2: 5 дБ,

– городской район/переносимый приемник, разнесение 4 кГц,   
модуляция 64-QAM 3/4: 22 дБ.

На рисунке 1 изображена спектральная маска мощности передачи обратного тракта.

Рисунок 1

Спектральная маска обратного тракта, использующего систему RCT



На рисунке 1 *f*0 обозначает центральную частоту, Δ *f*1 = 0,375/*Ts* и  *f*2 = 1,2515/*Ts*, где Δ *f* = *f – f*0, а Du – дуплексное разнесение, зависящее от выбранного критерия отсутствия помехи и способа фильтрации.

В дальнейшем анализе предполагается, что при более широком частотном дуплексном разнесении мощность может быть уменьшена согласно таблице 1 (исходя из данных измерений, выполненных на блоке коммерческого пользователя):

ТАБЛИЦА 1

Уменьшение спектральной плотности мощности в зависимости от частотного разноса

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Δ*f* | 16 МГц | 24 МГц | 32 МГц | 40 МГц | 48 МГц | 56 МГц |
| Ослабление | 17 дБ | 27 дБ | 37 дБ | 47 дБ | 57 дБ | 62 дБ |

Таким образом, в таблице 2 приводится зависимость общей относительной спектральной плотности помехи, создаваемой системой RCT, от частотного разноса.

ТАБЛИЦА 2

Спектральная плотность помехи, создаваемой системой RCT, *Af* (дБс/кГц)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Δ*f* | < 4 МГц | 8 МГц | 16 МГц | 24 МГц | 32 МГц | 40 МГц | 48 МГц | 56 МГц |
| Переключатель | 0 | –100 | –117 | –127 | –137 | –147 | –157 | –167 |
| Дуплексер FDD | 0 | –137 | –154 | –164 | –174 | –184 | –194 | –204 |

Следует отметить, что спектральная маска тракта RCT была разработана с целью не допустить помех со стороны передачи системы RCT приему системы DVB-T или приему аналогового телевидения (которые могут осуществляться в соседних трактах, не создавая никаких помех в тракте). Имеющиеся серийные дуплексеры обеспечивают развязку порядка 25–30 дБ, таким образом дуплексное разнесение в 24 МГц является приемлемой величиной для телеприставки DVB‑T/RCT. В случае если присвоение осуществлено в соседнем тракте, требуется обеспечить дополнительную развязку, которая в основном достигается за счет использования отдельных антенн или путем внешней установки, как описано в п. 2.2.

# 2 Сценарии развертывания

## 2.1 Конфигурация ячейки

В стандарте DVB-RCT описываются две конфигурации ячеек, которые изображены на рисунке 2, ниже:

– один или более восходящих каналов в одной ячейке (рисунок 2a);

– ячейка, поделенная на сектора (рисунок 2b).

|  |  |
| --- | --- |
| рисунок 2a | Рисунок 2b |
| Одна ячейка | Ячейка, поделенная на сектора |



## 2.2 Развертывание ячеек

Помимо вышеуказанных сценариев в районах с интенсивным трафиком может быть обеспечено покрытие за счет развертывания ячеек, как показано на рисунке 2c, на котором изображена сходная архитектура с развертыванием ячеек многочастотной сети (МЧС) DVB‑T с восходящими каналами RCT и нисходящими каналами. В данном случае передатчики DVB‑T не являются мощными передатчиками, которые обычно используются для радиовещания в стандарте DVB‑T.

Рисунок 2c

Развертывание ячеек



Система RCT на основе физического уровня технологии OFDMA обладает внутренней гибкостью и масштабируемостью, поскольку в ней достигается компромисс между пропускной способностью (в расчете на пользователя), емкостью (числом поддерживаемых пользователей), доступными трактами и размером ячейки. Эти свойства достигаются при помощи адаптивной модуляции и кодирования, присвоений субтрактов и концентрации мощности на стороне пользователя.

|  |  |
| --- | --- |
| В таблице 3 изображен компромисс между присвоением РЧ тракта и отношением сигнала несущей к помехе (*C*/*I*) в ячейках системы RCT. В таблице показана зависимость распределения величины *C*/*I* от | |
| числа частотных трактов, присвоенных системе. Эта зависимость представляет собой результат моделирования с использованием восьми шестиугольных ячеек с типовыми антеннами, размещенными в шести секторах на ячейку. В первом столбце указано число трактов, присвоенных системе; во втором столбце приведены различные диапазоны ожидаемых значений *C*/*I*, а в третьем показана процентная доля площади ячейки с данным значением *C*/*I* для ячеек радиусом 2 км и 6 км. На схемах в крайнем столбце изображены типовые распределения *C*/*I* в данном районе. Различные уровни *C*/*I* по площади ячейки показаны цветом (красным – для низких уровней, лиловым – для высоких уровней). В центре каждой ячейки можно увидеть цветную секторную диаграмму, которая представляет сектора и обозначена цветом в зависимости от частоты, присвоенной каждой антенне в секторе. | **Мин. – –2 дБ**  **–2 дБ – 2 дБ**  **2 дБ – 6 дБ**  **6 дБ – 10 дБ**  **10 дБ – 13 дБ**  **13 дБ – 18 дБ**  **18 дБ – 22 дБ**  **22 дБ – 24 дБ**  **24 дБ – 29 дБ**  **29 дБ – Макс.** |

Путем присвоения достаточного числа субтрактов и с помощью выбора модуляции и уровня кодирования обеспечивается возможность работы системы RCT в широком диапазоне значений *C*/*I*. Высокий уровень *C*/*I* позволяет работать с большой пропускной способностью (при использовании модуляции 64-QAM). При низком уровне *C*/*I* за счет выбора низкоскоростной модуляции (QPSK) и соответствующего кодирования, а также сокращения числа субтрактов, присвоенных каждому пользователю, система RCT может работать с пониженной скоростью передачи данных.

ТАБЛИЦА 3

Зависимость распределения *C*/*I* от числа прямых частотных трактов и   
способности подавления помех от соседних трактов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Число частотных трактов | *C*/*I* (дБ) | Распределение *C*/*I* | | Типовая схема |
| 2 км | 6 км |
| 1 | –2 – 2  2–6  6–10 | – | – |  |
| 2 | 24–29  22–24  18–22  13–18 | 29%  18%  30%  24% | 27%  19%  30%  24,5% |  |

ТАБЛИЦА 3 (*окончание*)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Число частотных трактов | *C*/*I* (дБ) | Распределение *C*/*I* | | Типовая схема |
| 2 км | 6 км |
| 3 | >29 дБ  24–29  22–24  18–22 | 30,7%  51%  12%  6% | 37,7%  46,6%  13,6%  2% |  |
| 6 | >29 дБ  24–29  22–24  18–22 | 72,3%  26,3%  1,3%  0% | 48,53%  43,9%  6,8%  0,68% |  |

### 2.2.1 Расчет емкости

Среднюю емкость, обеспечиваемую системой с одной несущей частотой (SC), использующей адаптивную модуляцию, можно рассчитать в зависимости от долей площади, указанных в таблице 3, исходя из предположения о равномерном распределении пользователей в пределах этой площади.

Благодаря разделению тракта и возможности концентрации мощности расчет для технологии OFDMA более детальный. Технология OFDMA может использоваться даже в присутствии большой помехи или низкой напряженности поля принимаемого сигнала.

В таблице 4 приводятся краткие данные о средней емкости и эффективности РЧ спектра, выраженные в суммарной емкости в расчете на сектор ячейки, об эффективности спектра в бит/с/Гц и об эффективности системы, выраженные в бит/с/Гц/ячейку.

В качестве образца использована типовая/теоретическая система SC. Для случая с одним частотным трактом эта система не может использоваться, поскольку для нее требуется минимальный уровень *C*/*I*, не доступный для данного сценария.

И наоборот, в системе OFDMA происходит разделение ширины полосы, и, таким образом, помеха не допускается. В данном случае, несмотря на то что не может быть обеспечена полная пропускная способность, часть трафика все равно будет передаваться.

ТАБЛИЦА 4

Емкость в расчете на сектор и эффективность систем SC и OFDMA

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Число прямых частотных трактов |  | | Размер ячейки | |
| 2 км | 6 км |
| 1 | Мбит/с/сектор | SC | 0 | 0 |
| **OFDMA** | **2,35** | **2,35** |
| Бит/с/Гц | SC | 0 | 0 |
| **OFDMA** | **0,39** | **0,39** |
| Бит/с/Гц/ячейка | SC | 0 | 0 |
| **OFDMA** | **2,35** | **2,35** |
| 2 | Мбит/с/сектор | SC | 7,4 | 7,3 |
| **OFDMA** | **8,96** | **8,92** |
| Бит/с/Гц | SC | 0,62 | 0,61 |
| **OFDMA** | **0,75** | **0,74** |
| Бит/с/Гц/ячейка | SC | 3,70 | 3,65 |
| **OFDMA** | **4,48** | **4,46** |
| 3 | Мбит/с/сектор | SC | 11,2 | 11,8 |
| **OFDMA** | **13,3** | **13,44** |
| Бит/с/Гц | SC | 0,62 | 0,66 |
| **OFDMA** | **0,74** | **0,75** |
| Бит/с/Гц/ячейка | SC | 3,73 | 3,93 |
| **OFDMA** | **4,43** | **4,48** |
| 6 | Мбит/с/сектор | SC | 13,6 | 12,4 |
| **OFDMA** | **15** | **15** |
| Бит/с/Гц | SC | 0,38 | 0,34 |
| **OFDMA** | **0,42** | **0,42** |
| Бит/с/Гц/ячейка | SC | 2,27 | 2,07 |
| **OFDMA** | **2,50** | **2,50** |

Из таблицы 4 видно явное преимущество системы OFDMA, эффективность которой выше от 5 до 25%.

## 2.3 Развертывание антенны

В стандарте RCT предусматривается два сценария развертывания антенны: внутреннее и внешнее. Антенна RCT может совместно использовать нисходящий канал антенны DVB-T (которая также может быть внешней или внутренней антенной), используя либо переключатель, либо дуплексер. И наоборот, обе эти антенны могут быть раздельными. Такие возможности предусматриваются в стандарте, и они показаны на рисунке 3, ниже. Отметим, что BIM – это сокращение для радиовещательного интерфейсного модуля (системы DVB-T), а IIM означает интерактивный интерфейсный модуль (системы RCT). Dx означает дуплексер. Следует отметить, что варианты с переключением не позволяют одновременно осуществлять телевизионный прием и вести передачи DVB-RCT. В связи с этим ожидается, что в большинстве развертываний они не будут использоваться.

Рисунок 3

Развертывание антенны



\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. \* В марте 2017 года 6-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла поправки редакционного характера в настоящую Рекомендацию в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 1. [↑](#footnote-ref-1)
2. Термин "цифровой разрыв" определяется как "неравенство условий для групп населения, имеющих повсеместный, беспрепятственный и приемлемый в ценовом отношении доступ к услугам цифрового радиовещания, и групп населения, имеющих затрудненный доступ или не имеющих доступа". [↑](#footnote-ref-2)