

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R F.1704

**Характеристики фиксированных беспроводных систем связи
"множество точек-множество точек" со смешанной топологией сети,
работающих в полосах частот выше примерно 17 ГГц**

(Вопрос МСЭ-R 107/9)

(2005)

Резюме

В настоящей Рекомендации дается руководство для конфигурации системы и характеристик фиксированных беспроводных систем (FWSs) "множество точек-множество точек" (MP-MP) со смешанной топологией сети, работающих в полосах частот выше примерно 17 ГГц. В Приложении анализируются вопросы повышения готовности и снижения мощности передачи, а также влияние разнесения трасс и требуемые функции для систем MP-MP.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что FWSs эксплуатируются в различных полосах частот выше 17 ГГц;
- b) что администрациями применяются различные методы использования этих частот;
- c) что характеристики распространения радиоволн на частотах выше примерно 17 ГГц преимущественно определяются замираниями и поглощением в осадках и подходят только для применений в радиосистемах ближней связи в странах с дождливым климатом (см. Рекомендацию МСЭ-R P.837);
- d) что, как известно, характеристики распространения радиоволн на этих частотах в некоторых отношениях отличаются от характеристик распространения на более низких частотах и что некоторые из таких различий могут использоваться с выгодой для определенных типов систем;
- e) что конструкция оборудования может отличаться от конструкции, используемой в полосах более низких частот;
- f) что при развертывании FWSs высокой плотности в полосах частот выше примерно 17 ГГц используются новые конкретные применения и конфигурации сетей;
- g) что большое сосредоточение пользователей службы в городских, пригородных и промышленных зонах требует высокой плотности размещения терминалов пользователей в этих зонах;
- h) что системы "множество точек-множество точек" (MP-MP) со смешанной топологией сети будут эффективны благодаря возможности их использования при разнесении трасс;
- j) что при определенных условиях система MP-MP со смешанной топологией сети может рассматриваться в качестве эффективного метода повышения готовности и/или снижения мощности передачи при развертывании FWSs, работающих в полосах частот выше примерно 17 ГГц,

рекомендует,

чтобы в качестве руководства для конфигурации системы и характеристик систем MP-MP со смешанной топологией сети, работающих в полосах частот выше примерно 17 ГГц, использовалось Приложение 1.

Приложение 1

Конфигурация системы и характеристики систем МР-МР со смешанной топологией сети, работающих в полосах частот выше примерно 17 ГГц

1 Введение

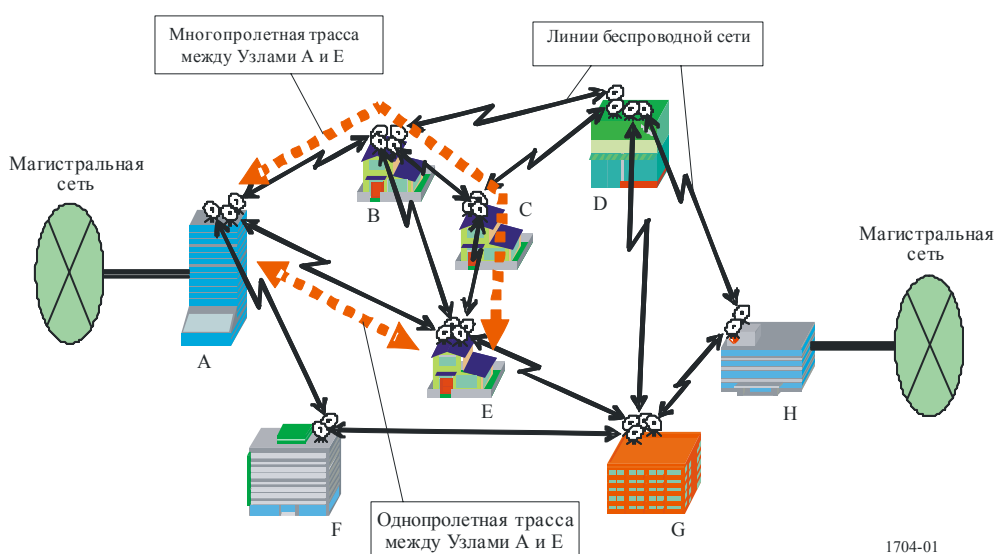
Использование систем МР-МР со смешанной топологией сети рассматривается в качестве эффективного средства для компенсации ухудшения качества связи в FWSs, работающих в полосах частот выше примерно 17 ГГц. В настоящем Приложении содержится обзор конфигурации для систем МР-МР со смешанной топологией сети и приводятся результаты количественного анализа по повышению готовности и/или снижению мощности передачи благодаря выигрышу за счет разнесения при использовании смешанной топологии сети. Приводятся также функциональные требования к системе для максимального проявления эффекта разнесения трасс и практические примеры требуемых функций. Кроме того, включены результаты полевых экспериментов по выигрышу за счет разнесения (см. Добавление 1 к этому Приложению).

2 Обзор конфигурации системы

На рисунке 1 показан пример системы МР-МР со смешанной топологией сети. Беспроводная смешанная сеть состоит из узлов беспроводной связи, представляющих собой либо абонентские станции, ретрансляционные узлы без исходящего/входящего трафика, либо точки интерфейса (POI) с другими сетями, например с сетями поставщиков услуг Интернет (ISP). Узел беспроводной связи соединяется с другими узлами по беспроводным линиям связи. Сквозной трафик передается по однопролетной и/или многопролетным трассам. В то время как однопролетная трасса состоит из одной линии беспроводной связи, многопролетные трассы состоят из нескольких линий беспроводной связи. Вся сеть может рассматриваться как система МР-МР. Если в сети имеется по крайней мере одна разнесенная трасса, то данная система более точно называется "системой МР-МР со смешанной топологией сети".

РИСУНОК 1

Пример системы МР-МР со смешанной топологией сети



3 Повышение готовности и снижение мощности передачи

Системы МР-МР со смешанной топологией сети характеризуются соответствующей емкостью для разнесенных трасс между двумя узлами. Сквозной трафик связи передается от узла источника до узла назначения через промежуточные переходные узлы, и между двумя узлами источника и назначения могут проходить несколько трасс. Если одна из беспроводных линий связи на трассе между двумя узлами источника и назначения становится непригодной из-за ослабления в дожде, то трафик на трассе беспроводной связи может быть перемаршрутизирован на другие трассы. Благодаря эффекту разнесения трасс готовность предоставления сквозной связи в предложенной смешанной беспроводной сети может быть повышена по сравнению с обычными системами Р-Р, системами Р-МР или системами МР-МР без смешанной топологии сети.

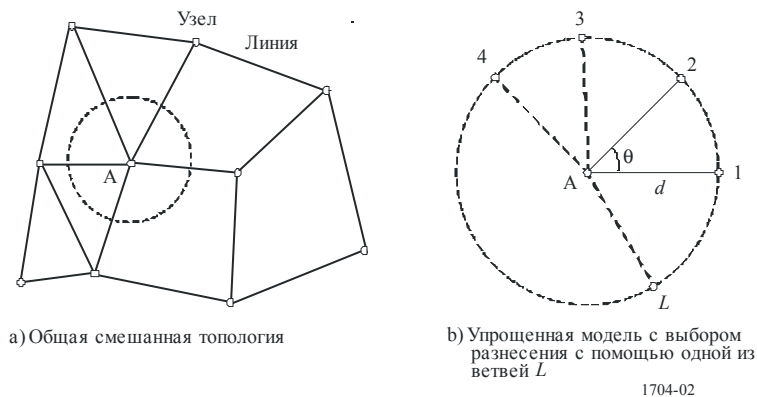
В данном пункте представлены аналитическая модель и разнообразные численные результаты аналитического исследования относительно повышения готовности и выигрыша за счет разнесения в системах МР-МР со смешанной топологией сети. В аналитической модели вероятность одновременного ухудшения качества на нескольких линиях из-за ослабления в дожде выражается функцией многомерного гамма-распределения с использованием корреляционных соотношений.

3.1 Аналитическая модель

На рисунке 2 показана исследуемая смешанная сеть. Несколько линий, подключенных к узлу А в пределах смешанной сети (см. рисунок 2а)), изображены в упрощенном виде на модели (см. рисунок 2б)), где эти различные линии образуют разнесенную ветвь L , связанную с Узлом А. В упрощенной модели предполагается, что угол разноса θ между соседними линиями одинаков и что все линии имеют одну и ту же длину d .

РИСУНОК 2

Беспроводная смешанная сеть



3.1.1 Неготовность узла

На рисунке 2б) узел А находится в состоянии неготовности, если все связанные с узлом линии имеют одновременную неготовность. Поэтому вероятность того, что все линии, обеспечивающие режим разнесения с помощью ветви L , имеют одновременную неготовность, называется в дальнейшем "неготовностью узла (то есть вероятностью появления сбоев)". Пусть X_i обозначает случайную переменную для ослабления в дожде в i -й линии, а $f(X_i, X_j, \dots, X_k)$ – функцию совместной плотности вероятности значений $X_i, X_j, \dots$ и X_k . Неготовность узла, $p_{NU}^{(L)}$, то есть вероятность того, что все подключенные к узлу разнесенные ветви переходят в состояние неготовности одновременно, определяется из уравнения

$$p_{NU}^{(L)} = p_u^{12...L} \quad (1)$$

где

$$p_u^{12...L} = \int_x^\infty \dots \int_x^\infty f(X_1, X_2, \dots, X_L) dX_1 dX_2 \dots dX_L \quad (2)$$

Следует отметить, что x в этом уравнении означает пороговый уровень ослабления в дожде для поддержания готовности беспроводной линии связи. В данном случае предполагается, что вероятность ослабления в дожде для беспроводной линии связи подчиняется гамма-распределению и что между уровнями ослабления в дожде для беспроводных линий имеется определенный уровень корреляции. Наряду с многомерными гамма-распределениями со случайными корреляциями, величина $p_u^{12...L}$ определяется из уравнения

$$p_u^{12...L} \approx \delta^v \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(v+n)}{\Gamma(v)n!} (1-\delta)^n \left[\frac{\Gamma(v+n, x/\delta)}{\Gamma(v+n)} \right]^L, \quad (3)$$

где:

$\Gamma(a)$: полная гамма-функция

$\Gamma(a, x)$: неполная гамма-функция второго рода.

Указанное выше уравнение является точным для $L \leq 2$ и приближенным для $L > 2$. Параметр формы, v , имеет типичное значение примерно 0,005–0,01 в странах с дождливым климатом в полосах миллиметровых волн. Корреляционная связь между ветвями L представляется в виде значения $\delta = \det(R)^{\frac{1}{L-1}}$, где

$$R = \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{\rho_{12}} & \dots & \sqrt{\rho_{1L}} \\ \sqrt{\rho_{12}} & 1 & \dots & \sqrt{\rho_{2L}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sqrt{\rho_{1L}} & \sqrt{\rho_{2L}} & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

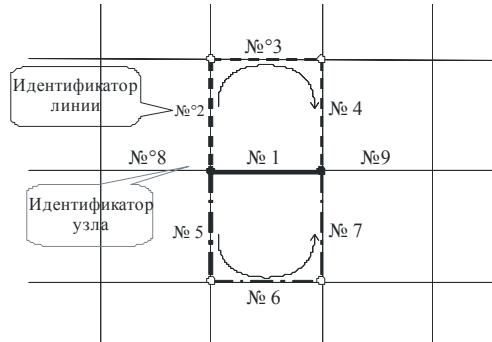
ρ_{ij} – это коэффициент корреляции между i -й и j -й линиями связи, который можно вычислить путем усреднения пространственной корреляции интенсивности выпадения дождей на двух линиях (посредством двойного интеграла). Что касается коэффициента пространственной корреляции интенсивности выпадения дождей, то для этого случая используется, как правило, обычная формула $\rho_r = \exp(-0,3\sqrt{r})$, где r – это расстояние между двумя местоположениями (км).

3.1.2 Неготовность трассы

Для изучения неготовности трассы в смешанных сетях представлена простая модель с квадратной решеткой, как показано на рисунке 3. Что касается трассы с использованием одной линии между узлами А и В, то здесь доступны несколько альтернативных трасс. Одной из самых коротких трасс, за исключением трассы по прямой линии между узлами А и В, является трасса, состоящая из линий № 2, № 3 и № 4. Другая трасса состоит из линий № 5, № 6 и № 7.

РИСУНОК 3

Модель беспроводной смешанной сети в виде квадратной решетки



Неготовность всех возможных трасс между двумя узлами называется "неготовностью трассы". При рассмотрении только одной альтернативной трассы между узлами А и В, состоящей из линий № 2, № 3 и № 4, отличной от трассы по прямой линии (то есть всего имеются две трассы), неготовность трассы между узлами А и В можно определить из уравнения (5):

$$p_{RU}^{A-B(2)} = 1 - (p_a^1 + p_a^{234} - p_a^{1234}) \quad (5)$$

Следует отметить, что верхний индекс "А-В(2)" в коэффициенте $p_{RU}^{A-B(2)}$ означает, что между узлами А и В имеются две трассы. Переменная $p_a^{ij...k}$ – это вероятность того, что все линии $i, j, \dots, k$ находятся в состоянии готовности; она может быть определена из следующего уравнения:

$$p_a^{ij...k} = \int_0^x \dots \int_0^x f(X_i, X_j, \dots, X_k) dX_i dX_j \dots dX_k \quad (6)$$

$$\approx \delta^\nu \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(\nu+n)}{\Gamma(\nu)n!} (1-\delta)^n \left[\frac{\gamma(\nu+n, x/\delta)}{\Gamma(\nu+n)} \right]^L,$$

где $\gamma(a, x)$ – это неполная гамма-функция первого рода. Величина L в данном уравнении означает число рассматриваемых линий (то есть $i, j, \dots, k$).

В случае когда имеются две альтернативные трассы (то есть одна трасса состоит из линий № 2, № 3 и № 4, а другая трасса состоит из линий № 5, № 6 и № 7), неготовность трассы между Узлами А и В может быть определена из уравнения (7):

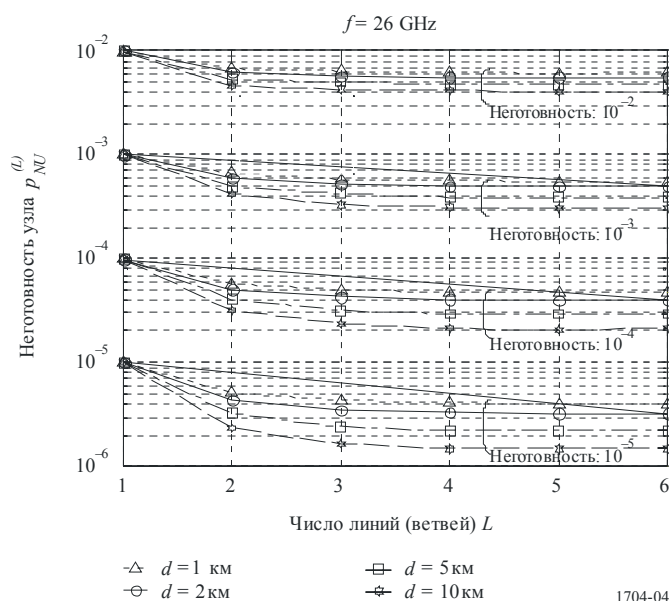
$$p_{RU}^{A-B(3)} = 1 - (p_a^1 + p_a^{234} + p_a^{567} - p_a^{1234} - p_a^{1567} - p_a^{234567} + p_a^{1234567}) \quad (7)$$

3.2 Повышение готовности и выигрыш за счет разнесения

В данном пункте представлены некоторые численные результаты аналитического исследования в целях повышения готовности и выигрыша за счет разнесения, причем это исследование основано на приведенной в предыдущем пункте аналитической модели. Предполагается, что частота беспроводных линий связи составляет 26 ГГц, за исключением рисунка 6, на котором представлена зависимость выигрыша за счет разнесения от частоты.

На рисунке 4 показана неготовность узла в функции числа разнесенных ветвей L (то есть беспроводных линий связи, подключенных к узлу). Неготовность узла изображена для неготовности порядка 10^{-2} – 10^{-5} для каждой разнесенной ветви. Неготовность узла без разнесенных ветвей приведена на линии $L = 1$ графика. Из рисунка видно, что число ветвей более 4 дает лишь незначительное улучшение. На рисунке 5 показана неготовность узла в функции длины линии, d , для случая $L = 4$. Разнесение по схеме из четырех ветвей в виде радиолиний длиной 2 км, подключенных к узлу, может уменьшить неготовность на коэффициент порядка 0,3–0,5 для заданной готовности 10^{-2} – 10^{-5} . По мере увеличения длины линии уменьшается пространственная корреляция уровней ослабления в дожде между линиями. В соответствии с этим фактором из-за большего эффекта разнесения достигается более значительное улучшение в части снижения неготовности узла.

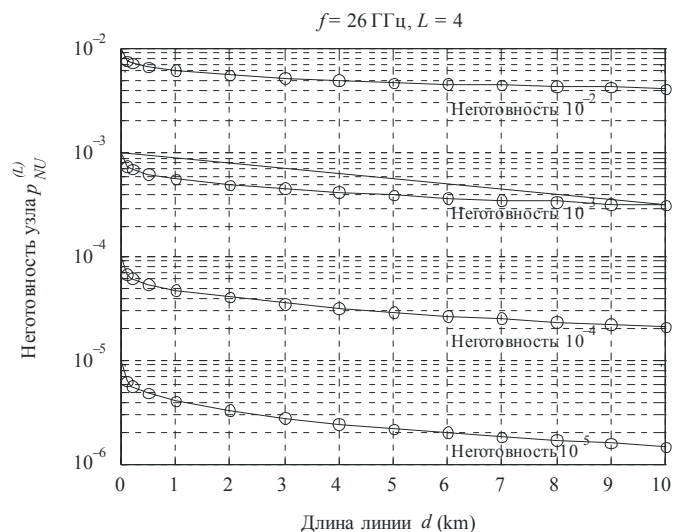
РИСУНОК 4

Неготовность узла в функции числа ветвей L 

1704-04

РИСУНОК 5

Неготовность узла в функции длины линии

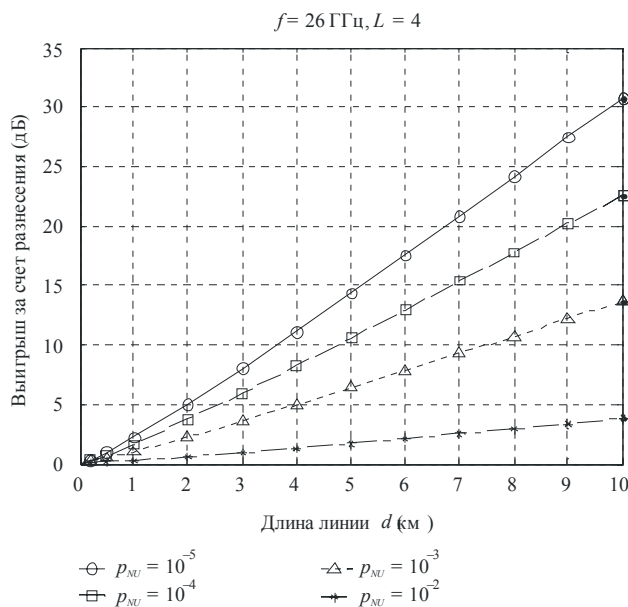


1704-05

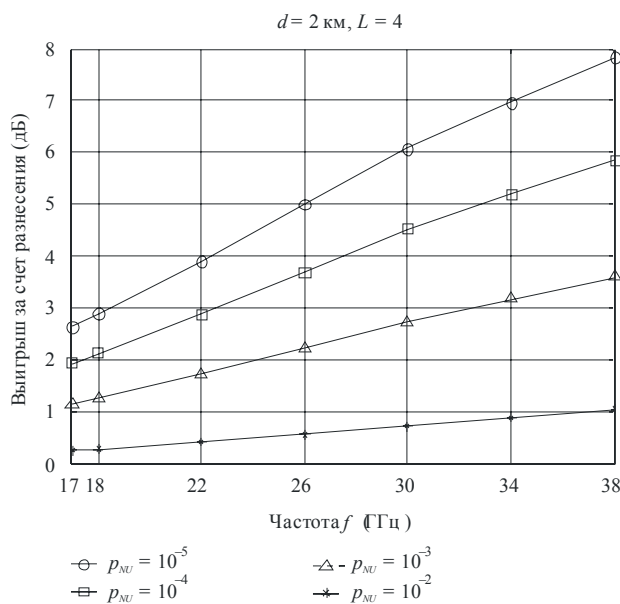
На рисунке 6a) показан выигрыш за счет разнесения в функции длины линии, d , в случае $L = 4$. Выигрыш за счет разнесения, содействующий увеличению запаса в энергетическом бюджете линии связи, может способствовать снижению мощности передачи, применению меньших по размеру антенн с меньшими коэффициентами усиления или упрощению проектирования приемной системы путем уменьшения шум-фактора. Из данного рисунка видно, что выигрыш за счет разнесения возрастает почти линейно по мере увеличения длины линии. Чем меньше неготовность узла, $p_{NU}^{(L)}$, тем больше выигрыш за счет разнесения, который можно получить. Из рисунка 6b) ясно также, что выигрыш за счет разнесения возрастает по мере повышения частоты.

РИСУНОК 6

Выигрыш за счет разнесения при использовании смешанной топологии сети
в зависимости от неготовности узла



а) Выигрыш за счет усиления в функции длины линии



б) Выигрыш за счет усиления в функции полосы частот

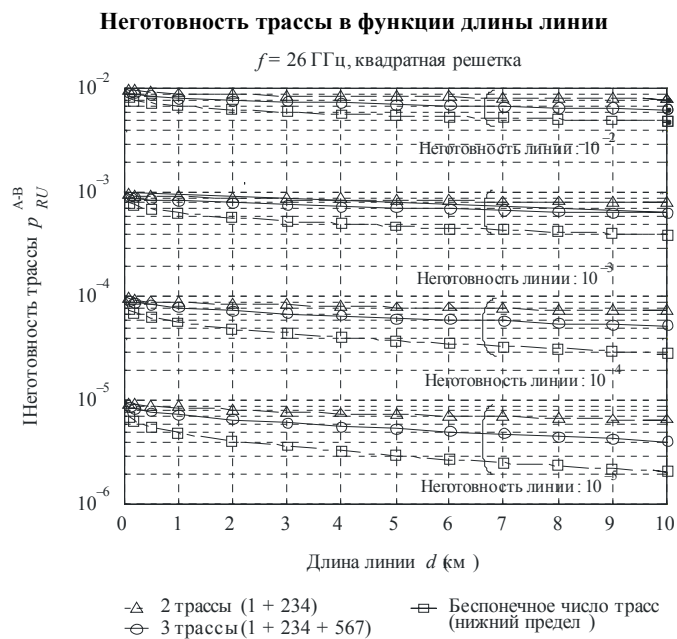
1704-06

На рисунке 7 показана неготовность трассы в функции длины линии d . Считается само собой разумеющимся, что с увеличением числа трасс уменьшается неготовность трассы. На рисунке также показан нижний предел неготовности трассы. Нижний предел рассчитывается в предположении, что между узлами А и В имеется бесконечное число трасс; его определяют из уравнения (8):

$$p_{RU}^{A-B(\infty)} = p_u^{1258} + p_u^{1479} - p_u^{1245789} \quad (8)$$

Данное уравнение (8) показывает вероятность того, что один из узлов (то есть Узел А или Узел В) становится недоступным.

РИСУНОК 7

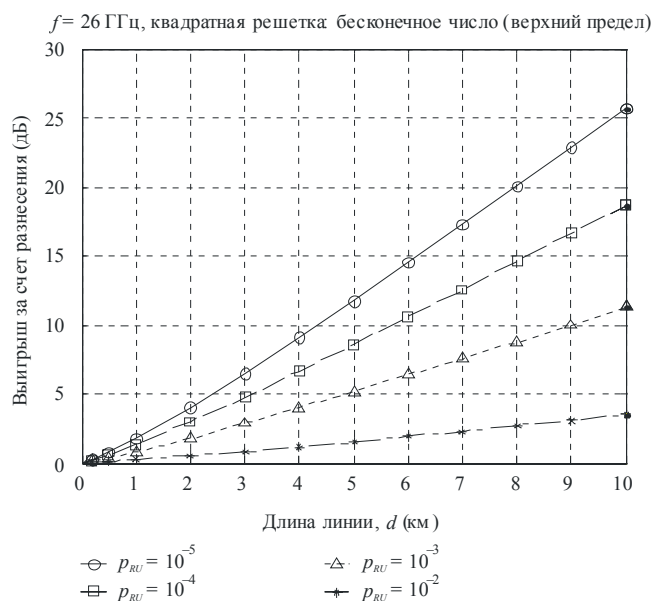


1704-07

Наконец, на рисунке 8 показан выигрыш за счет разнесения в функции длины линии d в случае, когда предполагается, что между Узлами А и В, приведенными на рисунке 3, имеется бесконечное число трасс. Это дает верхний предел выигрыша за счет разнесения. Последствия этого результата аналогичны тем, что имеют место в соответствии с рисунком 6.

РИСУНОК 8

**Выигрыш за счет разнесения при использовании смешанной топологии сети
в зависимости от неготовности трассы**



1704-08

3.3 Краткое изложение результатов аналитического исследования

На основании приведенных выше результатов можно сделать следующие выводы:

- Благодаря выигрышу за счет разнесения можно ожидать уменьшения мощности передачи на значительную величину. Например, приблизительно на 10 дБ в предположении:
 - длины линии 4 км;
 - полосы частот 26 ГГц;
 - неготовности линии 1×10^{-5} ;
 - пространственной корреляции $\rho_r = \exp(-0,3\sqrt{r})$, где r – расстояние (км).
- Можно ожидать большего выигрыша за счет разнесения с:
 - уменьшением неготовности каждой линии;
 - увеличением длины линии; и
 - использованием полосы более высоких частот.
- С точки зрения влияния разнесения достаточно 4 ветвей (линий) на узел.

4 Функции системы, требуемые для использования разнесения трасс

4.1 Требуемые функции

Для систем МР-МР со смешанной топологией сети требуются следующие функции, необходимые для усиления влияния разнесения трасс, такого как повышение готовности трасс и снижение мощности передачи.

4.1.1 Функция установления нескольких трасс между двумя узлами

Для использования разнесения трасс в системах МР-МР со смешанной физической топологией требуется сетевая функция установления нескольких трасс, включая многопролетные трассы.

4.1.2 Функция выбора разнесенных трасс

Если одна из конфигурированных трасс переходит в состояние неготовности, передаваемый по этой трассе трафик связи должен быть перемаршрутизирован на другие трассы, находящиеся в состоянии готовности. Таким образом, для обеспечения непрерываемой связи на трассах необходима функция выбора подходящих трасс. Отмечается, что за счет применения механизма выравнивания интенсивности трафика можно ожидать получения дополнительной эффективности использования нескольких трасс, позволяющей повысить емкость системы.

4.1.3 Функция управления качеством линии

Для использования функции выбора разнесенных трасс необходимо осуществлять сбор информации о качестве беспроводных линий связи в смешанной сети. Для плавного переключения трафика с одной трассы на другую и уменьшения времени неготовности служб связи сбор и отражение такой информации должны осуществляться достаточно часто и быстро.

4.2 Практические примеры реализации требуемых функций

В этом пункте приводятся практические примеры реализации вышеупомянутых требуемых функций.

4.2.1 Функция установления нескольких трасс между двумя узлами

Протоколы маршрутизации, которые пока используются на уровне межсетевого (IP) протокола, как, например протокол быстрого открытия кратчайшего маршрута (OSPF) и протокол маршрутной информации (RIP), выбирают только одну трассу между узлом источника и узлом назначения. Таким образом, для каждой пары, состоящей из узла источника и узла назначения, маршрутизатор устанавливает одну из трасс, определенных этими протоколами маршрутизации. Вместе с тем маршрутизатор в архитектуре со смешанной топологией сети, оборудованный в каждом беспроводном узле, должен обладать функцией передачи пакетов данных IP на множество трасс.

Технология многопротокольной коммутации на основе признаков (MPLS) является перспективным подходом к установлению множества трасс, поскольку технология MPLS способна в явной форме установить множество трасс. При наличии набора трасс для каждого исходящего узла маршрутизатор на входящем узле создает коммутируемые на основе признаков трассы (LSP) по отношению к трассам, применяющим данную технологию.

4.2.2 Функция выбора разнесенных трасс

Может существовать несколько вариантов выбора множества трасс между парой, состоящей из входящего и исходящего узлов. Для обеспечения эффективного использования ресурсов смешанной сети необходим механизм, который применял бы технологию управления трафиком. Для достижения этой цели требуется выбирать трассы, которые сводят к минимуму максимальную величину нагрузки трафика на трассах. Для такого определения оптимальных трасс применительно к управлению трафиком в предлагаемом эвристическом методе интенсивность трафика в каждом входящем узле разбивается на малые части интенсивности трафика, и эти малые части интенсивности трафика распределяются на одну из всех имеющихся трасс между исходящим и входящим узлами, сводя к минимуму максимальную нагрузку трафика в нагрузке трафика трасс.

С другой стороны, чтобы воспользоваться преимуществами эффекта разнесения в сетях со смешанной топологией, в качестве разнесенных трасс следует использовать трассы с небольшой пространственной корреляцией. Далее приводится один из способов получения разнесенной трассы с небольшой пространственной корреляцией.

Этап 1: Рассчитать пространственную корреляцию $r(i, j)$ между линией i на трассе x и линией j на трассе y , отличной от трассы x .

Этап 2: Определить коэффициент пространственной корреляции $r'(x, y)$ для пары трасс x и y как $r'(x, y) = \max_{i \in x} \{ \max_{j \in y} r(i, j) \}$ и рассчитать $r'(x, y)$ для всех пар трасс.

Этап 3: Выбрать трассу с наименьшим значением $r'(x, y)$.

Один из методов интеграции вышеизложенных двух методов определения разнесенных трасс заключается в том, чтобы выбрать трассу x как трассу, определяемую методом, учитывающим управление трафиком. Таким образом, множество трасс между исходящим и входящим узлами отвечает требованию эффективного использования ресурсов смешанных сетей при нормальных погодных условиях (в отсутствии дождя), в то время как разнесенные трассы с минимальной пространственной корреляцией с обычными трассами эффективно используются для направления трафика в обход при дождливой погоде.

4.2.3 Функция управления качеством линии

Для максимального использования ресурсов сети о качестве беспроводных линий и интенсивности трафика следует уведомлять все узлы в сети со смешанной топологией сразу же по изменении качества линий и спроса на трафик. Для осуществления этого информация о качестве беспроводных линий, подсоединенных к какому-либо узлу, передается от радиоустановки к маршрутизатору узла, а маршрутизатор должен реализовать функцию контроля за интенсивностью трафика. Передача информации о качестве линии от радиоустановки может осуществляться посредством организации сеанса TCP между радиоустановкой и маршрутизатором и установлением электросвязи по протоколу TCP/IP. С другой стороны, коммерческие маршрутизаторы, как правило, осуществляют функцию контроля за трафиком.

Наряду с функцией сбора локальной информации на маршрутизаторах маршрутизаторы должны осуществлять функцию обмена информацией о линиях и интенсивности трафика. Одним из способов решения является использование "варианта ораque LSA" или протокола OSPF. Когда маршрутизатор в сети со смешанной топологией распознает изменение качества беспроводной линии или объема трафика, информация об этом изменении направляется всем маршрутизаторам в сети посредством механизма волнового распространения пакетов (см. Рекомендацию МСЭ-T E.360.4). Полученная от других беспроводных узлов информация хранится в базе данных по состоянию линий (LSDB).

Дополнение 1 к Приложению 1

Пример экспериментов на местах по эффекту разнесения трасс

В настоящем Дополнении приводятся результаты экспериментов на местах относительно затухания в дожде на беспроводных линиях в сети со смешанной топологией и даются примеры разнесения трасс.

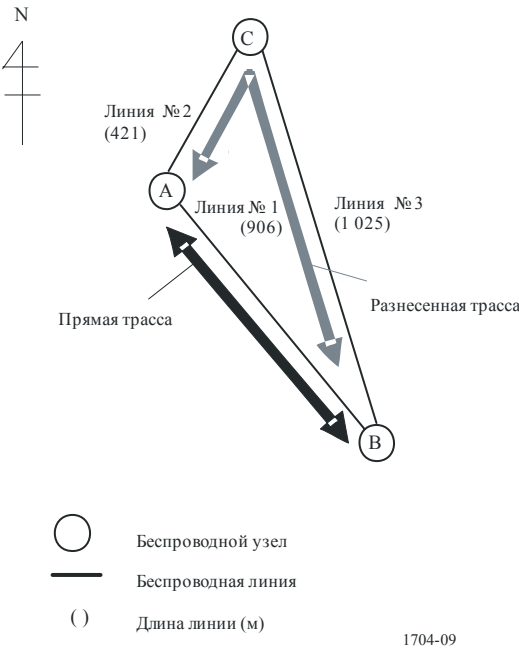
1 Параметры сконструированной беспроводной сети и системы со смешанной топологией

Показанная на рисунке 9 сеть со смешанной топологией была развернута в Камифукуоке, Сайтама, Япония, вблизи Токио. Используемая для экспериментов на местах беспроводная сеть со смешанной топологией состоит из трех беспроводных узлов и трех беспроводных линий. Как показано на рисунке 1, линия № 3 – наиболее длинная из трех линий. Один беспроводной узел состоит из радиоустановок и одного беспроводного маршрутизатора, который осуществляет функции, определенные в § 4.2 Приложения 1. Основные системные спецификации прототипных

радиоустановок приведены в таблице 1. Проводились измерения уровней полученных сигналов для беспроводных линий. Интервал измерения составлял 1 с.

РИСУНОК 9

Сконструированная беспроводная сеть со смешанной топологией для экспериментов на местах



Известно, что ослабление в дожде ослабевает по мере уменьшения длины линии. Таким образом, принимается как данное, что многопролетная трасса, состоящая из коротких линий, дает слабое ослабление в дожде в отличие от однопролетной трассы, состоящей из длинной линии. В результате можно ожидать выигрыша за счет разнесения при выборе такой многопролетной трассы, состоящей из коротких линий.

Одним из преимуществ сетей со смешанной топологией состоит в том, что выигрыша за счет разнесения можно добиться, даже если выбрана разнесенная трасса, включающая длинную линию. На рисунке 9, принято, что прямая линия между Узлами А и В – это линия № 1, разнесенная трасса между парой узлов состоит из линий № 2 и № 3, которая является наиболее длинной линией. В настоящем разделе основное внимание уделяется выигрышу за счет разнесения, получаемому при использовании разнесенной трассы.

ТАБЛИЦА 1

Основные спецификации прототипных радиоустановок

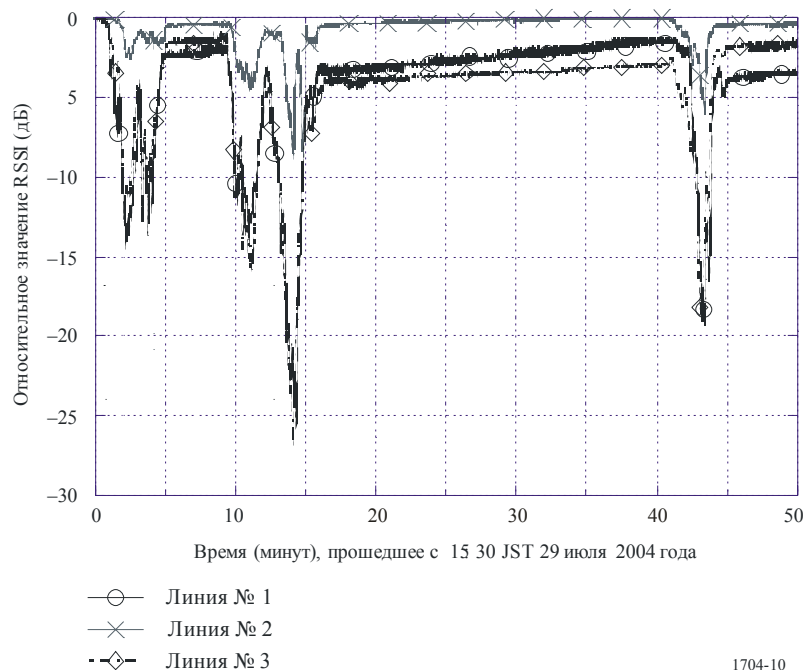
Радиочастота (РЧ) (ГГц)	26,80–26,86
Число частотных позиций (МГц)	7 в диапазоне 60
Разнесение частотных позиций (МГц)	8,5
Дуплексный режим	TDD
Максимальная мощность передачи на носитель (мВт)	50
Усиление антенны (дБи)	35

2 Данные измерений ослабления в дожде

На рисунке 10 приводятся различные значения относительных величин показателя мощности полученного сигнала (RSSI) по каждой из беспроводных линий в сети со смешанной топологией. Время измерений на рисунках 10–13 – с 15:30 до 18:00 по стандартному японскому времени (JST) 29 июля 2004 года, когда временами шел сильный дождь из-за тайфуна.

РИСУНОК 10

Относительные значения RSSI по беспроводным линиям в сети со смешанной топологией с 15:30 до 18:00 JST 29 июля 2004 года

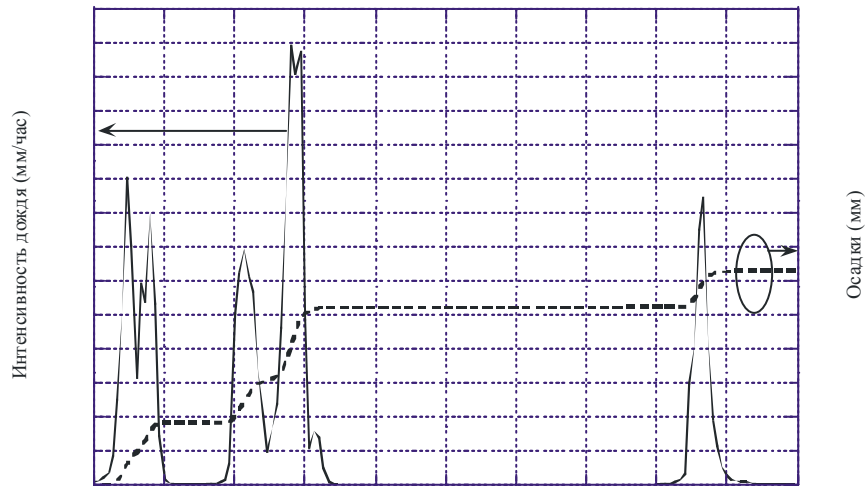


1704-10

На рисунке 11 приведено интенсивность дождя и количество осадков на тот же период, что и на рисунке 10. Интенсивность дождя измерялась счетчиком осадков, деление которого соответствует накоплению 0,5 мм дождя в ведре счетчика осадков и который установлен в узле А. Из рисунка 1 явствуется, что максимальная мгновенная интенсивность дождя достигала почти 130 мм/час и что за этот период сильный дождь шел трижды. Эти два рисунка подтверждают также, что уровни RSSI во время сильного дождя резко снижались. Максимальный уровень ослабления в дожде во время сильного дождя превышал 26 дБ.

РИСУНОК 11

Интенсивность дождя и выпадение осадков на Узле А
с 15:30 до 18:00 JST 29 июля 2004 года



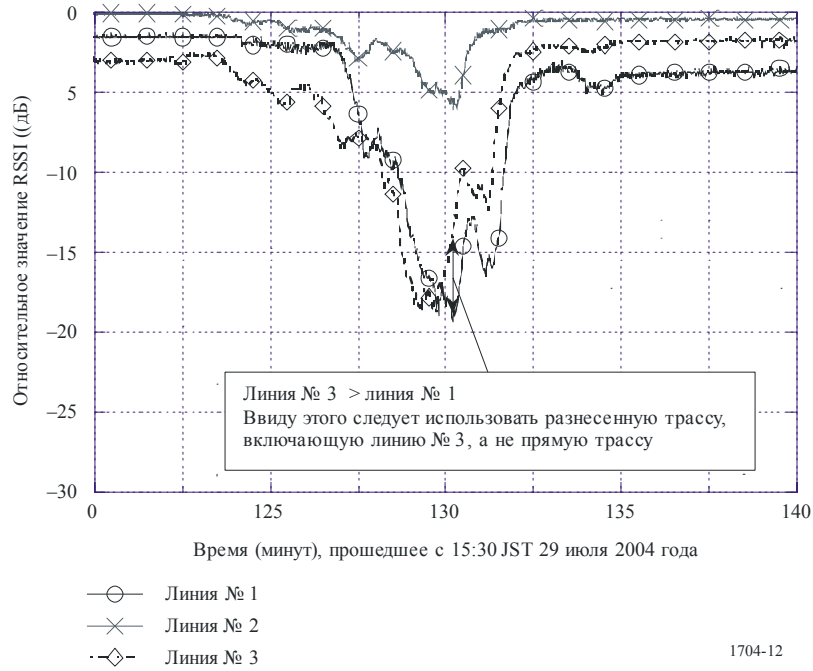
Время (минут), прошедшее с 15:30 JST 29 июля 2004 года

1704-11

На рисунке 12 отображен определенный интервал времени в рамках периода измерений, показанного на рисунке 10. Установлено, что для определенного периода времени разнесенная трасса, включая наиболее длинную линию № 3, имела более высокий уровень RSSI, чем прямая трасса линии № 1, поскольку на пиковом уровне ослабления в дожде между линиями №1 и № 3 существует время сдвига. Это означает, что следует выбирать разнесенную трассу. Тем самым достигается эффект разнесения.

РИСУНОК 12

Пример выигрыша за счет разнесения трасс при использовании
наиболее длинной линии



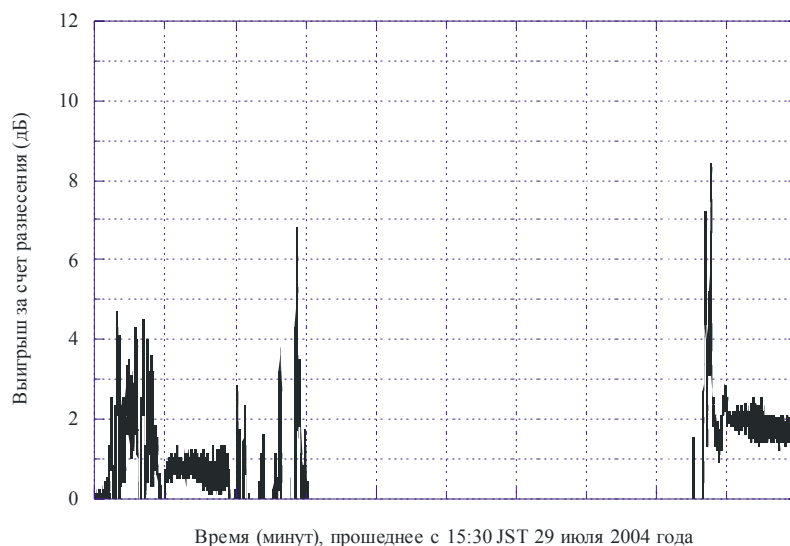
Время (минут), прошедшее с 15:30 JST 29 июля 2004 года

1704-12

На основании приведенных выше доводов выигрыш за счет разнесения определяется как RSSI линии № 3 за вычетом RSSI линии № 1 в следующем. На рисунке 13 приведены данные по временному ряду выигрыша за счет разнесения за тот же период, что и на рисунке 10. На основании рисунка установлено, что максимальный выигрыш за счет разнесения превышал 8 дБ, а выигрыша за счет разнесения можно ожидать при сильном дожде. Даже в этой небольшой сети со смешанной топологией, где максимальная длина линии составляет примерно 1 км, из рисунка очевидно, что можно ожидать выигрыша за счет разнесения.

РИСУНОК 13

Данные по временному ряду выигрыша за счет разнесения в период с 15:30 до 18:00
JST 29 июля 2004 года

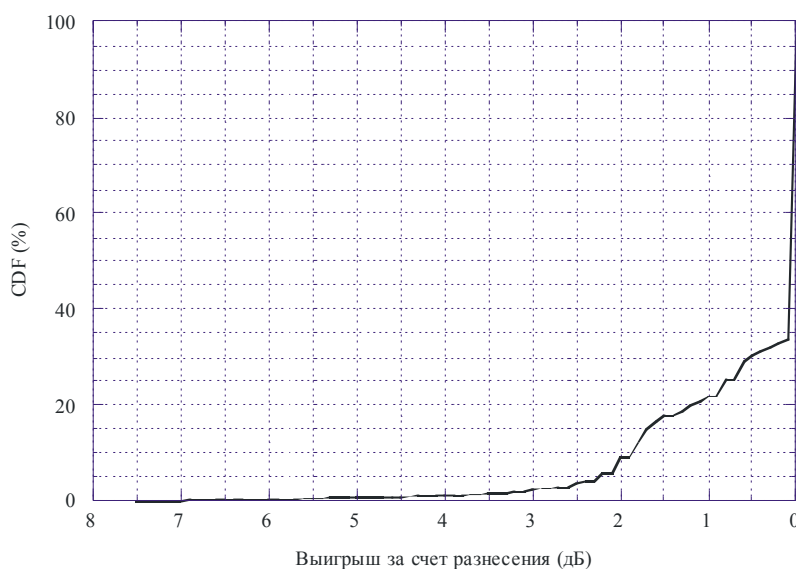


1704-13

На рисунке 14 показана кумулятивная функция распределения выигрыша (CDF) за счет разнесения. Не менее 1 дБ выигрыша за счет разнесения было получено за более чем 20% периода измерений с 15:30 до 18:00 JST 29 июля 2004 года. На рисунке также показано, что не менее 3 дБ выигрыша за счет разнесения было получено для 2,4% периода.

РИСУНОК 14

CDF выигрыша за счет разнесения

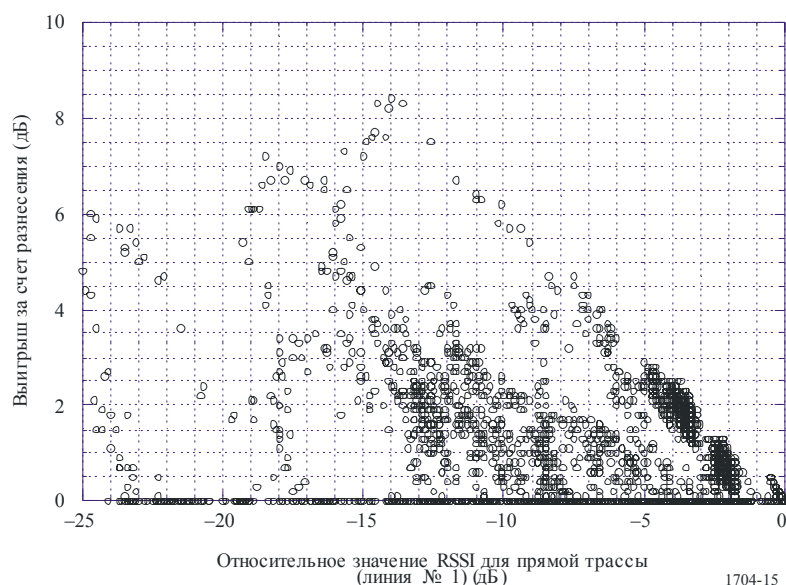


1704-14

В заключение на рисунке 15 приводится диаграмма разброса выигрыша за счет разнесения как функция уровня RSSI прямой трассы (линии № 1), с тем чтобы дать информацию о том, можно ли ожидать эффекта разброса при условии сильного ослабления в дожде. Из рисунка явствует, что выигрыша за счет разнесения можно ожидать не только при слабом ослаблении в дожде, но и при сильном ослаблении в дожде.

РИСУНОК 15

Выигрыш за счет разнесения по сравнению с относительной величиной RSSI для прямой трассы (т. е. линии № 1)



1704-15

3 Выводы относительно эффекта разнесения трассы в период сильного дождя по результатам экспериментов на местах

По приведенным выше результатам полевых экспериментов можно сделать следующие выводы:

- Результаты экспериментов показывают, что эффект разнесения трассы достигается при сильном дожде, даже для системы МР-МР с небольшой сетью смешанной топологии, состоящей из трех линий, включая линии длиной примерно 1 км.
- Выигрыш за счет разнесения был получен в частности в период сильного ослабления в дожде.
- По результатам полевых экспериментов:
 - было получено максимально 8 дБ выигрыша за счет разнесения, и
 - для 2,4% периода измерений было получено не менее 3 дБ выигрыша за счет разнесения.