

Internet Research Task Force (IRTF)

Request for Comments: 7962

Category: Informational

ISSN: 2070-1721

J. Saldana, Ed.

University of Zaragoza

A. Arcia-Moret

University of Cambridge

B. Braem

iMinds

E. Pietroseoli

The Abdus Salam ICTP

A. Sathiaseelan

University of Cambridge

M. Zennaro

The Abdus Salam ICTP

August 2016

## Развертывание дополнительных сетей - систематизация, характеристики, топология, архитектура

### Alternative Network Deployments:

### Taxonomy, Characterization, Technologies, and Architectures

#### Тезисы

В этом документе систематизируется множество «дополнительных сетей» (Alternative Network Deployments), которые возникли в последние годы с целью предоставления населению доступа в Internet или организации местной коммуникационной инфраструктуры, служащей для решения тех или иных дополнительных задач. В таких сетях используются архитектура и топологии, отличающиеся от основных сетей и основанные на иных моделях управления и построения бизнеса.

В документе также рассмотрены применяемые в таких сетях технологии и архитектурные характеристики, включая множество определений и общих свойств.

Классификация рассматривает модели сетей сообществ (Community Network), поставщиков услуг беспроводного доступа (WISP<sup>1</sup>), сетей, принадлежащих частным лицам и предоставленных в аренду операторам для обеспечения доступа в сети в местах с низкой плотностью заселения, сетей с совместным использованием беспроводных сред, а также сельских общественных сетей.

#### Статус документа

Этот документ не является спецификацией какого-либо стандарта Internet (Internet Standards Track) и публикуется с информационными целями.

Документ является результатом работы IRTF<sup>2</sup>. Комитет IRTF публикует результаты относящихся к Internet исследований и разработок. Эти результаты могут оказаться не подходящими для развертывания. Данный документ представляет согласованное мнение исследовательской группы по доступу в Internet (IRTF GAIAs<sup>3</sup>). Документы, публикация которых одобрена IRSG, не рассматриваются в качестве претендентов на стандартизацию (см. раздел 2 в RFC 7841).

Информацию о текущем статусе документа, обнаруженных ошибках и способах передачи откликов на документ можно найти на странице <http://www.rfc-editor.org/info/rfc7962>.

#### Авторские права

Авторские права (Copyright (c) 2016) принадлежат IETF Trust и лицам, указанным в качестве авторов документа. Все права защищены.

Этот документ является субъектом прав и ограничений, перечисленных в BCP 78 и IETF Trust Legal Provisions и относящихся к документам IETF (<http://trustee.ietf.org/license-info>), на момент публикации данного документа. Прочтите упомянутые документы внимательно, поскольку в них описаны права и ограничения, относящиеся к данному документу.

<sup>1</sup>Wireless Internet Service Provider - поставщик услуг беспроводного доступа в Internet.

<sup>2</sup>Internet Research Task Force.

<sup>3</sup>Global Access to the Internet for All - глобальный доступ Internet для всех.

# Оглавление

1. Введение.....	2
1.1. Основные сети.....	3
1.2. Дополнительные сети.....	3
2. Используемые термины.....	3
3. Сценарии развертывания дополнительных сетей.....	4
3.1. Городские и сельские территории.....	4
3.2. Топологические варианты дополнительных сетей.....	5
4. Критерии классификации.....	5
4.1. Потребители сетевых услуг.....	5
4.2. Назначение сети.....	5
4.3. Модель управления и устойчивости .....	6
4.4. Развернутые технологии.....	6
4.5. Типовое применение.....	6
5. Классификация дополнительных сетей.....	6
5.1. Общественные сети.....	6
5.2. Провайдеры беспроводного доступа в Internet (WISP).....	7
5.3. Модель с совместно используемой инфраструктурой.....	8
5.4. Сети с совместным использованием беспроводных систем.....	8
5.5. Сети сельских коммунальных кооперативов.....	9
5.6. Тестовые и исследовательские сети.....	9
6. Используемые технологии.....	10
6.1. Кабельные.....	10
6.2. Беспроводные.....	10
6.2.1. Протоколы MAC для беспроводных каналов.....	10
6.2.1.1. 802.11 (Wi-Fi).....	10
6.2.1.2. Технологии мобильной связи.....	10
6.2.1.3. Динамическое использование свободных частот.....	11
6.2.1.3.1. 802.11af.....	11
6.2.1.3.2. 802.22.....	11
7. Вышележащие уровни.....	11
7.1. Сетевой уровень (L3).....	11
7.1.1. Адресация IP.....	11
7.1.2. Протоколы маршрутизации.....	11
7.1.2.1. Традиционные протоколы маршрутизации.....	11
7.1.2.2. Mesh Routing Protocols.....	12
7.2. Транспортный уровень.....	12
7.2.1. Управление трафиком при совместном использовании сетевых ресурсов.....	12
7.3. Обеспечиваемые услуги.....	12
7.3.1. Использование VPN.....	13
7.3.2. Другие возможности.....	13
7.4. Вопросы безопасности.....	13
8. Литература.....	13
Благодарности.....	17
Участники разработки документа.....	17
Адреса авторов.....	18

## 1. Введение

Одной из целей исследовательской группы IRTF GAIA является документирование и публикация сведений о результатах исследований и опыте развертывания для широкого круга читателей [GAIA]. В соответствии с этой целью данный документ предлагает классификацию дополнительных сетей (Alternative Network Deployment). Рассматривается множество моделей доступа в сеть, разработанных в последнее десятилетие для подключения к Internet, для которых топология, архитектура, управление и бизнес-модели отличаются от так называемых «основных сетей» (mainstream), в которых компании развертывают инфраструктуру для пользователей, оплачивающих услуги доступа в сеть.

В мире известно несколько инициатив по созданию масштабных сетей, использующих преимущественно беспроводные технологии (включая каналы значительной протяженности), благодаря доступности частотных диапазонов, не требующих лицензирования. В некоторых сетях этого типа применяются и кабельные технологии, включая оптические.

Классификация рассматривает несколько типов дополнительных сетей - общественные сети (Community Network) представляют собой самоорганизующиеся сети, полностью принадлежащие тому или иному сообществу, сети беспроводных провайдеров (WISP), сети, принадлежащие частным лицам, но арендуемые операторами для предоставления недорогих услуг при отсутствии основных сетей, сети обеспечивающие подключения за счет совместного использования беспроводных ресурсов отдельных пользователей, сети сельских кооперативов, обеспечивающие их членам доступ в Internet.

Возникновение таких сетей обусловлено множеством факторов типа отсутствия проводной или сотовой инфраструктуры в сельских и отдаленных районах [Pietrosemoli]. В некоторых случаях дополнительные сети могут предоставлять локализованные коммуникационные услуги, а также доступ в Internet и использованием партнерских соглашений с операторами основных сетей. В других случаях они могут выступать в качестве дополнения (альтернативы) коммерческому доступу в Internet, предоставляемому операторами основных сетей.

В этом документе представлен обзор инициатив, технологий и моделей, реализованных в дополнительных сетях, включая некоторые экзотические случаи. Приведены ссылки на описания каждого типа дополнительных сетей.

### 1.1. Основные сети

В этом документе термин «основные сети» (mainstream networks) означает сети со следующими характеристиками:

- в части масштаба это обычно крупные сети, распространяющиеся на целые регионы;
- вертикальное управление сетью и централизованная модель;
- значительные инвестиции в инфраструктуру;
- пользователи сети не участвуют в разработке, развертывании, эксплуатации и управлении;
- права собственности на сеть не принадлежат ее пользователям.

## 1.2. Дополнительные сети

Термин «дополнительные сети» (Alternative Network), предложенный в этом документе, относится к сетям, характеристики которых отличаются от характеристик основных сетей. Отметим здесь некоторые из них:

- сравнительно небольшой масштаб (например, меньше целых регионов);
- децентрализованное администрирование;
- возможно более низкий уровень инвестиций, которые могут разделяться между пользователями, а также коммерческими и некоммерческими структурами;
- пользователи могут участвовать в создании, развертывании, поддержке и обслуживании сетей;
- владельцами сетей зачастую являются пользователи.

## 2. Используемые термины

С учетом современной роли Internet в повседневной жизни этот документ связан с комплексом социальных, политических и экономических вопросов. Некоторые из применяемых здесь концепций и терминов являются предметом изучения различных дисциплин, не относящихся к сетям, и связаны с продолжительными дебатами, выходящими за рамки этого документа.

- «Глобальный север» (Global north) и «глобальный юг» (global south). Хотя в терминологии описания уровней развития разных стран нет общего согласия, здесь будет применяться термин «глобальный юг» применительно к странам со сравнительно низкими жизненными стандартами. Такое деление обычно служит для отражения базовых экономических условий в разных странах. Обычно Японию в Азии, Канаду и США в Северной Америке, Австралию и Новую Зеландию в Океании, а также Европу в целом рассматривают как «развитые» регионы [UN] и применительно к ним будет использоваться термин «глобальный север».
- «Цифровой разрыв» (Digital Divide). При оценке состояния развития цифровых технологий в стране принимается во внимание ряд аспектов: инфраструктура (наличие и доступность), сектор ICT<sup>1</sup> (человеческий фактор и технологическая индустрия), компьютерная грамотность, правовая и нормативная база, информационное наполнение и услуги. Недостаточное развитие в одном или нескольких указанных направлениях будем называть «цифровым разрывом» (Digital Divide) [Norris]. Следует отметить, что такой разрыв может наблюдаться не только между разными странами, но и между зонами в одной стране, несмотря на ее уровень развития в целом.
- Городские и сельские территории. Не существует общепринятых определений сельской местности (rural) и города (urban), каждая страна и различные международные организации трактуют эти термины по своему, принимая во внимание число жителей, плотность заселения, расстояния между домами [UNStats]. В контексте сетей основным различием являются расстояние между потребителями, обычно определяемое плотностью населения, а также удаленность от ближайшей точки доступа в Internet (протяженность «средней мили» (middle mile) или транспортного подключения). В некоторых регионах с малой средней плотностью населения практически все потенциальные потребители могут быть сконцентрированы в небольших компактных поселениях, а в других регионах они могут сравнительно равномерно распределяться по всей территории.
- Потребности. В экономике они описывают желание и возможность потребителей покупать за определенную цену некий товар или услугу.
- Доступность актива для продажи. В этом документе будем говорить прежде всего о доступности сетевых услуг для населения той или иной территории.
- Необслуживаемая область. Территория, на которой телекоммуникационный рынок не может обеспечить информационные и коммуникационные услуги, запрашиваемые населением.
- Свободные, открытые и нейтральные сети. Принципы таких сетей перечислены ниже [Baig].
  - Можно использовать с любыми целями, пока это не препятствует работе самой сети, не нарушает прав других пользователей или принципов нейтральности, обеспечивающих течение содержимого и услуг без постороннего вмешательства.
  - Можно понимать сеть, знать ее компоненты и распространять информацию об этих механизмах и принципах.
  - Можно предлагать информационное содержимое и услуги в сеть на своих условиях.
  - Можно подключиться к сети, а также принять на себя ответственность за передачу этого права кому угодно на таких же условиях.

<sup>1</sup>Information and Communications Technology - информационные и коммуникационные технологии.

### 3. Сценарии развертывания дополнительных сетей

Разные исследования показывают, что около 60% населения планеты не имеют доступа в Internet [Sprague] [InternetStats]. Эти люди распределены по планете неравномерно - на «глобальном юге» доступ в сеть по данным 2014 г. имеет всего 31% населения, тогда как в странах «глобального севера» эта доля достигает 80% [WorldBank2016]. Это послужило одной из причин включения цели «значительно улучшить доступ к информационным и коммуникационным технологиям, а также стремиться обеспечить универсальный и недорогой доступ в Internet для наименее развитых стран в 2020 г.» в качестве одной из целей устойчивого развития (SDG<sup>1</sup>) [SDG], указанной, как «Goal 9. Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation<sup>2</sup>.»

В этом документе различия между «глобальным севером» и «глобальным югом» в части ICT оцениваются в плане:

- доступности внутренней и международной канальной емкости (полосы), а также оборудования;
- сложности оплаты услуг и устройств, требуемых для доступа к ICT;
- нестабильности и/или нехватки электропитания;
- нехватки квалифицированного персонала;
- наличия политики или нормативно-правовой базы, препятствующей развитию этих моделей в угоду государственным монополиям или должностным лицам.

В этом контексте деятельность ВВУИО<sup>3</sup> [WSIS] направлена на «построение ориентированного на интересы людей, открытого для всех и направленного на развитие информационного общества, в котором каждый мог бы создавать информацию и знания, иметь к ним доступ, пользоваться и обмениваться ими, с тем чтобы дать отдельным лицам, общинам и народам возможность в полной мере реализовать свой потенциал, содействуя своему устойчивому развитию и повышая качество своей жизни». ВВУИО также призывает «правительства, частный сектор, общественные и международные организации» прилагать усилия по преодолению «цифрового разрыва».

Некоторые из дополнительных сетей развернуты на территориях с недостаточным уровнем обслуживания, где сами граждане вынуждены принимать активное участие в разработке и реализации решений ICT. Однако дополнительные сети (например, [Baig]) присутствуют и в странах «глобального севера» в виде альтернативы коммерческим сетям, обслуживаемым крупными операторами.

Консолидация множества дополнительных сетей (например, общественных) создает прецедент для сообществ в поиске решений по обеспечению самим себе экономически приемлемого доступа в сети. Более того, дополнительные сети помогают в преодолении «цифрового разрыва» за счет увеличения человеческого капитала и содействия разработке локализованного информационного наполнения и услуг.

#### 3.1. Городские и сельские территории

Отмеченные в предыдущем параграфе различия наблюдаются не только между странами, но и внутри стран. Особенно заметны эти различия для сельских территорий, в которых живет около 55% населения планеты [IFAD2011] и около 78% населения стран «глобального юга» [ITU2011]. По данным Всемирного банка (World Bank) разрыв между городскими и сельскими территориями уменьшается в плане мобильной телефонной связи, но продолжает увеличиваться в плане доступа в Internet [WorldBank2016].

Хотя полное обобщение не представляется возможным, имеются некоторые общие причины, препятствующие традиционным операторам предоставлять доступ в сельских регионах и служащие стимулом для развертывания на таких территориях альтернативных инфраструктур [Brewer] [Nungu] [Simo\_c]. Например, отмечены значительные задержки [Johnson\_b], которые в отдельные часы могут достигать нескольких секунд.

Предпосылками для развития дополнительных сетей в таких регионах служат:

- низкий уровень доходов, связанный с тем, что местная экономика базируется в основном на натуральном сельском хозяйстве, фермерстве, рыболовстве;
- нехватка или отсутствие базовой инфраструктуры, включая электричество, воду, дороги;
- низкая плотность населения и значительная удаленность или труднодоступность населенных пунктов;
- слабое развитие социальных услуг, включая здравоохранение и образование;
- нехватка образованного и опытного технического персонала и высокая текучесть кадров, связанная с возможностью получить более интересную и перспективную работу в других местах [McMahon];
- высокая стоимость доступа в Internet [Mathee];
- суровая окружающая среда, вызывающая отказы в работе электронных устройств [Johnson\_a], ведущие к снижению надежности работы сетей.

Некоторые из этих факторов усложняют существование дополнительных сетей и предлагаемых ими услуг - нехватка радиочастот, проблемы масштабирования, разнородность оборудования. Тем не менее, распространение дополнительных сетей [Baig] вкупе с наличием недорогих, экономичных по электропитанию и простых беспроводных устройств обеспечили и упростили развертывание и поддержку альтернативных инфраструктур на селе.

<sup>1</sup>Sustainable Development Goals - цели устойчивого развития.

<sup>2</sup>Цель 9. Построение отказоустойчивой инфраструктуры, содействие всесторонней и устойчивой индустриализации, а также стимулирование инноваций.

<sup>3</sup>World Summit of the Information Society - Всемирная Встреча на высшем уровне по вопросам Информационного Общества.

## 3.2. Топологические варианты дополнительных сетей

Дополнительные сети, считающиеся самоуправляемыми и самообслуживаемыми, используют разные топологические модели [Vega\_a]. Обычно рост таких сетей происходит спонтанно и органично, т. е. масштабы сети расширяются без конкретной стратегии планирования и развертывания, а ядро маршрутизации имеет тенденцию роста по степенному закону. Кроме того, эти сети обычно включают множество разнотипных устройств, объединенных общей целью свободного подключения при увеличении области покрытия и надежности сети. Хотя эти характеристики повышают энтропию сети (например, за счет увеличения числа протоколов маршрутизации), они обычно обеспечивают недорогое решение для эффективного расширения сети. Одним из примеров таких сетей может служить Guifi.net [Vega\_a], которая по числу узлов в последнее десятилетие обеспечивала экспоненциальный рост.

Зачастую сельские области в таких сетях соединены по междугородным каналам и/или через беспроводные многосвязные сети (wireless mesh networks), которые, в свою очередь, обеспечивают Internet-подключения к соответствующим компаниям или организациям.

В городских районах, напротив, пользователям обычно нужна общая среда с мобильным доступом. Поскольку такие территории обычно входят в зоны покрытия коммерческих ISP, предоставление беспроводного доступа виртуальными операторами, такими как [Fon], может расширять «пользовательскую емкость» сети. Другие решения, например, «виртуальные публичные сети» (Virtual Public Network) [Sathiseelan\_a] могут также расширять спектр услуг.

## 4. Критерии классификации

В этом разделе описаны критерии классификации дополнительных сетей, используемые в данном документе.

### 4.1. Потребители сетевых услуг

Участниками (потребителями услуг) дополнительных сетей могут быть:

- сообщества пользователей;
- представители общественности;
- частные компании;
- сторонники коллективных моделей;
- сообщества, которые уже владеют инфраструктурой и используют ее совместно с оператором, который, в свою очередь, может применять ее в транспортных целях;
- исследовательские или научные организации.

Перечисленные выше субъекты могут играть разные роли в разработке, финансировании, развитии, управлении и продвижении дополнительной сети. Например, каждый из членов сетевого сообщества (Community Network) является совладельцем сети за счет внесенного им оборудования, а в другом случае всем оборудованием или его значительной частью может владеть некая частная компания.

### 4.2. Назначение сети

Дополнительные сети можно классифицировать по их назначению и преимуществам, которые они обеспечивают по сравнению с традиционными сетями в части экономики, технологий, социальных или политических аспектов. Этими преимуществами пользуются в основном вовлеченные в сеть участники (например, снижение расходов или получение технических навыков), локальное сообщество (например, доступ в Internet на территориях с низким уровнем обслуживания) или общество в целом (например, нейтральный характер сети).

Ниже приведен неполный список преимуществ, которые могут обеспечивать дополнительные сети:

- расширение покрытия в областях с низким уровнем обслуживания (пользователи и сообщества);
- обеспечение приемлемого доступа в Internet для всех;
- снижение стартовых капиталовложений (для сети и конечных пользователей);
- привлечение дополнительных средств (помимо традиционного финансирования оператором);
- снижение операционных расходов (транспортные соединения и сетевое администрирование);
- расширение опыта и обеспечение возможности для экспериментов и обучения;
- упрощение адаптации (например, компьютерной грамотности, образованности в целом, актуальности);
- предоставление дополнительных услуг в случаях природных катастроф и других экстремальных ситуаций;
- построение сообщества, социальная сплоченность, улучшение качества жизни;
- возможность экспериментов с разными моделями владения и управления для сетевой инфраструктуры в целом;
- рост осведомленности о политических дискуссиях по таким вопросам, как сетевой нейтралитет, распространение знаний, доступ к ресурсам и много другое.

Отметим, что различающиеся цели дополнительных сетей могут быть заявлены более или менее явно и могут меняться с течением времени в зависимости от внутренней динамики и внешних обстоятельств. Например, сеть Red Hook WIFI в Бруклине [Redhook] начиналась, как сеть сообщества и фокусировалась в основном на предоставлении локальных услуг в зданиях сообщества [TidePools], но получила впоследствии широкую известность за счет того, что сыграла ключевую роль в качестве дополнительного сервиса во время урагана [Tech] [NYTimes].



Кроме того (особенно для открытых сетей с горизонтальной моделью управления), мотивы вовлеченных в сеть людей могут быть очень разными - от альтруизма, основанного на желании бесплатного совместного использования каналов доступа в Internet, до разных вариантов получения выгоды за счет обретения навыков и опыта при активном участии в развертывании сети и управлении реально работающей сетью.

### 4.3. Модель управления и устойчивости

В дополнительных сетях используются разные модели управления. Они могут меняться от горизонтальных открытых моделей (например, сети сообществ) до централизованных, где единая организация (например, компания) осуществляет планирование и управление сетью даже если сеть (полностью или частично) принадлежит сообществу.

В плане становления некоторые сети растут «естественным образом» за счет подключения новых пользователей, привносящих свое оборудование. В других случаях наличие прежней инфраструктуры (принадлежащей сообществу или пользователям) может снижать капиталовложения оператора, который, благодаря этому, обеспечивает обслуживание с более привлекательными экономическими условиями.

### 4.4. Развернутые технологии

- Стандартные сети Wi-Fi. Многие дополнительные сети работают на основе стандартов IEEE 802.11 [IEEE.802.11] с использованием функции DCF<sup>1</sup>.
- Сеть с протяженными соединениями на основе Wi-Fi (WiLD<sup>2</sup>). Такие сети могут использовать технологию CSMA/CA<sup>3</sup> или TDMA<sup>4</sup> MAC<sup>5</sup> [Simo\_b].
- TDMA. Эта технология может комбинироваться с Wi-Fi нестандартным путем [airMAX], позволяя клиентам передавать и принимать данные с использованием заранее выделенных временных интервалов (timeslot).
- Системы 802.16 WiMax<sup>6</sup> [IEEE.802.16] для работы на открытых (не лицензируемых) частотах.
- Динамические спектральные решения (например, на основе свободных телевизионных частот). Набор выделенных для телевидения и не используемых на данной территории частот, которые могут применять вторичные пользователи (например, IEEE 802.11af [IEEE.802.11AF] или 802.22 [IEEE.802.22]).
- Спутниковые каналы также могут применяться для покрытия значительных территорий, как предложено в проекте RIFE (<https://rife-project.eu/>).
- Недорогие оптоволоконные системы также могут применяться для связи между домовладениями.

### 4.5. Типовое применение

Сценарии развертывания дополнительных сетей можно разделить на:

- городские и сельские территории;
- страны «глобального юга» и «глобального севера».

## 5. Классификация дополнительных сетей

В этом разделе дополнительные сети классифицируются по рассмотренным выше критериям. Каждая из сетей имеет свою структуру стимулов, сети могут иметь технологическое сходство, но гораздо больший интерес вызывают мотивы создания, превратившиеся в инициативы, а также технологические задачи.

В начале каждого параграфа приводится таблица, включающая классификацию данного типа сетей в соответствии с критериями, указанными в разделе 4. Критерии классификации. Рассматриваются также реальные примеры сетей каждого типа.

### 5.1. Общественные сети

Таблица 1. Характеристики сетей сообществ

Сфера охвата сети	Сообщество
Цели создания	Могут присутствовать все цели, отмеченные в параграфе 4.2.
Модель управления и устойчивости	Модель администрирования участниками - децентрализованное и открытое построение и управление, пользователи могут вносить свое оборудование.
Технологии	Wi-Fi [IEEE.802.11] (стандартные и нестандартные) и оптические волокна.
Типовое применение	Городские и сельские территории.

Сети сообществ являются самоуправляемыми, децентрализованными и имеют перечисленные ниже характеристики.

- Могут создаваться и расти естественными путями, открыты для участия всех, принявших открытое соглашение об участии. Члены сообщества обычно непосредственно вносят свои активные (иногда пассивные) элементы сетевой инфраструктуры. Сеть растет за счет добавления новых хостов и каналов.

<sup>1</sup>Distributed Coordination Function - функция распределенной координации.

<sup>2</sup>Wi-Fi-based Long Distance.

<sup>3</sup>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance - множественный доступ в детектированием несущей и предотвращением конфликтов.

<sup>4</sup>Time Division Multiple Access - множественный доступ с разделением во времени.

<sup>5</sup>Media Access Control - контроль доступа к среде передачи.

<sup>6</sup>Worldwide Interoperability for Microwave Access.

- Информация о создании и поддержке сети, а также ее владельцах является открытой и децентрализованной. В сетях разных сообществ можно наблюдать разные уровни централизации. В некоторых сетях может использоваться общая платформа (например, web-сайт), с помощью которой выполняется та или иная координация действий. Обычно имеются члены сообщества с соответствующими полномочиями для организации непосредственного организационного контроля за общей организацией сети (например, адреса IP, маршрутизация и т. п.) в рамках всего сообщества (а не только своего оборудования).
- Сеть может применяться в качестве транспорта для реализации разных услуг и приложений от бесплатных до коммерческих.

Используемые в общественных сетях программы и оборудование могут быть самыми разными даже в рамках одной сети. Сеть может использовать как кабельные, так и беспроводные соединения. Одновременно в сети может применяться множество протоколов маршрутизации и систем управления сетевой топологией.

Такие сети растут естественным путем, поскольку они формируются за счет объединения узлов, принадлежащих разным пользователям. Достаточно минимального управления сетью в плане координации адресов IP, маршрутизации и т. п. Некоторые примеры общественных сетей описаны в работе [Vraem]. Технологический анализ общественных сетей в [Vega\_b] фокусируется на технологическом разнообразии, топологических характеристиках, развитии сетей с течением времени, отказоустойчивости и надежности, а также доступности сетевых услуг.

В таких сетях используется модель администрирования самими участниками, которая может эффективно работать в пространственно распределенных сетях, повышая, таким образом, возможности доступа в Internet.

Через пользователей, добавляющих новую инфраструктуру (т. е., расширяющих сеть), можно сформулировать иное определение общественной сети - это сеть, в которой любой участник может добавить дополнительные сегменты каналов таким образом, чтобы эти новые сегменты могли поддерживать множество узлов и обеспечивать такие же характеристики, как у сети в целом, включая возможности дальнейшего расширения сети. После подключения таких сегментов к сети новая сеть не будет существенно отличаться от предшествующей. Термин «участник» в данном случае означает человека, который может выступать пользователем, провайдером и управляющим сетью одновременно.

В общественных сетях прибыль может обеспечиваться только за счет предложения услуг, выходящих за рамки простого предоставления инфраструктуры, поскольку та является нейтральной, свободной и открытой (традиционные провайдеры Internet основывают свой бизнес на управлении инфраструктурой). В общественных сетях каждый участник обычно сохраняет права собственности на предоставленное им оборудование или отдает права управления им сети в целом, иногда даже с потерей прав собственности в пользу сообщества.

Большинство общественных сетей соответствуют определению свободных сетей (Free Network), приведенному в параграфе 2.

## 5.2. Провайдеры беспроводного доступа в Internet (WISP)

Таблица 2. Характеристики сетей WISP

Сфера охвата сети	Компания.
Цели создания	Обслуживание территорий с недостаточным уровнем сервиса для снижения капиталовложений в систему доступа в Internet и привлечения дополнительных источников средств.
Модель управления и устойчивости	Управляется компанией, предоставившей оборудование, используется модель централизованного управления.
Технологии	Беспроводные (например, [IEEE.802.11], [IEEE.802.16] и нелицензируемые частоты).
Типовое применение	Сельская местность (имеются и городские реализации).

Провайдеры WISP предоставляют на коммерческой основе услуги беспроводного доступа в Internet и/или телефонной связи через сеть Internet (VoIP<sup>1</sup>). Такие операторы чаще всего встречаются на территориях, где нет услуг традиционных телекоммуникационных компаний и ISP. Провайдеры WISP используют в основном беспроводные каналы типа «точка-много точек» на основе открытых (не лицензируемых) частот, но могут работать и в лицензируемых частотных диапазонах. Применение лицензированных частот распространено на территориях, где свободных нелицензируемых частот нет, либо они не обеспечивают достаточной для коммерческих услуг надежности.

Большинство WISP являются локальными компаниями, создаваемыми для заполнения рыночных брешей. Есть небольшое, но растущее число WISP (типа [Airjaldi] в Индии), которые из локальных переросли в региональные.

Начиная с 2006 г. стало возможным создание «облачных» WISP на базе оборудования таких компаний, как [Meraki], [OpenMesh] и др. Однако до недавнего времени все такие провайдеры работали на рынках «глобального севера». В 2014 г. «облачные» услуги WISP начали появляться и на рынках «глобального юга» [Everylayer].

## 5.3. Модель с совместно используемой инфраструктурой

В традиционных сетях оператор обычно владеет телекоммуникационной инфраструктурой, требуемой для обслуживания клиентов, или арендует ее у других компаний, а может также предоставлять в аренду свою инфраструктуру. На больших территориях с малой плотностью населения возникает проблема, когда ни оператор, ни другие компании не имеют развернутой инфраструктуры и ее появление не очевидно по причине потенциально низкой отдачи от капиталовложений.

<sup>1</sup>Voice over Internet.

Таблица 3. Характеристики сетей с общей инфраструктурой

Сфера охвата сети	Компании и пользователи.
Цели создания	Устранение барьера капиталовложений (для операторов); снижение операционных расходов (переносится на сообщество); расширение областей покрытия.
Модель управления и устойчивости	Сообщество передает оператору в аренду существующую инфраструктуру.
Технологии	Беспроводные соединения на нелицензируемых частотах, мобильные фемто-соты, сети WiLD [WiLD] и недорогие оптические волокна.
Типовое применение	Сельские территории, большей частью в регионах «глобального юга».

Когда пользователи сами владеют инфраструктурой (индивидуально или сообществом), совместное использование такой инфраструктуры с оператором может обеспечить преимущества обеим сторонам и такое решение может быть эффективным в некоторых регионах. Для оператора совместное использование инфраструктуры обеспечивает значительное снижение начальных капиталовложений для предоставления услуг в небольших сельских поселениях, поскольку он будет тратить лишь на создание сети доступа. Предоставление пользовательской сети для транзита оператору лишь повысит эксплуатационные расходы. Такая модель дает также двойное преимущество пользователям, получающим дополнительный доступ к телекоммуникационным услугам, которые раньше не были доступны, и возможность получить от оператора некоторые средства, которые компенсируют рост операционных расходов (в частности, на поддержку сети).

Одним из ярких примеров потенциала модели с совместно используемой инфраструктурой сегодня является развертывание услуг 3G в сельской местности, где имеются широкополосные общественные сети. Благодаря использованию фемтосот (компактные и недорогие базовые станции сотовой связи) обеспечивается полнофункциональное техническое решение для недорогого покрытия 3G с использованием Internet в качестве обратного канала. Если пользователь или группа пользователей имеют сеть IP, подключенную к Internet каналом с достаточной пропускной способностью, установка фемтосот около пользователей обеспечивает преимущества как оператору, так и пользователям, которые получают более качественное покрытие, а оператору не требуется организация дорогостоящей транзитной инфраструктуры. Хотя эта парадигма разрабатывалась для улучшения сетевого покрытия внутри зданий, решение подходит для организации 3G-покрытия в сельских районах с невысокой плотностью населения (например, в деревнях), где число одновременных пользователей и размер области обслуживания достаточно малы и подходит для использования фемтосот. Порождаемый такой фемтосотой трафик можно без проблем транспортировать через широкополосную сеть.

Некоторые реальные примеры можно видеть в проекте TUCAN3G, где была развернута демонстрационная сеть в двух регионах амазонских лесов в Перу [Simo\_d]. В этих сетях [Simo\_a] оператор и несколько сельских кооперативов объединили свои усилия для организации доступа через сельские сети, построенные на базе каналов WiLD [WiLD]. В этих случаях сети относятся к общедоступной системе здравоохранения и были развернуты с участием международных фондов сотрудничества в области телемедицины. Публикации, обосновывающие целесообразность такого подхода, можно найти на упомянутом web-сайте.

## 5.4. Сети с совместным использованием беспроводных систем

Таблица 4. Характеристики сетей с совместным использованием беспроводных систем

Сфера охвата сети	Сообщество, открытые посредники, частные компании, лица, поддерживающие модель совместного использования.
Цели создания	Совместное использование подключений и ресурсов.
Модель управления и устойчивости	Пользователи сообщают расходы сетевые ресурсы при координации со стороны виртуального оператора (VNO); могут применяться разные модели в зависимости от природы VNO.
Технологии	Wi-Fi [IEEE.802.11].
Типовое применение	Городские и сельские территории.

Такую сеть можно определить, как совокупность узлов, владельцы которых связаны общим интересом (например, связность, ресурсы, периферийные устройства), независимо от их физического расположения. Такие сети следуют простой модели - домашний маршрутизатор поддерживает две беспроводных сети, одна из которых обычно используется владельцем, а другая отдана в общее пользование. Небольшая часть пропускной способности выделяется для публичной сети, чтобы любой близко расположенный пользователь мог подключиться к сети. Некоторые примеры таких сетей описаны в [PAWS] и [Sathiseelan\_c]. Другим примером могут служить сети, создаваемые и поддерживаемые городским самоуправлением (например, [Heer]). Openwireless movement (<https://openwireless.org/>) также продвигает идею совместного использования частных беспроводных сетей.

Некоторые компании [Fon] также продвигают маршрутизаторы Wi-Fi с двойным доступом - одна сеть для личного пользования, другая для общего. Реализация адекватных правил AAA<sup>1</sup> позволяет пользователям подключаться к сети разными способами - можно купить маршрутизатор, отдав другим пользователям возможность подключения к его внешней сети, а можно просто подключаться ко всем маршрутизаторам сообщества. Некоторые пользователи могут даже получать тот или иной доход при каждом подключении других пользователей к их точке доступа Wi-Fi. Пользователи, не входящие в сообщество, могут просто покупать возможность доступа в сеть. Некоторые традиционные операторы связи сотрудничают с такими сообществами, добавляя функциональность, требуемую для создания двух сетей доступа в своих беспроводных маршрутизаторах. Описание таких случаев можно найти в [Shi].

Ниже кратко описаны элементы, вовлеченные в работу сетей этого типа.

<sup>1</sup>Authentication, Authorization, and Accounting - аутентификация, проверка полномочий и учет.



- Интерес. Параметр, способный обеспечить степень (цену) привлекательности узла в конкретном месте, в определенное время.
- Ресурсы. Физические или виртуальные элементы системы (например, пропускная способность, энергия, данные) и устройства.
- Владелец. Конечный пользователь, который согласился на обслуживание и передачу в общее пользование своей сетевой емкости. В качестве ответной меры пользователи могут получать бесплатный доступ к сетевым возможностям других пользователей. Владелец может быть конечный пользователь или организация (например, оператор, виртуальный мобильный оператор, муниципалитет), отвечающие за любые действия, относящиеся к их устройству.
- Пользователь. Физическое или юридическое лицо, использующее или запрашивающее публично доступные услуги электронных коммуникаций для личных или служебных целей без обязательной подписки на такие услуги.
- Виртуальный оператор (VNO). Лицо, выполняющее некоторые функции сетевого координатора. К таким функциям могут относиться начальная аутентификация или регистрация и, в конечном счете, хранение сведений о доверительных отношениях. VNO не является ISP в том смысле, что виртуальный оператор не предоставляет доступа в Internet (например, инфраструктуры). VNO также не является ASP<sup>1</sup>, поскольку не предоставляет услуг для пользователей. VNO может быть посредником с социально-экологическими целями. Это могут быть органы местной власти, сообщества пользователей, благотворительные организации или даже операторы контента. Это может быть кто угодно, обеспечивающий указанный выше сервис.
- Сетевой оператор. Организации, заинтересованные в сдаче в аренду неиспользуемых мощностей [Sathiaselan\_b] по невысокой цене виртуальным операторам VNO.

VNO платят сетевым операторам и владельцам, создавая таким образом структуру для всех участников процесса - конечные пользователи получают деньги за обобществление их сетей, а операторы получают деньги от VNO за решение социально-экологических задач.

## 5.5. Сети сельских коммунальных кооперативов

Таблица 5. Характеристики сетей сельских коммунальных кооперативов

Сфера охвата сети	Сельский кооператив.
Цели создания	Предоставление услуг на не обслуживаемых территориях и снижение капиталовложений для обеспечения доступа в Internet.
Модель управления и устойчивости	Кооперативы заключают партнерские соглашения с ISP, которые управляют сетью.
Технологии	Кабельные (оптика) и беспроводные.
Типовое применение	Сельская местность.

Кооперативы в сфере коммунального хозяйства (utility cooperative) обеспечивают своим членам предоставление коммунальных услуг. Например, в США сельские кооперативы обеспечивают электроснабжение, начиная с 1930-х годов, прежде всего в регионах, где крупные операторы электросетей не обеспечивают сервиса по причине недостаточной эффективности капиталовложений. Аналогично этому во многих регионах с малой плотностью населения традиционные ISP, такие как телефонные компании или операторы сетей кабельного телевидения, не предлагают услуг доступа или обеспечивают лишь низкоскоростные каналы DSL. Некоторые сельские кооперативы, занимающиеся электроснабжением, начали прокладку оптических линий для своих приложений smart grid и в процессе этого поняли, что могут обеспечивать своим членам широкополосный доступ почти без дополнительных расходов [Cash]. В некоторых из таких случаев кооперативы электроснабжения заключили партнерские соглашения с местными ISP для обеспечения своим членам доступа в Internet [Carlson]. Дополнительную информацию о таких кооперативах и управлении ими можно найти в [NewMexico] и [Mitchell].

## 5.6. Тестовые и исследовательские сети

Таблица 6. Характеристики тестовых сетей

Сфера охвата сети	Исследовательские и научные организации.
Цели создания	Исследования.
Модель управления и устойчивости	Управление изначально координируется научной организацией, но могут использоваться и другие модели.
Технологии	Кабельные и беспроводные.
Типовое применение	Городские и сельские территории.

В некоторых случаях инициатором создания сети является не сообщество, а исследовательская организация (например, университет), создающая сеть с целью проведения тех или иных исследований [Samanta] [Bernardi].

Администрирование таких сетей на начальном этапе в большинстве случаев централизовано (научная организация), но может стать позднее децентрализованным, когда другие организации или люди станут участвовать в процессах управления (см., например, [Rey]).

<sup>1</sup>Application Service Provider.

## 6. Используемые технологии

### 6.1. Кабельные

Во многих странах («глобального севера» и «глобального юга») наблюдаются случаи, когда национальные сервис-провайдеры не хотят заниматься обслуживанием мелких или удаленных поселений. В некоторых случаях население таких изолированных мест создает свои оптические сети. Примерами могут служить Lowenstedt в Германии [Lowenstedt], а также некоторые части сети Guifi.net [Cerdà-Alabern].

### 6.2. Беспроводные

Большинство дополнительных сетей работают на основе тех или иных беспроводных технологий [WNDW]. Ниже рассмотрены варианты и тенденции применения этих технологий в дополнительных сетях.

#### 6.2.1. Протоколы MAC для беспроводных каналов

В дополнительных сетях широко применяются различные протоколы управления доступом к среде (MAC), которые также включают рекомендации физического уровня (PHY). Стандарты беспроводных сетей обеспечивают взаимодействие и применимость для разработки, развертывания и управления беспроводными сетями. Кроме того, обеспечивается невысокая цена на оборудование за счет снижения расходов при массовом производстве.

Стандарты, используемые в большинстве дополнительных сетей, разработаны в рамках комитета по стандартам IEEE рабочей группой IEEE 802. Применяются также стандарты, разработанные другими международными организациями, например, ETSI<sup>1</sup>.

##### 6.2.1.1. 802.11 (Wi-Fi)

Наиболее интересен стандарт 802.11 a/b/g/n/ac, определяющий протокол для беспроводных ЛВС (Wireless LAN) и известный также как Wi-Fi. Первый вариант стандарта (a/b) был выпущен в 1999 году и поддерживал скорости до 54 Мбит/с. Последний вариант стандарта (802.11ac) выпущен в 2013 году и позволяет работать со скоростями до 866,7 Мбит/с. В 2012 году был введен стандарт IEEE 802.11, объединивший все предшествующие поправки [IEEE.802.11]. Документ можно загрузить с сайта IEEE Standards Association [IEEE].

В качестве протокола MAC для 802.11 используется CSMA/CA, который был разработан для коротких дистанций - передатчик ожидает приема подтверждения каждого отправленного unicast-пакета и при отсутствии такого подтверждения в течение некоторого времени, повторяет передачу. Для работы 802.11 на длинных каналах некоторые параметры MAC пришлось изменить [Simo\_b]. Но даже после таких изменений увеличение протяженности соединений ведет к значительному снижению производительности. По этой причине многие производители в дополнение к стандарту CSMA/CA предлагали другие методы управления доступом к среде в своем оборудовании 802.11, предназначенном для работы вне помещений. В этих фирменных протоколах MAC обычно использовался тот или иной вариант TDMA. Недорогое оборудование, использующее такие методы, обеспечивает высокую производительность даже на расстояниях более 100 километров.

Разные спецификации 802.11 работают в различных частотных диапазонах. 802.11b/g/n использует диапазон 2,4 ГГц, а 802.11a/n/ac - 5 ГГц. Эта особенность в некоторых дополнительных сетях применяется для разделения обычных и «магистральных» узлов.

- Обычные маршрутизаторы работают в домах, офисах и местах общего пользования в диапазоне 2,4 ГГц.
- Специальные маршрутизаторы используют обычное ПО, но поддерживают также возможность широковещания и приема в диапазоне 5 ГГц для организации соединений «точка-точка». Это полезно для создания опорной сети, соединяющей соседние устройства при невозможности организовать между ними соединение в диапазоне 2,4 ГГц и обеспечить узлам 2,4 ГГц надежную и стабильную связь с остальной сетью.

##### 6.2.1.2. Технологии мобильной связи

Система GSM<sup>2</sup> от ETSI также используется в дополнительных сетях в качестве одной из технологий канального уровня, как описано в [Mexican], [Village] и [Heimerl]. Были реализованы проекты GSM с открытым кодом, такие как OpenBTS (<http://openbts.org>) и OpenBSC (<http://openbsc.osmocom.org/trac/>), при участии ряда компаний (например, [RangenetWORKS], [Endaga] и [YateBTS]). Это позволяет разворачивать службы голосовой связи, SMS и доступа в Internet через дополнительные сети с обратным каналом на базе IP.

Доступ в Internet обычно ограничен сравнительно невысокими скоростями (см., например, [Osmocom]). Однако развитие стандартов 3GPP<sup>3</sup>, а также наблюдаемые тенденции в направлении интеграции с функциональностью 4G [Spectrum] [YateBTS] и 5G [Openair] могут обеспечить значительный рост доступных скоростей.

В зависимости от доступности частотных диапазонов и других факторов работа на лицензируемых диапазонах может обеспечивать преимущества по сравнению с высокочастотными системами Wi-Fi в плане распространения сигналов и, следовательно, области покрытия. Другими благоприятными факторами для технологий 3GPP (в частности, GSM) являются малая стоимость и низкое энергопотребление мобильных устройств, что может играть важную роль в преимуществах с низким уровнем доходов.

##### 6.2.1.3. Динамическое использование свободных частот

В некоторых дополнительных сетях используются частоты телевидения [Lysko] в диапазонах метровых и дециметровых волн, которые не заняты телевизионными компаниями. Для таких сетей нужно специальное оборудование, которое может детектировать свободные телевизионные частоты (либо из базы данных, либо по анализу спектра), чтобы не создавалось помех телевизионному вещанию. Для эффективного выделения свободных частот сетевым устройствам используются специальные приемники (cognitive radio), которые могут менять частоту и метод модуляции в соответствии со строгими требованиями для вторичного применения телевизионных частот.

<sup>1</sup>European Telecommunications Standards Institute - Европейский институт телекоммуникационных стандартов.

<sup>2</sup>Global System for Mobile Communications - глобальная система для мобильной связи.

<sup>3</sup>Third Generation Partnership Project - проект партнерства третьего поколения.

Термин «свободные частоты» (White Spaces) используется обычно для обозначения не занятых телевизионных частот (TV White Spaces), поскольку для вторичного применения обычно служат метровый и дециметровый диапазон телевизионных частот. Имеется два основных стандарта работы на свободных телевизионных частотах - (i) IEEE 802.11af [IEEE.802.11AF], являющийся адаптацией стандарта 802.11 для телевизионных частот, и (ii) IEEE 802.22 [IEEE.802.22] для дальней связи в сельских районах.

#### 6.2.1.3.1. 802.11af

802.11af [IEEE.802.11AF] является измененной версией стандарта 802.11 для работы на свободных телевизионных частотах с использованием технологии cognitive radio для предотвращения частотных конфликтов. Этот стандарт, введенный в действие в феврале 2014 года, часто называют White-Fi или Super Wi-Fi. 802.11af содержит множество усовершенствований стандартов серии 802.11, включая недавние нововведения 802.11ac, такие как 4 связанных канала, 4 пространственных потока и высокоскоростная модуляция 256 QAM<sup>1</sup> с улучшенным проникновением внутри помещений и покрытием вне помещений. Максимальная скорость передачи данных составляет 426,7 Мбит/с для стран с каналами 6/7 МГц и 568,9 Мбит/с для стран с каналами 8 МГц. Зона покрытия обычно имеет радиус 1 км, хотя возможно увеличение дальности за счет снижения скорости и использования антенн с большим усилением.

Устройства делятся на разрешающие (enabling) станции (точка доступа - AP) и зависимые станции (клиент). Разрешающим станциям предоставлены полномочия управления работой зависимых станций и безопасного доступа в базы данных геолокации. После того, как разрешающая станция получает список доступных каналов, она может анонсировать зависимым станциям доступный канал, по которому они будут работать в дальнейшем. 802.11af также использует зарегистрированный сервер местоположений, представляющий собой базу данных с местами расположения и рабочими параметрами всех разрешающих станций.

#### 6.2.1.3.2. 802.22

Стандарт 802.22 [IEEE.802.22] разработан специально для коммуникаций в сельской местности при больших расстояниях на свободных телевизионных частотах и был введен в действие в июле 2011 года. Стандарт похож на 802.16 (WiMax) [IEEE.802.16], но в дополнение поддерживает технологию поиска свободных частот cognitive radio. Максимальная пропускная способность 802.22 составляет 22,6 Мбит/с на один канал с полосой 8 МГц при использовании модуляции 64-QAM. Дальность с принятой по умолчанию схемой MAC составляет 30 км и может быть увеличена до 100 при использовании специальных методов контроля доступа к среде. Уровень MAC в 802.22 специально доработан с учетом большой протяженности соединений, в частности слоты кадра, рассчитанные на более дальнедействующее оборудование CPE<sup>2</sup>, передаются до слотов для CPE, работающих на коротких дистанциях.

Базовые станции должны иметь приемник GPS<sup>3</sup> и подключение к Internet для запросов к геолокационной базе свободных частот. Когда базовая станция получает разрешенные для использования телевизионные каналы, она выбирает предпочтительный канал для связи с устройствами CPE. Стандарт также включает специальный механизм маркеров (beacon), позволяющий базовым станциям 802.22 узнавать о наличии базовых станций других сетей.

## 7. Вышележащие уровни

### 7.1. Сетевой уровень (L3)

#### 7.1.1. Адресация IP

В большинстве общественных сетей используются адреса IPv4 из диапазонов, выделенных для частных сетей в [RFC1918]. Основными причинами этого являются снижение расходов и упрощение распределения адресов IP за счет большого размера адресных блоков.

Многие дополнительные сети начали свою работу около 2000 г. К тому времени спецификация IPv6 уже была завершена, но в большинстве дополнительных сетей используется IPv4. Опрос [Avonts] показал, что переход на IPv6 является проблемой для сетей сообществ. Однако некоторые из таких сетей уже перешли на новый протокол (например, [ninux.org](http://ninux.org)).

#### 7.1.2. Протоколы маршрутизации

Как было отмечено выше, в дополнительных сетях зачастую используются различающиеся на канальном уровне (L2) устройства. Соединения между разнотипными устройствами не гарантируются и стабильность каналов может существенно меняться с течением времени. Для решения этой проблемы в некоторых из дополнительных сетей применяются протоколы маршрутизации для сетей MANET<sup>4</sup>, хотя в других сетях применяются традиционные протоколы маршрутизации. В некоторых сетях параллельно используется множество протоколов маршрутизации. Например, внутри отдельных «островов» могут применяться mesh-протоколы, а между «островами» - традиционные.

##### 7.1.2.1. Традиционные протоколы маршрутизации

Протокол BGP<sup>5</sup>, определенный в [RFC4271], используется во многих дополнительных сетях большого размера, благодаря предсказуемости его поведения и расширяемости. Аналогичными причинами обусловлено использование в более мелких сетях протокола OSPF<sup>6</sup>, определенного в [RFC2328].

<sup>1</sup>Quadrature Amplitude Modulation - квадратурная амплитудная модуляция.

<sup>2</sup>Consumer Premises Equipment - оборудование, установленное у пользователей.

<sup>3</sup>Global Positioning System - глобальная система позиционирования.

<sup>4</sup>Mobile Ad Hoc Network

<sup>5</sup>Border Gateway Protocol - протокол граничного шлюза.

<sup>6</sup>Open Shortest Path First - сначала кратчайший путь.

### 7.1.2.2. Mesh-протоколы маршрутизации

Во многих дополнительных сетях используются фирменные версии протокола OLSR<sup>1</sup> [RFC3626]. В рамках открытого проекта [OLSR] этот протокол был расширен путем добавления метрики ETX<sup>2</sup> [Couto] и других функций, востребованных в дополнительных сетях (в частности, беспроводных). В некоторых общественных сетях используется [Barz] новая версия протокола OLSRv2 [RFC7181].

V.A.T.M.A.N.<sup>3</sup> Advanced [Seither] представляет собой «протокол маршрутизации канального уровня» (L2), который создает сети с мостами и поддерживает плавные переходы клиентов между беспроводными точками доступа.

В некоторых сетях используется также протокол BMX6<sup>4</sup> [Neumann\_a], работающий на основе IPv6 и пытающийся применять социальную структуру дополнительных сетей.

Babel [RFC6126] представляет собой протокол на основе вектора удаления (distance-vector) с предотвращением петель, обеспечивающий отказоустойчивость и эффективность в кабельных и беспроводных mesh-сетях.

В работе [Neumann\_b] представлены результаты исследования трех протоколов маршрутизации для mesh-сетей (BMX6, OLSR, Babel) в части расширяемости, производительности и стабильности.

## 7.2. Транспортный уровень

### 7.2.1. Управление трафиком при совместном использовании сетевых ресурсов

При совместном использовании сетевых ресурсов (например, в сетях, описанных в параграфе 5.4) требуются специальные меры для управления трафиком на верхних уровнях. С точки зрения общего доступа с учетом обычных соединений TCP в моменты критической загрузки точки доступа явно станут узким местом в сети.

Это одна из основных проблем тех, кто предоставляет ресурсы в общее пользование, и она имеет несколько решений. В некоторых случаях адекватный механизм активного управления очередями (AQM<sup>5</sup>) с поддержкой политики LBE<sup>6</sup> [RFC6297] позволяет защитить предоставившего ресурс в общее пользование. Для обеспечения поведения LBE требуется подобающая настройка общеизвестных механизмов, таких как ECN<sup>7</sup> [RFC3168], RED<sup>8</sup> [RFC7567], или более новых механизмов AQM, обеспечивающих малые задержки, типа CoDel<sup>9</sup> [CoDel] и PIE<sup>10</sup> [PIE].

## 7.3. Обеспечиваемые услуги

В этом параграфе приведен краткий обзор услуг, обеспечиваемых сетями. Многие дополнительные сети могут рассматриваться как автономные системы, являющиеся (или стремящиеся стать) частью Internet.

Ниже приведен список услуг, которые могут предлагаться в дополнительных сетях. В реальности список услуг может быть шире.

- доступ к Web-страницам;
- электронная почта;
- удаленный рабочий стол (например, для использования домашнего компьютера и его соединения с Internet при нахождении за пределами дома);
- доступ к файлам по протоколу FTP (например, распространение программ или цифровых документов);
- телефонная связь VoIP (например, SIP);
- совместное использование файлов (P2P - Peer-to-Peer);
- видео-камеры с публичным доступом;
- DNS;
- игровые серверы;
- обмен сообщениями Jabber;
- служба погоды;
- мониторинг сети;
- видеоконференции и потоковое видео;
- радиовещание;
- доски объявлений;
- локальные облачные службы.

<sup>1</sup>Optimized Link State Routing - оптимизированная маршрутизация по состоянию каналов.

<sup>2</sup>Expected Transmission Count - ожидаемое число передач.

<sup>3</sup>Better Approach To Mobile Ad Hoc Networking.

<sup>4</sup>BatMan-eXperimental Version 6.

<sup>5</sup>Active Queue Management.

<sup>6</sup>Less-than-Best-Effort.

<sup>7</sup>Explicit Congestion Notification - упреждающее уведомление о перегрузке.

<sup>8</sup>Random Early Detection - случайное упреждающее детектирование.

<sup>9</sup>Controlled Delay - контролируемая задержка.

<sup>10</sup>Proportional Integral controller Enhanced.



По причине ограничений в пропускной способности некоторые службы (совместное использование файлов, VoIP и т. п.) могут не поддерживаться в дополнительных сетях. В некоторых из таких случаев для пользователей web могут применяться прокси-серверы.

Для дополнительных сетей был разработан ряд специализированных услуг:

- партнерские связи и VPN между сетями и (например, <https://wiki.freifunk.net/IC-VPN>);
- ориентированные на сообщество порталы (например, <http://tidepools.co/>);
- платформы для развертывания, мониторинга и обслуживания сетей;
- совместное использование VoIP в нескольких сетях для снижения расходов на международную связь;
- сенсорные сети и встроенные в устройства датчики;
- общественное теле- и радиовещание

В некоторых дополнительных сетях могут предоставляться и другие услуги (например, местные wiki на порталах сообществ типа <https://localwiki.org>), которые повышают уровень полезности дополнительных сетей, хотя и не разрабатывались специально для них.

### 7.3.1. Использование VPN

Некоторые «микро-ISP» могут использовать сеть в качестве обратного канала для предоставления доступа в Internet путем организации VPN между клиентской машиной и машиной с доступом в Internet.

Во многих сетях сообществ VPN используются для объединения множества не соединенных между собой частей в единую сеть. В некоторых других сетях каждый узел может организовывать туннели VPN.

### 7.3.2. Другие возможности

В дополнительных сетях могут использоваться также другие серверы (например, NTP или IRC<sup>1</sup>).

## 7.4. Вопросы безопасности

Этот документ не связан с вопросами безопасности.

## 8. Литература

- [Airjaldi] AirJaldi Networks, "Airjaldi Service", 2015, <<https://airjaldi.com/>>.
- [airMAX] Ubiquiti Networks, Inc., "airMAX", 2016, <<https://www.ubnt.com/broadband/>>.
- [Avonts] Avonts, J., Braem, B., and C. Blondia, "A Questionnaire based Examination of Community Networks", IEEE 9<sup>th</sup> International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), pp. 8-15, DOI 10.1109/WiMOB.2013.6673333, October 2013.
- [Baig] Baig, R., Roca, R., Freitag, F., and L. Navarro, "guifi.net, a crowdsourced network infrastructure held in common", Computer Networks, Vol. 90, Issue C, pp. 150-165, DOI 10.1016/j.comnet.2015.07.009, October 2015.
- [Barz] Barz, C., Fuchs, C., Kirchhoff, J., Niewiejska, J., and H. Rogge, "OLSRv2 for Community Networks", Computer Networks, Vol. 93, Issue P2, pp. 324-341, December 2015, <<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2015.09.022>>.
- [Bernardi] Bernardi, B., Buneman, P., and M. Marina, "Tegola Tiered Mesh Network Testbed in Rural Scotland", Proceedings of the 2008 ACM workshop on Wireless networks and systems for developing regions, pp. 9-16, DOI 10.1145/1410064.1410067, 2008.
- [Braem] Braem, B., Baig Vinas, R., Kaplan, A., Neumann, A., Vilata i Balaguer, I., Tatum, B., Matson, M., Blondia, C., Barz, C., Rogge, H., Freitag, F., Navarro, L., Bonicioli, J., Papathanasiou, S., and P. Escrich, "A Case for Research with and on Community Networks", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 43, Issue 3, pp. 68-73, DOI 10.1145/2500098.2500108, July 2013.
- [Brewer] Brewer, E., Demmer, M., Du, B., Ho, M., Kam, M., Nedeveschi, S., Pal, J., Patra, R., Surana, S., and K. Fall, "The Case for Technology in Developing Regions", IEEE Computer Society, Vol. 38, Issue 6, pp. 25-38, DOI 10.1109/MC.2005.204, 2005.
- [Carlson] Carlson, S. and C. Mitchell, "RS Fiber: Fertile Fields for New Rural Internet Cooperative", Institute for Local Self-Reliance and Next Century Cities, April 2016, <<https://ilsr.org/wp-content/uploads/downloads/2016/04/rs-fiber-report-2016.pdf>>.
- [Cash] Cash, C., "CO-MO'S D.I.Y. Model for Building Broadband", National Rural Electric Cooperative Association (NRECA), November 2015, <<http://remagazine.coop/co-mo-broadband/>>.
- [Cerde-Alabern] Cerde-Alabern, L., "On the topology characterization of Guifi.net", Proceedings of the IEEE 8th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), pp. 389-396, DOI 10.1109/WiMOB.2012.6379103, October 2012.
- [CoDel] Nichols, K., Jacobson, V., McGregor, A., and J. Iyengar, "Controlled Delay Active Queue Management", Work in Progress, draft-ietf-aqm-codel-04<sup>2</sup>, June 2016.

<sup>1</sup>Internet Relay Chat.

<sup>2</sup>Работа завершена и опубликована в RFC 8289.



- [Couto] De Couto, D., Aguayo, D., Bicket, J., and R. Morris, "A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing", *Wireless Networks*, Vol. 11, Issue 4, pp. 419-434, DOI 10.1007/s11276-005-1766-z, July 2005.
- [Endaga] Allevan, M., "Endaga raises \$1.2M to help it bring cellular to remote villages", *FierceWireless Tech News*, December 2014, <<http://www.fiercewireless.com/tech/story/endaga-raises-12m-help-it-bring-cellular-remote-villages/2014-12-03>>.
- [Everylayer] Everylayer, Inc. (ранее Volo Broadband), "Everylayer", 2015, <<http://www.everylayer.com/>>.
- [Fon] Fon, "Fon is the Global WiFi Network", 2014, <<https://corp.fon.com/en>>.
- [GAIA] Internet Research Task Force, "Charter: Global Access to the Internet for All Research Group (GAIA)", 2016, <<https://irtf.org/gaia>>.
- [Heer] Heer, T., Hummen, R., Viol, N., Wirtz, H., Gotz, S., and K. Wehrle, "Collaborative municipal Wi-Fi networks--challenges and opportunities", 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), pp. 588-593, DOI 10.1109/PERCOMW.2010.5470505, 2010.
- [Heimerl] Heimerl, K., Shaddi, H., Ali, K., Brewer, E., and T. Parikh, "Local, sustainable, small-scale cellular networks", In *ICTD 2013*, Cape Town, South Africa, DOI 10.1145/2516604.2516616, 2013.
- [IEEE] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), "IEEE Standards Association", <<https://standards.ieee.org/>>.
- [IEEE.802.11] IEEE, "IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks-Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", IEEE 802.11-2012, DOI 10.1109/ieeestd.2012.6178212, April 2012, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>>.
- [IEEE.802.11AF] IEEE, "IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications - Amendment 5: Television White Spaces (TVWS) Operation", IEEE 802.11af-2013, DOI 10.1109/ieeestd.2014.6744566, February 2014, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11af-2013.pdf>>.
- [IEEE.802.16] IEEE, "IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Broadband wireless metropolitan area networks (MANs) - IEEE Standard for Air Interface for Broadband Wireless Access Systems", IEEE 802.16-2012, DOI 10.1109/ieeestd.2012.6272299, August 2012, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2012.pdf>>.
- [IEEE.802.22] IEEE, "IEEE Standard for Information technology--Local and metropolitan area networks--Specific requirements--Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands", IEEE 802.22-2011, DOI 10.1109/ieeestd.2011.5951707, July 2011, <<http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=5951705>>.
- [IFAD2011] International Fund for Agricultural Development (IFAD), "Rural Poverty Report 2011", ISBN 978-92-9072-200-7, 2011.
- [InternetStats] Internet World Stats, "World Internet Users and 2015 Population Stats", <<http://www.internetworldstats.com/stats.htm>>.
- [ITU2011] International Telecommunication Union, "World Telecommunication/ICT Indicators Database - 2011", <<http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/wtid.aspx>>.
- [Johnson\_a] Johnson, D. and K. Roux, "Building Rural Wireless Networks: Lessons Learnt and Future Directions", In *Proceedings of the ACM workshop on Wireless networks and systems for developing regions*, pp. 17-22, DOI 10.1145/1410064.1410068, 2008.
- [Johnson\_b] Johnson, D., Pejovic, V., Belding, E., and G. van Stam, "Traffic Characterization and Internet Usage in Rural Africa", In *Proceedings of the 20th International Conference Companion on World Wide Web*, pp. 493-502, DOI 10.1145/1963192.1963363, 2011.
- [Lowenstedt] Huggler, J., "German villagers set up their own broadband network", June 2014, <<http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/europe/germany/10871150/German-villagers-set-up-their-own-broadband-network.html>>.
- [Lysko] Lysko, A., Masonta, M., Mofolo, M., Mfupe, L., Montsi, L., Johnson, D., Mekuria, F., Ngwenya, D., Ntlatlapa, N., Hart, A., Harding, C., and A. Lee, "First large TV white spaces trial in South Africa: A brief overview", 6<sup>th</sup> International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), pp. 407-414, DOI 10.1109/ICUMT.2014.7002136, October 2014.
- [Mathee] Mathee, K., Mweemba, G., Pais, A., Stam, V., and M. Rijken, "Bringing Internet connectivity to rural Zambia using a collaborative approach", *International Conference on Information and Communication Technologies and Development*, pp. 1-12, DOI 10.1109/ICTD.2007.4937391, 2007.
- [McMahon] McMahon, R., Gurstein, M., Beaton, B., Donnell, S., and T. Whiteducke, "Making Information Technologies Work at the End of the Road", *Journal of Information Policy*, Vol. 4, pp. 250-269, DOI 10.5325/jinfopoli.4.2014.0250, 2014.
- [Meraki] Cisco Systems, "Meraki", 2016, <<https://www.meraki.com/>>.
- [Mexican] Varma, S., "Ignored by big companies, Mexican village creates its own mobile service", August 2013, <<http://timesofindia.indiatimes.com/world/rest-of-world/Ignored-by-big-companies-Mexican-village-creates-its-own-mobile-service/articleshow/22094736.cms>>.

- [Mitchell] Mitchell, C., "Broadband At the Speed of Light: How Three Communities Built Next-Generation Networks", Institute for Local Self-Reliance (ILSR), April 2012, <<http://ilsr.org/wp-content/uploads/2012/04/muni-bb-speed-light.pdf>>.
- [Neumann\_a] Neumann, A., Lopez, E., and L. Navarro, "An evaluation of BMX6 for community wireless networks", In IEEE 8<sup>th</sup> International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), pp. 651-658, DOI 10.1109/WiMOB.2012.6379145, 2012.
- [Neumann\_b] Neumann, A., Lopez, E., and L. Navarro, "Evaluation of mesh routing protocols for wireless community networks", Computer Networks, Vol. 93, Part 2, pp. 308-323, December 2015, <<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2015.07.018>>.
- [NewMexico] New Mexico Department of Information Technology, "Broadband Guide for Electric Utilities", CTC Technology & Energy, Version 1, April 2015, <[http://www.doit.state.nm.us/broadband/reports/NMBBP\\_FiberGuide\\_ElectricUtilities.pdf](http://www.doit.state.nm.us/broadband/reports/NMBBP_FiberGuide_ElectricUtilities.pdf)>.
- [Norris] Norris, P., "Digital Divide: Civic Engagement, Information Poverty, and the Internet Worldwide", Cambridge University Press, ISBN 0521807514, 2001.
- [Nungu] Nungu, A., Knutsson, B., and B. Pehrson, "On Building Sustainable Broadband Networks in Rural Areas", Technical Symposium at ITU Telecom World, pp. 135-140, October 2011.
- [NYTimes] Gall, C. and J. Glanz, "U.S. Promotes Network to Foil Digital Spying", The New York Times, April 2014, <[http://www.nytimes.com/2014/04/21/us/us-promotes-network-to-foil-digital-spying.html?\\_r=1](http://www.nytimes.com/2014/04/21/us/us-promotes-network-to-foil-digital-spying.html?_r=1)>.
- [OLSR] OLSR.org, "OLSR", 2016, <<http://www.olsr.org/>>.
- [Openair] OpenAirInterface, "OpenAirInterface: 5G software alliance for democratising wireless innovation", 2016, <<http://www.openairinterface.org/>>.
- [OpenMesh] Open Mesh, "Open Mesh", 2016, <<http://www.open-mesh.com/>>.
- [Osmocom] Open Source Mobile Communications (Osmocom), "Cellular Infrastructure", GPRS bitrates, 2016, <[https://osmocom.org/projects/osmopcu/wiki/GPRS\\_bitrates](https://osmocom.org/projects/osmopcu/wiki/GPRS_bitrates)>.
- [PAWS] Sathiseelan, A., Crowcroft, J., Goulden, M., Greiffenhagen, C., Mortier, R., Fairhurst, G., and D. McAuley, "Public Access WiFi Service (PAWS)", Digital Economy All Hands Meeting, University of Aberdeen, October 2012.
- [PIE] Pan, R., Natarajan, P., Baker, F., and G. White, "PIE: A Lightweight Control Scheme To Address the Bufferbloat Problem", Work in Progress, draft-ietf-aqm-pie-09, August 2016.
- [Pietrosemoli] Pietrosemoli, E., Zennaro, M., and C. Fonda, "Low cost carrier independent telecommunications infrastructure", Global Information Infrastructure and Networking Symposium, pp. 1-4, DOI 10.1109/GIIS.2012.6466655, December 2012.
- [Rangenetworks] Range Networks, "Range Networks", 2016, <<http://www.rangenetworks.com>>.
- [Redhook] Red Hook WiFi, "Red Hook WiFi, a project of the Red Hook Initiative", 2016, <<http://redhookwifi.org/>>.
- [Rey] Rey-Moreno, C., Bebea-Gonzalez, I., Foche-Perez, I., Quispe-Taca, R., Linan-Benitez, L., and J. Simo-Reigadas, "A telemedicine WiFi network optimized for long distances in the Amazonian jungle of Peru", Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Extreme Conference on Communication: The Amazon Expedition, Article No. 9, DOI 10.1145/2414393.2414402, 2011.
- [RFC1918] Rekhter, Y., Moskowitz, B., Karrenberg, D., de Groot, G., and E. Lear, "Address Allocation for Private Internets", BCP 5, [RFC 1918](#), DOI 10.17487/RFC1918, February 1996, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc1918>>.
- [RFC2328] Moy, J., "OSPF Version 2", STD 54, [RFC 2328](#), DOI 10.17487/RFC2328, April 1998, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc2328>>.
- [RFC3168] Ramakrishnan, K., Floyd, S., and D. Black, "The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP", [RFC 3168](#), DOI 10.17487/RFC3168, September 2001, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc3168>>.
- [RFC3626] Clausen, T., Ed. and P. Jacquet, Ed., "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)", RFC 3626, DOI 10.17487/RFC3626, October 2003, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc3626>>.
- [RFC4271] Rekhter, Y., Ed., Li, T., Ed., and S. Hares, Ed., "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)", [RFC 4271](#), DOI 10.17487/RFC4271, January 2006, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc4271>>.
- [RFC6126] Chroboczek, J., "The Babel Routing Protocol", RFC 6126, DOI 10.17487/RFC6126, April 2011, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc6126>>.
- [RFC6297] Welzl, M. and D. Ros, "A Survey of Lower-than-Best-Effort Transport Protocols", RFC 6297, DOI 10.17487/RFC6297, June 2011, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc6297>>.
- [RFC7181] Clausen, T., Dearlove, C., Jacquet, P., and U. Herberg, "The Optimized Link State Routing Protocol Version 2", [RFC 7181](#), DOI 10.17487/RFC7181, April 2014, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc7181>>.
- [RFC7567] Baker, F., Ed. and G. Fairhurst, Ed., "IETF Recommendations Regarding Active Queue Management", BCP 197, RFC 7567, DOI 10.17487/RFC7567, July 2015, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc7567>>.
- [Samanta] Samanta, V., Knowles, C., Wagmister, J., and D. Estrin, "Metropolitan Wi-Fi Research Network at the Los Angeles State Historic Park", The Journal of Community Informatics, Vol. 4, No. 1, May 2008, <<http://ci-journal.net/index.php/ciej/article/viewArticle/427>>.

- [Sathiaseelan\_a] Sathiaseelan, A., Rotsos, C., Sriram, C., Trossen, D., Papadimitriou, P., and J. Crowcroft, "Virtual Public Networks", In IEEE 2013 Second European Workshop on Software Defined Networks (EWSDN) pp. 1-6, DOI 10.1109/EWSDN.2013.7, October 2013.
- [Sathiaseelan\_b] Sathiaseelan, A. and J. Crowcroft, "LCD-Net: Lowest Cost Denominator Networking", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 43, No. 2, April 2013, <<http://dx.doi.org/10.1145/2479957.2479966>>.
- [Sathiaseelan\_c] Sathiaseelan, A., Mortier, R., Goulden, M., Greiffenhagen, C., Radenkovic, M., Crowcroft, J., and D. McAuley, "A Feasibility Study of an In-the-Wild Experimental Public Access WiFi Network", Proceedings of the Fifth ACM Symposium on Computing for Development, pp. 33-42, DOI 10.1145/2674377.2674383, 2014.
- [SDG] United Nations, "Sustainable Development Goals", Sustainable Development Knowledge Platform, 2015, <<https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>>.
- [Seither] Seither, D., Koenig, A., and M. Hollick, "Routing performance of Wireless Mesh Networks: A practical evaluation of BATMAN advanced", IEEE 36th Conference on Local Computer Networks (LCN), pp. 897-904, DOI 10.1109/LCN.2011.6115569, October 2011.
- [Shi] Shi, J., Gui, L., Koutsonikolas, D., Qiao, C., and G. Challen, "A Little Sharing Goes a Long Way: The Case for Reciprocal Wifi Sharing", HotWireless '15 Proceedings of the 2nd International Workshop on Hot Topics in Wireless, DOI 10.1145/2799650.2799652, September 2015.
- [Simo\_a] Simo-Reigadas, J., Morgado, E., Municio, E., Prieto-Egido, I., and A. Martinez-Fernandez, "Assessing IEEE 802.11 and IEEE 802.16 as backhaul technologies for rural 3G femtocells in rural areas of developing countries", Proceedings of EUCNC, 2014.
- [Simo\_b] Simo-Reigadas, J., Martinez-Fernandez, A., Ramos-Lopez, J., and J. Seoane-Pascual, "Modeling and Optimizing IEEE 802.11 DCF for Long-Distance Links", IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 9, Issue 6, pp. 881-896, DOI 10.1109/TMC.2010.27, 2010.
- [Simo\_c] Simo-Reigadas, J., Martinez-Fernandez, A., Osuna, P., Lafuente, S., and J. Seoane-Pascual, "The Design of a Wireless Solar-Powered Router for Rural Environments Isolated from Health Facilities", IEEE Wireless Communications, Vol. 15, Issue 3, pp. 24-30, DOI 10.1109/MWC.2008.4547519, June 2008.
- [Simo\_d] Simo-Reigadas, J., Municio, E., Morgado, E., Castro, E., Martinez-Fernandez, A., Solorzano, L., and I. Prieto-Egido, "Sharing low-cost wireless infrastructures with telecommunications operators to bring 3G services to rural communities", Computer Networks, Vol. 93, Issue P2, pp. 245-259, December 2015, <<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2015.09.006>>.
- [Spectrum] Laursen, L., "Software-Defined Radio Will Let Communities Build Their Own 4G Networks", November 2015, <<http://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/softwaredefined-radio-will-let-communities-build-their-own-4g-networks>>.
- [Sprague] Sprague, K., Grijpink, F., Manyika, J., Moodley, L., Chappuis, B., Pattabiraman, K., and J. Bughin, "Offline and falling behind: Barriers to Internet adoption", McKinsey and Company, August 2014.
- [Tech] Kazansky, B., "In Red Hook, Mesh Network Connects Sandy Survivors Still Without Power", November 2012, <<http://techpresident.com/news/23127/red-hook-mesh-network-connects-sandy-survivors-still-without-power>>.
- [TidePools] Baldwin, J., "TidePools: Social WiFi", Parsons, the New School for Design, Doctoral dissertation, Master thesis, 2011, <<http://www.scribd.com/doc/94601219/TidePools-Social-WiFi-Thesis>>.
- [UN] United Nations Statistics Division (UNSD), "Composition of macro geographical (continental) regions, geographical sub-regions, and selected economic and other groupings", October 2013, <<http://unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49regin.htm#ftnc>>.
- [UNStats] United Nations Statistics Division (UNSD), "Urban and total population by sex: 1996-2005", Table 6 - Demographic Yearbook 2005, <<http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/dyb/dyb2005/notestab06.pdf>>.
- [Vega\_a] Vega, D., Cerda-Alabern, L., Navarro, L., and R. Meseguer, "Topology patterns of a community network: Guifi.net", IEEE 8th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), pp. 612-619, DOI 10.1109/WiMOB.2012.6379139, October 2012.
- [Vega\_b] Vega, D., Baig, R., Cerda-Alabern, L., Medina, E., Meseguer, R., and L. Navarro, "A technological overview of the guifi.net community network", Computer Networks, Vol. 93, Issue P2, pp. 260-278, December 2015, <<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2015.09.023>>.
- [Village] Heimerl, K. and E. Brewer, "The Village Base Station", Proceedings of the 4th ACM Workshop on Networked Systems for Developing Regions, Article No. 14, DOI 10.1145/1836001.1836015, 2010.
- [WiLD] Patra, R., Nedeveschi, S., Surana, S., Sheth, A., Subramanian, L., and E. Brewer, "WiLDNet: Design and Implementation of High Performance WiFi Based Long Distance Networks", NSDI, Vol. 1, No. 1, pp. 1, April 2007.
- [WNDW] WNDW, "Wireless Networking in the Developing World, 3<sup>rd</sup> Edition", The WNDW Project, 2013, <<http://wndw.net>>.
- [WorldBank2016] World Bank, "World Development Report 2016: Digital Dividends", Washington, DC: The World Bank, ISBN 978-1-4648-0672-8, DOI 10.1596/978-1-4648-0671-1, 2016, <[http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2016/0113/090224b08405ea05/2\\_0/Rendered/PDF/World0developm0000digital0dividends.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2016/0113/090224b08405ea05/2_0/Rendered/PDF/World0developm0000digital0dividends.pdf)>.

[WSIS] International Telecommunications Union, "Declaration of Principles. Building the Information Society: A global challenge in the new millennium", WSIS-03 / GENEVA / DOC / 4-E, December 2003, <<http://www.itu.int/wsis>>.

[YateBTS] YateBTS, "YateBTS", 2016, <<http://yatebts.com/>>.

## **Благодарности**

Эта работа частично финансировалась в рамках проекта Еврокомиссии CONFINE (FP7 - 288535). Работу Arjuna Sathiaseelan и Andres Arcia Moret финансировали в рамках проекта EU H2020 RIFE (Grant Agreement no: 644663). Работу Jose Saldana финансировали по проекту EU H2020 Wi-5 (Grant Agreement no: 644262).

Редактор и авторы этого документа хотят выразить свою благодарность за написание, обзор и обсуждение текста Panayotis Antoniadis, Paul M. Aoki, Roger Baig, Jaume Barcelo, Steven G. Huter, Aldebaro Klautau, Rohan Mahy, Vesna Manojlovic, Mitar Milutinovic, Henning Schulzrinne, Rute Sofia и Dirk Trossen.

Отдельная благодарность руководителям рабочей группы GAIA Mat Ford и Arjuna Sathiaseelan за их поддержку и руководство.

## **Участники разработки документа**

### **Leandro Navarro**

U. Politecnica Catalunya  
Jordi Girona, 1-3, D6  
Barcelona 08034  
Spain  
Phone: +34 93 401 6807  
Email: [leandro@ac.upc.edu](mailto:leandro@ac.upc.edu)

### **Carlos Rey-Moreno**

University of the Western Cape  
Robert Sobukwe road  
Bellville 7535  
South Africa  
Phone: +27 (0)21 959 2562  
Email: [crey-moreno@uwc.ac.za](mailto:crey-moreno@uwc.ac.za)

### **Ioannis Komnios**

Democritus University of Thrace  
Department of Electrical and Computer Engineering  
Kimmeria University Campus  
Xanthi 67100  
Greece  
Phone: +306945406585  
Email: [ikomnios@ee.duth.gr](mailto:ikomnios@ee.duth.gr)

### **Steve Song**

Network Startup Resource Center  
Lunenburg, Nova Scotia  
Canada  
Phone: +1 902 529 0046  
Email: [stevesong@nsrc.org](mailto:stevesong@nsrc.org)

### **David Lloyd Johnson**

Meraka, CSIR  
15 Lower Hope St  
Rosebank 7700  
South Africa  
Phone: +27 (0)21 658 2740  
Email: [djohnson@csir.co.za](mailto:djohnson@csir.co.za)

### **Javier Simo-Reigadas**

Escuela Tecnica Superior de Ingenieria de Telecomunicacion  
Campus de Fuenlabrada  
Universidad Rey Juan Carlos  
Madrid  
Spain  
Phone: +34 91 488 8428  
Fax: +34 91 488 7500  
Email: [javier.simo@urjc.es](mailto:javier.simo@urjc.es)

**Адреса авторов**

**Jose Saldana** (редактор)  
University of Zaragoza  
Dpt. IEC Ada Byron Building  
Zaragoza 50018  
Spain  
Phone: +34 976 762 698  
Email: [jsaldana@unizar.es](mailto:jsaldana@unizar.es)

**Andres Arcia-Moret**  
University of Cambridge  
15 JJ Thomson Avenue  
Cambridge FE04  
United Kingdom  
Phone: +44 (0) 1223 763610  
Email: [andres.arcia@cl.cam.ac.uk](mailto:andres.arcia@cl.cam.ac.uk)

**Bart Braem**  
iMinds  
Gaston Crommenlaan 8 (bus 102)  
Gent 9050  
Belgium  
Phone: +32 3 265 38 64  
Email: [bart.braem@iminds.be](mailto:bart.braem@iminds.be)

**Ermanno Pietrosemoli**  
The Abdus Salam ICTP  
Via Beirut 7  
Trieste 34151  
Italy  
Phone: +39 040 2240 471  
Email: [ermanno@ictp.it](mailto:ermanno@ictp.it)

**Arjuna Sathiaseelan**  
University of Cambridge  
15 JJ Thomson Avenue  
Cambridge CB30FD  
United Kingdom  
Phone: +44 (0)1223 763781  
Email: [arjuna.sathiaseelan@cl.cam.ac.uk](mailto:arjuna.sathiaseelan@cl.cam.ac.uk)

**Marco Zennaro**  
The Abdus Salam ICTP  
Strada Costiera 11  
Trieste 34100  
Italy  
Phone: +39 040 2240 406  
Email: [mzennaro@ictp.it](mailto:mzennaro@ictp.it)

**Перевод на русский язык**

Николай Малых  
[nmalykh@gmail.com](mailto:nmalykh@gmail.com)