

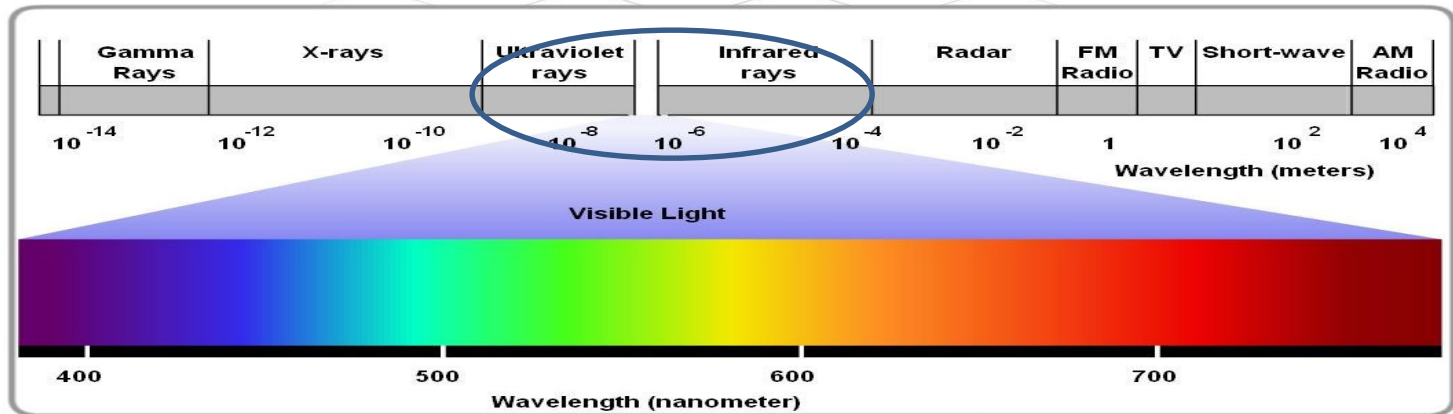
Стандарт 802.15.7. Li-Fi (light-fidelity)

проф. д-р инж. Венета Алексиева

ОСНОВНИ МОМЕНТИ

- История
- Същност
- Топологии
- Стандарт 802.15.7
- Формат на данните
- QoS параметри
- Въпроси

Същност на оптичните безжични комуникации

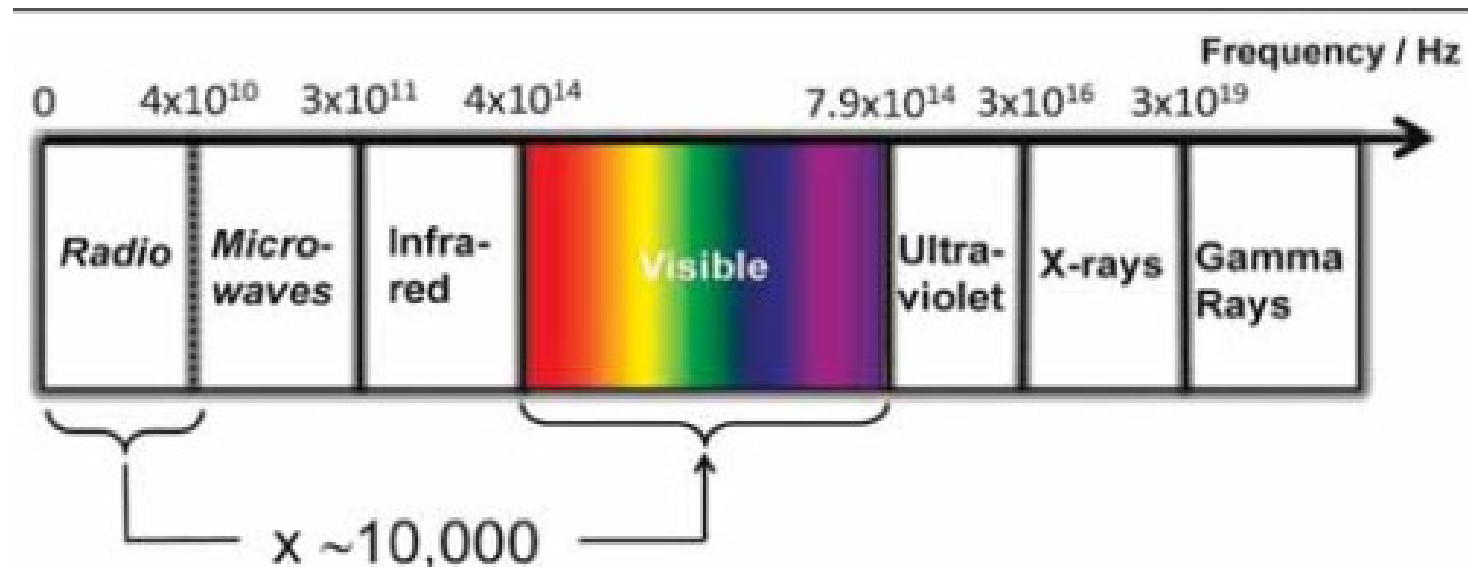


- Безжичните оптични комуникации (Optical Wireless Communication) като оптични комуникации с открити преносни среди (Free Space Optics) са алтернатива на радиокомуникацията (Radio Frequency-RF) и включват:
 - предаване на данни чрез инфрачервени лъчи (Infrared Wireless Communication),
 - чрез ултравиолетови лъчи (ultraviolet wireless communication),
 - посредством видима светлина (Visible Light Communication-VLC).

Идеята

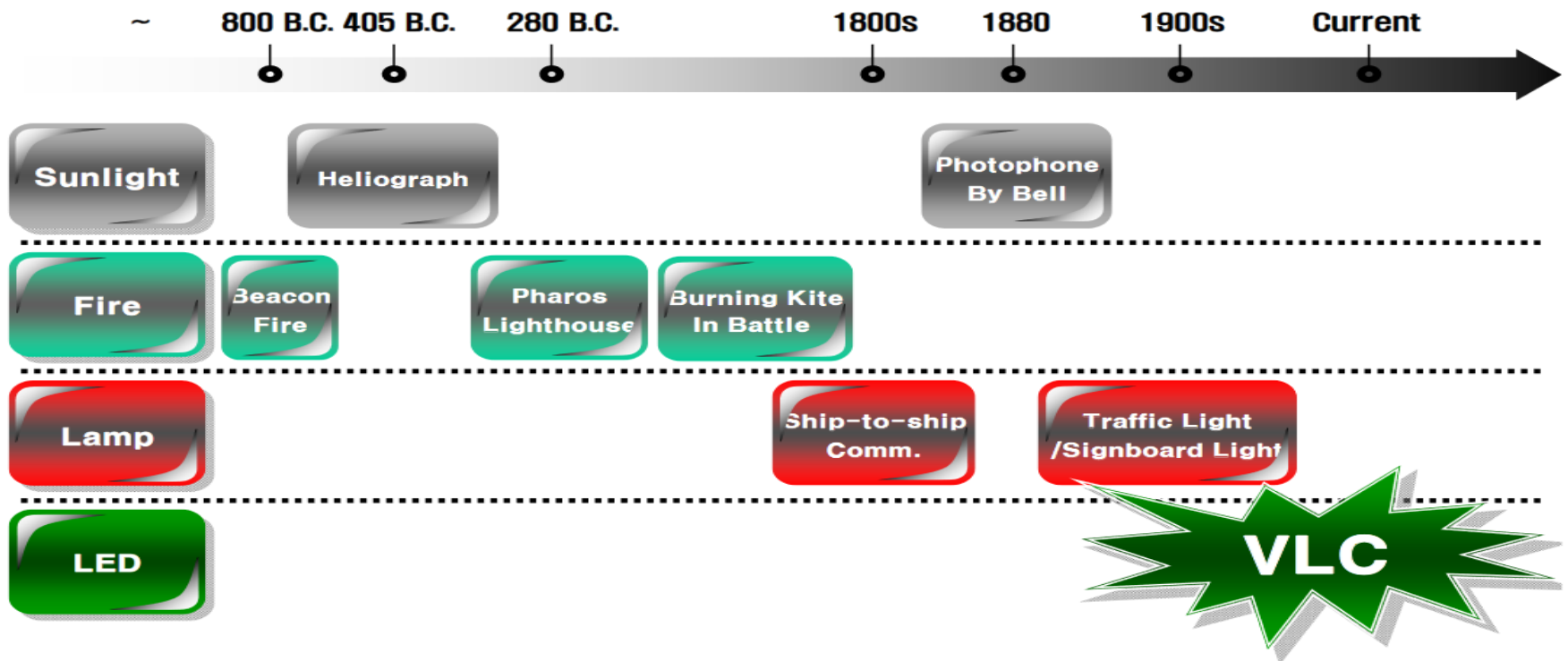
Видимата светлина може да бъде използвана за предаване на данни с много по-голям капацитет в сравнение с традиционните радио ВЪЛНИ.

$\sim 400\text{nm}$ (750THz) до $\sim 700\text{nm}$ (428THz)

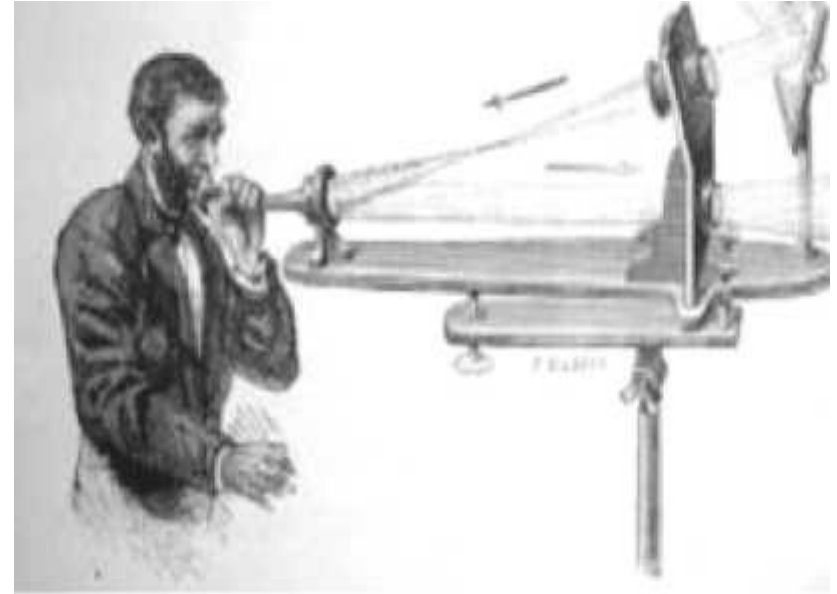
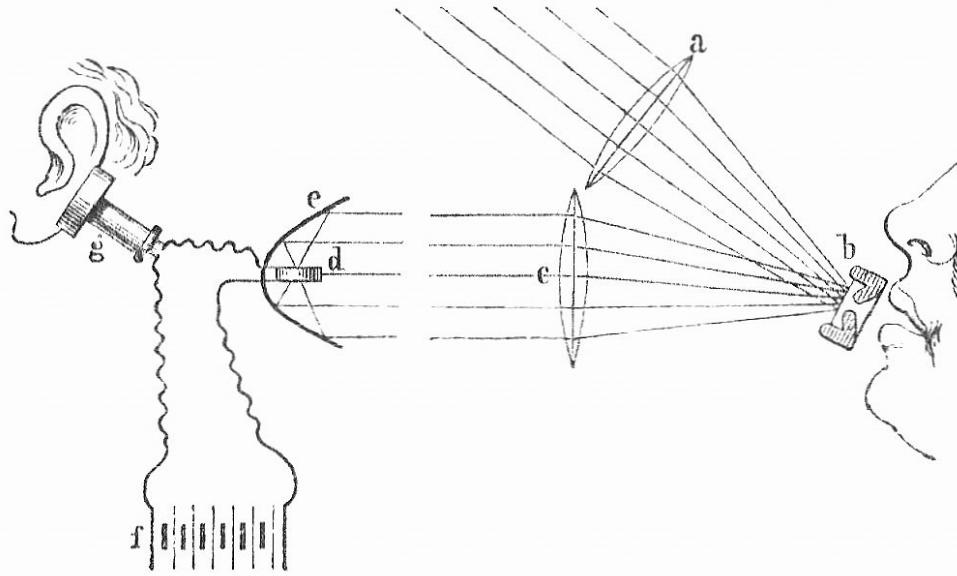


История

- от естествени източници като слънце и огън
- до осветители с нажежаема жичка и LED



Аналогов сигнал с видима светлина

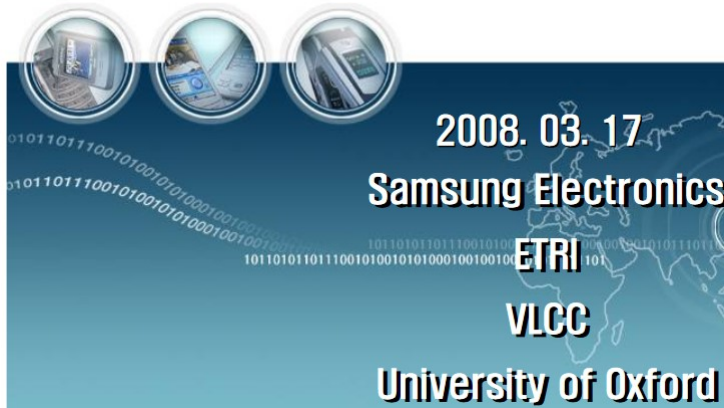


- На 3 юни 1880 година асистентът на Александър Бел – Чарлз Тейнтър предава речеви сигнал чрез слънчев лъч от покрива на Franklin School към прозореца на Bell's laboratory, на разстояние 213 метра. Изобретението е наречено Фотофон.
- Развитието на измервателната техника е позволило възраждането на photoacoustic ефект през 1970г.

История

- През 2008г. започва работа Task Group 7 (TG7) по IEEE 802.15 WPAN™ Visible Light Communication. Тя се състои от:

Samsung, ETRI, VLCC,
Университета в Оксфорд

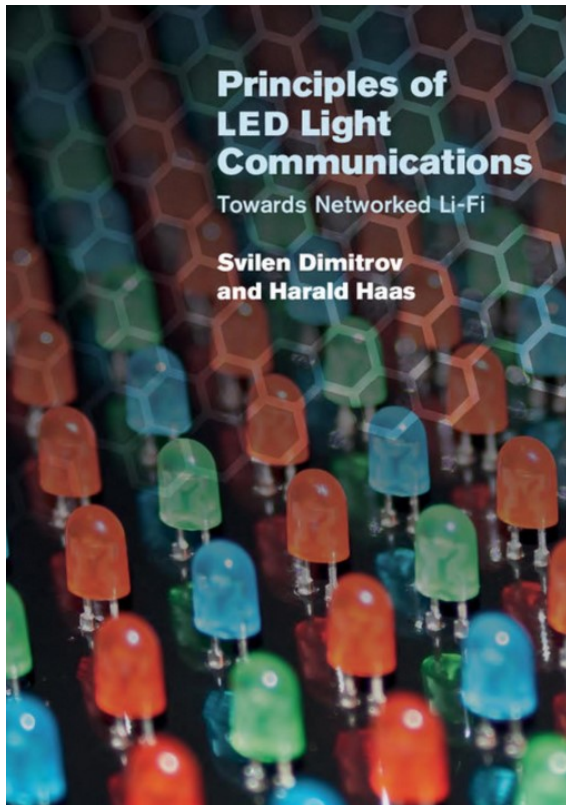


- През 2011г. се появява стандартът IEEE802.15.7 за безжична оптична комуникация посредством видима светлина. Той определя и физическия слой (PHY) и MAC слоя.



История

- През 2011г. проф. Харалд Хаас предлага технологията Li-Fi (Light Fidelity) за безжично предаване на информация на базата на видимата светлина (VLC)- Visible Light Communications
- Той въвежда термина Li-Fi (Light Fidelity) по аналогия с Wi-Fi (Wireless Fidelity).



проф. Харалд Хаас:

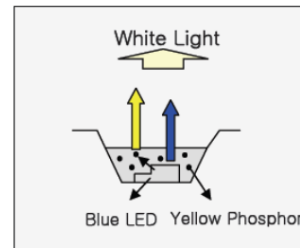
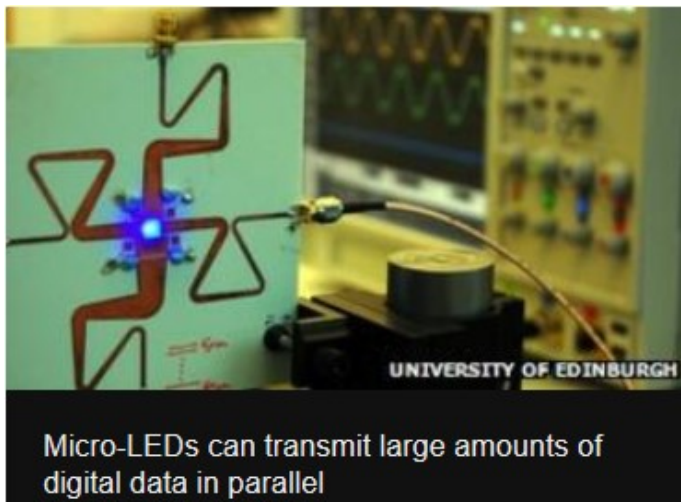
- Преподава в Единбургския университет
- 2012г. създава с Мустафа Афгани към Единбургския университет компанията pureLiFi
- Публикувал е единствено тази съавторска книга през 2015г.



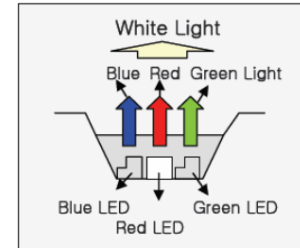
Но....има много съавторски публикации в областта, защото...

История

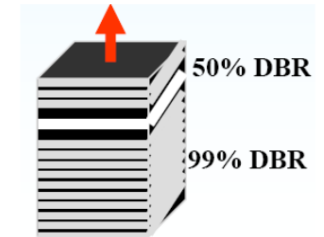
- 2012 г. е демонстрирана Li-Fi с OFDM модулация.
- Август 2013 г. е реализирана мрежа с едноцветен LED със скорост от над 1,6 Gb, с двупосочна комуникация.



B + Phosphor LED
~40 Mbps



R+G+B LED
~100 Mbps



RCLED
~500 Mbps

История

- От октомври 2013 г. китайските производители предлагат Li-Fi комплекти.
- 2014 - PureLiFi в Барселона представя първа комерсиална реализация на Li-Fi система, наречена Li-1st.
- Април 2014- руска компания Stins Coman реализира мрежа BeamCaster със скорости 1.25Gps
- 2014 – мексиканска компания Sisoft реализира мрежа с LED със скорости до 10Gbit/s
- През юли 2015 г. IEEE реализира single photon avalanche diode (SPAD) за повишаване на енергийната ефективност и прави приемника по-чувствителен.
- 2012-2016г. под ръководството на проф. Мартин Даусън от Университета в Стратклайд се разработва проектът “Ultra-parallel visible light communications (UP-VLC)” за светодиоди с галиев нитрид, който се финансира от Engineering and Physical Sciences Research Council - EPSRC (Съвет за Изследвания в областта на техническите и физическите науки). Сумата е £4.6 милиона за периода 2012г - 2016г.

Новостите

- На 10.09.2013г. pureLi-Fi демонстрира, че Li-Fi не изисква връзка с пряка видимост между предавателя и приемника, дълго време смятано за Ахилесовата пета на Li-Fi технологията.
- Li-Fi може да работи, използвайки разсеяна светлина (включително отражения).
- Демонстрирано е, че с отразените лъчи е възможно да се достигнат същите скорости на предаване както при пряка видимост.
- При демонстрацията pureLi-Fi предава паралелно на 4 изображения, чрез отразена светлина.

История

- На 20 март 2014 година pure Li-Fi анонсира, че предава чрез налични на пазара ('off-the-shelf') LED лампи, при намалена интензивност на светлината до нива, близки до изключено състояние.
- Това са случаите, когато не е необходимо осветление или при връзка на мобилно устройство с точка за достъп в Интернет.
- С това се осигурява висока енергийна ефективност при предаване на данни, чрез използване на светодиоди.

И сега

- От 26.11.2018г. - нови LED осветителни тела, произведени от Lucibel с LiFi от 2-ро поколение pureLiFi:
- скоростта на Интернет е 54 Mbps (в сравнение с 42 Mbps за първото поколение)
- Увеличава се броя на едновременно свързаните потребители.
- По-добре интегрира функциите „осветление“ и „свързване“.
- В тези LiFi осветители е интегрирана технологията Power over Ethernet (PoE), която елиминира нуждата от електрически кабел.



Предпоставки за поява на LiFi

- Радиокомуникацията предизвиква в **организмите разстройство на имунната система, неврологични и други странични ефекти.**
- Когато интензивността на инфрачервената светлина надхвърли определени нива, тя **уврежда очите.**
- **Безопасните нива** на интензивността на видимата светлина **са по-високи** от тези на радиочестотните лъчения.
- Сигналите за оптична безжична комуникация **не интерферира**т един с друг въпреки широкия си диапазон от дължини на вълните (380 nm - 780 nm).
- Видимата светлина предлага много **по-широк спектър честоти** в сравнение с радиочестотите.
- Светлината **не преминава** през солидни прегради.
- При видимата светлина липсва проникване между съседните комуникационни канали и съответно шум от тях, **но околната светлина въвежда шум в системата.**

Светодиодни осветители (LED)

- В основата на Li-Fi технологията са светодиодни осветители, които бързо изместват осветителите с нагреваема жичка, т.к.:
 - имат малка консумация на енергия,
 - по-дълъг експлоатационен период,
 - възможност да предават едновременно информация с много високи скорости,
 - намаляване на въглеродните емисии в световен мащаб.

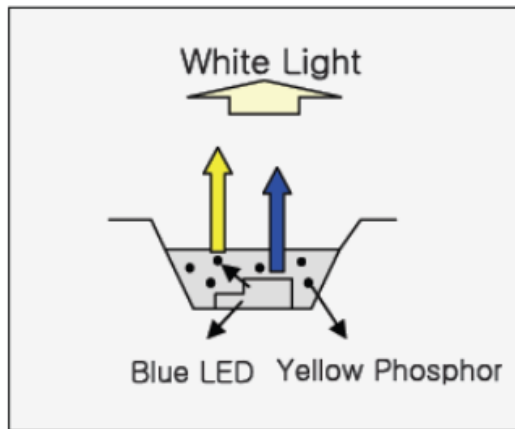
Светодиод - класически



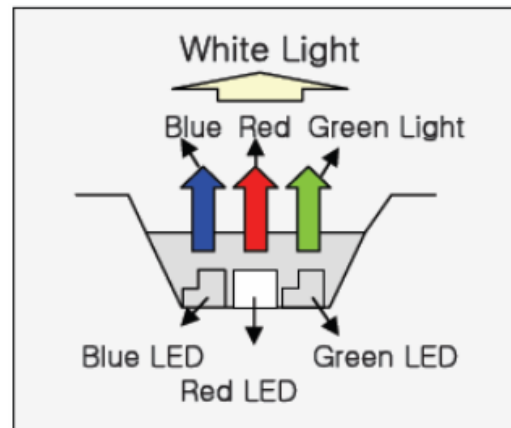
- Те излъчват в доста тясна честотна лента видима светлина с различни дължини на вълната.
- LED са специфичен тип диоди с PN преход, изработени от много тънък слой силно легирани полупроводникови сплави.
- LED генерират студена светлина.
- Основната P-тип добавка в производството на LED е галий (Ga).
- Основната N-тип добавка е арсен (As).
-

Светодиодни осветители

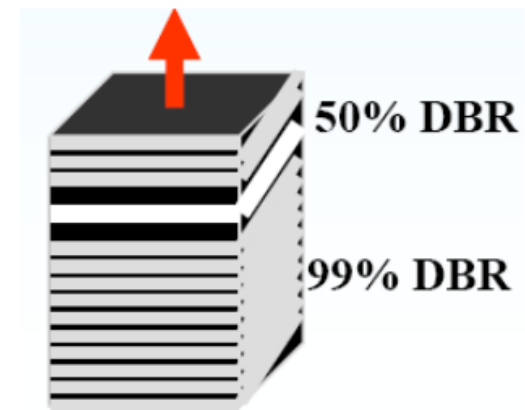
- LiFi се развива на базата на микро светодиоди.
- Използва се възможността на светодиодите да се включват и изключват при много високи скорости и невъзможността на човешкото око да възприема бързите промени в интензивността на светлината.
- Невъоръженото човешко око не може да реагира на повече от 15 трептения на светлината в секунда.



B + Phosphor LED
~40 Mbps

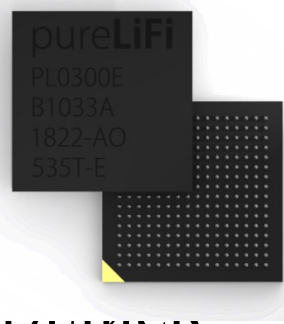


R+G+B LED
~100 Mbps



RCLED
~500 Mbps

Светодиодни осветители



- Изследователите са разработили на основата на галиев нитрид светодиоди с микронни размери, способни да се включват и изключват хиляди пъти по-бързо в сравнение с конвенционалните светодиоди, благодарение на което данните се предават с много висока скорост.
- Хиляди микросветодиоди могат да се поместят на площ 1 мм² и всеки от тях представлява отделен канал за свързка.
- Микро светодиодите могат да представляват неголеми пиксели. А един голям пиксел, съставен от светодиоден масив се използва като дисплей за излъчване на информация и едновременно изпълнява функция на осветление и точка на достъп до Интернет.

Jugnu LED крушка

- Предлагана от фирма *Velmenni*.
- Jugnu на хинди значи светулка.
- Тя може да пренася данни (засега) със скорост 224 Gbps.
- Тя свети и предава информация, и независимо каква друга светлина има в пространството, приемникът е настроен за промените от Jugnu.
- За да работи, тя трябва винаги да свети, но светлината може да бъде затъмнена до ниво, при което изглежда изключена и въпреки това данните ще продължат да се предават.



Приложение на LiFi

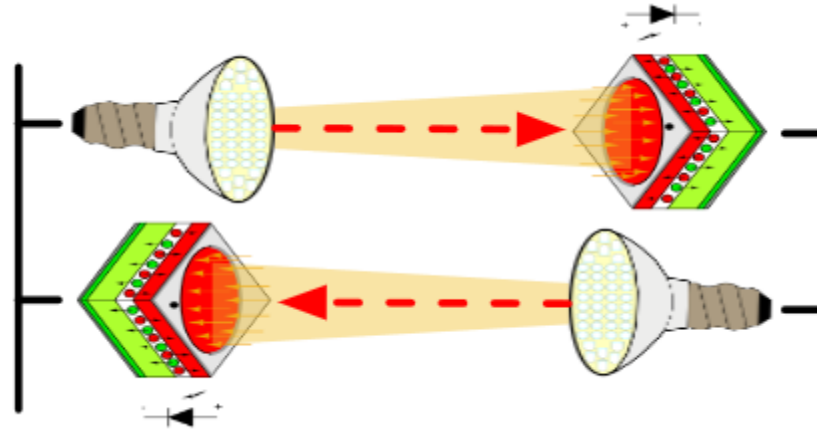
- Към LiFi може да се свържат безжично **телевизори, вентилация, осветителни системи, хладилници...**
- Мрежата може да се разраства и да се ползва без лиценз.
- Сегашната светодиодна технология предлага ефективност, сигурност и висока скорост на управление на устройства на ниска цена.
- Тези източници излъчват безопасна за човешкото око светлина и не увреждат околната среда.



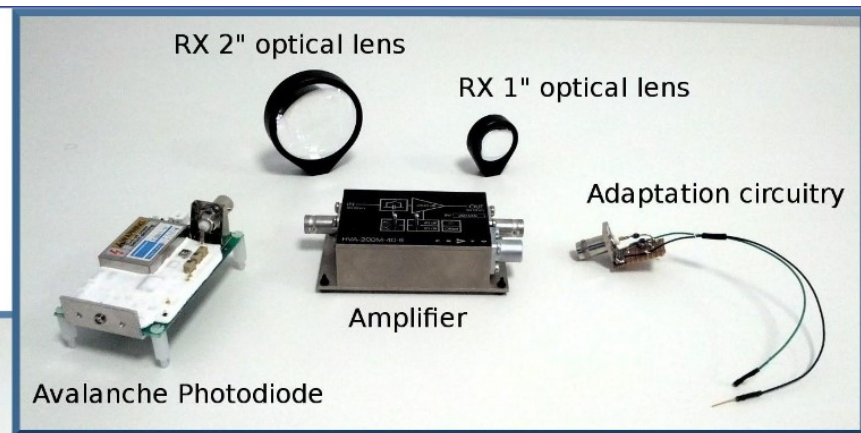
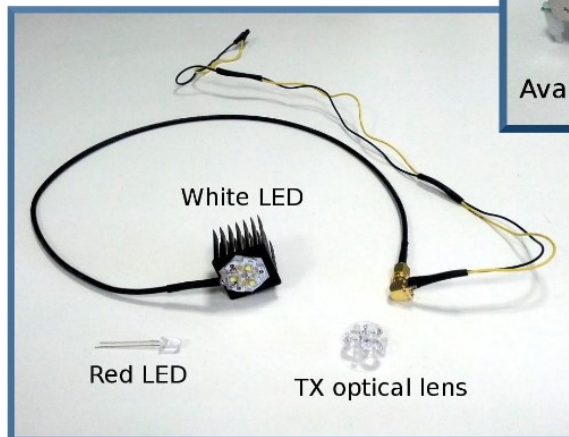
Бъдещето за LiFi

- В Smartcity, smartbuilding т.к. решават икономично въпроса с достъпа до Интернет. Всяка улична лампа може да стане безплатна точка за достъп до мрежата.
- В специфични и опасни производства, където не трябва да има електростатика (възникване на искри). Употребата на радио-честоти може да генерира антенни искри, докато при възможностите на LiFi технологиите такива не са необходими.
- В болниците - да се произведат „умни“ инструменти за манипулации и smart health приложения, включително миниатюрни и нано-инструменти, за употреба с ръка.
- По улиците - за контрол над движението и в светофарните уредби. Ако автомобилите имат вградени светодиоди в сигналните си светлини и фаровете ще могат да комуникират един с друг или със светофарните уредби. Ще осигури връзка на навигационните и локационни системи, за да се предотварят инциденти.

Принцип на работа

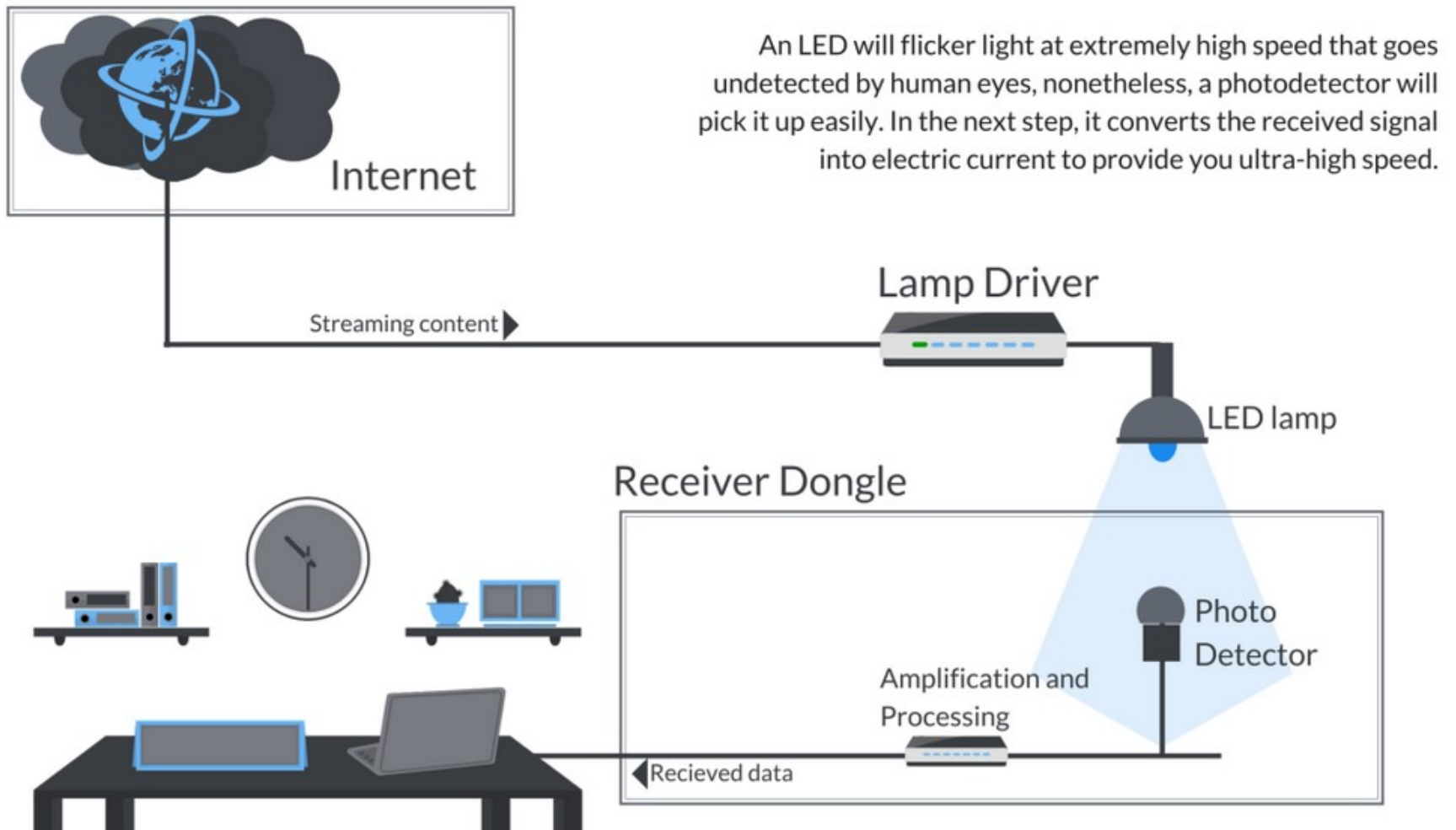


TRANSMITTER

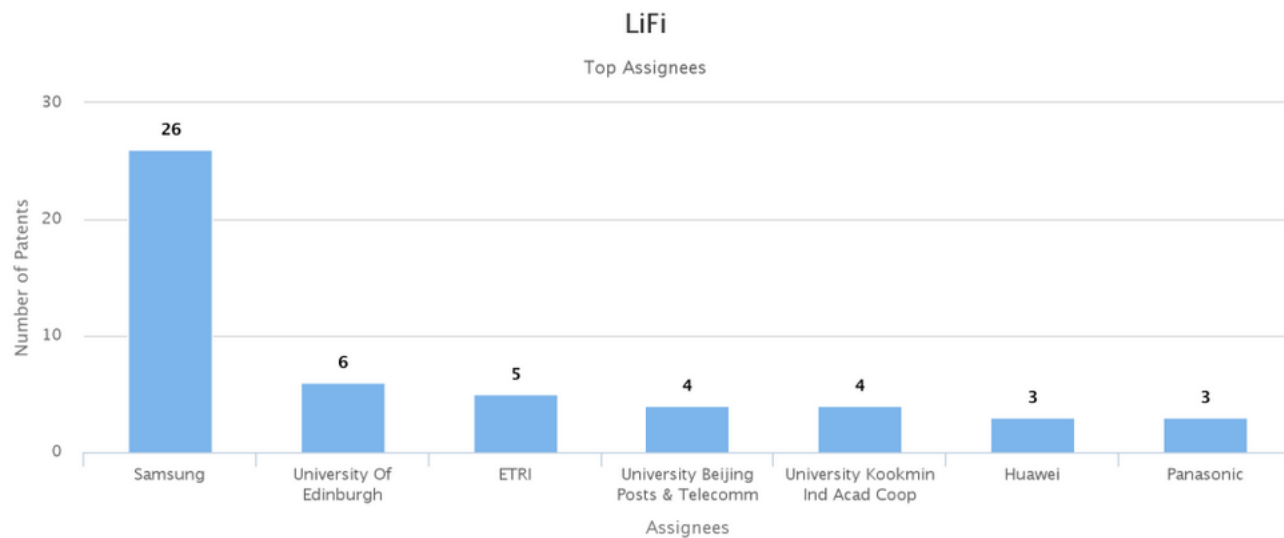
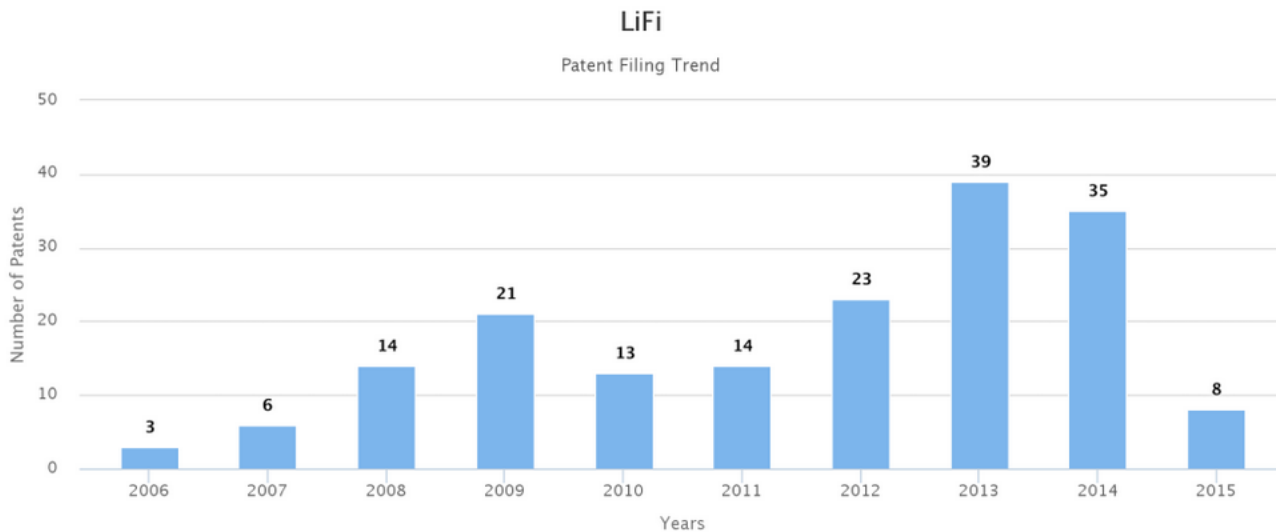


RECEIVER

Решение



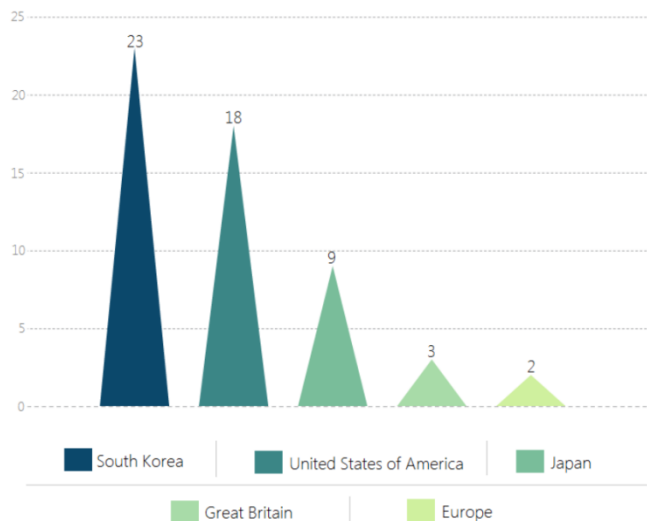
Патенти за LiFi до 2015



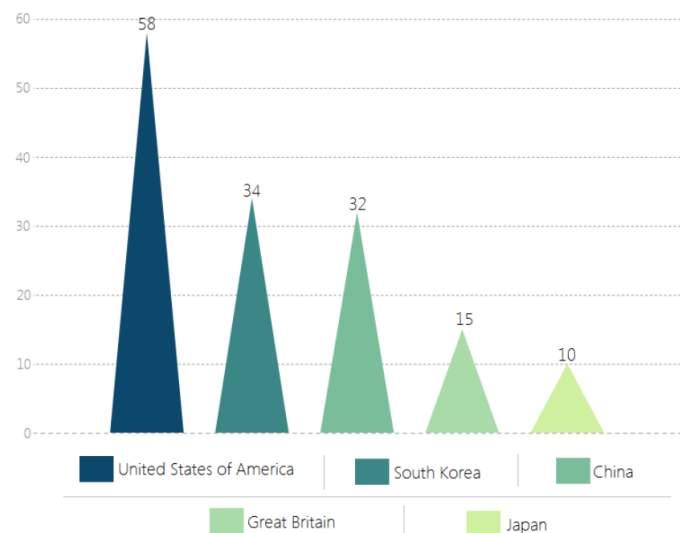
<https://www.greyb.com/li-fi-vlc-patent-landscape-study/>

Патенти преди стандарт 802.15.7

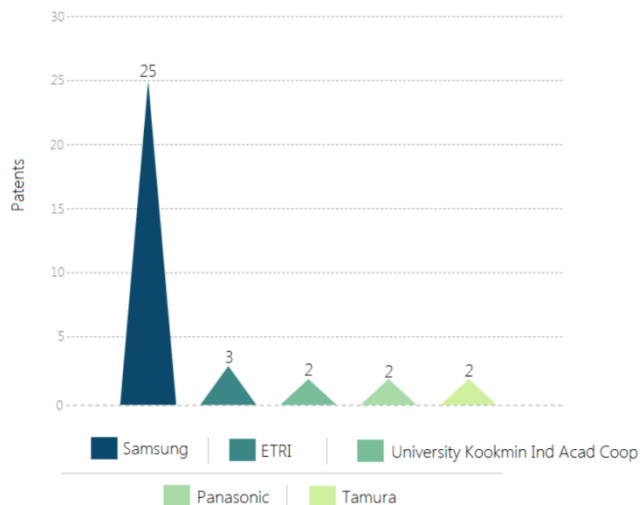
Top 5 countries that filed patents in Li-Fi tech before 2011



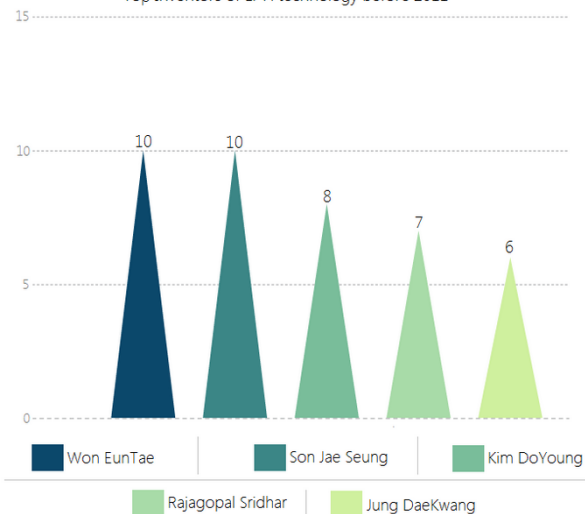
Top Countries that filed patents in Li-Fi technology in past 10 years



Top 5 companies that filed patents in Li-Fi before 2011

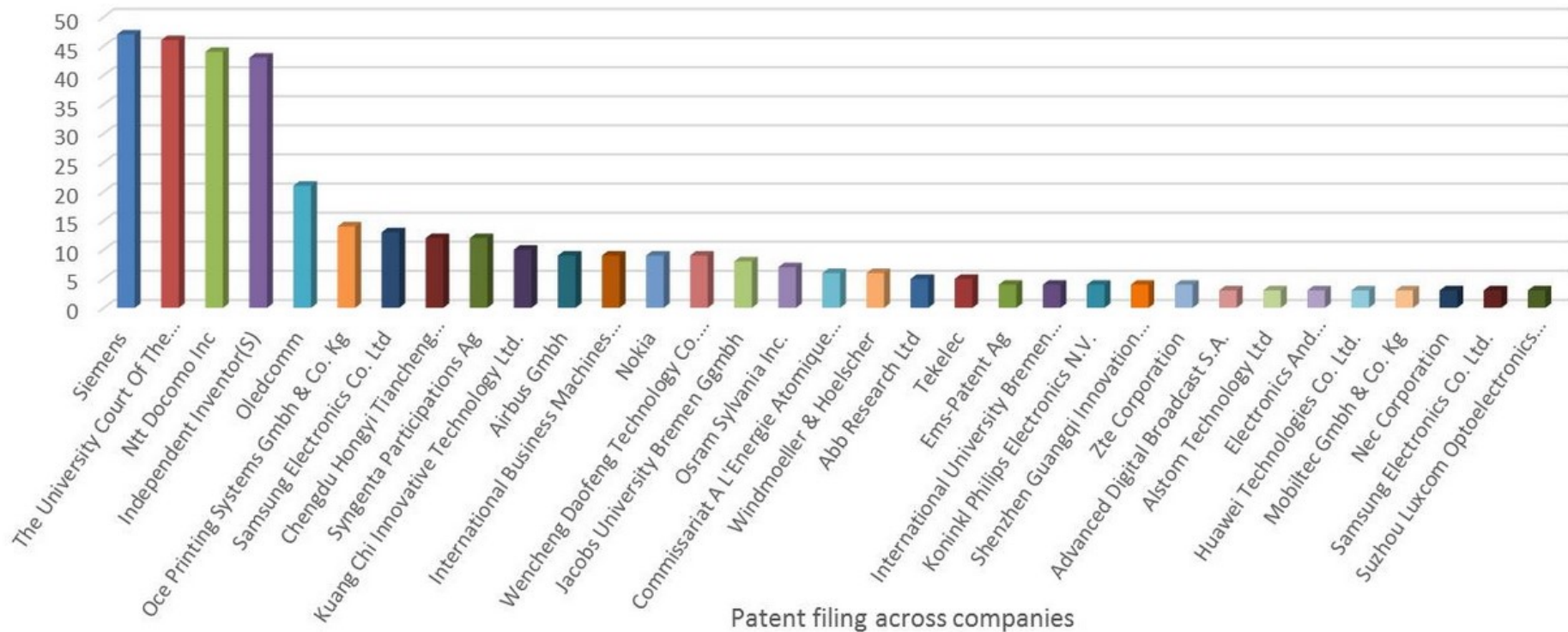


Top Inventors of Li-Fi technology before 2011



<https://www.greyb.com/companies-research-li-fi-before-harald-haas/>

Патенти за LiFi сега



Стандарт 802.15.7

- 802.15.7 е публикуван 2011.
- IEEE 802.15.7-2018 - IEEE Draft Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.7: Short-Range Optical Wireless Communications
- Той включва в себе си информация за безжична оптична комуникация с видима светлина.
- Поддържа се технически възможно най-прост.
- Основава се на структура, която позволява, използването на стандарти IEEE 802.15.4-2006, ITU-T I.432.1, ANSI/INCITS 373.
- Той определя и физическия слой (PHY), и MAC слоя.
- Той е проектиран предимно за предаване на мултимедийни данни, но може да се ползва и за предаване на други услуги.
- Светлините светодиоди (LED) и лазерни диоди (LD) могат да бъдат използвани като източници на светлина и намерят приложения в:
 - осветлението,
 - улични знаци,
 - улични лампи,
 - превозни средства,
 - сигнали за управление на трафик

Стандартът 802.15.7 предоставя:

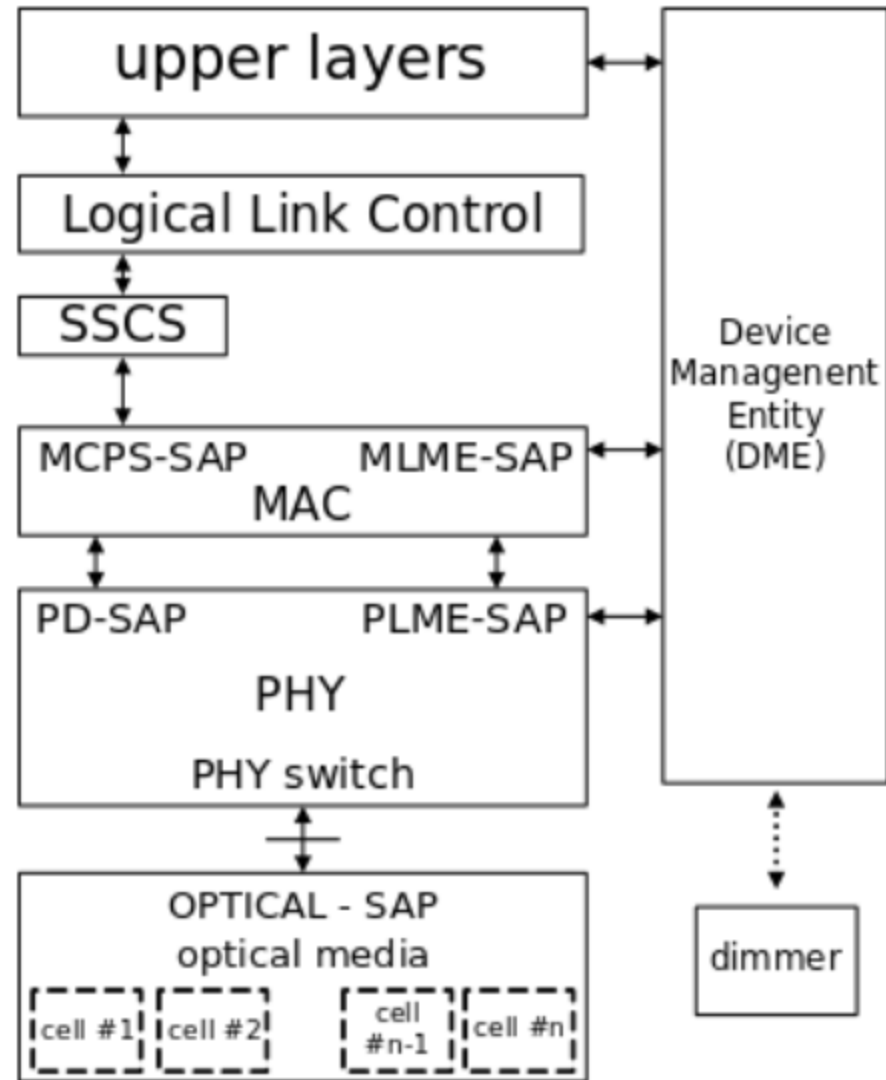
- Съвместимост с регламенти за безопасност на очите.
- Възможност за използването на няколко THz от нелицензирания спектър на честотната лента.
- Защита от електромагнитни смущения и непрепокриване с радиочестотните системи.
- Допълнителна защита, позволяваща на потребителя да “вижда“ канала за предаване на информацията.
- Увеличаване и допълване на вече съществуващите услуги за комуникация на инфраструктури, ползващи видимата светлина.

Фактори за предаване

- Затъмняване,
- Видимост,
- цвят за функционалност
- стабилизация.

Архитектура

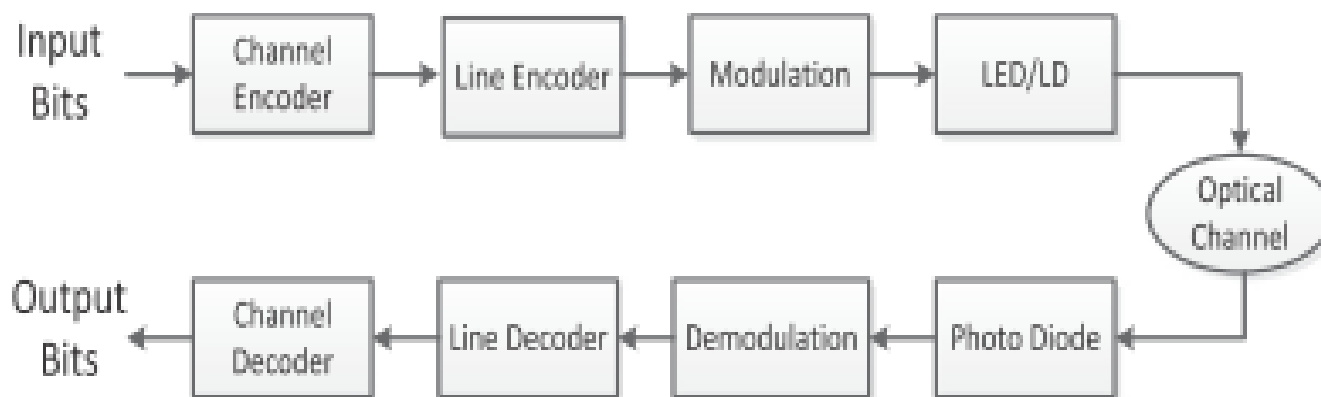
- Определя няколко слоя и под-слоеве, за да опрости стандарта и да предложи услуги и логически връзки от по-ниски слоеве към по-високите.
- В WPAN всяко устройство се дава кратък 16-bit адрес или разширен 64-bit адрес.



Физически слой (PHY)

Предоставя:

- физическите спецификации на устройствата
- връзката между устройствата и преносната среда



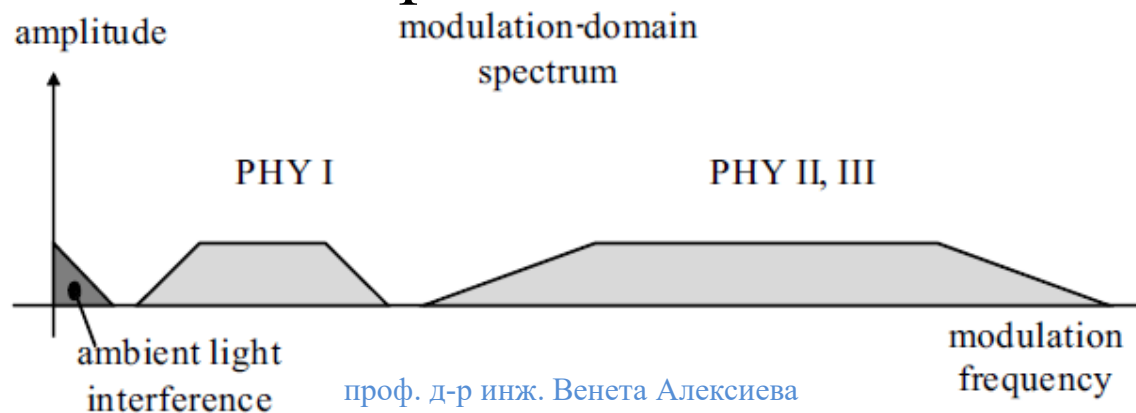
- Входният битов поток преминава през кодиращия канал, линейно кодиране (конвенционални кодове могат да бъдат използвани за подобряване на производителността във VLC системите), модулация (OFDM, OOK, PPM).
- Потокът се предава на LED за предаване през оптичния канал.

Задачи на РНУ

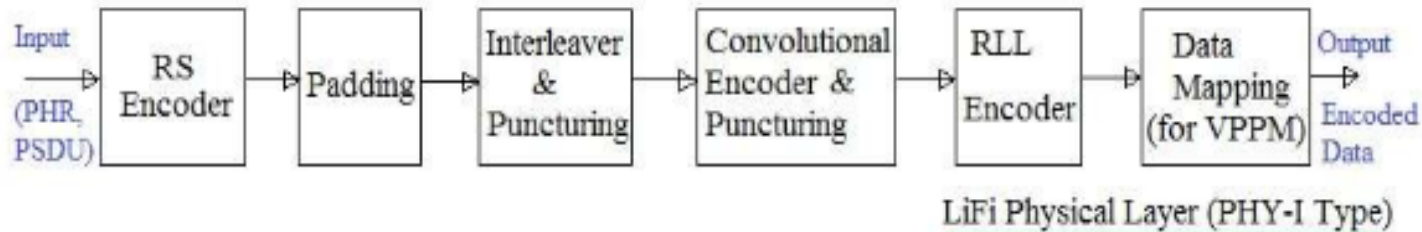
- Активиране и деактивиране на VLC приемо-предавателното устройство
- WQI за получените фреймове
- Избор на Канал
- Предаване и приемане на информация
- Корекция на грешки
- Синхронизация

Типове физически слоеве

- Има 3 разновидности на имплементация на VLC системи данни в стандарта 802.15.7:
 - PHY I- 11,67 – 226,6Kbps, използва комплексни кодове и кодовете на Рийд-Соломон, приспособен за употреба навън
 - PHY II - 1,25Mbps– 96Mbps, използва комплексни кодове, кодовете на Рийд-Соломон, run length limited кодове
 - PHY III - 12-96Mbps

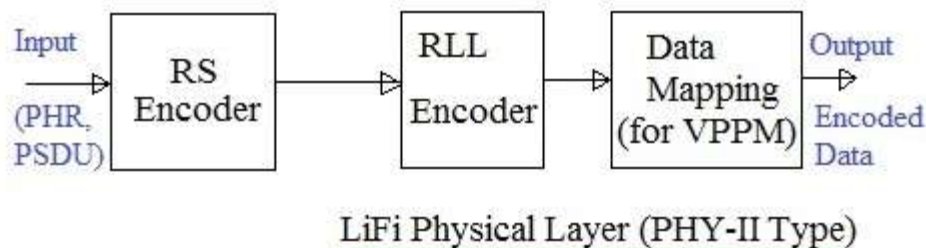


PHY I при LiFi



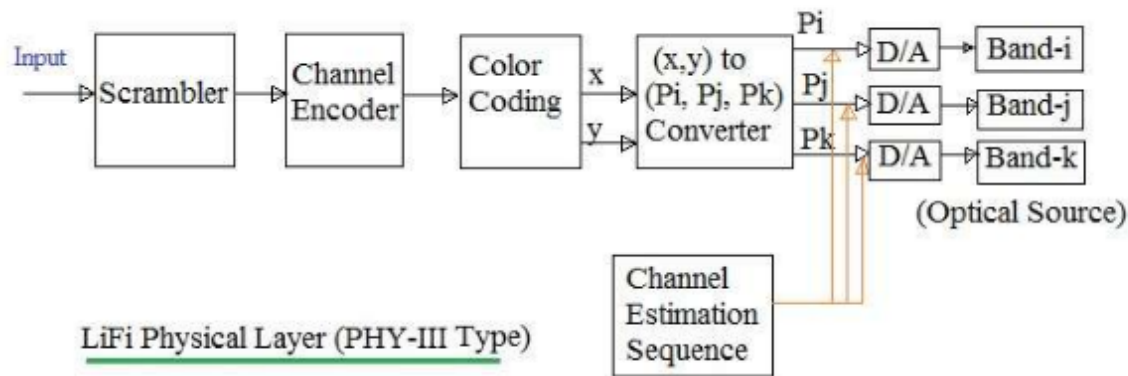
- При предаване на данни с по-ниски скорости – от 12 до 267 Kbps.
- За употреба при системи на открито.
- Използва:
 - VPPM (Variable pulse position modulation) модулация с кодиране 4B6B
 - OOK(ON-OFF key) модулация с Manchester кодиране.

РНУ II при LiFi



- Скорости от 1,25Mbps до 96Mbps.
- За употреба в закрити помещения.
- Използва
 - VPPM (Variable pulse position modulation) модулация с кодиране 4B6B
 - OOK(ON-OFF key) модулация с кодиране 8B10B

PHY III при LiFi



- скорости от 12Mbps до 96 Mbps
- Използва се при системи, базирани на RGB цветово кодиране и употреба на детектори.
- Използва:
 - CSK(Color Shifting Keying) модулация/кодиране
 - 4-CSK, 8-CSK, 16-CSK.

Задачи на МАС слой

- Синхронизация на мрежовите потоци
- Поддържа VRAN връзките
- Цветова функционалност
- Поддържа видимостта и затъмняването в системата
- Поддържа визуални индикации за статуса на устройствата и канала за връзка
- Сигурността на устройството
- Качеството на връзката
- Осигурява надеждна връзка между двата МАС слоя на отделните пиъри

Структура на LiFi PHY кадър

Preamble (see 8.6.1)	PHY header	HCS	Optional fields	PSDU
SHR	PHR			PHY payload

- Preamble – Използва се от предаващото устройство за установяване на синхронизация.
- PHYHeader – Предава се заедно с OOK(ON-OFF Keying) модулацията. Съдържа информация за номера на канала, MCSID (дефинира типа на физическия слой (PHYI,II или III) и скоростта на данните, дължината на *PSDU* и други.
- HCS – 16 битово поле. Използва се за защита на PHYHeader в LiFi физическия слой.
- PSDUfield – Има различна дължина. Съдържа информация от физическия фрейм.

Структура на LiFi MAC кадър

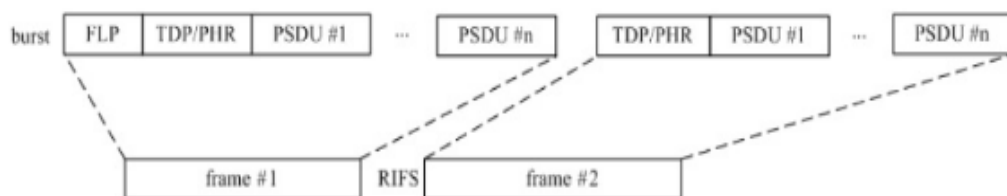
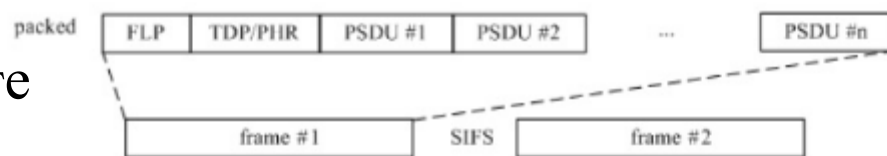
Octets: 2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	0/5/6/10/ 14	variable	2
Frame Control	Sequence Number	Destination VPAN Identifier	Destination Address	Source VPAN Identifier	Source Address	Auxiliary Security Header	Frame Payload	FCS
Addressing fields								
MHR							MSDU	MFR

- MHR(MACHeader) –2 октета, съдържа адресни полета, контролни флагове и типа на фрейма.
- MSDU(MAC service data unit)
- MFR(MAC Footer)

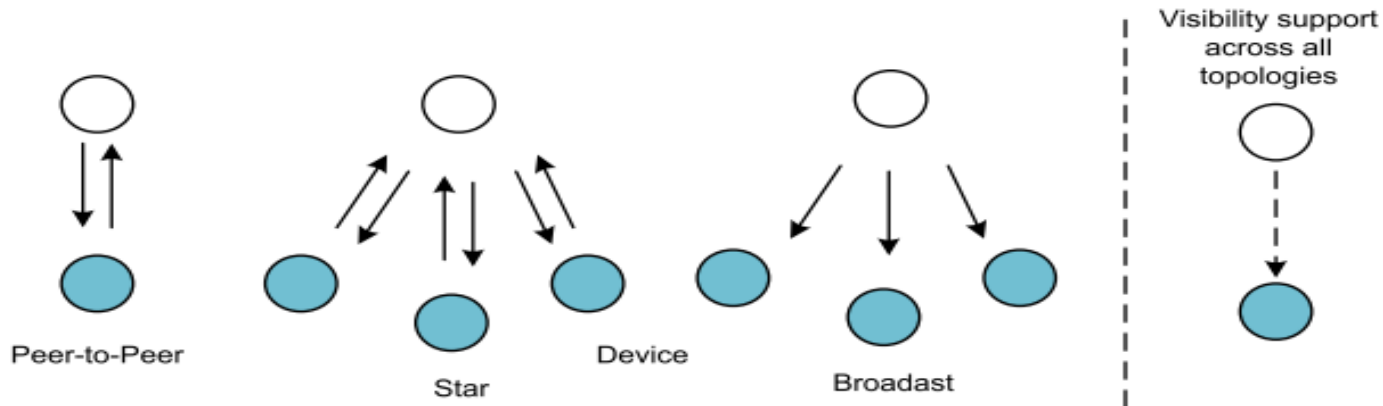
Видове кадри на MAC слоя

За предаване на информацията и управление на кадрите:

- **Singlemode** – във фрейма е поместена само 1 PPDU единица.
- **Packedmode** – във фрейма са поместени множество PPDU (physical Protocol Data Units) за една и съща дестинация. Този режим подобрява ефективността на MAC слоя и елиминира повтарящите се PHY и MAC хедъри за една и съща дестинация.
- **Burst mode** – фреймът използва физическия преамбюл с намалена дължина след първия кадър. Този режим повишава ефективността на системата и подобрява пропускателната способност.



Топологии



- В **peer-2-peer** топология две устройства комуникират и едното от двете осигурява поддръжката на комуникацията - то става координатор(Terminal). Данните се предават между устройствата в peer-to-peer връзката.
- В топологията **звезда** всички устройства имат двупосочна комуникация с координатора. Предаването включва данните, изпратени от устройство на координатора и обратно.
- В топологията в **broadcast** излъчване потребителите само получават данни от предавателя. Изпращат се данните от координатора на устройството

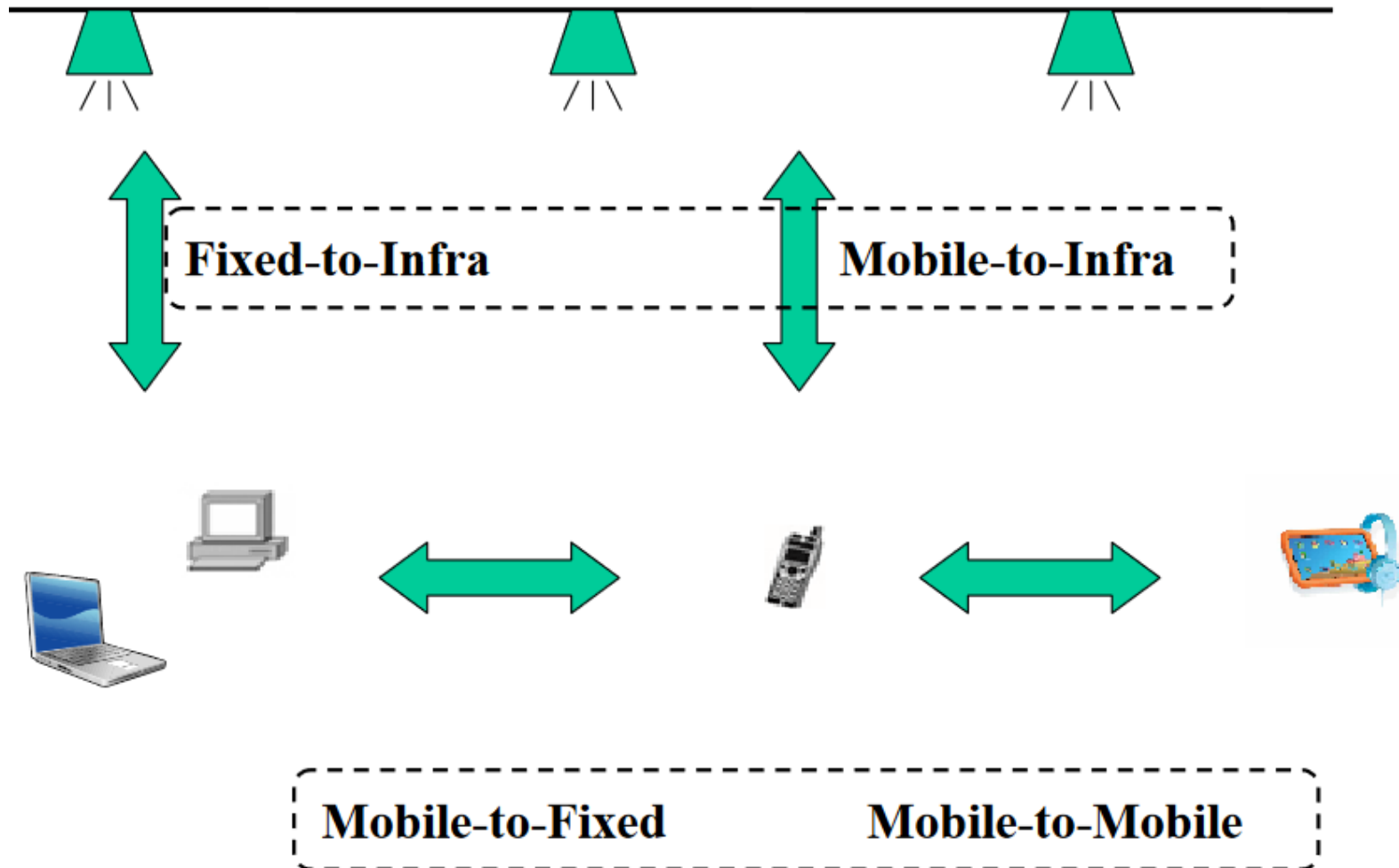
Класове устройства

- **Infrastructure** - статични, роля на координатор, имат "неограничено" снабдяване със захранване
- **Mobile** - подвижни, имат умерено захранване, по-ниска мощност за обмен на информация
- **Vehicle** - подвижни, много ограничено захранване, по-ниска мощност за обмен на информация

	Infrastructure	Mobile	Vehicle
Fixed coordinator	Yes	No	No
Power supply	Ample	Limited	Moderate
Form factor	Unconstrained	Constrained	Unconstrained
Light source	Intense	Weak	Intense
Physical mobility	No	Yes	Yes
Range	Short/long	Short	Long
Data rates	High/low	High	Low

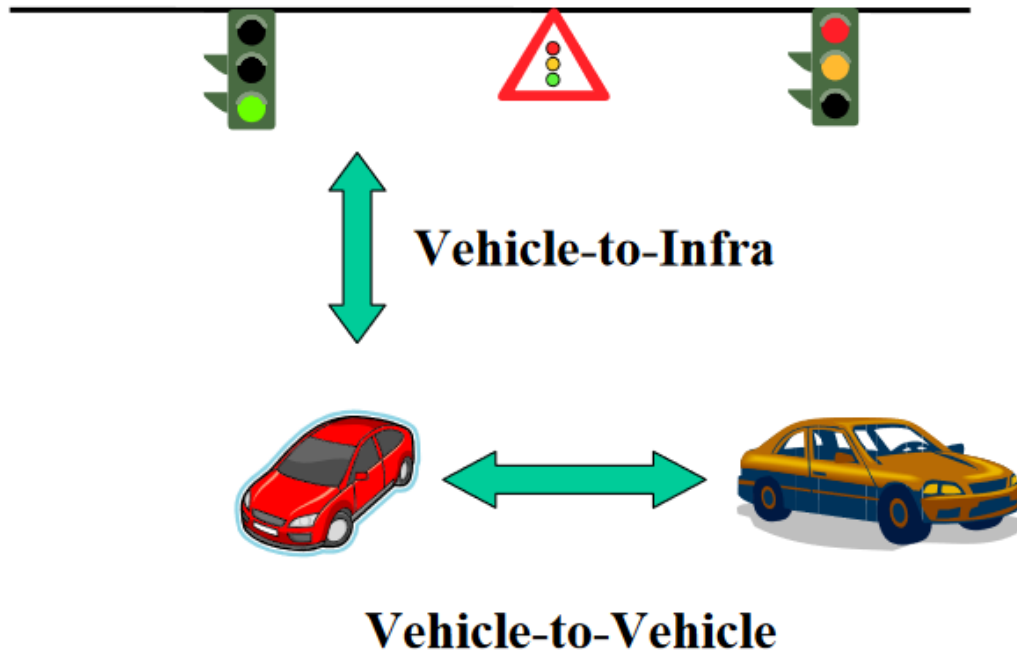
LiFi в помещение (indoor)

LED Illumination Infrastructure



LiFi навън (outdoor)

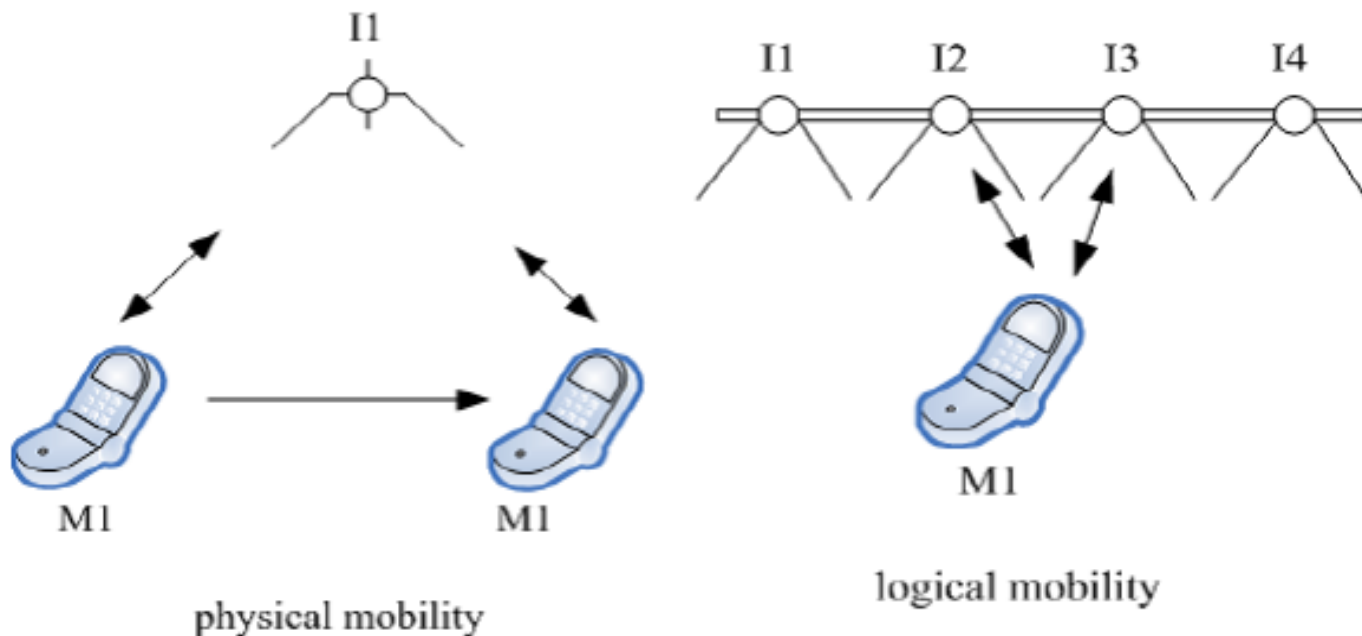
Traffic control Infrastructure



Outdoor advertising

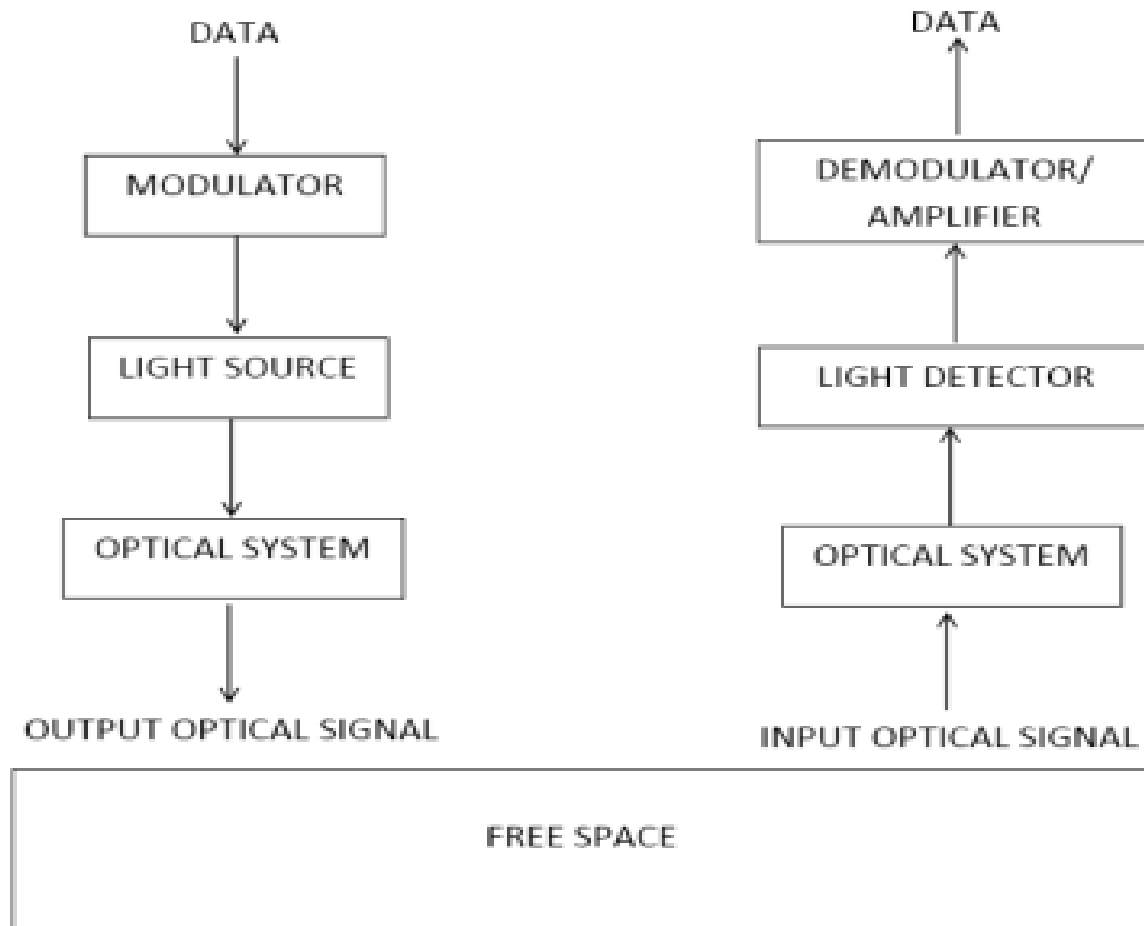


Видове мобилност



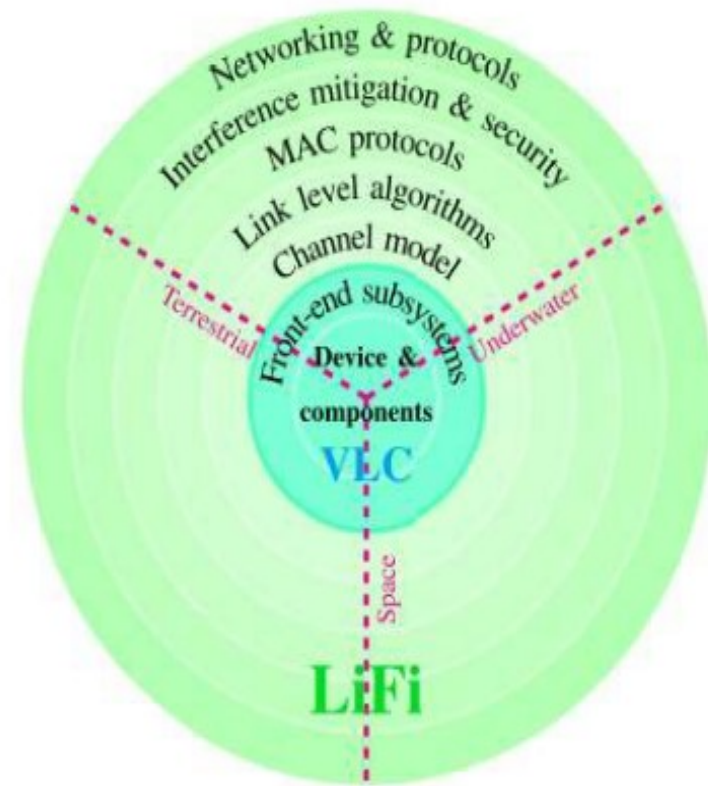
- Само за Mobile и Vehicle устройства.
- Дели се на:
 - Физическа
 - Логическа

Блокова схема на VLC система



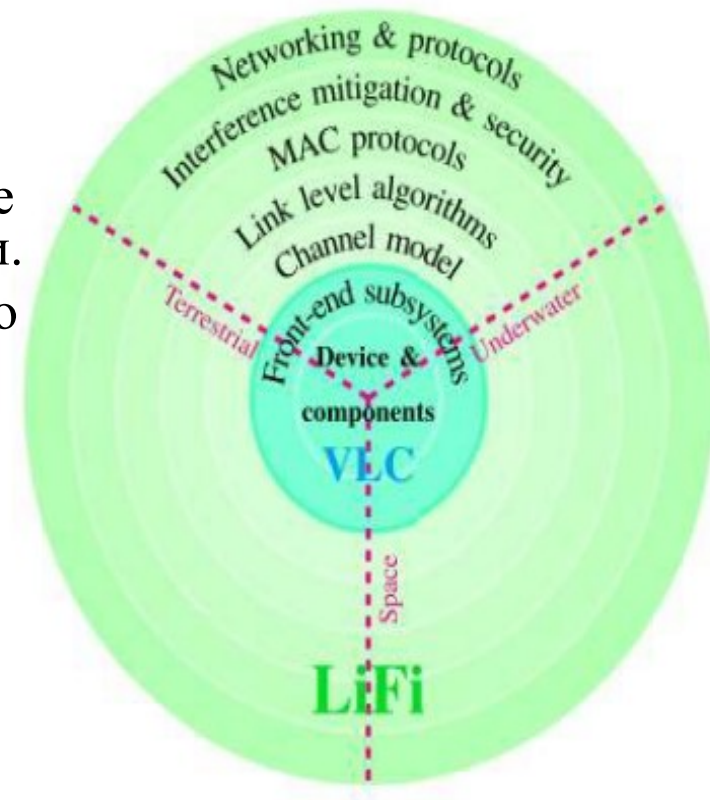
Компоненти на LiFi

- LiFi предлага:
 - изграждане на пълноценна безжична мрежова инфраструктура,
 - двупосочна комуникация - point-to-multipoint или multipoint-to-point
- Реализира се с „attocells“ – клетъчни елементи, които са по-малки от типичните радиочестотни елементи.



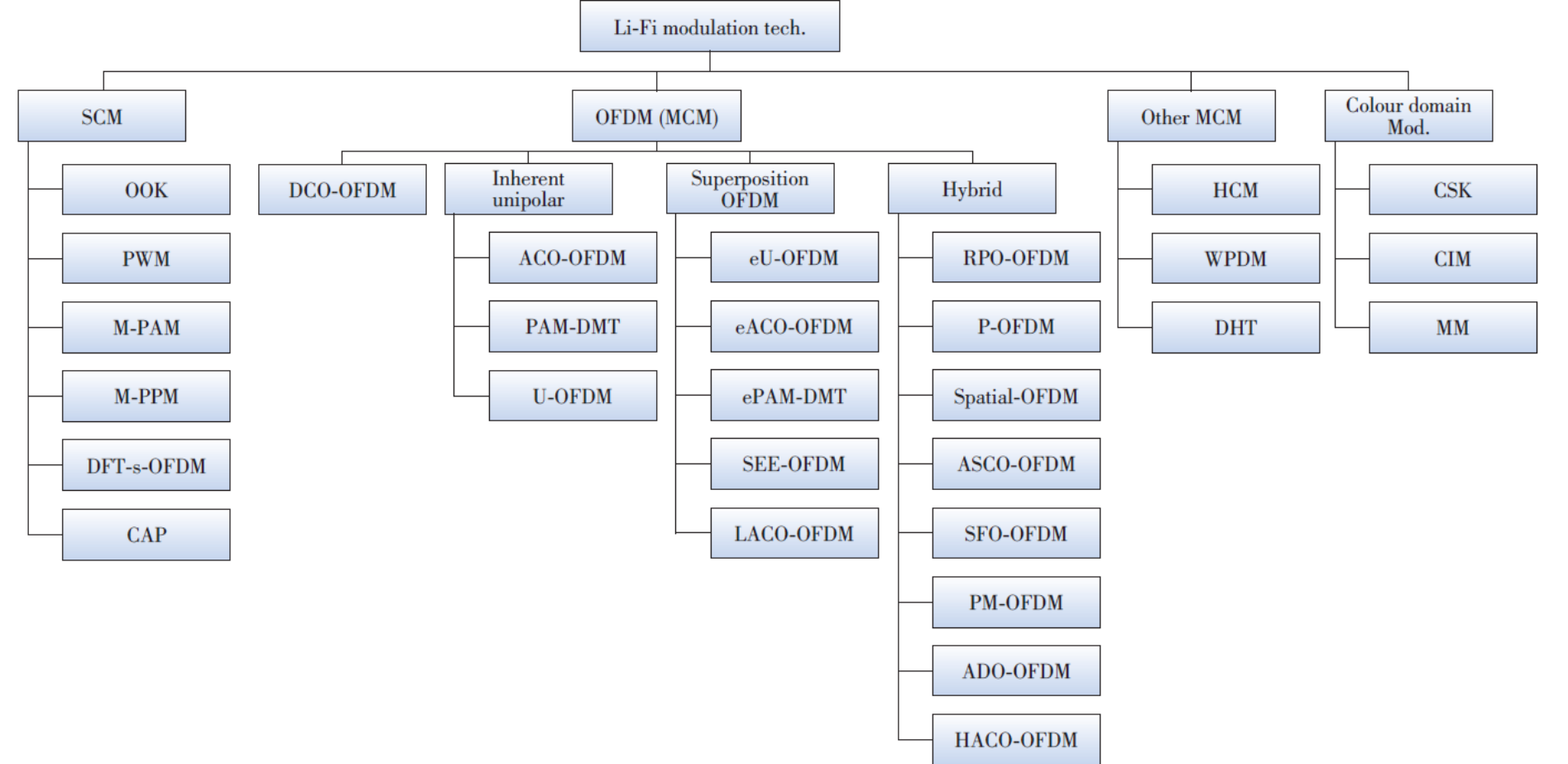
Слоеве на LiFi

- В ядрото са нови устройства като Галиев Нитрид (GaN), микросветодиоди и еднофотонни лавинни диоди. Те се вграждат в челните части на адаптивната оптика и в аналоговите вериги, за да управляват LED и да оформят сигнала, получен от фотодиода на приемника.
- Следва слой, в който се анализира спектралния състав и кохерентността на използваната светлина.
- След него се разполага слой на т.н. Linklevel algorithms, със задача да се оформят сигналите така, че да пропускат максимален пакет данни.
- Следва MAC слоя (medium access protocol), който обезпечавя многопотребителски достъп.
- Над него е слой, съдържащ необходимите техники за намаляване на смущенията и гарантиране нивата на добрата средна пропускателна способност.
- Във външния слой, оптичната attocell мрежа трябва да бъде интегрирана в софтуерно-дефинирани мрежи, управлявани при съответните нива на контрол.



Модулация при LiFi

- Светодиодите (LEDs) излъчват некохерентна светлина, т.е. фазата и амплитудата на сигнала не могат да се използват за предаване на данни.
- Единственият начин за кодиране на информацията е модулация на интензивността (intensity modulation) на светлината, която те излъчват и директното детектиране (direct detecting) на сигналите (IM/DD), което изисква модулиращият сигнал да бъде положителен (real valued), еднополярен.
- Това условие ограничава прилагането на добре изследваните и разработени модулационни схеми в областта на радио комуникациите.
- При нарастване на скоростите на предаване, тези модулационни схеми проявяват нежелани ефекти на междусимволна интерференция (intersymbol interference – ISI).
- Необходим е по-устойчив метод какъвто е OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing).



ACO-OFDM: asymmetrically clipped optical OFDM
 ADO-OFDM: asymmetrically clipped DC biased optical OFDM
 ASCO-OFDM: asymmetrically and symmetrically clipped optical OFDM
 CAP: carrier-less amplitude modulation
 CIM: colour intensity modulation
 CSK: colour shift keying
 DCO-OFDM: DC biased OFDM
 DFT-s-OFDM: discrete Fourier transformation spread OFDM
 DHT: discrete Hartley transform
 eACO-OFDM: enhanced ACO-OFDM

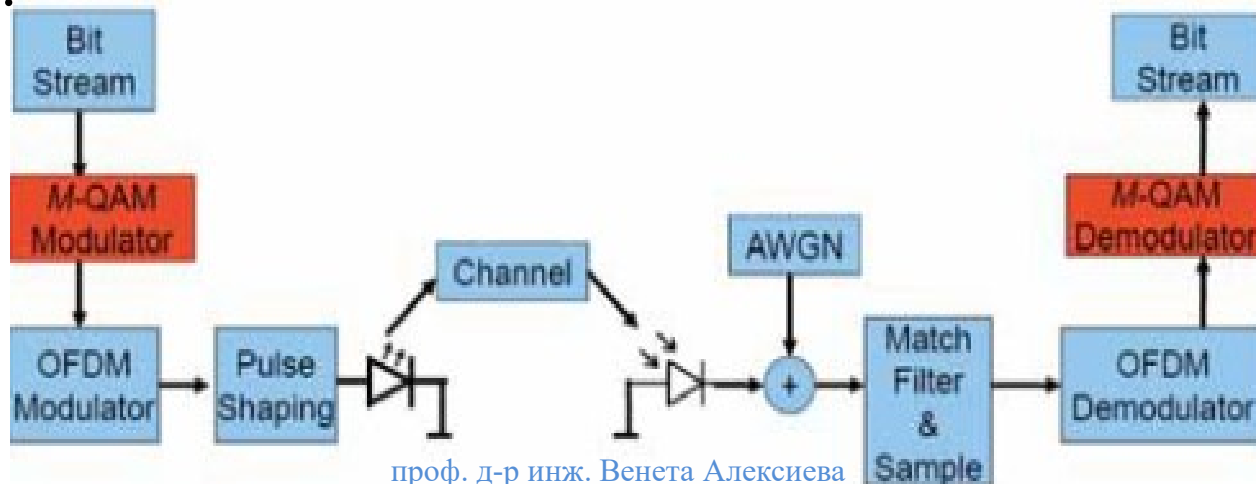
ePAM-DMT: enhanced PAM-DMT
 eU-OFDM: enhanced unipolar OFDM
 HACO-OFDM: hybrid asymmetrically clipped optical OFDM
 HCM: Hadamard coded modulation.
 LACO-OFDM: layered ACO-OFDM
 Li-Fi: light fidelity
 MCM: multicarrier modulation
 MM: metamerism modulation
 M-PAM: M-ary pulse amplitude modulation
 M-PPM: M-ary pulse position modulation

OFDM: orthogonal frequency modulation
 OOK: on-off keying
 PAM-DMT: pulse amplitude modulation discrete multitone
 PM-OFDM: position modulation OFDM
 P-OFDM: polar OFDM
 PWM: pulse width modulation
 RPO-OFDM: reverse polarity optical OFDM
 SCM: single carrier modulation
 SEE-OFDM: spectrally and energy efficient OFDM
 SFO-OFDM: spectrally factorized optical OFDM
 WPDM: wavelet packet division multiplexing

<https://www.lifi.eng.ed.ac.uk/lifi-news/2017-04-01-1855/comprehensive-summary-modulation-techniques-lifi>

OFDM

- При OFDM, наличната честотна лента се разделя на множество носещи честоти, всяка от които е модулирана с quadrature amplitude modulation (M-QAM)
- OFDM е подобна на радио-системите с честотно разделяне, но за разлика от тях използва много по-ефективно наличния спектър, тъй като **необходимото разстояние между отделните носещи честоти е много по-малко.**
- Това се постига, като излъчваните сигнали са ортогонално разположени един спрямо друг и по този начин се премахва интерференцията между близко разположените носещи честоти.



SIM-OFDM

- SIM-OFDM (Subcarrier Index Modulation OFDM) - за предаване на информацията се използва състоянието на различните носещи честоти – активно или неактивно.
- С SIM-OFDM и чрез използване на оригинален алгоритъм се решава:
 - проблемът с разпространението на грешката по бит (BER),
 - повишава се енергийната ефективност
 - скоростта на предаваните данни.

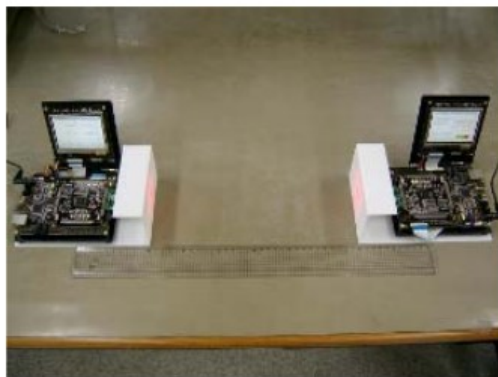
Двупосочност при LiFi

- Повечето демонстрации на VLC технологията са се фокусирали върху увеличаване скоростта на комуникациите point-2-point с еднопосочен канал.
- За да се реализират предвидените приложения на Li-Fi технологията за изграждане на комуникационни системи, важно е да се осигури обаче възможност за осъществяване на двупосочни (дуплексни) връзки.
- На световните конгреси по мобилни комуникации MWC 2014 и CeBIT 2014, фирмата PureLiFi е представила системата Li-1st, демонстрираща комуникация при пълен дуплекс.

Предходни решения- 2008

- Само в тестови условия:

Mobile to mobile



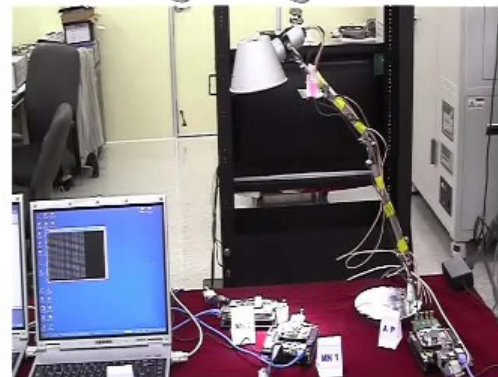
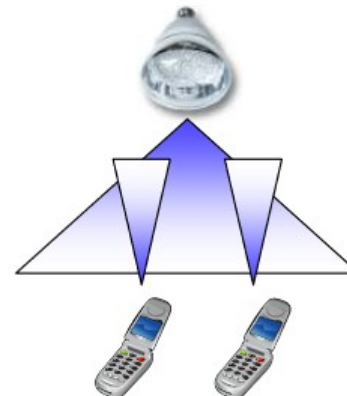
100 Mbps, 1m
Bidirection

Infra to mobile



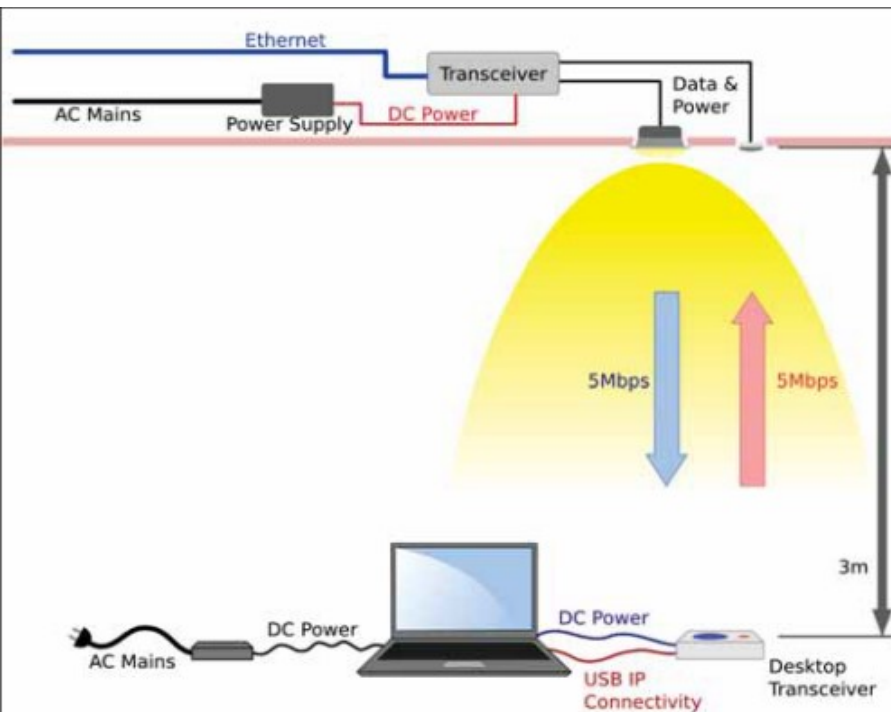
20 Mbps, 3m
Unidirection

Infra to mobile

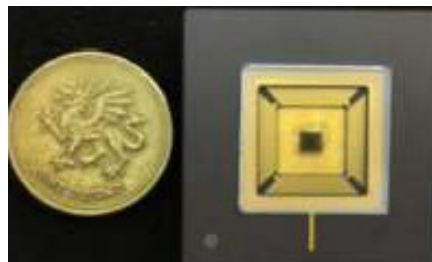


4 Mbps, 3m
Bidirection

Li- 1st



предавател



приемник

Реализираните дотук прототипи са с 3мм дебелина и площ 3,3х3,3 см²

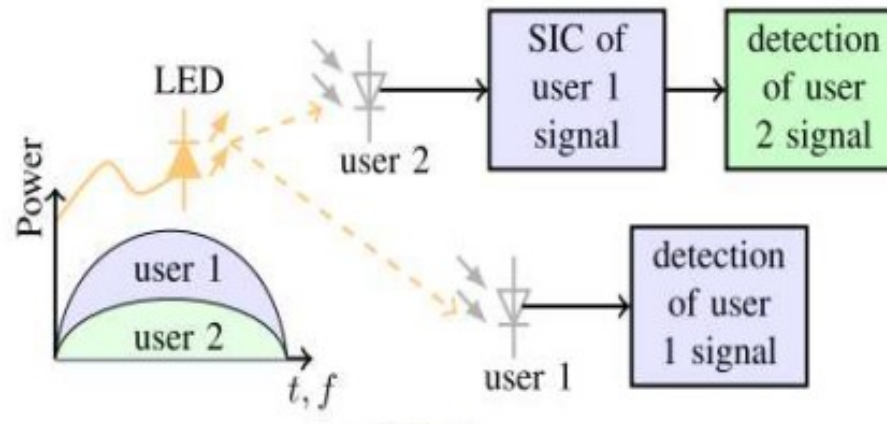
- Li-1st осъществява свързване с Интернет мрежата чрез приемно-предавателно устройство (TRANSCEIVER).
- Това устройство кодира постъпващите от Интернет мрежата данни, които се предават по канала, чрез модулиране на интензивността на светлината, излъчвана от светодиодна лампа.
- Приемникът декодира сигналите чрез монтирани в него детектори за инфрачервена светлина и оптическа система.
- Приемно-предавателното устройство (DESKTOP TRANSCEIVER) съдържа процесор с декодер на модулираната видима светлина, постъпваща от светодиодната лампа.
- Декодираният бинарен поток постъпва към компютъра или друго крайно устройство, чрез USB интерфейс.
- DESKTOP TRANSCEIVER приема данни от крайното устройство, кодира ги и ги предава по канала на TRANSCEIVER, използвайки инфрачервен излъчвател.
- Системата предлага пълен дуплекс със скорост 5Mbps в двата канала на разстояние до 3 метра.

Li-1st реализация 2014г.



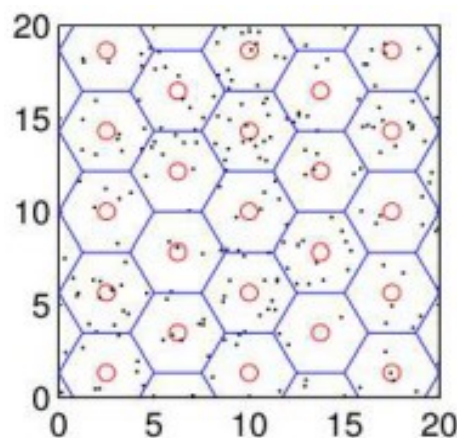
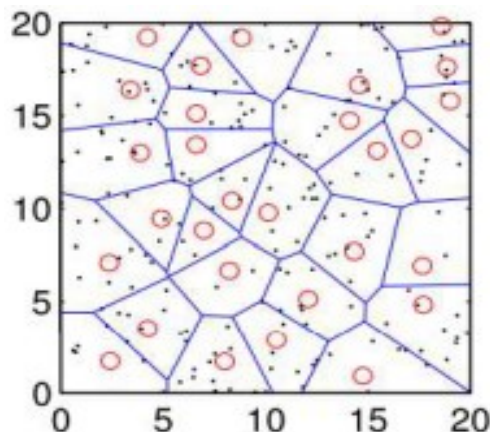
- Отдясно се намира управляемата светодиодна лампа с драйвера (Ceiling Unit/Driver), която се фиксира на тавана.
- Отляво е приемникът (Desktop Unit) на светлинните лъчи, който е свързан с компютъра.

Поделяне на ресурса между потребители



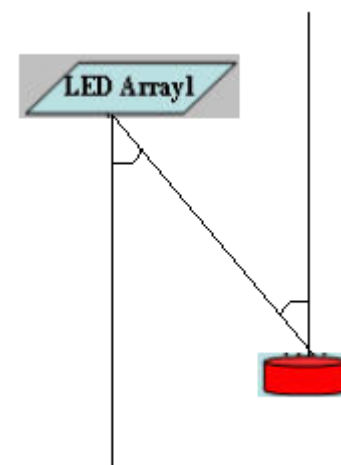
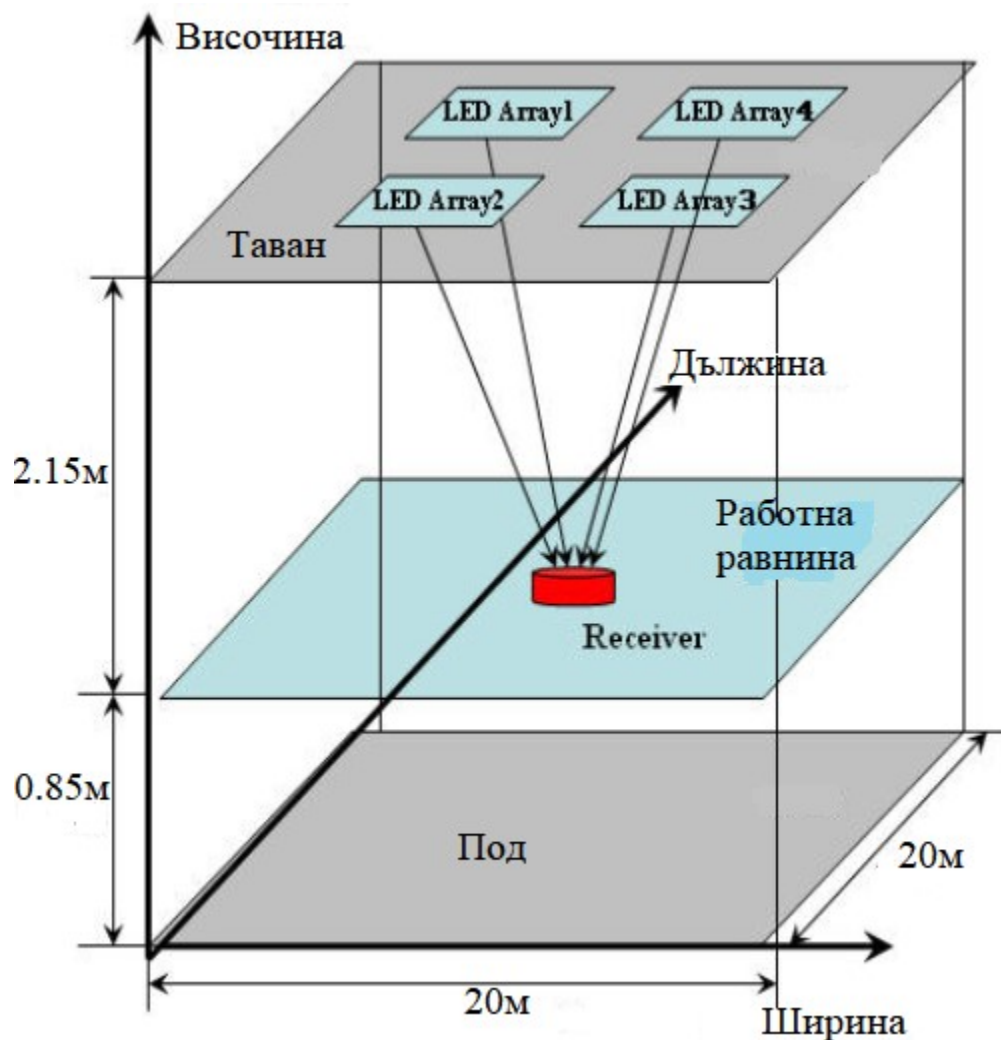
- Управлява се от невидими за човешкото око ефекти:
 - трансмитер с диверсифициращи ъгли на излъчване,
 - алгоритми за групиране по време на потребителите (приемниците),
 - ортогонално-честотно делене на сигнала.

Разполагане на LiFi мрежата



- Тестовите помещения са с размер 20 x 20 метра.
- Червените кръгове са позициите на оптичните Access Points, които съчетават в себе си функцията и на осветителни тела.
- Точиците задават възможните местонахождения на терминалите - смартфони и други устройства-консуматори на Internet-of-Things.

Тестова постановка



Предимства на Li-Fi attocell

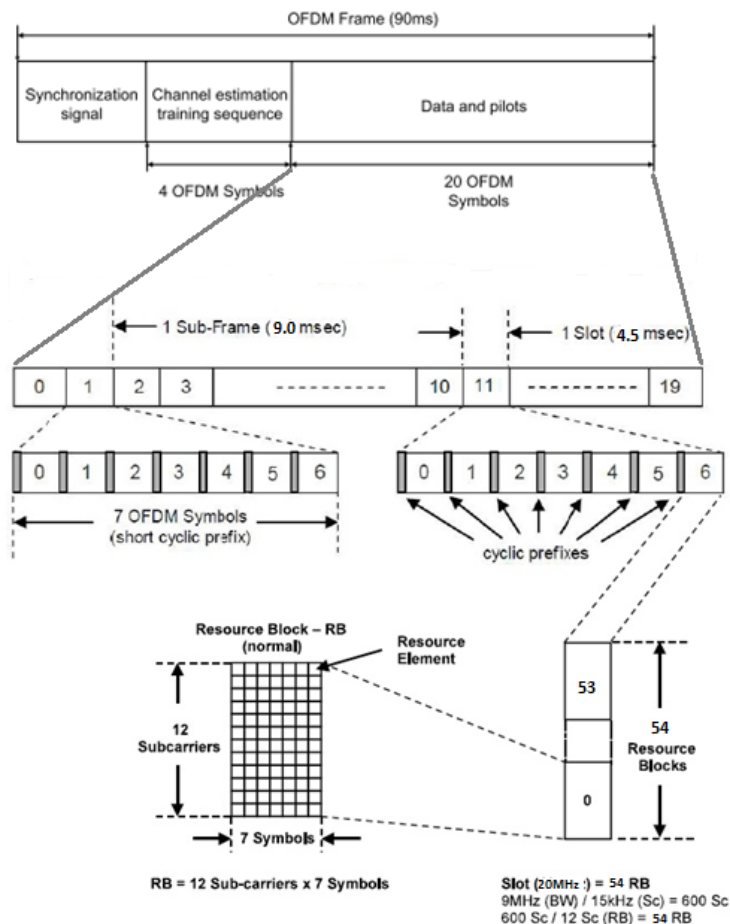
- Li-Fi attocell могат да бъдат разгърнати като съставна част от хетерогениите VLC-RF мрежи
- оптичните Li-Fi attocell мрежи не взаимодействат с радио мрежите с макро клетки.
- attocell не само подобрява покритието вътре в сградите, но създава възможност и за разширение на капацитета на радио честотните безжични мрежи.
- Скоростта на предаване на данни в Li-Fi attocell мрежите може да бъде подобрена с три порядъка.
- Разполагането на множество Li-Fi attocells, осигурява повсеместно покритие в едно помещение, в допълнение към предоставянето на почти еднаква осветеност. Това означава, че една стая може да съдържа много attocells клетки, които образуват много плътна клетъчна attocell мрежа.
- Намаляването на интерференция при Li-Fi, води до съществено увеличение на площта на спектралната ефективност (ASE) в bits/s/Hz/m^2 .
- Възможност за предаване на данни със скорост до 1,1 Gbps на разстояние 10m с мощност по-малка от 0,5 W. Това е само 5% от мощността на обикновена 10W светодиодна лампа. Тези резултати потвърждават идеята, че обхватът и скоростта на предаване се запазват и при намаляване на яркостта на светлината почти до състояние „изключено“.

Li-Flame

- Абонатите трябва да споделят групово комуникационните ресурси без взаимно подслушване (cross-talk).
- За тази цел се използва разширение на OFDM – OFDMA (Orthogonal Frequency- Division Multiple Access) – ортогонално честотно разделяне и мултиплексиране за споделен (групов) достъп.
- В края на 2017 година компанията PureLiFi представи на пазара следваща генерация двупосочен, високоскоростен Li- Fi продукт – Li-Flame.
- Тази технология е развитие на VLC- предаване в напълно безжична мрежа, която свързва светодиодни лампи, окачени на тавана на помещенията, като изгражда множество точки за достъп до Интернет.
- Li-Flame позволява свободното движение на потребителите в помещението.
- Li-Flame технологията осигурява плътност на данните значително по-голяма от радио технологията – Wi-Fi. Чрез намаляване на размерите на клетките в безжичните клетъчни радиокомуникации, спектралната ефективност се увеличава с два порядъка.

LiFi OFDM кадър

- Продължителност на предаване 90ms.
- Структурата на OFDM кадъра се състои от:
 - Синхронизиращ сигнал
 - 4 OFDM симбола, носещи информация за оценката на канала
 - 20 симбола, носещи същинските данни.
- OFDM фреймовете са разделени на 10 подфрейма, всеки подфрейм е с дължина 9.0 ms.
- Всеки подфрейм се разделя на два слота, всеки с продължителност 4.5 ms.
- Слотовете се състоят от 6 или 7 OFDM симбола, в зависимост от това дали се работи с нормален или удължен цикличен префикс.



Ресурсни блокове

- При OFDM един времеви слот (таймслот) отговаря на един ресурсен блок (RB).
- Един RB се състои от 7 символа във времевата област, при кратък цикличен префикс (6 символа във времевата област, при удължен цикличен префикс), и 12 подносещи честоти в честотната област.
- Според дължината на честотната лента има 54 RB за 20MHz, като от тях има пилотни, а останалите са даннови, което прави общо 48 даннови блока, и 108 RB при честота от 26MHz и 30MHz, като 8 от тях са пилотни, следователно има 100RB.

LiFi и WiFi- възможности

Функция	LiFi	WiFi
Наименование	Light Fidelity	Wireless Fidelity
Принцип на работа	LiFi предава данни с помощта на светлина с помощта на LED крушки.	WiFi предава данни чрез радио вълни с помощта на WiFi рутер.
Смущения	Нямат никакви смущения, подобни на радиочестотни вълни.	Има смущения от близките точки за достъп (маршрутизатори)
Технология	Представят IrDA съвместими устройства	WLAN 802.11a/b/g/n/ac/ad стандартните съвместими устройства
Приложения	Използвани в авиокомпаниите, подводни изследвания, болници, офис и частни помещения за пренос на данни и достъп до Интернет	Използва се за достъп до Интернет с помощта на WiFi точки
Предимства	Смущенията са по-малко, може да премине през солената морска вода, работи в плътни райони	Склонни са към смущения, не могат да преминават през морска вода
Поверителност	светлината се блокира от стените, което предполага по-безопасен трансфер на данни	За RF сигнал стените са прозрачни, затова трябва да използват техники за постигане на сигурен пренос на данните.
Скорост на трансфер на данни	Около 1 Gbps	WLAN-11n предлага 150Mbps пропускателна, около 1-2 Gbps може да се постигне с помощта на WiGig/Giga-IR
Честота на работа	10000 пъти по-голям честотен спектър от радио (в Tera Hz диапазон)	2.4 GHz, 4.9 GHz и 5 GHz
Плътност	Работи в среда с висока плътност.	Работи в среда с по-ниска плътност на шумоустойчивост.
Покритие	Около 10 метра	Около 32 метра (WLAN 802.11b / 11 g), варира в зависимост от мощността на предаване и типа на антената
Системни компоненти	Лампа, LED крушка (лампа) и Фото детектор могат да съставят пълна LiFi система.	Изисква настроени рутери, абонатни устройства (лаптопи, PDA устройства, настолни компютри) наречени още станции

Предизвикателства и решения

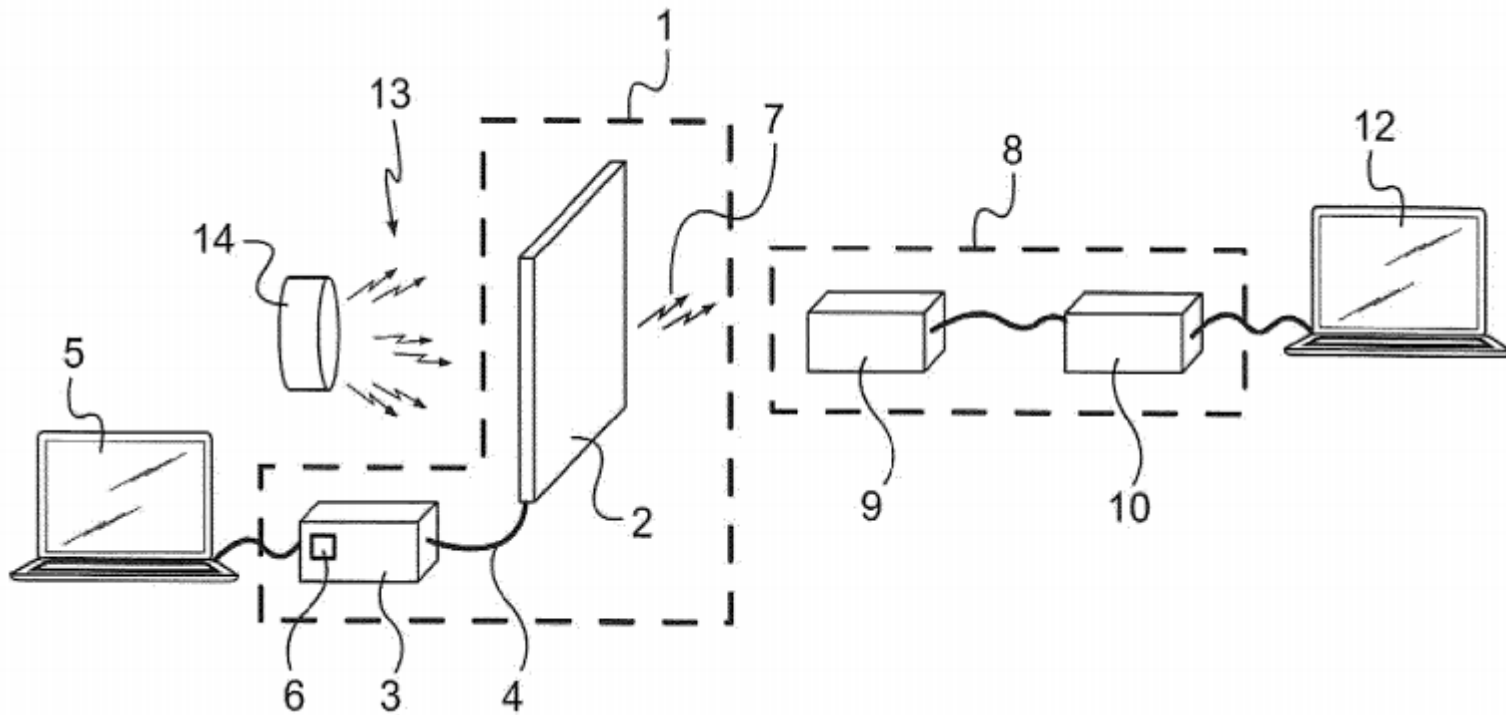
- Как да се направят съществуващите източници на светлина LiFi съвместими?
 - Li-Fi предавателите използват твърдотелни светодиоди с интегрирани / вградени контролери, които приемат данни и модулират светлината от светодиода според битовете.
 - Осветителите (лампите) обикновено са фосфорни или с RGB светлина. Фосфорните са по-евтини от източниците с RGB, но осигуряват по-малка честотна лента от тях поради ниската им скорост на превключване.
- Как да се намалят разходите за внедряване на LiFi?
 - Да се замени съществуващия източник на светлина с нов, който съдържа интегриран VLC модулационен контролер;
 - Да се поправи с добавяне на VLC

Решение 1- Въвеждане на модулиращ елемент

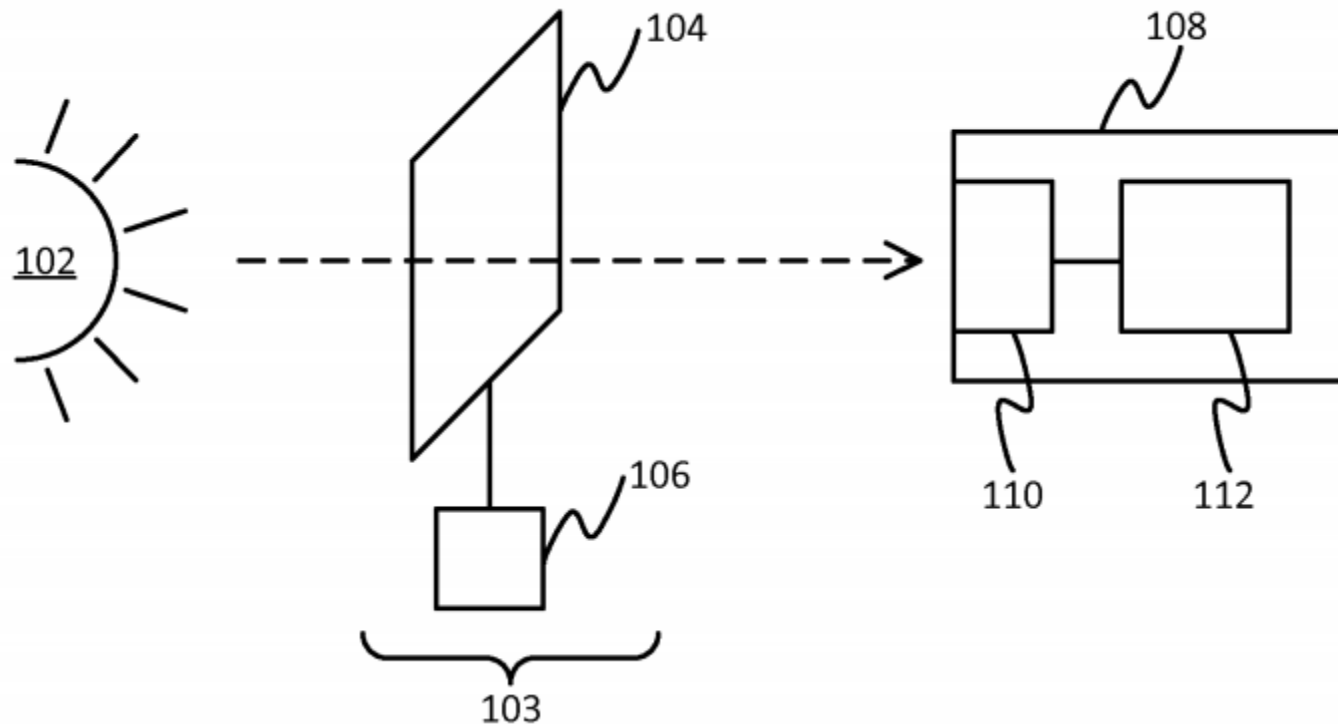
Патенти за LiFi - WO2017042093A1 и EP3139524A1 с нов модулиращ елемент.

- Този елемент, когато е прикачен към съществуващия източник на светлина, има способността да модулира съществуващата светлинна мощност според данните, които трябва да бъдат предадени.
- Модулаторът селективно променя предаването или отразяването на светлината в отговор на данните, които трябва да бъдат предадени, и така превръща съществуващите нормални осветителни тела в Li-Fi предавател.
- По този начин се премахва необходимостта от смяна на осветителното тяло.

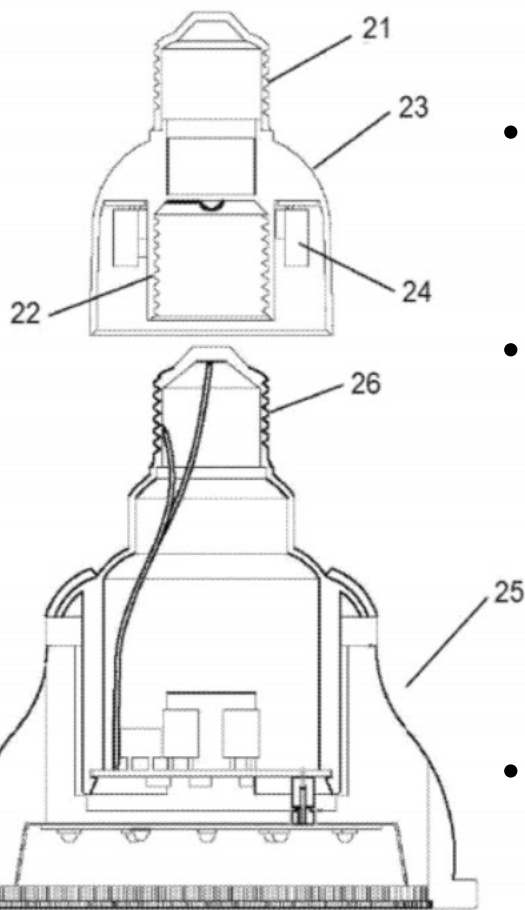
EP3139524A1



WO2017042093A1



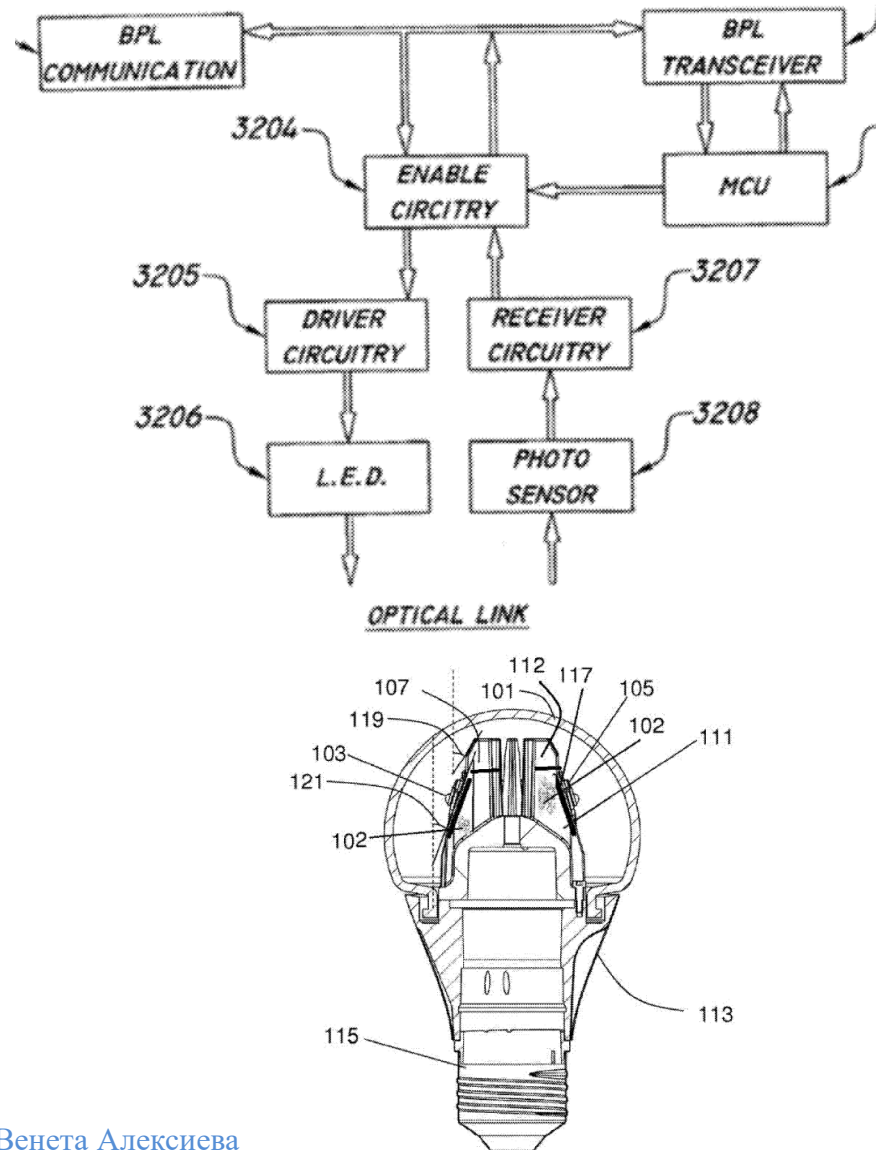
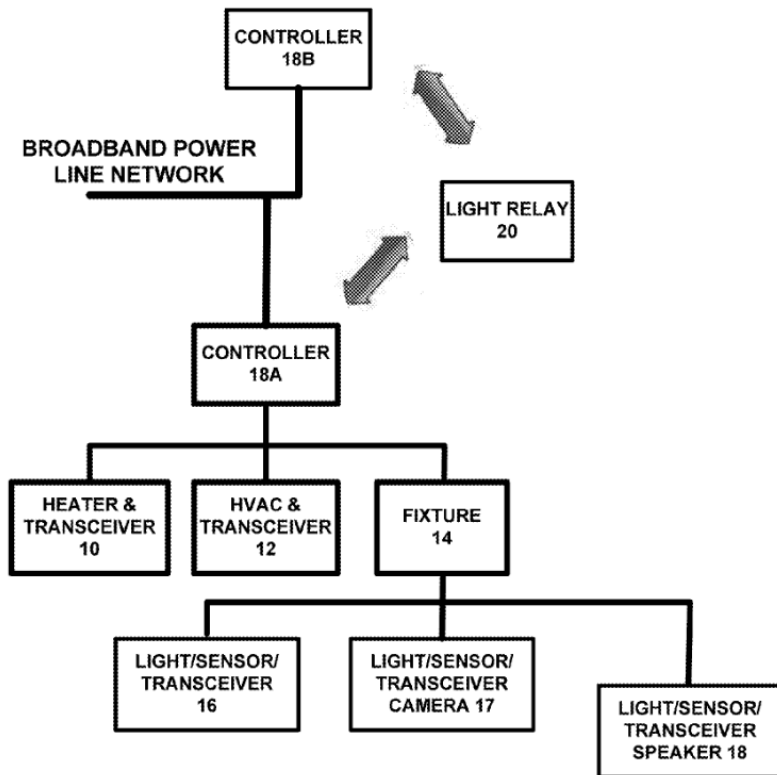
Решение 2- Добавяне на допълнителен LiFi контролер за съвместимост



- Използване на допълнителен контролер като самостоятелен компонент, който може да бъде прикачен към съществуващия източник на светлина.
- Контролерът може да работи като модулатор и да насочва източника на светлина да излъчва светлина с особена интензивност / мощност чрез промяна на входния сигнал.
- Контролерът съдържа:
 - приемник на сигнал за данни, който е конфигуриран да приема данни от външния източник на данни,
 - протокол VLC, конфигуриран за интерпретиране на получените данни
 - VLC приемопредавател за преобразуване на получените данни в един или повече модулирани сигнали LIBM (Light Intensity Baseband Modulation).
- След това управляващият блок активира и деактивира своя изходен сигнал за подаване на изходно напрежение, отговарящо на един или повече LIBM-модулирани сигнали и контролира изхода на светлинния източник.

US20160218807A1

- 28 Юли 2016г.



Въпроси ?

Благодаря за вниманието !

За справка:

- H. Elgala, R. Mesleh, H. Haas and B. Pricope , OFDM Visible Light Wireless Communication Based on White LEDs
- Bingyan Yu, Hongming Zhang, Ling Wei, Subcarrier Grouping OFDM for Visible-Light Communication Systems Volume 7, Number 5, October 201
- M. Saadi , L. Wattisuttikulkij , Y. Zhao , P. Sangwongngam 4, Visible Light Communication: Opportunities, Challenges and Channel Models, 18 February, 2013
- Niranjini Rajagopal, Patrick Lazik, Anthony Rowe, Visual Light Landmarks for Mobile Devices
- Shubham Chatterjee, Shalabh Agarwal, Asoke Nath, Scope and Challenges in Light Fidelity(LiFi) Technology in Wireless Data Communication, Volume 2 (June 2015)
- Haas, Harald et al, “What is LiFi”, Journal of lightwave technology, vol.33
- Dinesh Khanda , Sakshi Jain , Li-Fi (Light Fidelity): The Future Technology in Wireless Communication, International Journal of Information & Computation Technology. ISSN 0974-2239 Volume 4, Number 16 (2014)
- Wafa S. M. Elbasher, Amin B. A. Mustafa, Ashraf A. Osman, A Comparison between Li-Fi, Wi-Fi, and Ethernet Standards
- Juan F. Gutierrez , Charles E. Hunt , and Jesus M. Quintero, Visible Light Communication LED based Luminaire for General Lighting: State of Art
- Персонален сайт на проф. Хаас: <http://www.lifi.eng.ed.ac.uk/>
- <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/LiFi-Physical-Layer.html>
- <http://purelifi.com/>
- <http://velmenni.com/>
- <http://fugenx.com/li-fi-that-could-make-internet-100-times-faster-than-wi-fi/>
- <http://www.theengineer.co.uk/microscopic-leds-could-speed-up-wireless-communication/>
- <https://www.greyb.com/researchers-reduce-cost-li-fi-integration/>

Въпроси за самопроверка

- Кой е съзателят на LiFi?
- Кога е публикуван стандартът 802.15.7?
- Какво представляват светодиодните осветители?
- Какви топологии за LiFi мрежи познавате?
- Какви са недостатъците на тази технология? А предимствата ѝ?
- Какви физически слоеве при LiFi познавате? По какво се различават те?
- Какви видове фреймове при LiFi познавате? Кога се използват те?
- Представете графично архитектурата на комуникация при LiFi.
- Кои са слоевете при представяне на LiFi компонентите?
- Какви устройства при LiFi познавате? Къде се прилагат? Какво хранване изискват?
- Каква е разликата между mobile и vehicle устройства?
- Какви видове мобилност различава стандартът 802.15.7?
- Какво представлява attocell? Какви са предимствата ѝ?