الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R SM.2422-0 التقرير

(2018/06)

الضوء المرئي للاتصالات عريضة النطاق

السلسلة **SM**

إدارة الطيف

الاتحاد الدولي للاتصالات

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل تقارير قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REP/en)

السلسلة	العنوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	**إدارة الطيف**

ملاحظة: *وافقت لجنة الدراسات على النسخة الإنكليزية لهذا التقرير الصادر عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2018

© ITU 2018
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التقرير ITU-R SM.2422-0

الضوء المرئي للاتصالات عريضة النطاق

(2018)

1 مقدمة

بدأ فريق العمل المعني بإدارة الطيف الترددي لدى قطاع الاتصالات الراديوية بدراسة المسألة ITU R 238/1 التي اعتمدتها جمعية الاتصالات الراديوية في عام 2015. والقصد من هذا التقرير هو معرفة كيف يمكن لاستخدام الاتصالات بالضوء (القريب من) المرئي (VLC) (أو ربما يكون المصطلح الأفضل لها هو الاتصالات اللاسلكية البصرية) أن يساعد في تخفيف الازدحام في الطيف الراديوي، وبأي طريقة، وإلى أي مدى. ويمكن للجمع بين تطوير تكنولوجيات جديدة واستخدام الاتصالات بالضوء المرئي أن يشكل توليفة مثيرة للاهتمام وربما أحد حلول الاستخدام الفعال للطيف الراديوي.

ويجري تناول المواضيع التالية:

- الخصائص المميزة (التقنية والتشغيلية) لاستخدام الاتصالات بالضوء (القريب من) المرئي (VLC) في الاتصالات عريضة النطاق من حيث استعمالها للطيف؛
- مزايا وعيوب استخدام الاتصالات بالضوء (القريب من) المرئي (VLC) (وهي قد تشمل: الكفاءة، التداخل، المخاطر الصحية، الأمن السيبراني)؛
- التطبيقات الجديدة المرتبطة بالضوء المرئي المستخدَم للاتصالات عريضة النطاق؛
- الحواجز التي تعترض تطوير الاتصالات عريضة النطاق من أجل الانتقال إلى تنفيذ الاتصالات بالضوء (القريب من) المرئي (VLC) في جميع أنحاء العالم (من قبيل الحواجز التنظيمية، و/أو الثقافية، و/أو الاقتصادية)؛
- الطريقة التي توصَّل بها الاتصالات بالضوء (القريب من) المرئي (VLC) بأنظمة الاتصالات الحالية (الثابتة والمتنقلة).

2 تاريخ الاتصالات بالضوء المرئي

منذ العصور الغابرة حتى القرن التاسع عشر، اعتمدت أنظمة الاتصالات بالضوء المرئي جميعها على العين البشرية كمستقبِل. وغيَّر اختراع الكسندر غراهام بيل وتشارلز سومنر تينتر للهاتف الضوئي من طبيعة الاتصالات بالضوء المرئي. فهما استفادا من واقع أن مقاومة السيلينيوم تتغير بتغير كثافة الضوء واستخدما هذه الخاصية بتوصيلها بمستقبِل هاتف لإرسال إشارات سمعية. وتحقق العديد من التحسينات على هذه الأنظمة حتى خمسينيات القرن العشرين، بيد أن معظم المواد المستخدمة للكشف لها حساسية أعلى للإشعاعات تحت الحمراء، مما استبعد استخدام الضوء المرئي كوسط إرسال.

وأثار ظهور ثنائيات المساري الضوئية (LED) اهتماماً جديداً باستخدام الاتصالات بالضوء المرئي. وبعبارة أدق، أتاح ظهور ثنائيات مساري الغاليوم آرسنايد (GaN) الضوئية [1] والفوسفور الأبيض الضوئي [2] مصادر ضوء مرئية يمكن تشكيلها بسرعات أعلى، دون التضحية بدورها الرئيسي في الإضاءة. وفي عام 2004، أجريت أول البيانات العملية لاتصالات عالية السرعة بثنائيات LED في اليابان، باستخدام ثنائيات المساري الضوئية. ومكَّن انتشار الهواتف الخلوية المزوَّدة بكاميرات من استخدامها كمستقبِلات للاتصالات بالضوء المرئي. وبدأ الباحثون باستخدام شاشات العرض بالكريستال السائل (LCD) وعناصر العرض الأخرى كمرسلات.

وكانت إحدى هيئات التقييس الأولى التي أعدت معياراً للاتصالات بالضوء المرئي هي اتحاد اتصالات بالضوء المرئي (VLCC) في اليابان. إذ وسَّعت معيار رابطة إرسال البيانات عن طريق الأشعة تحت الحمراء (irDA) من أجل الاتصالات بالأشعة تحت الحمراء ليشمل طيف الضوء المرئي في عام 2008.

3 الضوء المرئي والنطاق العريض

1.3 إمكانيات استخدام النطاق العريض عبر الضوء المرئي

تشير النتائج إلى إمكانية تحقيق معدلات بيانات نفاذ لاسلكية بصرية بالضوء المرئي تتراوح بين بضع b/s وأكثر من 10 Gbit/s في مستويات الإضاءة المعيارية في الأماكن المغلقة. والاتصالات بالضوء المرئي تتمتع بالقدرة الكامنة على تخفيف الازدحام بنطاقات طيفية منخفضة الترددات الراديوية بفضل إمكانية استخدام الطيف الضوئي كمورد طيف إضافي للاتصالات عريضة النطاق.

2.3 مكاسب الكفاءة لاستخدام الضوء المرئي للاتصالات عريضة النطاق

تنشئ الاتصالات بالضوء المرئي وصلة لاسلكية بصرية اتجاهية. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تنشأ وصلة بصرية واحدة من مصباح على السقف مسدَد مباشرة نحو الأرضية. وهي تسمح لأكثر من مستخدم واحد بالتقاسم في الوصلة نفسها. ويتقدم عدد من أجهزة الاتصالات بالضوء المرئي يمكن استيعابها دون أي تداخل من خلال إعادة الاستخدام المكانية.

3.3 استخدام الطيف

تستخدم الاتصالات بالضوء المرئي الطيف المرئي (أطوال موجية بين 390 و750 nm) ويمكنها تقديم اتصالات لاسلكية باستخدام عناصر الإضاءة والعرض.

وتمتلك الاتصالات اللاسلكية البصرية (OWC) القدرة الكامنة على تخفيف الازدحام في نطاقات الترددات الراديوية (RF) الأدنى حيث يمكن استخدام الضوء كمصدر طيف إضافي للاتصالات عريضة النطاق.

4.3 التطبيقات/الخدمات التي يمكن أن تستفيد من الاتصالات بالضوء المرئي

يمكن تصنيف الاتصالات بالضوء المرئي الممكنة في ثلاث مجموعات:

- اتصالات استشعار الصور (ISC).
- اتصالات مستقبِل ثنائي المساري الضوئي منخفضة المعدل (LR-PC).
- اتصالات مستقبِل ثنائي المساري الضوئي عالية المعدل (HR-PC).

وفيما يتعلق بتعريف المعدل المنخفض والمعدل العالي، فإن معدل بيانات عتبة الصبيب يبلغ 1 Mbit/s كما يقاس عند خرج الطبقة المادية للمستقبِل. ويُعتبر الصبيب الذي يقل عن 1 Mbit/s ذا معدل منخفض، أما الصبيب الذي يزيد عن 1 Mbit/s فيُعتبر ذا معدل عال.

اتصالات استشعار الصور

تمكّن اتصالاتُ استشعار الصور الاتصالات اللاسلكية البصرية (OWC) من استخدام مصادر الإضاءة كمرسِل وأجهزة الاستشعار بالصور كمستقبِل. وتتضمن التطبيقات الممكنة ما يلي:

- الخدمات القائمة على الموقع/تحديد المواقع داخل المباني والملاحة
- تطبيقات مكتبية/منزلية داخل المباني (قاعات المؤتمرات، ومراكز التسوق، والمتاحف، وقاعات العرض، وما إلى ذلك)

- اتصالات المركبات
- تطبيقات الوسم القائمة على ثنائي المساري الضوئي
- اتصالات من نقطة إلى نقطة (نقاط متعددة)/ترحيل
- الرعاية الصحية
- الشاخصات الرقمية وتسليم المحتوى المستند إلى الموقع
- خدمات البيانات داخل مركبة (طيران، قطار، سفينة، حافلة، وما إلى ذلك)
- سيارات موصولة ومركبات مستقلة ذاتياً
- الاتصالات تحت الماء/الساحلية
- إنترنت الأشياء (IoT).

وفيما يلي المتطلبات التي يتعين أن تلتزم بها اتصالات استشعار الصور: التحكم في التعتيم، والتحكم في استهلاك القدرة، والتعايش مع الإضاءة المحيطة، والتعايش مع أنظمة الإضاءة الأخرى، والاتصالات المتزامنة بمرسلات متعددة ومستقبلات متعددة (MIMO)، ومصدر بيانات صورة نقطية تقريباً، وتحديد مصادر الضوء المشكَّل، وإرسال تكراري منخفض البيانات الخدمية، وتوافق مع جهاز الاستشعار بالصورة، وتحديد الموقع.

وفي الاتصالات المتزامنة بمرسلات متعددة ومستقبلات متعددة (MIMO) يجوز إدماج بروتوكول MAC MIMO، بحيث يعرف جهاز استقبال مفعَّل بكاميرا كيف يعالج البيانات المستقبَلة. وينبغي أن تدعم اتصالات استشعار الصور الاتصالات عندما يظهر مصدر الضوء كمصدر نقطي تقريباً؛ أي عندما يكتفي مصدر الضوء بإضاءة عدد قليل من بكسلات الصورة.

وبوسع اتصالات استشعار الصور أن تدعم عدة قنوات اتصالات بين مرسلات متعددة منسقة/غير منسقة ومستقبِلات متعددة منسقة/غير منسقة.

وينبغي أن تدعم اتصالات استشعار الصور الاتصالات المتوافقة مع مجموعة متنوعة من الكاميرات بمختلف معدلات أخذ عينات استشعار الصور (وقت الاستظهار) والاستبانات ومعدلات الأطر. وعلى وجه التحديد، سيُدعم إما معدل أطر ثابت أو معدل أطر متغير. وستُدعم إما الاستبانة المستمرة أو الاستبانة المتغيرة.

اتصالات ثنائي المساري الضوئي منخفضة المعدل

تتطلب ثنائي المساري الضوئي منخفضة المعدل مصادر ضوئية كمرسل وثنائيات مساري ضوئية منخفضة السرعة كمستقبلات. وتتشابه التطبيقات الرئيسية مع التطبيقات الخاصة باستشعار الصور.

واتصالات مستقبِل ثنائي المساري الضوئي منخفضة المعدل هي أساساً لمصادر الوسم الضوئي (مثل وسوم ثنائي المساري الضوئي وأضواء وميض الهاتف الذكي، وما إلى ذلك) المستخدَمة كمرسلات. ويمكنها أن تقدم آليات لدعم التسليم بين مصادر الضوء، بما يسمح للمستخدمين بالحفاظ على توصيل مستمر بالشبكة.

وبوسع اتصالات مستقبِل ثنائي المساري الضوئي أن تقدم آليات يمكن استخدامها لتطوير وتسليم تقنيات تنسيق التداخل بواسطة طبقات أعلى، وبوسعها أن تدعم آليات استرداد الوصلة للحفاظ على توصيل في قنوات غير موثوقة وخفض تأخير التوصيلية.

اتصالات ثنائي المساري الضوئي عالية المعدل

إن استخدام مستقبِلات ثنائي المساري الضوئي عالية المعدل سيمكِّن الاتصالات اللاسلكية عالية السرعة وثنائية الاتجاه والموصولة شبكياً. وفيما يلي التطبيقات الرئيسية لهذا الأسلوب:

- تطبيقات مكتبية/منزلية داخل المباني (قاعات المؤتمرات، ومراكز التسوق، والمتاحف، وقاعات العرض، وما إلى ذلك)

- مراكز البيانات/المنشآت الصناعية، الشبكات اللاسلكية الآمنة (خلايا التصنيع، المصانع، وما إلى ذلك)
- اتصالات المركبات
- وصلة وسيطة لاسلكية (وصلة وسيطة خلوية صغيرة، وصلة وسيطة للمراقبة، مد جسور شبكة محلية)
- الرعاية الصحية
- خدمات البيانات داخل مركبة (طيران، قطار، سفينة، حافلة، وما إلى ذلك)
- سيارات موصولة ومركبات مستقلة ذاتياً
- الاتصالات تحت الماء/الساحلية
- إنترنت الأشياء (IoT)

وفي اتصالات مستقبِل ثنائي المساري الضوئي عالية المعدل، ينبغي دعم تدفق البيانات المستمر لجميع التطبيقات بخواص وظيفية ثنائية الاتجاه وكذلك إرسالات الرزم القصيرة حيثما تدعو الحاجة إلى كمون منخفض. وينبغي أن تُدرَج آليات لدعم الإرسال التكييفي وكذلك اتصالات مستخدمين متعددين بتدفقات بيانات مختلفة من نفس مصدر الضوء (نفاذ متعدد).

4 جوانب إدارة الطيف ذات الصلة بالضوء المرئي

تخضع الاتصالات بالضوء المرئي لخصائص انتشار مختلفة اختلافاً كبيراً بالنسبة للترددات في طيف الترددات الراديوية. ونتيجة لذلك، يكون احتمال التداخل ضئيلاً، ولا حاجة لمنظمي الطيف بإدارة الاتصالات الضوئية.

ويعتقد معيار IEEE 802 أن عمليات الاتصالات الخفيفة ينبغي تصنيفها على أنها معفاة من الترخيص ولا تخضع للترخيص الحصري. وقد تأكدت وجهة النظر هذه من خلال دراسة أجريت بتكليف من وكالة الاتصالات الراديوية في هولندا [18]. وذهب أحد الاستنتاجات التي خلصت إليها هذه الدراسة إلى أن: "هناك تحديات لا يزال يتعين التغلب عليها قبل نشرها (أي الاتصالات الخفيفة) تجارياً. ونوصي بالتركيز أكثر على جهود التقييس التي يقوم بها الاتحاد الدولي للاتصالات أو معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) بدلاً من القواعد الحكومية وبقصر اللوائح الحكومية في المقام الأول على حدود تتعلق بالمخاطر الصحية، والبصمة الكربونية، والمنافسة التجارية. ولن يزيد التقييس من التوافق بين المنتجات الصناعية فحسب بل أيضاً من التوافق مع التكنولوجيات التي سبق نشرها". ومن الضرورة بمكان التمسك بلوائح الصحة والسلامة المحلية ذات الصلة فيما يتعلق بسلامة العين البشرية وحساسيتها. وينبغي أن تلتزم الأجهزة التي تستخدم الاتصالات بالضوء المرئي أو الاتصالات اللاسلكية البصرية بأي لوائح محلية تتعلق ببث الترددات الراديوية وينبغي أن تتجنب التسبب في التداخل على نطاقات الترددات الراديوية.

ولا يعبَّر عادةً عن ترددات الاتصالات البصرية بالطول الموجي. وفي حين أن 1 550 nm هو الطول الموجي الأكثر استخداماً للاتصالات بالألياف البصرية بسبب خصائص الامتصاص والانتثار في الزجاج، لا ينطبق هذا القيد على الاتصالات بالضوء المرئي في الأثير العادي. وبالتالي فإن مدى التردد القابل للاستخدام هو 2,5-1,4 THz أو 400-700 nm.

1.4 المسألة 1: فرص الطيف وتوزيع الطيف

زيادة فرص الطيف من خلال الجمع بين الاتصالات الراديوية، مثل 60/5/2,4 GHz، والاتصالات اللاسلكية البصرية، سواء داخل المباني أو في الخلاء: اغتنام التآزر الممكن بين تكنولوجيا الأمانة اللاسلكية (Wi-Fi) وتكنولوجيا الأمانة الضوئية (Li-Fi)، وتوخي الحرص لتخفيف الضباب وتخفيف أشعة الشمس في سيناريوهات الخلاء، انظر المرجعين [9] و[10]. ويرد في المرجع [18] أن "نشر الاتصالات اللاسلكية البصرية يمكن أن يسترعي اهتماماً خاصاً في البيئات التي ينفذ فيها العديد من المستخدمين المتطلبين لعرض نطاق عال إلى الشبكة في مكان ضيق، أو حيث يتعذر استخدام تكنولوجيات الراديو التقليدية، أو يتعذر تقديم مستوى الخدمة اللازم. وقد يساعد الجمع بين ممثلين عن مجموعات المستخدمين المحتملين وقطاع الإنشاءات وصناعة الاتصالات ومصنعي الأجهزة

ومقدمي الحلول في دفع عجلة حالات الاستخدام ومتطلبات المعايير والتطورات الأخرى، وفي تحديد الأسواق المتخصصة حيث تكون فائدة إدخال الاتصالات اللاسلكية البصرية أكبر ما تكون".

2.4 المسألة 2: مبادئ تخطيط الطيف

تُنشر أنظمة الاتصالات بالضوء المرئي نمطياً باستخدام نظام الإضاءة لثنائي المساري الضوئي (القائم)، حيث تشكَّل شدة الضوء المرئي لثنائيات المساري الضوئية من أجل نقل معلومات البيانات لاسلكياً إلى الأجهزة. وعادةً ما تُصمَم أنظمة الإضاءة هذه لتغطية مساحة كبيرة، وبالتالي فهي تقدم نمطياً توصيلات بيانات إلى أجهزة متعددة داخل هذه المساحة. ومن ثم، تحتاج هذه الأجهزة إلى بروتوكول تتقاسم وفقه سعة نظام ثنائي المساري الضوئي، أي بروتوكول التحكم في النفاذ إلى الوسائط. وعادةً ما يقوم بروتوكول التحكم في النفاذ إلى الوسائط (MAC) هذا بتجزئة سعة الاتصالات الإجمالية لنظام ثنائي المساري الضوئي إلى أجزاء أصغر، حيث يحصل كل جهاز نشط على جزء منها في منافسة مع الأجهزة الأخرى، مما يعني أن رغبة جهاز في سعة أكبر، سيترتب عليها حصول جهاز آخر على سعة أصغر. والعمل ببروتوكول MAC وبالتالي تقاسم الموارد يعني ضمناً صعوبة تقديم سعة مضمونة لجهاز. وإنشاء وصلة إلى جهاز عبر بروتوكول MAC يعني ضرورة إنشاء وصلة في عملية تفاوض مع الأجهزة الأخرى. وهذه العملية تستغرق وقتاً، والنتيجة غير مضمونة. ويقلل وقت التفاوض هذا من صافي الوقت المتاح لإرسال البيانات، وبالتالي فهو يقلل من صبيب بيانات الشبكة. وعلاوةً على ذلك، يتعين تشغيل نظام الإضاءة بثنائي المساري الضوئي لدعم نقل البيانات. وقد لا يُرغب دائماً بحالة الإضاءة هذه، ومثال ذلك، عندما تكون الغرفة مغمورة أصلاً بضوء النهار الساطع، أو عندما يفضل المستخدم العتمة أو مجرد الضوء الخافت. ومن ثم قد يؤدي نظام الاتصالات بالضوء المرئي إلى استهلاك طاقة إضافية غير مرغوبة عند الحاجة إلى الاتصالات فقط دون أي إضاءة.

وبدلاً من ذلك، يمكن استخدام حزم ضوء متعددة محصورة لنقل معلومات البيانات (ويرد مثال ذلك في المرجع [4]). وتخدم كل حزمة جهازاً واحداً ويتعين توجيهها بدقة كافية تجاهه. وبالتالي تُخصَص سعة تلك الحزمة كاملةً لجهاز واحد فقط. ومن ثم، لا يلزم بروتوكول MAC، ولا تقاسم في السعة مع الأجهزة الأخرى. وبالتالي، يمكن تقديم سعة مضمونة إلى جهاز، ولا يُهدر أي وقت في عملية MAC، ويتحسن صافي صبيب الشبكة. وعلاوةً على ذلك، لا تقدَّم الحزمة الضوئية إلا للأجهزة التي تحتاجها، وتقتصر على تلك الأماكن؛ لذلك، تُستهلك طاقة الحزمة بالشكل الأمثل، وبالتالي يقل استهلاك الطاقة في اتصالات البيانات إلى الحد الأدنى. وتفضَّل الحزم الضوئية المستخدِمة لضوء بطول موجي أكبر من 1,4 µm، لأن ذلك يسمح باستخدام قدرات حزم تصل إلى 10 mW بدون تعريض سلامة العين لمخاطر. يحتاج توجيه حزمة الأشعة تحت الحمراء إلى عمليات تحكم تسجل أولاً ما إذا كان الجهاز يطلب خدمة، وبعد ذلك تحدد وقع الجهاز، وتوجه بمعلومات تحديد الموقع هذه الحزمة نحو الاتجاه الصحيح وبذلك تقام وصلة الاتصالات. وهكذا يقدم النظام الموجَّه بالأشعة تحت الحمراء سعة اتصالات في تلك الأماكن عند الحاجة، وبالتالي فهو يعمل بالطريقة الأكثر وعياً بالطاقة.

ويشيع أسلوب نماذج القنوات للقيام بإدارة طيف الضوء المتاح "ضمن النظام"، وتمكن إدارة ذلك من خلال المعايير التقنية الخاصة بالتطبيقات المعينة. ويمكن الاطلاع على بعض المعلومات بهذا الصدد في المرجع [17].

3.4 المسألة 3: التنسيق الدولي والإقليمي

يفضّل طيف الضوء المرئي الذي يطابق أو يتوافق مع المعايير الدولية (أي معايير ETSI لأوروبا) وكأي نظام وجهاز، ينبغي أن يمتثل لقوانين ولوائح البلدان. ولكن من المهم ألا تنطوي أجهزة الاتصالات بالضوء المرئي على أي مخاطر صحية. وينبغي تركيبها بشكل صحيح وآمن بحيث لا تنتج أي تداخل كهرمغنطيسي ضار (EMI).

5 الخصائص التقنية والتشغيلية للاتصالات عريضة النطاق على مسافة قصيرة عبر الضوء المرئي

يتضمن هذا القسم أيضاً نصاً مقتبساً من المرجع [16] بشأن المنتجات والنماذج الأولية. وهي ليست بالضرورة تطبيقات عريضة النطاق ولكنها أُدرجت لإظهار التكنولوجيا المتاحة.

1.5 مرسِل الاتصالات بالضوء المرئي

تردد الموجة الحاملة: يكون تردد الموجة الحاملة محدوداً في نطاق ترددات الضوء المرئي.

أسلوب النقل: يمكن أن يقدم قطاع الاتصالات الراديوية أساليب متعددة لتشغيل أجهزة الضوء المرئي المادية لاتصالات بمعدل بيانات منخفض وعال تسمح بالاستخدام الأمثل لعرض النطاق البصري المتاح على وحدة إضاءة معينة لدعم اتصالات مستشعرة بالصور واتصالات ثنائي المساري الضوئي منخفضة المعدل واتصالات ثنائي المساري الضوئي عالية المعدل.

سلامة العين والرفيف: سيكون الضوء المشكَّل آمناً للعين البشرية في جوانب التردد وشدة الضوء. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الضوء المشكَّل لن يجلب أمراضاً مثل الصرع الحساس للضوء.

التحكم في التعتيم: سيدعم المعيار التحكم في التعتيم لجميع التطبيقات.

مدى الاتصالات: يعتمد مدى الاتصالات على عوامل خارجية متعددة (تكبير الإشارة، تسوية الإشارة، مصدر القدرة، وما إلى ذلك). وهذه هي جوانب التنفيذ وهي تقدَّم كمبادئ توجيهية ليس إلا. وستتفق اللجنة على استخدام نفس نموذج القناة لتقييم قدرات أداء المخططات المقترحة.

التعايش مع الضوء المحيط: سيتعايش المعيار مع الضوء المحيط الذي يمكن أن ينعكس على سطح جهاز إرسال ومع ثلاث مجموعات لخدمة الاتصالات بالضوء المرئي.

التعايش مع أنظمة الإضاءة الأخرى: سيتعايش المعيار مع أنظمة الإضاءة الأخرى.

تحديد هوية المرسل: سيدعم المعيار مخططاً لتحديد المرسلات عند نقل مستقبِل أو مرسل إلى موقع آخر. ويمكن لمستقبِل أن يحدد هوية مرسِل لجهاز الإرسال.

2.5 مستقبِل الاتصالات بالضوء المرئي

يقيس مستقبل الاتصالات بالضوء المرئي شدة الضوء المرئي ويفك شفرة المعلومات المرسَلة، حسب حاجة استخدام التطبيق.

ونظراً لكونه جزءاً من جهاز المستخدم، ينبغي أن يكون مستقبل الاتصالات اللاسلكية البصرية مضغوطاً ومنخفض التكلفة، وينبغي ألا يتطلب محاذاة متعبة وينبغي أن يلتقط ما يكفي من القدرة الضوئية لتمكين سعة بيانات عالية باتجاه المقصد. ومن ثم، ينبغي أن يكون له زاوية رؤية كبيرة وفتحة كبيرة. بيد أن زيادة المساحة النشطة للكاشف الضوئي عادةً ما يصاحبها خفض في عرض نطاقه، ومبدأ"etendue"، الذي يميز مدى "انفساح" الضوء من حيث الزاوية والمساحة، يعني ضمناً تعذر تصغير جداء الفتحة بالزاوية المجسمة. ويمكن استخدام عدسات عين السمكة لتكبير فتحة المستقبِل، أو بصريات غير عاكسة كمرآة مركِّزة مكافئة مركَّبة، تُستخدم عادة لتركيز الطاقة الشمسية. ويمكن لصفيف ثنائي الأبعاد من الكاشفات الضوئية السريعة، المدمجة مع مضخمات كهربائية مسبقة فردية ومرحلة تجميعية، أن يحافظ على عرض نطاق كبير [11]. وبدلاً من ذلك، يمكن فصل وظيفة تجميع الضوء عن وظيفة كشف الضوء، ليتحقق الأداء الأمثل لكل من هاتين الوظيفتين على حدة.

ويمكن لمقرن شبيكة واسعة السطح (SGC)، الذي يجمع الضوء الوارد والمدمج بدليل موجي مع ثنائي مساري ضوئي سريع، أن يدعم استقبال Gbit/s OOK متعدد [12]. وبصفيف من مقرنات SGC بالإضافة إلى جامع على الرقاقة، تمكن مواصلة توسيع الفتحة دون المساس بعرض النطاق. وتمكن إزالة "قيود etendue" من خلال التحويل بالطول الموجي (λ) للضوء المستقبَل وحصره في الدليل الموجي للوح مشوب بالفلوروفور [13].

وفي الاتصالات اللاسلكية البصرية الموجهة بحزمة، تدعو الحاجة على وجه الخصوص إلى تحديد موقع أجهزة المستخدم وتتبعها. فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام تقنيات Wi-Fi، أو انعدام مخطط هوائي 60 GHz [14]، أو وسوم ثنائي المساري الضوئي للأشعة تحت الحمراء على جهاز المستخدم المراقَب بكاميرا رخيصة [15]، وما إلى ذلك.

وتناسب الاتصالات اللاسلكية البصرية بشكل خاص البيئات التي تكون فيها الاتصالات الراديوية (أو ستكون) أقل جدوى بسبب مجموعة من العوامل:

- شح الطيف
- الحاجة إلى سعة عالية للغاية
- الإعراض عن استخدام تكنولوجيا الراديو
- التشريعات
- الحاجة إلى الإرسال اللاسلكي الذي يمكن احتواؤه داخل المبنى.

والاتصالات البصرية قابلة للتطبيق على أنظمة مختلفة. وتعتمد كيفية تنفيذها في هذه الأنظمة على مدى الإرسال المطلوب. وبناءً على هذه المديات، يمكن تقسيم تطبيقات الاتصالات اللاسلكية البصرية إلى خمسة تصنيفات كما يلي:

- الاتصالات اللاسلكية على المدى بالغ القِصَر، تنطوي على مدى يطبَّق على اتصالات من رقاقة إلى رقاقة حيث يمكن تطبيق الاتصالات اللاسلكية البصرية من خلال وسيلة تسمى التوصيل البيني البصري عبر الفضاء الحر (FSOI). وهي تتيح التوصيل البيني المباشر بين الرقائق عبر شعاع من الضوء. ويمكن أن يحل هذا التطبيق بعض الإشكالات الحالية في التوصيل البيني الكهربي القائم على النحاس، كمعدلات البيانات، والتداخل الكهرمغنطيسي، واستهلاك القدرة.
- الاتصالات اللاسلكية قصيرة المدى، تطبَّق عادة على تطبيقات شبكة منطقة الجسد اللاسلكية (WBAN) وتطبيقات شبكة المنطقة اللاسلكية (WPAN). والهدف منها هو جمع البيانات وإرسالها في محيط شخص ما. ويجري تطوير أنظمة جديدة باستخدام الاتصالات اللاسلكية البصرية في الرعاية الصحية. وهي تُعرف باسم شبكة منطقة الجسد اللاسلكية البصرية (OWBAN)، لأنها قد تقدم بديلاً آمناً وخالياً من التداخل لشبكات WBAN القائمة على الترددات الراديوية.

الاتصالات اللاسلكية متوسطة المدى، تنطوي على مدى يطبَّق على الشبكات المحلية اللاسلكية (WLAN). ويمكن تمييز أنظمة الاتصالات اللاسلكية البصرية الحالية ضمن تصنيف هذا المدى بين الاتصالات بالضوء المرئي والاتصالات بالأشعة تحت الحمراء الموجَّهة بحزمة. ويعتمد نظام الاتصالات بالضوء المرئي عادة على نظام الإضاءة المحيطة لثنائي المساري الضوئي، ويعيد استخدام ثنائيات المساري الضوئية لتشكيل البيانات. وبالتالي، فإن نظام الاتصالات بالضوء المرئي يغطي مساحة واسعة، حيث يتعين على مطاريف المستخدم المتعددة أن تتقاسم سعتها بواسطة بروتوكول MAC مناسب. ولا تقدم الاتصالات بالأشعة تحت الحمراء الموجَّهة بحزمة سوى توصيل مباشر بين الأجهزة. ويمكن أن تخدم الحزم المتعددة بشكل مستقل مطاريف المستخدم داخل الغرفة، وبالتالي يمكن لكل مطراف أن ينال سعة مضمونة دون تعارض مع مطاريف أخرى. ويمكن لهذه الأنظمة الحلول محل، أو تفريغ حمولة، الأنظمة الحالية (كأنظمة Wi-Fi) نظراً لأنها تعمل في مدى طيف أعلى على نحو يتباين مع الشبكات المحلية اللاسلكية القائمة على الترددات الراديوية. ومن التطبيقات الأخرى للاتصالات اللاسلكية متوسطة المدى، الاتصالات بين المركبات والاتصالات من السيارات إلى البنية التحتية.

والاتصالات اللاسلكية طويلة المدى قادرة على الوصول لمسافات تتراوح بين 300 m وحوالي 10 km. وهي تطبَّق مثلاً على توصيلات من مبنى إلى مبنى وشبكات المنطقة الحضرية اللاسلكية لدى الشركات والأسواق الحضرية. ويطبِّق نظام الاتصالات اللاسلكية البصرية نظاماً يسمى الاتصال البصري عبر الفضاء الحر (FSO)، وهو توصيل مباشر بين جهاز إرسال وجهاز استقبال.

ويمكن للاتصالات اللاسلكية على المدى بالغ الطول أن تصل إلى مسافة تقارب 84 000 km، مما يجعلها مثالية لاتصالات الطيران والاتصالات الفضائية. ويطبِّق لها نظام شبيه بنظام الاتصال البصري عبر الفضاء الحر (FSO)، ولكنه يستخدم حزمة ضوء ضيقة جداً وقناة فراغية لإرسال واستقبال المعلومات. ويُطلق على هذا النظام اسم الشبكة البصرية اللاسلكية الساتلية للاتصال البصري عبر الفضاء الحر (OWSN FSO).

وقد بُذلت جهود كثيرة للتنبؤ بتطبيقات محددة لتكنولوجيات النفاذ. ولكن يصعب في الواقع كثيراً التنبؤ بماهية أهم التطبيقات والأجهزة خلال أكثر من بضع سنوات. وتتبادر إلى الذهن "الإنترنت" و"الهواتف الذكية" و"الحواسيب اللوحية" و"أنظمة الملاحة"، ولا يُتوقع نجاحها إلا في اللحظة التي يبدأ فيها النجاح بالفعل.

ويشكل النجاح العالمي لتوليفة من الأجهزة / أنظمة التشغيل / البنى التحتية الثابتة والمتنقلة / الأنظمة البيئية القائمة للتطبيقات قاطرة نجاح التطبيقات.

3.5 أنشطة التقييس الحالية

في عام 2011، أكمل فريق العمل المعني بمعايير IEEE 802.15، معيار معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE Std 802.15.7-2011 بشأن "الاتصالات البصرية اللاسلكية قصيرة المدى باستخدام الضوء المرئي" [3]. وقد أجيز مشروع لمراجعة هذا المعيار في ديسمبر 2014 باسم الاتصالات اللاسلكية البصرية (OWC) التي تتضمن التعرف بثنائي المساري الضوئي (LED-ID) واتصالات الكاميرا البصرية (OCC) والأمانة الضوئية (LiFi)، وهو مشروع ناشط حالياً [6]. ويعتزم وضع معيار للوسائط الشفافة بصرياً باستخدام أطوال موجية ضوئية تتراوح بين 000 10 nm و190 nm. وفي مارس 2017، قُسم هذا الفريق. وسيستمر الفريق المعني بالمعيار 802.15.7m في العمل على اتصالات الكاميرا الضوئية، في حين تأسس فريق المهام المعني بالمعيار IEEE 802.15.13 ليتولى مشروع "الاتصالات اللاسلكية البصرية بمعدل عدة غيغا بتات في الثانية" الذي يستخدم ثنائيات المساري الضوئية عالية السرعة [7]. بالإضافة إلى ذلك، فإن الفريق المعني بالتكنولوجيا المساعدة للمركبات (VAT) في إطار المعيار IEEE 802.15، ينظر في الاتصالات بالضوء المرئي كخيار اتصالات.

وفي أواخر عام 2016، أنشأ فريق العمل المعني بمعايير IEEE 802.11 فريقاً معنياً بموضوع (TIG) الاتصالات الضوئية [8]، بهدف تحديد الفرص التقنية والاقتصادية السانحة باستخدام واسطة الضوء للاتصالات اللاسلكية. وفي عام 2018، تمت الموافقة على طلب إجازة هذا المشروع. ويتولى فريق المهام bb لدى فريق العمل المعني بمعايير 802.11 المسؤولية عن وضع وثيقة المعيار في هذا الصدد.

ولجنة الدراسات 15 لقطاع تقييس الاتصالات مسؤولة عن وضع المعايير من أجل البنى التحتية لشبكات النقل البصرية ولشبكات النفاذ وللشبكات المنزلية والشبكات الكهربائية، والأنظمة والتجهيزات والألياف البصرية والكبلات. وهذا يشمل التقنيات المرتبطة بها للتركيب والصيانة والإدارة والاختبار والمعدات والقياس وتكنولوجيا طبقة التحكم من أجل السماح بالتطور في اتجاه شبكات النقل الذكية بما في ذلك دعم تطبيقات الشبكات الذكية. وتتولى هذه اللجنة المسؤولية عن معيار G.vlc المعنون "مرسل–مستقبل الاتصالات عالية السرعة بالضوء المرئي ضمن المباني – توصيف معمارية النظام والطبقة المادية وطبقة وصلة البيانات".

4.5 مجموعة الأنشطة ذات الصلة بالاتصالات بالضوء المرئي في البلدان

1.4.5 أبحاث الاتصالات بالضوء المرئي في الصين

Huawei وChina Telecom وSanan Optoelectronics وShenzhen وAbsen وUnilumin وCnlight هي الشركات القليلة في الصين التي تركز على تطوير منتجات قائمة على الاتصالات بالضوء المرئي.

2.4.5 أبحاث الاتصالات بالضوء المرئي في اليابان

مختبر ناكاجاوا في جامعة كيو وشركات Panasonic وCASIO وNEC وFUJI Electric هي مؤسسات/شركات أبحاث وتطوير منتجات الاتصالات بالضوء المرئي في اليابان.

3.4.5 أبحاث الاتصالات بالضوء المرئي في كوريا

جامعة سيول الوطنية للعلوم والتكنولوجيا وجامعة كوكمين وجامعة كونغجو وجامعة نامسيول وشركات Samsung وLG وETRI هي مؤسسات/شركات أبحاث وتطوير منتجات الاتصالات بالضوء المرئي في كوريا الجنوبية.

4.4.5 أبحاث الاتصالات بالضوء المرئي في هولندا

تجري في جامعة إندهوفين للتكنولوجيا، قسم تكنولوجيا الاتصالات والكهرمغنطيسية، مجموعة الاتصالات الكهربائية البصرية. وشركات Signify (المعروفة مؤخراً باسم Philips Lighting) وKPN وKIEN هي أيضاً شريكات في مشاريع الاتصالات بالضوء المرئي ذات الصلة.

5.4.5 أبحاث الاتصالات بالضوء المرئي في تركيا

المؤسسات البحثية الرئيسية التي تعمل في مجال الاتصالات بالضوء المرئي هي Tubitak Bilgem وOkatem وجامعة Ozyegin وجامعة Istanbul Medipol. وشركات Ford Otosan وFarba وAselsan وTurk Telekom هي شريكات في مشاريع الاتصالات بالضوء المرئي ذات الصلة.

5.5 مجموعة الأنشطة ذات الصلة بالاتصالات بالضوء المرئي في الهيئات الأكاديمية ودوائر الصناعة ومعاهد البحوث

1.5.5 Basic6

Basic6 هي شركة ناشئة تأسست في الولايات المتحدة الأمريكية لتطوير نظام GeoLiFi لتحديد المواقع داخل المباني، والذي يستخدم بنية الإضاءة التحتية في متجر لإيصال رسائل مجهولة المصدر إلى العملاء والموظفين عن المحيط القريب، ومعلومات عن منتجات، وعروض ترويجية ذات صلة، وقوائم تسوق مرئية. وفي الوقت نفسه، يقدم هذا الحل لمتاجر التجزئة تحليلات تفصيلية لمقاييس مثل معدلات التعاطي مع العملاء والموظفين، بالإضافة إلى فترات طول المقام في المتجر وأقسامه. وتعمل الشركة على برمجيات وتنشط في إقامة شراكات مع شركات الإضاءة الأخرى التي تقدم عتاد LiFi (كشركة OLEDCOMM [28] وهي شركة فرنسية ناشئة تابعة لجامعة Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines).

2.5.5 نقطة توصيل LiFi لدى معهد Fraunhofer Heinrich Hertz (HHI)

تتيح نقطة توصيل LiFi التي جرى تطويرها في معهد Fraunhofer HHI تركيب شبكة خاصة عالية السرعة دون استلزام مد أي كابلات. ويقدم النظام معدلات بيانات عالية تصل إلى 1 Gbps، على مسافة تصل إلى 30 m، ويمكن ضبط مقاسه الصغير بسهولة، وتركيبه بتكلفة زهيدة. وقد رُكب نموذج أولي منه في قاعة مؤتمرات في جزيرة ماياناو بألمانيا (بحيرة كونستانس). ويقدم معهد HHI كذلك مكونات من أجل الاتصالات بالضوء المرئي بواسطة ثنائيات مساري ضوئية بيضاء جاهزة باستخدام ثلاثة ألوان ضوئية (RGB)، وهي قادرة على الارتقاء إلى سرعات تصل إلى 3 Gbits/s.

وبالإضافة إلى وحدات LiFi الإذاعية التي ترسل البيانات في اتجاه واحد، فإن التكنولوجيا المطوَّرة في معهد Fraunhofer IPMS تقدم إمكانية إجراء اتصالات آنية وثنائية الاتجاه بإرسال "كامل الازدواج".

3.5.5 Hyperion Technologies

Hyperion Technologies، هي شركة تركية ناشئة، وهي تطور حلولاً قائمة على الاتصالات اللاسلكية البصرية المتطورة لتمكين شبكات الجيل التالي من الاتصالات اللاسلكية على مستويات النفاذ وكذلك الوصلات الوسيطة. وساهمت الشركة بمشروع تقييس المعيار 802.15.7r1 وما زال حضورها مستمراً في أفرقة تقييس المعيار 802.11 بشأن الاتصالات الضوئية والمعيار 802.15.13 بشأن الاتصالات اللاسلكية البصرية.

4.5.5 Lucibel

Lucibel، هي شركة فرنسية متخصصة في تصميم حلول الجيل الجديد من الإضاءة القائمة على تكنولوجيا ثنائي المساري الضوئي، وقد قامت بتطوير، وهي في طور تسويق، أول وحدة إضاءة LiFi صناعية بالكامل في أوروبا: Ores LiFi [5]. ويتيح حل Lucibel LiFi نشر شبكة لاسلكية كاملة من خلال معدل خط ثنائي الاتجاه يصل إلى 42 Mbit/s. ويقدم نظام Lucibel LiFi توصيلية متنقلة عالية السرعة ضمن شبكة في نفس الوقت الذي يدعم فيه النفاذ و"التسليم" المتعدد.

ويمكن لكل وحدة إضاءة LiFi أن تخدم في وقت واحد عدة محطات LiFi (حتى ثمانية). وخواص التسليم الوظيفية المنفَّذة تتيح للمستخدمين الحفاظ على توصيل مستقر تلقائياً من وحدة إضاءة إلى أخرى. وكانت Sogeprom، وهي كبرى شركات التطوير العقاري التابعة لمجموعة Société Générale Group، أول مستخدم يختبر LiFi ذات عرض النطاق العالي في مقره الباريسي بتركيب أول نموذج تجريبي لشركة Lucibel. وتقوم شركة Microsoft أيضاً بتنفيذ حل LiFi في مركز الابتكار التابع لها في حي Issy-les-Moulineaux بغية تقديم الجيل التالي من التوصيلية اللاسلكية لعملائها.

LUCIOM 5.5.5

LUCIOM هي شركة فرنسية ناشئة أنشئت في أكتوبر 2012. وتمتلك الشركة العديد من المنتجات في محفظتها مثل:

- Geo VLC: مجموعات الإرسال/الاستقبال ذات عرض النطاق المنخفض لموقع داخل المباني ولها خواص وظيفية مختلفة.
- حلول ذات معدلات بيانات عالية بمرسلات الإنترنت عبر LED LiFi ومفاتيح USB LiFi/أشعة تحت الحمراء التي تقدم معدلات بيانات تبلغ 20 Mbit/s (وصلة هابطة) و5 Mbit/s (وصلة صاعدة).

LVX System 6.5.5

LVX System هي شركة أمريكية تتخذ مركز كينيدي للفضاء مقراً لها، وتقدم، بواسطة تكنولوجيا حاصلة على براءة اختراع، أنظمة إضاءة ثنائي المساري الضوئي عالية الجودة تقوم أيضاً ببث تدفق بيانات عالي السرعة بشكل آمن. وقد وقعت مؤخراً اتفاق قانون الفضاء مع وكالة ناسا (NASA).

pureLiFi 7.5.5

pureLiFi هي شركة ناشئة تأسست في عام 2012 على يد الأستاذ هاس من جامعة إدنبره لتسويق تكنولوجيا الاتصالات بالضوء المرئي بعد أربع سنوات من البحوث المكثفة. وقامت الشركة في البداية بتطوير وحدة سقف تسمى Li-Flame وهي قادرة على الاتصال بمعدل 10 Mbps في الوصلة الهابطة و10 Mbps في الوصلة الصاعدة على مدى يصل إلى 3 m باستخدام مصابيح ثنائي المساري الضوئي العادية. وقد ارتقت شركة PureLiFi الآن بوحدة Li-Flame إلى وحدة LiFi-X، وهي جيل جديد من المحركات والمستقبلات رُفع الستار عنها في المؤتمر العالمي للاتصالات المتنقلة عام 2016. وتقدم وحدة LiFi-X نقطة نفاذ توصَّل بأي مصباح ثنائي المساري ضوئي مفعَّل بوحدة LiFi. وهي تقدم اتصالات كاملة الازدواج بمعدل 40 Mbps للوصلة الهابطة و40 Mbps للوصلة الصاعدة، بالإضافة إلى قابلية تنقل كاملة ومستخدمين متعددين لكل نقطة نفاذ إلى LiFi.

Velmenni 8.5.5

Velmenni هي شركة إستونية ناشئة أجرت تجارب ناجحة لتكنولوجيا LiFi في مختلف المكاتب والبيئات الصناعية في تالين، استونيا، وتقوم حالياً بالعديد من المشاريع التجريبية للاستفادة من الاتصالات بالضوء المرئي في سياقات صناعية متنوعة (بالتعاون مع شركة Airbus لاختبار التكنولوجيا على متن الطائرات). ويتكون النموذج الأولي من مرسِل مستقبِل ثنائي مساري ضوئي ومستقبِل كاشف ضوئي خارجي موصول بحاسوب محمول عبر مفتاح USB. ويعمل النظام في نظام ازدواج (الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة) وتصل سرعة معدلات البيانات المبلغ عنها إلى 1 Gbit/s. وتبلغ المسافات المثبتة بين المرسل والمستقبل عدة عشرات من السنتيمترات. ولكن سيستغرق النموذج الأولي عدة سنوات قبل أن يصبح منتجاً تجارياً.

6 الجوانب الأخرى ذات الصلة باتخاذ قرارات بشأن الضوء المرئي (احتياجات المستخدمين، الجوانب الاجتماعية – الاقتصادية)

فيما يتعلق بسلامة العين، يتعين أن يكون الضوء المشكَّل الذي يمكن رؤيته بالعين البشرية آمناً فيما يتعلق بتردد وشدة الضوء (وفق معيار IEC 60825-1:2014 على سبيل المثال)، وينبغي ألا يجلب الضوء المشكَّل أمراضاً مثل الصرع الحساس للضوء.

جوانب سلامة العين بالإضافة إلى مراجع

الجزء الأكثر هشاشة في العين البشرية هو شبكية العين، التي تقع في الجزء الخلفي من العين والتي تؤدي عملية الرؤية الفعلية. ويصل الضوء المرئي (بوضوح) إلى شبكية العين، وينبغي أن يبقى التعرض للقدرة محدوداً لكيلا يسبب أي ضرر (دائم) للشبكية. وفي الاتصالات بالضوء المرئي، صُممت أنظمة ثنائي المساري الضوئي لأغراض الإضاءة وهي ترسل عادةً مخاريط ضوئية متباعدة وهي لن تؤذي شبكية العين في الظروف العملية. وفي الاتصالات الموجهة بحزمة بصرية، يمكن أن تكون حزم الضوء المرئية (كالتي قد تأتي من مؤشرات ليزرية) ضارة؛ وينبغي أن تبقى قدرتها أقل من جزء من mW. أما عندما تُستخدم الأشعة تحت الحمراء، فإن فيزيولوجيا العين البشرية تستشعر بأن شدة الحزمة موهنة بشدة (من القرنية، والعدسة، والجسم الزجاجي) قبل أن تصل إلى الشبكية. وبالتالي، يُسمح بقدرات أعلى بكثير قبل تجاوز حد سلامة العين؛ وعند أطوال موجية ما بعد 1400 nm، يمكن تقبل قدرات موجات مستمرة تصل إلى 10 mW.

وتوصَّف معايير سلامة العين في الوثيقتين التنظيميتين IEC 60825 وANSI Z136. وتوصي الدراسة الواردة في المرجع [18] بما يلي: "بالنسبة للسلامة اللاسلكية البصرية، فإن سلامة العين والجلد هي أكثر القضايا حراجةً. وعلى الرغم من أن استخدام عامة الناس للاتصالات اللاسلكية البصرية يكاد يكون آمناً في جميع الظروف، يُستحسن إلقاء نظرة فاحصة على قضايا سلامة الأشخاص الذين يعملون على مقربة من مصادر الضوء المكثفة لأغراض التركيب والصيانة".

القبول والنشر

على غرار أنظمة الاتصالات جميعها، تُتطلب بيانات الخواص الوظيفية وحماية المستخدم على السواء. انظر المرجع [18] الذي جاء فيه ما يلي: "سيستفيد قبول نظام الاتصالات اللاسلكية البصرية ونشره من وضوح الرؤية بشأن العمل البيني مع المعايير اللاسلكية الرائجة القائمة أو الناشئة، مثل Wifi، في مجال الاستيقان والتجفير والتجوال السلس بين نقاط النفاذ على سبيل المثال. ويوصى بتشجيع إعادة استخدام الحلول القائمة حيثما أمكن، فيما يتعلق بالاستيقان وتجفير الإشارة على سبيل المثال. وقد تؤدي إعادة الاستخدام هذه إلى تسهيل تطور آليات التشغيل البيني (لعمليات التسليم على سبيل المثال) بين تكنولوجيات الاتصالات اللاسلكية البصرية والاتصالات الراديوية. ويمكن كذلك أن تستفيد هذه الطريقة من التطورات الجديدة ذات قاعدة المستخدمين الصغيرة نسبياً من تحسينات الحلول ذات قاعدة المستخدمين الكبيرة".

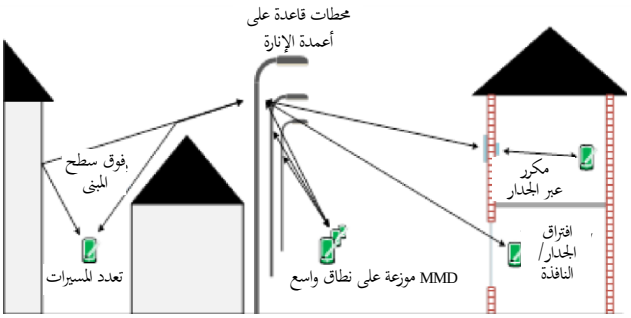
السيناريوهات الصناعية والتصنيعية

في السيناريوهات الصناعية والتصنيعية، تُستخدم حلول سلكية في الوقت الحاضر بشكل أساسي بسبب المتطلبات العالية فيما يتعلق بالمتانة والأمن وانخفاض الكمون. وتتيح البروتوكولات الصناعية (أي ProfiNet) النفاذ المنتظم إلى الشبكة للعملاء وتضمن إرسال البيانات خلال فترة زمنية محددة وبكمون منخفض. ويحظى اللاسلكي الصناعي بجاذبية بفضل سهولة النشر والمرونة. ويمكن أن تقدم الحلول القائمة على الاتصالات بالضوء المرئي فوائد تتفوق على الحلول القائمة على الترددات الراديوية فيما يتعلق بما يلي:

'1' ملاءمة للنشر المكثف: ينتمي التصنيع إلى ما يسمى بسيناريوهات لاسلكية كثيفة يُحتفظ خلالها بوصلات متعددة، وفي الوقت نفسه تقدم جميعها جودة الخدمة العالية المذكورة أعلاه. ويمكن للاتصالات بالضوء المرئي تقديم اتصالات لاسلكية آمنة ذات كمون منخفض نظراً لظروف الانتشار المحصورة جيداً في الخلايا الصغيرة جداً. علاوةً على ذلك، يمكن استخدام الاتصالات بالضوء المرئي كمكمل لأنظمة الترددات الراديوية في تفريغ حمولة البيانات.

'2' التعايش مع خدمات الترددات الراديوية الأخرى: يتمثل أحد الإشكالات الكبرى للشبكات اللاسلكية الصناعية في التعايش مع الخدمات الأخرى. ويتطلب استخدام وصلات الترددات الراديوية الأخرى في نفس الطيف بروتوكولات، مثل "الاستطلاع قبل الإرسال"، مما يعني تأخيرات لا سبيل للتنبؤ بها، ويتعارض مع متطلبات الكمون المنخفض. ويتمثل أحد السبل في الحصول على طيف مخصص اللاسلكي الصناعي. ويمكن للاتصالات بالضوء المرئي أن تفسح سبيلاً آخر للتخفيف من وطأة الوضع الحالي؛ علماً بأن التداخل من الضوء المحيط على الاتصالات بالضوء المرئي تداخل طفيف على النحو الموضح أدناه في فقرة "الجدوى التقنية للاتصالات بالضوء المرئي".

'3' الحصانة ضد التشويش: يمكن للمهاجمين أن يشوشوا بسهولة على طيف الترددات الراديوية المستخدم من مسافات بعيدة خارج المنشأة بأجهزة ترددات راديوية بسيطة. ومن الواضح أن استخدام الوصلات اللاسلكية القائمة على الترددات الراديوية بدلاً من الكبلات يمكن أن يؤثر تأثيراً ضاراً على التشغيل الآمن لمرافق التصنيع الموصولة بشكل عام. بالإضافة إلى ذلك، قد لا يكون وجود التداخل الكهرمغنطيسي القوي مناسباً لاتصالات الترددات الراديوية، كما هو الحال في مصنع الحديد والصلب أو في محطات الطاقة النووية أو في محطة توليد الطاقة. ومن ناحية أخرى، فإن الاتصالات بالضوء المرئي خاملة إزاء تشويش الترددات الراديوية والتداخل الكهرمغنطيسي، لأن انتشارها ينحصر داخل المنشأة.



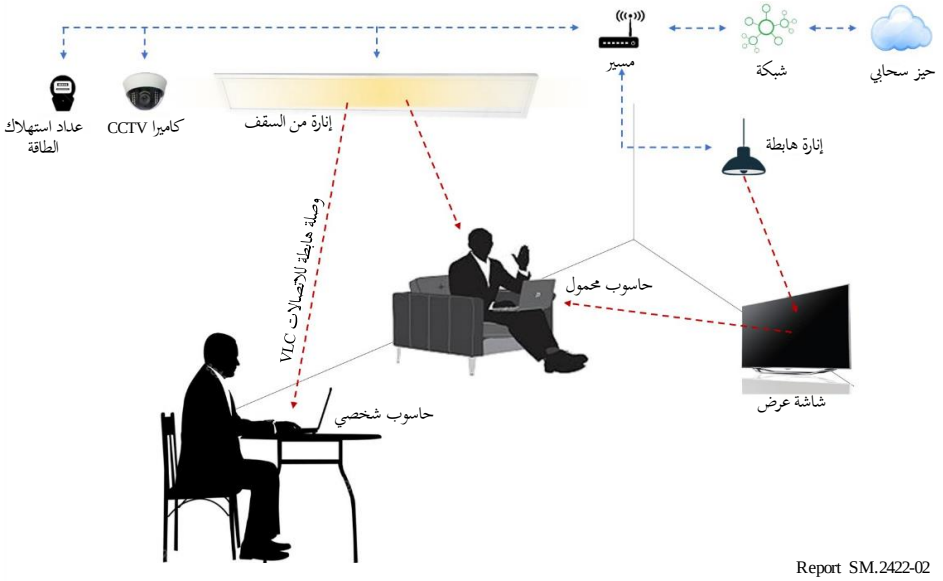
Report SM.2422-01

المنزل الذكي

تضم المنازل الذكية حالياً العديد من أنواع الأجهزة المنزلية، ونظاماً لإدارة الطاقة، ونظاماً للرعاية الصحية، وخدمات وسائط متعددة متقدمة، ونظاماً للمراقبة والأمن، من خلال توصيلية سلكية ولاسلكية معقدة. ويمكن تشغيل الأجهزة الموصولة في المنزل الذكي بطريقة تفاعلية ومستقلة، وتحسن هذه القدرات نوعية الحياة داخل الأسرة من نواح مختلفة، مثل أتمتة المهام الاعتيادية، وتقديم الخدمات الصحية، وترشيد استهلاك الطاقة، وتحسين الكفاءة الفردية، وتعزيز أمن المنزل، فضلاً عن الترفيه، وما إلى ذلك.

ويستخدم المنزل الذكي نهج التوصيل الشبكي اللاسلكي المحلي ويستند إلى معايير مثل معايير الشبكة المحلية (LAN) أو شبكة منطقة الجسد (BAN) أو شبكة المنطقة الشخصية (PAN)، التي تُستخدم لوصف شبكة ذات أبعاد أصغر تتراوح بين 12 متراً و100 متر مثل Bluetooth وZigBee وWiFi وZ-Wave وغيرها.

ويمكن استخدام الاتصالات بالضوء المرئي لتوصيل الأجهزة التي تنقل معلومات حساسة مثل كاميرات الدوائر التلفزيونية المغلقة وأجهزة مراقبة الأطفال وغيرها، ويمكن أن تكون شبكة أكثر انعزالاً وأمناً [19].

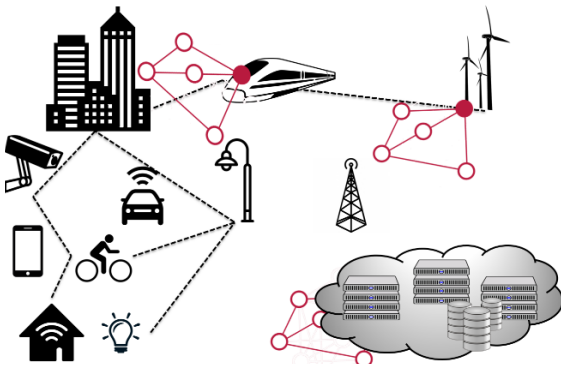


Report SM.2422-02

رسم خرائط المدينة الذكية (جينوم المدينة)

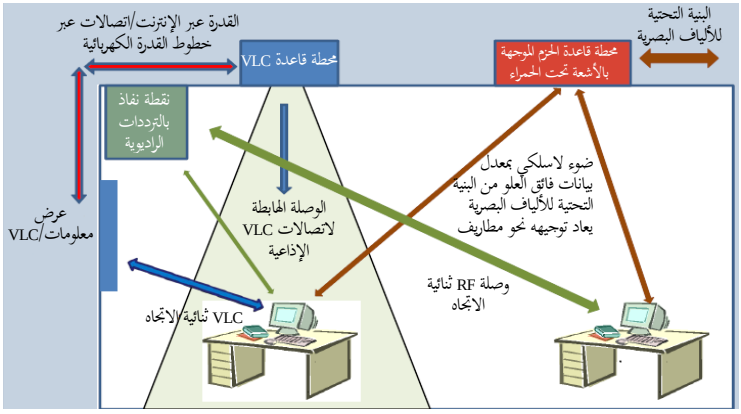
يمكن اعتبار المدن متعضيات معقدة حية آخذة في الارتقاء. ولا يعود ذلك إلى مجرد الأشخاص القاطنين في المدينة وهم "أنظمة" معقدة في حد ذاتهم. وتبدو الحياة نفسها معقدة أكثر فأكثر من خلال تطورات معرقلة ومطَّردة. وتؤدي التطورات التكنولوجية، خاصة في مضمار تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، دوراً حاسماً في ذلك. ولكن ليس من المسلَّم به أن رغد العيش، وهو المرام الرئيسي، سيتحقق من جراء ذلك. وإذ توجد فرص هائلة، قد تلوح نُذُر شؤم بالقدر نفسه. ولتحقيق تقدم نوعي حقيقي، تقتضي الضرورة اتباع نهج نظامي متكامل. ولن يكفي التفكير والتصميم التدرجي الخطي. وتتمثل الخطوة الأولى في فهم التمييز بين "عتاد" و"برمجيات" المدينة، بمثابة "الجسد" و"العقل" على التوالي في كائن بشري أو كيان حي، أو "نمط جيني" و"نمط ظاهري"، أو "منزل" و"مأوى". الأجزاء الأولى ملموسة، أما الأجزاء الثانية فليست كذلك. ومن الناحية العامة، يُشار إلى الأجزاء الأولى باسم "البنية التحتية" وإلى الأجزاء الثانية باسم "البنية الفوقية". ويتضح ترابط البنية التحتية والبنية الفوقية وتعذر التعامل مع كل منهما على حدة. وثمة تحدٍّ في ذلك، لأن البنى التحتية هي مجال العلوم التقنية، أما الخبرة في البنى الفوقية فهي تكمن إلى حد كبير في العلوم الاستقصائية.

وبالنظر إلى البنى التحتية، تزداد أهمية شبكات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات أكثر فأكثر. وهذا هو المجال الذي يمكن أن تساهم فيه مراكز اللاسلكي والضوئيات. ويُرتقب أن تكون المكونات الرئيسية لجميع الشبكات البصرية والضوئية من جيل جديد من الألياف والدارات الضوئية المتكاملة (PIC). وهذا بالتأكيد هو الحال في الشبكات الأساسية والحضرية. وسيكون للتكنولوجيا اللاسلكية مكان بالقرب من نقاط النفاذ. وكتطور مستقبلي، تمكن ملاحظة تحقق الانتقال من الثابت إلى اللاسلكي عند حواف الشبكة. ويمكن أن يكون مثل هذا المكان جزءاً من أثاث الشارع، وبعبارة أدق "مصباح الشارع"؛ علماً بأن في هولندا وحدها ما يقرب من 4 ملايين من مصابيح الشوارع. ويمكن تشكيلها في شبكة بصرية متشابكة. ومن مصابيح الشوارع يمكن نقل عرض نطاق نحو المنزل أو منه، باستخدام مكررات في الجيل التالي من النوافذ متعددة الوظائف في جميع المنازل والمباني البالغ عددها 7,5 مليون منزل و300 000 مبنى. وداخل المنازل والمباني، ستكون الاتصالات بالضوء المرئي هي التكنولوجيا المستقبلية.



Report SM.2422-03

وبالنظر إلى المنازل والمباني نفسها وكيفية توصيلها ببنية تحتية أقرب إلى البنية المادية في الفضاء العام، يتضح أن قريحة البيئة العمرانية يمكن أن تساهم بخبراتها. وفي تطور يشب عن الطوق، يمكن أن تتجلى فائدة النظر إلى البيوت والمباني والبنى التحتية والبنى الفوقية العامة المشيَّدة على أنها كائنات حية بجسدها وعقلها، فيُدرس نمطها الجيني ونمطها الظاهري. وفي الواقع، إذا كان يمكن اليوم تحديد الجينوم البشري في غضون ساعة واحدة بأقل من مائة يورو، فلماذا يتعذر ذلك بشأن هذه الإنشاءات المادية الأبسط؟ وأي خيارات هائلة يمكن أن تتحقق! ويتسنى بعد ذلك حساب معلمات كلية مثل مسميات الطاقة والسلامة والاستدامة بدقة. ويمكن تصميم سيناريوهات التحسين وتقييمها.



Report SM.2422-04

وبالنظر إلى البيانات التي يمكن اغتنامها أو تقديمها إلى المنازل والمباني والبنى التحتية العامة، يتضح أن مركز علوم البيانات هو المركز الذي يمكن أن يؤدي دوراً حاسماً. والرحلة من البيانات الصرفة نحو المعلومات والمعارف والحكمة المستجدة ستتمخض عن تطبيقات لا حصر لها في البنى التحتية والبنى الفوقية معاً وفي الشبكات والخدمات والبيوت والمنازل. وهي بطبيعة الحال ستحتاج لأن تصمَم بطريقة تتوخى الأمن والسلامة. وبالمثل، يمكن إجراء استقصاءات بشأن الأسلوب الذي تمكن به نمذجة ما يصادَف من الأنظمة المعقدة، من قبيل الأنظمة المتكيفة المعقدة ونظرية الرسم البياني والمصفوفة.

وما ورد أعلاه يقرِّب إلى حد كبير نمذجة سيناريوهات واقعية إجمالية للمدن الذكية من خلال نهج نظامي متكامل.

وفيما يتعلق باحتياجات المستخدم والجوانب الاقتصادية الاجتماعية، يُتطلب مزيد من الدراسة لأن مجالات التطبيق متنوعة للغاية وغير مستكشفة بالكامل. وكما ورد في المرجع [18]، "يُنصح أيضاً بتحفيز الصلات الوثيقة بين البحث والتطوير الصناعي والأبحاث الأكاديمية (على الصعيد الوطني)، حيث (لا يزال) يوجد الكثير من التنوع في تكنولوجيات الاتصالات اللاسلكية البصرية الجاري استكشافها. ومن شأن التحديد المبكر للتكنولوجيات المحتملة الفائزة فيما بينها وتسهيل وتعزيز التقارب والعمل البيني أن يدعم التطور الصناعي وأن يسرّع ظهورها في السوق".

وهناك أيضاً أعمال وأبحاث يجب القيام بها بشأن التموضع الفعلي لمعدات الاتصالات بالضوء المرئي في المباني والمكاتب كما جاء في المرجع [18]: "الاتصالات اللاسلكية البصرية لا تحل محل، بل تكمل، استخدام وسائل الإرسال الأخرى من قبيل تكنولوجيا Wifi في البنية التحتية للاتصالات ضمن مبنى، حيث يمكن للاتصالات اللاسلكية البصرية تفريغ حمولة التطبيقات المتعطشة لعرض النطاق من تكنولوجيا Wifi. ونظراً لهذا التعايش مع تكنولوجيا Wifi الحالية، فإننا نوصي بتصميم وبناء المكاتب والأماكن العامة والمنازل بحيث تؤخذ إمكانات الاتصالات اللاسلكية البصرية في الاعتبار خاصة لدى إنشاء البنية التحتية (السلكية) الثابتة كي تستوعب ما يكفي من نقاط نفاذ الاتصالات اللاسلكية البصرية ووصلاتها الوسيطة. وصار الجمع بين نقل البيانات وتغذية نقاط النفاذ اللاسلكية البصرية بالقدرة باستخدام كبلات الإثرنت (القدرة عبر الإثرنت) يسترعي اهتماماً متزايداً، ولذلك يُوصى بالاهتمام به لأغراض البناء".

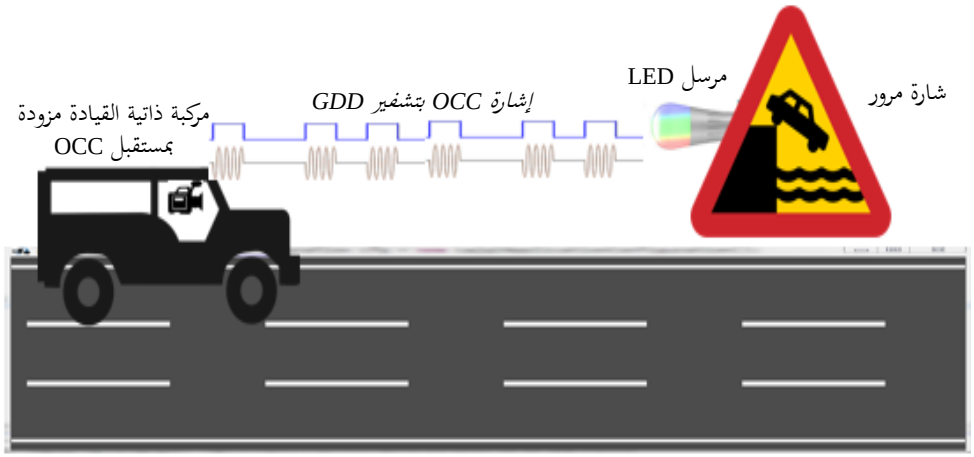
السيارات الموصولة والمركبات ذاتية القيادة

يمكن تطبيق الاتصالات بالضوء المرئي على السيارات الموصولة والمركبات ذاتية القيادة. وعادةً ينبغي للسائقين التنبه إلى إشارات المرور أثناء القيادة. وينبغي أن تتعرف المركبات ذاتية القيادة على إشارات المرور في إطار تكنولوجيا التعرف على الصور، ولكن يمكن أن يساء فهمها في بعض الأحيان. ومن الأمثلة على السيارات الموصولة والمركبات ذاتية القيادة، التعرف على شارة المرور باستخدام الاتصالات بالضوء المرئي وقاموس البيانات الرسومية (GDD). وقد وُضع هذا القاموس بقصد إنشاء أساس مشترك لإرسال معلومات مشفرة عن شارات ومصورات المرور التوضيحية القائمة وفق معيار ISO TC204. وقد أُعد نظام التشفير الخاص به كنظام مستقل عن اللغة، بحيث يمكن تفسير البيانات، بغض النظر عن الاختلافات اللغوية أو الإقليمية. ويهدف ذلك إلى دعم مراسلات

نظام النقل الذكي. وثمة حاجة إلى نهج لفرز المجموعة الكبيرة من شارات ومصورات المرور التوضيحية القائمة إلى مجموعات وظيفية – ويتم ذلك عن طريق عناصر المعلومات.

وفي جزء المرسِل، يصمَم مشفر (مولد) بيانات قاموس البيانات الرسومية (GDD). ويمكن إرسال البيانات المشفرة باستخدام نوعين من المرسِلات، ويتمثل أحدهما في مجرد تركيب مرسِل إشارة ثنائي المساري الضوئي على شارة المرور القائمة، فيرسل ثنائي المساري الضوئي البيانات المشفرة المركّبة على شارة مرور محددة. وتكمن ميزة هذا النوع من أجهزة الإرسال البسيطة في إمكانية تطبيقه على كل شارة مرور موجودة. والفرق الوحيد بين كل شارة وأخرى هو أن البيانات المشفرة التي تنفرد بها كل شارة تُرسَل منها.

وفي جزء المستقبِل، يتألف مستقبِل قاموس البيانات الرسومية (GDD) من كاميرا مزودة بجهاز استشعار بالصور ووحدة فك تشفير البيانات. ويمكن استشعار الصور على جهاز الاستشعار بالصور خلف عدسة الكاميرا البصرية فتُستقبل البيانات المرسَلة من خلال اتصالات الكاميرا البصرية [20].



Report SM.2422-05

7 استنتاجات

تبين المستجدات الأخيرة في الاتصالات اللاسلكية البصرية وأنشطة التقييس ومنتجات الإضاءة القائمة نضوج تكنولوجيا الاتصالات بالضوء المرئي وفوائدها العديدة في تفريغ حمولة الطيف الراديوي.

ويمكن الاستنتاج أن إدارة أجهزة الاتصالات بالضوء المرئي وطيف الاتصالات بالضوء المرئي ليست مهمة تنظيمية بل أمر ينبغي تنظيمه في المعايير التقنية. وتمكن الاستفادة في هذا الصدد من التعاون الوثيق بين هيئات التقييس المعنية بالاتصالات بالضوء المرئي وتلك المعنية بالتطبيقات الراديوية التقليدية.

المراجع

[1] S. Nakamura, T. Mukai, and M. Senoh, "Candela Class High Brightness InGaN/AlGaN Double Heterostructure Blue Light Emitting Diodes," *Applied Physics Letters*, vol. 64, no. 13, pp. 1687-1689, 1994.

[2] J. S. Kim, *et al.*, "White-light Generation Through Ultraviolet-emitting Diode and White-emitting Phosphor," *Applied Physics Letters*, vol. 85, no. 17, pp. 3696–3698, 2004.

[3] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks--Part 15.7: "Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light," in IEEE Std 802.15.7-2011, vol., no., pp. 1-309, Sept. 6, 2011.

[4] A.M.J. Koonen, C.W. Oh, K. Mekonnen, Z. Cao, E. Tangdiongga, "Ultra-high capacity indoor optical wireless communication using 2D-steered pencil beams." IEEE/OSA, 2016, 34(20):7482669.

[5] Jaesang Cha *et al.*, "A new band plan for IEEE802.15.7m", Online: https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/17/15-17-0174-00-007a-a-new-band-plan-for-15-7m.pdf

[6] IEEE 802.15.7r1 Short-Range Optical Wireless Communications Task Group http://www.ieee802.org/15/pub/IEEE%20802_15%20WPAN%2015_7%20Revision1%20Task%20Group.htm

[7] "Multi-Gigabit per Second Optical Wireless Communications (OWC) with Ranges up to 200 meters" https://development.standards.ieee.org/get-file/P802.15.13.pdf?t=92735500003

[8] http://www.ieee802.org/11/Reports/lctig_update.htm

[9] M. Ayyash et al., "Coexistence of WiFi and LiFi toward 5G: concepts, opportunities, and challenges," in IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 2, pp. 64-71, February 2016.

[10] D. Schulz *et al.*, Long-Term Outdoor Measurements Using a Rate-Adaptive Hybrid Optical Wireless/60 GHz Link over 100 m", Proc. ICTON 2017 (invited).

[11] A.M. Khalid et al, "10 Gbps indoor optical wireless communication employing 2D passive beam steering based on arrayed waveguide gratings," Proc. IEEE Summ. Top., TuC2.3, Newport Beach (2016).

[12] J. Zeng *et al.*, "A 5Gb/s 7-Channel Current-mode Imaging Receiver Front-end for Free-Space Optical MIMO," Proc. IEEE MWSCAS, Cancun (2009).

[13] Z. Cao *et al.*, "200 Gbps OOK Transmission over an Indoor Optical Wireless Link Enabled by an Integrated Cascaded Aperture Optical Receiver," Proc. OFC, PDP Th5A.6, Los Angeles (2017).

[14] S. Collins *et al.*, "High gain, wide field of view concentrator for optical communications," Opt. Lett., p. 1756-(2014).

[15] A.M. Khalid *et al.*, "Bi-directional 35-Gbit/s 2D Beam Steered Optical Wireless Down-link and 5-Gbit/s Localized 60-GHz Communication Uplink for Hybrid Indoor Wireless Systems," Proc. OFC, Th1E.6, Los Angeles (2017).

[16] Ivica Stevanović, "Light Fidelity (LiFi)" Federal Office of Communications OFCOM Licences and Frequency Management Division Radio Technology Section, December 14, 2016.

[17] https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/15/15-15-0746-01-007a-tg7r1-channel-model-document-for-high-rate-pd-communications.pdf

[18] Optical Wireless Communication: options for extended spectrum use, Stratix and Technical University of Eindhoven commissioned by the Dutch Radiocommunications Agency (Agentschap Telecom) Ministry of Economic Affairs and Climate policy, December 2017.

[19] https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/15/15-15-0492-05-007a-technical-considerations-document.docx

[20] GDD based Automatic Traffic Sign Recognition Using CamCom Technology, IEEE 15-18-0031-00-0vat, 2018. 1.

مراجع أخرى

R. D. Roberts, S. Rajagopal and S. K. Lim, "IEEE 802.15.7 physical layer summary," *IEEE GLOBECOM Workshops*, pp. 772-776, Houston, TX, 2011.

T. Baykas *et al.*, "Let there be Light Again! An Amendment to IEEE 802 Visible Light Standard is in Progress" *IEEE COMSOC MMTC E-Letters* March 2016.

M. Uysal, *et al.* "TG7r1 CIRs Channel Model Document for High-rate PD Communications," Online: https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/15/15-15-0747-00-007a-tg7r1-cirs-channel-model-document-for-high-rate-pd-communications.zip

I. Stevanovic "Light Fidelity", Report OFCOM Switzerland.

_____