

Bluetooth メッシュネットワークの概要

マレック・ヴィエジュビツキ

ワイヤレス技術Bluetoothは、来たるメッシュネットワーク拡張によって、スマート照明にさらに適したものになる見込みである。その実証済みの特長である低い消費電力、使いやすさ、信頼性はそのまま維持される。

スマート照明は、照明業界におけるこの数十年間で最大の変革かもしれないが、多数のワイヤレス通信技術が利用可能であることが、この有望な新市場に参入しようとするメーカーの最大の頭痛の種になる可能性がある。そのような中で最近話題になっているのがBluetoothであり、2016年中にはメッシュネットワークのサポートが導入される予定になっている。米シルヴェール社(Silvair)は、Bluetoothに基づくメッシュアーキテクチャの標準化を目指すBluetooth Smart Meshワーキンググループの取り組みに深く関与しており、本稿では、Bluetoothメッシュネットワークを実装するための1つのアプローチの背景にある基本概念を説明することによって、Bluetooth Smartメッシュネットワークの概要を紹介したいと思う。

かなり以前から存在する照明規格は現在、その場を照らすことだけにとどまらず、それをはるかに超える機能を提供する予定の次世代照明システムによって、課題を突き付けられた状態にある。デジタル照明への移行は、私たちの目の前で今まさに進行しており、ほんの数カ月前にはスマート照明は本当に実現可能なのかと疑問視する声も多く挙がっていたのが、今ではもう後戻りできない段階まで来ているように思われる。この12カ月間の間に複数の大手照明メーカーが、コネクテッド技術に注力するために従来事業の大きな

部分をスピノフした(LEDs Magazineの独オスラム社(Osram)の記事を参照のこと。<http://bit.ly/1KL6g9e>)。スマート照明は、付加価値のある機能とサービスによる安定した収益源をもたらす新しいビジネスモデルを約束するもので、それこそまさに、LEDのあまりに長い耐用年数とLED市場のあまりに低い利益率に起因する問題を打破するために、照明企業が求めるものである。

ネットワークへの移行

以上のような状況から、照明メーカーが、自社製品にスマート技術を比較的に速やかに実装することのできる企業と契約を結んだという報道や、さらにはもっと単純明快に、ワイヤレス接続、クラウドサービス、または高度なデータアナリティクスを提供する企業を買収したという報道が、ほぼ毎週のように舞い込んでくるのも驚くには値しない。米ゴールドマン・サックス社(Goldman Sachs)によって、ある大手照明メーカーの格付けが引き下げられるという事態にまで、状況は進行しているのだ。利益の減少と、コネクテッド技術に関するめぼしい取り組みが見られない点、そのメーカーの懸念材料として挙げられていた。以上から、現在のトレンドは明らかである。つまり、照明システムはデジタルへと移行しており、CES(Consumer Electronics Show)2016で展示されたさまざまな種類のスマート照明製品(図1)もこのことを裏

付けている(<http://bit.ly/20t1qRN>)。

とはいうものの、主力技術となり得るワイヤレス通信プロトコルに関する合意は、照明分野にはまだなく、ましてやモノのインターネット(IoT:Internet of Things)全般においてはあるはずもない。相互運用性の欠如がコネクテッドソリューションの大量普及を阻む最大の障害だということは、数えきれないほど指摘されてきたが、何らかの標準化が見られるどころか、断片化はますます進行する一方である。新しい技術が次々と登場し、そのそれぞれが、これぞまさにIoTにおけるシームレスで堅牢でセキュリティの高い接続を可能にする技術と謳われている。

その一方で、より成熟した通信規格は、目まぐるしく変化する顧客のニーズに対応するべく進化し続けている。その多くは、IoTやコネクテッド環境をめぐる期待や注目が、今とは比べものにならないほど低かった時代に市場に導入されたものだからである。その上、一部の製品カテゴリは、当時は存在さえしていなかった。スマート照明はそのような分野の代表的な例であり、わずか数年のうちに、存在さえしていなかった状態から、最も注目を集めるスマートビルオートメーション分野の1つにまで進化している。

このような成熟した規格の1つが、Bluetoothである。このワイヤレス通信プロトコルは、昔から存在していたかのように当たり前の存在となっており、他の規格よりもはるかに知名度が高い。しかし、一部の非常に特殊な理由により、現時点では、高度なビルオートメーションのソリューションとして実



図1 Bluetoothに準拠してメッシュに対応する多数の照明製品が2016年のCES (Consumer Electronics Show)で展示された。写真は、仏ジラルール・シドロ社 (Girard Sudron)のランプと仏ノドン社 (NodOn)のスイッチ。

用的な選択肢であるとは考えられていない。Bluetooth 規格の策定を統括する団体で、2万8000を超えるメンバーが参加するBluetooth Special Interest Group (SIG)は、同プロトコルのコア仕様にメッシュネットワークのサポートが導入されれば、その状況が一変すると主張している。この仕様のリリースもわずか数カ月後に迫っているの、以下ではその内容を紹介していこう。

Bluetooth Classicと Bluetooth Smartの相違点

ワイヤレス通信分野における最新の動向にそれほど詳しくない人にとっては、Bluetoothをめぐるさまざまな話題はやや紛らわしいかもしれない。結局のところ、このプロトコルが最初に開発されたのは、IoTという造語が誕生するよりも前のことである。しかし、多くの人々がまだ、現在のBluetoothが過去のBluetoothとは全く異なるということを認識していない。

Bluetooth Classicとして知られる最初のBluetoothは、ケーブルに置き換わる、ポイントツーポイントの短距離通信技術として設計された。当初の主な目的は、携帯電話間のデータを同期す

ることだったが、同規格はまもなく、パーソナルコンピューティング機器(携帯電話、PC、PDA)と周辺機器(ヘッドセット、コードレスのキーボードやマウス、プリンターなど)の間でワイヤレスでデータを交換するための既定の技術となった。機器は、ピコネットと呼ばれる小規模なパーソナル・エリア・ネットワーク(PAN:Personal Area Network)を構成することができる。この構成では、1つの中央機器が最大7つのアクティブな周辺機器の活発な動きを調整する。

それから時が流れて2010年、Bluetoothコア仕様(Core Specification)バージョン4.0がリリースされ、Bluetooth Low Energy (BLE)が新たに策定された。より一般的には、Bluetooth Smartとして知られている。IoTにおけるBluetoothの歴史が実際に幕を開けるのはここからである。Bluetooth Smartは、新世代のスマートデバイスのニーズに対応することを特に目的として設計された。それらのデバイスの多くはバッテリー駆動で動作するため、不要にエネルギーを消費しないように、短時間での接続と効率的な電源管理を必要とする。

この新仕様により、Bluetoothの有効範囲がまったく新しい種類の製品へ

と拡大され、Bluetoothはその後、あらゆる種類のウェアラブルデバイスに対する既定の技術へと進化することとなった。しかしBluetooth Smart無線は、確かにいくつかの卓越した特長を備えているにもかかわらず、ビルオートメーション分野に何らかの大きなインパクトを及ぼすには至らなかった。スマートホームは、ZigBeeやZ-Waveに代表される他の低消費電力技術が主流となっており、ワイヤレス通信が商用に導入されることはなかった。利用可能な低消費電力の通信規格には、ある重大な欠点があり、それが、より信頼性が高いと考えられる有線接続を使い続けることをビル管理者が望む理由になっていた。

Bluetooth Smartが、ビルオートメーション向けの選択肢として決して真剣に検討されることがなかったのは、それが比較的シンプルなハブアンドスポーク(Hub-and-Spoke)型ネットワークに対応するように設計されていたためである(図2)。スマート照明のような応用分野では、それをはるかに超える機能が求められる。例えば、ピアツーピア通信や通信距離の延長は、複数のスマート電球で構成される堅牢なネットワークを実現するために必須の機能だが、Bluetooth Smartのコア仕様では、そのような機能が定められていなかった。ハブアンドスポーク型モデルでは、ZigBeeやZ-Waveネットワークのメッシュ型トポロジに匹敵する性能は得られない。ZigBeeやZ-Waveがターゲットとする分野で、Bluetoothがこれら2つの規格に決して太刀打ちできなかった理由はそこにある。

Bluetooth Smartによるメッシュ構成の実現可能性

メッシュネットワークのサポートは、

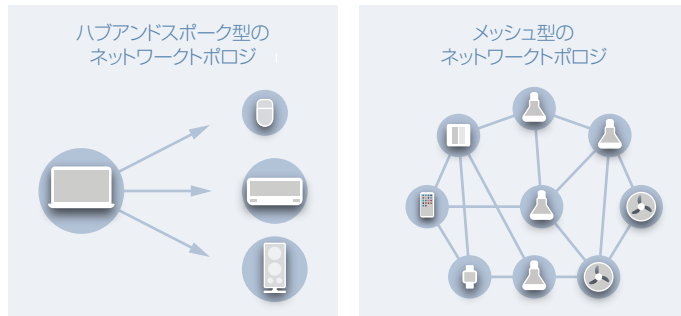


図2 従来のBluetoothはハブアンドスポーク型のネットワークに依存していたのに対し、商用スマート照明は、通信にメッシュネットワークを必要とする。

Bluetooth Smartのコア仕様に含まれていなかったが、この特定の通信規格に基づいてメッシュネットワークを構築するのは、それほど悪くはない考えかもしれないことに、複数の企業が気づいた。2014年にシルヴェール社(当時の社名はSeed Labs)は、Bluetooth Smartに基づくメッシュアーキテクチャの構築に着手した。同プロトコルのシングルホップのトポロジを、マルチホップのピアツーピア型ネットワークに変換するのはかなり骨の折れる作業だったが、その見返りとして莫大な潜在的成果を得ることができた。

Bluetooth Smartに基づくメッシュネットワークは、卓越した性能を備えることも明らかになった。Bluetooth無線のコア機能によって、他の通信プロトコルでは対処が難しい、多数の課題を克服することができた。当然ながら、シルヴェール社が開発した技術は同社独自のものだったが、その開発は、Bluetooth Smartのコア仕様との準拠性を維持して行われた。

独自のメッシュネットワークに取り組むシルヴェール社やその他の企業から、かなりの進言を受けたBluetooth Special Interest Group(SIG)は、この機会を無駄にするわけにはいかないと判断した。同団体は2015年2月、Bluetooth Smart Meshワーキンググループの設立を発表した。このワーキンググループの目的は、メッシュネットワーク

のサポートを標準化し、それを同プロトコルのコア仕様に組み入れることだった。競合する企業らが同席して、互いの経験を共有し、Bluetooth Smartにメッシュアーキテクチャを導入するための最良の方法を検討することとなった。SIGは2015年末に、Bluetooth Meshの開発が計画通りに進行しており、この規格が2016年中に採択される予定であることを正式に発表した。さらに新規規格では、Bluetooth Smartのデータ転送速度と通信距離の両方について大幅な改良が加えられる予定である。

Bluetooth Smartに基づく標準メッシュアーキテクチャは、最も要件の厳しいいくつかの応用分野における堅牢で拡張可能な実装を可能にする、強力なフレームワークとして誕生しようとしている。その開発過程に参画し、自社の概念の多くが世界的な標準規格に取り入れられていく様子を目の当たりにするのは、素晴らしい経験だった。シルヴェール社は現在、Bluetooth Smart Meshワーキンググループの主要貢献メンバーの1社として名を連ねている。策定予定のメッシュ規格の詳細については、SIG自体が正式に発表するまで厳重な箝口令がしかれているが、本稿では、シルヴェール社の「Silvair Mesh」技術の背景にある基本概念を一足先に紹介しようと思う。その内容から、Bluetoothに基づくメッシュネットワークの概要を、かなり具体的に垣間

見ることができるかもしれない。

メッシュネットワークの概要

Silvair Meshは、1台以上の携帯端末(スマートフォン・タブレット)によって1台以上のメッシュ対応周辺機器(電灯、センサ、調光器、スイッチなど)を制御することのできる、スマートメッシュネットワークの構築を可能にすることを目的に開発されている。メッシュソフトウェアスタック(基本的にはBluetooth Smartスタックを拡張したもの)を装備することにより、これらの機器は、GATT(Generic Attribute Profile)と呼ばれる同プロトコルの標準メカニズムを用いてBluetooth Smart無線を介して、他の機器や中央コントローラと通信することができる。つまり、すべてのメッシュ対応周辺機器が、中央で動作する機器を必要としない、独自の自律的なメッシュネットワークを構成できるということになる。

Bluetooth SmartをベースにSilvair Meshを開発するというのは、意図的な決断だった。そうすればそのエコシステムは、既存のすべてのBluetooth Smart対応機器やチップセットと互換性を持つようになるためである。しかし、メッシュスタックには、標準のBluetooth Smartに加えて多数の追加機能が必要である。例えば、Silvair Meshには、高性能なBluetoothコントローラや新しいNetwork Security Manager、そして、各機器を任意の時点で最新バージョンのファームウェアにアップグレードできるようにするためのセキュリティの高いOverThe-Air Update機能が含まれる。

このように慎重に設計されたメッシュソフトウェアスタックは、互換性のある任意のBluetoothチップにインストール可能である。シルヴェール社は、

商業用ビルなどにおける大規模実装用に最良のソリューションを提供するために、モジュールのリファレンスデザインも開発した。これらのモジュールは、アップグレードされたファームウェアを搭載する標準的な米テキサスインスツルメンツ社 (Texas Instruments) 製 Bluetooth モジュール「CC254x」、アンプ、アンテナで構成される。+10dBm の Tx (送信) 出力と -98dBm の Rx (受信) 感度で動作するこれらのモジュールは、108dB のリンクバジェットを達成する。これは、障害物のない大気中における 1500 フィート (約 500m) の距離に相当する。ビル内では当然ながら、距離はこの値よりもかなり抑えられ、また、多数の要因に依存するが、それでも素晴らしい性能であるといえる。

ここで、メッシュは純粹にソフトウェアで実現されていることを、重要な点として指摘しておく。つまり、今日のスマートフォンに搭載されている Bluetooth Smart チップセットは、Silvair Mesh などの独自技術を採用する機器を制御可能で、ひとたびこの規格が SIG によって採択されれば、そのままメッシュネットワークの制御と管理に完璧に適したものになる。図3に示すように、前述のソフトウェアスタックは、標準の Bluetooth Smart プロトコルスタックのネットワーク層とアプリケーション層に適用される。

メッシュネットワークの動作の仕組み

次は、メッシュ拡張の動作の仕組みについて説明する。Silvair Mesh ネットワーク内には、2種類の通信が存在する。つまり、中央機器から周辺機器への通信と、周辺機器の間の通信である。メッシュネットワークが作動した後には、中央機器から周辺機器への通

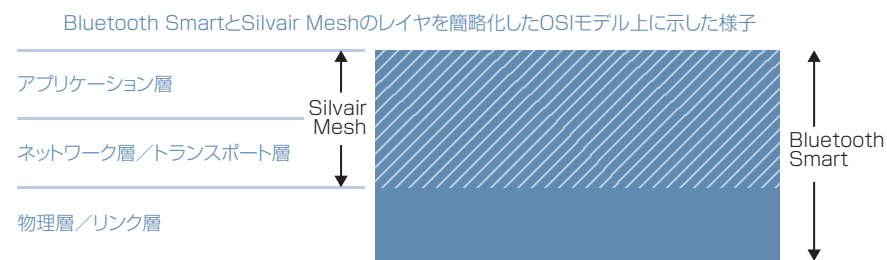


図3 スマートメッシュ機能は、Bluetooth機器のソフトウェア内のネットワーク層、トランスポート層、アプリケーション層に追加されており、無線ICやモジュールと通信する物理層やリンク層には影響を与えない。

信は不要になる。

中央機器は一般的に、スマートフォンやタブレットである。これらの端末では通常、何らかの種類の制御ソフトウェアが実行している。Silvair Mesh の場合は、「iOS」と「Android」を搭載する端末用にアプリを開発した。中央機器は、ネットワークの設定と管理に用いられるが、周辺機器のソフトウェアアップデートも実行することができる。中央機器は、Bluetooth Smart の標準 GATT サービスを使用して周辺機器に接続する。この種類の接続は、Bluetooth 4.0 との完全な互換性を持つが、ある独自技術を採用することにより、多くのスマートフォンを、8台以上の周辺機器の同時制御に使用できるようにしている。8台というのは、標準の Bluetooth 4.0 の制約である。

周辺機器は、メッシュネットワークのノードである。堅牢なメッシュネットワークを実装するには、周辺機器が互いに通信可能で、メッシュを介してメッセージを中継するリレーとして動作できなければならない。これは、Bluetooth Smart の本来のアーキテクチャから大きく逸脱する動作であり、マルチキャスト (1対多) 通信による機器グループ全体の制御 (例えば、廊下の一連の天井灯の明るさを落とすなど) を可能にするものである。Silvair Mesh では、最大ホップ数が63であるため、標

準設定で非常に広いエリアに対応することができる。一方、他の技術の場合は、より複雑なネットワークやコストのかかるネットワークをセットアップする必要が生じる。

シルヴェール社の実装で導入された最も重要な概念の1つが、コネクションレス通信である。これは、すべての周辺機器が自らのステータスをネットワーク内でアドバタイズできることを意味する。その結果、照明、ファン、シェードといった任意のメッシュ対応機器が、中央機器上のアプリに自動的に表示される。使用可能な機器がただ列挙されるだけでなく、オン/オフ、色、温度、ファン速度、シェード位置といった、ユーザーが制御可能な具体的なパラメータとともに表示される。ユーザーによってステータスが変更される度に、それが直ちにネットワーク上でアドバタイズされ、メッシュ内のすべての制御機器が新しいステータスに応じて直ちに更新される。

ネットワークのセットアップ

商用アプリケーションのニーズを想定して、Silvair Mesh ソフトウェアでは、任意の規模のネットワークがセットアップ可能だが、ネットワークの規模によってその作動方法は異なる。約30台までのデバイスで構成される小規模ネットワークの場合は、1台のスマ

ートフォンやタブレット上のアプリだけで作動して管理することができる。Bluetoothのプラグアンドプレイの接続性と、市場に存在するほぼすべてのスマートフォンやタブレット上でBluetoothがネイティブにサポートされているという事実から、そのプロセス全体がかなりシンプルで直感的なものとなる。アプリは、近くにあるメッシュ対応機器を検出して表示する。ユーザーは、追加する機器を選択してネットワークに名前を付けることによって、メッシュネットワークを作成する。機器がネットワークに追加されると、機器間のつながりや関係を自由に設定することができる。その後はスマートフォンの電源を切ってもよく、それでも設定した接続はそのまま維持される(図4)。

30台を超えるデバイスで構成されるネットワークや、より複雑なつながり、シナリオ、ネットワーク監視サービスを必要とするネットワークの場合は、何らかの種類のサーバや管理装置を使用してセットアップすることが推奨される。Silvair Meshでは、「Silvair Logic」という組み込みサーバが、ネットワーク全体を制御するすべてのロジックをホストし、すべての周辺機器のステータスをチェックし、問題や異常事態があればブラウザベースのインターフェースを介してそれを報告する。

メッシュネットワークにおけるその他のニーズ

Bluetooth Mesh実装には、他にもいくつかの重要な要素が存在する。ここではそれらの要素について簡単に紹介する。ネットワーク内の機器を適切に管理するには、制御機器に対する権限という概念が必要である。Silvairソフトウェアスタックでは、次の4つのレベルの権限が実装されている。①

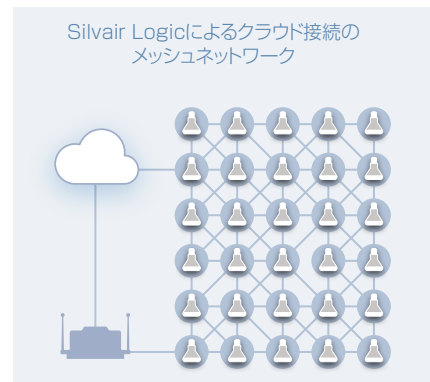


図4 Silvair Meshは、単一のスマートフォンで制御される小規模なメッシュネットワークと、クラウドに接続された専用サーバを備える複雑なネットワークの両方をサポートする。

Administrator (管理者) — ネットワーク内のすべての機器の操作に加えて、それらの設定と、他のユーザーの権限の管理が可能 ② Family (ファミリー) — ネットワーク内のすべての機器の操作が可能だが、それらの設定や管理はできない ③ Guest (ゲスト) — ネットワーク内の一部の機器を操作するための限定された権限を持つ ④ AdHoc (アドホック) — パブリック機器を個別に操作することだけが可能 (メッシュネットワークにはアクセスできない)。

同様に、ネットワークノード(周辺機器)には、自らの動作ステータスとプログラム可能性に関する情報を提供する機能が必要である。Silvairソフトウェアスタックでは、次の3つの Peripheral Device State (周辺機器状態) が定義されている。① Factory Default (工場出荷時デフォルト) — 機器の工場出荷時の状態で、作動準備が整っている ② Private (プライベート) — すべての通信が暗号化されるため、対応するキーを持つユーザーしか、状態情報を復号化して機器を制御することができない ③ Public (パブリック) — 状態情報と一部の制御機能は暗号化されないため、

誰でもアクセスできる。

Bluetoothの卓越性

ここで、なぜBluetooth Smartメッシュネットワークは、市場に存在する他のメッシュプロトコルよりも優れているといえるのか、という疑問を抱くかもしれない。簡単に言えば、その無線性能である。低消費電力で狭帯域のどの通信規格も、Bluetooth Smartの卓越した品質には遠く及ばない。Bluetooth Smartはその優れた品質によって、マルチキャストや同期動作、即応性などが必須機能として求められる、スマート照明のような要件の厳しい応用分野における非常に難しい問題のいくつかに対処することができる。

シルヴェール社は、他の多数の技術を徹底的に試験済みであり、既存のメッシュプロトコルでは、信頼性と拡張性が最優先事項となる環境にスマート照明を提供することはできないことをはっきりと確認している。また、Bluetooth Smartのメッシュ規格が今年採択されれば、スマート照明ネットワークの扉がぐいに開かれて、専門的な分野において広く導入されることになると強く確信している。

著者紹介

マレック・ヴィエジュビツキ (MAREK WIERZBICKI) は、ポーランドのシルヴェール社 (Silvair) のマーケティング責任者 (URL: silvair.com)。