

SYSTÈMES

d'éclairage LED intelligents

L'exemple de LED's CHAT

Guillaume BONELLO

LED's CHAT, Marseille

guillaume.bonello@leds-chat.com

Peter NIEBERT

LIF-AMU, Marseille

peter.niebert@lif.univ-mrs.fr

D'un objet électrique dont les revenus étaient générés par le remplacement de consommables (l'ampoule) pour le marché grand public ou les services de conception et de maintenance d'éclairage public ou privé pour le marché industriel, le luminaire devient un produit électronique dont la durée de vie élimine le besoin de remplacement et dont les services rendus peuvent être nombreux et dépasser la simple fonction d'éclairer.

Le contrôle de la puissance émise par les LED se fait par un principe PWM (*pulse width modulation*) qui permet de les faire « clignoter » à haute fréquence. Le contrôle de la durée d'éclairage et d'extinction des LED sur ces cycles permet de moduler la puissance lumineuse émise sans que l'œil humain ne perçoive ce clignotement.

Principale différence, l'ampoule électrique se pilote par une commande mécanique (bouton) alors que la LED se pilote par une commande logicielle (processeur). L'avantage de cette dernière approche est de pouvoir facilement intégrer dans la carte électronique du luminaire LED des composants pouvant ajouter des fonctions comme des capteurs pour collecter des données directement depuis le luminaire, des ports de communication pour transformer le luminaire en objet connecté et un ordinateur pour le rendre intelligent.

Le marché de l'éclairage opère actuellement sa transition digitale. En effet, depuis plusieurs années, l'arrivée des LED (diodes électroluminescentes) bouleverse les produits lumineux, change les métiers des acteurs industriels et transforme la création de valeur à travers de nouveaux modèles économiques.

Pilotage centralisé de réseaux de luminaires

Les architectures de pilotage logiciel classique des luminaires sont basées sur le principe de commandes adressées par un contrôleur centralisé. Dans les anciennes installations basées sur 240 V, le contrôleur commande un relais pour réguler la puissance d'un luminaire. L'avènement des LED pour l'éclairage a changé cette situation en ce que le contrôleur est placé dans le module lui-même, par exemple comme dans le bus DaLi, et de manière similaire pour le protocole DMX¹. Mais il n'y a pas de changement fondamental dans l'architecture de contrôle pour

le segment final où le rôle du micro-contrôleur du luminaire est limité à l'écoute des commandes sur son adresse et au contrôle des LED. Les capteurs et les « commutateurs intelligents » envoient des messages à un nœud de contrôleur central qui trie les commandes et les envoie aux bons luminaires.

Il existe un problème inhérent à cette approche pour qui veut connecter un grand nombre de luminaires et qui commence par l'attribution, traditionnellement manuelle, d'adresses à chaque luminaire dans ces réseaux. En réponse, plusieurs produits, tout en maintenant le principe de contrôle, ajoutent une affectation d'adresse automatique à des réseaux

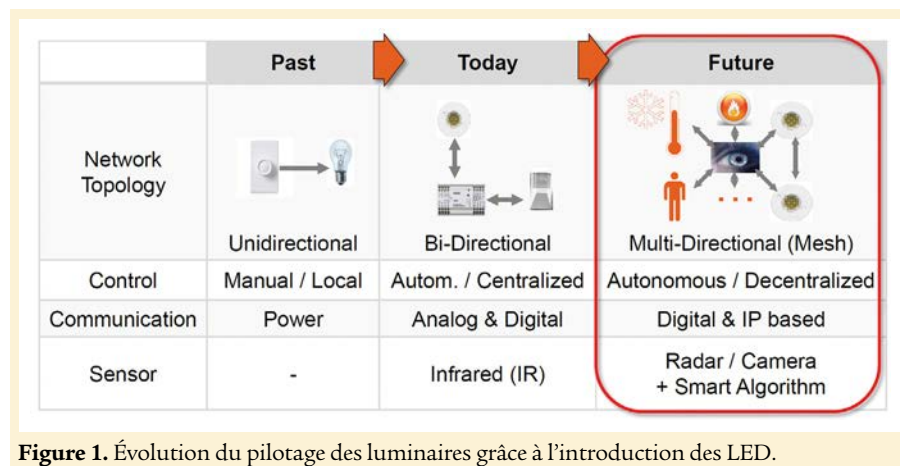


Figure 1. Évolution du pilotage des luminaires grâce à l'introduction des LED.

¹ Permet de contrôler 512 canaux (9 bits d'adressage) en affectant à chacun une valeur comprise entre 0 et 255 (8 bits de données par canal). La transmission numérique unidirectionnelle se fait de façon sérialisée par liaison symétrique, et chaque appareil reçoit en même temps l'ensemble des 512 valeurs (ce que l'on appelle une « trame » DMX).

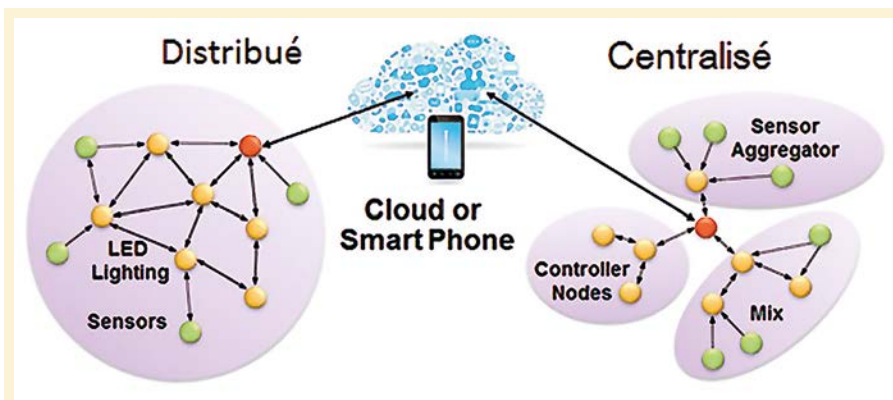


Figure 2. Comparaison d'un réseau de luminaires pilotés par un système centralisé et par un système distribué.

de luminaires. Cependant, l'adressage automatique n'est pas suffisant pour répondre à tous les problèmes liés à des très grands réseaux de luminaires LED dans l'approche classique centralisée, par exemple en ce qui concerne la bande passante requise. Les protocoles DaLi et DMX ont une bande passante limitée et des espaces d'adresses nécessitant une structure hiérarchique avec des boîtiers de contrôle relais qui complexifient la conception et le déploiement de tels systèmes.

Pilotage distribué de réseaux de luminaires LED

Pour répondre de manière innovante à ces problèmes d'adressage et de pilotage de luminaires LED en réseau, il faut donner un rôle plus important aux microcontrôleurs à faible puissance intégrés dans les luminaires et utiliser massivement des algorithmes distribués pour leur pilotage. Les installations de luminaires LED compatibles avec cette approche peuvent fonctionner de manière autonome (sans contrôle centralisé) ou reliées par une passerelle aux protocoles de contrôle standard. Il est donc possible d'intégrer des luminaires pilotés de manière distribuée dans les installations existantes et pilotées de manière centralisée.

Du point de vue logiciel embarqué, le pilotage distribué utilise un système d'exploitation spécifique

optimisé pour fonctionner sur des réseaux de microcontrôleurs à faible puissance et à faibles ressources tels que ARM Cortex M0 / M3 et MIPS. En conséquence, ce système d'exploitation peut être déployé comme un firmware alternatif avec des fonctionnalités accrues sans exigences matérielles supplémentaires dans certains luminaires existants, ou à des luminaires rendus compatibles avec capteurs intégrés et connectivité supplémentaire.

Le système d'exploitation distribué permet d'exécuter des programmes distribués qui mettent en œuvre les services souhaités pour le pilotage intelligent des luminaires LED. Le système d'exploitation et les programmes d'application s'exécutent simultanément dans chaque nœud du réseau formé par les luminaires. La conception de l'architecture du logiciel est optimisée pour diminuer la bande passante

de communication nécessaire. L'objectif fonctionnel atteint par cette approche est la mise à l'échelle automatique car certains services peuvent fonctionner de manière entièrement évolutive sur des réseaux de taille arbitraire, notamment sans impact sur la latence et sans besoin d'un réseau de base. Une seule passerelle intégrée branchée n'importe où dans le réseau (ou suffisamment petite pour être intégrée dans un luminaire) est suffisante pour la maintenance et le déploiement de l'installation ainsi que pour l'interopérabilité avec des protocoles standard (DaLi/DMX).

Pourquoi un pilotage distribué ?

Le pilotage distribué présente plusieurs avantages par rapport au pilotage centralisé.

- Évolutif : les ressources pour le pilotage évoluent linéairement avec chaque nœud ajouté au réseau.
- Modulaire : chaque nœud peut être différent et s'ajouter aléatoirement.
- Simple : chaque nœud est automatiquement reconnu une fois connecté au réseau.
- Robuste : la panne de nœuds ou de communication n'affecte pas le fonctionnement du réseau.
- Économe : diminution drastique des accès au cloud, maintenance non experte, optimisation ultime des ressources et de la consommation électrique...

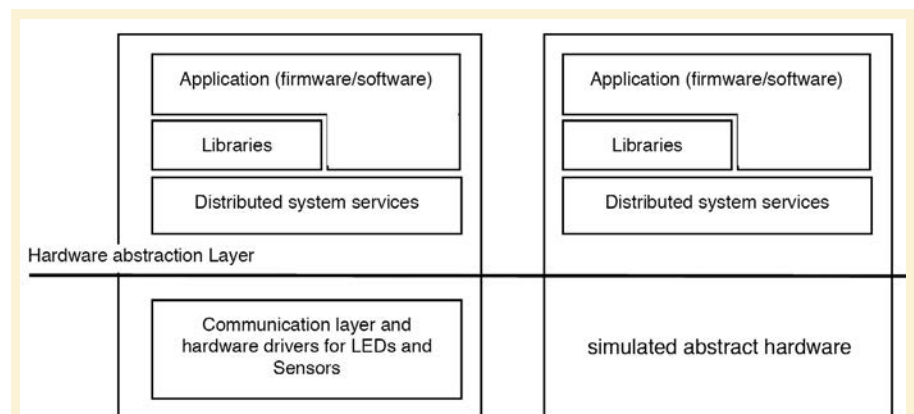


Figure 3. Architecture du système embarqué LED's CHAT pour l'implémentation dans les luminaires LED et le simulateur.

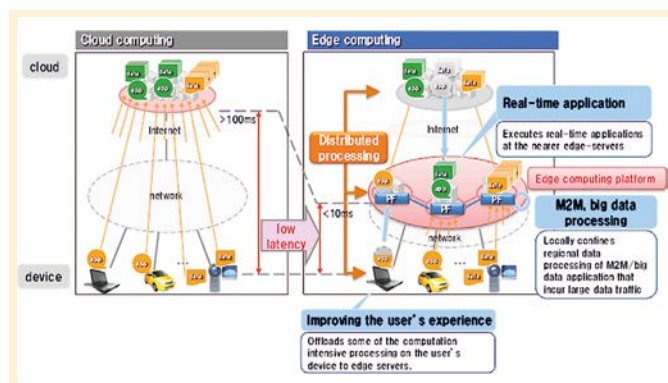


Figure 4. Comparaison des approches CLOUD et EDGE computing.

Comment fonctionne le pilotage distribué ?

Chaque luminaire piloté en distribué embarque un système d'exploitation (OS) spécifique qui est un élément essentiel du réseau distribué. Contrairement aux systèmes d'exploitation embarqués couramment utilisés, l'OS distribué est centré sur la communication, c'est-à-dire que l'exécution du code de l'application dans chaque luminaire est étroitement liée à la couche de communication. De plus, cet OS fournit des services de communication optimisés pour l'exécution d'applications distribuées. Il s'agit donc d'un système d'exploitation embarqué en temps réel véritablement distribué pour les microcontrôleurs légers qui équipent ou équiperont les luminaires LED.

En conséquence, la latence de la communication dans un réseau de luminaires distribués est beaucoup plus faible que dans les systèmes d'exploitation embarqués du marché. A titre d'exemple, la startup LED's CHAT met en œuvre actuellement un tel OS qui garantit que la différence de temps des nœuds voisins soit inférieure à 2,5 μ s. Si nécessaire (pour la lumière technique), cette différence de base de temps peut être mesurée et compensée pour pouvoir synchroniser certaines horloges de voisins jusqu'à 0,1 μ s. Cette synchronisation locale n'est soumise à aucun lien sur la taille de l'installation. C'est la grande force du pilotage distribué : mettre en œuvre des scénarios de pilotage très complexe mais qui ne consomment que très peu de ressources de communication.

Dans la solution développée par LED's CHAT, les pilotes de communication et de matériel sont cachés derrière une couche d'abstraction matérielle (HAL), qui fournit un accès brut aux données de communication, à la lecture des données capteurs et aux paramètres de luminosité des LED. Au-dessus du HAL, l'OS invoque périodiquement le code du système d'exploitation et des applications utilisateur structurés en couches de services système et d'applications. La couche d'abstraction matérielle permet d'exécuter le même code sur le système embarqué distribué et sur un simulateur pour l'exécution distribuée.

Exemples d'algorithmes et d'applications distribués

Pour illustrer la flexibilité d'un pilotage distribué, nous discutons un certain nombre d'applications pouvant être réalisées sur cette architecture logicielle.

Services liés à la mise en service : la découverte des voisins par un algorithme distribué permet de récupérer, au niveau de la passerelle, la topologie complète de l'installation. Les adresses peuvent être affectées aux luminaires et aux LED. Les caractéristiques des modules peuvent être récupérées. Un nouveau firmware peut être déployé à travers le réseau de manière sécurisée tout comme les applications.

Services de broadcast : un service de base utile, et qui rend l'interopérabilité possible, est le service de broadcast, c'est-à-dire, permettre de diffuser des commandes depuis la passerelle sur le réseau de luminaires distribué par protocole d'adressage. Par exemple, chaque LED d'un module peut être attribuée de manière statique ou dynamique à une adresse DMX et être éclairée de manière correspondante.

Services de convergecast : en parallèle des services de broadcast, il est possible en temps réel de recueillir des informations à partir de chaque nœud du réseau de luminaires distribué. Avec de tels services, il est possible d'analyser le fonctionnement et l'état de chaque luminaire dans le réseau et, compte tenu des capteurs appropriés, analyser son état.

Liaison des services broadcast et convergecast : pour ces services, tout module peut servir de maître local pour un nombre limité de modules autour de lui, et tous les modules peuvent le faire en parallèle en même temps sans conflit. À titre d'exemple, les données des capteurs peuvent être partagées entre les voisins de telle sorte que chaque nœud ait accès aux données du capteur des modules dans le voisinage.

Conclusion

Avec l'introduction des LED, le luminaire est en train de basculer dans l'univers des objets connectés. Avec 50 milliards de luminaires à l'échelle mondiale, l'éclairage va devenir le secteur industriel avec massivement le potentiel du plus grand nombre d'objets connectés. La tendance actuelle à l'émergence d'une approche « EDGE computing » pour le pilotage des objets connectés en complément ou remplacement du « CLOUD computing » est favorisée par l'émergence de systèmes d'exploitation adaptés à des objets avec de faibles puissances de calcul et d'une puissance électrique modeste, ce qui est le cas des luminaires. Une solution d'OS temps réel distribué tel que LED's CHAT le propose est particulièrement optimisée pour cette approche et va permettre de conduire la révolution digitale de l'éclairage à son stade ultime.

POUR EN SAVOIR PLUS

- [1] EnLight - Next Generation Intelligent and Energy Efficient Lighting Systems Frank van Tuijl, *LED professional*, Issue 48, Apr 1, 2015
- [2] Niebert P., Caralp M., Cellular Programming, in "Theory and Practice of Natural Computing - Third International Conference (TPNC)", Granada, Spain, pages 11-22, LNCS 8890, Springer, 2014