

Sistemas Empotrados Distribuidos

Sistemas Empotrados Distribuidos: Introducción

Prof. Guillermo Botella



DEPARTAMENTO DE
ARQUITECTURA DE COMPUTADORES
Y AUTOMÁTICA

Curso 2022-2023

Contenidos

- ❑ Qué es un Sistema Empotrado Distribuido?
- ❑ Dónde están estos sistemas?
- ❑ Los SEDs son el futuro:
 - o Domótica
 - o Smart Cities
 - o Wearable Computing
 - o The Internet of Things
- ❑ Tipos de SEDs
 - o Time Driven vs Event Driven
- ❑ Componentes de un SED
- ❑ Evolución de los SEDs
 - o Sistemas Centralizados vs Sistemas Distribuidos
- ❑ Bibliografía básica:
 - o M.J. Pont, "Patterns for Time-Triggered Embedded Systems" [Ch. 1 y 13]



Definición

- ❑ A general-purpose definition of **embedded systems** is that they are devices used to control, monitor or assist the operation of equipment, machinery or plant. Their “embeddedness” may be such that **their presence is far from obvious to the casual observer** [Institute of Electrical Engineers (IEE)]
- ❑ An **embedded system** is a computer system with a dedicated function within a larger mechanical or electrical system, often with real-time computing constraints. It is embedded as part of a complete device often including hardware and mechanical parts [wikipedia, by Barr& Heath]
- ❑ Sistema Empotrado = Computadores dentro de un Producto
 - o **HW + SW !!!**

Definición

- ❑ A **distributed computer system** is defined to be a system of multiple autonomous processing elements cooperating in a common purpose or to achieve a common goal [Burns, Wellings]
- ❑ A **distributed system** is the one that prevents you from working because of the failure of a machine that you had never heard of [Leslie Lamport]

Definición

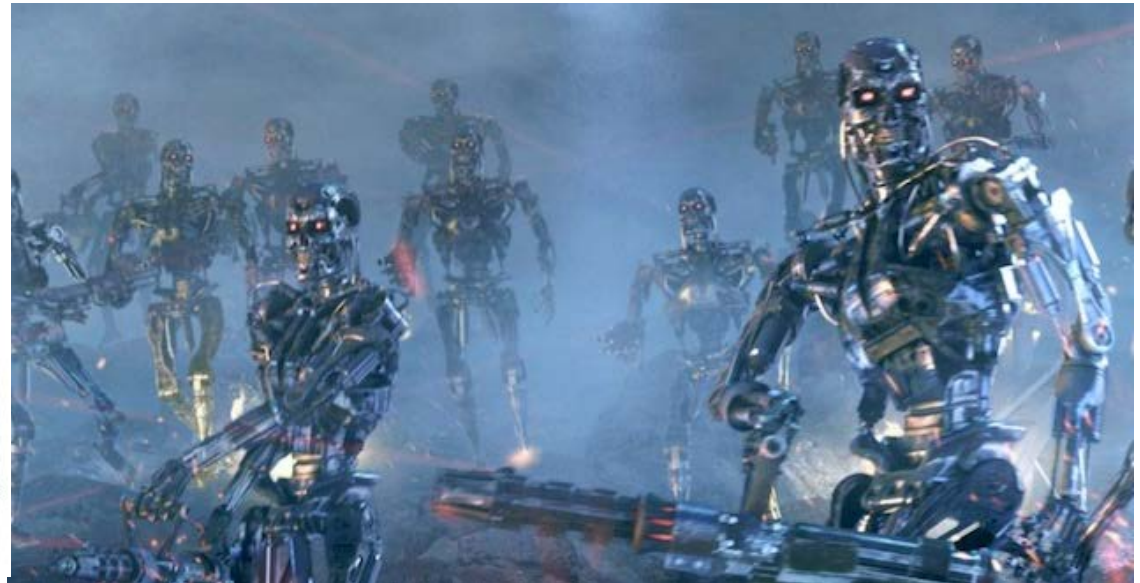
- ❑ **Un Sistema Empotrado Distribuido (SED)** es un sistema empujado con una gestión del control totalmente distribuida
- ❑ **¿Gestión distribuida?**
Cada elemento tendrá un control local y será capaz de comunicarse con los demás componentes del sistema (quiero trabajar sin saber lo que hace el resto, Lamport 😊)



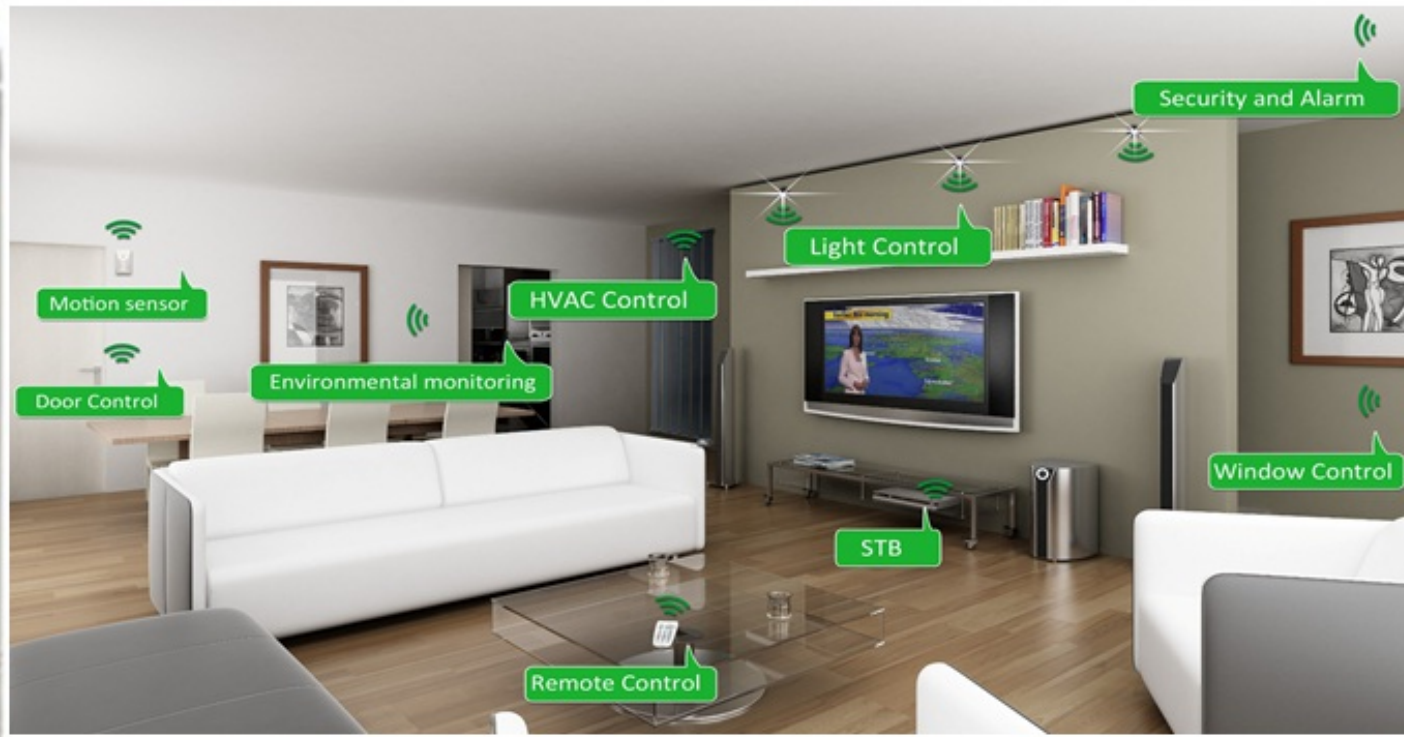
Dónde están los SEDs ??



Dónde están los SEDs ??



Los SEDs son el futuro: Domótica



Home Automation

Los SEDs son el futuro: Domótica

- ❑ Se entiende por **domótica** el conjunto de sistemas capaces de automatizar una vivienda, aportando servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación. Se podría definir como la *integración de la tecnología en el diseño inteligente de un recinto cerrado* (wikipedia)
- ❑ En latín, la palabra *domus* significa casa. La palabra *tica* viene de *automática* (del griego: que funciona por sí sola)
 - o El campo de la domótica abarca todas las fases de la tecnología inteligente del hogar, incluidos los sensores altamente sofisticados y controles que automatizan la temperatura, la iluminación, sistemas de seguridad, y muchas otras funciones.

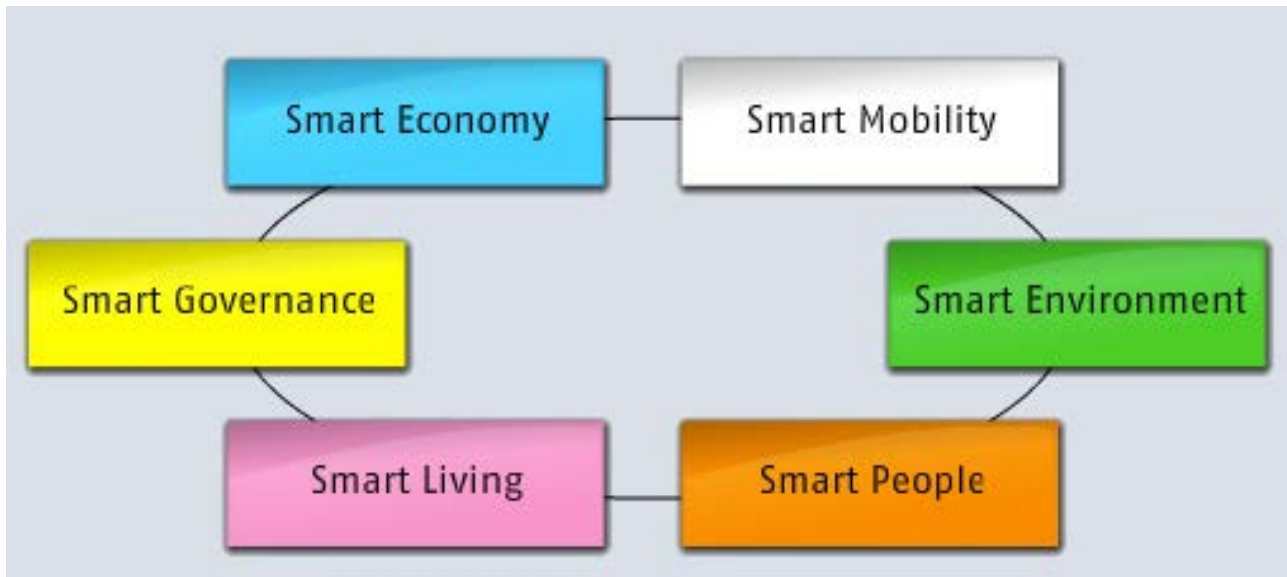
Los SEDs son el futuro: Smart Cities



Los SEDs son el futuro: Smart Cities

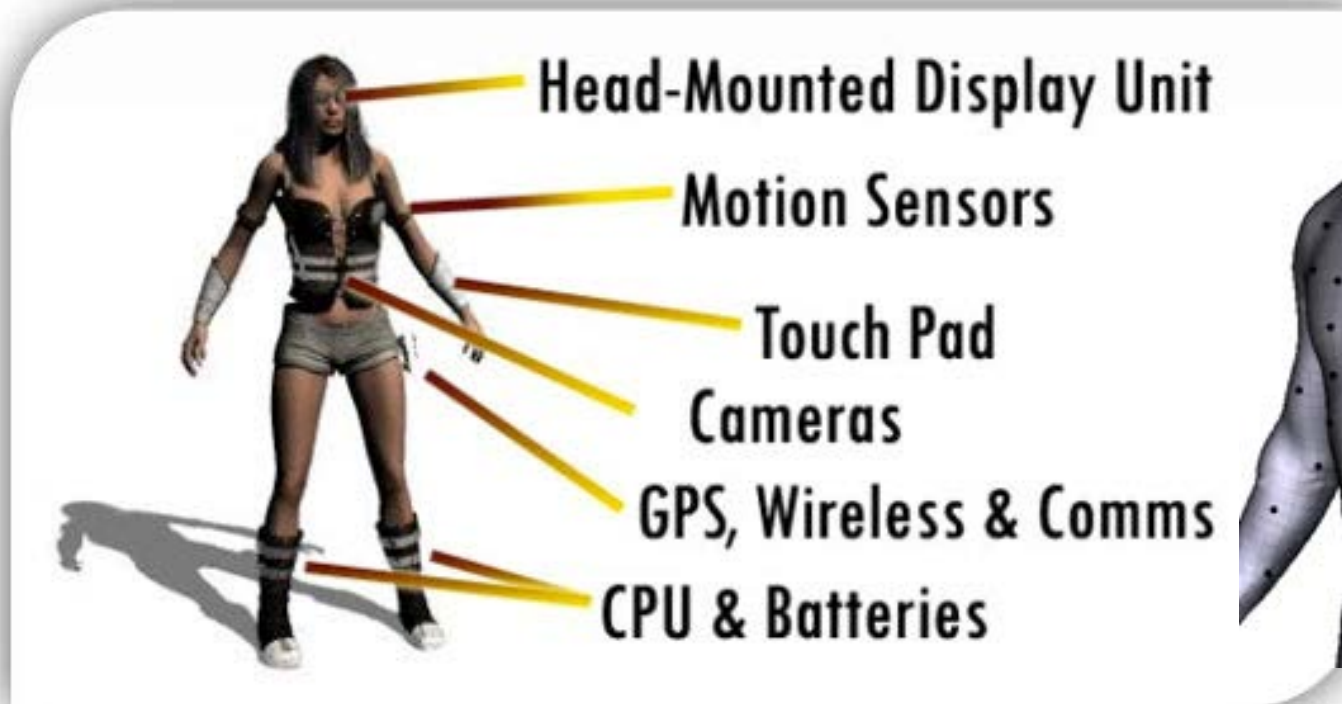
□ Smart City

- o Concepto muy amplio: 6 dimensiones básicas
- o Eficiencia: combinar competitividad y sostenibilidad
- o Comunicación con el medio: redes de sensores
- o Computación ubicua: integración en el entorno de la persona
- o <http://www.smartcities.es/>
- o <http://www.smart-cities.eu/>



Los SEDs son el futuro: Wearable Computing

- ❑ Computadores empotrados en la ropa
- ❑ "Wearable Abacus" de la dinastía Qing, s. XVII

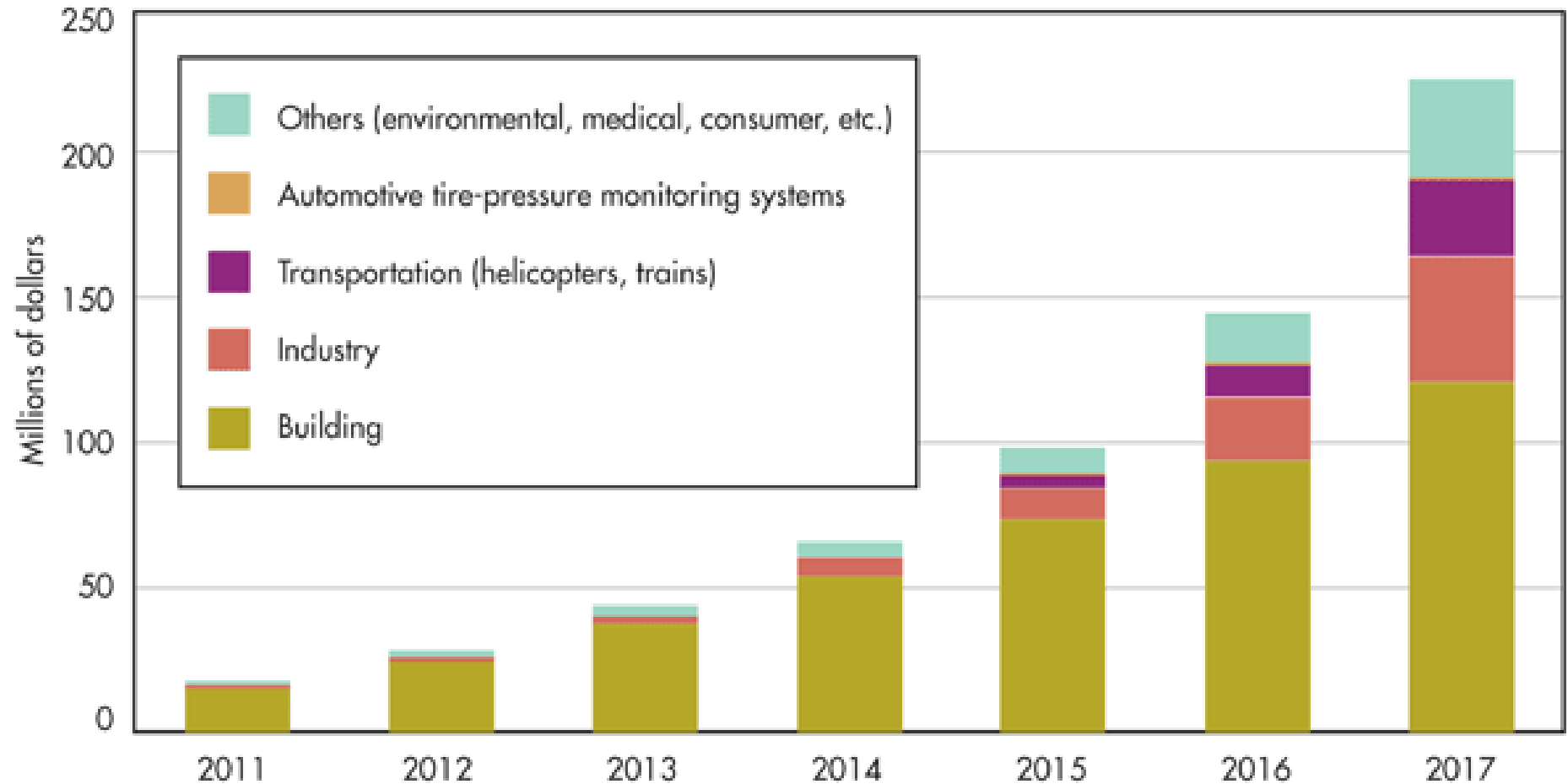


Los SEDs son el futuro: The Internet Of Things (IoT)

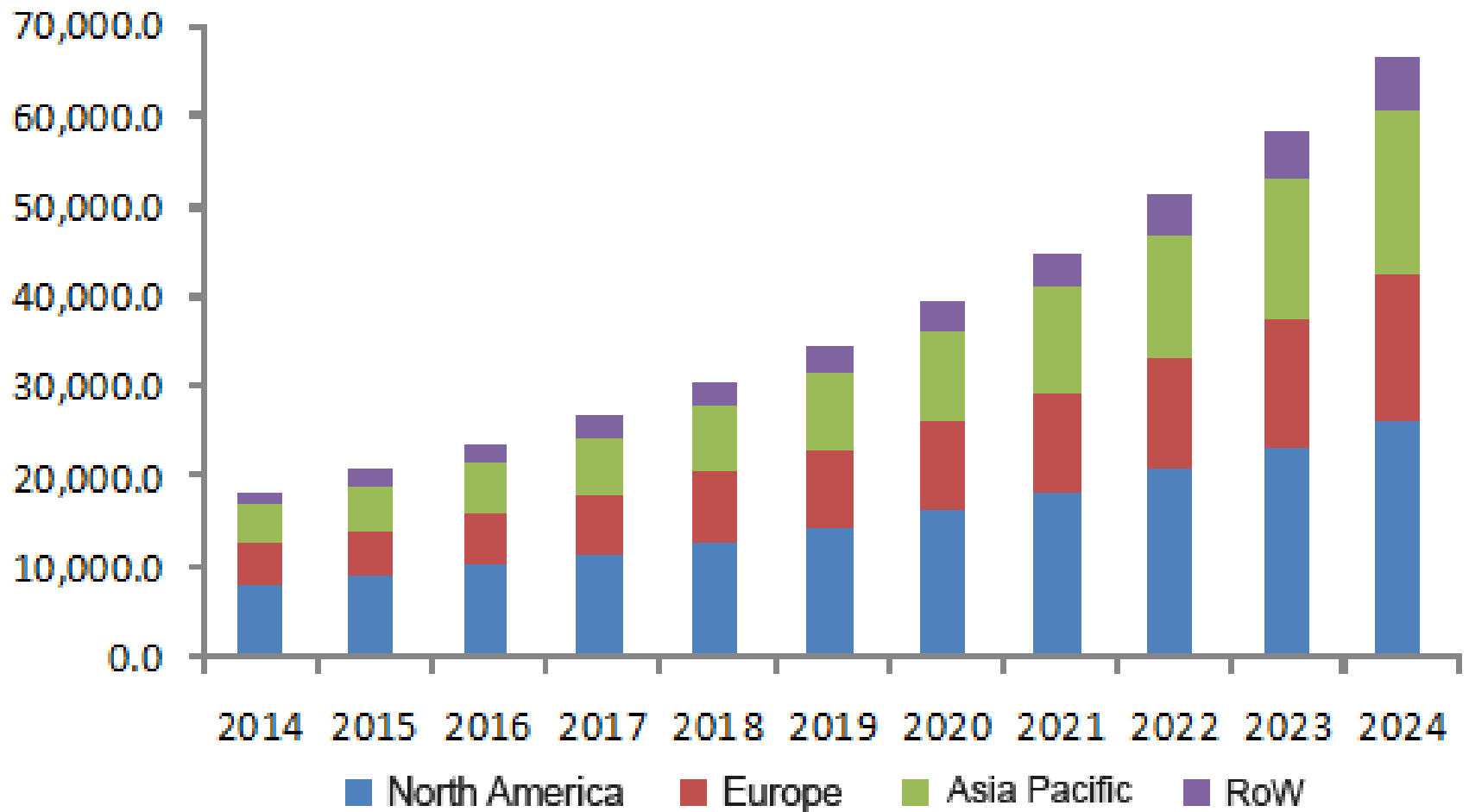
- ❑ Red de objetos interconectados
- ❑ El mundo es entendido como un SED enorme
- ❑ Cada objeto debe ser identificado
 - o IPV-6
 - o 50-100000 millones de objetos que identificar
- ❑ <https://vimeo.com/symplio>



Los SEDs son el ... pasado



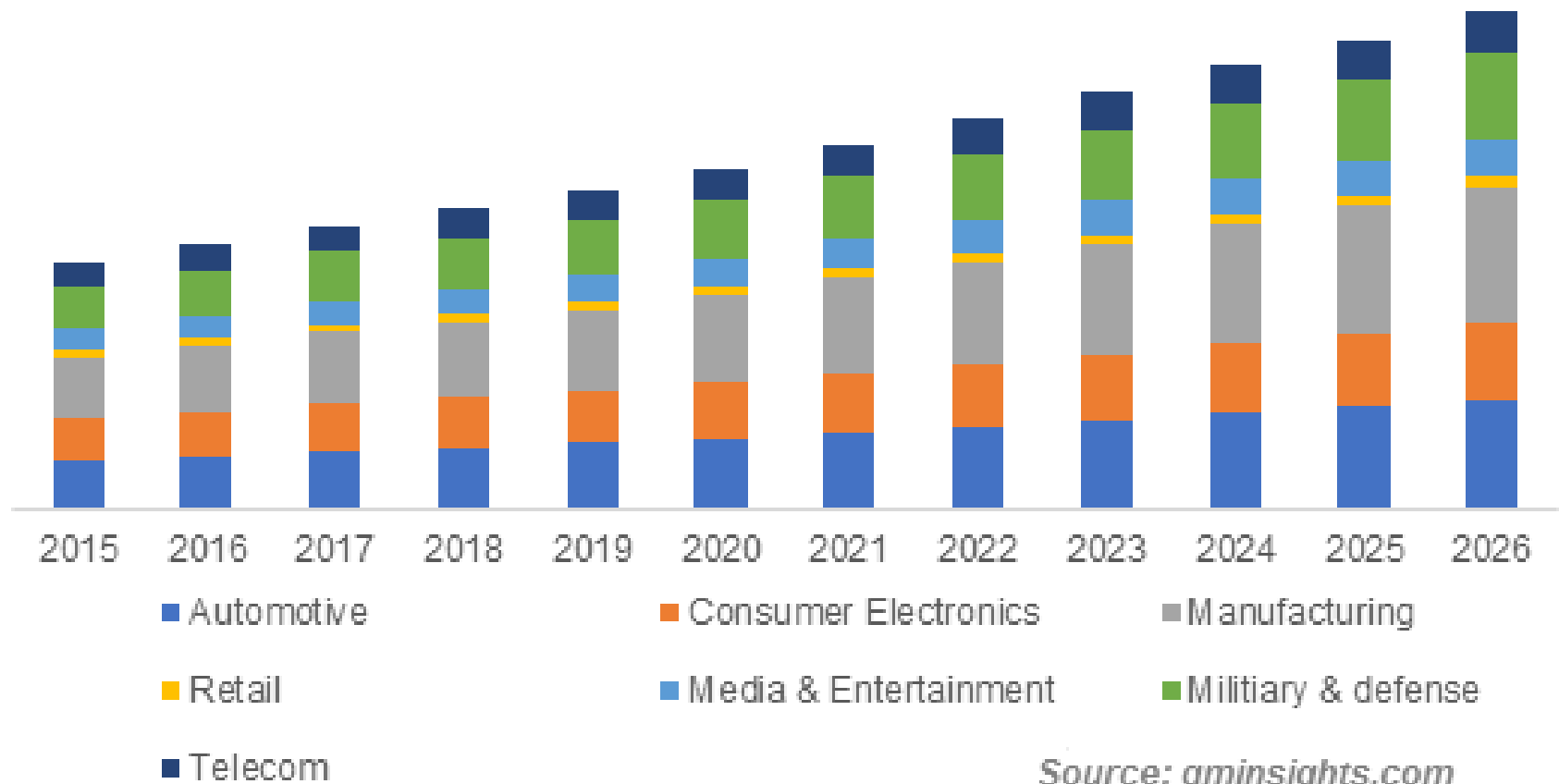
Los SEDs son el futuro



Inversión en transporte inteligente (Intelligent Transport System, ITS)

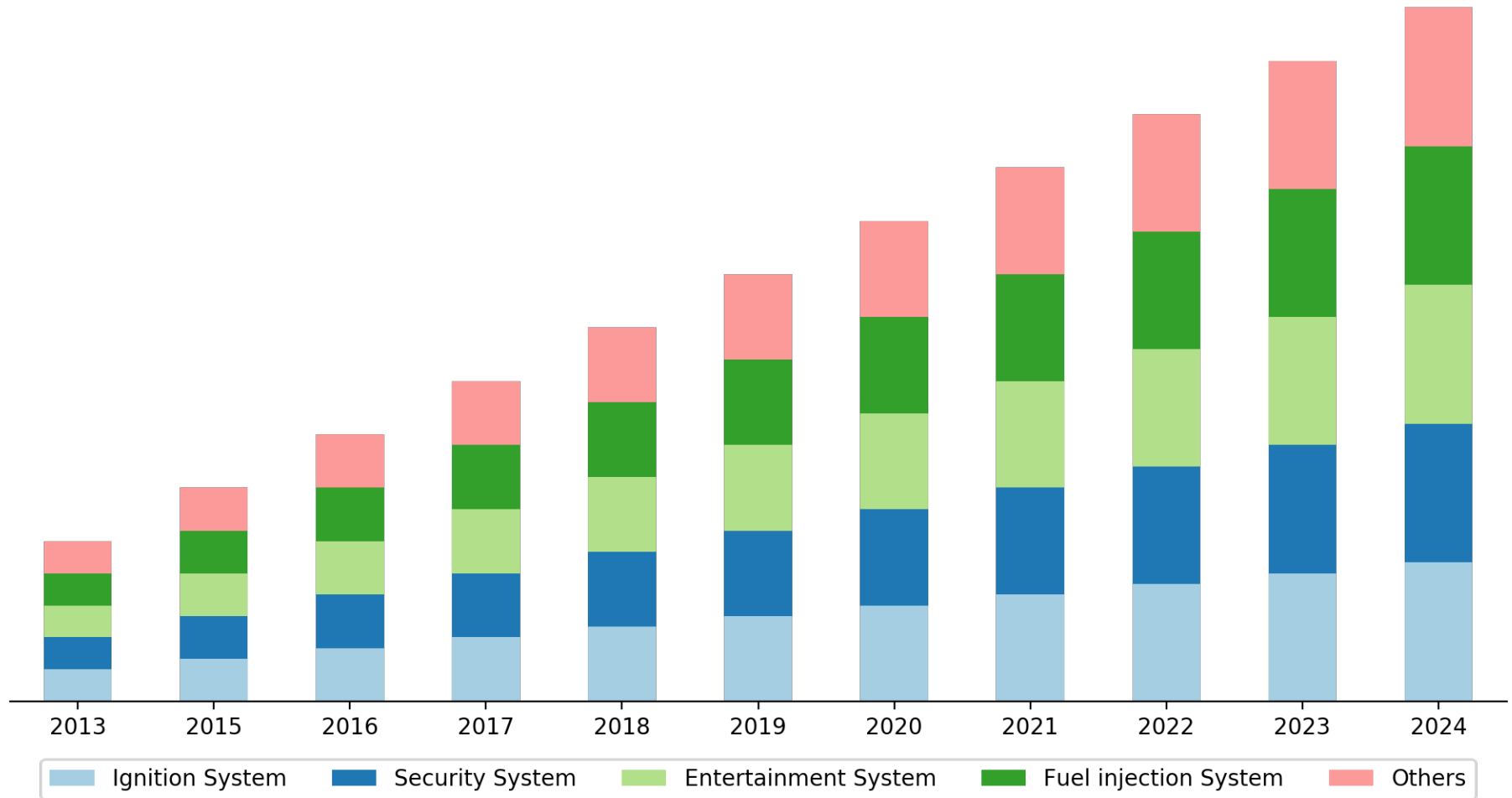
Los SEDs son el futuro

U.S. Embedded System Market, By Application, 2015-2026 (USD Million)



Los SEDs son el futuro

Global Embedded Systems in Automobile market size, by product, 2013-2024 (USD Million)
www.marketintellica.com

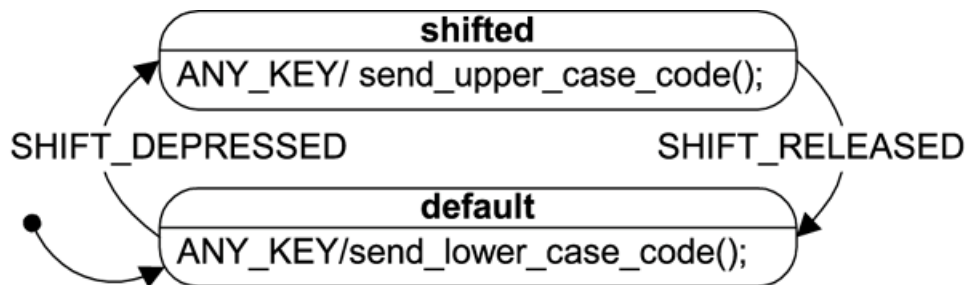


Tipos de SEDs: Time Driven

- ❑ La CPU encuesta los elementos del sistema periódicamente (*polling*)
 - o Es independiente de que haya sucedido algún evento
 - o Los sensores se muestrean cuando la CPU va a realizar algún cálculo
 - o La red almacena y propaga nuevos valores machacando los valores antiguos de las variables, aunque no se hayan usado
 - o La salida en los actuadores se *escribe* periódicamente
- ❑ Motivación
 - o Muchos SEs invocan una función periódicamente
 - El refresco de la pantalla (60-75-100 Hz)
 - La velocidad de un vehículo se mide cada 0.5s
 - o Ciertas tareas tienen una temporización fija
 - La calefacción debe apagarse tras 10'
- ❑ Necesidad de un planificador: cooperativo, preemptivo o híbrido

Tipos de SEDs: Event Driven

- ❑ Los sensores alimentan a la CPU de forma asíncrona
 - o Los valores leídos por los sensores se encolan
 - o La CPU, la red y los actuadores funcionan "on-demand"
 - o Los valores se encolan y se procesan, no se machacan
- ❑ Gestión compleja
 - o Difícil implementar una FSM asíncrona
 - o Posibles mejoras: UML, redes de Petri, Kahn Process Networks (KPN)



Tipos de SEDs: Time Driven vs Event Driven

□ Time Driven

- o Transiciones FSM: periódicamente
- o Los estados deben inferir los eventos
- o Más robustos frente a la pérdida de mensajes
- o Mayor predecibilidad

□ Event Driven

- o Transiciones FSM: cuando sucede el evento
- o Fáciles de entender y diseñar, implementación más compleja
- o Difícil coordinar múltiples eventos en la red (pérdida de mensajes, mensajes OOO)

Componentes de un SED

- ❑ Microcontrolador
- ❑ Microprocesadores
- ❑ I/O:
 - o Sensores
 - o Actuadores
 - o Conversores ADC
- ❑ Red de interconexión
 - o Wired
 - o Wireless
- ❑ Sistema Operativo
 - o Real Time

En detalle en el tema 3 ...

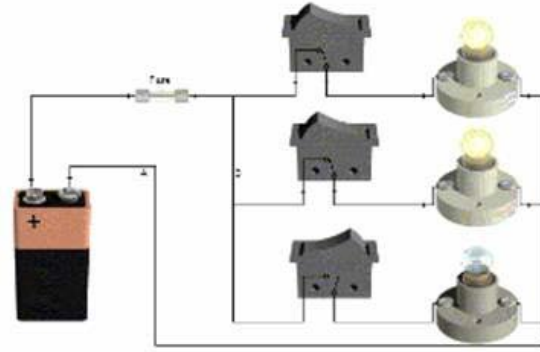
Evolución de los SEDs

❑ Prehistoria

- o Sensor: interruptor
- o Actuador: bombilla

❑ ¿Para qué un computador?

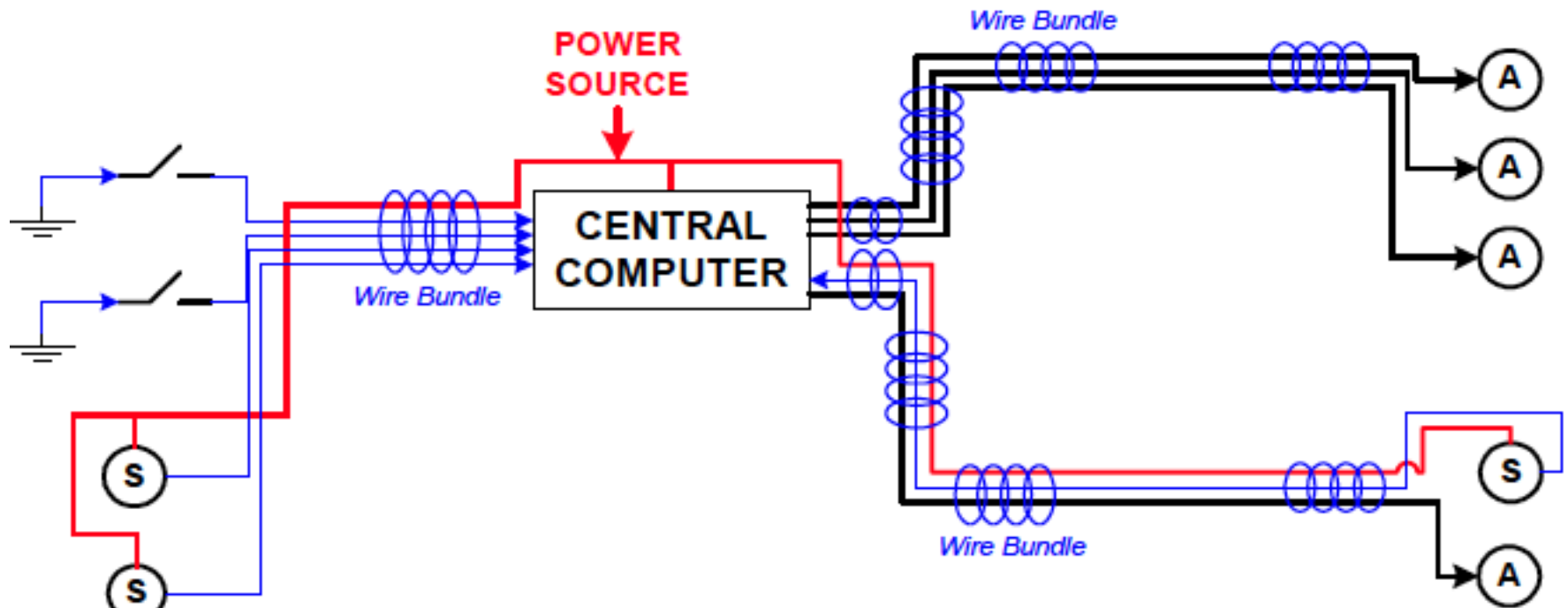
- o Permite optimizar el sistema mucho más y añadir mayor complejidad
- o Permite usar SW para gestionar el HW: timers, contadores, variables condicionales
- o Permite un modo de trabajo conocedor del entorno (*context-aware*) Ej. Apagar la calefacción después de un timeout o si la temperatura es alta



Evolución de los SEDs

❑ Sistema Centralizado

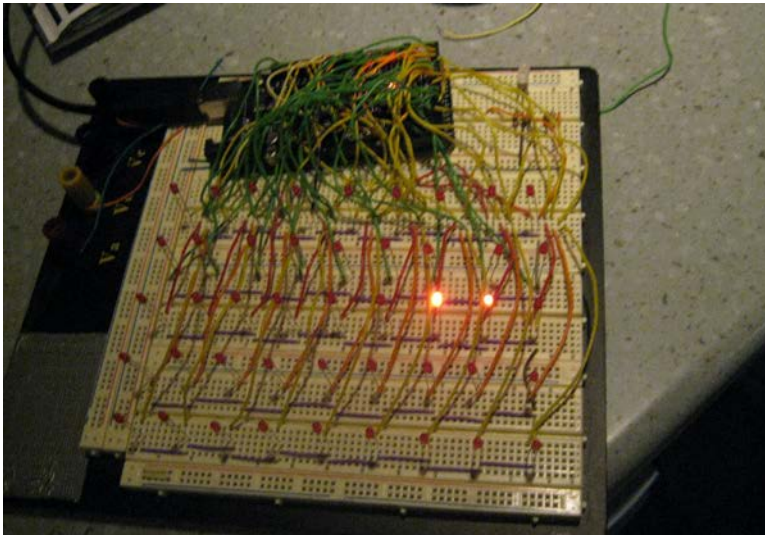
- o Capta las señales de entrada por medio de los sensores
- o Suministra energía a los actuadores (¡Problema!)
- o Tierra común



<http://www.ece.cmu.edu/~ece649/>

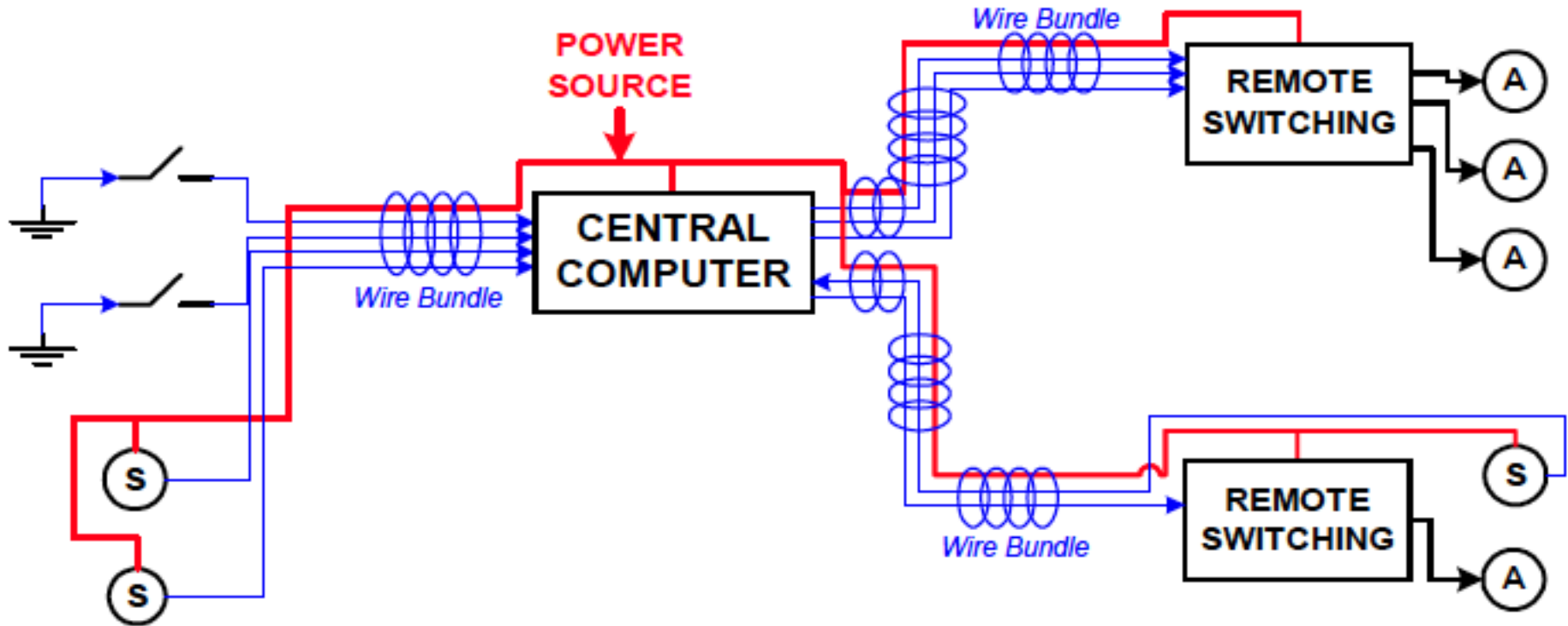
Evolución de los SEDs

- ❑ Fuente de alimentación + Cableado >> Microcontrolador
- ❑ Los actuadores reciben las señales de control y la alimentación
- ❑ Los cables de alimentación ocupan demasiado espacio
 - o Difícil que la alimentación llegue a todos los puntos del sistema
 - o Solución: llevar la alimentación a los actuadores → Distribuir el sistema



Evolución de los SEDs

- ❑ Cada actuador tiene su propia fuente de alimentación
- ❑ Los actuadores solo reciben las señales de control de la CPU
- ❑ Cableado más ligero y robusto ... pero todavía demasiado

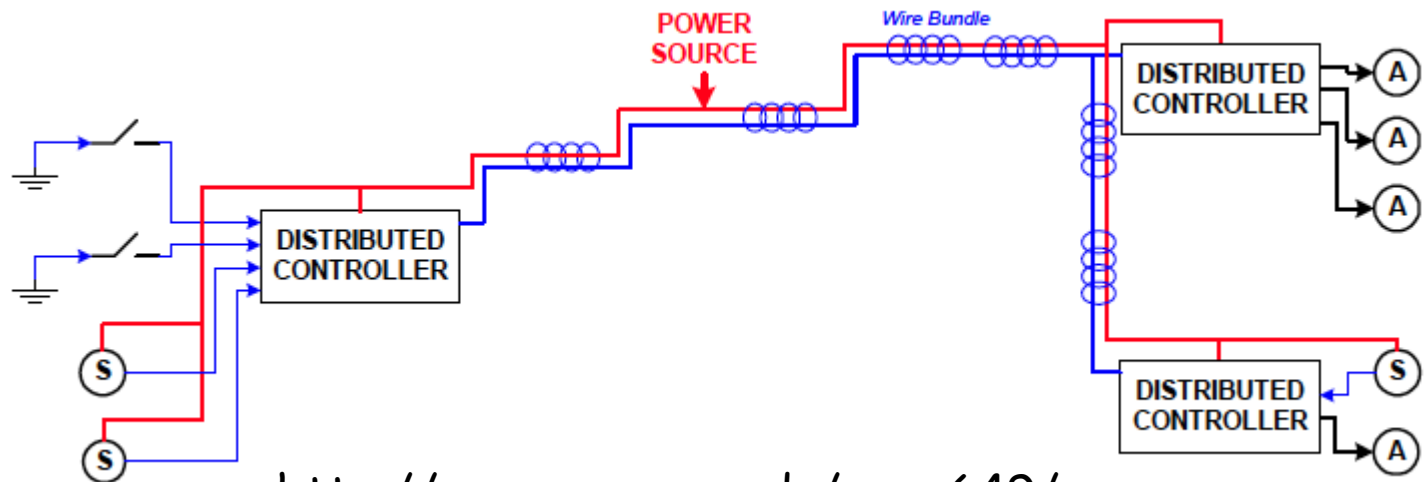


Evolución de los SEDs: más mejoras

- ❑ Sustitución del cableado analógico por una red
 - o Mucho más barato que un cableado punto a punto
- ❑ Sustitución de las señales analógicas de control por señales digitales
 - o Comunicación serie
- ❑ Colocar los sensores cerca de los actuadores
- ❑ Utilización de múltiples CPUs
 - o Si cada par sensor/actuador puede comunicarse a una CPU remota, el coste del cableado se reduce
- ❑ Supresión del computador central (cerebro del sistema)
 - o Cada nodo es independiente
 - Necesidad de transmitir información a otros nodos: mensajes vía SW

Evolución de los SEDs

- ❑ Los SED son la evolución natural de los SE
- ❑ Tradeoff
 - o Multiplexar los cables reduce el coste
 - o Cada nodo necesitará una interfaz de red
 - o CPUs más potentes pueden hacer cálculos más complejos sin enviar el trabajo a una estación central
 - o Escalabilidad, flexibilidad, particionamiento de las tareas



SEs: Centralizado vs Distribuido

Centralizado

- ☐ Facilidad de programación/depuración
- ☐ Facilidad de mantenimiento del SW
- ☐ CPUs potentes
- ☐ Entorno menos agresivo

Distribuido

- ☐ Modularidad y escalabilidad
- ☐ Cada nodo tiene sus recursos
 - o Puede haber recursos infrautilizados
- ☐ Facilidad para desarrollar/depurar/verificar/mantener cada módulo
 - o *Diagnosabilidad*
- ☐ Robusto
- ☐ Reparto de trabajo entre desarrolladores

Ventajas de los SEDs

- ❑ Modularidad
 - o Cada componente puede venir de un fabricante diferente
 - o Cada fabricante puede trabajar con una CPU diferente
- ❑ Flexibilidad
 - o Sustitución de módulos manteniendo la interfaz
- ❑ Escalabilidad
 - o Facilidad de agregar componentes
 - o Desarrollo incremental del sistema
 - Primero funciona con 2-3 componentes, y después con 10-100. Ej. Ascensor

Ventajas de los SEDs

- ❑ Diagnosabilidad
 - o Aislamiento del módulo problemático
 - o Cada controlador puede diagnosticar sus propios sensores y actuadores/conexión a la red
 - Muy difícil con un sistema centralizado
 - o Cada controlador puede chequear los otros controladores → Es fácil determinar qué parte del sistema falla
- ❑ Robustez en la transmisión de los datos
 - o Señales analógicas: ruido
 - o Señales digitales
 - Resistentes al ruido
 - Mecanismos de detección y retransmisión/corrección de errores
 - o Sensores y actuadores digitales: mejor SNR

Ventajas de los SEDs

- ❑ Facilidad de mantenimiento
- ❑ Coste reducido
 - o A mayor complejidad, el coste del sistema centralizado crece más rápido
- ❑ Mayor tolerancia a fallos
 - o Facilidad de detección del módulo erróneo
 - o Es más barato duplicar un módulo crítico que un sistema centralizado
 - o Los nodos se chequean mutuamente