

UNIVERSITATEA „TRANSILVANIA” DIN BRAŞOV
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ
ŞI ŞTIINȚA CALCULATOARELOR

Retele de senzori

Curs 4 - 1st edition



Wireless Sensor Networks (WSN)

network → rețea



sensor → traductor (nu “senzor”)

wireless -> fără fir (comunicație radio; nu există nici un fel de fire de interconectare a dispozitivelor – nici pentru comunicație, nici pentru alimentare cu energie)



Nod de rețea 1



Nod de rețea 2



Nod de rețea 3

Cercetare și interes comercial

- Cercetarea și interesul comercial din domeniul rețelelor de senzori fără fir se dezvoltă destul de puternic, fapt dovedit de următoarele observații:
 - numărul de pagini Web existente (Google: 168000 de noi înregistrări referitoare la rețele de senzori și 74000 referitoare la rețelele de senzori fără fir – septembrie 2006)
 - creșterea continuă a numărului de seminarii anuale, cum ar fi: IPSN (*Information Processing in Sensor Networks*), SenSzs, EWSN (*European Workshop on Wireless Sensor Networks*), WSNA (*Wireless Sensor Networks and Applications*)
 - creșterea numărului de conferințe referitoare la rețelele de senzori folosite în comunicații și a comunităților care se ocupă de cercetarea în domeniul terminalelor mobile (ISIT, ICC, Globecom, INFOCOM, VTC, MobiCom, MobiHoc)
 - creșterea numărului de proiecte de cercetare propuse de către NSF (în domeniul senzorilor și a rețelelor de senzori) și DARPA prin tehnologiile proprii SensIT (*Sensor Information Technology*), NEST (*Networked Embedded Software Technology*), MSET (*Multisensor Exploitation*), UGS (*Unattended Ground Sensors*), NETEX (*Networking in Extreme Environments*), ISP (*Integrated Sensing and Processing*) și prin intermediul programelor de comunicare

Aplicații

▪ *Inginerie*

- *Telematică auto* – autovehiculele de astăzi cuprind sisteme de senzori și elemente de acționare care îmbunătățesc siguranța și eficiența în trafic.
- *Tastaturi virtuale cu senzori de detectia a degetelor* – aceste dispozitive pot înlocui în totalitate tastaturile existente în prezent la calculatoare sau la instrumentele muzicale.
- *Mențenanță în mediile industriale* – Roboții folosiți în mediul industrial pot să cuprindă până la 200 de senzori care de obicei sunt conectați prin fire la un calculator principal. Companiile preferă să înlocuiască firele prin conexiuni fără fir deoarece firele sunt scumpe și se uzează ușor prin mișcările efectuate de roboți. Montând mici bobine în nodurile rețelei de senzori, se beneficiază de principiul inducției pentru a asigura energia de alimentare necesară funcționării fiecărui senzor.
- *Micșorarea rezistenței la înaintare în cazul avioanelor* – Aceasta se poate realiza prin montarea unor elemente de acționare prevăzute cu senzori pe aripile avioanelor.
- *Spații de birouri inteligente* – Spațiile sunt prevăzute cu senzori de lumină, de temperatură și de mișcare, microfoane de activare prin voce, senzori de presiune în scaune. Curenții de aer și temperatura se pot regla pentru fiecare cameră în parte.
- *Supravegherea produselor în cadrul magazilor*
- *Supravegherea pachetelor în cazul companiilor de transport*
- *Studii sociale* – Echiparea persoanelor cu senzori permite realizarea de studii legate de interacțiunea umană și de comportament social.

Aplicații

▪ ***Monitorizarea agriculturii și a mediului***

- *Explorare planetară* – Explorarea și controlul se poate face și în cazul mediilor neospitaliere, cum ar fi zonele geografice aflate la distanță sau mediile toxice.
- *Monitorizare geofizică* – Detectarea activității seismice se poate realiza cu o precizie mult mai bună folosind o rețea de traductoare echipate cu senzori de măsurare a accelerării.
- *Monitorizarea calității apei* – Domeniul hidrochimiei are o nevoie acută de rețele de senzori datorită complexității spațio-temporale a parametrilor chimici, hidrologici și ecologici, și datorită dificultății prelevării probelor de laborator, în mod special în cazul locațiilor aflate la distanță sau a condițiilor nefavorabile.
- *Zebranet* – Proiectul Zebranet permite monitorizarea deplasării zebrelor în Africa.
- *Monitorizarea mediului înconjurător* – cercetătorii de la UC Berkeley și colegiul Atlanticului au amplasat o rețea de senzori fără fir în insula Grat Duck pentru a măsura umiditatea, presiunea, temperatura, radiația infraroșie și radiația solară.
- *Detectia dezastrelor* – Incendiile de pădure și inundațiile pot fi detectate din timp și cauzele pot fi determinate în mod precis folosind o rețea densă de senzori fără fir.

Aplicații

▪ **Inginerie civilă**

- *Monitorizarea structurilor* – Senzorii pot fi plasați pe poduri pentru detectarea slăbirii structurii și în rezervoarele de apă pentru detectarea unor posibile substanțe toxice. Comportamentul clădirilor în fața vântului sau în cazul cutremurelor poate fi studiat, astfel putându-se monitoriza îmbătrânirea materialelor.
- *Realizarea planurilor urbane* – Realizatorii de planuri urbanistice pot verifica nivelul de dioxid de carbon din oraș astfel încât să ia decizii cât mai bune în ceea ce privește folosirea terenului.
- *Recuperare în urma dezastrelor* – Clădirile demolate în urma unui cutremur pot fi împânzite cu roboți prevăzuți cu senzori în vederea detectării unor eventuale semne de viață.

▪ **Aplicații militare**

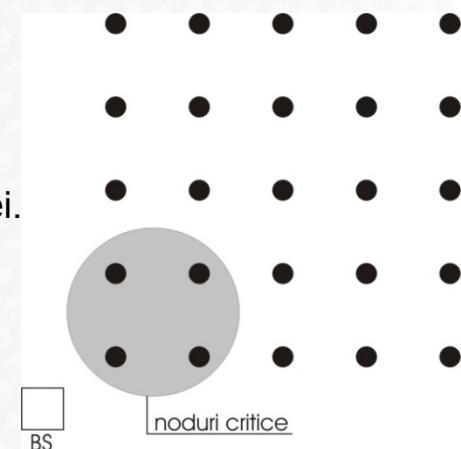
- *Monitorizarea și managementul resurselor* - Comandanții pot monitoriza starea și locația trupelor, a armelor și a proviziilor pentru a îmbunătăți modul în care se trimit comenziile militare, controlul și comunicațiile.
- *Supravegherea și monitorizarea spațiului de luptă* – Senzorii de vibrații și cei magnetici pot detecta mișcarea de trupe sau vehicule.
- *Ostilități urbane* – Clădirile eliberate sunt „presărate” cu senzori pentru a preveni reocuparea.
- *Protecție* – Stațiile atomice, podurile, conductele de gaz și ulei, turnurile de comunicații și cartierele militare pot fi protejate prin intermediul unei rețele de senzori, de avertizare, care au capacitatea de a detecta diferite tipuri de intruși.

Aplicații

- ***Monitorizarea stării de sănătate și a operațiilor medicale***
- *Examinare medicală* – Informații precum temperatura corpului, presiunea săngelui, pulsul sunt măsurate și transmise la un calculator sau la un anumit medic pentru a se putea monitoriza starea de sănătate. Bandajele cu senzori pot detecta o eventuală infecție. Mici senzori injectați în fluxul de sânge, alimentați de un câmp electromagnetic exterior, pot monitoriza în mod continuu săngele pentru a preveni coagularea și tromobozele.
- *Micro-operații* – Un grup de roboți MEMS pot colabora pentru a efectua o micro-operație.

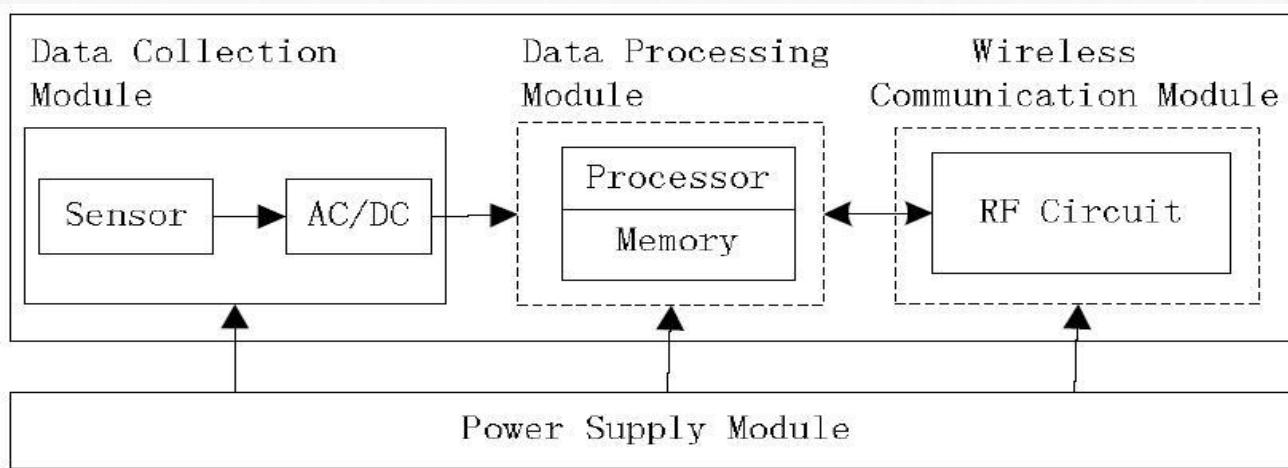
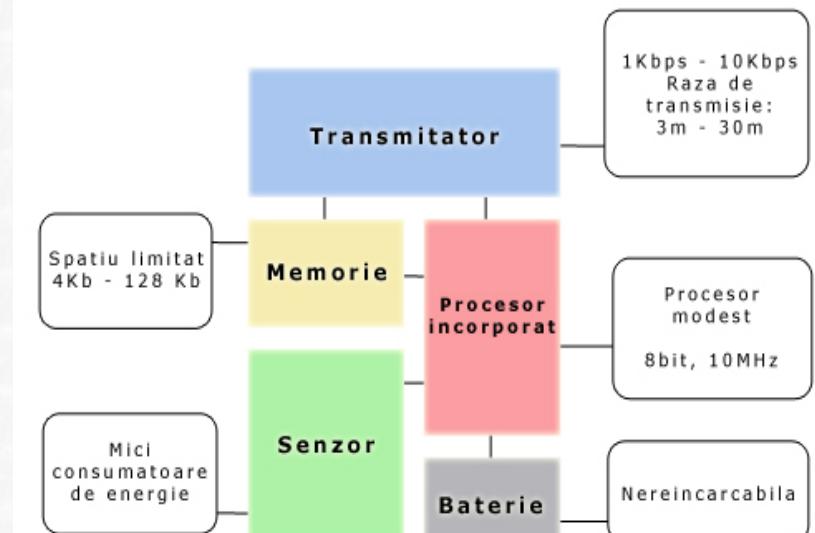
Mărimi de performanță - WSN

- *Durata de viață / consumul eficient de energie* – Senzorii folosesc energia înmagazinată în interiorul unor acumulatori neîncărcabili. Această energie trebuie folosită în mod corespunzător, de ea depinzând durata de viață a rețelei.
- *Latență* – Majoritatea aplicațiilor solicită o anumită valoare de întârziere care să nu fie depășită. Protocolele folosite trebuie să asigure că datele măsurate vor ajunge la utilizatori într-o anumită perioadă de timp.
- *Precizie* – Obținerea unor date cât mai precise este principalul obiectiv; precizia poate fi îmbunătățită prin determinarea și evaluarea punctelor de întâlnire.
- *Toleranța la defecte* – Poate fi atinsă prin redundanță și prin procesare și comunicare în grup.
- *Scalabilitate* – Deoarece o rețea de senzori fără fir poate conține mii de noduri, scalabilitatea este un factor important care garantează faptul că performanțele rețelei nu scad odată cu mărirea numărului de noduri.
- *Capacitate de transport* – Deoarece majoritatea senzorilor au sarcina de a trimite informațiile înregistrate la o singură stație principală, există o zonă critică în rețeaua de senzori. Nodurile aflate în zona hașurată trebuie să transmită mai departe informațiile transmise de toate celelalte noduri ale rețelei. De aceea traficul din această zonă este încărcat, chiar și atunci când rata medie de transfer este scăzută. În mod evident această zonă are o influență enormă asupra duratei de viață a sistemului, a întârzierilor care apar în transmiterea pachetelor și asupra scalabilității.

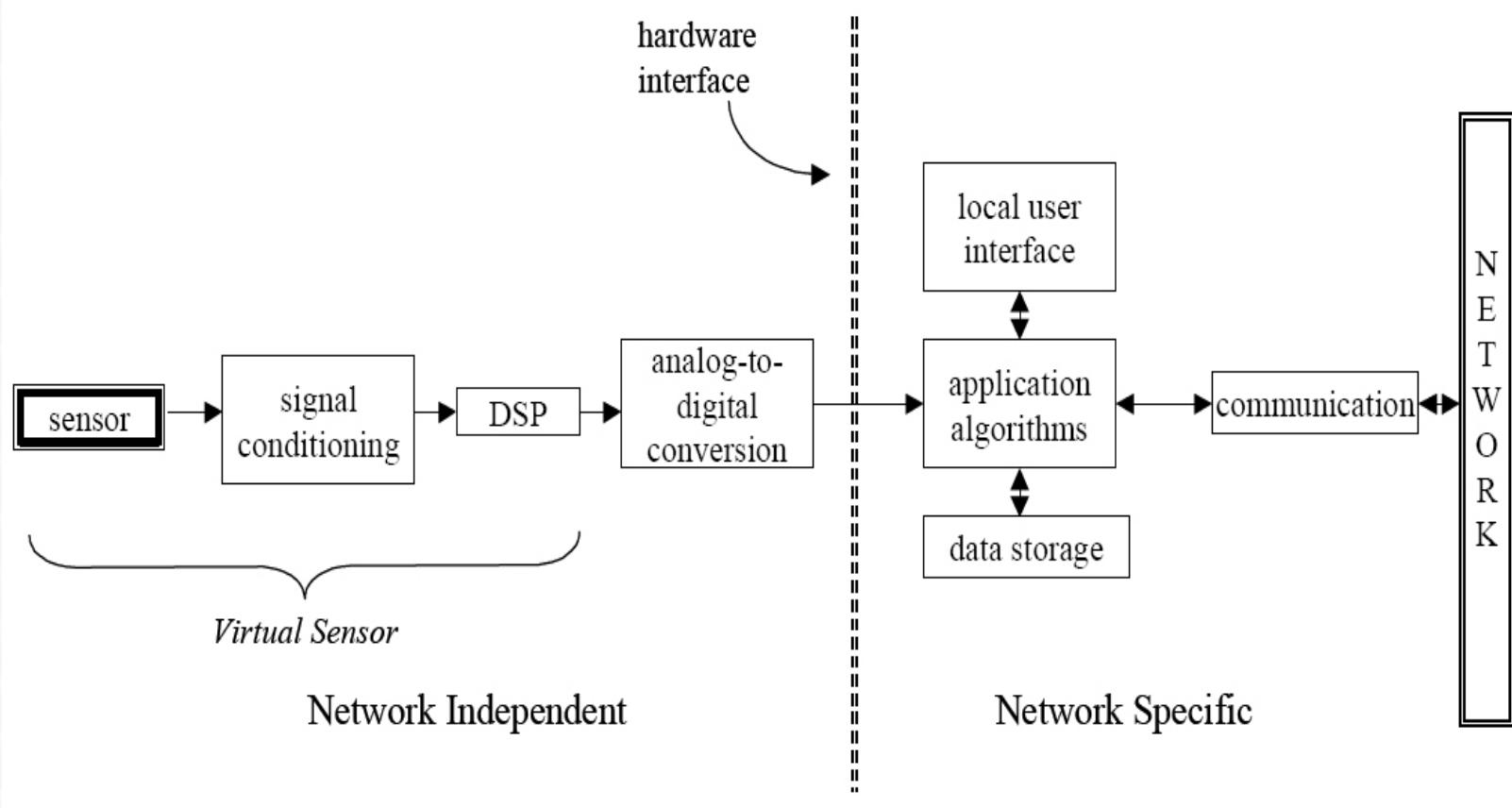


Nod de rețea - arhitectură

- *modul de achiziție*
 - senzori
- *modul de procesare*
 - procesor, memorie
- *modul de comunicație*
 - transmițător - receptor
- *modul de alimentare cu energie*
 - baterie



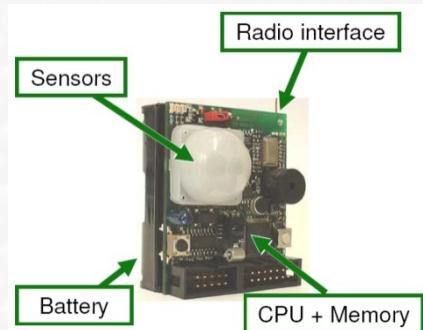
Nod de rețea – model general



Nod de rețea – caracteristici

- dimensiune fizică redusă
- modular → ușor reconfigurabil
- consum redus de energie (influențează durata de viață/funcționare a dispozitivului și a întregii rețele de monitorizare)
- aria de acoperire a semnalului radio cât mai mare. Trebuie făcut un compromis referitor la consumul de energie.
 - Modulul de comunicație radio este cel mai mare consumator de energie. Distanța de comunicație este proporțională cu energia necesară comunicației.
- costuri minime de implementare și menenanță (de regulă ar trebui schimbată sursa de energie la un interval de câțiva ani)
- securitatea informațiilor

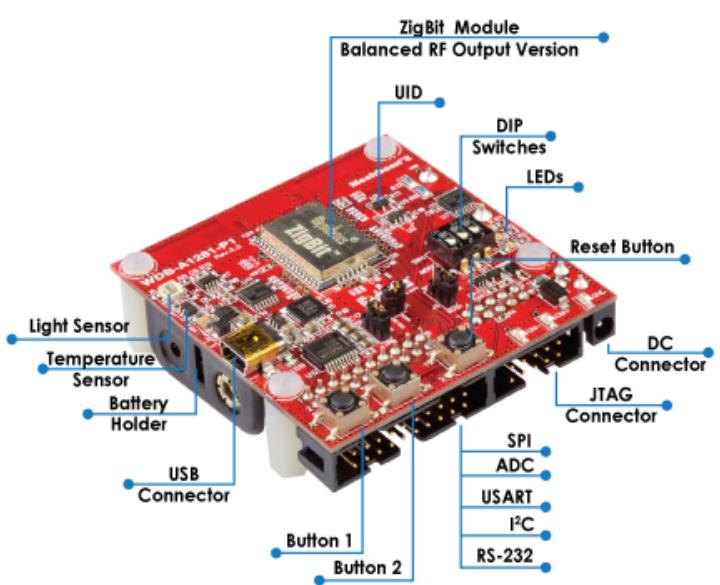
Nod de rețea - exemplu



ScatterWeb



BTNode



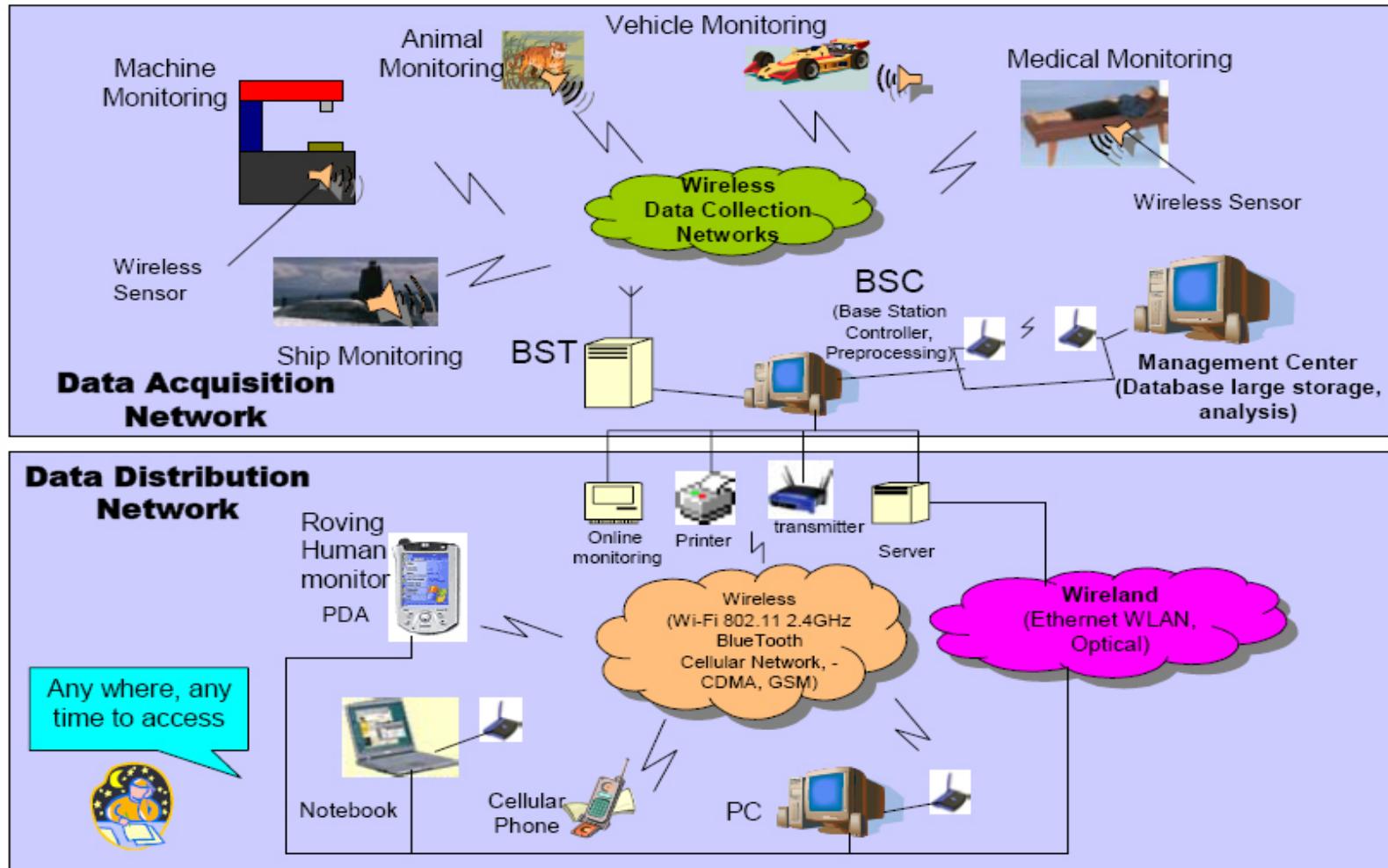
← MeshBean



MICAz

Componentele funcționale ale unei rețele WSN

- achiziție + distribuție



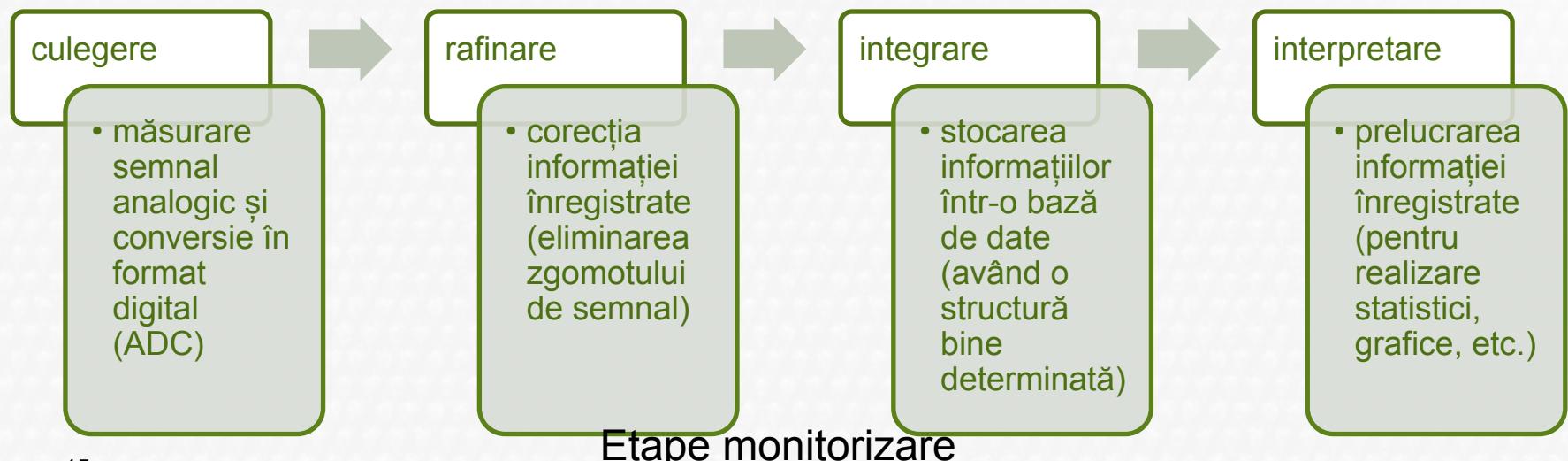
Sistem de monitorizare și control



Monitorizare

- Un proces de monitorizare este format din 4 etape distincte:

- *culegerea datelor*: implică preluarea semnalelor de la senzori și conversia acestora în format digital și transmisia acestora către nodul de procesare sau stocare;
- *rafinarea datelor*: presupune curățarea datelor de eventuale semnale de zgomot și separarea acestora în pachete;
- *integrarea datelor*: agregarea, corelarea, adnotarea și creare de legături între date;
- *interpretarea datelor*: detectarea de evenimente, recunoaștere contextului și modelare .



Comunicație wireless

- WiFi
 - consum ridicat de energie
- Bluetooth
 - *consum ridicat de energie*
 - *distanță mică de comunicație*
- Zigbee
 - dedicat rețelelor WSN
 - consum redus de energie
 - 2.4GHz
 - IEEE 802.15.4
- DASH7
 - incomplet definit pentru a fi implementat în cadrul rețelelor WSN
 - consum redus de energie
 - 433MHz (mult mai avantajoasă această frecvență față de 2.4GHz)
 - ISO 18000-7



Avantajele comunicației wireless

- *eliminarea cablurilor* (care pot crea discomfort în anumite situații) + reducerea costurilor prin eliminarea acestora;
- *izolație galvanică*;
- *acces de la distanță* (în limita domeniului de comunicație al componentei de emisie/recepție);
- *mobilitate crescută* = posibilitatea de a modifica cu ușurință poziția nodurilor de rețea;
- *instalare rapidă*;
- *acces în medii cu risc ridicat* (ex. spații comtaminante cu agenți chimici);
- *interconexiuni multiple și dinamice* între nodurile de rețea;
- *influența asupra corpului uman nedeterminată*.

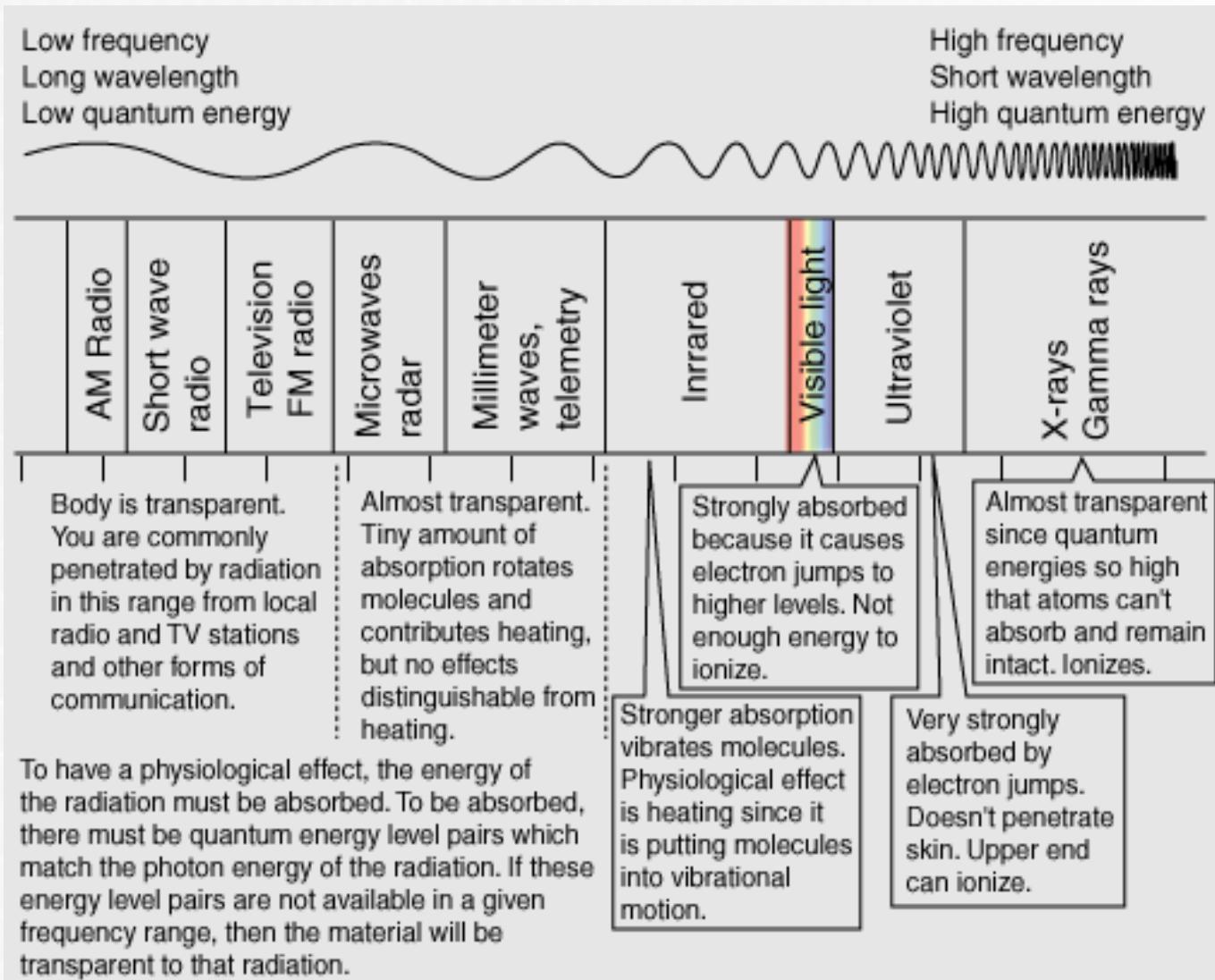


monitorizare de la distanță a unui pacient aflat la domiciliu



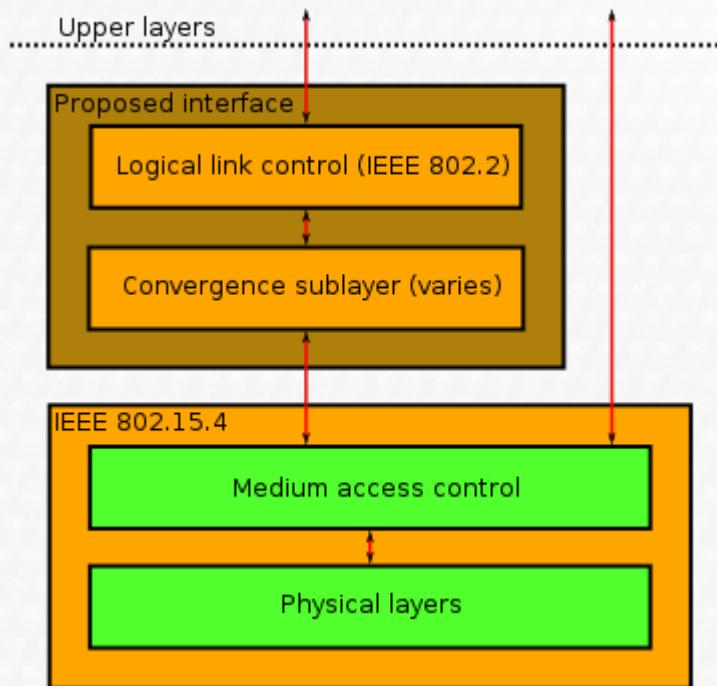
Influența radiației electromagnetice

▪ asupra corpului uman



Standardul IEEE 802.15.4

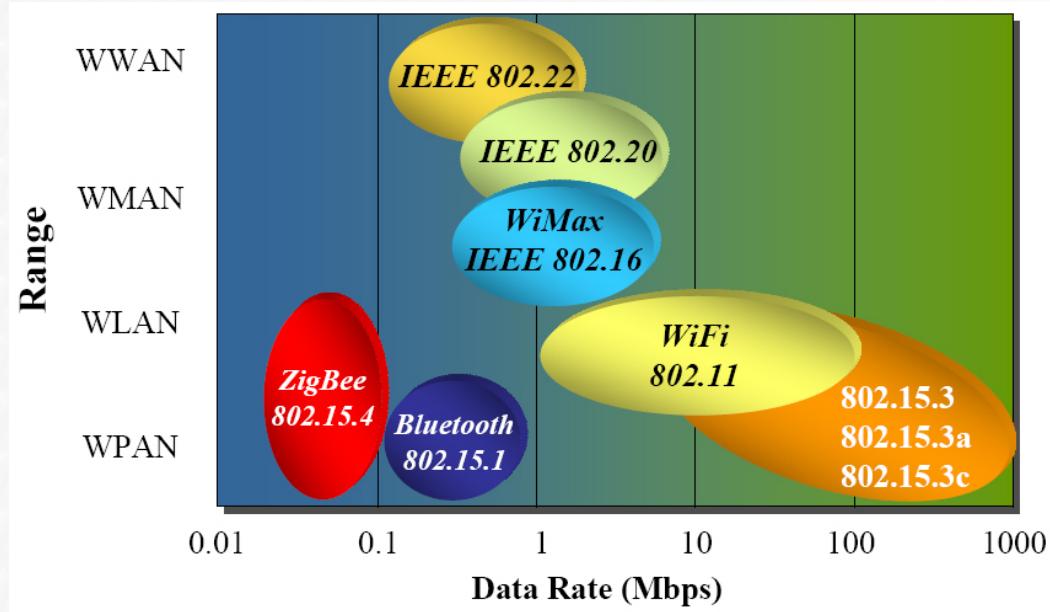
- Standardul IEEE 802.15.4 a fost adoptat pentru a stabili specificații cu privire la nivelul fizic și nivelul de control al accesului la mediu (*MAC – Medium Access Control*) în cadrul rețelelor wireless de mică putere. Acesta a fost definit de către Institutul de Inginerie Electrică și Electronică în scopul folosirii în cadrul rețelelor wireless personale cu rate mici de transfer a datelor. Acest standard este menținut de grupul IEEE 802.15.



ZigBee

- a fost definit pe baza standardului IEEE 802.15.4
- transmite o cantitate mică de informație pe distanță scurtă
- unul dintre cele mai importante avantaje ale acestuia îl reprezintă consumul redus de energie → ceea ce este de apreciat atunci când avem dispozitive alimentate cu energie de la baterii (majoritatea dintre ele fiind nereîncărcabile)

- asigurarea unui consum redus de energie prelungescă durata de viață (funcționare) a dispozitivului

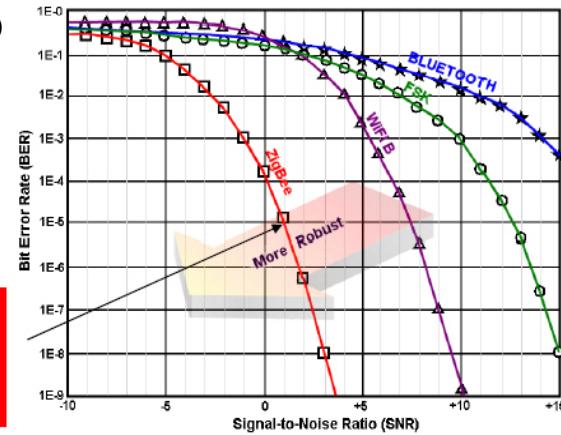


ZigBee

- 3 benzi de frecvență, disponibil în diferite zone de pe glob
- nivel redus de zgomot al semnalului radio

*Termenul ZigBee provine de la tehnica albinelor de a comunica atunci când acestea descoperă noi surse de hrana. Acest sistem silentios și puternic de comunicație este cunoscut sub denumirea de **principiu ZigBee**. Zburând într-un stil zig-zag, albina este capabilă să comunice, celorlalți membri ai stupului, informații esențiale, precum locația, distanța și direcția noii surse de hrana descoperită.*

ZigBee technology relies upon IEEE 802.15.4, which has excellent performance in low SNR environments



Frequency Band	License Required?	Geographic Region	Data Rate	Channel Number(s)
868.3 MHz	No	Europe	20kbps	0
902-928 MHz	No	Americas	40kbps	1-10
2405-2480 MHz	No	Worldwide	250kbps	11-26

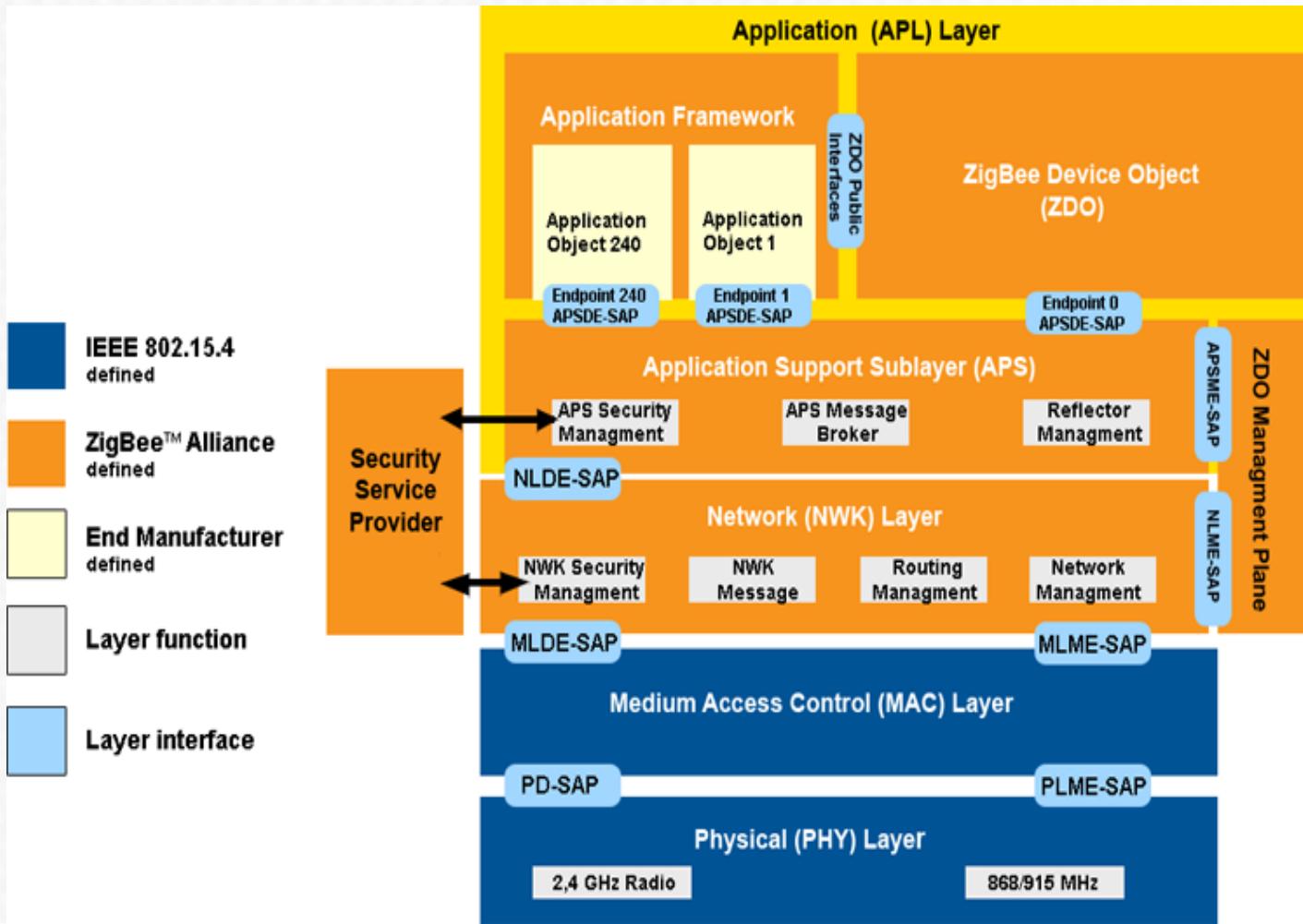
ZigBee – utilizare în aplicații

- Protocolul ZigBee este potrivit pentru o gamă variată de aplicații de genul automatizărilor, din domeniul industrial, medical sau de monitorizare și control rezidențial.
 - controlul iluminării;
 - citirea automată a măsurătorilor;
 - detectare wireless de fum și CO;
 - controlul HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning);
 - controlul încălzirii;
 - controlul locuinței (senzori de securitate, detectori de mișcare, senzori de inundație, senzori de zgomot, etc.);
 - controlul parametrilor de mediu;
 - monitorizare medicală;
 - automatizare industrială și rezidențială;
 - managementul produselor.



ZigBee – arhitectura

- asemănătoare modelului OSI (Open Systems Interconnection model)



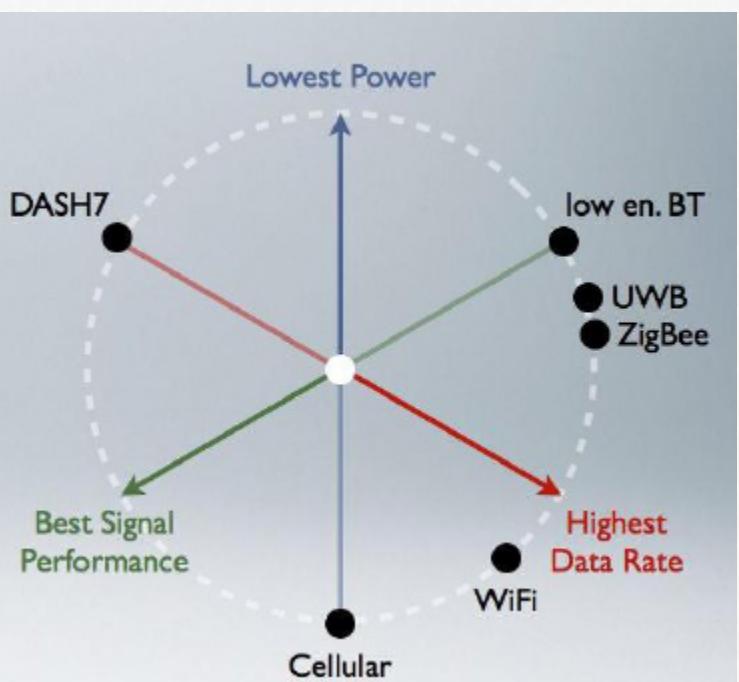
ZigBee

- comparație cu alte protocoale de comunicație

	IEEE 802.11b/g/a	Bluetooth	ZigBee
Aplicații	Web, email, multimedia	Înlocuiește cablurile existente fizic	Monitorizare și control
Dimensiunea stivei	>1000kB	>250kB	<64kB
Durata de funcționare	Ore	Zile	Ani
Complexitate	Foarte complex	Complex	Simplu
Număr noduri	Foarte mare (IP)	7	65536 (local) ... până la 2^{64}
Latență	Enumerarea nodurilor se face în maxim 3 secunde	Enumerarea nodurilor se face în maxim 10 secunde	Enumerarea nodurilor se face în aproximativ 30 secunde
Arie de acoperire	100 m	10 m	70 m – 300 m
Scalabilitate	Da	Nu	Da
Rată de transfer	11-54 Mbps (până la maxim 108)	1Mbps	până la 250Kbps
Cost	50 euro	10 euro	2 euro
Securitate	Service de autentificare (SSID)	64 biți, 128 biți	128 biți AES și prin definirea layer-ului de aplicație de către utilizator

ZigBee

- comparație cu protocolul DASH7



Tehnologie	DASH7	ZigBee
Standard global utilizat	ISO/IEC 18000-7	IEEE 802.15.4
Frecvență utilizată	433MHz	2.4GHz, 915MHz, 868MHz
Frecvență global disponibilă?	DA	2.4GHz - DA, 915MHz - NU, 868MHz - NU
Penetreză apă	DA	NU
Penetreză beton	DA	NU
Arie de acoperire	1000m	30-500m
Putere medie necesară	30-60µW	125-400µW
Latență medie	2.5-5 sec	de la câteva secunde până la minute
Costul dispozitivului	> 10\$	> 10\$
Capabilitate multi-hop	DA	DA
Suport senzori	DA	DA
Suport securitate	DA	DA
Rată maximă de transfer	28 kbps	250 kbps

Rețea WSN

- O rețea wireless, care implementează protocolul ZigBee, poate fi configurată pentru diferite tipuri de trafic a informației:
 - *periodic*, în cazul sistemelor care realizează măsurători și care funcționează după un anumit ciclu: activare programată + trimiterea informațiilor înregistrate + dezactivare;
 - *intermitent*, în cazul sistemelor care necesită transmisia informațiilor doar în anumite situații;
 - *repetitiv (latență redusă)*, în cazul sistemelor care necesită transmisia continuă a informației înregistrate.

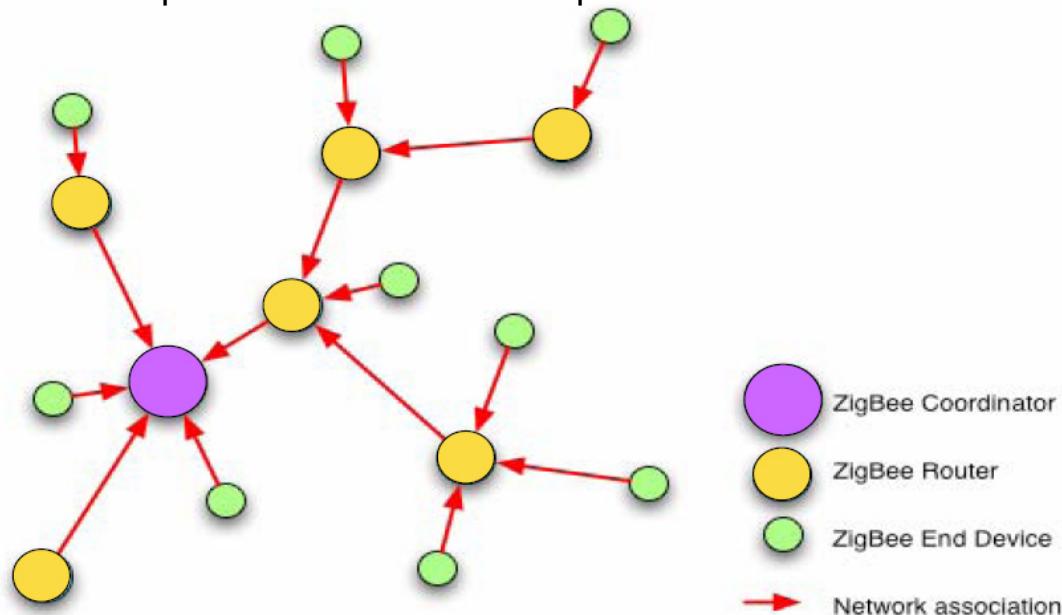
Tipuri de dispozitive de rețea

- Standardul definește 2 tipuri de noduri de rețea. Primul tip se numește *dispozitiv cu funcții depline (full-functional device - FFD)*. Poate fi setat ca și nod coordonator sau ca nod obișnuit de rețea. Implementează un model general de comunicație, ceea ce-l permite să comunice cu orice alt nod de rețea. Celalt tip de nod de rețea se numește *dispozitiv cu funcții reduse (reduced-functions devices - RFD)*. Este reprezentat de dispozitive simple cu cerințe modeste de resurse și comunicație. Pot comunica doar cu noduri de tip FFD și nu pot fi setate ca și noduri coordonatoare. O rețea wireless bazată pe standardul IEEE 802.15.4 necesită cel puțin un dispozitiv FFD care să joace rolul de nod coordonator al rețelei. Diferențele dintre cele două versiuni de dispozitive sunt prezentate în tabelul următor.

RFD (Reduced Function Device)	FFD (Full Function Device)
limitat la topologia de tip stea	poate funcționa în orice tip de topologie
nu poate fi nod coordonator	poate fi nod coordonator al rețelei
comunică doar cu nodul coordonator	poate fi coordonator
implementare simplă – minim RAM și ROM	poate comunica cu oricare alt dispozitiv (FFD/RFD)
de regulă alimentat de la un acumulator	alimentat de la o linie de tensiune

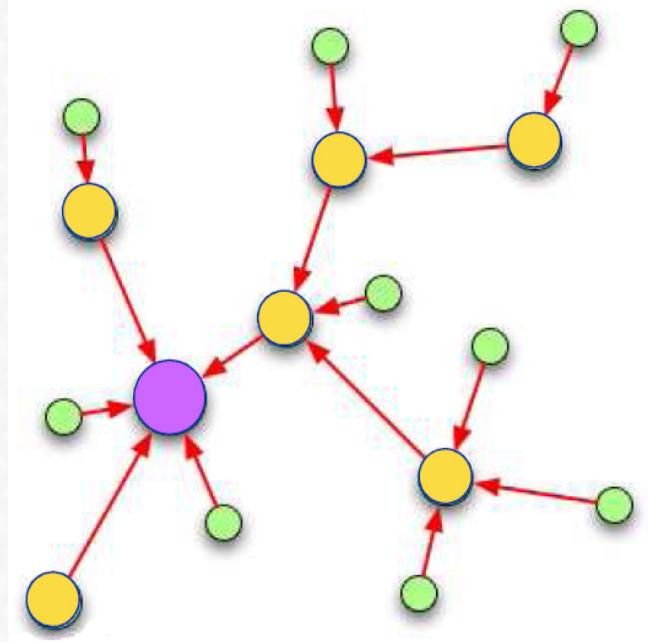
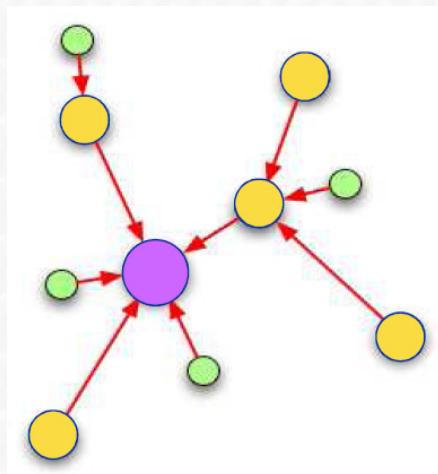
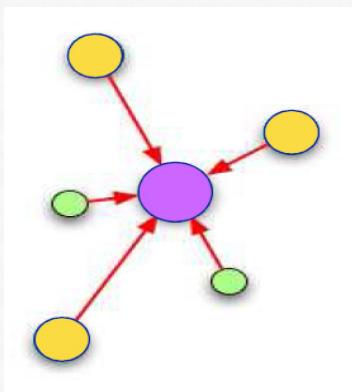
Tipuri logice de dispozitive de rețea

- Conform cu specificațiile nivelului MAC care definește 3 tipuri de dispozitive, ZigBee definește următoarele tipuri logice de dispozitive de rețea:
 - Coordonator ZigBee (Coordonator de rețea MAC)* – stochează informații despre rețea, fiind cel mai sofisticat nod dintre toate cele 3 tipuri existente. Deține cea mai mare cantitate de memorie și putere de calcul.
 - Router ZigBee (Dispozitiv MAC ce implementează toate funcționalitățile)* – include toate funcționalitățile standardului 802.15.4.
 - Dispozitiv Terminal ZigBee (Dispozitiv MAC cu funcții reduse)* – include un set limitat de funcții ale standardului 802.15.4. La acest dispozitiv se conectează dispozitivele fizice de măsurare auxiliare.
- Nodul coordonator realizează inițializarea rețelei.



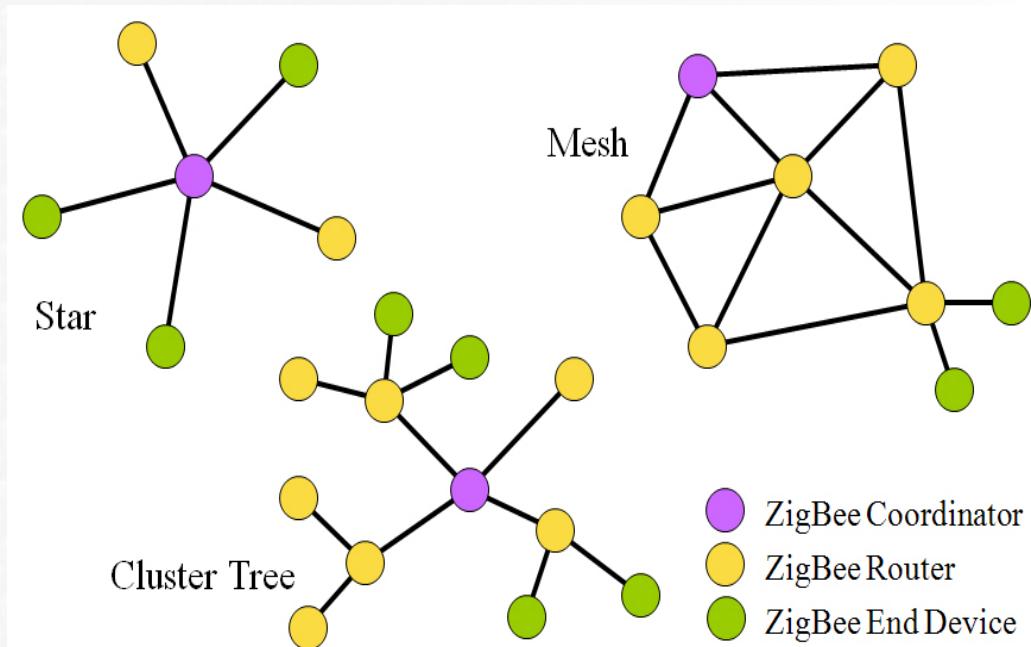
Tipuri logice de dispozitive de rețea

- nodul coordonator realizează inițializarea rețelei.
- un nod nou se poate atașa doar la un nod deja atașat la rețea.
- fiecărui nod (dispozitiv) de rețea i se asociază un număr unic de identificare

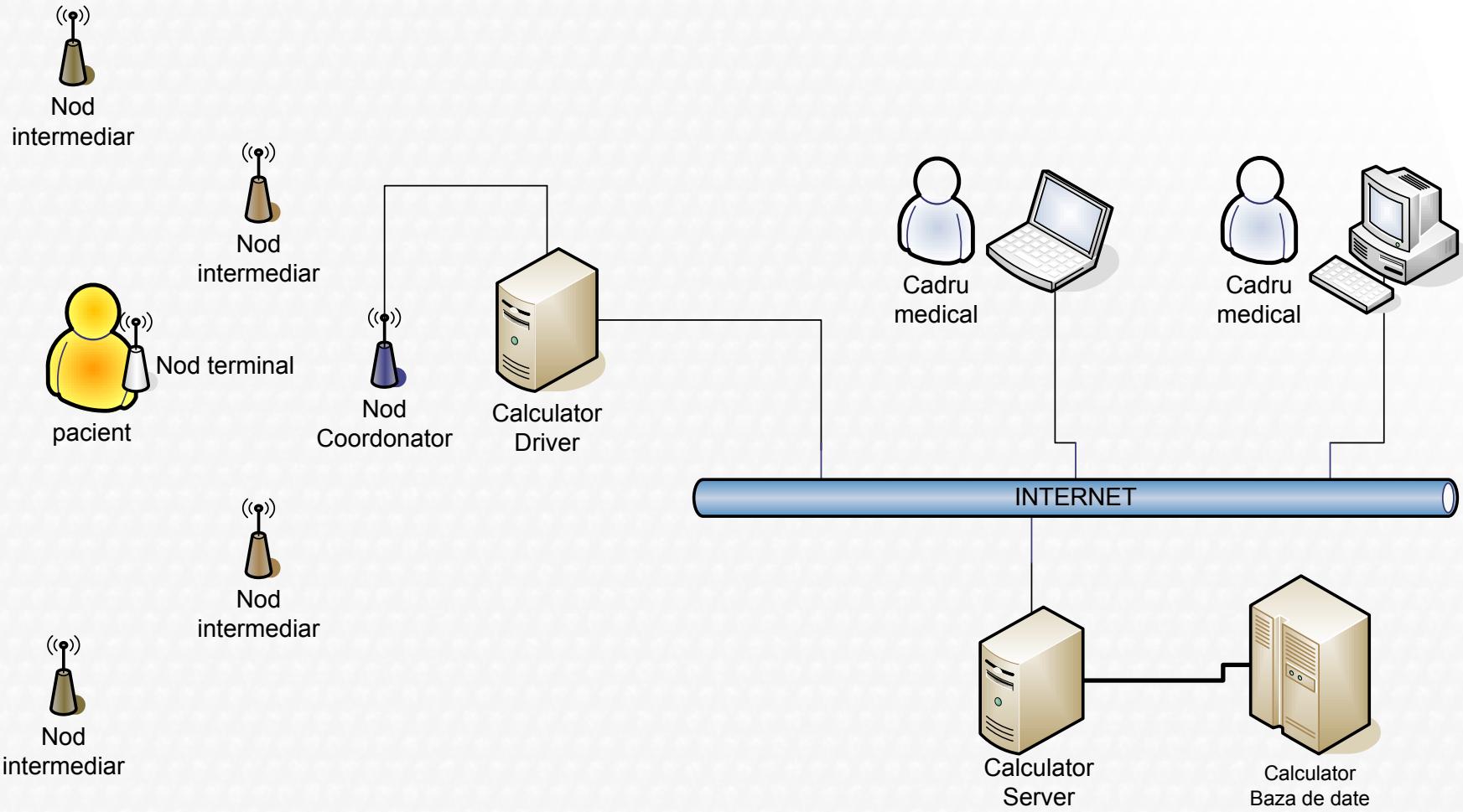


Topologii de rețea

- stea (*star*), *mesh* și *arborescentă* (*cluster tree*)
- rețelele de tip stea sunt cele mai utilizate fiind caracterizate de durată lungă de viață a sistemului.
- rețelele de tip mesh (punct la punct) sunt caracterizate printr-un grad ridicat de siguranță în funcționare și scalabilitate. În cadrul acestui tip de rețele se asigură mai mult de o singură cale între oricare două noduri ale rețelei. Dacă una dintre legăturile wireless a fost întreruptă se poate utiliza una dintre celelalte legături disponibile. Rețelele de tip arbore utilizează o topologie hibridă, o combinație între tipul stea și mesh, beneficiind astfel de avantajele amândouă

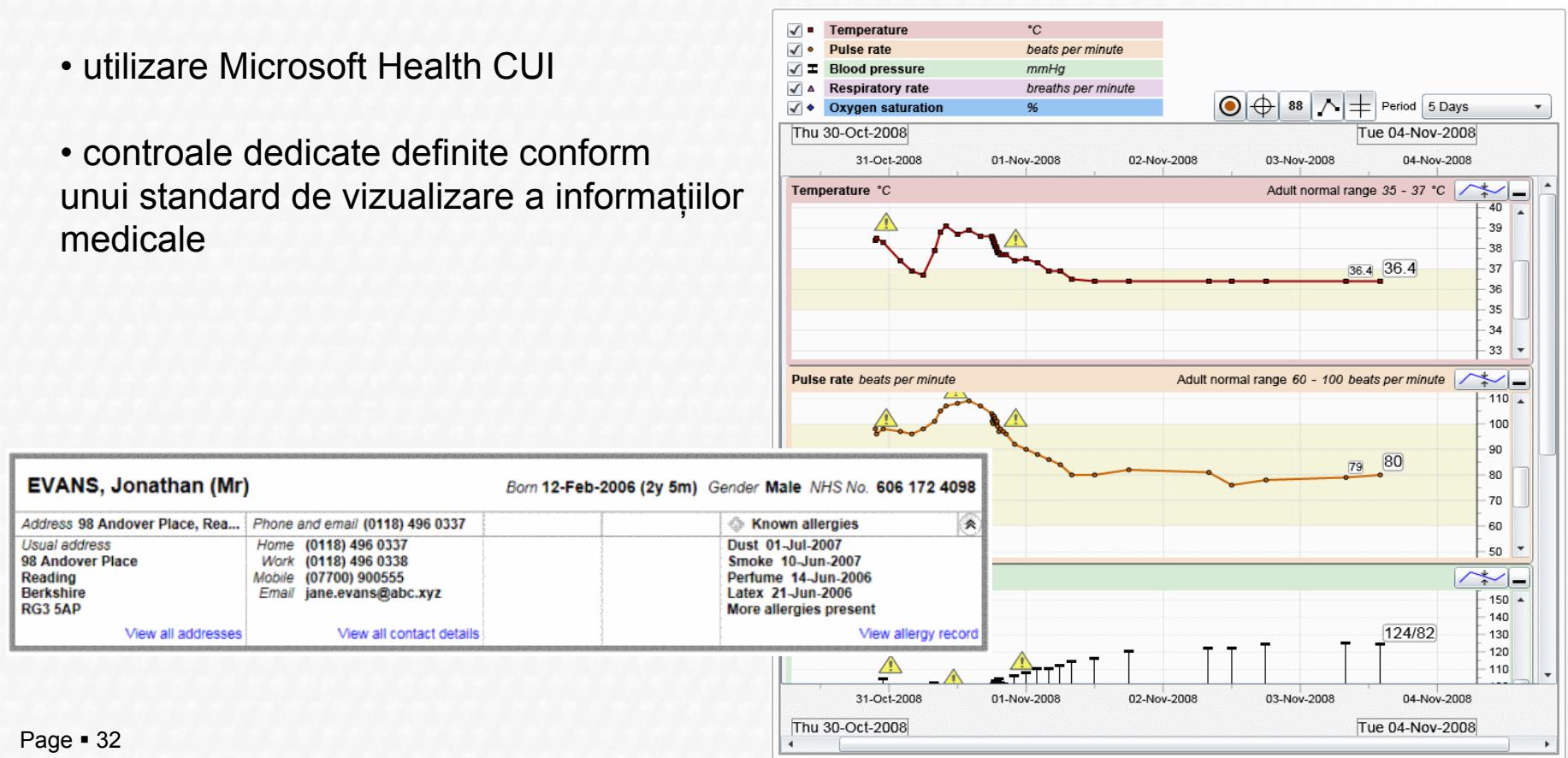


Exemplu - rețea de monitorizare pacienți

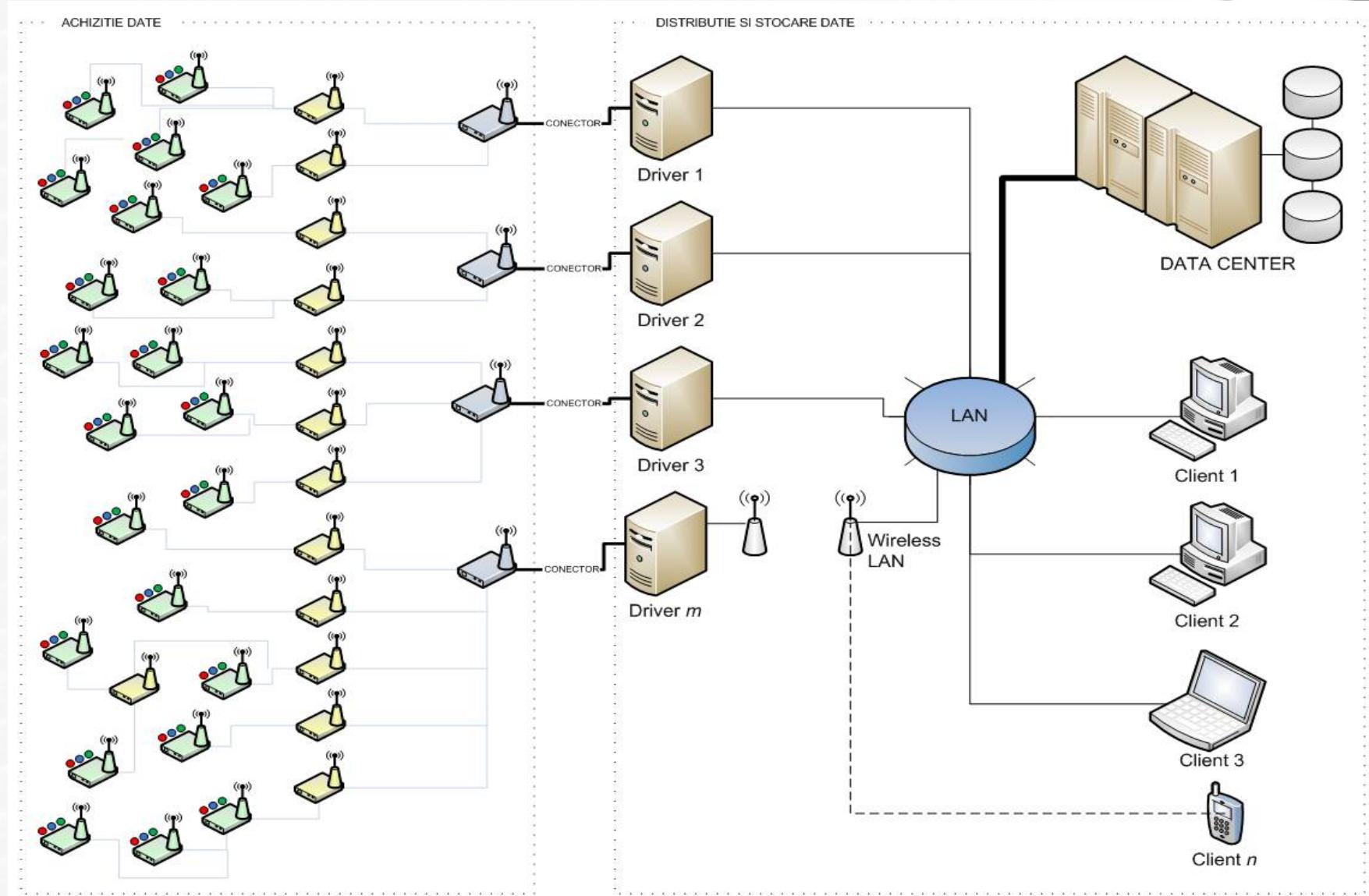


Exemplu - rețea de monitorizare pacienți

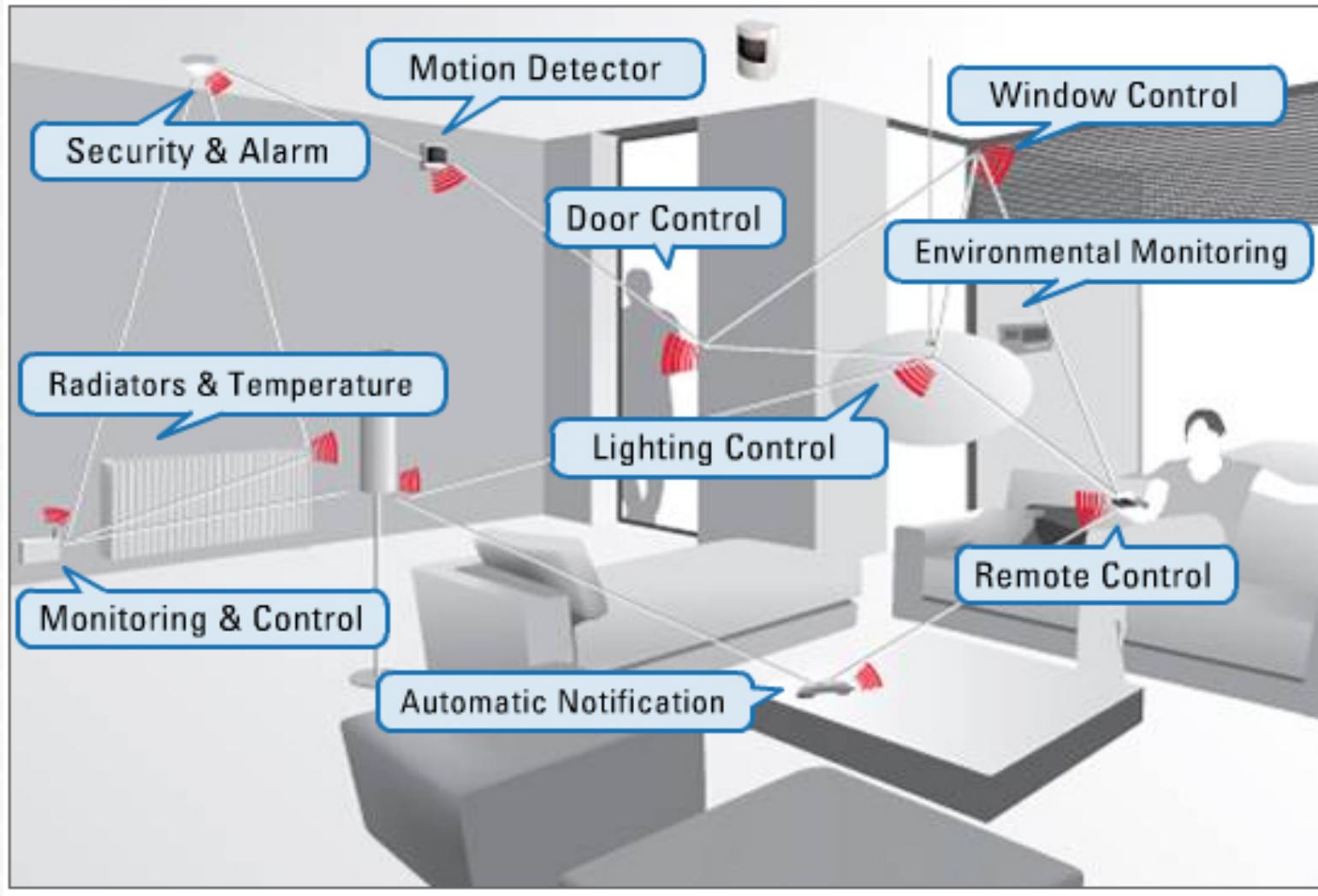
- utilizare Microsoft Health CUI
- controale dedicate definite conform unui standard de vizualizare a informațiilor medicale



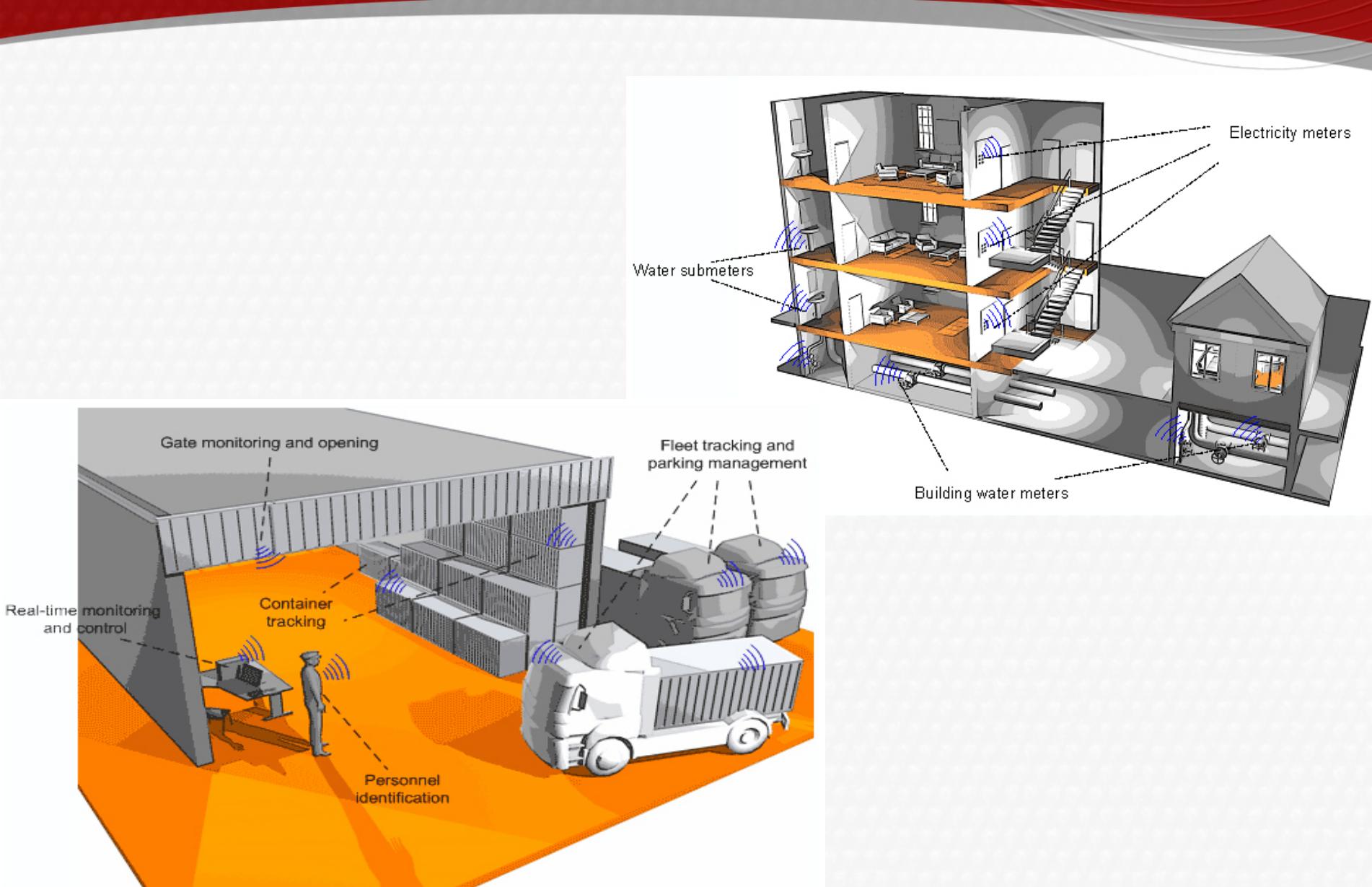
Exemplu - rețea de mari dimensiuni



Exemplu – monitorizarea și controlul unei locuințe



Exemplu – monitorizare și control



Exemplu – monitorizare și control

