



Introduzione alle reti wireless
Reti Avanzate, a.a. 2012/2013
Un. of Rome "La Sapienza"

Chiara Petrioli[†]

[†] *Department of Computer Science – University of Rome "Sapienza" – Italy*



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



***Tecniche per il risparmio energetico
nella trasmissione***





- I dispositivi portatili hanno bisogno di sorgenti esterne di energia (batterie, celle solari) per poter operare
- Il tempo di vita delle batterie rimane limitato.
- Aumentano le richieste di energia dei dispositivi portatili (e le aspettative di autonomia energetica dei dispositivi da parte degli utenti)
- Occorre quindi evitare il piu' possibile sprechi di energia per massimizzare il tempo in cui i dispositivi possono essere operativi



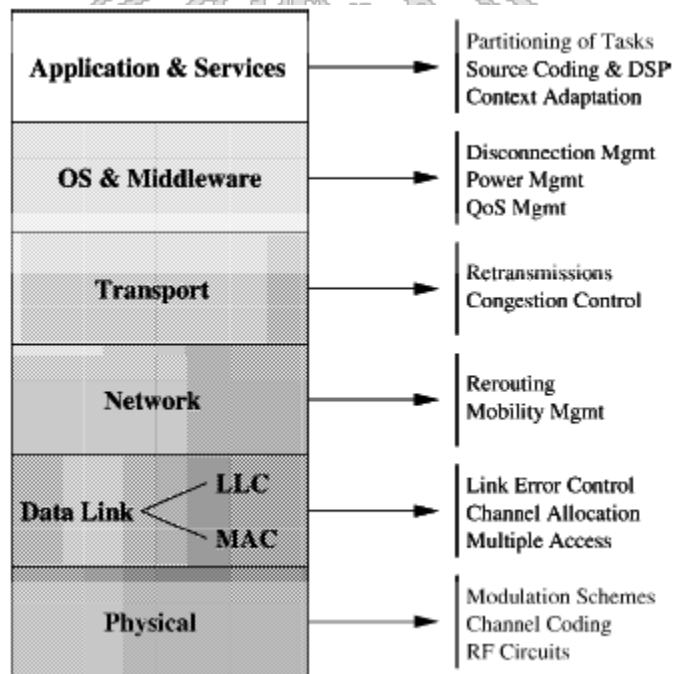
- Le componenti di un laptop con consumo energetico significativo sono il microprocessore (CPU), il liquid crystal display (LCD), l' hard disk, system memory (DRAM), keyboard/mouse, CDRROM drive, I/O subsystem, e la **wireless network interface card**
- L' interfaccia radio è una delle componenti più significative (dopo il display) del consumo energetico
 - Toshiba 410 CDT (dati 2001): 36% del consumo energetico era dovuto al display, 21% CPU+memoria, 18% interfaccia radio, 18% hard drive
- **Per questo motivo alla metà degli anni ' 90 è nata un' area di ricerca dedicata allo sviluppo di tecniche per abbassare il consumo energetico dell' interfaccia radio**



- Il consumo energetico necessario per eseguire funzionalità di rete è dovuto a
 - Computazione: processing associato alle operazioni del protocollo
 - Comunicazione: uso del transceiver per inviare e ricevere pacchetti dati e di controllo
- C'è tipicamente un trade-off tra computazione (anche associata all'elaborazione dei dati) e comunicazione.
 - Protocolli a basso consumo energetico per la comunicazione tipicamente aggiungono un po' di complessità/costo di processing, cosa ragionevole purchè la soluzione proposta porti a vantaggi significativi in grado di bilanciare i costi aggiuntivi.
 - C'è anche un trade-off che dipende da dove è collocata l'intelligenza del sistema. Fare processing delle informazioni in rete può ridurre la necessità di comunicazione. Il costo da pagare è maggiore energia spese per la computazione da parte di nodi con limitate risorse energetiche.
 - Ottimizzare questi trade-off, come pure ottenere i migliori trade-off tra più metriche prestazionali di interesse (non solo l'energia consumata, ma l'energia, il throughput, la latenza) è l'obiettivo dei protocolli di comunicazione a basso consumo energetico.



- Il consumo energetico necessario per eseguire funzionalità di rete è dovuto a
 - Computazione: processing associato alle operazioni del protocollo
 - Comunicazione: uso del transceiver per inviare e ricevere pacchetti dati e di controllo
- C'è tipicamente
 - Protocolli a base di software aggiungono un overhead, purchè la soluzione bilanciare i costi di comunicazione e di computazione.
 - C'è anche un trade-off tra comunicazione tipicamente basata su software, cosa ragionevole, e di risorse significative in grado di essere allocata. L'intelligenza di rete può ridurre la necessità di consumare maggiore energia per comunicare, limitate risorse.
 - Ottimizzare queste metriche prima l'energia, il consumo di comunicazione a basso consumo energetico.



e comunicazione.
 unificazione tipicamente
 basata su software, cosa ragionevole
 e di risorse significative in grado di
 essere allocata. L'intelligenza
 di rete può ridurre la
 necessità di consumare
 maggiore energia per
 comunicare, limitate risorse.
 i migliori trade-off tra
 comunicazione e di risorse
 consumate, il consumo di
 comunicazione a basso consumo energetico.



Application & Services
OS & Middleware
Transport
Network
Data Link { LLC MAC
Physical

Guidelines generali

– PHY:

- ↑ ↑ ✓ Il consumo energetico dipende dall'energia necessaria per attivare la circuiteria del tranceiver e dalla potenza emessa → è possibile abbassare il consumo energetico per trasmettere sfruttando il power control (**minimizzare il consumo associato alla trasmissione**)
- ↑ ↑ ✓ Alcune tecnologie consentono di usare diverse modulazioni. Quando possibile usare una modulazione che porta a data rate maggiori può ridurre il tempo necessario per la trasmissione dei dati, quindi il consumo associato alla trasmissione (**minimizzare il consumo associato alla trasmissione**)
- ↑ ✓ tranceiver compliant con un determinato standard wireless hanno spesso caratteristiche diverse in termini di consumo energetico, BER e PER (Bit Error Rate e Packet Error Rate). La **scelta dell' HW** può quindi significativamente influenzare le prestazioni del sistema.
- ↓ ✓ Promiscuous mode: diversi protocolli proposti per reti ad hoc sfruttano il fatto che l'interfaccia radio operi in modalità promiscua per diminuire l'overhead del protocollo e far funzionare il protocollo in pratica (promiscuous mode= i pacchetti vengono passati ai livelli superiori anche se non sono indirizzati al nodo, le informazioni contenute nel pacchetto sono analizzate e usate dal nodo per le sue successive operazioni). Operare in promiscuous mode costringe l'interfaccia radio a essere in stato di idle/trasmissione/ricezione tutto il tempo TUTTI stati ad alto consumo energetico. E' una modalità che non si concilia con la necessita di abbassare i consumi energetici.

In parte da rivedere-v. cross factor discusso in seguito

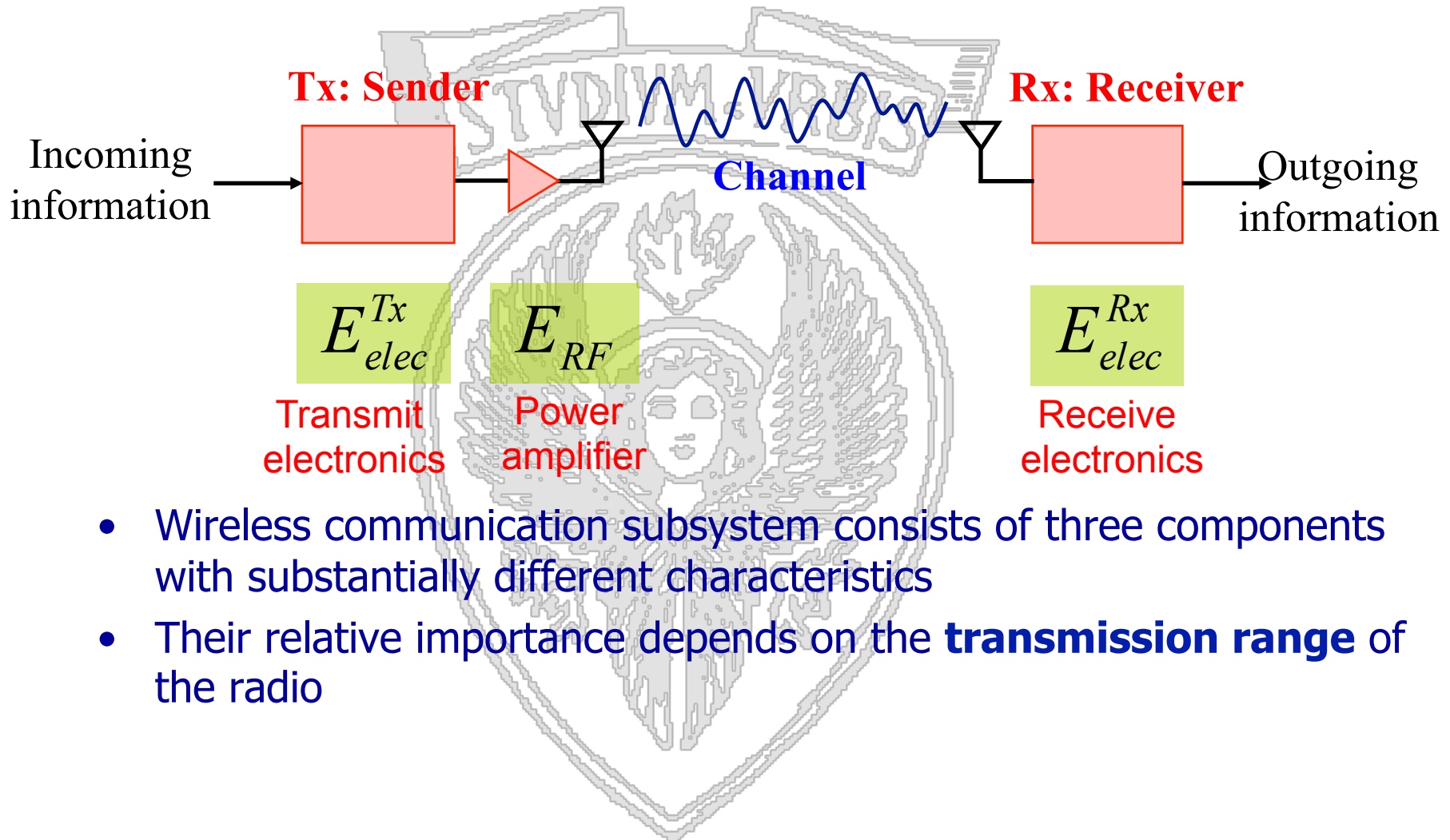


- Guidelines generali

- PHY:

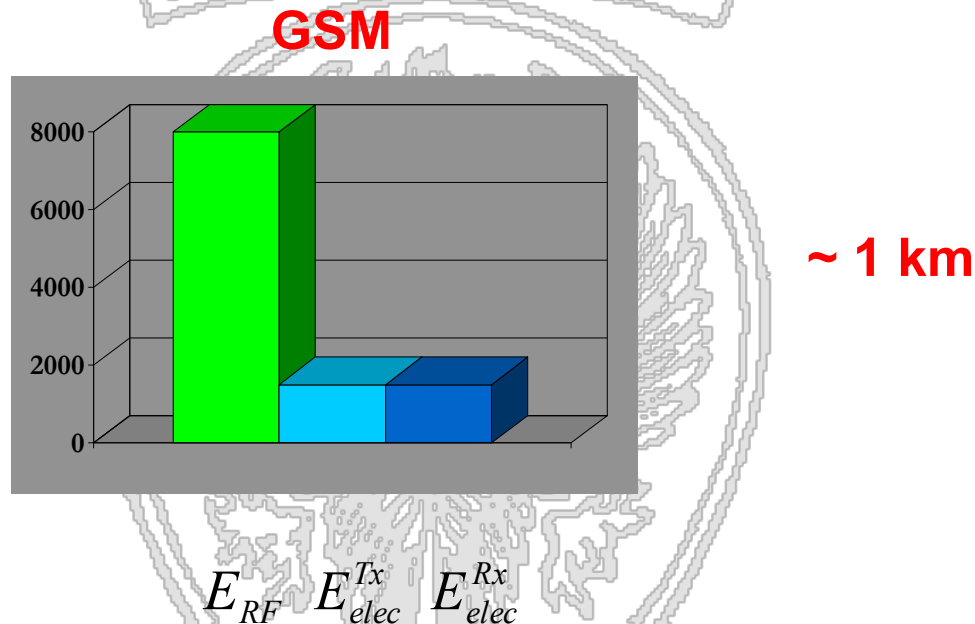
- ✓ Il consumo energetico dipende dall'energia necessaria per attivare la circuiteria del transceiver e dalla potenza emessa → è possibile abbassare il consumo energetico per trasmettere sfruttando il power control (**minimizzare il consumo associato alla trasmissione**)
 - ✓ Alcune tecnologie consentono di usare diverse modulazioni. Quando possibile usare una modulazione che porta a data rate maggiori può ridurre il tempo necessario per la trasmissione dei dati, quindi il consumo associato alla trasmissione (**minimizzare il consumo associato alla trasmissione**)
 - ✓ transceiver compliant con un determinato standard wireless hanno spesso caratteristiche diverse in termini di consumo energetico, BER e PER (Bit Error Rate e Packet Error Rate). La **scelta dell' HW** può quindi significativamente influenzare le prestazioni del sistema.

- ✓ Si dovrebbe ricevere completamente un pacchetto solo se si è destinazione di quel pacchetto (il campo destination è all' inizio del pacchetto), altrimenti scartarlo ed andare a dormire



- Wireless communication subsystem consists of three components with substantially different characteristics
- Their relative importance depends on the **transmission range** of the radio

- Quando aumenta il raggio trasmissivo la componente legata all' amplificatore di potenza diventa dominante



Ma attenzione: vari dispositivi e tecnologie wireless;
Costi di processing in alcune tecnologie significativi



Guidelines generali

– MAC

- ✓ Idea chiave: far alternare i nodi tra stati ad alto consumo energetico (awake:transmit/receive/idle) in cui l'interfaccia radio è operativa e stati (asleep) in cui l'interfaccia radio non è operativa (non si possono ricevere e trasmettere pacchetti) ma il consumo energetico è molto ridotto. (**awake/asleep schedule**)
 - Due approcci: sincrono (i nodi si coordinano e sanno quando i vicini saranno 'awake' contattano i vicini quando sono raggiungibili) e asincrono (i nodi non conoscono lo schedule awake/asleep dei vicini). Questo secondo caso è tipicamente più difficile, funziona sotto restrizioni (ad esempio sufficiente densità dei nodi + selezione dinamica dei relay), ha il vantaggio di non richiedere scambi di comunicazione per mantenere aggiornate le informazioni sul vicinato.
- ✓ Se i protocolli usano una fase di handshake ed è possibile per un nodo determinare durante tali fasi -e in base alla conoscenza del protocollo- che non sarà coinvolto in comunicazione il nodo dovrebbe andare in modalità di asleep. Esempio: dormire per il tempo indicato nel NAV come necessario perché termini la comunicazione di un vicino nel caso di MAC CSMA/CA. (**evitare sprechi**)
- ✓ Minimizzare le collisioni *puo'* tornare utile (le collisioni richiedono ritrasmissioni aumentando latenza ed energia consumata) (**evitare sprechi**)
- ✓ Header compression: trasmettere meno bit significa che l'interfaccia radio sarà attiva in trasmissione per meno tempo e quindi si risparmierà energia. (**ridurre il consumo energetico associato alla trasmissione**)
- ✓ **Limitare le informazioni di controllo** da trasmettere, **aggregare informazioni ridondanti**
(**minimizzare il consumo energetico associato alla trasmissione**)

Attenzione alla ricezione: non e' predicibile quando dovro' ricevere, di fatto si consuma più del necessario proprio per essere in grado di ricevere quando serve ← wake-up radio

Tende ad allungare le latenze





- Il transceiver puo' essere in uno di questi stati

tx

Awake and transmitting

rx

Awake and receiving

idle

Awake, neither transmitting nor receiving

asleep

Asleep: interfaccia radio non operativa (non si puo' ne' trasmettere ne' ricevere). Possono esserci vari stati di asleep che corrispondono allo spegnimento si sottoinsiemi crescenti della circuiteria.

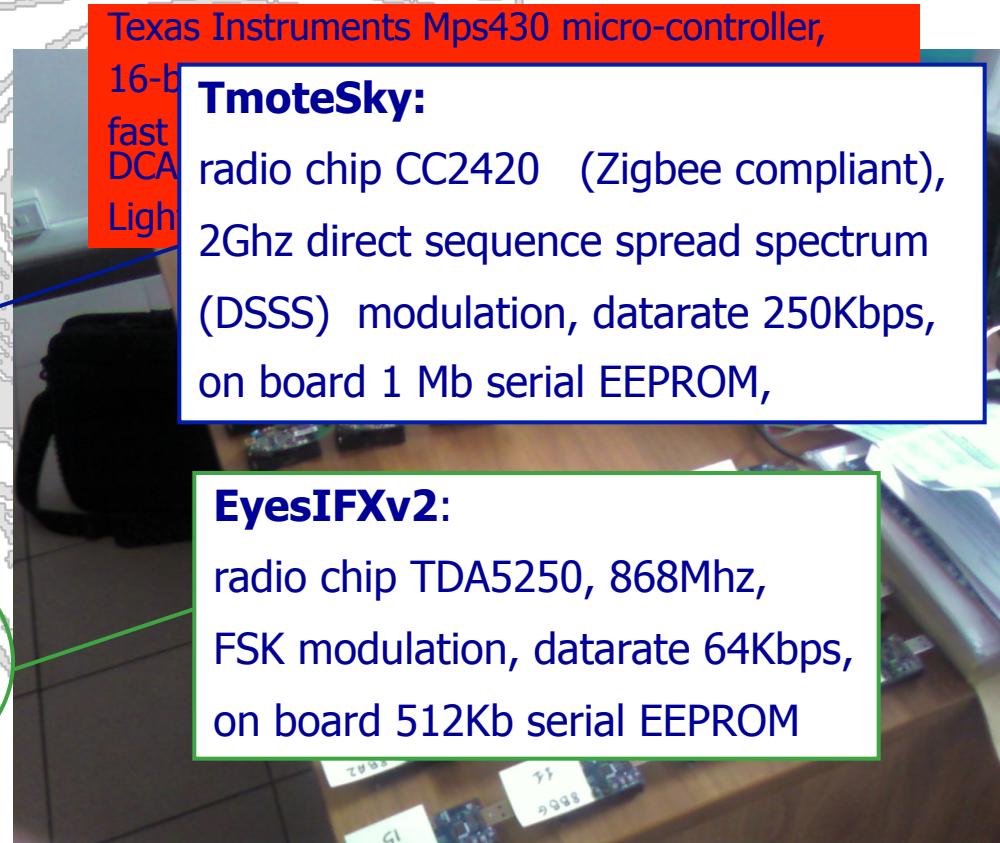
**Passare da uno stato all' altro
Richiede tempo e consuma
energia. Il tempo ed il consumo
per lo switch deve essere considerato**



- Variano a seconda della tecnologia, del dispositivo (funzionalità e range trasmissivo hanno forte impatto)
- I consumi dei dispositivi per lo stesso segmento sono andati a modificarsi significativamente nel tempo (come pure il rapporto tra i consumi dei vari stati del transceiver)
- Dati anni '90-'00
 - Il messaggio era: trasmettere costa fino al doppio rispetto a ricevere, l' idle mode costa meno, lo sleep mode diversi ordini di grandezza meno
 - Esempi
 - ✓ Proxim RangeLAN2 2.4 GHz 1.6 Mbps PCMCIA card: 1.5 W in transmit, 0.75 W in receive, and 0.01 W in standby mode.
 - ✓ Lucent's 15 dBm 2.4 GHz 2 Mbps Wavelan PCMCIA card: 1.82 W in transmit mode, 1.80 W in receive mode, and 0.18 W in standby mode.



- TmoteSky, EYES v2.0 platforms



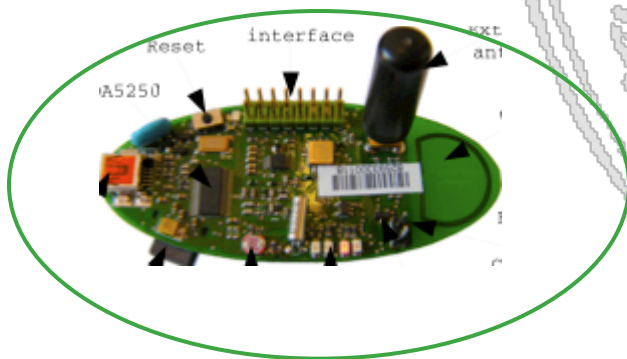
Texas Instruments Mps430 micro-controller,
16-b
fast
DCA
Ligh

TmoteSky:

radio chip CC2420 (Zigbee compliant),
2Ghz direct sequence spread spectrum
(DSSS) modulation, datarate 250Kbps,
on board 1 Mb serial EEPROM,

EyesIFXv2:

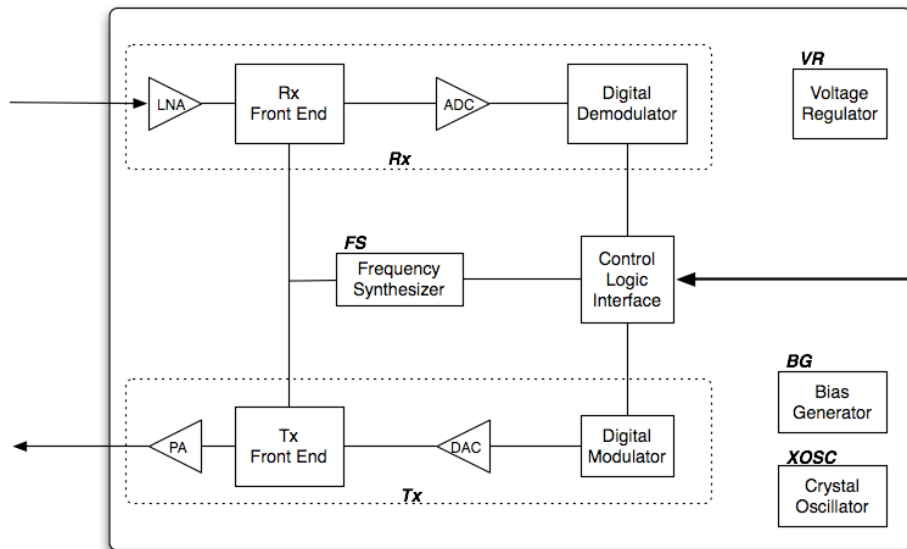
radio chip TDA5250, 868Mhz,
FSK modulation, datarate 64Kbps,
on board 512Kb serial EEPROM





TmoteSky Energy model

CC2420 Modules



Transceiver states

Energy model

State	Consumption (mA)
Rx	19.7
Tx	17.4
Save	0.45
Down	0.02
Off	0.001

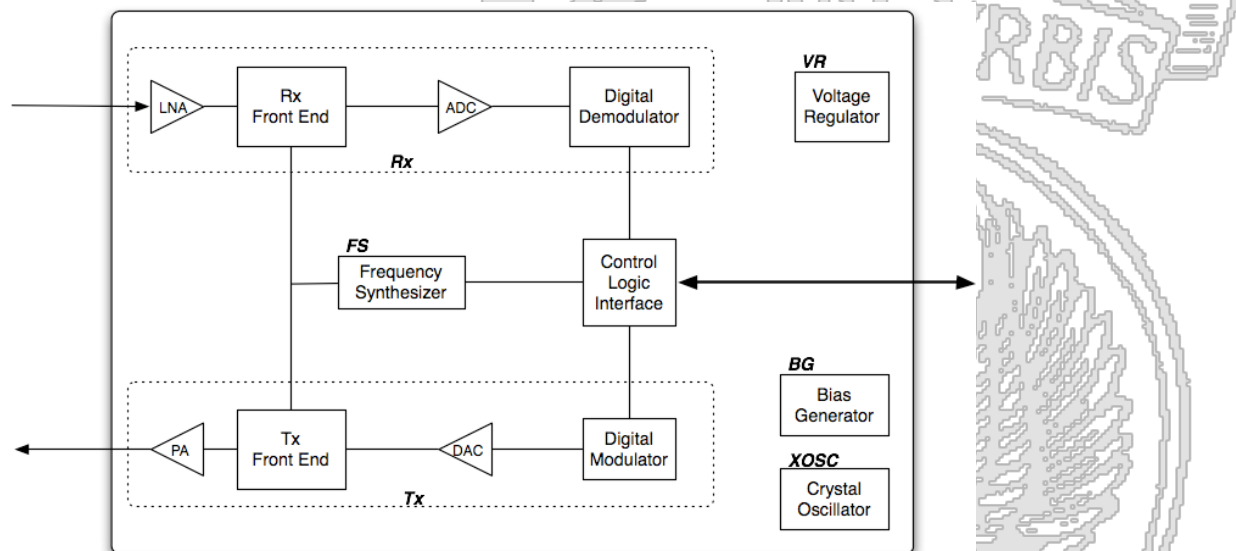
Table 1: Consumption of CC2420 transceiver.

Switch Between (States)	Consumption (mA)	Duration (ms)
Rx/Tx	17.4	0.192
Tx/Rx	19.7	0.192
Tx/Save	17.4	0.192
Rx/Save	19.7	0.192
Save/Down	0.45	0.96
Down/Off	0.02	0.6

Table 2: Switch time of CC2420 transceiver.



CC2420 Modules



Transceiver states

Energy model

State	Consumption (mA)
Rx	19.7
Tx	17.4
Save	0.45
Down	0.02
Off	0.001

Table 1: Consumption of CC2420 transceiver.

Switch Between (States)	Consumption (mA)	Duration (ms)
Rx/Tx	17.4	0.192
Tx/Rx	19.7	0.192
Tx/Save	17.4	0.192
Rx/Save	19.7	0.192
Save/Down	0.45	0.96
Down/Off	0.02	0.6

Table 2: Switch time of CC2420 transceiver.

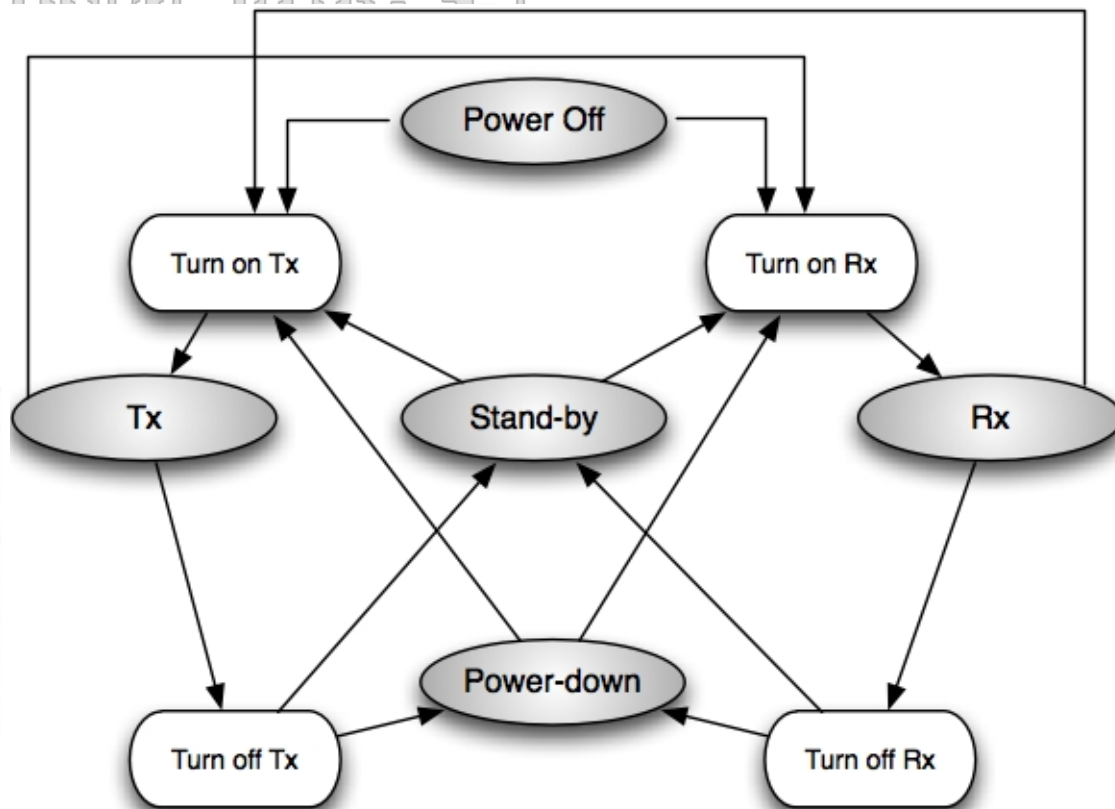


Energy model

Transceiver states

State	Consumption (mA)
<i>Rx</i>	8.6
<i>Tx</i>	11.2
<i>Stand-by</i>	0.75
<i>Power-down</i>	0.009
<i>Power-off</i>	0

State	Consumption (mA)	Duration (ms)
<i>Power-off/Tx</i>	0.3085	9.1
<i>Power-off/Rx</i>	0.2632	10.2
<i>Tx/Rx</i>	0.0739	2.2
<i>Rx/Tx</i>	0.0369	1.1
<i>Power-down/Tx</i>	0.0025	1.1
<i>Power-down/Rx</i>	0.0568	2.2
<i>Stand-by/Tx</i>	0.0025	1.1
<i>Stand-by/Rx</i>	0.0568	2.2





Application & Services
OS & Middleware
Transport
Network
Data Link { LLC MAC
Physical

- Guidelines generali

- Data Link

- ↑ ✓ Non conviene trasmettere pacchetti se si stima che l'attuale condizione del canale renda improbabile una corretta ricezione (**evitare sprechi**)
 - ↑ ✓ Scelta di combinazioni di schemi di ARQ e FEC che consentano di ottenere risparmi energetici e nel contempo offrire il livello di QoS necessario sotto diverse condizioni di canali, tipi di traffico, dimensioni dei pacchetti
 - ↑ ✓ Varianti di protocolli di ARQ classici per cercare di minimizzarne il consumo energetico



Application & Services
OS & Middleware
Transport
Network
Data Link
Physical

LLC
MAC

- Guidelines generali

- Routing



- ✓ Bilanciare il consumo energetico tra i nodi, tenere conto delle diverse risorse energetiche dei nodi nello scegliere i relay consente di allungare il tempo di vita della rete



- Attenzione però: in alcuni casi idle listening dominante



- » La scelta del routing in quel caso non consente di ribilanciare il consumo energetico
 - » Strategia invece molto importante con wake up radio e energia eterogenea (per diverse caratteristiche dei nodi e/o energy harvesting)

- ✓ Trasmettere su più hop corti può convenire (quale è la condizione che consente di vedere vantaggi tramite questa tecnica?)
 - ✓ Minimizzare l'overhead associato alla route discovery e maintenance



- In the last few years there has been a change of devices used to access the Internet
 - From PC to smartphone
 - Novel Phy layer and more advanced transceiver features
 - How has the energy model been affected by changes in the device technology?
 - Can we still make the same assumptions or are there additional components to account for?

A. Garcia Saavedra, P. Serrano, A. Banchs, G. Bianchi "Energy Consumption Anatomy of 802.11 Devices and Its Implication on Modeling and Design" in Proceedings of Co-NEXT 2012



- Experiments and measurements on multiple commercial devices
 - Soekris net 4826-48 + Atheros 802.11a/b/g Mini-PCI card, configured to use the 802.11a PHY
 - Alix2d2 + Broadcom BCM4319 802.11b/g Mini-PCI card
 - Linksys WRT54GL + Broadcom BCM4320 802.11b/g Mini-PCI card
- Checking no interference (sniffers)
- Measuring energy consumption with high accuracy power meters
- Controlled traffic generation (mgen generates UDP packets)



- Baseline energy consumption has been measured

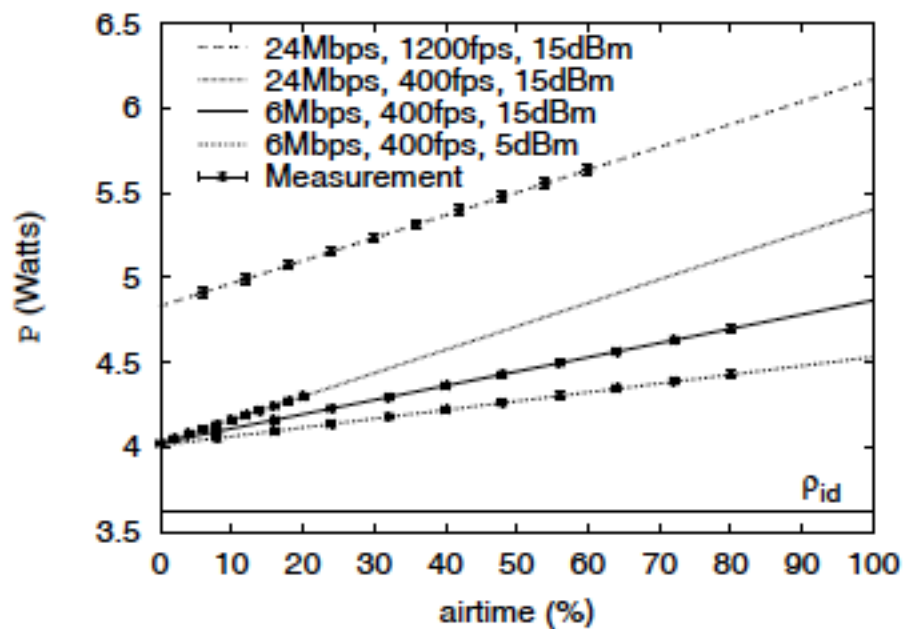
Table 2: Soekris Baseline consumption profile

Config.	Description	Cons. (W)
w/o card	no NIC connected	$2.29 \pm 2.2\%$
WiFi off	NIC connected driver not loaded	$2.58 \pm 2.0\%$ (+0.29)
Idle (ρ_{id})	NIC activated+associated to AP no RX/TX besides beacons	$3.56 \pm 1.7\%$ (+0.98)

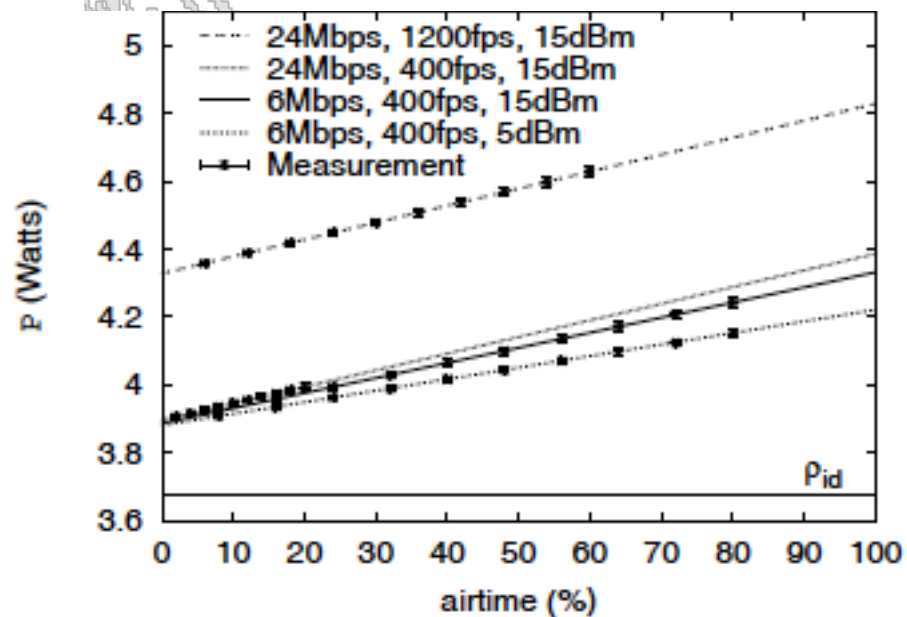
- Energy consumption of transmitting one packet without ACKs has been studied
- Impact on energy consumption of varying transmission power, packet length, type of modulation has been quantitatively studied



- Experimental results: Total power consumed by (unacknowledged) transmissions vs. airtime percentage



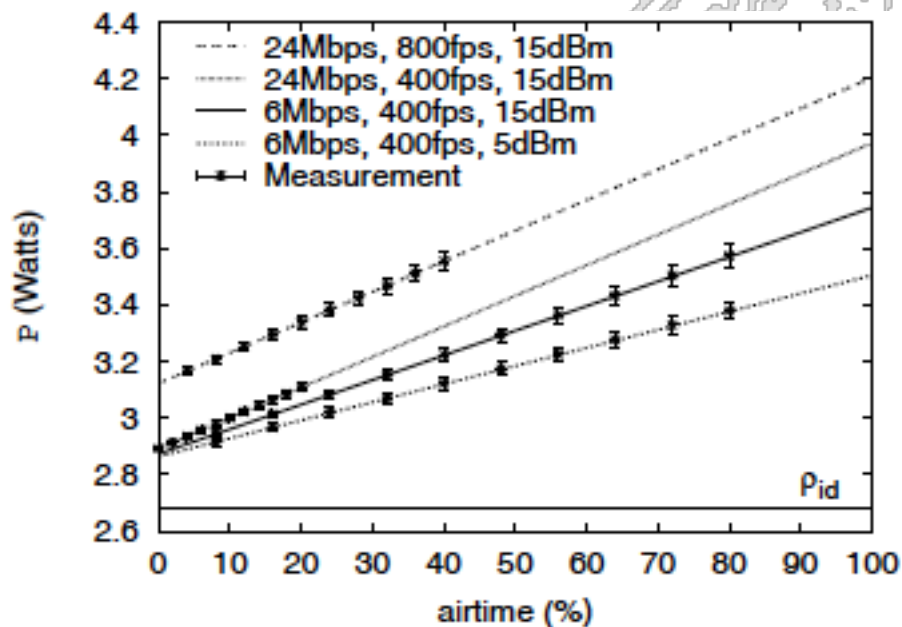
(a) Soekris



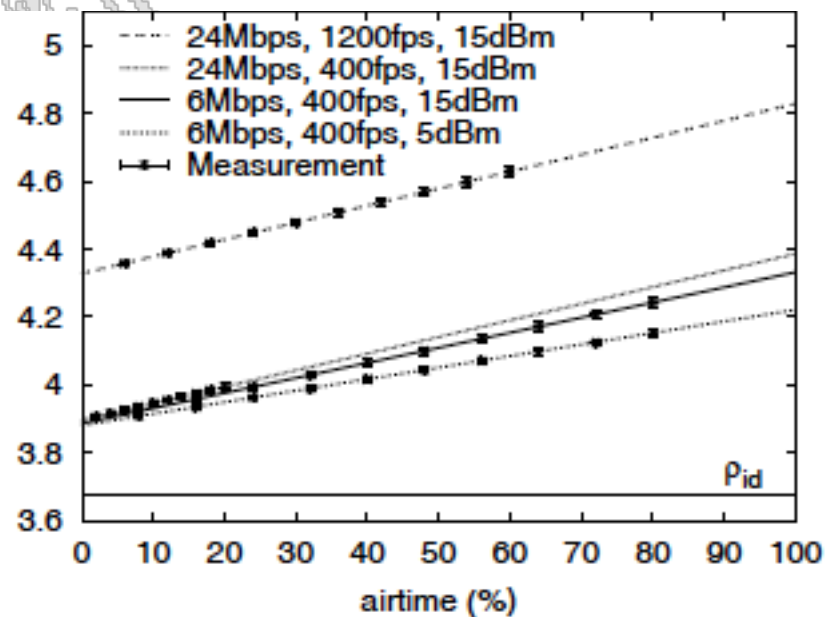
(b) Alix



- Experimental results: Total power consumed by (unacknowledged) transmissions vs. airtime percentage



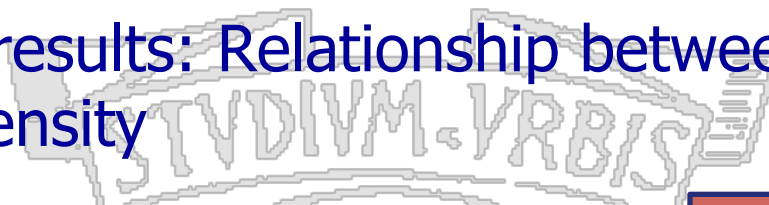
(c) Linksys



(b) Alix



- Experimental results: Relationship between cross factor and traffic intensity



New energy model

$$P = \rho_{id} + P_{tx} + P_{xg}(\lambda_g)$$

ρ_{id} is the platform specific baseline power consumption
 P_{tx} is the power consumption Associated to transmission (depends on airtime, tx power Modulation)
 $P_{xg}(\lambda_g)$ is the new cross factor

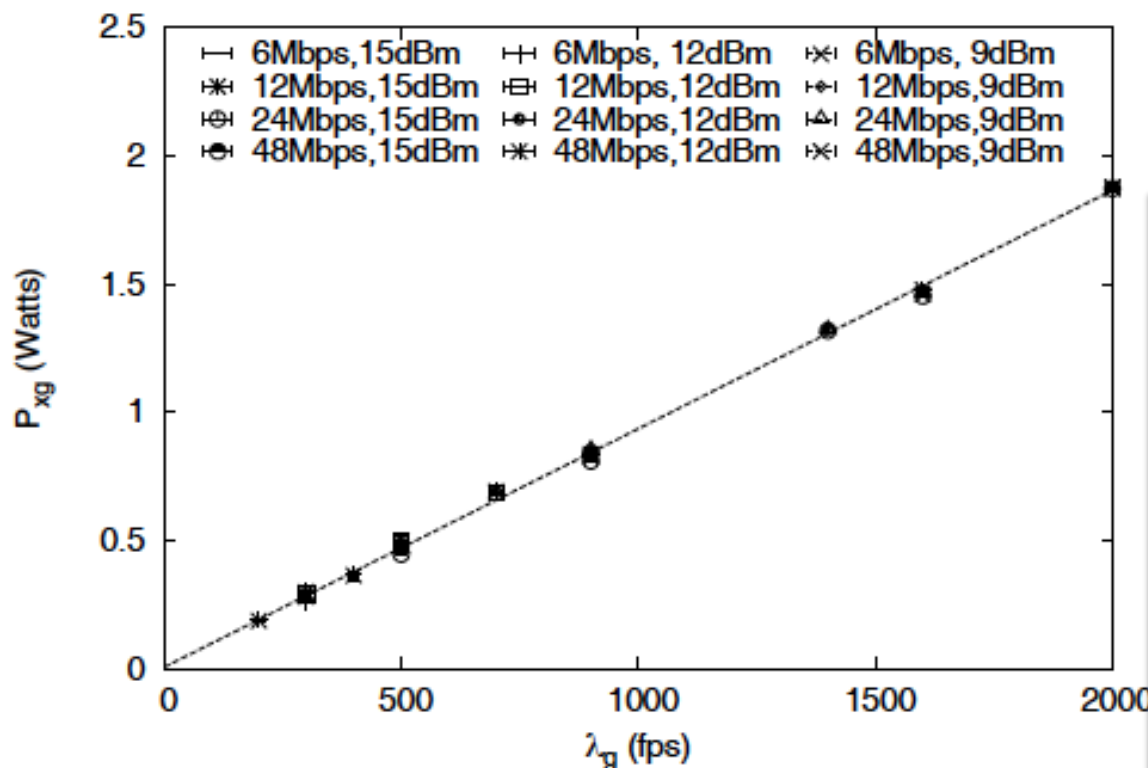
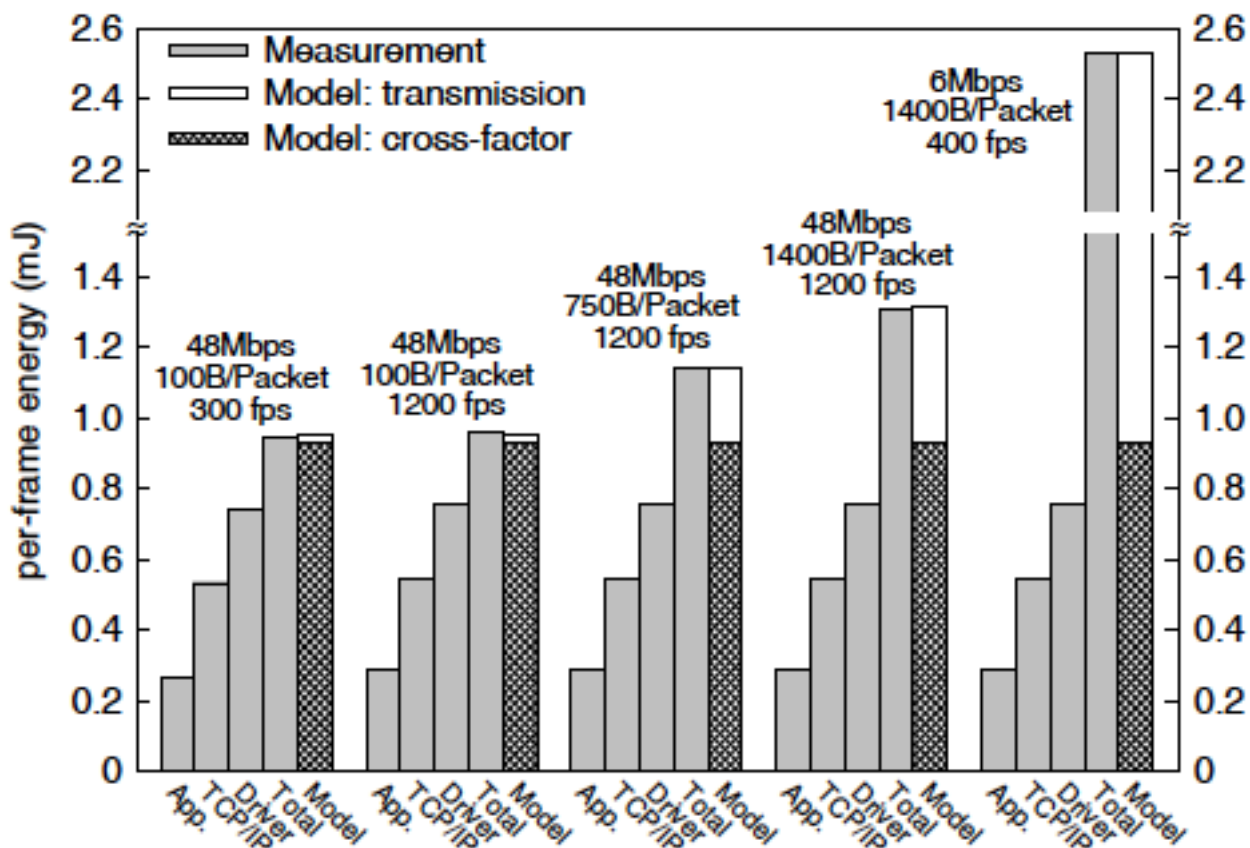


Figure 2: Relation between $P_{xg}(\lambda_g)$ and λ_g .



New approaches are proposed for

- Packet relay selection
- Data compression
- Data transmission (back to back)
- Stack implementation

Figure 4: Per-frame energy cost in transmission.