

## LE RETI WIRELESS VERSO I 60 GHz

Els Parton  
André Bourdoux  
Piet Wambacq  
IMEC

*I comitati di standardizzazione lavorano per preparare il nuovo standard che sarà probabilmente pronto nel 2009; i laboratori di ricerca stanno già sperimentando le tecniche che consentiranno di gestire questa particolare porzione di banda a radiofrequenza vicina alle onde millimetriche*

Per le comunicazioni wireless i 60 GHz sono una promessa che consentirebbe agli ingegneri di introdurre un'ampia gamma di interessanti applicazioni come il download rapido dai chioschi video o fra laptop e stampante. Invero, i 60 GHz sono già vicini a noi e trovano impiego nelle comunicazioni a elevato grado di sicurezza in ambito militare, o nei collegamenti fra satellite e satellite. Tradizionalmente i sistemi radio a 60 GHz hanno

finora sfruttato le pregiate ma costose caratteristiche dell'arseniuro di gallio, ma oggi i progressi nelle tecnologie di deposizione del silicio hanno permesso di realizzare transistor di silicio con dimensioni più piccole e velocità di commutazione più elevate, al punto da diventare adatti anche per i circuiti analogici delle radio a 60 GHz. Il vantaggio di avere un front-end analogico a radio frequenza in tecnologia CMOS invece che in GaAs è chiaramente il minor costo, ma si guadagna anche una più semplice integrazione con la parte in bandabase del chipset radio, il che significa poter realizzare radio a 60 GHz piccole ed economiche. È pertanto verosimile che non manchi molto per veder approdare queste tecnologie anche in ambito consumer.

### Perché 60 GHz?

Nel 2001 la Federal Communications Commission (FCC) decise di allocare un

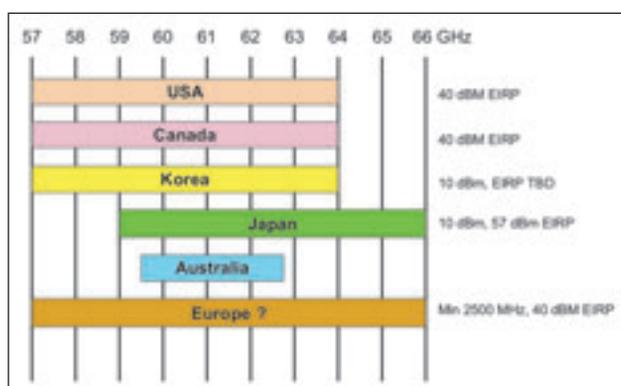


Fig. 1 - L'allocazione della banda a 60 GHz nel mondo

blocco di 7 GHz nella banda fra 57 e 64 GHz e lasciarlo libero per l'utilizzo senza bisogno di licenze. Il fatto di essere 'senza licenza' consente di far risparmiare tempo e denaro agli operatori che non sono costretti a chiedere nulla alle autorità nazionali e, inoltre, dato che questa banda è disponibile in tutto il mondo, ecco che potrebbe essere sfruttata ovunque con tecnologie universali e trasparenti. Naturalmente il principale vantaggio dell'ampia larghezza di banda disponibile a 60 GHz è che consente le comunicazioni senza fili a velocità molto superiori rispetto agli attuali standard, tutti sotto i 10 GHz. Inoltre, l'apparente svantaggio dell'alta attenuazione di propagazione a 60 GHz si trasforma in un vantaggio per le comunicazioni a breve tratta, giacché consente di ottenere buona immunità alle interferenze, elevata sicurezza dati e la possibilità di riutilizzare le frequenze.

Pensando alle comunicazioni dati senza fili con elevata velocità (almeno di 5 Gbit al

secondo) e brevi distanze (da 3 a 5 metri), si possono intuire dozzine di applicazioni, ma vale la pena ricordare le tre principali già suggerite in ambito

leee come in forte richiesta da parte degli utenti. Al primo posto ci sono le Wireless High-Definition Multimedia Interface (HDMI) che permettono ai segnali video di essere trasferiti senza fili e senza compressione da un lettore DVD a uno schermo piatto. Al secondo posto sono

indicate le tecniche di download rapido dei filmati ad alta definizione che consentiranno di acquisire filmati dai chioschi e scaricarli direttamente sui notebook o parimenti di trasferire filmati fra terminali mobili e computer. Al terzo posto ci sono le stazioni d'accesso senza fili multifunzionali alle quali si potranno facilmente collegare svariati dispositivi come computer laptop, periferiche, stampanti, fotocamere, e così via.

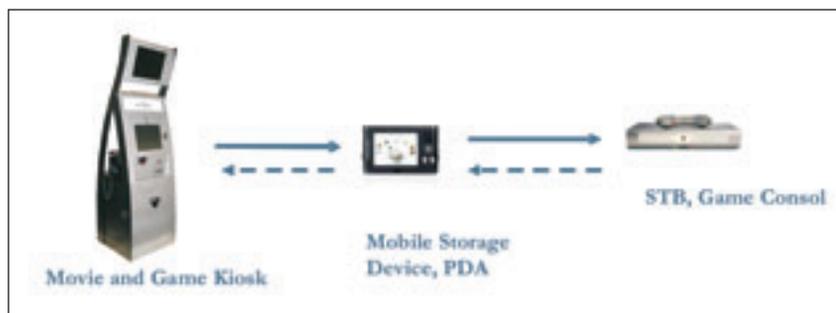
### La sfida dei 60 GHz in tecnologia CMOS

Sui 60 GHz ci sono davvero molte opportunità da cogliere, ma ci sono anche numerose difficoltà da superare. Prima di tutto, una frequenza portante così elevata, almeno un ordine di grandezza oltre le attuali tecnologie, impone qualche cambiamento nel disegno delle antenne e della parte circuitale analogica. Inoltre, per realizzare una radio single-chip a 60 GHz sul silicio in tecnologia CMOS vanno risolte alcune problematiche progettuali di non poco

conto. Per beneficiare al massimo della più elevata frequenza di transizione ora disponibile, gli esperti Imec ritengono che la geometria CMOS più adatta per i circuiti a 60 GHz debba essere la riga da 45 nm e non i 90, né i 65 nm. Ciò significa però che inevitabilmente si dovranno introdurre soluzioni circuitali del tutto innovative. Per esempio, la potenza d'uscita che può essere estratta da un comune amplificatore CMOS è limitata tipicamente a circa 10 dBm che per i front-end radio a 60 GHz sono un po' risicati. Inoltre, se  $fT$  è solo quattro volte più grande della frequenza del segnale, ecco che la figura del rumore al ricevitore diventa subito eccessivamente alta. Per migliorare il rapporto segnale/rumore è conveniente far uso di antenne multiple capaci di conformare opportunamente il segnale. In proposito Imec ha già sperimentato un ricevitore a doppia antenna realizzato in geometria CMOS da 90 nm e ora ha in corso di sviluppo un ricevitore ad antenna quadrupla in geometria di riga da 45 nm. Un'altra importante sfida è l'ampia banda di 7 GHz disponibile a cavallo della portante di 60 GHz nell'intervallo compreso fra 57 e 64 GHz. Ciò, infatti, significa che la frequenza del segnale può variare fino al 15% rispetto alla portante, mentre nelle attuali reti WiFi varia al massimo del 3% (fra 2,4 e 2,485 GHz). Soddisfare questo requisito è difficile tanto per le antenne quanto per i front-end perché per avere un intervallo di escursione del 15% bisogna addomesticare capacità parassite non indifferenti.

### Accuratezza e affidabilità a 60 GHz

A 60 GHz i convertitori analogico/digitale e digitale/analogico devono essere in grado di lavorare all'elevata velocità di campionamento di circa 4 GS/s (Giga campioni al secondo) e con risoluzione di almeno 5 o 6 bit. Queste caratteristiche sono ben difficili da ottenere con i circuiti CMOS e specialmente se si vogliono limitare i consumi. Imec ha sperimentato un Flash ADC da 5 bit e 1,75 GS/s che offre una figura di merito di soli 50 fJ per ogni singola conversione e questo risultato è circa tre volte migliore rispetto agli attuali con-



**Fig. 2 – Una possibile applicazione delle comunicazioni wireless a 60 GHz è il download rapido dei filmati ad alta definizione**

vertitori con velocità di 500 MS/s. Nello sviluppo di questo sistema sono stati introdotti alcuni accorgimenti circuitali che hanno permesso di ottimizzare in forma dinamica i consumi di potenza senza alcun bisogno di amplificatori. Così è stato ridotto il numero dei comparatori da 31 a 16 pur mantenendo la risoluzione a 5 bit. Il Flash ADC è stato fabbricato in geometria di riga da 90 nm e occupa meno di  $110 \times 150 \mu\text{m}^2$ , mentre i test a 1,75 GS/s con LSB (Least Significant Bit) di 25 mV mostrano una INL (Integral Non Linearity) e una DNL (Differential Non Linearity) rispettivamente comprese fra  $-0,28/+0,24$  e  $-0,29/+0,26$  LSB. Per la parte digitale della radio, questa velocità di lavoro è senza dubbio impegnativa.

Un ulteriore problema delle radio a 60 GHz è l'esiguità del rapporto segnale/rumore (SNR, Signal to Noise Ratio). La ragione di ciò è duplice perché l'elevata frequenza portante implica che la potenza in ricezione sia bassa mentre l'elevata ampiezza di banda implica che vi sia abbondante rumore catturato dal ricevitore.

Dunque, il rapporto potenza/rumore è inevitabilmente basso. Imec ha studiato un innovativo approccio che consente di realizzare array di antenne sfasate capaci di risolvere questo problema. In pratica, l'array di antenne CMOS implementa una variazione di fase su ciascuno dei segnali ricevuti dalle singole antenne, in modo tale da ripulire la forma d'onda ricevuta e renderla meglio riconoscibile. Nel prototipo Imec ci sono quattro antenne con altrettanti amplificatori a basso rumore connessi a un mixer convertitore. Il modulo variatore di fase

programmabile è realizzato a bordo dello stesso chip e sfrutta i segnali in quadratura generati da un oscillatore Quadrature Voltage Controlled Oscillator (QVCO) presente a bordo. In effetti, il QVCO realizzato combina la più elevata frequenza di oscillazione con il più ampio range di sintonizzazione che si possono oggi implementare sul silicio in processo CMOS. Se le applicazioni richiedono una velocità di trasferimento dati ancor più elevata, però, potrebbe esserci bisogno di aumentare le dimensioni dell'array di antenne. Un'ulteriore considerazione va fatta sulla forma d'onda dei segnali che può essere diversificata per le applicazioni 'plugged' (come HDMI wireless) o 'nomadic' (come i chioschi video) perché nel secondo caso parte del problema può essere risolto semplicemente facendo in modo che l'utente avvicini quanto più possibile il laptop portatile al chiosco, migliorando automaticamente il rapporto segnale/rumore. Infine, La sfida delle comunicazioni a 60 GHz consiste anche nel fatto che lo standard incorpora tre livelli fisici (PHY, physical layer): una modulazione a singola portante con equalizzazione nel dominio della frequenza (SC-FDE) e due modulatori OFDM con due propri preamplificatori. Ciò significa che si devono progettare e implementare circuiti e algoritmi di nuova generazione, adatti alle nuove esigenze di acquisizione ed equalizzazione dei segnali.  $\curvearrowright$