

*Una piattaforma costituita da una combinazione di logiche programmabili e di processori embedded rappresenta la soluzione ideale per la realizzazione di sistemi di terza generazione basati su tecniche W-CDMA*

## Modem programmabili per W-CDMA

Asif N. Batata  
Market Segment Manager  
Altera

Nel mondo wireless la richiesta di servizi di informazione avanzati è in continuo aumento, in termini sia di numero di utenti sia di tipologie di servizi da supportare. I servizi voce e dati a bassa velocità non sono più sufficienti per tutti quegli utenti che hanno la necessità di accedere a Internet ad alta velocità. La necessità di supportare servizi multimediali che richiedono estesa ampiezza di banda pone nuovi problemi sia alle reti sia ai sistemi cellulari. Per tale motivo IT (International Telecommunication Union), con il lancio dell'iniziativa IMT-

2000, ha messo a disposizione un certo numero di standard in grado di supportare questi requisiti.

Parecchi standard di terza generazione (3G) wireless sfruttano la tecnologia W-CDMA (Wideband-Code Division Multiple Access). Tale tecnica prevede lo spreading (in pratica la codifica) di più segnali mediante una sequenza di spreading molto lunga per generare la forma d'onda che deve essere trasmessa: in ricezione viene eseguita l'operazione inversa (despreading) al fine di decodificare la forma d'onda e ricostruire i dati originali.

Poiché l'insieme di queste operazioni deve avvenire in tempo reale, è necessario disporre di un hardware dedicato. La presenza di funzionalità avanzate, come ad esempio il sistema Multi-User Detector/Interference Cancellation (che permette di rilevare parecchi utenti e rimuovere le interferenze all'interno della cella) e i sistemi adattativi spazio/tempo (formati da più antenne che sfruttano la diversità spaziale) richiedono inoltre un throughput particolarmente elevato. Il livello di prestazioni richiesto di fatto impedisce l'impiego di processori DSP di tipo general purpose. A causa della scarsa flessibilità dei circuiti ASIC, anche un'implementazione di tipo full custom non consente di raggiungere i risultati desiderati. Ne consegue che la piattaforma migliore risulta essere quella che prevede l'uso di hardware di natura programmabile. Oltre a ciò, parecchi ricevitori W-CDMA richiedono algoritmi di controllo particolarmente complessi (come ad esempio rilevamento di percorsi multipli, ricerca e così via) che possono venire implementati in maniera efficiente via software, data la loro natura sequen-

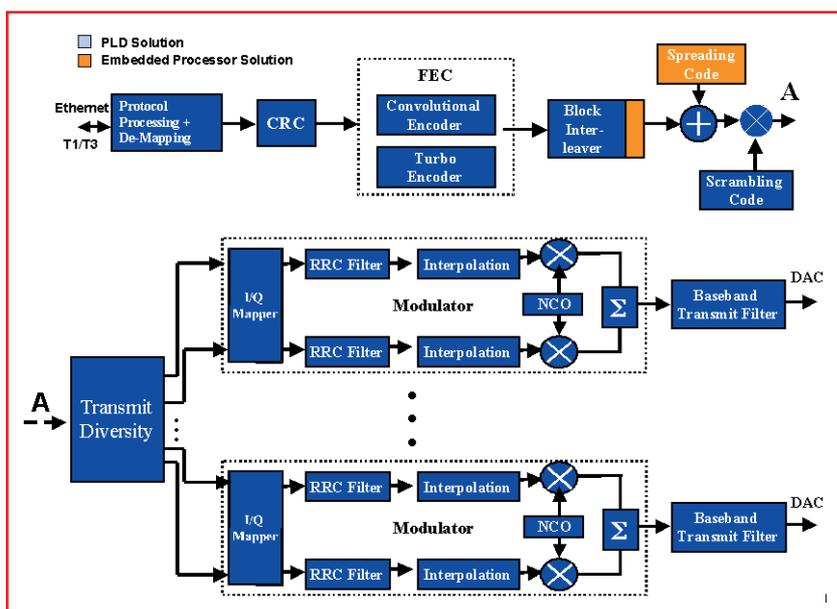
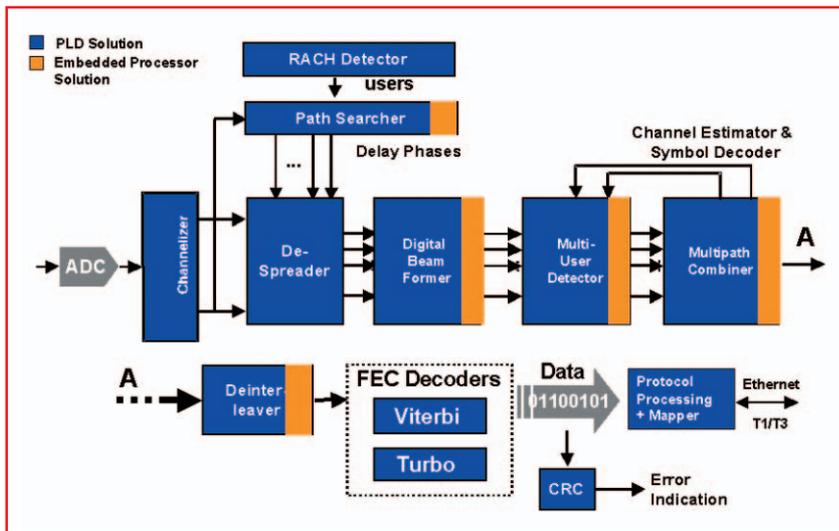


Fig. 1 - Trasmettitore W-CDMA



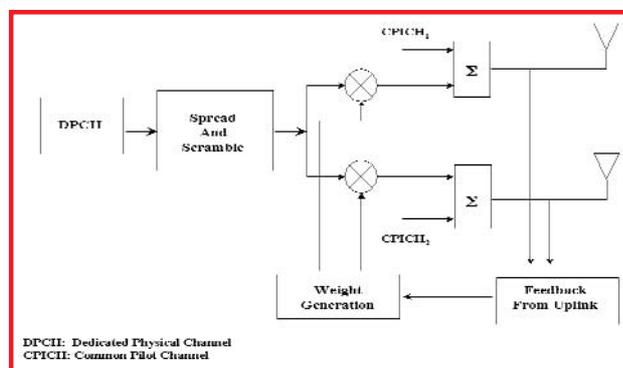
**Fig. 2 - Ricevitore W-CDMA**

Poiché tutte queste funzioni richiedono processi di elaborazione del segnale e, in alcuni casi, sono eseguite a velocità di trasmissione molto elevata (chip-rate), i dispositivi logici programmabili si propongono come l'unica alternativa disponibile per lo sviluppo e la produzione iniziale di dispositivi di sistemi corredati di tali funzionalità. Da non sottovalutare il fatto che parecchie di queste vengono sperimentate per la prima volta e quindi esistono ottime probabilità che presentino alcuni problemi sul campo: in questo caso è necessario risolvere tali

ziale. Da quanto finora detto appare evidente che il miglior modo per realizzare il sistema di ricezione è quello che prevede l'uso di sistemi logici programmabili e di un microprocessore. Nel loro percorso evolutivo, finalizzato al raggiungimento di livelli di integrazione sempre maggiori, i dispositivi logici programmabili hanno incluso al loro interno, oltre alla logica, risorse di memoria embedded e più recentemente, microprocessori. Un livello di integrazione più spinto comporta numerosi vantaggi: per i costruttori di apparati per infrastrutture 3G di particolare rilievo sono quelli legati all'aumento delle prestazioni (dovute all'eliminazione dei ritardi all'interno e all'esterno del chip), alla riduzione degli ingombri e alla minore dissipazione di potenza. La presenza contemporanea in un unico dispositivo di logiche programmabili e microprocessori consente al progettista di valutare in maniera semplice la migliore

### TABELLA 1 - Confronto tra le tecnologie "Antenna diversity" e "Beamforming"

Beamforming	Antenna Diversity
Antenne poco spaziate tra loro	Antenne più spaziate o cross polarizzate
Alcune informazioni sono codificate su tutti gli elementi dell'antenna	Informazioni codificate in maniera differente sono di pertinenza a differenti antenne
Sfrutta la coerenza di un segnale tra differenti elementi	Sfrutta l'indipendenza statistica del segnale ricevuto dai differenti elementi
Espansione a configurazioni multi-beam per sfruttare il parallelismo	Espansione verso il concetto MIMO per sfruttare il parallelismo ma con un certo impatto sui terminali

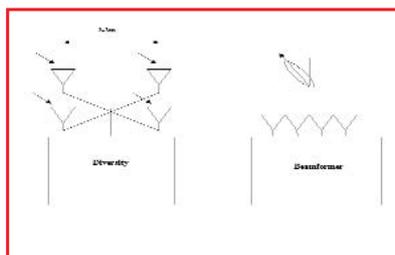


**Fig. 4 - Trasmissione a diversità ad anello chiuso**

problemi apportando gli opportuni miglioramenti. La riprogrammabilità, caratteristica intrinseca dei PLD, diviene allora un elemento di fondamentale importanza. Gli schemi a blocchi di un trasmettitore e di un ricevitore W-CDMA sono riportati nelle figure 1 e 2 rispettivamente.

### Tecniche avanzate

Le prestazioni e la capacità dei sistemi di comunicazione wireless sono limitati sostanzialmente da tre fattori: fading su percorsi multipli, propagazione del ritardo (delay spread) e interferenza sul canale comune. Sono state sviluppate numerose tecniche, di tipo sia temporale sia spaziale, per contrastare questi fenomeni. In questo contesto vengono discusse due tipi di tecnica: smart antenna (antenna "intelligente") e rilevazione di più utenti. Prove di simulazione hanno evidenziato che l'a-



**Fig. 3 - Per realizzare una "smart antenna" è possibile utilizzare due approcci differenti**

implementazione (in hardware o in software) delle varie funzioni.

### Transceiver WDMA

Le specifiche fondamentali della tecnica W-CDMA sono disponibili ormai da parecchio tempo: i principali protagonisti di questo mercato stanno aggiungendo funzionalità avanzate ai loro sistemi quali ad esempio antenne "intelligenti" (smart antenna), rilevazione di più utenti (smart antenna), rilevazione di più utenti. Prove di simulazione hanno evidenziato che l'a-

## Esempio di calcolo dei pesi ottimali per l'antenna

Per il calcolo dei pesi è possibile utilizzare due diverse modalità, ciascuna delle quali determina una differente quantizzazione di W:

### Modalità 1

$$W = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\phi} \end{bmatrix}$$

### Modalità 2

$$W = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \alpha_1 \pm \pi/2, \pi \\ \alpha_2 e^{j\phi} \end{bmatrix}$$

I valori consentiti per  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono  $\{0,8, 0,2\}^{0,5}$  mentre quelli consentiti per  $\phi$  sono  $\{0, \pm\pi/4, \pm\pi/2, \pm3\pi/4, \pm\pi\}$ .

In questo schema l'apparato mobile

calcola i pesi ottimali per l'antenna seguendo il criterio di massimizzare il segnale ricevuto dall'apparato mobile. Per raggiungere i guadagni di capacità possibili in via teorica mediante le tecniche della "smart antenna", l'approccio a due antenne dovrebbe essere esteso a un numero maggiore di antenne. Vi sono alcune regole per estenderlo a antenne, così come di utilizzare un approccio parzialmente cieco (in presenza di un canale dove il fenomeno del fading di propaga velocemente). In questa implementazione, per calcolare i pesi vengono adoperare le statistiche su lungo termine del canale. Poiché si tratta di un'area relativamente nuova, specialmente nel caso dei sistemi 3G, è necessario valutare differenti approcci per identificare quello più idoneo. Vista la sostanziale incertezza in fase di implementazione, è consigliabile adottare una soluzione flessibile, utilizzando ad esempio i dispositivi APEX II di Altera, che dispongono di risorse sufficienti per gestire più catene di funzioni di elaborazione dei segnali necessarie per supportare tecniche di diversità di trasmissione basate su più antenne.

### Chip Rate Beamformer

-Specifications

- 3.84 MHz chip rate
- 8 antennas, 6 bit sample data, I & Q, 12 bit weights
- 32 users

Ⓢ Requires 983M complex MACs per second

Fast complex multiplier module

4 multipliers, 1 adder, 1 subtractor

4 pipeline delay => 748 LCs, 173 MHz operation, APEX20KE-1

Fast 8 complex input adder tree module

18 bit, fully pipelined => 574 LCs, 123 MHz operation

8x complex multiplier modules  
1x 8 complex input adder tree module  
Ⓢ 6558 LCs Ⓢ 80% APEX EP20K200E

\*LC - Logic Cells

Fig. 5a - Esempio di calcolo per il beamforming adattativi

Sebbene si tratti di una tecnica datata (fu impiegata ad esempio nella seconda guerra mondiale), non è stata utilizzata nelle reti cellulari a causa dei limiti dell'hardware preposto all'elaborazione dei segnali. Ora grazie alla disponibilità di PLD di ampie dimensioni ed elevate prestazioni, è possibile realizzare catene multiple di elaborazione del segnale per supportare la matrice d'antenna. Mediante PLD, inoltre, è possibile implementare tecniche IF, eliminando la maggior parte dei componenti analogici altrimenti necessari, che contribuirebbero a complicare la progettazione e far lievitare i costi. Per realizzare un'antenna "intelligente" è possibile adottare due approcci (si veda la figura 3): diversificazione dell'antenna e formazione del fascio (Beamforming).

Nella tabella 1 vengono riportate le caratteristiche di queste due metodologie. Per i sistemi che si trovano all'esterno le tecniche di diversificazione dell'antenna non sono in alcuni casi utilizzabili in considerazione della separazione di 10 - 20 lunghezze d'onda richiesta. Le metodologie che coinvolgono l'impiego di antenne intelligenti possono essere utilizzati su entrambi i terminali, ovvero per il trasmettitore della stazione base come pure per il ricevitore.

### Il concetto di smart antenna sul lato trasmissione...

Per sistemi W-CDMA, il comitato 3GPP ha formalizzato due diverse tecniche:

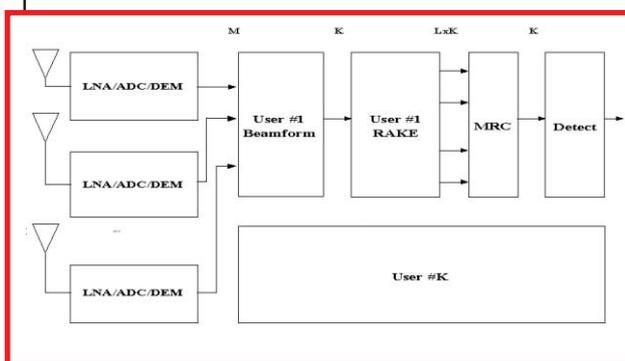


Fig. 5 - Schema a blocchi di un sistema di "smart antenna" basato sul beamforming

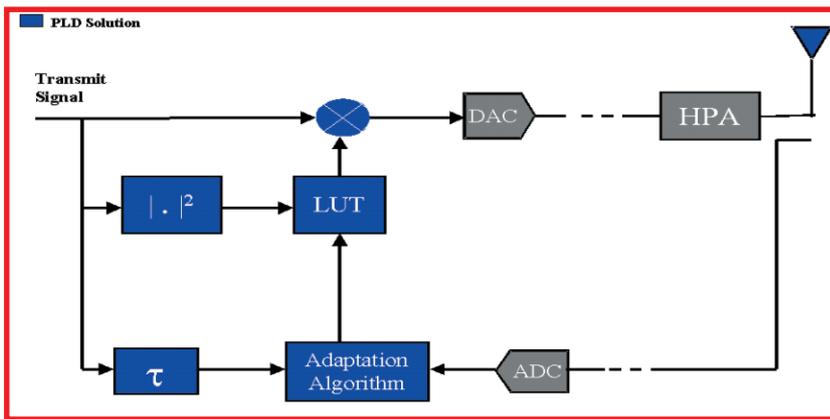
capace di adattarsi alle condizioni della radio.

Dirigendo il pattern di radiazione in maniera ottimale, è possibile incrementare la potenza utile ricevuta e ridurre contemporaneamente le interferenze.

dozione di tali metodi comporta un sensibile incremento delle prestazioni.

### "Smart antenna"

Un'antenna "intelligente" può essere definita come un'antenna che produce un pattern di radiazione che non è fisso, bensì

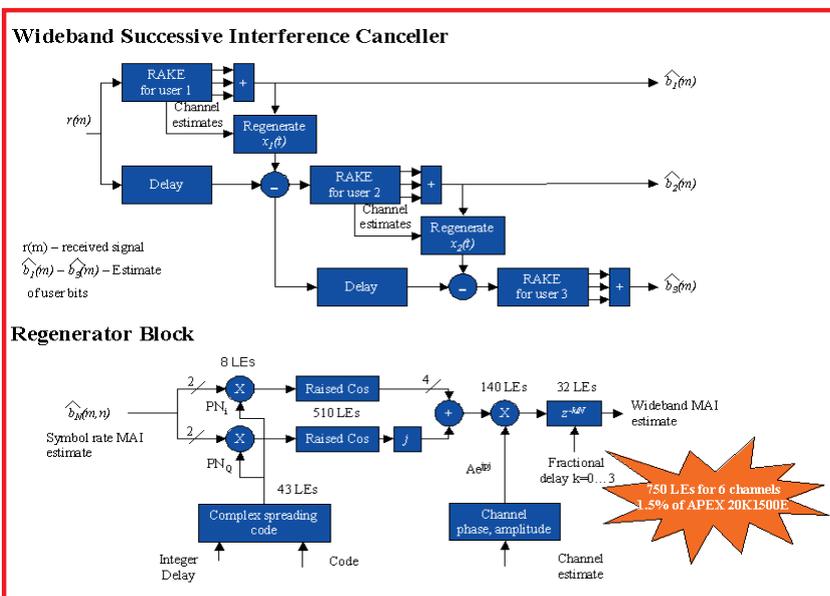


**Fig. 6 - Schema a blocchi funzionale di un sistema A-PD (Adaptive Predistortion)**

- Trasmissione a diversità (diversity transmit) ad anello chiuso
- STTD (Space Time Transmit Diversity)

Quest'ultima è una tecnica ad anello aperto, che applica un codice spazio tempo a due dimensioni mentre la prima (ad anello chiuso) sfrutta la retroazione dall'apparato mobile per determinare i pesi. La metodologia STTD comporta alcuni svantaggi, tra cui un aumento di complessità e la necessità di spaziare le antenne di 10 -

**Fig. 7 - Schema MUD e risorse di elaborazione del segnale**



20 lunghezze d'onda, che in alcuni casi può rappresentare un problema. Nel seguito dell'articolo si prenderanno in considerazione solamente le tecniche di trasmissione ad anello chiuso ( si veda l'apposito riquadro).

### ... e sul lato ricezione

Tenendo presente il fatto che la realizzazione del ricevitore non è legata a nessuno standard in particolare, è possibile far ricorso a diverse tecniche di "smart antenna". Nella figura 5 viene riportato il generico schema a blocchi di un sistema di "smart antenna" basata sul beamforming. In questo caso il beamforming viene eseguito prima della correlazione dei simboli. Poiché il beamforming viene eseguita alla velocità di trasmissione (chip rate), la parte hardware viene coinvolta in maniera notevole. Nella figura 5 a viene mostrato

un esempio di calcolo per una configurazione di beamforming adattativo.

Per calcolare i pesi adattativi sono disponibili parecchi algoritmi, tra cui uno dei più diffusi è quello denominato LMS (Least Mean Square Error). Dato che sono necessari i simboli pilota per il calcoli di nuovi pesi, l'aggiornamento di ciascun peso viene eseguito a una frequenza molto bassa (dell'ordine delle centinaia di Hertz). I calcoli dei pesi, in presenza di un numero limitato di utenti, possono essere eseguiti sfruttando il software che gira sul processore embedded Excalibur di Altera.

### Linearizzazione dell'amplificatore di potenza in RF

L'amplificatore di potenza (PA - Power Amplifier) è un elemento di basilare importanza nella catena di trasmissione, per cui deve soddisfare severi criteri in termini di prestazioni al fine di assicurare il rispetto delle specifiche da parte del sistema complessivo. Con l'avvento delle tecniche W-CDMA, tale compito diviene ancora più oneroso, in quanto l'amplificatore deve mantenere la linearità su un'ampiezza di banda più estesa e supportare, nel frattempo, un rapporto tra valori di picco e valor medio compreso tra 3 e 12 dB.

L'approccio tradizionale prevede l'impiego di amplificatori lineari, come ad esempio amplificatori in classe A, che vengono fatti funzionare in zona lineare, con il risultato di ridurre l'efficienza del sistema. Ciò produce anche una eccessiva dissipazione di potenza e un incremento dei costi.

Un'alternativa percorribile prevede l'impiego di tecniche di linearizzazione su amplificatori contraddistinti da un maggior grado di efficienza, come ad esempio quelli in classe AB o C. Per effettuare la linearizzazione è possibile ricorrere a numerose tecniche: la predisposizione digitale adattativa (A-PD), ad esempio, può consentire il rispetto delle specifiche previste per un trasmettitore W-CDMA. Nella figura 6 viene riportato lo schema a blocchi funzionale di un sistema A-PD.

## Algoritmo di predistorsione

Un sistema A-PD è equivalente a un circuito non lineare in cui la risposta all'espansione del guadagno risulta essere l'inverso della risposta alla compressione del guadagno di un amplificatore di potenza e la risposta di fase è l'opposto della risposta di fase dell'amplificatore di potenza. L'ampiezza ( $r$ ) e la fase ( $q$ ) per il sistema di predistorsione si possono calcolare sfruttando la seguente equazione:

$$A(\rho_x^2) = \begin{cases} \frac{1 - \sqrt{1 - \rho_x^2}}{\rho_x^2} & 0 \leq \rho_x^2 \leq 1 \\ 1 & \rho_x^2 \geq 1 \\ \frac{1}{\sqrt{\rho_x^2}} & \rho_x^2 \geq 1 \end{cases}$$

$$\Theta(\rho_x^2) = A(\rho_x^2) * \Theta(1), \Theta(1) = \pi/6$$

Per adattarsi ai mutamenti della risposta dell'amplificatore di potenza (dovuti ad esempio a variazioni di temperatura o all'invecchiamento), il sistema A-PD controlla l'uscita dell'amplificatore e aggiorna di conseguenza i valori nella tabella di ricerca (LUT). Esso calcola l'errore quadratico medio tra ingresso e uscita e calcola i nuovi pesi sfruttando l'equazione sopra riportata. Considerato che la costante di tempo della deriva nella risposta dell'amplificatore di potenza è molto lenta, l'algoritmo di aggiornamento può essere implementato sul software che gira sul processore embedded Excalibur di Altera.

## Rilevatore multi utente

La capacità di un sistema W-CDMA è limitata dalle interferenze, poiché ogni utente agisce alla stregua di un'interferenza rispetto agli altri. Migliore è la resistenza del sistema alle interferenze, maggiore sarà il numero di utenti che potrà essere servito. Le tecniche di tipo MUD (Multi-User Detection), che prevedono il rilevamento di più utenti e la rimozione dei loro segnali da quelli degli altri utenti permettono di ridurre l'effetto dell'interferenza da accesso multiplo e di aumentare quindi la capacità del sistema. Sebbene siano stati

implementati parecchi schemi MUD, l'argomento è ancora oggetto di discussione in quanto si tratta di un processo particolarmente oneroso per la parte hardware, il che rende difficoltosa l'implementazione pratica.

Parecchi schemi MUD prevedono il rilevamento di percorsi multipli di più utenti, la stima dell'intensità dei loro segnali e la rigenerazione di questi ultimi prima che vengano rimossi dai segnali degli altri utenti. Nella figura 7 viene proposto uno schema MUD e le risorse di elaborazione del segnale necessarie per la sua realizzazione.

In tali schemi si fa ampio ricorso a operazioni di correlazione e spreading. Poiché un PLD è in grado di eseguire centinaia di tali operazioni in parallelo, al contrario di quanto accade per un DSP di tipo general purpose che opera in modalità sequenziale, per l'implementazione di schemi MUD appare più vantaggioso l'uso di logiche programmabili.

## Considerazioni conclusive

Al fine di permettere la realizzazione di sistemi di terza generazione basati su tecniche W-CDMA, è necessario ricorrere a metodologie particolarmente avanzate, quali ad esempio "smart antenna" e schemi MUD. Pertanto risulta di basilare importanza la presenza di una piattaforma flessibile che disponga delle caratteristiche richieste per l'implementazione di tali sistemi. Un esempio di tale piattaforma può essere costituita da una combinazione di logiche programmabili e di processori embedded. Attualmente, la stragrande maggioranza di costruttori di apparecchiature 3G utilizzano PLD per la prototipazione dei loro sistemi. In considerazione delle doti di integrazione, flessibilità e time to market dei PLD con processori embedded, e della possibilità di passare a versioni programmate da maschera a costi decisamente competitivi, è probabile che un numero sempre maggiore di prodotti 3G beneficerà dei vantaggi legati all'uso delle logiche programmabili delle più recenti generazioni. 

Altera

Reader Service n° 14