

L'elaborazione matematica delle immagini

Image Processing Toolbox potenzia le funzionalità di Matlab a livello applicativo

Massimo Fiorini

Matlab è nato trent'anni fa principalmente per fare algebra lineare e questa è rimasta tuttora la sua maggiore vocazione, anche se negli anni molte caratteristiche applicative si sono evolute per adattarsi alle rinnovate esigenze degli utenti alle prese con funzionalità multimediali sempre più moderne e sofisticate. Dall'esordio del 1985 ad opera di alcuni neolaureati del MIT, il celeberrimo Massachusetts Institute of Technology, il tool ha conosciuto un continuo progresso nelle prestazioni, migliorate di diversi ordini di grandezza, anche grazie all'integrazione con il tool di simulazione e analisi matriciale Simulink. Matlab e Simulink consentono oggi d'implementare e sviluppare applicazioni prima impensabili quali lo studio dei meccanismi all'interno del cervello umano, l'analisi delle strutture chimiche e biologiche (fra cui c'è anche l'avventura dell'analisi delle tre miliardi di sequenze di DNA caratterizzanti il genoma umano), nonché il disegno delle applicazioni telecom dotate di complesse articolazioni funzionali e matematiche, come i sistemi di gestione per stazioni base wireless.

Tutto ciò è reso possibile dal nuovo Image Processing Toolbox 5 che consente l'analisi delle immagini a un livello applicativo ulteriormente perfezionato. In effetti, l'estrapolazione matematica delle immagini consente di comprendere tutti i dettagli contenuti nelle informazioni a disposizione, compresi i particolari che a prima vista non sono evidenti. Per esempio, se un sensore di visione si satura e altera significativamente le informazioni che registra, l'analisi matematica dei livelli di colore può



Fig. 1 - Matlab e Simulink hanno partecipato all'analisi delle tre miliardi di sequenze di DNA caratterizzanti il genoma umano

permettere di distinguere le informazioni veritiere da quelle fasulle e fornire dei suggerimenti utili a correggere la configurazione del sensore. Ciò significa, inoltre, che il tool è in grado di ricostruire accuratamente anche le forme proprie tridimensionali delle immagini. I prodotti The MathWorks offrono oggi un linguaggio interattivo ad alto livello realmente efficace a supportare lo sviluppo degli algoritmi per l'analisi dati, il calcolo numerico e la visualizzazione funzionale.

Uno strumento per le immagini

Matlab è il tool alla base di ogni task di elaborazione e comprende filtri numerici, motori statistici e algoritmi di analisi spettrale. Image Processing Toolbox 5 è lo strumento specifico per l'elaborazione immagini e comprende un set di algoritmi grafici dedicati per l'analisi, il filtraggio e la visualizzazione delle immagini. Le funzioni a menu consentono di decifrare le interferenze dovute al rumore ricostruendo le informazioni degradate, o mancanti, in modo tale da permettere il riconoscimento degli oggetti anche con dati parziali, o incompleti. La maggior parte delle funzioni è scritta in linguaggio standard Matlab, il che significa che si possono modificare i codici sorgenti e creare sottoprogrammi specializzati con qualsivoglia funzione matematica si renda necessaria.

Il Toolbox rappresenta uno strumento di grande utilità per gli ingegneri e i ricercatori di tutte le aree scientifiche fra cui la biometrica, la sensoristica, la sorveglianza, l'indagine genetica, la microscopia, il collaudo semiconduttori, la progettazione e lo studio dei materiali. Anche dal punto di vista dei terminali di acquisizione, il tool ne supporta un'ampia gamma fra cui camere digitali, telescopi, microscopi e sensori d'immagine nelle diverse tipologie (industriali, satellitari, aeronautici, medicali). Le immagini possono essere elaborate in forma numerica in differenti modalità e trasformate in virgola fissa o mobile per essere rappresentate in singola o doppia precisione con interi binari di 8, 16 oppure 32 bit.

Per catturare le immagini si comincia con l'Image Acquisition Toolbox; una volta acquisite, le immagini si possono organizzare con il Database Toolbox (in forma ODBC/JDBC) utilizzando i numerosi formati a disposizione, fra i quali vi sono i più noti Jpeg, Tif, Png, Hdf, Fits, Landsat (multibanda) e Dicom (medicali). Ci sono, inoltre, svariati algoritmi di filtraggio che possono essere usati secondo necessità prima, durante oppure dopo l'elaborazione dei segnali. Il filtraggio lineare permette, ad esempio, di equalizzare l'intensità e i colori dei pixel rimappando l'intervallo di variazione dinamica in modo da privilegiare l'evidenziazione di alcune caratteristiche rispetto ad altre, come tipicamente si fa per esaminare le caratteristiche termiche dei materiali. La conversione delle immagini può avvenire nello spazio dei colori a N dimensioni in diverse modalità fra cui RGB, YCrCb, XYZ, HSV e ICC, mentre le trasformazioni matematiche FFT, DCT, Radon e Wavelet sono determinanti per risolvere la codifica e l'eventuale compressione delle immagini, nonché per ricostruire correttamente la reale morfologia delle forme visualizzate.

Il linguaggio Matlab supporta le operazioni vettoriali e matriciali alla base di qualsiasi tipo di elaborazione numerica e matematica e, inoltre, consente di eseguire in forma hardware opera-

zioni che, altrimenti, richiederebbero cicli software decisamente lunghi. In pratica, una sola riga di codice Matlab può sostituire numerose linee di programmazione C o C++, permettendo comunque di lavorare con le istruzioni tradizionali quali operatori aritmetici, flussi di controllo, sottoprogrammi con programmazione orientata a oggetti (Object Oriented Programming, OOP) e funzionalità di debugging. Le potenzialità matematiche del tool sono note a tutti e consentono di risolvere elegantemente equazioni differenziali, equazioni alle derivate parziali, operazioni algebriche su matrici sparse, filtri di Fourier e analisi statistiche sui dati.

Applicazioni sofisticate

Matlab è stato usato dappertutto, ma il supporto per l'elaborazione immagini ne amplia senza dubbio le potenzialità applicative in ambiti finora poco approfonditi come le Brain Computer Interface per lo studio dei meccanismi neuronali, il Distributed Computing Engine per l'analisi delle immagini riguardanti il traffico o le Geospatial Application, il Rapid Prototyping Platform per la prototipazione nello sviluppo delle parti meccaniche (anche in ambito automotive).

Di recente, anche le industrie che progettano sistemi elettronici hanno concorso ad ampliare le potenzialità applicative di Matlab come, ad esempio, Xilinx e Altera che ne hanno sfruttato le doti matematiche per accelerare lo sviluppo dei sistemi DSP basati su FPGA, ossia il processamento digitale dei segnali tramite logiche programmabili. Invero, queste soluzioni hanno il grande pregio di semplificare il processamento di un gran numero di segnali in parallelo e permettere di realizzare schede per stazioni base composte da centinaia di moduli di elaborazione di linea, particolarmente convenienti tanto nei consumi quanto nei costi. Inoltre, la velocità di lavoro dei moderni FPGA è sufficientemente elevata per permettere di implementare tanto

le funzionalità in bandabase, quanto quelle a radiofrequenza, ovvero a banda larga, tipicamente poste vicino alle antenne. Fra le funzioni DSP realizzate su FPGA usando Matlab ci sono filtri di decimazione e interpolazione, filtri FIR, filtri polinomiali, codificatori/decodificatori Reed Salomon, di Viterbi e a convoluzione, inversione matrici e filtri di test, mentre le potenzialità di Simulink sono servite per simulare le funzioni hardware come fossero reali e correggere direttamente le imprecisioni. Inoltre, la programmabilità degli FPGA offre il valore aggiunto di rendere semplici e rapide le fasi di debug e verifica, il che significa ottimizzare le procedure di sviluppo e fabbricazione dei prodotti.

La soluzione ideata da Xilinx consente di

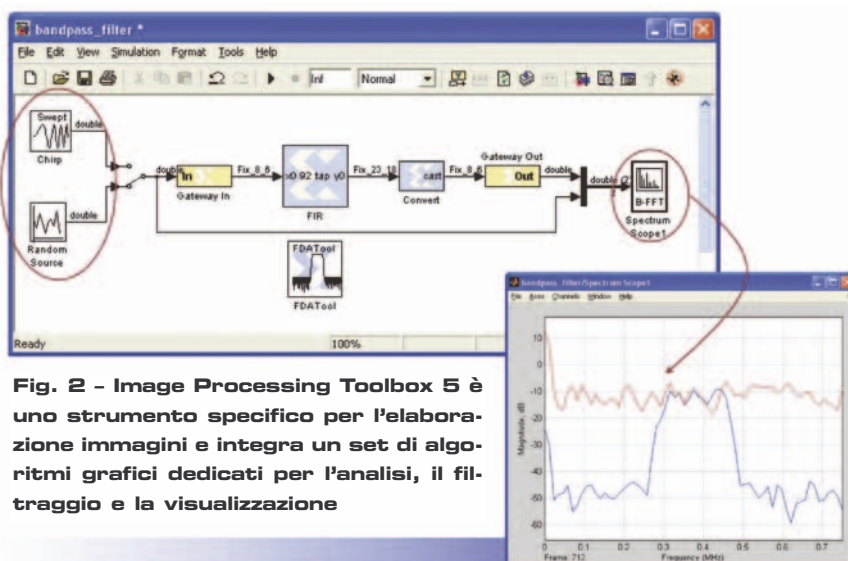


Fig. 2 - Image Processing Toolbox 5 è uno strumento specifico per l'elaborazione immagini e integra un set di algoritmi grafici dedicati per l'analisi, il filtraggio e la visualizzazione

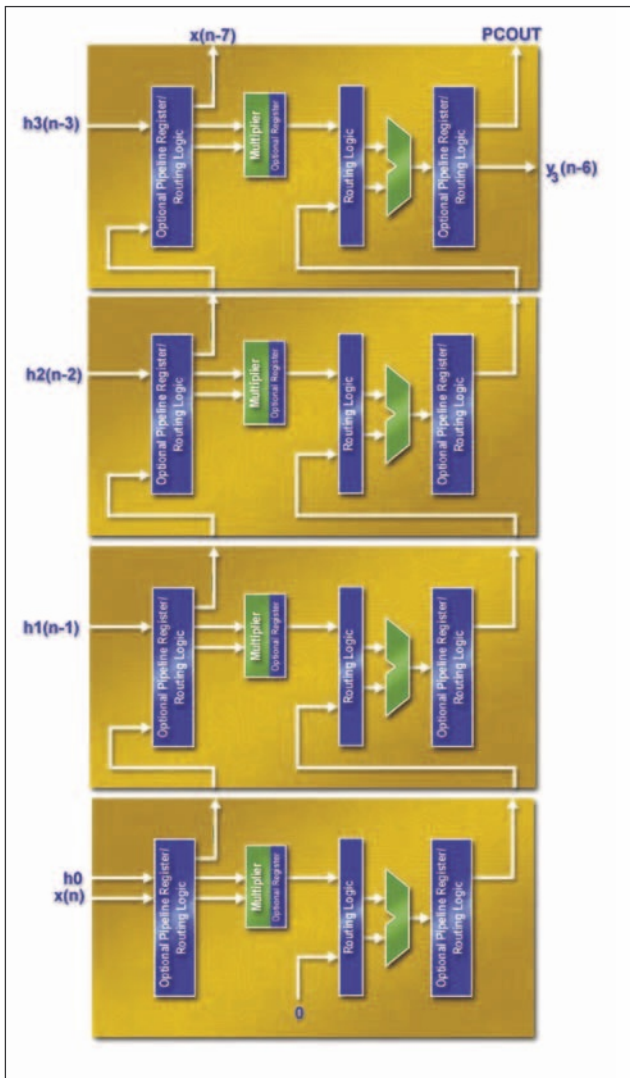


Fig. 3 - Matlab consente d'implementare i filtri matematici tipici dei processori DSP sugli FPGA ottenendo un'elevata efficienza di calcolo parallelo

Fig. 4 - Nei laboratori Xilinx è stato realizzato un DSP basato su un FPGA Virtex4 capace di eseguire 256 GMAC al secondo

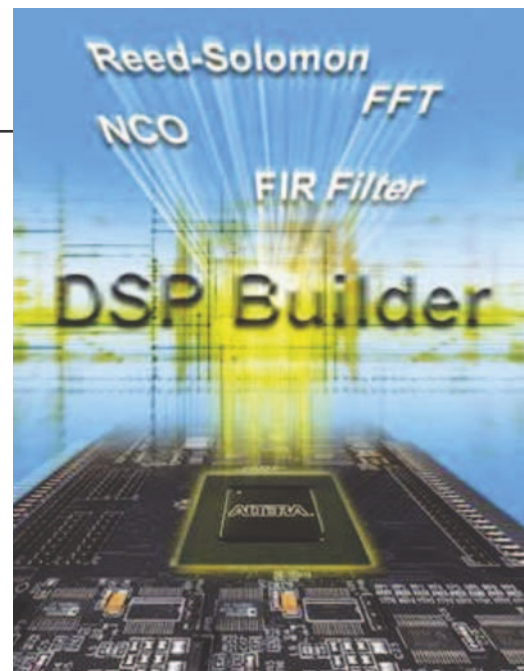


Fig. 5 - Altera ha utilizzato Matlab e Simulink per mettere a punto le prestazioni dei suoi FPGA Stratix e Cyclone

programmare gli FPGA per i sistemi wireless sfruttando le funzionalità sia di Matlab sia di Simulink con un elevato livello di astrazione, reso possibile dall'impiego del Xilinx System Generator for DSP. In questo modo gli esperti Xilinx hanno progettato l'intero schema di modulazione d'ampiezza in quadratura a 16 livelli e, in particolare nel sottosistema di trasmissione, i moduli di decodifica Reed-Solomon e Synchronization marker (ASM), la codifica per convoluzione, nonché la conversione seriale/parallela I/Q; il tutto anche in ricezione. La soluzione implementata ha consentito di generare automaticamente in codice VHDL/Verilog i collegamenti hardware sull'FPGA con accuratezza a livello del singolo bit e, inoltre, ha permesso di eseguire in un colpo solo la simulazione e la verifica a livello Hardware-In-the-Loop (HIL).

Utilizzando uno Xilinx Virtex4 4VSX55, per esempio, è stato realizzato un DSP da 500 MHz capace di eseguire 512 operazioni MAC in un singolo colpo di clock, il che significa 256 GMAC al secondo. Un'altra possibilità applicativa studiata dagli esperti Xilinx è la realizzazione su FPGA di coprocessori altamente specializzati e particolarmente ottimizzati per affiancarsi ai DSP forniti da Texas Instruments. In questo modo, alcune soluzioni Xilinx Virtex4 sono state sperimentate per i nuovi dispositivi Texas DaVinci.

Anche Altera ha utilizzato Matlab e Simulink per mettere a punto le prestazioni dei suoi FPGA Stratix e Cyclone e, anche in questo caso, sono stati conseguiti dei significativi vantaggi nell'implementazione delle applicazioni DSP su FPGA. La seconda generazione di FPGA Cyclone II è caratterizzata dal basso costo e da una dotazione particolarmente ricca con fino a 68k elementi logici, fino a 150 moltiplicatori 18x18, fino a 1 Mbit di memoria e da 2 a 4 PLL embedded. Tanto nei Cyclone quanto negli Stratix sono stati implementati moduli hardware e software DSP interamente verificati con Simulink.

The MathWorks
readerservice.it n. 33