

L'incessante crescere del numero delle funzioni integrate nei sistemi impone l'adozione di tecniche di collaudo più efficaci, come la FPV

La verifica delle proprietà formali

Limor Fix
Principal Engineer - Intel

L'imperante crisi della validazione nei progetti hardware ha costretto le aziende produttrici di tool EDA a cercare nuove idee. Negli anni più recenti si è imposta come innovazione rispetto alle attuali tecniche di validazione la Formal Property Verification, o verifica delle proprietà formali. Sebbene la tradizionale verifica formale sia tuttora molto diffusa, la nuova tecnologia si sta imponendo perché mostra di essere più potente in molte situazioni progettuali.

I limiti della verifica formale

La notorietà delle tecniche di verifica formale è direttamente proporzionale all'aumento della complessità nei circuiti a semiconduttore. Oggi i sistemi ASIC ospitano milioni di porte logiche, mentre le più potenti CPU sono composte da centinaia di milioni di elementi circuitali ed è diventato un vincolo tassativo essere sicuri che un determinato sistema-su-silicio soddisfi tutte le specifiche imposte in fase progettuale, prima di iniziarne la fabbricazione per volumi. D'altra parte, a causa del continuo complicarsi dei circuiti, la verifica funzionale è diventata oggi il maggior collo di bottiglia dell'intero ciclo di sviluppo. Le statistiche mostrano chiaramente che

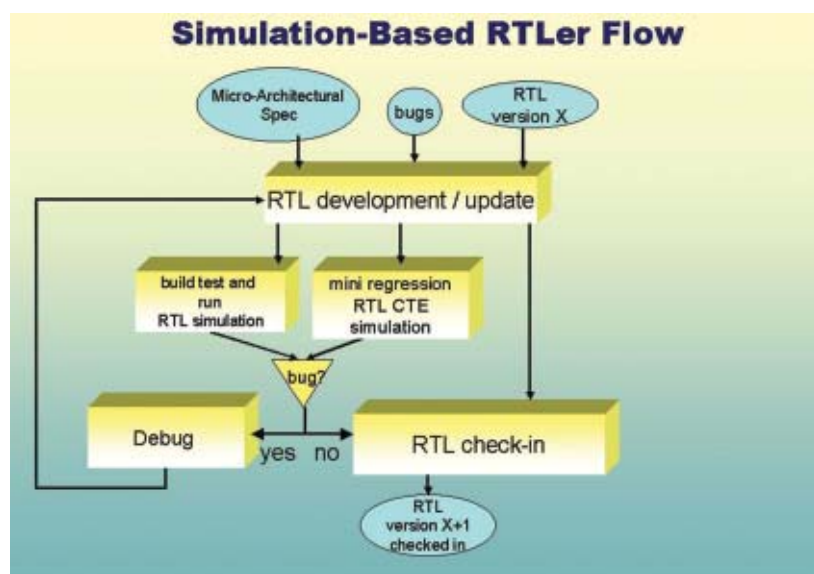


Fig. 1 - Una comune simulazione basata su un ciclo di istruzioni RTL

occupa sempre dal 50% al 70% del tempo totale richiesto per uno sviluppo e che deve essere, nella quasi totalità dei casi, eseguita con strumenti di simulazione piuttosto complessi. Inoltre, la probabilità di riuscire a testare realmente tutte le funzionalità di un sistema formato da milioni di elementi circuitali è purtroppo mediocre.

Infiniti cicli di verifica possono protrarsi senza ottenere risultati accettabili. Per esempio, alcune ore di simulazione riescono appena a coprire pochi secondi di operazioni standard in una moderna CPU. Il problema è che ci sono miliardi di combinazioni possibili per i dati in transito e gli strumenti riescono,

di volta in volta, a simulare solo una piccola porzione di tutte le prestazioni del sistema. Di conseguenza, il progettista è costretto a scegliere di non simulare alcune caratteristiche meno influenti sulle prestazioni per contenere il budget di spesa relativo alla fase di sviluppo, rischiando però di trascurare qualche parametro che invece poi potrebbe risultare critico nel funzionamento o nel ciclo vitale dei prodotti.

La necessità di un nuovo approccio più completo alla fase di verifica funzionale ha portato alla nascita della verifica formale. In generale, tale verifica serve ad analizzare matematicamente le funzioni operative di un sistema, effettuando un

collaudo più affidabile rispetto alla tradizionale simulazione. Precisamente, la verifica formale esplora sistematicamente tutte le prestazioni del sistema, comprese quelle invisibili alle altre tecniche ed è applicabile tanto ai moduli quanto alle interconnessioni fra i moduli, su diversi livelli di astrazione. Inoltre, è in grado di estrarre le caratteristiche temporali dei segnali, testare i processi concorrenti e anche quelli che hanno una qualsiasi mutua relazione temporale

Ciò che distingue la verifica delle proprietà formali dalle tecniche di verifica formale più tradizionali è l'abilità nel trovare gli errori "comportamentali" e certificare quindi con efficacia il corretto comportamento dei sistemi, andando oltre ciò che si può sperare dai migliori simulatori e garantendo un collaudo ad alto livello molto più completo e sicuro.

Una scelta conveniente

Nonostante i numerosi benefici, le tecniche di FPV hanno alcune precauzioni d'uso. Innanzitutto, all'inizio sono state sviluppate in forma proprietaria come soluzioni specifiche e interne alle poche aziende con grandi volumi pro-

duttivi, mentre è solo da poco che sono state prese in considerazione dai produttori di tool EDA. Questi ultimi le hanno dato una forma standardizzata e quindi hanno cominciato a integrarle nelle loro suite di strumenti per il progetto, lo sviluppo e il collaudo dei sistemi. Permangono tuttavia ancora delle incertezze diffuse fra gli utilizzatori, che è necessario risolvere prima di poter attendere l'affermazione delle tecniche di FVP come approccio di riferimento nelle esigenze di collaudo e verifica.

Per sostituire le attuali costose tecni-

che di validazione basate sulla simulazione con le nuove tecniche di verifica delle proprietà formali occorre considerare tre parametri:

1. le istruzioni per la FPV possono essere progettate molto più facilmente di quelle per la simulazione;
2. il debug sui risultati della FPV è più facile;
3. i risultati della FPV possono essere quantificati per ottenere una misura precisa del grado di completezza raggiunto nella verifica.

Si può dimostrare ognuno di questi tre importanti vantaggi.

1. Lo sviluppo delle istruzioni è un fattore determinante nel successo di qualsiasi tecnica di verifica e ciò naturalmente vale anche per la FPV. Usando questa tecnica, nondimeno, è importante fare attenzione nell'assumere le specifiche più adatte a garantire la corretta accuratezza nell'esaminare tanto le prestazioni del sistema, quanto il suo comportamento in risposta alle sollecitazioni impreviste. Se le proprietà della FPV sono definite in modo da essere aggiornabili, ne esce la possibilità di modificare facilmente i termini della verifica anche nel corso di uno sviluppo allorquando si cambino le specifiche funzionali del progetto iniziale, il che non è infrequente.

D'altra parte, nel corso degli anni è stato sperimentato che è molto più conveniente se la manutenzione delle istruzioni FPV viene affidata al gruppo dedicato al progetto delle istruzioni

Ciclo di sviluppo e crescente affermazione della verifica FPV

Ci sono tre stadi di sviluppo nei quali le tecniche FPV si affermano progressivamente. All'inizio, per il collaudo dei prodotti, il team di progettisti si avvale esclusivamente delle tradizionali tecniche di simulazione. Poi, decide di implementare una tecnica di verifica delle proprietà formali a fianco della normale simulazione, in modo da poterne vagliare pro e contro. Finalmente, la tecnica FPV conquista il team e viene adottata come tecnica di collaudo e validazione principale.

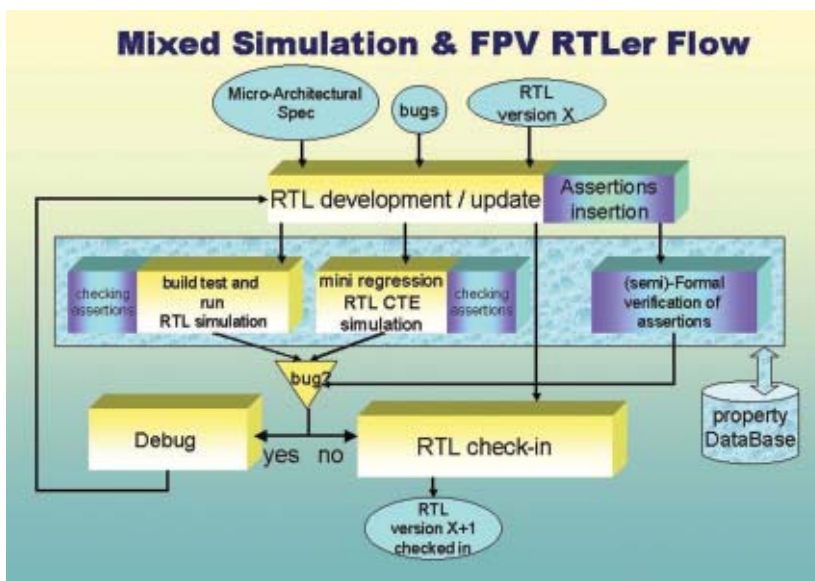


Fig. 2 - Un ciclo di sviluppo che unisce una tecnica FPV insieme a una tecnica di simulazione. Le due metodologie non si escludono a vicenda, anzi si supportano lavorando in parallelo

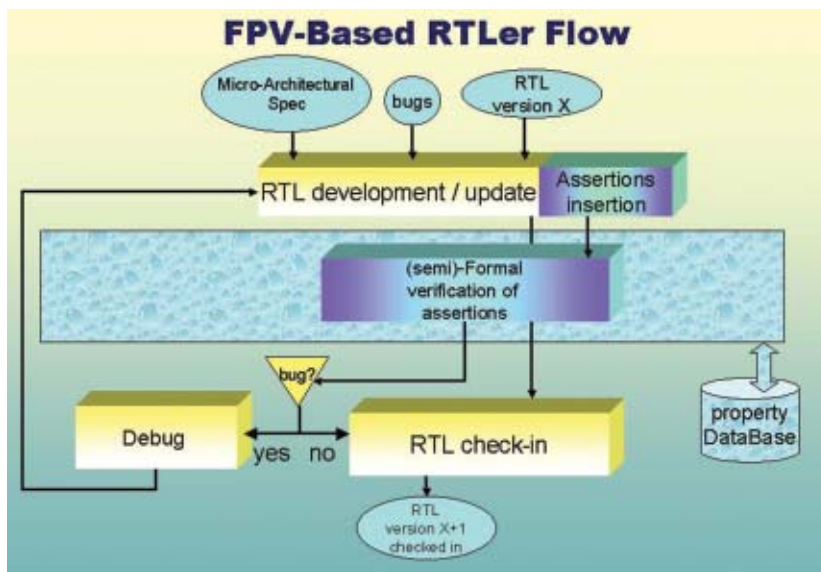


Fig. 3 - Un esempio di validazione eseguita totalmente con una tecnica di verifica formale delle proprietà

RTL, piuttosto che al gruppo che si occupa della validazione. Infatti, fra i due gruppi, è il primo che si occupa delle funzionalità hardware e conosce più da vicino i dettagli di progetto: può pertanto apporre le eventuali modifiche alle specifiche FPV con maggior efficacia.

Di recente gli sforzi delle industrie si sono rivolti allo sviluppo di una metodologia standard in grado di permettere la scrittura delle istruzioni FPV nei cicli di progetto, un obiettivo considerato fondamentale per l'affermazione delle nuove tecniche di verifica FPV. A questo scopo sono stati introdotti e implementati alcuni concetti che sono alla base del successo della FPV:

- l'estrazione automatica delle proprietà funzionali avviene durante il concepimento e il disegno del progetto;
 - l'uso delle librerie di proprietà permette di nascondere alcune in forma embedded all'interno del codice RTL;
 - lo sviluppo delle proprietà tipiche delle interfacce e delle funzioni che interessano le interfacce è più esplicito e, quindi, più semplice e sicuro;
 - ogni singola proprietà progettata per un particolare blocco funzionale può essere riutilizzata anche negli altri blocchi ricopiandone la struttura.
- Tutti questi vantaggi sono determinan-

ti per minimizzare tempo e fatica nello sviluppo delle istruzioni FPV.

2. Il debug è un altro aspetto critico nel quale sono stati fatti importanti passi avanti. Il debug delle istruzioni FPV implica due fasi denominate rispettivamente False-Negative e True-Negative. In generale, il debug di un sistema FPV può produrre uno stato che indica l'avvenuta correttezza della verifica di una proprietà, oppure una traccia, la quale indica un possibile errore di progetto (bug) nel sistema che può essere dei due tipi: FN e TN. Una traccia True-Negative mostra chiaramente l'esistenza di un difetto, al quale l'operatore pone rimedio correggendo nel modo opportuno il relativo codice RTL.

Se la traccia è del tipo False-Negative, allora il debug non ha scoperto un vero e proprio difetto funzionale, ma sta segnalando la presenza di un comportamento anomalo, ovvero non indicato nelle specifiche. Qualche tempo fa ciò costringeva l'operatore a mettersi a caccia della causa all'origine dell'anomalia, con un ingente dispendio di tempo ed energie. Fortunatamente, sono stati fatti molti passi avanti in proposito e ora questo lavoro viene svolto quasi totalmente in modo automatico, con un minimo intervento da parte dell'operatore. In realtà, si tratta di uno dei

vantaggi più eclatanti delle tecniche FPV, soprattutto in termini di accelerazione del time-to-market nella messa a punto dei nuovi prodotti.

3. La completezza dei risultati è la terza forte motivazione che può influire nel favorire una maggior diffusione delle tecniche di verifica delle proprietà formali. Il concetto è simile a quello della copertura funzionale nei test di simulazione. Effettuando una verifica, infatti, è fondamentale avere una misura del livello di qualità raggiunto, ovvero un indicatore sicuro sulla correttezza di funzionamento di tutte le componenti del sistema. Misurare la completezza funzionale di un sistema significa verificare che siano soddisfatte tutte le possibili opzioni di funzionamento e assicurarsi che tutte le ipotesi imposte siano corrette.

All'attuale stato dell'arte delle tecniche FPV la completezza dei risultati è buona, ma migliorabile.

Un futuro promettente

Al crescere della domanda di metodologie che consentano di eseguire la verifica dei moderni sistemi a elevata complessità in modo sempre più rapido ed efficace, aumenta fra gli operatori l'affermazione e la diffusione delle tecniche FPV. I sostanziali passi avanti compiuti nella costruzione delle istruzioni e nel debug, insieme agli evidenti progressi registrati nella completezza dei risultati hanno contribuito ad accrescere il valore aggiunto delle tecniche FPV fino a farle diventare un argomento di discussione in svariate conferenze del settore, fra cui la 41esima Design Automation Conference svoltasi a giugno di quest'anno a San Diego, in California.

Nel corso della manifestazione, infatti, sono stati presentati diversi contributi tecnici e scientifici sull'argomento, compresi alcuni report sul grado di diffusione delle tecniche FPV fra i produttori di tool EDA, che hanno dimostrato l'effettiva crescente affermazione di quest'innovativa tecnologia.

Intel
readerservice.it n. 51