

Laser Dynamics Simulation using Cellular Automata

Progetto di Dispositivi per la Trasmissione dell'Informazione

Obiettivo del progetto

L'obiettivo del progetto è simulare le dinamiche del materiale attivo di un laser utilizzando un modello algoritmico, ovvero un *automa cellulare*. L'automa cellulare è un modello che segue delle regole semplici e precise, e, se fatto evolvere nel tempo, permette di poter simulare con sufficiente dettaglio modelli fisici e matematici molto complessi. Come appunto, le equazioni differenziali alla base della descrizione della fisica di un laser.

Sviluppo del progetto e del modello di simulazione

Siamo partiti seguendo il paper^[1] fornito, replicando su Matlab il modello dell'automa e predisponendo una serie di script per diverse simulazioni. La simulazione principale è volta a rappresentare l'evoluzione nel tempo di:

- Inversione di popolazione
- Fotoni emessi per emissione stimolata
- Rumore generato per emissione spontanea

Abbiamo successivamente sviluppato autonomamente un modello leggermente più sofisticato: abbiamo modificato la regola di generazione del rumore separando l'effetto di eccitazione termica degli elettroni e quello di emissione spontanea, responsabile del rumore. Il risultato è stato una maggior precisione nella rappresentazione della variabilità degli effetti di rumore nel tempo.

Grafici simulati

Le simulazioni successive sono state volte a trovare la relazione tra i tempi di vita della cavità, tempi di vita dei portatori e la soglia minima del pumping rate per avere azione laser.

Basandoci sul contenuto e sui parametri descritti nel secondo paper^[2], siamo riusciti a simulare correttamente la diminuzione della soglia minima del pompaggio all'aumentare del tempo di vita della cavità. Invece il tempo di vita dei portatori appare costante indipendentemente dal tasso di pompaggio, in disaccordo con le simulazioni mostrate sul *paper*. Nessuna variazione di alcun parametro ha evidenziato l'andamento decrescente atteso del pompaggio di soglia in funzione del tempo di vita dei portatori. Supponiamo che non siano presenti sufficienti informazioni per riprodurre con accuratezza i grafici di soglia.

Caratteristica di un laser

Siamo inoltre riusciti a simulare un equivalente della curva della caratteristica *corrente - intensità luminosa*, sostituendo l'intensità di corrente con la probabilità di pompaggio e l'emissione luminosa con il numero medio di fotoni emessi nel tempo. È possibile osservare la *gobba* (ovvero saturazione a regime) per valori di pompaggio molto alti, a causa della saturazione di guadagno del laser.

Funzionamento del modello e ipotesi semplificative

Le ipotesi di funzionamento del modello dell'automa cellulare tentano di replicare il funzionamento fisico del laser. Tuttavia, ci sono alcuni parametri fisici reali che non possono nella pratica essere utilizzati nella simulazione. Ad esempio, il reticolo usato per il posizionamento di elettroni e fotoni è ideale, e non tiene conto delle interazioni fra gli atomi del materiale attivo. È richiesto inoltre che il tempo di simulazione totale sia molto maggiore delle costanti di tempo utilizzate.

Complessità computazionale

La velocità di computazione per le simulazioni su Matlab è stato un ostacolo perché le simulazioni per trovare la soglia di pompaggio sono molto più onerose da un punto di vista computazionale. Per cui abbiamo tradotto il codice Matlab in codice Java, ottenendo infatti un sostanziale aumento delle performance di calcolo, permettendoci di eseguire simulazioni piuttosto pesanti in molto meno tempo. Le simulazioni in Java eseguite hanno riportato risultati numerici, poi esportati e plottati su Matlab.

Approccio concreto

La parte finale del progetto è stata volta a *de-normalizzare* i numeri dei parametri usati, per permettere di attribuire unità di misura fisiche per simulazioni più realistiche. In questo modo un utente può scegliere arbitrariamente i parametri del laser, e non preoccuparsi dell'implementazione interna del simulatore e dell'automa cellulare. Vengono inoltre suggeriti all'utente le unità di misura e le grandezze per ogni parametro di simulazione richiesto. In particolare, la probabilità di pompaggio viene calcolata a partire da alcune formule esposte nel paper di riferimento^[2] (sono ragionevoli approssimazioni del comportamento a regime dei laser).

Conclusioni

L'implementazione del simulatore ci ha permesso di visualizzare la dinamica di un laser, portandoci ad identificare sui grafici con chiarezza i parametri e i fenomeni che entrano in gioco nelle *rate equations* di un laser.

Bibliografia:

- [1] [Laser Dynamics Modelling and Simulation: An Application of Dynamic Load Balancing of Parallel Cellular Automata](#)
- [2] [Cellular automaton model for the simulation of laser dynamics](#)

Autori del Progetto:

Simone Giampà

Francesco Panebianco