Parte 4

Modello AST: il Perl

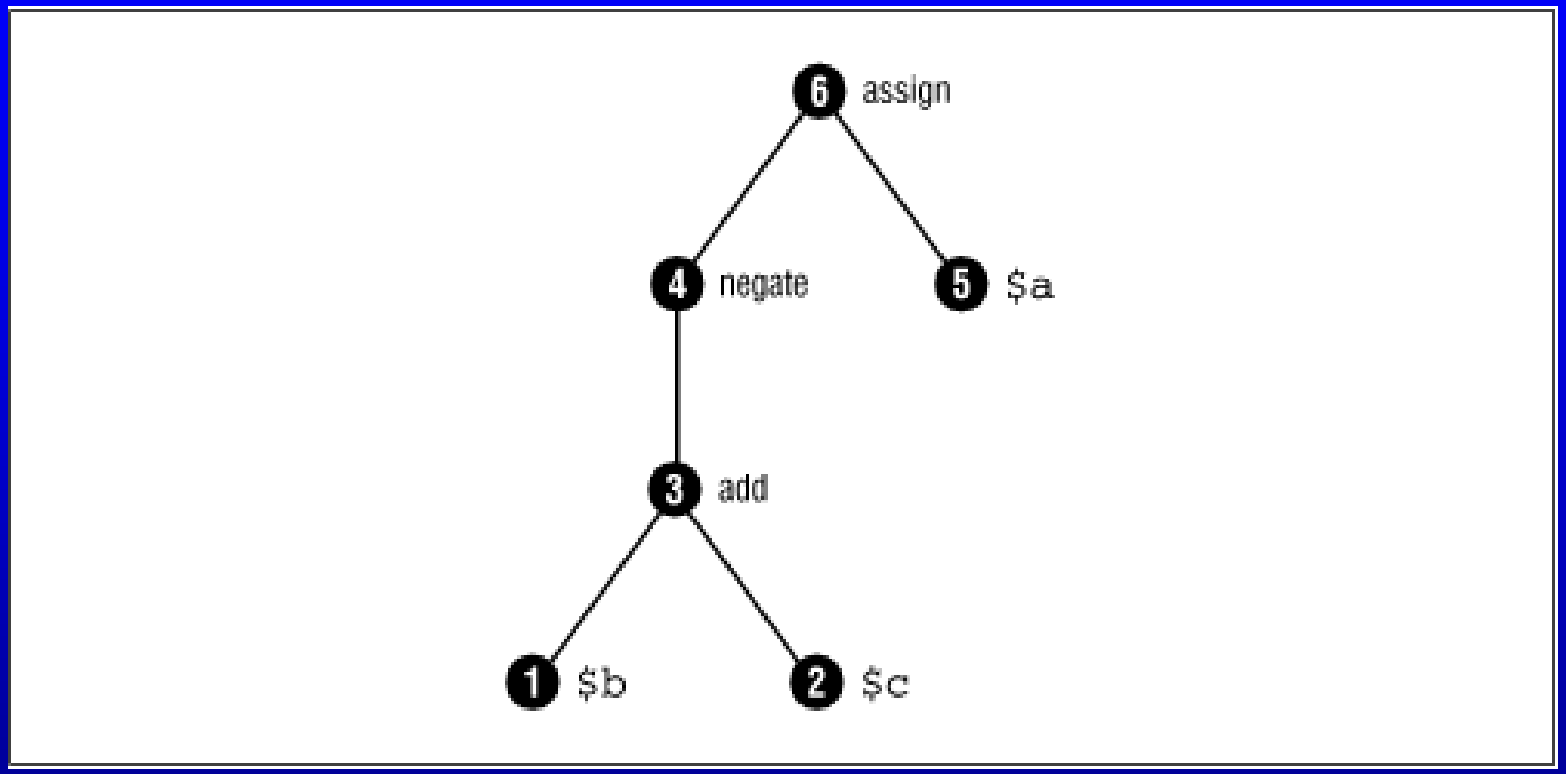
Ciclo di vita di un programma Perl

- **Modello di esecuzione: Abstract Syntax Tree**
  - **Compilazione + interpretazione**
- **Entrambe le fasi sono gestite dall'eseguibile Perl (*interprete Perl*)**
- ***Compilatore***
  - **Produce un AST**
- ***Interprete***
  - **Prende in input un AST e lo esegue**
  - **Esegue operazioni primitive del Perl (*opcode*) secondo un ben preciso ordine**
    - **Interprete → esecutore di opcode**

Regole di costruzione dell'AST

- La costruzione dell'AST deve soddisfare due requisiti fondamentali:
  1) elencare gli opcode
  2) specificarne l'ordine di sequenza
- L'AST è un albero in cui:
  - ogni nodo non foglia è un opcode interno del Perl (eseguibile in una istruzione dall'interprete)
  - ogni nodo foglia è un operando
  - l'ordine di visita indica la precedenza degli operatori: visita in post-ordine (prima il sottoalbero sinistro, poi quello destro, poi il nodo radice)

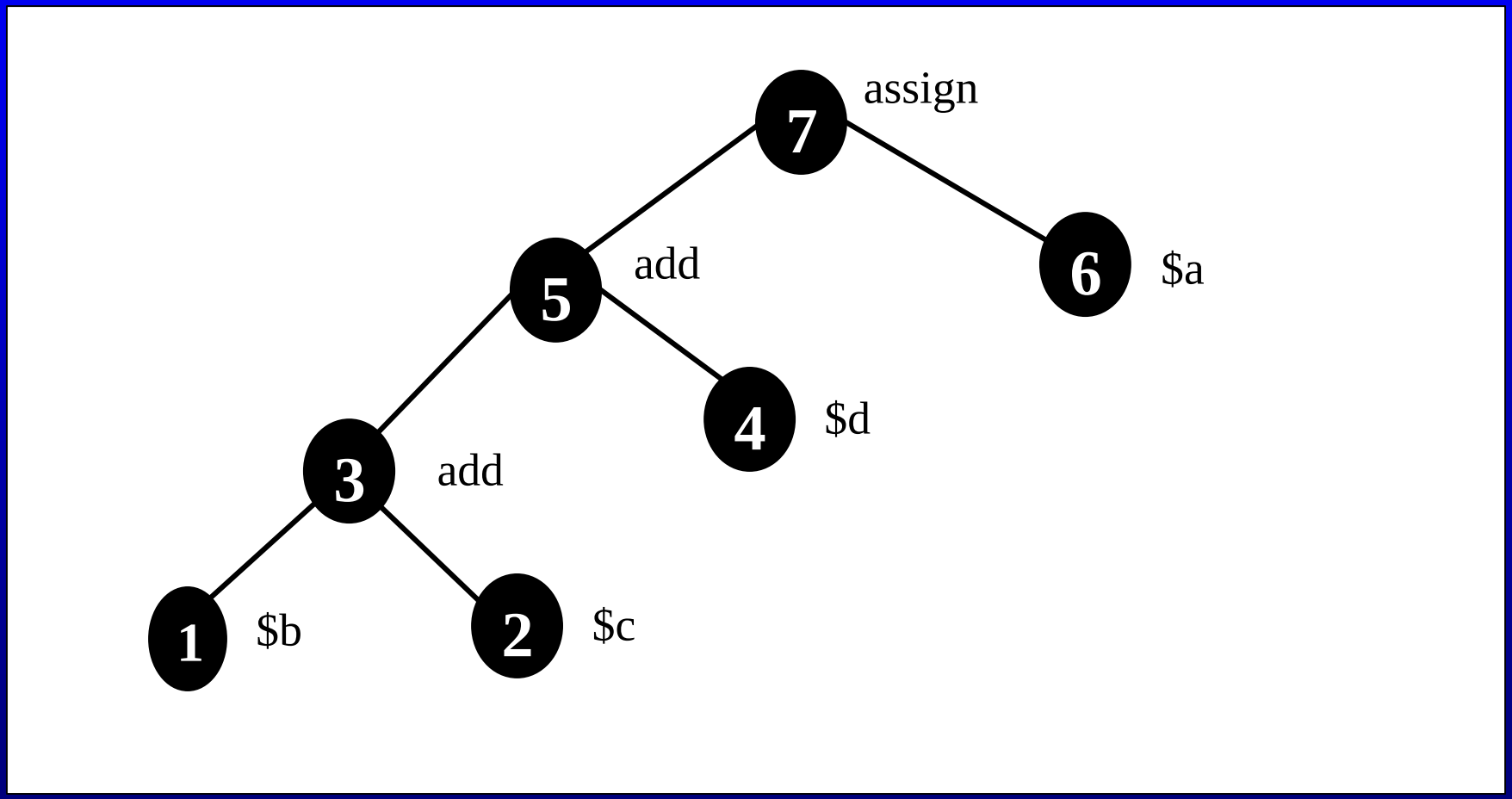
Esempio



AST associato allo statement
$a = -($b + $c)

Altro esempio

- **Statement: $a = ($d + ($b + $c))**



Compilazione

Durante **la fase di compilazione**

1) **Si effettua l'analisi del programma per determinare la presenza di eventuali errori**
   - **Analisi lassicale, sintattica e semantica (type checking parziale: nessun controllo di dichiarazione, identificazione di tipo limitata a valori costanti o già noti)**
2) **Può essere eseguito codice**
   - **Direttiva use per il caricamento dei moduli: è interpretata subito dopo la sua scansione**
   - **Blocchi di codice contrassegnati con particolari parole chiave (ad es. BEGIN) sono interpretati ed eseguiti subito dopo la loro scansione**

Analisi

L'analisi avviene tramite l'uso di tre moduli distinti

- **Lexer: identifica i token all'interno del codice sorgente (*lex*ical analyz*er*)**
- **Parser: associa gruppi contigui di token a costrutti (espressioni, statement) in base alla grammatica del Perl (analisi sintattica e semantica)**
- **Optimizer: riordina e riduce i costrutti prodotti dal parser, con l'obiettivo di produrre sequenze di codice equivalenti più efficienti**

NOTA: nel Perl la fase di ottimizzazione viene inserita all'interno dell'analisi che produce l'AST

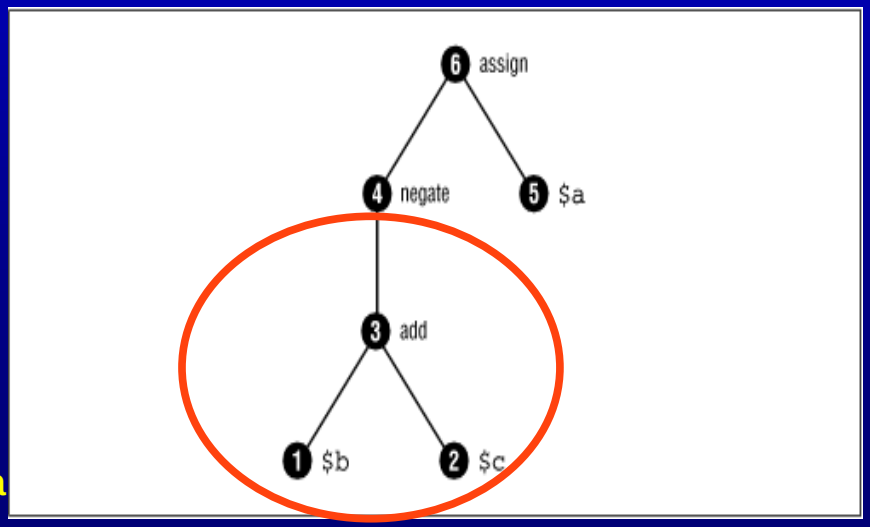
Analisi

- I moduli Parser e Optimizer sono responsabili della costruzione dell'AST e della sua ottimizzazione attraverso 3 fasi:
  - *Bottom-Up Parsing, Top-Down Optimizer, Peephole Optimizer*
- Non tutte le fasi sono sequenziali e consecutive: alcuni passi sono interallacciati
  - Es. l'optimizer a volte non può entrare in azione fino a quando il parser non ha raggiunto un certo punto nella costruzione dell'albero
    - Elaborazione di espressioni, blocchi o subroutine (parti dell'albero AST)

Bottom-Up Parsing

Fase Bottom-Up Parsing

- Il parser riceve in ingresso i token prodotti dal lexer dai quali costruisce l'AST
- Il parsing è di tipo "bottom-up" perché l'AST viene costruito partendo delle foglie
  - *$a = -($b + $c)*
  - *Considero $b e $c (operandi) poi add che rappresenta l'opcode radice del primo sottoalbero di sinistra*



Bottom-Up Parsing

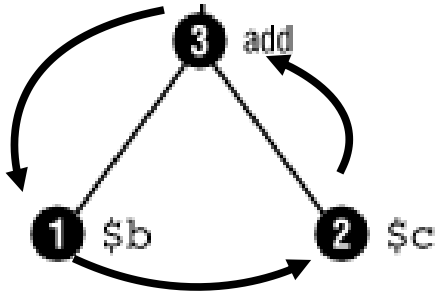
Fase Bottom-Up Parsing

- Dopo la costruzione di un nodo non foglia (opcode) – realizzazione di un sottoalbero - si verifica se la semantica dell'opcode relativo è congruente (ad es., numero corretto di parametri per una funzione o per un operatore)
- Poi si costruisce l'ordine di visita dei nodi per quel sottoalbero
- L'ordine di visita
  - Viene memorizzato nell'AST stesso (puntatori)
  - Memorizzazione necessaria per garantire maggior efficienza all'interprete

Ordine di visita

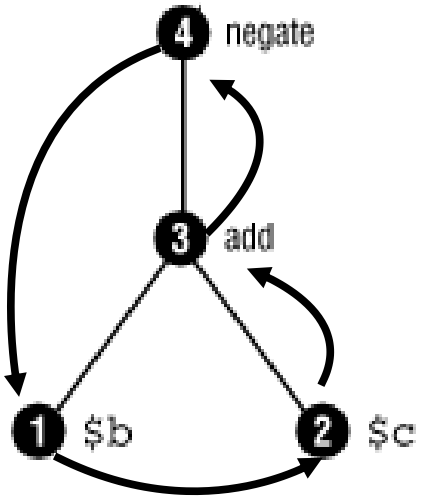
- **Non appena un sottoalbero dell'AST è generato, viene creata una *struttura ciclica* che collega i nodi secondo l'ordinamento di esecuzione (visita in post-ordine) a partire dalla radice**
  - **Il nodo radice viene collegato al primo nodo da visitare, poi il primo nodo da visitare viene collegato al secondo nodo da visitare, *e così via***
  - **Quando viene aggiunto un altro *sottoalbero AST al precedente*, il ciclo radice-primo nodo si spezza, e viene ricostruito con il nuovo albero**
- **In questo modo l'interprete potrà individuare il prossimo nodo da visitare in maniera efficiente, (costo (O(1)) a partire dal nodo radice**

Esempio



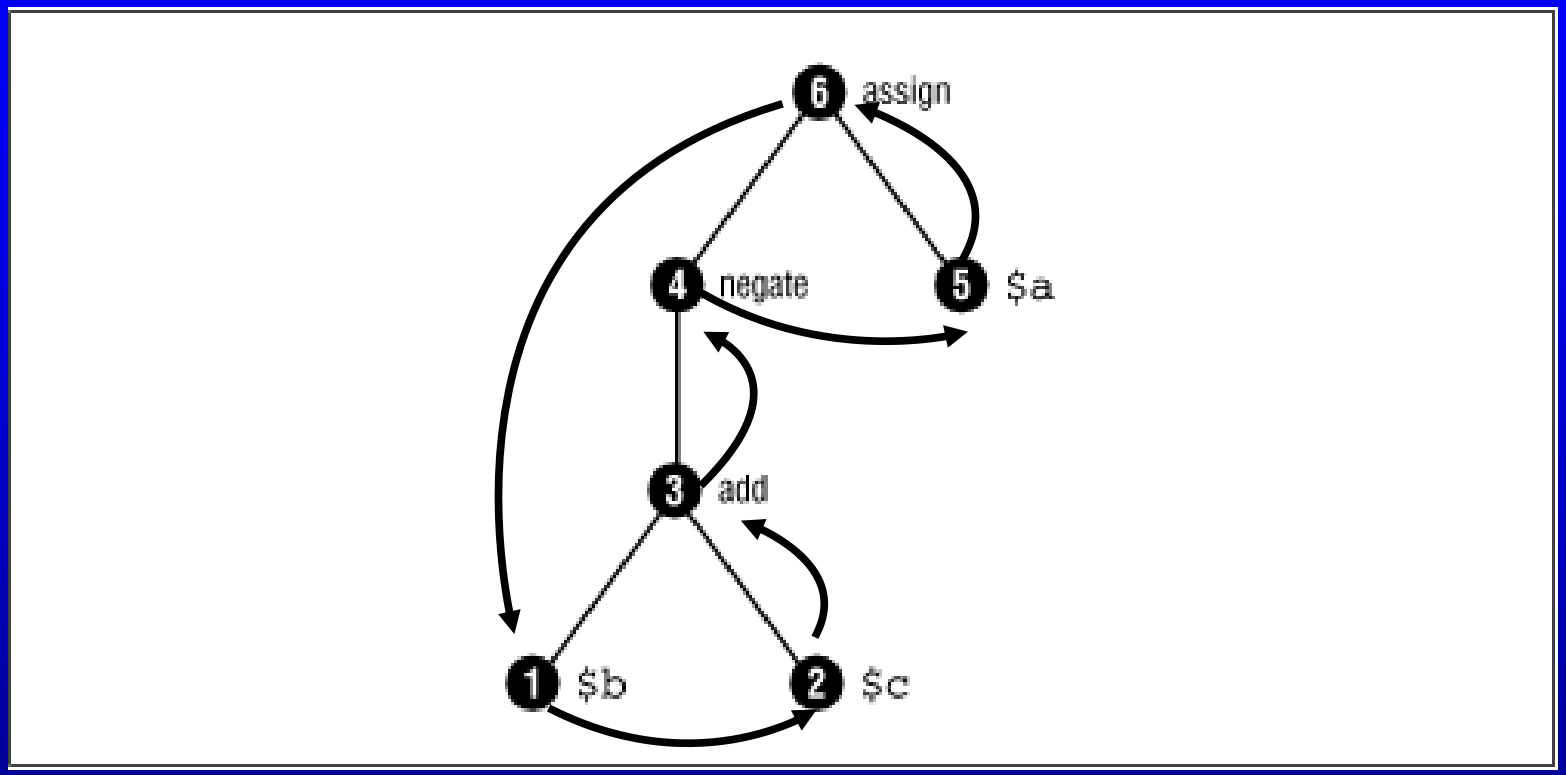
Costruzione dell'AST associato allo statement
$a = -($b + $c)

Esempio



Costruzione dell'AST associato allo statement
$a = -($b + $c)

Esempio



Costruzione dell'AST associato allo statement
$a = -($b + $c)

Top-Down Optimizer

- **Fase Top-down Optimizer**
  - **Fase interallacciata con la precedente**
  - **Non appena un sottoalbero dell'AST viene prodotto, viene scandito dalla radice alle foglie per eventuali ottimizzazioni**
    - **Si tratta di ottimizzazioni locali**
    - **Context propagation: una volta identificato il "contesto" di un nodo, esso viene propagato verso il basso ai nodi figli (top-down)**
      - **Es. identificazione del tipo del valore di ritorno di una funzione:**

        substr(foo(), 4, 5) → foo() restituisce una stringa

        [sintassi: substr(expr, offset, length)]

Peephole Optimizer

- **Fase Peephole (*spioncino*) Optimizer**
  - **Ottimizzazione su porzioni di codice piccole**
  - **Fase che inizia dopo la costruzione dell'AST**
  - **Il peephole optimizer percorre l'albero seguendo il flusso di esecuzione (segue la struttura dei next-opcode) e considera piccole porzioni di albero per cercare di semplificare/ridurre gli opcode**
    - **ES. Porzioni di codice che hanno uno spazio di memorizzazione locale per le variabili: singole subroutine**

Peephole Optimizer

- **Fase Peephole (*spioncino*) Optimizer**
  - **Il peephole optimizer può effettuare diversi tipi di ottimizzazione su piccole porzioni di codice**
  - **Strength reduction: rimpiazza operazioni "lente" con operazioni equivalenti e più veloci**
    - **Esempio:**

    mul ax,2 → shift_left ax
  - **Null sequences: elimina operazioni inutili**
    - **Esempio:**

    mov r0, i; […]; mov i, r0 → mov r0, i

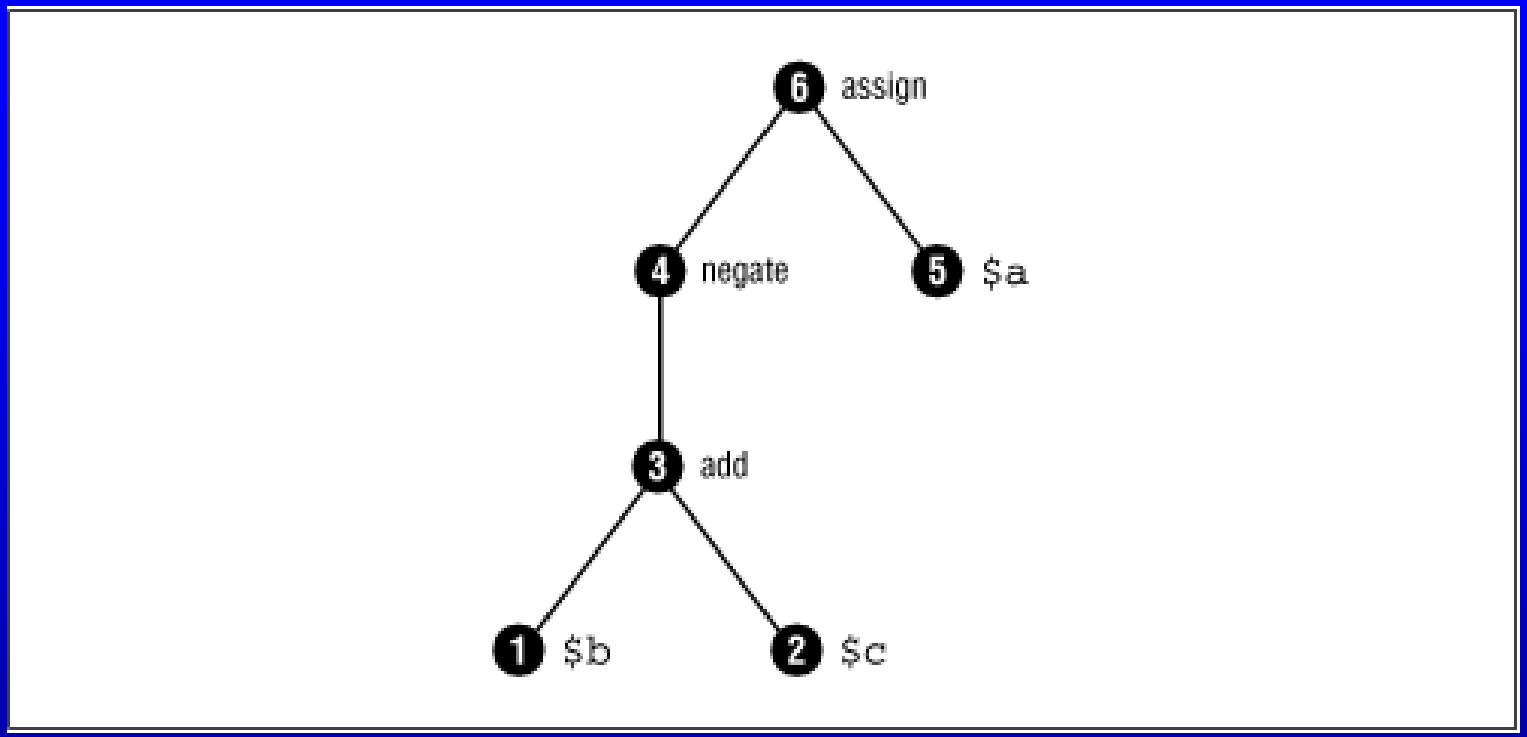
Peephole Optimizer

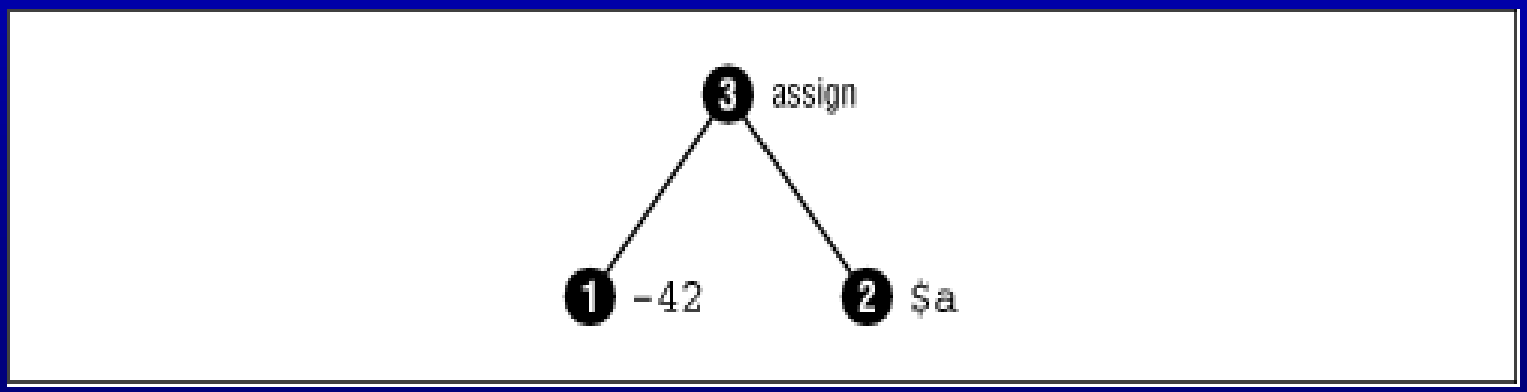
- **Constant folding: se trova operazioni con operandi tutti costanti, calcola l'espressione finale e sostituisce all'espressione di partenza il suo risultato**
- **Ad esempio, se nell'AST corrispondente a**

  $a = - ($b + $c)

  si scopre che $b e $c sono due espressioni costanti tali che la loro somma sia sempre pari a 42, si sostituisce il valore costante, ottenendo il seguente AST ottimizzato equivalente

Peephole Optimizer





Peephole Optimizer

- **Combine Operations**: rimpiazza un insieme di operazioni con una operazione singola equivalente
- **Algebraic Laws**: usa leggi algebriche per semplificare o riordinare le istruzioni
  - (a * 2) + (b * 2) → (a + b) * 2
- **Special Case Instructions**: usa istruzioni "speciali" progettate per specifici operandi
  - Stringhe, dotted names, …

Interprete

- Quando la compilazione è terminata, l'AST viene passato all'interprete che esegue gli opcode dell'AST nella sequenza specificata
- L'interprete usa una macchina basata su stack per eseguire il codice
- L'idea di base è che ogni opcode manipola degli operandi, che vengono inseriti in uno stack secondo una modalità molto simile alla *notazione polacca inversa*
  - Se devo eseguire un calcolo su a e b:

    Push a, Push b

    Opcode (pop a, pop b, calcolo, push risultato)

Uso di stack

- L'interprete Perl crea diversi stack, fra cui:
  - Operand stack: memorizzazione degli operandi usati dagli operatori e dei risultati
  - Save stack: memorizzazione delle variabili il cui scope è stato alterato da altre
    - Es.: variabile globale *i* il cui valore è stato offuscato da una variabile locale *i* all'interno di una funzione
  - Return stack: memorizzazione degli indirizzi di ritorno delle funzioni

Compilazioni a run-time

- L'interprete Perl può effettuare compilazioni di espressioni a run-time attraverso la funzione eval

eval EXPR

```
$str = '$a++; $a + $b'; # str contiene due istruzioni
$a = 10; $b = 20;
$c = eval $str;     # assegna a $c 31
```

- *eval* effettua una compilazione della espressione prima di passare alla sua esecuzione
- Usato per motivi di sicurezza: nel caso ad esempio in cui l'espressione contenga input dall'esterno, se ne deve controllare la validità prima di eseguirla
- In caso di errore: salta il resto dell'espressione e inserisce un messaggio di errore in $EVAL_ERROR

Esempio runtime Perl

- Script perl_demo.pl con subroutine speciali

```
print     "start main running here\n";
die       "main now dying here\n";
die       "XXX: not reached\n";
END       { print "1st END: done running\n"   }
CHECK     { print "1st CHECK: done compiling\n" }
INIT      { print "1st INIT: started running\n"  }
END       { print "2nd END: done running\n"   }
BEGIN     { print "1st BEGIN: still compiling\n" }
INIT      { print "2nd INIT: started running\n"  }
BEGIN     { print "2nd BEGIN: still compiling\n" }
CHECK     { print "2nd CHECK: done compiling\n" }
END       { print "3rd END: done running\n"   }
```

Subroutine speciali

- **Richiamate (eseguite) in momenti specifici**
  - ***Durante la fase di compilazione (compile-time)***
  - ***Durante la fase di esecuzione (run-time)***
- **Subroutine BEGIN: eseguita (interpretata) all'inizio della fase di compilazione**
  - **Punto corretto per inizializzare/modificare l'ambiente prima che inizi la compilazione**
- **Subroutine INIT: eseguita all'inizio della fase di esecuzione del programma**
  - **Punto corretto per eventuali inizializzazioni di variabili, strutture dati, …**

Subroutine speciali

- **Subroutine CHECK: eseguita alla fine della fase di compilazione del programma**
  - **Punto corretto per eventuali controlli sulla buona riuscita della compilazione (es. compilazioni condizionali)**
  - **A differenza di BEGIN e INIT, *l'ordine di esecuzione di CHECK multiple è inverso a quello delle chiamate***
- **Subroutine END: eseguita alla fine della esecuzione del programma**
  - **Punto corretto per eseguire operazioni di chiusura (connessioni di rete, pulizia file, …)**
  - **Eseguita anche in caso di istruzione die**
  - **Ordine di esecuzione inverso (come per CHECK)**

Esecuzione di perl_demo.pl

1st BEGIN: still compiling
2nd BEGIN: still compiling
2nd CHECK: done compiling
1st CHECK: done compiling
1st INIT: started running
2nd INIT: started running
start main running here
main now dying here
3rd END: done running
2nd END: done running
1st END: done running

Output di
perl perl_demo.pl

Controllo sintattico

L'opzione -c permette di invocare soltanto il servizio di controllo sintattico del programma:
perl -c file.pl

- **Non esegue, ma ci informa del risultato dell'analisi: f*ile.pl syntax OK***

1st BEGIN: still compiling
2nd BEGIN: still compiling
2nd CHECK: done compiling
1st CHECK: done compiling
perl_demo.pl syntax OK

Output di
perl -c perl_demo.pl

Opzione -MO=Concise

Si può anche ispezionare l'albero AST prodotto dalla fase di compilazione con l'opzione -MO=Concise

- Sintassi
  - perl -MO=Concise file.pl
  - perl -MO=Concise -e '$a = $b + 42'
  - perl -MO=Concise, -exec -e '$a = $b + 42'

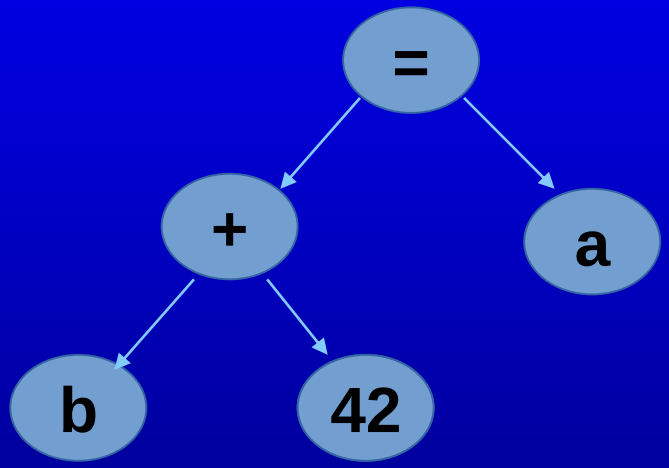
Opzione basic (default)

Opzione exec

- Due output (rendering) con diverse opzioni: -basic (default) e -exec
  - -exec mostra gli opcode nell'ordine in cui sono eseguiti (visita in postordine dell'albero)
  - -basic mostra la struttura dell'albero dalla radice alle foglie (visita in preordine dell'albero)

Output -exec

```
% perl -MO=Concise,-exec -e '$a = $b + 42'
1 <0> enter
2 <;> nextstate(main 1 -e:1) v
3 <#> gvsv[*b] s
4 <$> const[IV 42] s
5 <2> add[t3] sK/2
6 <#> gvsv[*a] s
7 <2> sassign vKS/2
8 <@> leave[1 ref] vKP/REFC
```



Output layout

- **Prima colonna: opcode sequence number (utili nel caso di loop)**
- **Seconda colonna: <x> tipo di opcode (<2> BINOP, <1> UNOP, …)**
- **Terza colonna: nome opcode (es. add, assign) eventualmente seguito da informazioni specifiche tra parentesi**
- **Quarta colonna: opcode flags**

- **Tiene traccia di ottimizzazioni che tolgono opcode: gli opcode tolti compaiono con sequence number '-' (non eseguiti) e 'ex-opcodeName' come nome**

Opzione -basic

- L'output mostra gli opcode come sono nell'albero offrendo un rendering top-down: visita in preordine (radice, sottoalbero sinistro e sottoalbero destro)
- Riflette il modo in cui lo stack può essere usato per valutare le espressioni dal punto di vista semantico (top-down)
  - Es: L'opcode add opera sui due termini che si trovano sul livello inferiore dell'albero
- La freccia nell'ultima colonna dell'output indica il sequence number del prossimo opcode da eseguire
  - Questa opzione permette di ricavare l'ordine di esecuzione

Output -basic

```
% perl -MO=Concise -e '$a = $b + 42'
8 <@> leave[1 ref] vKP/REFC ->(end)
1 <0> enter ->2
2 <;> nextstate(main 1 -e:1) v ->3
7 <2> sassign vKS/2 ->8
5 <2> add[t1] sK/2 ->6
- <1> ex-rv2sv sK/1 ->4
3 <$> gvsv(*b) s ->4
4 <$> const(IV 42) s ->5
- <1> ex-rv2sv sKRM*/1 ->7
6 <$> gvsv(*a) s ->7
```

Effetto del Peephole Optimizer: opcode rv2sv (più generico) rimpiazzato dal più efficiente opcode gvsv