

# Programmazione Assembly

Catena programmatica

Linguaggio Assembly

Pseudo istruzioni

Direttive

Istruzioni aritmetiche e logiche (esempi)

Claudia Raibulet

[claudia.raibulet@unimib.it](mailto:claudia.raibulet@unimib.it)



# La programmazione dei calcolatori

- **Linguaggio macchina (in binario)**
  - Linguaggio direttamente comprensibile dal calcolatore
  - Attività di programmazione più lunga
  - Facile commettere errori
- **Linguaggio assembler (Assembly)**
  - Rappresentazione simbolica del linguaggio macchina
  - Più comprensibile del linguaggio macchina (usa simboli, non sequenze di bit)
  - Tradotto dall'assemblatore in linguaggio macchina
  - Dalla forma simbolica dell'istruzione macchina al corrispondente formato binario
- **Linguaggi ad alto livello**
  - Tradotti dal compilatore in assembler



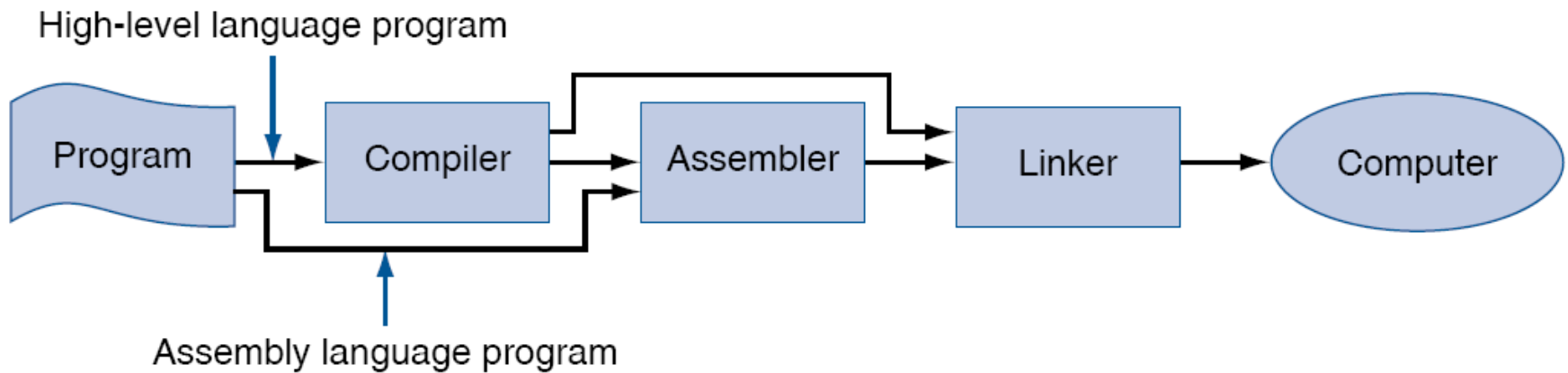
- **Notazione vicina al linguaggio corrente e alta notazione algebrica (maggiore espressività e leggibilità)**
- **Incremento di produttività**
  - La programmazione è svincolata dalla conoscenza dei dettagli architetturali della macchina utilizzata
- **Indipendenza dalle caratteristiche dell'architettura (processore) su cui il programma sarà eseguito (portabilità)**
  - Ideati non per essere compresi direttamente da macchine reali, ma da macchine astratte, in grado di effettuare operazioni di più alto livello rispetto alle operazioni dei processori reali
- **Permettono l'uso di librerie di funzionalità già scritte (riusabilità del codice)**



- **Vantaggi: la dipendenza dall'architettura del calcolatore permette:**
  - Ottimizzare le prestazioni (maggiore efficienza)
  - Programmi (potenzialmente) più compatti
  - Massimo sfruttamento delle potenzialità dell'hardware sottostante
  - Molto importante per programmare controller di processi e macchinari (e.g., real-time), o per apparati limitati (e.g., embedded computer, portatili)
- **Svantaggi: della programmazione**
  - Minore espressività: e.g., strutture di controllo limitate
  - Necessario conoscere i dettagli dell'architettura
  - Mancanza di portabilità su architetture diverse
  - Difficoltà di comprensione
  - Lunghezza maggiore dei programmi

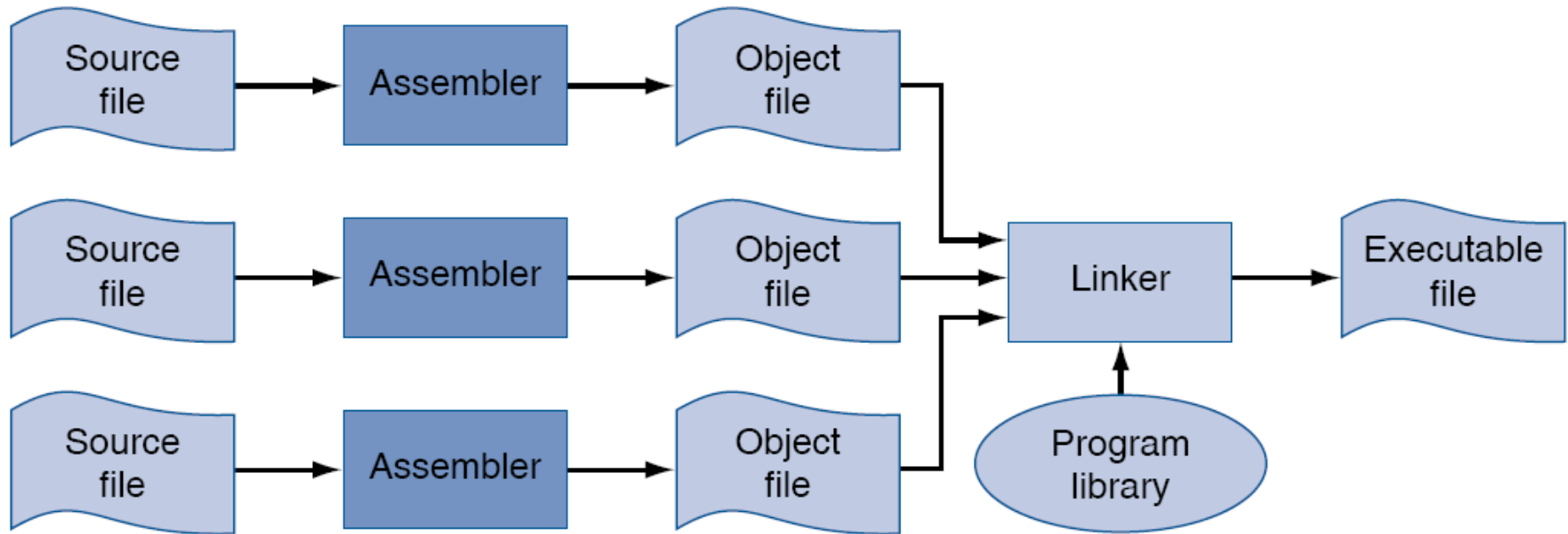


# Compiler, Assembler, Linker



**FIGURE A.1.6** Assembly language either is written by a programmer or is the output of a compiler.





**FIGURE A.1.1** The process that produces an executable file. An assembler translates a file of assembly language into an object file, which is linked with other files and libraries into an executable file.



- **Bug (errore) → debugger – aiuta a trovare i bug**
- **Consente di eseguire in modo controllato un programma per la ricerca di un malfunzionamento (bug)**
- **Funzionalità' del debugger:**
  - **Esecuzione passo-passo (step-by-step) di un programma**
  - **Ispezione del valore di variabili ed espressioni**
  - **Interruzione in punti predefiniti (breakpoint)**
  - **Interruzione in caso di modifica del valore di determinate variabili (watchpoint)**
  - **Visualizzazione degli indirizzi di memoria delle variabili o delle istruzioni**
  - **...**



- Un programma ad alto livello viene tradotto nel linguaggio assembly utilizzando un apposito programma: il **compilatore**
- Dopo la fase di compilazione, il programma scritto in linguaggio assembly viene tradotto in linguaggio macchina da un apposito programma: **l'assemblatore**
- Osservazione: spesso con il termine compilazione si indica l'intero processo di traduzione da linguaggio ad alto livello a linguaggio macchina (essendo l'assemblatore spesso integrato con il compilatore)





# Assembler

- **Converte un programma assembler (file sorgente) in linguaggio macchina (file oggetto)**
- **Gestisce le etichette**
- **Gestisce pseudoistruzioni**
- **Gestisce numeri in base diverse (e.g., binario, decimale, esadecimale)**



## Il processo di assemblaggio

- **L'assemblaggio e' un procedimento sequenziale che esamina, riga per riga, il codice sorgente Assembly, traducendo ciascuna riga in un'istruzione del linguaggio macchina**
- **Applicato modulo per modulo al programma e costituisce per ogni modulo la tabella dei simboli del modulo**
- **2 passi importanti:**
  - Traduce i codici mnemonici (simbolici) delle istruzioni nei corrispondenti codici binari
  - Traduce i riferimenti simbolici (variabili, registri, etichette di salto, parametri) nei corrispondenti indirizzi numerici.
- **Poiche' le etichette di salto generano il problema dei riferimenti in avanti (ossia, riferimenti ad etichette successive o contenute in altri file), l'assemblatore deve leggere il programma sorgente due volte.**
- **Ogni lettura del programma sorgente e' chiamata passo e l'assemblatore e' chiamato traduttore a due passi.**
- **Ogni modulo assemblato di default parte dall'indirizzo 0; In sistemi dotati di meccanismi di memoria virtuale tali indirizzi sono indirizzi virtuali.**



## Assembler – Tabella dei Simboli

- **Contiene i riferimenti simbolici presenti nel modulo da tradurre e, al termine del primo passo, conterrà gli indirizzi numerici di tutti i simboli, tranne quelli esterni al modulo in esame**
- **Per le etichette associate a direttive dell'assemblatore che definiscono costanti simboliche nella tabella dei simboli viene creata la coppia < etichetta, valore > e in ogni istruzione che fa riferimento al simbolo viene sostituito il valore**
- **Per etichette che definiscono variabili (spazio di memoria + eventuale inizializzazione), l'assemblatore riserva spazio, eventualmente inizializza la zona di memoria e crea nella tabella la coppia <etichetta, indirizzo >. In ogni istruzione che fa riferimento al simbolo (all'etichetta), il simbolo viene sostituito con l'indirizzo.**
- **Nelle etichette presenti nelle istruzioni di salto, l'assemblatore deve generare un riferimento all'indirizzo dell'istruzione destinazione di salto.**



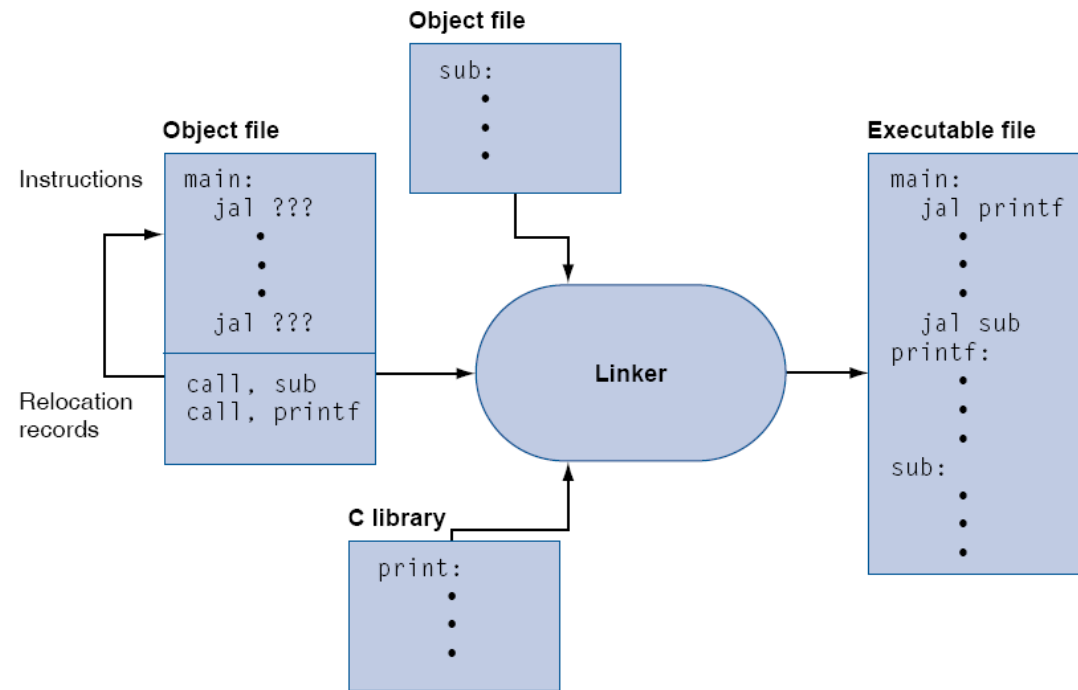
## Assembler – Tabella dei Simboli

- **Osservazioni: le etichette esterne (global) al modulo possono essere usate da moduli esterni; le etichette interne (local) sono visibili solo all'interno di un modulo**
- **Le etichette esterne a un modulo rimangono non risolte -> l'assembler non e' disturbato da questo aspetto**
- **Le etichette esterne saranno poi risolte dal linker**



# Linker (Link editor)

- Inserisce in memoria in modo simbolico il codice e i moduli dati
- Determina gli indirizzi dei dati e delle etichette che compaiono nelle istruzioni
- Corregge i riferimenti interni ed esterni e risolve i riferimenti in sospeso (a etichete esterne)
- Genera il file eseguibile



**FIGURE A.3.1** The linker searches a collection of object files and program libraries to find nonlocal routines used in a program, combines them into a single executable file, and resolves references between routines in different files.



- **Lettura dell'intestazione del file eseguibile per determinare la lunghezza del segmento di testo (cioè delle istruzioni) e del segmento dati (cioè le variabili)**
- **Creazione di uno spazio di indirizzamento sufficiente a contenere testo e dati**
- **Copia delle istruzioni e dati dal file eseguibile in memoria**
- **Copia nello stack degli eventuali parametri passati al programma principale**
- **Inizializzazione dei registri e impostazione dello stack pointer affinché punti alla prima locazione libera**
- **Salto a una procedura di startup la quale copia i parametri nei registri argomento e chiama la procedura principale del programma**
- **Quando la procedura principale restituisce il controllo, la procedura di startup termina il programma con una chiamata alla funzione di sistema exit**



# Convenzioni assembly: nomi e usi dei registri

Nome Simbolico	Numero	Uso
\$zero	0	Costante 0
\$at	1	Assembler temporary
\$v0-\$v1	2-3	Functions and expressions evaluation
\$a0-\$a3	4-7	Arguments
\$t0-\$t7	8-15	Temporaries
\$s0-\$s7	16-23	Saved Temporaries
\$t8-\$t9	24-25	Temporaries
\$k0-\$k1	26-27	Reserved for OS kernel
\$gp	28	Global pointer
\$sp	29	Stack pointer
\$fp	30	Frame pointer
\$ra	31	Return address

- Usati da assembler, compilatore, sistema operativo
- Secondo specifiche convenzioni (ne parliamo in seguito)
- ...da trattare con cautela se si programma in assembly!!!



# Direttive all'assemblatore (Meccanismi misteriosi)

- **NON corrispondono a istruzioni macchina**
- Sono **indicazioni date all'assembler** per consentirgli di
  - associare etichette simboliche a indirizzi
  - allocare spazio di memoria per le variabili
  - decidere in quali zone di memoria allocare istruzioni e dati
  - ...
- **Esempi di direttive**
- **.data <addr>**
  - quel che segue va nel segmento dati (eventualmente dall'indirizzo addr)
- **.byte b1,.....,bn**
  - inizializza i valori in byte successivi
- **.word w1,.....,wn**
  - inizializza i valori in word successive
- **.text <addr>**
  - quel che segue va nel segmento text (programma) (eventualmente dall'indirizzo addr)





## Esempio

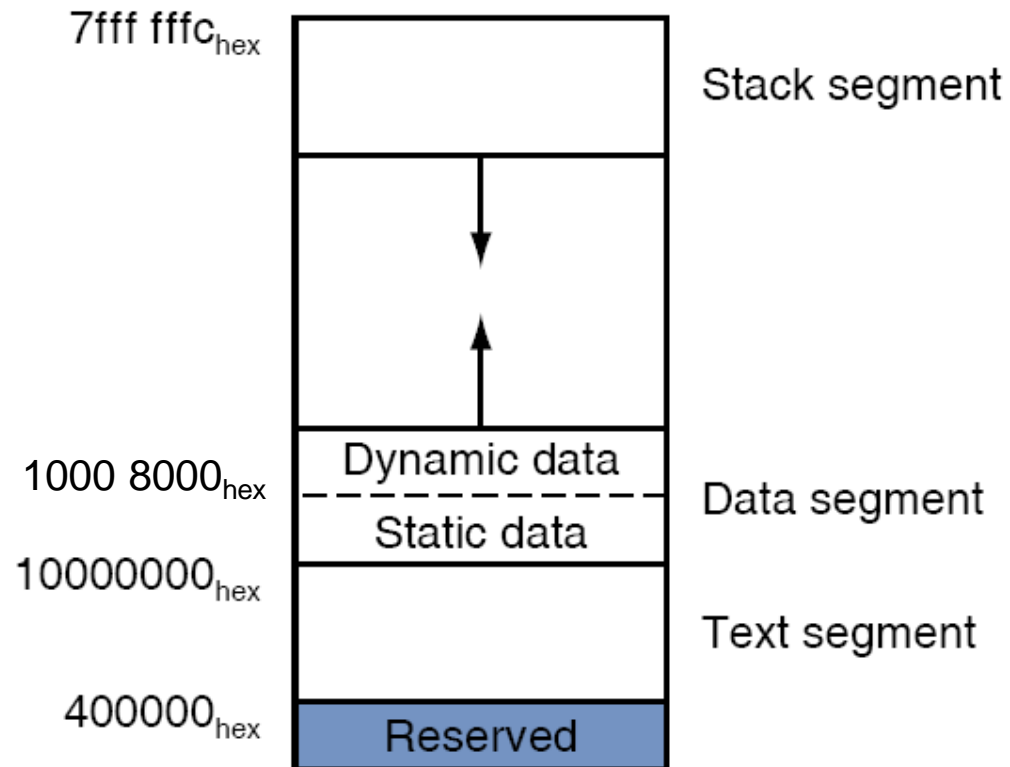
```

.data                                #Inizia il segmento dei dati
item: .word 1                        #si definisce una locazione di memoria
                                        #con una etichetta item
                                        #e inizializzata a 1
                                        # in Java sarebbe: int (cioe' word) item = 1;

.text                                #Inizia il segmento delle istruzioni
.globl main                          #meccanismo misterioso – etichetta globale
main: lw $t0, item                   #nel registro $t0 sara' trasferito il valore
                                        #che si trova in memoria all'etichetta item
                                        #Questa e' una pseudoistruzione
                                        #che si traduce in due o piu' istruzioni macchina
                                        #la $s0, item
##### la – mette nel registro $s0 l'indirizzo indicato
##### dall'etichetta item; la -> pseudoistruzione
#lw $t0, 0($s0)
##### poi si usa l'istruzione lw vista precedentemente

```





**FIGURE A.5.1** Layout of memory.



# Istruzioni aritmetiche e logiche (esempi)

- **add rd, rs, rt**
  - addizione
  - $rs + rt \rightarrow rd$
  - (con overflow...ne parliamo in seguito...)
- **addi rd, rs, imm**
  - addizione immediata
  - sign-extended  $imm + rs \rightarrow rd$
  - (con overflow)
- **and rd, rs, rt**
  - and bit a bit di rs e rt  $\rightarrow rd$
- **or rd, rs, rt**
  - or bit a bit (logical or) di rs e rt  $\rightarrow rd$
- **ori rt, rs, imm**
  - or bit a bit (logical or) di rs e zero-extended imm  $\rightarrow rt$
- **sll rd, rt, shamt**
  - shift left rt della distanza shamt  $\rightarrow rd$



# Manipolazione di costanti

- **lui rt, imm**
  - load upper immediate
  - immediate (**di 16 bit!!!**) -> upper half word di rt
  - I 16 bit bassi di rt sono 0
- **...e se si vuole caricare una costante di 32 bit?**
- **esempio: caricare in \$s0 il valore 4000000**

0000 0000 0011 1101 0000 1001 0000 0000

**lui \$s0, 61 (oppure: lui \$s0, 0x003d)**

# contenuto di \$s0: 0000 0000 0011 1101 0000 0000 0000 0000

**ori \$s0, \$s0, 2304 (oppure: ori \$s0, 0x0900)**

# contenuto di \$s0: 0000 0000 0011 1101 0000 1001 0000 0000



# Pseudoistruzioni

- **Pseudo istruzione:**
  - istruzione assembly che non ha una corrispondente istruzione macchina
  - tradotta dall'assembler in una sequenza di istruzioni:

- **Esempio:**

- **li rdest, imm**

- load immediate
- caricare una costante di 32 bit nel registro rdest

*li \$s0, 4000000*

- Tradotta dall'assemblatore nella sequenza della slide precedente

- **Esempio 2:**

*move \$t0, \$t1*

- Tradotta dall'assemblatore in  
*add \$t0, \$zero, \$t1*



- **I programmi sono immagazzinati in memoria insieme ai dati -> concetto di programma memorizzato**
- **In memoria abbiamo istruzioni e operandi che devono essere entrambi trasferiti dalla memoria al processore**
- **Le istruzioni non sono di per se' distinguibili rispetto agli altri tipi di informazione in memoria: il processore interpreta se una configurazione di bit rappresenta un dato o un'istruzione**



- **Progettata e sviluppata a Stanford (USA)**
- **MIPS Technologies**
- **<https://www.mips.com/>**
  
- **Utilizzata da:**
  - Sony (Playstation, Playstation 2)
  - Nintendo 64
  - Router CISCO
  - Stampanti
  - Macchine fotografiche digitali
  - DVD,
  - TV al plasma
  - ...
  
- **Rappresenta un buon modello architeturale per la didattica in quanto semplice da comprendere**



## Riferimenti principali

- **Appendice A (disponibile sul sito del corso): Sezioni: A.1, A.2, A.3, A.4.**
- **Patterson – Hennessy, Computer Organization and Design, Morgan Kaufmann – quarta edizione**
  - Capitolo 2, Sezioni da 1 a 7, Sezione 10, parte iniziale della 12
  - Appendice B, almeno B.1, B.2, B.9, **B.10 (corrisponde a Appendice A nella vecchia edizione)**
- **...ma non è vietato dare una scorsa almeno all'indice e alle introduzioni di tutti i capitoli**





## Esercizio

- Si chiede di scrivere il programma assembly che legge 3 valori word **a**, **b**, e **c** memorizzati nella memoria all'etichetta **“valori”** nei registri \$t0, \$t1, \$t2 e calcola:
  - La somma dei tre valori in \$s0 se il primo valore e' positivo
  - Il prodotto dei tre numeri in \$s0 se il primo valore e' negativo
  - L'AND del secondo e del terzo numero se il primo e' uguale a zero.
- Si chiede di memorizzare il risultato in memoria nella locazione subito dopo il terzo valore.



# Soluzione

```
.data
valori: .word 0, 5, 2
        .word 0

.text
        .globl main

main:   la $t7, valori

        lw $t0, 0($t7)
        lw $t1, 4($t7)
        lw $t2, 8($t7)

        bgt $t0, $zero, than # se $t0>0
        blt $t0, $zero, else # se $t0<0
        and $s0, $t1, $t2
        j fine
```

```
else:   #calcola il prodotto
        mul $s0, $t0, $t1
        mul $s0, $s0, $t2
        j fine

than:   #calcola la somma
        add $s0, $t0, $t1
        add $s0, $s0, $t2
        j fine

fine:   sw $s0, 12($t7)
```

