Università
degli Studi
di Padova

DIPARTIMENTO
MATEMATICA

CPUSim

Laboratorio di Architettura degli Elaboratori

Corso di Laurea in Informatica A.A. 2019/2020

Nicolo' Navarin
Davide Rigoni
nnavarin@math.unipd.it

14 dicembre 2020

CPUSim

- Scaricare il simulatore dal moodle del corso (`CPUSim4.0.11.zip`);
- Estrarre l'archivio (ricordatevi dove);
- Avviare il simulatore:
  - doppio click;
  - da console, posizionandosi nella cartella del simulatore, eseguire il comando (**Nota**: tutto sulla stessa riga):
    - macOS/Linux

```
java -cp .:richtextfx-0.6.10.jar:reactfx
    -2.0-M4.jar -jar CPUSim-4.0.11.jar
```

    - Windows

```
java -cp .;richtextfx-0.6.10.jar;reactfx
    -2.0-M4.jar -jar CPUSim-4.0.11.jar
```

Nel laboratorio di oggi

- Impareremo come definire/modificare una CPU nel simulatore;
- Definiremo dei registri ad uso generale;
- Vedremo come funziona l'indirizzamento a registro;
- Capiremo perché aumenta la complessità delle istruzioni.

Prima di iniziare

- Accedere al moodle del corso;
- Scaricare *Wombat2*;
- Salvare il file nella cartella *SampleAssignments* di CPUSim (`CPUSim4.0.11/SampleAssignments`).

Definizione di una nuova CPU

Limitazioni di **Wombat1**:

- Un solo registro dati (*accumulatore*);
- Scrivere programmi anche semplici è “macchinoso” e richiede molti accessi alla memoria.

Definizione di una nuova CPU

Limitazioni di **Wombat1**:

- Un solo registro dati (*accumulatore*);
- Scrivere programmi anche semplici è "macchinoso" e richiede molti accessi alla memoria.

Possibile soluzione e benefici:

- **Più registri** dati $\Rightarrow$ meno accessi alla memoria;
- Programmi più **intuitivi**.

Definizione di una nuova CPU

Limitazioni di **Wombat1**:

- Un solo registro dati (*accumulatore*);
- Scrivere programmi anche semplici è "macchinoso" e richiede molti accessi alla memoria.

Possibile soluzione e benefici:

- **Più registri** dati $\Rightarrow$ meno accessi alla memoria;
- Programmi più **intuitivi**.

Creiamo una nuova **CPU** partendo da Wombat1:

- Aprire la CPU di esempio Wombat1;
- *File* $\rightarrow$ *Save Machine As* $\rightarrow$ *Wombat2-test.cpu*.

Possiamo modificare le specifiche attraverso il menu *Modify*.

Definizione di un array di registri generici

- *Modify* → *Hardware modules* → *RegisterArray*;
- `length=16` (numero di registri), `width=16` (registri dati);
- I registri nell'array sono **riferiti attraverso il loro indice** (registro 0, registro 1,. . . , registro 15);
- 16 registri: 4 bit per l'indirizzamento (indirizzamento registro).

Non serve più l'*accumulatore*!

Momentaneamente non rimuoviamo ACC perché ridefiniremo "tutte" le operazioni che lo utilizzano, ma ragioniamo come se non ci fosse.

ALU - definizione di nuovi registri

Che registri userà la ALU ora che non esiste più ACC?

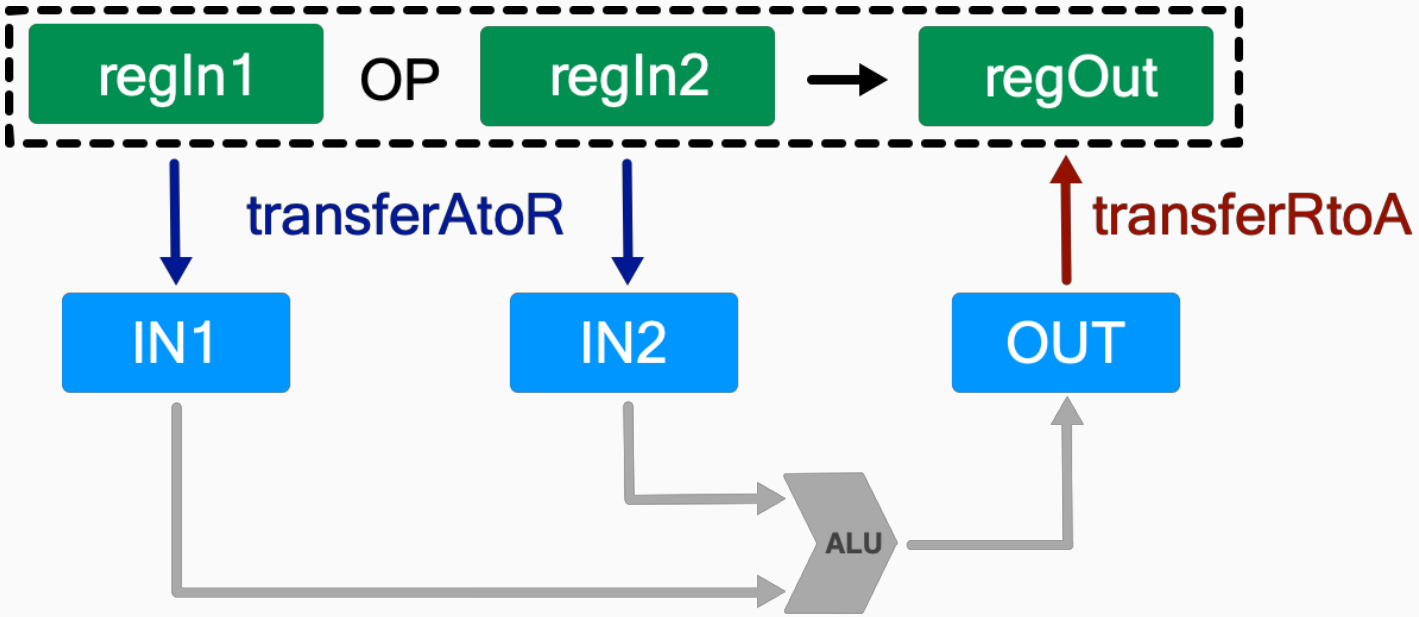
- Possibile soluzione: **registri dedicati**;
- Definiamo i registri IN1, IN2 e OUT, di input e output per la ALU (registri dati)
  - *Modify* $\rightarrow$ *Hardware modules* $\rightarrow$ *Register*;
  - Fissiamo la lunghezza dei registri a 16 bit.

ALU - microistruzioni

- Ridefiniamo la microistruzione di addizione in modo che utilizzi i nuovi registri dedicati (IN1 + IN2 $\rightarrow$ OUT);

ALU - microistruzioni

- Ridefiniamo la microistruzione di addizione in modo che utilizzi i nuovi registri dedicati (IN1 + IN2 $\rightarrow$ OUT);
- Definiamo le microistruzioni per il **trasferimento**:



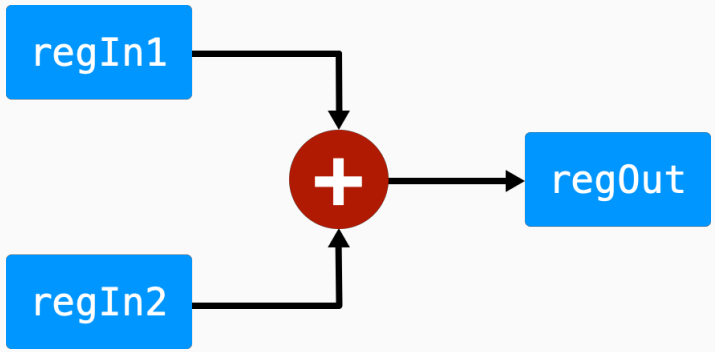
Nota: l'istruzione si trova in IR!

Istruzioni

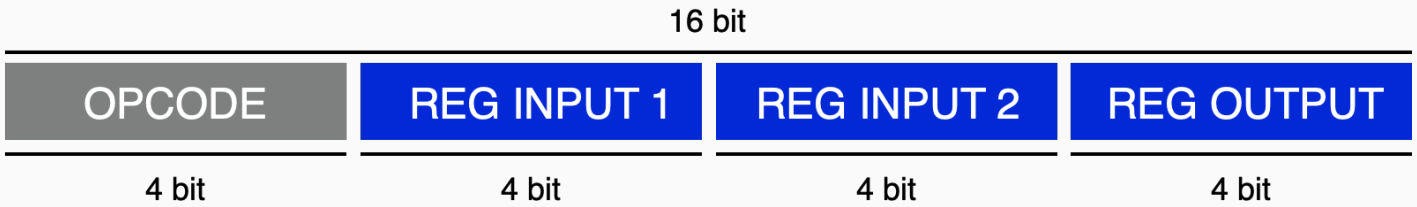
Come usare questi nuovi registri?

Definiamo una nuova operazione: **ADD tra registri** (dell'array)

```
addR regIn1 regIn2 regOut
```



Formato istruzione `addR` (serve un nuovo campo *registro* di 4 bit):



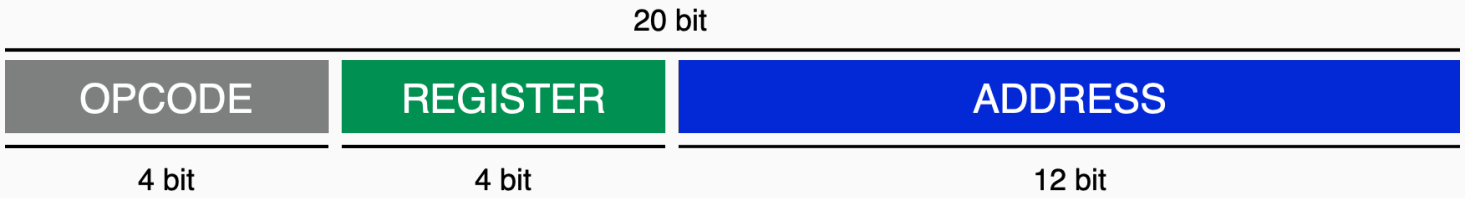
Altre istruzioni - `load`

L'istruzione `addR` occupa 16 bit, come tutte le istruzioni di **Wombat1**.

Proviamo ad immaginare una possibile definizione di `loadR`:

- Semantica: carica il contenuto di una cella di memoria in un registro;
- **Quale registro?** $\Rightarrow$ serve un campo dati *register*;
- **Quale cella di memoria?** $\Rightarrow$ serve un campo dati *address*.

Esempio di possibile formato per l'istruzione `loadR`:



Ma le istruzioni in *Wombat1* hanno lunghezza fissata a 16 bit!

Lunghezza istruzioni

Come fare per poter usare anche istruzioni più grandi?

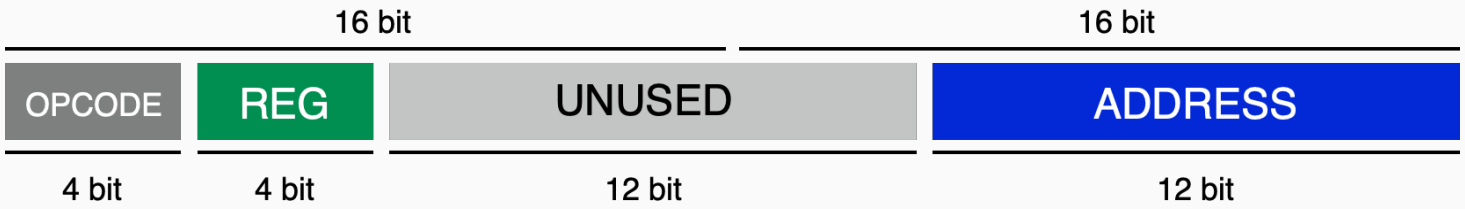
Possibili soluzioni:

- **Lunghezza variabile**:
  - ogni istruzione può richiedere un numero di bit diversi (a seconda degli operandi e di quanto è frequente)
  - maggiore code density, non ci sono bit inutilizzati
  - decodifica complessa
- **Formato ibrido o Mixed** - ogni istruzione ha una dimensione in un insieme limitato e predeterminato:
  - ARM: il processore può essere in modalità diverse, ognuna a lunghezza fissa
    - più decoder separati, ma semplici, e solo uno in funzione
  - Wombat2: la CPU fa il fetch dei primi 16 bit e decodifica l'istruzione (come in Wombat1);
    - nell'implementazione dell'istruzione stessa viene eseguito il fetch della parte mancante.

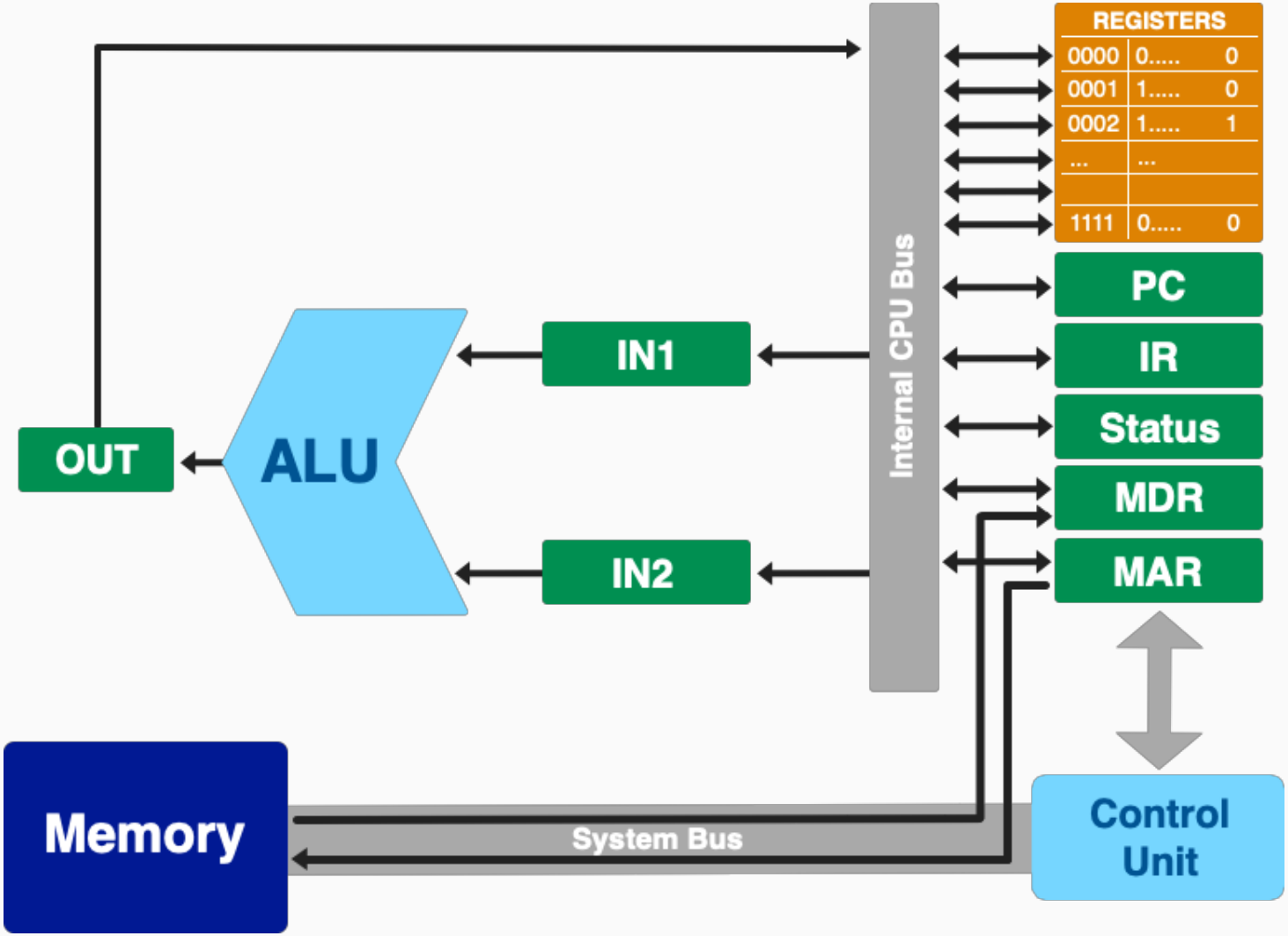
Wombat 2

Ridefinire tutte le microistruzioni/istruzioni richiederebbe molto tempo!!

- Carichiamo la CPU **Wombat2.cpu**.
- Vediamo l'implementazione della **loadR**.



Wombat2 - architettura



Wombat2 - instruction set

Istruzione	Significato	Descrizione
`readR R1`	input $\rightarrow$ R1	Input from keyboard in R1
`writeR R1`	R1 $\rightarrow$ output	Write value of R1
`multiplyR R1 R2 R3`	R1 $\times$ R2 $\rightarrow$ R3	Multiply contents of two registers
`divideR R1 R2 R3`	R1 / R2 $\rightarrow$ R3	Divide contents of two registers
`subtractR R1 R2 R3`	R1 - R2 $\rightarrow$ R3	Subtract contents of two registers
`addR R1 R2 R3`	R1 + R2 $\rightarrow$ R3	Add contents of two registers
`loadR R1 addr`	Mem[addr] $\rightarrow$ R1	Load word from memory in R1
`storeR R1 addr`	R1 $\rightarrow$ Mem[addr]	Store word in memory from R1
`jmpzR R1 addr`	If $R1 = 0$ jump to label	Conditional jump ($R1 = 0$)
`jmpnR R1 addr`	If $R1 < 0$ jump to label	Conditional jump ($R1 < 0$)
`jump addr`	jump to addr	
`stop`	stop execution	

Esercizio 1

Scrivere un programma ASSEMBLY per la CPU Wombat2 che calcola e stampa il valore assoluto di un intero ricevuto in input.

Ancora molto simile a Wombat1.

Esercizio 1 - Soluzione

```
     readR 0          ; input -> R[0]
     jmpnR 0 neg      ; se R[0]<0, salta a neg
     writeR 0         ; output R[0]
     stop             ; termina esecuzione
neg: loadR 1 -uno     ; M[-uno] -> R[1]
     multiplyR 0 1 0  ; R[0] * R[1] -> R[0]
     writeR 0         ; output R[0]
     stop             ; termina esecuzione

-uno: .data 2 -1 ; il valore -1
```

Esercizio 2

Scrivere un programma ASSEMBLY per la CPU Wombat2 che calcola il prodotto di due interi ricevuti in input usando somme.

Esercizio 2 - Soluzione

```
        readR 0          ; input -> R[0]
        readR 1          ; input -> R[1]
        loadR 2 sum      ; M[sum] -> R[2]
        loadR 3 uno      ; M[uno] -> R[3]
ciclo:  jmpzR 1 fine     ; se R[1]=0, va a fine
        addR 2 0 2       ; R[2] + R[0] -> R[2]
        subtractR 1 3 1  ; R[1] - R[3] -> R[1]
        jump ciclo       ; salta a ciclo
fine:   writeR 2         ; output R[2]
        stop             ; termina esecuzione

sum: .data 2 0 ; somma parziale
uno: .data 2 1 ; il valore 1
```

Esercizio 3

Scrivere un programma ASSEMBLY per la CPU Wombat2 che calcola e restituisce il resto della divisione tra due interi ricevuti in input.

Esempio: input 34 e 7, produce in output 6 (i.e., 34 mod 7 = 6)

Esercizio 3 - Soluzione

```
        readR 0
        readR 1
start:  jmpnR 0 end
        subtractR 0 1 0
        jump start
end:    addR 0 1 0
        writeR 0
        stop
```

Esercizio 4

Scrivere un programma ASSEMBLY per la CPU Wombat2 che esegue il fattoriale di un numero ricevuto in input.

Esercizio 4 - Soluzione

```
        readR 0
        loadR 2 one
        multiplyR 0 2 1
        subtractR 0 2 0
start:  jmpzR 0 end
        multiplyR 1 0 1
        subtractR 0 2 0
        jump start
end:    writeR 1
        stop

one: .data 2 1
```

Esercizio 5

Scrivere un programma ASSEMBLY per la CPU Wombat2 che chiede di inserire da tastiera valori fintanto che non viene inserito un numero negativo. Infine stampa il massimo tra tutti i valori inseriti.

Esercizio 4 - Soluzione

```
        loadR 0 zero
        readR 1
        loadR 2 zero
ciclo:  jmpnR 1 fine
        subtractR 1 2 3
        jmpnR 3 nnm
        addR 1 0 2
nnm:    readR 1
        jump ciclo
fine:   writeR 2
        stop

zero: .data 2 0
```