

תקציר מספר 4

יצוג מספרים שלמים

היצוג של מספרים שלמים במחשב הוא בינארי, כלומר הביטים משמשים כמקדמים של פולינום של חזקות של 2. לדוגמא, מספרים שלמים בני byte אחד (8 ביט) הם

$$00000000 = 0$$

$$00000001 = 1$$

$$00000010 = 2$$

$$00000011 = 3$$

$$00000100 = 4$$

$$00000101 = 5$$

$$00000110 = 6$$

$$00000111 = 7$$

וכו'. מספר שלם ניתן להתייחס אליו כמספר עם סימן (עשוי להיות שלילי) או חסר סימן (מספר אי שלילי בכל מקרה). במידה והמספר הוא עם סימן ושלילי הוא מיוצג ע"י שיטת המשלים ל-2 (Two's Complement). בשיטה זו הביט המשמעותי ביותר משמש ביט סימן (0 - חיובי, 1 - שלילי). היצוג השלילי של מספר (חיובי) מסוים מתקבל ע"י היפוך כל הסיביות של המספר החיובי וקידום ב-1. למשל היצוג שי 5- יהיה:

$$00000101 = \text{היצוג של } +5$$

$$11111010 = \text{אחרי היפוך סיביות}$$

$$11111011 = \text{היצוג של } -5 = \text{אחרי קידום ב-1}$$

כאשר מתייחסים למספרים בני 8 ביטים כמספרים חסרי סימן, ניתן ליצג את המספרים 0 ... 255. כאשר מתייחסים למספרים בני 8 ביטים כמספרים עם סימן, ניתן ליצג את המספרים +127 ... -128. ב-16 ביט המספרים הטווחים הם 0 ... 65535 ו- 32767 ... -32768 בהתאמה.

מאחר והיצוג של מספרים באוגרי המחשב הם בעלי אורכים מוגדרים (8, 16, 32 סיביות) יכולים להוצר בעיות גלישה.

לפעמים סכום שתי מספרים חסרי סימן נותן תוצאה התורגת מהטווח (למשל עבור מספרים 8 ביט, $9 + 250$). במקרה הזה התוצאה בגודל ביט אחד יותר מהאופרנדים. למשל בדוגמא:

$$11111010 = 250$$

+

$$00001001 = 9$$

$$100000011 = 259 \quad (256 + 3)$$

במצב זה נאמר ש-תוצאת הסכום הוא 00000011 וה-carry שווה ל-1.

עבור מספרים בעלי סימן, סכום שני מספרים חיוביים יכול לצאת שלילי, למשל

$$01110000 = 112$$

+

$$00101000 = 40$$

$$10011000 = -104$$

מצב כזה נקרא Overflow. מצב דומה, שבו סכום של שני מספרים שליליים הוא

חיובי נקרא לפעמים Underflow ב-8086 נחשב לעוד מקרה של Overflow. למשל:

$$10000110 = -122$$

+

$$10000011 = -125$$

$$00001001 = +9$$

אמנם יש Carry במצב הזה אבל הוא לא מיוצג בתוצאת הסכום.

בקרה Control

מה שעושה את המחשב או אמצעי הקרוי תכנות לדבר הכללי שהוא היכולת לבצע קוד באופן מותנה ולחזור על ביצוע קוד באופן מותנה. הכוונה לתכנות מבני נוסח if ... else, לולאות נוסך for, while וכדומה. ישנם מודלים מתימטיים לתוכניות שאין את האפשרויות הללו (יש למודלים הללו חשיבות בניתוח חישובים אלגבריים נוסך אריתמטיקה של מספרים שלמים, כפל מטריצות...) ומסתבר לתוכניות כאילו הם מוגבלות ביותר מבחינת מה שהן יכולות לעשות.

המימוש של היכולת הזו לבצע קוד באופן מותנה נעשה ע"י 3 גורמים

בחומרה: אוגר הדגלים, פקודות אריתמטיות ופקודות הסתעפות מותנות.

באו נזכר בתאור של אוגר הדגלים:

אוגר הדגלים ב-8086 Flags Register

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
				OF	DF	IF	TF	SF	ZF		AF		PF		CF

להלן רשימת הדגלים וקצת תיאור שלהם.

שם הדגל	משמעות לערך 1	סוג הדגל
CF	carry	אריתמטי
PF	זוגיות	אריתמטי
AF	carry עשירי	אריתמטי
ZF	תוצאה 0	אריתמטי
SF	תוצאה שלילית	אריתמטי
TF	אפשר פסיקה לצורך מימוש Debugger -ים	תפקוד CPU
IF	אפשר פסיקות	תפקוד CPU
DF	כיוון פעולות מחרוזת	תפקוד CPU
OF	גלישה אריתמטית	אריתמטי

מה שרלוונטי לדיון שלנו - בקרה או קוד מותנה - הם הדגלים CF, PF, ZF, SF, ו-OF:

שם הדגל	משמעות לערך 1	סוג הדגל
CF	carry	אריתמטי
PF	זוגיות	אריתמטי
ZF	תוצאה 0	אריתמטי
SF	תוצאה שלילית	אריתמטי
OF	גלישה אריתמטית	אריתמטי

הדגלים הללו הם הדגלים האריתמטיים: בתום כל פקודת מכונה אריתמטית נוסח ADD, SUB, MUL, CMP החומרה בודקת את התוצאה של הפעולה, ועל פיה קובעת את

ערכי הדגלים. קביעת ערכי הדגלים היא חלק מתפקידם של הפקודות הללו. למשל:

```
MOV AX,9
MOV BX,9
SUB AX,BX
```

בתום ביצוע פקודת ה-SUB הערך של הדגל ZF יהיה אחד (1) משום שתפקידו של ZF הוא לשקף את התשובה לשאלה "האם התוצאה של הפעולה האריתמטית האחרונה היתה אפס?" והתשובה היא "כן" בדוגמא לעיל. בצורה דומה $SF = 0$ (אפס) בדוגמא לעיל משום ש-SF צריך לשקף את התשובה לשאלה "האם תוצאת הפעולה האריתמטית האחרונה היתה שלילית?". בדוגמא לעיל התשובה היא לא, כי התוצאה היתה אפס.

בצורה דומה, עבור המקרה

```
MOV AX,9
SUB AX,6
```

הערכים של SF ושל ZF אחרי ביצוע פקודת ה-SUB יהיו $SF = 0$ ו- $ZF = 0$.
עבור המקרה

```
MOV AX,9
SUB AX,17
```

הערכים של SF ושל ZF אחרי ביצוע פקודת ה-SUB יהיו $SF = 1$ ו- $ZF = 0$.
הדגלים האחרים (CF, OF, PF) מושפעים בצורה דומה. למשל אם נבצע

```
MOV AL,125
ADD AL,12
```

אזי ה-OF יהיה $OF = 1$.
בכל פקודה אריתמטית כל הדגלים נקבעים.
למשל בפקודה האחרונה, $PF = 0$, $SF = 1$, $CF = 0$, $ZF = 0$ ו- $OF = 1$.
עבור המקרה,

```
MOV AL,250
ADD AL,9
```

$PF = 0$, $SF = 0$, $CF = 1$, $ZF = 0$ ו- $OF = 0$.

איך "משתמשים" בדגלים?

ה"שימוש" בדגלים, שתפקידם למעשה ליצג אינפורמציה על הפעולה האריתמטית האחרונה היא ע"י שימוש בפקודות הסתעפות מותנות. פקודות הסתעפות מותנות הן פקודות שיש להן שתי תכונות חשובות מאד:

1. קודם כל הן פקודות הסתעפות כלומר פקודות שמשנות את הפקודה הבאה לביצוע, כמו JMP.

2. בניגוד ל-JMP, ההסתעפות לא מתרחשת בכל מקרה. עבור כל פקודת הסתעפות מותנית, דגלי הבקרה חייבים לקיים תנאי מסוים בכדי שיתבצע הסתעפות. במידה והתנאי הזה אינו מתקיים, הפקודה הבאה לביצוע היא הפקודה העוקבת לפקודת ההסתעפות המותנית.

לדוגמא, ניקח את הפקודה JZ - "Jump on Zero Flag".
 כמו בכל פקודת הסתעפות, היא מקבלת פרמטר יחיד - כמעט תמיד label.
 כלומר בתוכנית היא תופיע בדרך כלל בצורה

JZ label

התנאי, שחייב להתקיים על מנת שתהיה הסתעפות, הוא ש- $ZF = 1$. ערך הדגלים האחרים אינם משפיעים על הפקודה הזו.
 במידה ותוכנית מבצעת את פקודה JZ, ה-CPU בודק את ZF. במידה ו- $ZF = 1$, יתבצע הסתעפות לפקודה ש-label מצביע עליה - היא תהיה הפקודה הבאה לביצוע. במידה ו- $ZF = 0$, לא תתבצע הסתעפות - כלומר הפקודה הבאה לביצוע תהיה הפקודה העוקבת לפקודת ה-JZ. לדוגמא, נבחן את קטע הקוד הבא:

```
SUB AX,BX
JZ Alab1
INC CX
Alab1:
ADD AX,CX
```

בקטע הקוד הזה, הביצוע של הפקודה INC CX תלוי בערכים של AX ו-BX ברגע ביצוע הפקודה SUB AX,BX. במידה ותוכן AX ו-BX יהיו זהים, תוצאת החיסור שיוצב ב-AX יהיה אפס, והפקודה INC CX לא תתבצע. הפקודה JZ Alab1 תגרום לכך שנעקוף את הפקודה INC CX. במידה ותוכן AX ו-BX יהיו שונים, תוצאת החיסור שיוצב ב-AX יהיה שונה מאפס (חיובי או שלילי). הפקודה JZ Alab1 לא תשנה את הפקודה הבאה לביצוע. הוא ישאר הפקודה העוקבת, שהוא הפקודה INC CX, והפקודה INC CX תתבצע.

לכל אחד מהדגלים יש 2 פקודות הסתעפות מותנות התלויות רק בו:

JZ - "Jump on Zero ($ZF = 1$)"

JNZ - "Jump on Not Zero ($ZF = 0$)"

JC - "Jump on Carry ($CF = 1$)"

JNC - "Jump on Not Carry ($CF = 0$)"

JP - "Jump on Parity ($PF = 1$)"

JNP - "Jump on Not Parity ($PF = 0$)"

JS - "Jump on Sign (SF = 1)"

JNS "Jump on Not Sign (SF = 0)"

JO - "Jump on Overflow (OF = 1)"

JNO "Jump on Not Overflow (OF = 0)"

בשלב זה אפשר לסכם, שפקודות המכונה האריתמטיות קובעות את ערכי הדגלים ותוכניות המעונינות להתחשב בערכי הדגלים מסתעפים באופן מותנה לקטעי קוד רצויים בהתאם לערכי הדגלים. מה שלא ברור עדיין למה זה טוב. המטרה של המנגנון שתואר לעיל הוא לממש קוד המבוסס על תוצאות של השוואות מספרים. כלומר, מה שאנחנו רוצים לממש כאן הוא, במושגים של שפת C, אמצעי תכנות כמו

```
if (x == y)
{ ...
}
```

```
while(x < y)
{ ...
}
```

וכו'.

באסמבלי, קוד מהסוג הזה ממומש ע"י הפקודת המכונה CMP ופקודות הסתעפות מותנות. הפקודה CMP היא פקודה אריתמטית, ולמעשה היא פקודה הממומשת בצורה זהה ל-SUB, פקודת המכונה של החיסור, בהבדל אחד: בניגוד ל-SUB, תוצאת החיסור אינה נשמרת באופרנד היעד. בפקודה CMP, אופרנד היעד (כמו המקור) אינו משתנה. פעולת החיסור, משפיעה רק על הדגלים. לדוגמא,

I	II
MOV AX,6	MOV AX,6
SUB AX,2	CMP AX,2

בקוד I, אחרי פקודת ה-SUB הערך של AX הוא 4, ואילו בקוד II אחרי פקודת ה-CMP נשאר 6. אך תוכן אוגר הדגלים יהיה זהה בשני המקרים ($ZF = 0, SF = 0$) (...).

כאשר אנחנו משווים בין מספרים שלמים, נניח x ו-y, ישנם 2 אפשרויות איך אנחנו מתיחסים למספרים: מספרים שלמים עם סימן, או מספרים שלמים אי שליליים (חסרי סימן).

יש גם אפשרויות שונות לגבי השימוש בתוצאה: יכול להיות שאנחנו מעונינים בחשובה לשאלה (במושגים של שפת C) "האם $x == y$ ", או "האם $x < y$ ", או "האם $x \leq y$ " וכו'.

בכדי להבין את המנגנון הממש את אמצעי התכנות שלעיל, יש להבין את משפט המפתח הבא:

"הפקודה CMP שומרת באוגר הדגלים את כל האינפורמציה הנחוצה לביצוע כל ההשוואות האפשריות בשתי צורות ההתייחסות למספרים השלמים".

הרעיון הוא שערכם של הדגלים CF, SF, ZF ו-OF מכילים את כל האינפורמציה הנחוצה לכל ההשוואות האפשריות בשתי צורות ההתייחסות למספרים. השימוש בדגלים אלו הוא ע"י פקודות הסתעפות מותנות, שהתניה שלהן הוא תנאי משולב על מספר דגלים.

פקודות ההסתעפות שבהם מדובר הם כלהלן:

פקודות הסתעפות מותנות - מספרים חסרי סימן:

JA - Jump if Above (JNBE - Jump if not Below or Equal)
JAE - Jump if Above or Equal (JNB - Jump if not Below)
JE - Jump if Equal (JZ - Jump if Zero)
JNE - Jump if Not Equal (JNZ - Jump if Not Zero)
JBE - Jump if Below or Equal (JNA - Jump if not Above)
JB - Jump if Below (JNAE - Jump if not Above or Equal))

פקודות הסתעפות מותנות - מספרים עם סימן:

JG - Jump if Greater (JNLE - Jump if not Less or Equal)
JGE - Jump if Greater or Equal (JNL - Jump if not Less)
JE - Jump if Equal (JZ - Jump if Zero)
JNE - Jump if Not Equal (JNZ - Jump if Not Zero)
JLE - Jump if Less or Equal (JNG - Jump if not Greater)
JL - Jump if Less (JNGE - Jump if not Greater or Equal))

במקרה של שיויון, פקודת ההסתעפות JE משותפת לשני סוגי המספרים עם או בלי סימן, משום שתוצאת אפס בחיסור זהה לשני המקרים - יש לנו אלגוריתם חיסור אחד בלבד. JE הוא זהה ל-JZ ($\text{Jump on ZF} = 1$). לנוחות המתכנת יש למרבית הפקודות ההסתעפות יותר משם אחד - JZ ו-JE, JA ו-JNBE, JGE ו-JNL הם שלושה מקרים של שתי שמות שיוצרים בדיוק אותה פקודת מכונה.

השימוש בפקודות אלו הוא כמעט תמיד בשילוב עם הפקודה CMP. על מנת להבין אותם נצא מתוך ההנחה שזה אכן המקרה.

נמחיש את הרעיון ע"י דוגמא:

נתון הקוד הבא:

```
MOV CX,1
CMP AX,BX
JA Skip1
MOV CX,0
```

Skip1:

הקוד שלעיל יציב ל-CX את הערך 1 אם הערך של AX גדול ממש מהערך של BX כאשר שניהם מפורשים כמספרי חסרי סימן (אי שליליים). במידה ורצינו לקבל את אותו אפקט על מספרי עם סימן, ההבדל היחיד היה החלפת הפקודה JA ב-JG, כלומר הקוד יהיה:

```
MOV CX,1
CMP AX,BX
JG Skip1
MOV CX,0
```

Skip1:

לדוגמא, אם AX ו-BX היו מכילים את ערכים חיוביים שהם פחות מ-32767, לא יהיה הבדל בביצוע של שתי גירסאות הקוד. לעומת זאת אם אחד משני האוגרים מקבל ערך חיובי 32768 או יותר ההתנהגות תהיה שונה, משום שהפרשנות של מספר כזה, כמספר עם סימן, נחשב למספר שלילי.

המימוש של הפקודות הללו, הוא על סמך הדגלים שציונו קודם:
למשל, הפקודה JA אפשר לכנות גם $\text{Jump if CF} = 0 \text{ and ZF} = 0$.
הפקודה JG אפשר לכנות גם $\text{Jump if SF} = 0 \text{F and ZF} = 0$.
הפקודה JLE אפשר לכנות גם $\text{Jump if SF} \neq 0 \text{F or ZF} = 1$.
הפקודה JB זהה לפקודה JC ($\text{Jump if CF} = 1$).

וכו'. בדרך כלל אין לנו עניין לזכור בדיוק את הפרטים הטכניים הללו, אבל חשוב להבין שהדגלים מכלים את כל האינפומציה הנחוצה.

הגבלות

ב-8086, פקודות ההסתעפות המותנות, כלומר כל הפקודות ההסתעפות למעט JMP, מוגבלות לנקודה בתוכנית במרחק של לכל היותר -128 ... +127 מפקודת ההסתעפות עצמה. פירוש הדבר שאם בתוכנית מופיעה הפקודה

JA label

אז label חייב להיות, קודם כל, באותו סגמנט שבו הפקודה הזו מופיעה.

בנוסף label חייב להיות בנקודת זיכרון (offset) שהוא לכל היותר 128 לפני הפקודה JA, או לכל היותר 127 אחרי הפקודה JA. בטרמינולוגיה של אינטל מדובר בקפיצה קצרה (Short Jump). חלק מהפקודה היא byte יחיד המכיל את השינוי (חיובי או שלילי) שיש להוסיף ל-offset של הפקודה הנוכחית כדי להגיע ליעד.

ואשר לפקודת ההסתעפות הבלתי מותנית JMP, ב-8086 היו לו שתי גירסאות: אחת קצרה (כמו פקודת ההסתעפות המותנית) -128 ... +127, השנייה ארוכה (Long Jump) -32768 ... +32767.

כפי שיאמר בהמשך, המגבלה הזו של -128 ... +127 לא קיימת תחת ה-386 (או תוכניות שבהם מופיע ההנחיה 386). לכן המגבלה הזו לא צריכה להיות בעיה מיוחדת. יחד עם זאת, גם לתוכניות 8086 יש לזה פתרון.

במידה והיה צורך לממש פקודת הסתעפות למרחק גדול מ-128 ... +127, צריך לעקוף את הבעיה ע"י JMP. לדוגמא, אם אנחנו צריכים לממש

Lab:

.....

CMP AX,BX

JE Lab

ו-Lab נמצע רחוק מדי, ניתן להשתמש בפקודת ההסתעפות ההפוכה ל-JE (שהיא JNE) ולממש את הקוד בצורה

Lab:

.....

CMP AX,BX

JNE SkipJmp1 ; תנאי הפוך!

JMP Lab

SkipJmp1:

לכל פקודת הסתעפות צריך לבחור את ההיפוך הלוגי שלו, למשל עבור JA זה JNA (או באופן שקול JBE), עבור JGE זה JNGE (או באופן שקול JL) וכו'.

תכנות מבני באסמבלי

המטרה של כל האמור לעיל, הוא מימוש תכנות מבני באסמבלי. נראה עכשיו

סידרה של דוגמאות של מבני תוכניות ב-C ואת מימושם באסמבלי. זה לא מכסה את כל האפשרויות אבל נעבור על מספיק קטגוריות בכדי שהדרך לממש תוכניות מהסוג הזה יהיה ברור.

בכל הדוגמאות ההנחה היא שהמגבלה של 128 ... -127 לא מהווה בעיה. במידה ויש בעיה כזו, ניתן לעקוף את הבעיה בצורה המתוארת שלעיל.

דוגמא מספר 1:

מימוש קוד מהסוג (במושגים של שפת C):

```
if (AX == BX)
{
    ... גוף פקודות ....
}
```

באסמבלי:

```
CMP AX,BX
JNE Skip1 ; תנאי הפוך!
    ... גוף פקודות ....
Skip1:
```

דוגמא מספר 2:

מימוש קוד מהסוג (במושגים של שפת C):

```
if (AX == BX)
{
    ... גוף פקודות 1 ....
}
else
{
    ... גוף פקודות 2 ....
}
```

באסמבלי:

```
CMP AX,BX
JNE Else1 ; תנאי הפוך!
    ... גוף פקודות 1 ....
JMP EndIf1
Else1:
    ... גוף פקודות 2 ....
EndIf1:
```

דוגמא מספר 3:

מימוש קוד מהסוג (במושגים של שפת C):

```
if ( (AX == BX) && (CX == DX) )
{
    ... גוף פקודות ....
}
```

באסמבלי:

```
CMP AX,BX
JNE SkipBody1 ; תנאי הפוך!
CMP CX,DX
JNE SkipBody1 ; תנאי הפוך!
```

... גוף פקודות

SkipBody1:

דוגמא מספר 4:

מימוש קוד מהסוג (במושגים של שפת C):

```
if ( (AX == BX) || (CX == DX) )
{
    ... גוף פקודות ....
}
```

באסמבלי:

```
CMP AX,BX
JE DoBody1 ; תנאי ישיר!
CMP CX,DX
JE DoBody1 ; תנאי ישיר!
JMP SkipBody1
DoBody1:
```

אפשר גם
JNE SkipBody
אבל רק לתנאי לאחרון

... גוף פקודות

SkipBody1:

דוגמא מספר 5:

מימוש קוד מהסוג (במושגים של שפת C):

```
while (AX == BX)
{
    ... גוף פקודות ....
}
```

באסמבלי:

פתרון אינטואיטיבי:

```
DoBody1:
CMP AX,BX
JNE Fin1 ; תנאי הפוך!

... גוף פקודות ....

JMP DoBody1
Fin1:
```

אפשרות אחרת (יעילה מעט יותר):

```
JMP TestNext1
DoBody1:
```

.... גוף פקודות ...

```
TestNext1:
  CMP AX,BX
  JE DoBody1 ; תנאי ישיר!
```

דוגמא מספר 6:

מימוש קוד מהסוג (במושגים של שפת C):

```
do
{
  .... גוף פקודות ...
} while (AX == BX);
```

באסמבלי:

```
DoBody1:
```

.... גוף פקודות ...

```
CMP AX,BX
JE DoBody1 ; תנאי ישיר!
```

דוגמא מספר 7:

מימוש קוד מהסוג (במושגים של שפת C):

```
for(DX = 0; DX < N; DX++)
{
  .... גוף פקודות ...
}
```

באסמבלי:

פתרון אינטואיטיבי:

```
MOV DX,0
For1:
  CMP DX,N
  JGE Fin1
```

.... גוף פקודות ...

```
  INC DX
  JMP For1
Fin1:
```

פתרון יעיל מעט יותר:

```
MOV DX,0
JMP NextCheck1
DoBody1:
```

... גוף פקודות

```
INC DX
NextCheck1:
CMP DX,N
JL DoBody1 ; תנאי ישיר!
```

ההנחה כאן ש-DX ו-N מפורשים כמספרים עם סימן, מכאן השימוש ב-JGE ו-JL. אחרת (התיחסות אליהם כמספרים חסרי סימן) יש להחליפם ב-JAE ו-JB.

הפקודה LOOP

ראינו שניתן לממש את אמצעי התכנות המבוסס על מניה (for במושגים של C ומרבית שפות העילית האחרות) ע"י CMP והסתעפיות מותנות. זוהי הצורה ש-TURBO C מממש את המבנה הזה. עם זאת, ישנה תמיכה בחומרה למימוש יותר יעיל (לפחות ב-8086) של המבנה הזה.

אפשר לומר שיש תמיכה באופן ספציפי למבנה הבא (במושגי שפת C):

```
for(CX = N; CX != 0; CX--)
{
    ... גוף פקודות ...
}
```

התמיכה בחומרה למבנה הזה הוא בראש ובראשונה הפקודה LOOP שהשימוש שלה הוא מהצורה

```
LOOP label
```

מה שהפקודה עושה הוא כלהלן:

1. מבצע הפחתה של CX (מעין DEC CX אוטומטי).
2. במידה ו- $CX < 0$, מתקים הסתעפות ל-label (הסתעפות מותנית במקרה של 0 $CX >$).

LOOP היא איפוא פקודה אחת שמממשת את הקוד הבא:

```
DEC CX
JNZ label
```

החסכון מתקבל מכך שאין צורך לקרוא שתי פקודות מהזיכרון ולפענח אותם (מעבר לזמן הנחוץ לבצע אותם). אגב הבדל נוסף הוא ש-LOOP אינו מבצע את הבדיקה באמצעות הדגלים ואינו משפיע עליהם. ישנה גם פקודת הסתעפות מותנית JCXZ - Jump if CX is Zero המבצעת הסתעפות

מותנית אם $CX = 0$, שוב ללא שימוש בדגלים וללא השפעה עליהם.
 גם LOOP וגם JCXZ חייבים לקיים את ההגבלה של הסתעפיות קצרות (128- ... +127).

לפיכך המימוש של ה-for האחרון (המונה כלפי אפס) באסמבלי הוא כלהלן:

```
MOV CX,N
JCXZ SkipLoop1
Dol:
    ... גוף פקודות ....
    LOOP Dol
SkipLoop1:
```

לפקודה LOOP יש גירסאות LOOPE (נקרא גם LOOPZ) ו-LOOPNE (נקרא גם LOOPNZ) שמתנות את ההסתעפות בכך ש- $ZF = 1$ (ש- $ZF = 0$) בנוסף לתנאי ש- $CX < 0$. לדוגמא הלולאה הבאה תסתים כאשר $CX = 0$ או ש- $AX = BX$ בדגע ביצוע פקודת ה-LOOP:

```
MOV CX,N
JCXZ SkipLoop1
Dol:
    ... גוף פקודות ....
    CMP AX,BX
    LOOPNE Dol
SkipLoop1:
```

מעבדי 386 ואילך

אוגר הדגלים של המעבדים 386 אמנם הורחב ל-32 ביט, אבל הדגלים הנוספים אינם קשורים לנושאים שנדונו בתקציר זה. לפיכך אין הבדל בין ה-8086 ל-386 בהקשר הזה.

ב-386 הפקודה CMP והפקודות האריחמטיות יכולות לפעול על אופרנדים 32 ביט ($EAX, EBX, ...$) וההשפעה על הדגלים זהה לגירסאות 16 ביט. אולי ההבדל החשוב ביותר בין ה-386 ל-8086 בהקשר של התקציר הזה הוא ביטול ההגבלה של 128 ... +127 על פקודות ההסתעפות המותנות ($JE, JNE, JC, ...$). תחת 386 ההסתעפות יכולה להיות 16 ביט (32768 ... +32767) ובתנאים מסוימים אפילו 32 ביט.

הבדל נוסף הוא שב-386 הפקודה JMP יכול להסתעף לסגמנט אחר (כלומר שינוי CS בנוסף ל-EIP). רק JMP יכול לבצע את ההסתעפות הבין סגמנטית הזאת. אשר לפקודות ה-LOOP, LOOPE, LOOPNE, ב-386 ישנן לפקודה הללו גירסאות שבהם אוגר הבקרה הוא ECX וההסתעפות אפשרית למרחקים 32768- עד +32767. הפקודות הללו נקראות LOOPD, LOOPDE, LOOPDNE בהתאמה. לא ודאי שכדאי להשתמש בגירסאות של הפקודה LOOP במעבדים הללו: יתכן שהשילוב

```
DEC CX
JNZ label
או
DEC ECX
JNZ label
```

הוא יותר מהיר.

במקביל לפקודה JCXZ יש ב-386 פקודה נוספת JECXZ - Jump if ECX is Zero.

דוגמא מסכמת

להלן תוכנית המממשת את האלגוריתם של אוקלידס באסמבלי, בצד המימוש שלו ב-C. נקודה מעניינת כאן היא שבאסמבלי, אפשר "לחסוך" השוואות: ניתן לבצע יותר מבדיקה אחת עם התוצאות של פקודת CMP אחת.

```
;
; gcd3.asm - Compute greatest common divisor, 386 version
;
.MODEL SMALL
.STACK 100h
.DATA
x DD 881790
y DD 188955
Gcd DD ?
.CODE
.386 ; Enable 386 code
MOV AX,@DATA ; Program prefix
MOV DS,AX ; Set DS to point to data segment
;
MOV EAX,x ; First operand
MOV EBX,y ; Second operand
Do1: ; ***** C *****
CMP EAX,EBX ; while (eax != ebx)
JE Endlp {
JAE Xhigh ; if (eax<ebx)
XCHG EAX,EBX ; {
; temp = eax;
; eax = ebx;
; ebx = temp;
Xhigh: ; }
SUB EAX,EBX ; EAX := EAX - EBX
JMP Do1 ; eax = eax - ebx;
Endlp: ; } /* while */
MOV Gcd,EAX ; Store result
; gcd = eax;
MOV AH,4Ch ; Set terminate option for int 21h
INT 21h ; Return to DOS (terminate program)
END
```

gcd4.asm, fib1.asm, fib2.asm, fib3.asm, fib3.asm תוכניות דוגמא

התוכנית gcd4.asm הינה מימוש בשיטה ה"יעילה" של הלולאת ה-while בתוכנית gcd3.asm, שהיא המימוש ה"אינטואיטיבי" שלה. כלומר ב-gcd4.asm הבריקה בסוף הלולאה ומסתעפים אליה בהתחלה.

התוכניות fib1.asm, fib2.asm, fib3.asm, fib4.asm ממחישות מימוש for לחישוב מספרי פיבונצ'י. fib1.asm, fib2.asm עושות זאת בדרך "הכללית" fib3.asm ו-fib4.asm נעזרות בפקודה LOOP ו-LOOPD.

fib1.asm מממש את הלולאה בדרך ה"אינטואיטיבית" ו-fib2.asm בדרך ה"יעילה". בהערות יש את האלגוריתם בקוד C שקוד האסמבלי הוא כביכול "התרגום" שלה.

fib4.asm משתמש בפקודות הלולאה המורחבות של ה-386. שימו לב שהלולאה נשלטת על ידי ECX ולא CX, האגר ECX הוא שמקבל את n ושהפקודות JECXZ ו-LOOPD החליפו את JCX ו-LOOP.


```

;
; gcd4.asm - Compute greatest common divisor, 386 version
;
.MODEL SMALL
.STACK 100h
.DATA
X DD 881790
Y DD 188955
Gcd DD ?
.CODE
.386 ; Enable 386 code
MOV AX,@DATA ; Program prefix
MOV DS,AX ; Set DS to point to data segment
;
MOV EAX,X ; First operand
MOV EBX,Y ; Second operand
JMP TestNext
Dol: ; ***** C *****
; while (eax != ebx)
; {
; if (eax<ebx)
; {
; temp = eax;
; eax = ebx;
; ebx = temp;
; }
; eax = eax - ebx;
;
JAE Xhigh ; Skip XCHG IF EAX=>EBX
XCHG EAX,EBX ; EAX < EBX, Swap them
;
;
Xhigh: ;
SUB EAX,EBX ; EAX := EAX - EBX
TestNext: ;
CMP EAX,EBX ;
JNE Dol ; Exit if EAX = EBX
Endlp: ; } /* while */
MOV Gcd,EAX ; Store result gcd = eax;
;
MOV AH,4Ch ; Set terminate option for int 21h
INT 21h ; Return to DOS (terminate program)
END

```

```

;
; fib1.asm - Compute Fibonacci n
;
.MODEL SMALL
.STACK 100h
.DATA
n DD 20
Fibo_n DD ?
.CODE
.386 ; Enable 386 code
MOV AX,@DATA ; Program prefix
MOV DS,AX ; Set DS to point to data segment
;
MOV ECX,n ; ***** C *****
MOV ESI,3 ; ecx = n;
MOV EBX,1 ;
MOV EDX,1 ; ebx = edx = 1;
Do1: ; for(esi = 3; esi <= ecx; esi++)
CMP ESI,ECX ; {
JA Endlp ; eax = ebx + edx;
MOV EAX,EBX ; edx = ebx;
ADD EAX,EDX ; ebx = eax;
; }
MOV EDX,EBX ;
MOV EBX,EAX ;
;
INC ESI ;
JMP Do1 ;
;
Endlp: ;
MOV Fibo_n,EAX ; Store result fibo_n = eax
;
MOV AH,4Ch ; Set terminate option for int 21h
INT 21h ; Return to DOS (terminate program)
END

```

```

;
; fib2.asm - Compute Fibonacci n
;
.MODEL SMALL
.STACK 100h
.DATA
n DD 20
Fibo_n DD ?
.CODE
.386 ; Enable 386 code
MOV AX,@DATA ; Program prefix
MOV DS,AX ; Set DS to point to data segment
;
MOV ECX,n ; ***** C *****
MOV ESI,3 ; ecx = n;
MOV EBX,1 ;
MOV EDX,1 ; ebx = edx = 1;
JMP TestNext ;
Do1: ; for(esi = 3; esi <= ecx; esi++)
MOV EAX,EBX ; {
ADD EAX,EDX ; eax = ebx + edx;
; edx = ebx;
MOV EDX,EBX ; ebx = eax;
MOV EBX,EAX ; }
;
INC ESI ;
;
TestNext: ;
CMP ESI,ECX ;
JNA Do1 ;
Endlp: ;
MOV Fibo_n,EAX ; Store result fibo_n = eax
;
MOV AH,4Ch ; Set terminate option for int 21h
INT 21h ; Return to DOS (terminate program)
END

```

```

;
; fib3.asm - Compute Fibonacci n
;
.MODEL SMALL
.STACK 100h
.DATA
n        DW 20
Fibo_n   DD ?
.CODE
.386      ; Enable 386 code
MOV AX,@DATA ; Program prefix
MOV DS,AX   ; Set DS to point to data segment
;
MOV CX,n    ; ***** C *****
SUB CX,2    ; cx = n-2;
JS Endlp    ;
MOV EBX,1   ;
MOV EDX,1   ; eax = ebx = edx = 1;
MOV EAX,1   ;
JCKZ Endlp  ;
Do1:        ; for(cx = n-3; cx > 0; cx-- )
MOV EAX,EBX ; {
ADD EAX,EDX ;   eax = ebx + edx;
;           ;   edx = ebx;
MOV EDX,EBX ;   ebx = eax;
MOV EBX,EAX ; }
;
LOOP Do1    ;
;
Endlp:      ;
MOV Fibo_n,EAX ; Store result      fibo_n = eax
;
MOV AH,4Ch  ; Set terminate option for int 21h
INT 21h     ; Return to DOS (terminate program)
END

```

```

;
; fib4.asm - Compute fibo
;
.MODEL SMALL
.STACK 100h
.DATA
n DD 20
Fibo_n DD ?
.CODE
.386 ; Enable 386 code
MOV AX,@DATA ; Program prefix
MOV DS,AX ; Set DS to point to data segment
;
MOV ECX,n ; ***** C *****
SUB ECX,2 ;
JS Endlp ;
MOV EBX,1 ;
MOV EDX,1 ; eax = ebx = edx = 1;
MOV EAX,1 ;
JECXZ EndLp ;
Do1: ; for(ecx = n-2; ecx > 0; ecx-- )
MOV EAX,EBX ; {
ADD EAX,EDX ; eax = ebx + edx;
; edx = ebx;
MOV EDX,EBX ; ebx = eax;
MOV EBX,EAX ; }
;
LOOPD Do1 ;
;
Endlp: ;
MOV Fibo_n,EAX ; Store result fibo_n = eax
;
MOV AH,4Ch ; Set terminate option for int 21h
INT 21h ; Return to DOS (terminate program)
END

```

JXX - Jump Instructions Table

Mnemonic	Meaning	Jump Condition
JA	Jump if Above	CF=0 and ZF=0
JAЕ	Jump if Above or Equal	CF=0
JB	Jump if Below	CF=1
JBE	Jump if Below or Equal	CF=1 or ZF=1
JC	Jump if Carry	CF=1
JCXZ	Jump if CX Zero	CX=0
JE	Jump if Equal	ZF=1
JG	Jump if Greater (signed)	ZF=0 and SF=OF
JGE	Jump if Greater or Equal (signed)	SF=OF
JL	Jump if Less (signed)	SF != OF
JLE	Jump if Less or Equal (signed)	ZF=1 or SF != OF
JMP	Unconditional Jump	unconditional
JNA	Jump if Not Above	CF=1 or ZF=1
JNAE	Jump if Not Above or Equal	CF=1
JNB	Jump if Not Below	CF=0
JNBE	Jump if Not Below or Equal	CF=0 and ZF=0
JNC	Jump if Not Carry	CF=0
JNE	Jump if Not Equal	ZF=0
JNG	Jump if Not Greater (signed)	ZF=1 or SF != OF
JNGE	Jump if Not Greater or Equal (signed)	SF != OF
JNL	Jump if Not Less (signed)	SF=OF
JNLE	Jump if Not Less or Equal (signed)	ZF=0 and SF=OF
JNO	Jump if Not Overflow (signed)	OF=0
JNP	Jump if No Parity	PF=0
JNS	Jump if Not Signed (signed)	SF=0
JNZ	Jump if Not Zero	ZF=0
JO	Jump if Overflow (signed)	OF=1
JP	Jump if Parity	PF=1
JPE	Jump if Parity Even	PF=1
JPO	Jump if Parity Odd	PF=0
JS	Jump if Signed (signed)	SF=1
JZ	Jump if Zero	ZF=1