

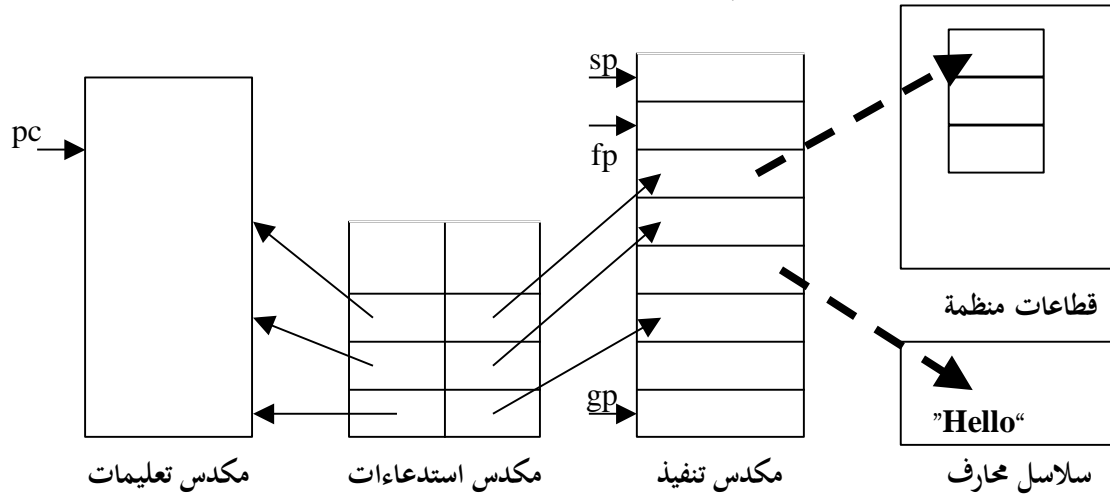
ملحق مشروع مترجم لغة: الآلة الافتراضية

1. التوصيف

1-1- تنظيم الآلة

تعتبر الآلة المدروسة، آلة ذات مكدسات (بعكس الآلات ذات السجلات)، وتتألف من: مكدس رماز وتعليمات (Instructions)، ومكدس استدعاءات (Calls)، ومكدس تنفيذ، و من قطاعات ذاكرة (Structured Memory blocs) وأربع سجلات.

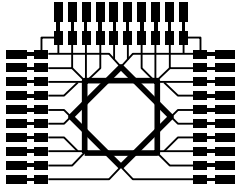
- يحتوي مكدس التنفيذ على قيم (Values)، يمكن أن تكون صحيحة، أو حقيقية، أو أن تكون عبارة عن عناوين.
- تتألف قطاعات الذاكرة من مجموعتين. تحتوي المجموعة الأولى على سلاسل محارف، وتحتوي المجموعة الثانية على كتل منظمة بحيث يتم الوصول إلى محتوى المجموعتين بواسطة عناوين القيم المخزنة فيهما. تحوي مجموعة الكتل المنظمة على عدد من القيم (من نفس نوع القيم الموجودة على المكدس).
- يمكن أن يكون للعنوان أربعة أشكال مختلفة: مؤشر باتجاه رماز (Code)، أو مؤشر باتجاه المكدس، أو مؤشر باتجاه كتلة منظمة من الذاكر، أو مؤشر باتجاه سلسلة محارف.
- يكون للآلة المستخدمة الشكل التالي:



يمكن الوصول إلى الأجزاء المختلفة من مكدس التنفيذ اعتماداً على ثلاثة سجلات:

- السجل sp (stack pointer) الذي يحدد القمة الحالية للمكدس، ويؤشر إلى الخلية الأولى الفارغة من المكدس.
- السجل fp (frame pointer) الذي يحدد العنوان القاعدي (الأول) للمتحويلات المحلية.
- السجل gp الذي يحدد العنوان القاعدي (الأول) للمتحويلات العامة.

يسمح مكدس الاستدعاءات بحفظ أي استدعاء حيث يحوي أزواجاً من المؤشرات يقوم أحدها بحفظ سجل التعليمات pc والآخر بحفظ السجل fp.



الجمهورية العربية السورية

المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

مادة المترجمات

1-2- التعليمات

يكون للتعليمات أسماء ويمكن أن تأخذ معامل أو معاملي دخل. يمن لهذه المعاملات أن تكون:

- ثوابت صحيحة
- ثوابت حقيقية
- سلاسل محارف بين فواصل معترضة مثل "Hello" مع نفس الاصطلاحات من أجل لغة C والمتعلقة بالمحارف الخاصة: "\", و n، و \\.
- نقطة علام رمزية تحدد موقعاً في الرماز.

المصطلحات:

نستخدم المصطلحات التالية:

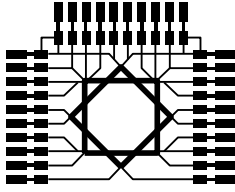
- يعني تكديس قيمة x ، تخزين x في الموقع $P[sp]$ وزيادة sp بقيمة 1
- يعني تكديس قيمة $x \downarrow n$ مرة، تكرار العملية السابقة n مرة
- يعني إخراج n قيمة من المكس، إنقاص قيمة sp بمقدار n
- يشير مصطلح "قمة المكس الأولى" إلى القيمة الأخيرة المكسدة في المكس أي $P[sp-1]$ ، ويشير مصطلح "قمة المكس الثانية" إلى القيمة ما قبل الأخيرة المخزنة في المكس أي $P[sp-2]$

العمليات الأساسية:

يتم تنفيذ العمليات الحسابية أو عمليات الفاصلة العائمة بين قمة المكس الأولى وقمة المكس الثانية، حيث يتم إخراج القيمتين من المكس ثم إعادة تكديس النتيجة بدلاً عنها. أما عمليات المقارنة فتأخذ نتائجها قيمة صحيحة هي 0 أو 1. تمثل القيمة 0 القيمة المنطقية "خطأ" بينما تمثل 1 القيمة المنطقية "صح".

العمليات على الأعداد الصحيحة: نفرض n و m عددين صحيحين

التعليمة	الوصف
ADD	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m+n$ في المكس
SUB	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m-n$ في المكس
MUL	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m*n$ في المكس
DIV	إخراج n ثم m من المكس ووضع m/n في المكس
MOD	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m \bmod n$ في المكس
NOT	إخراج n من المكس ووضع $n=0$ في المكس
INF	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m < n$ في المكس
INFEQ	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m \leq n$ في المكس



الجمهورية العربية السورية
المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
مادة المترجمات

SUP	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m > n$ في المكس
SUPEQ	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m \geq n$ في المكس

العمليات على الأعداد الحقيقية:

نفرض m و n عددين حقيقيين

التعليمة	الوصف
FADD	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m+n$ في المكس
FSUB	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m-n$ في المكس
FMUL	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m*n$ في المكس
FDIV	إخراج n ثم m من المكس ووضع m/n في المكس
FINF	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m < n$ في المكس
FINFEQ	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m \leq n$ في المكس
FSUP	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m > n$ في المكس
FSUPEQ	إخراج n ثم m من المكس ووضع $m \geq n$ في المكس

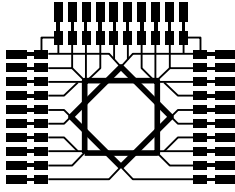
العمليات على سلاسل المحارف:

التعليمة	الوصف
CONCAT	إخراج n ثم m من المكس (يشير كلاً من n و m إلى عناوين سلاسل) وتكديس عنوان سلسلة تحتوي على حاصل دمج السلسلتين المعنوتين بـ n و m .

العمليات على المجموعات:

التعليمة	المعامل	الوصف
ALLOC	n صحيح	حجز كتلة منظمة من الذاكرة حجمها n وتكديس عنوان الكتلة
ALLOCN		إخراج العدد الصحيح n من المكس وحجز كتلة منظمة من الذاكرة حجمها n وتكديس عنوان الكتلة
FREE		إخراج العنوان a من المكس وتحرير الكتلة المنظمة المقابلة للعنوان a

المساواة:



الجمهورية العربية السورية
المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
مادة المترجمات

يعتمد اختبار المساواة على فحص ما إذا كانت الأغراض موضوع الاختبار (أعداد صحيحة، أوحقيقية، أو عناوين) والموجودة في المكس، متساوية. نحصل على خطأ تنفيذ في حال لم تكن هذه القيم من نفس النمط.

التعليمة	الوصف
EQUAL	إخراج n ثم m من المكس (يجب أن يكونا من نفس النمط) وتكديس النتيجة n=m

التحويلات:

تسمح عدة تعليمات بالقيام بتحويل سلاسل محارف إلى أعداد صحيحة أو حقيقية وبالعكس.

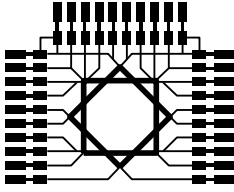
التعليمة	الوصف
ITOF	إخراج قيمة صحيحة من المكس وتكديس ناتج تحويلها إلى قيمة حقيقية
FTOI	إخراج قيمة حقيقية من المكس وتكديس القيمة الصحيحة التي يمثل الجزء الصحيح من القيمة الحقيقية (بعد إزالة الأرقام العشرية)
ATOI	إخراج عنوان سلسلة محارف وتكديس القيمة الناتجة عن تحويل السلسلة إلى عدد صحيح. تفشل التعليمة إذا لم تكن السلسلة تمثل عدداً صحيحاً.
ATOF	إخراج عنوان سلسلة محارف وتكديس القيمة الناتجة عن تحويل السلسلة إلى عدد حقيقي. تفشل التعليمة إذا لم تكن السلسلة تمثل عدداً حقيقياً.
STRI	إخراج عدد صحيح من المكس وتكديس عنوان سلسلة محارف تمثل هذا العدد الصحيح
STRF	إخراج عدد حقيقي من المكس وتكديس عنوان سلسلة محارف تمثل هذا العدد الحقيقي

التعامل مع المعطيات:

إذا كان x يمثل عنواناً في المكس فإن x[n] يمثل عنواناً يقع في الموقع الأعلى بـ n خلية.

التكديس:

التعليمة	المعامل	الوصف
PUSHI	n صحيح	تكديس n
PUSHN	n صحيح	تكديس n مرة القيمة الصحيحة 0
PUSHF	n حقيقي	تكديس n
PUSHG	n صحيح	تكديس القيمة المتوسطة في gp[n]
PUSHL	n صحيح	تكديس القيمة المتوسطة في fp[n]
PUSHSP		تكديس قيمة السجل sp
PUSHFP		تكديس قيمة السجل fp
PUSHGP		تكديس قيمة السجل gp
LOAD	n صحيح	إخراج العنوان a من المكس وتكديس القيمة التي مؤشر عليها العنوان أو تكديس القيمة الموجودة في موقع الذاكرة a[n]



الجمهورية العربية السورية
المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
مادة المترجمات

LOADN		إخراج عدد صحيح k من المكس، وإخراج العنوان a وتكديس القيمة التي مؤشر عليها العنوان أو القيمة الموجودة في موقع الذاكرة a[k]
DUP	n صحيح	تكرار وتكديس الـ n قيمة الموجودة في قمة المكس
DUPN		إخراج عدد صحيح k من المكس ثم تكرار وتكديس الـ k قيمة الموجودة في القمة

الإخراج من المكس:

التعليمة	المعامل	الوصف
POP	n صحيح	إخراج n قيمة من المكس
POPn		إخراج عدد صحيح k من المكس ثم إخراج k قيمة من المكس

التخزين:

التعليمة	المعامل	الوصف
STOREL	n صحيح	إخراج قيمة من المكس وتخزينها في المكس في الموضع fp[n]
STOREG	n صحيح	إخراج قيمة من المكس وتخزينها في المكس في الموضع gp[n]
STORE	n صحيح	إخراج قيمة v وعنوان a من المكس، وتخزين v في العنوان a[n] في المكس أو في الذاكرة (تبعاً لمكان a[n])
STOREN		إخراج قيمة v وعدد صحيح k وعنوان a من المكس، وتخزين v في العنوان a[k] في المكس أو الذاكرة (تبعاً لمكان a[k])

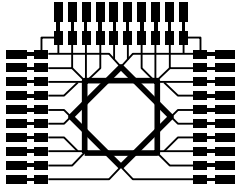
متفرقات:

التعليمة	المعامل	الوصف
CHECK	n ثم p، صحيحة	التحقق من أن قمة المكس تحتوي على عدد صحيح i حيث $n \leq i \leq p$
SWAP		إخراج n ثم p وإعادة تكديس n ثم p

عمليات الدخول/الخروج:

تسمح العمليات التالية بإدارة عمليات القراءة والطباعة الخاصة ببرنامج تنفذ الآلة الافتراضية:

التعليمة	الوصف
WRITEI	إخراج قيمة صحيحة من المكس وطباعتها على الخرج القياسي
WRITEF	إخراج قيمة حقيقية من المكس وطباعتها على الخرج القياسي
WRITES	إخراج عنوان سلسلة محارف وطباعة السلسلة الموافقة على الخرج القياسي.



الجمهورية العربية السورية
المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
مادة المترجمات

قراءة سلسلة محارف (تنتهي بالمحرف Return)، من لوحة المفاتيح، وتخزين السلسلة (دون المحرف Return) في الذاكرة وتكديس عنوانها.	READ
---	------

عمليات التحكم:

بعد تنفيذ تعليمة، تزداد قيمة السجل pc، عادةً، بمقدار 1.
تسمح عمليات التحكم التالية بتغيير هذا السلوك التلقائي.

تعديل السجل pc:

الوصف	المعامل	التعليمة
إسناد عنوان البرنامج المتعلق بـ Label (الذي يمكن أن يكون عدداً صحيحاً أو قيمة رمزية) إلى السجل pc.	Label	JUMP
إخراج قيمة من المكس. في حال كانت القيمة تساوي null، يجري إسناد عنوان البرنامج المتعلق بـ Label إلى السجل pc، وإلا، فإننا نقوم بزيادة قيمة السجل pc بمقدار 1.	Label	JZ
إخراج عنوان الرمز المتعلق بـ Label من المكس.	Label	PUSHA

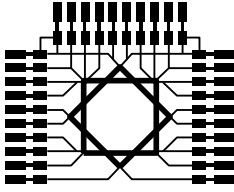
استدعاء إجرائية:

من الضروري، عند استدعاء إجرائية، حفظ سجل التعليمات وتحولات محلية بحيث يتم استرجاعهم، جميعاً، عند انتهاء الإجرائية من العمل.

الوصف	التعليمة
إخراج عنوان رماز الإجرائية (ليكن العنوان a) من المكس، وتخزين وحفظ السجلات pc و fp في مكس الاستدعاءات، وإسناد قيمة sp الحالية إلى fp، وإسناد قيمة a إلى pc.	CALL
إسناد القيمة الحالية للسجل fp إلى السجل sp، واستعادة قيم fp و pc من مكس الاستدعاءات، وزيادة قيمة pc بمقدار 1 بحيث يتواجد pc على التعليمة التي تلي مباشرة تعليمة استدعاء الإجرائية.	RETURN

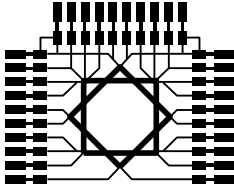
الحالة الابتدائية وحالة انتهاء العمل:

يشير السجل pc، في الحالة الابتدائية، إلى أول تعليمة في البرنامج. يكون كلاً من مكس الاستدعاءات ومكس التنفيذ فارغين. يشير كلاً من السجلين gp و sp إلى قاعدة مكس التنفيذ، في حين لا يكون السجل fp مُعرّفاً بعد. يجري تأهيل السجل fp لأول مرة عند ظهور تعليمة START التي يجري استخدامها لمرة واحدة فقط. تساعد التعليمات التالية على إيقاف الآلة عند انتهاء البرنامج أو عند ظهور خطأ.



الجمهورية العربية السورية
المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
مادة المترجمات

الوصف	المعامل	التعليمة
اسناد قيمة السجل sp إلى السجل fp.		START
لا شيء		NOP
إرسال رسالة خطأ مع الرسالة x.	x من النمط string	ERR
إنهاء البرنامج.		STOP



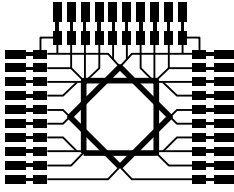
2. التحقيق:

جرى توزيع نسخة تنفيذية vm.exe من الآلة الافتراضية. تتمتع هذه النسخة بواجهة أوامر سطرية.

2-1- القواعد المفرداتية والقواعد الصرفية الخاصة بلغة الآلة الافتراضية:

تتبع البرامج المكتوبة بلغة الآلة الأنفة الذكر بالقواعد المفرداتية والصرفية التالية:

- تعتبر الأحرف الناتجة عن المفاتيح Space، Tabulation، Return، فراغات.
- يجري استخدام تعليقات لها شكل تعليقات لغة C++ تبدأ ب // وتمتد على سطر واحد فقط من نص البرنامج.
- تتبع المُعرِّفات (Identifier) التعبير المنتظم <Ident> التالي:
$$\begin{aligned} \langle \text{Digit} \rangle &::= 0-9 \\ \langle \text{Alpha} \rangle &::= a-z \mid A-Z \\ \langle \text{Ident} \rangle &::= (\langle \text{Alpha} \rangle \mid _) (\langle \text{Alpha} \rangle \mid \langle \text{Digit} \rangle \mid _)^* \end{aligned}$$
- تتبع الثوابت الرقمية الصحيحة التعبير المنتظم <Integer> التالي:
$$\langle \text{Integer} \rangle ::= -? \langle \text{Digit} \rangle +$$
- تتبع الثوابت الرقمية الحقيقية التعبير المنتظم <Real> التالي:
$$\langle \text{Real} \rangle ::= -? \langle \text{Digit} \rangle + (\cdot \langle \text{Digit} \rangle^*)? ((e \mid E) (- \mid +) ? \langle \text{Digit} \rangle +) ?$$
- تكون سلاسل المحارف محدودة بالفواصل المعترضة “ ”، ويمكن أن تحوي قيما بين هذه الفواصل أي سلسلة محارف حتى المحارف ذات المعنى (مثل “) إذا كانت مسبقة بالمحرف \. بمعنى آخر تتبع سلاسل المحارف التعبير المنتظم <String> التالي:
$$\langle \text{String} \rangle ::= " ([^"] \mid \backslash ")^* "$$
- تتبع لغة الآلة المستخدمة، القواعد الصرفية التالية:



```
<Code>      :=      <Instr>*
<Instr>      :=      <Ident> :
                  |
                  |      <Instr_Atom>
                  |      <Instr_Int> <Integer>
                  |      pushf <float>
                  |      (pushs | err) <String>
                  |      check <Integer>, <Integer>
                  |      (jump | jz | pusha) <Ident>
<Instr_Atom> :=      add | sub | mul | div | mod | not | inf |
                  |      infeq | sup | supeq | fadd | fsub | fmul | |
                  |      fdiv | finf | finfeq | fsup | fsupeq | concat |
                  |      equal | atoi | atof | itof | ftoi | stri | strf |
                  |      pushsp | pushfp | pushgp | loadn | storen |
                  |      swap | writei | writef | writes | read | call |
                  |      return | start | nop | stop | allocn | free |
                  |      dupn | popn
<Instr_Int>   :=      pushi | pushn | pushg | pushl | load | dup |
                  |      pop | storel | storeg | alloc
```

2-2- الاستخدام:

vm [options] [file.vm]

Options:

- dump** : عرض معلومات عند الانتهاء من تنفيذ البرنامج
- silent** : تنفيذ دون إخراج معلومات
- count** : عرض عدد التعليمات المنفذة
- ssize integer** : تحديد حجم مكس التنفيذ (1000 تلقائياً)
- csize integer** : تحديد حجم مكس الاستدعاءات (100 تلقائياً)