۱- داده گونه های مجرد و اولیه

۱-۱- ویژگی های یک برنامه خوب

۱.درست کار کند

۲.فهمیدن برنامه آسان باشدو به راحتی قابل تغییر باشد

۳.پس ضمینه ی استدلالی درست داشته باشد

یکی از راه ها برای رسیدن به هدف دوم استفاده از گونه داده ای مجرد (۱)است.ایده ی اصلی گونه های مجرد(ADT) جدا کردن روش های تشخیص است. یعنی اینکه بدانیم با چه نوع داده ای سر و کار داریم و چه نوع عملگر هایی بر روی این داده تعریف شده اند.

فواید استفاده از گونه های مجرد را میتوان در سه مورد خلاصه کرد:

۱.فهم آسان کد

۲.برای هدف های مختلف پیاده سازی برای گونه های داده ی مجرد (۲) ساده است، یعنی بدون اینکه نیاز باشد کل برنامه را تغییر دهیم با تغییرات اندک میتوان برنامه را برای گونه داده های مختلف استفاده کرد.

۳.ویژگی دوم سبب میشود تا بتوان کدی که بدین شکل نوشته شده را در آینده و برای پروژه های دیگر نیز استفاده کرد.

۱-۲- انواع گونه های مجرد

در کل دو نوع گونه ی مجرد داریم:

۱.public یا external که شامل قسمت های زیر است:

- دید ادراکی از تصویر داده(دید کاربر از اینکه داده ی مورد نظر چه شکلی است)

- دید ادراکی از عملکرد داده(دید کاربر نسبت به اینکه داده چه کارهایی میتواند بکند)

۲. private یا internal که شامل قسمت های زیر است:

- نمایش ساختاری داده(اینکه داده در حقیقت چگونه ذخیره میشود)

- اجرای عملگرهای داده (قسمت واقعی کد)

قسمت آخر یک گونه داده ی مجرد(اجرای عملگرها) در کل میتواند شامل دسته های زیر باشد:

۱.تعریف داده

۲.افزودن داده ی جدید به داده های درون داده ی اصلی

۳. دسترسی به داده های درون داده ی اصلی

۴.پاک کردن داده های درون داده ی اصلی

از جمله ی این داده گونه ها می توان به List، Graph، Queue، Container، Stack ، Set و Pile اشاره کرد.

۱-۳- مراحل تبدیل یک کد به برنامه

۱.تجزیه(۳):تجزیه ی کد یعنی شکستن کد به قسمت های ریزتر.قبل از اینکه کد به یک اطلاعات معنی دار تبدیل شود باید تجزیه شود. بعد از تجزیه کد اماده ی مرحله ی بعدی است.

۲.کامپایل:کامپایل یک کد تجزیه شده در حقیقت تبدیل آن به یک برنامه است.البته این مرحله شامل ۲ گام است:

- تبدیل سورس کد تجزیه شده به یک object code

- object code توسط یک لینکر لینک میشود

۱-۴- مدیریت جافظه در حال اجرا در جاوا

جاوا یک پردازهدر سطح سیستم عامل (۴) است.سیستم عامل و طراحی کامپیوتر یک سری محدودیت ها را برای اجرای برنامه به همراه می آورد.فرض میکنیم کامپیوتر دارای یک حافظه ی ۳۲ بیتی است، یعنی پهنای هر یک از خانه ها ی حافظه ۳۲ بیت است. اگر شماره ی خانه ها از ۰ تا oxFFFFFFFF باشد یعنی حجم حافظه ۴ GB خواهد بود.

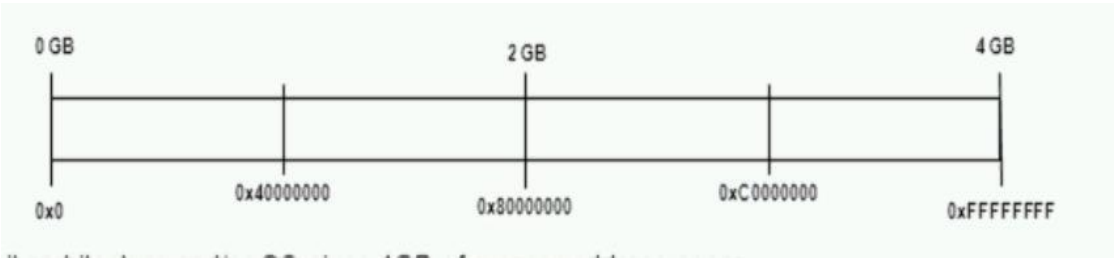


Figure۱نمایی از خانه های حافظه در یک کامپیوتر ۳۲ بیتی

مقداری از حافظه به OS (سیستم عامل) وC-Language Runtime اختصاص میابد.

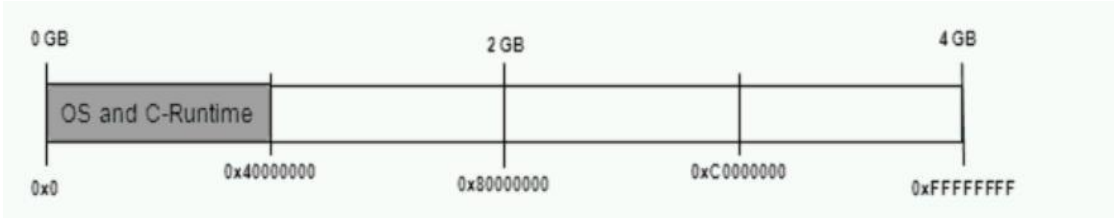


Figure۲ نحوه ی اختصاص خانه های ابتدای حافظه

در سیستم عامل ویندوز این حجم ۲ گیگابایت است اما در لینوکس به ۱ گیگابایت کاهش میابد. به حجم باقیمانده فضای کاربری(user space) گفته میشود.

قسمتی از فضای حافظه هنگام اجرای جاوا به JVM اختصاص میابد.این حافظه شامل موتور اجرا و JIT Compiler و غیره میباشد.

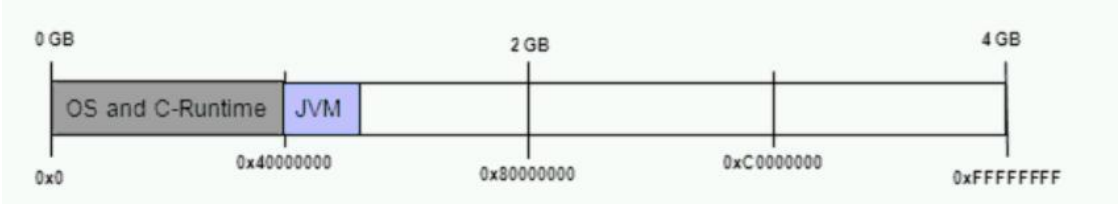


Figure۳ حافظه ی اختصاص داده شده به JVM

بقیه ی حافظه به هیپ ها اختصاص میابند:

۱.java heap: هیپ های مربوط به اجرای برنامه که مقادیر ماکزیمم و مینیمم برایش تعیین میشود

۲.native(System) heap : این هیپ برای اجرای ریسمان های(threads) مختلف است

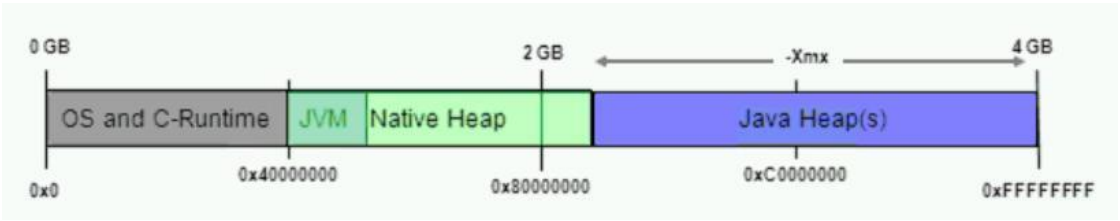


Figure۴ حافظه ی مربوط به هیپ ها

جاوا یک زبان statically-typed است . یعنی همه ی متغیر ها باید قبل از استفاده شدن تعریف شوند.

حال که داده گونه های مجرد را بررسی کردیم به یک نوع داده گونه ی دیگر میپردازیم یعنی داده گونه های اولیه(Primitive Datatype). این داده گونه ها ویژگی مشترکی با هم دارند که آنهارا از non Primitive Data Type جدا میکند، نداشتن متد (method) واینکه حافظه های ثابتی اشغال میکنند. داده گونه های اولیه به چند دسته تقسیم میشوند:

Type	Contains	Range	Storage Requirment(bit)	Defualt
boolean	true or false	NA	1	false
char	Unicode character unsigned	\u0000 to \uFFFF	16	\u0000
byte	Signed integer	-128 to 127	8	0
short	Signed integer	-32768 to 32767	16	0

int	Signed integer	-2147483648 to 2147483647	32	0
long	Signed integer	-9223372036854775808 to 9223372036854775807	64	0
float	IEEE 754 floating point single-precision	±1.4E-45 to ±3.4028235E+38	32	0.0
double	IEEE 754 floating point double-precision	±4.9E-324 to ±1.7976931348623157E+308	64	0.0

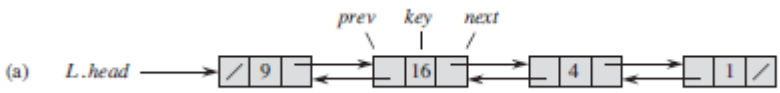
Table۱ انواع داده گونه های اولیه

۲- آرایه

چگونه می توان اشاره‌گر و اشیاء را در زبان هایی، مثل فرترن، که آن ها را پشتیبانی نمی کند پیاده سازی کرد؟ برای این کار می توان از جایگزینی آنها با آرایه و اندیس آرایه استفاده کرد. این تنها یک نمونه از کاربرد های فرآوان آرایه میباشد که در این بخش به آن پرداخته میشود.

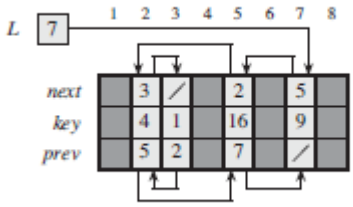
۲-۱- پیاده سازی یک لیست پیوندی با آرایه ی چند بعدی

شکل زیر پیاده سازی یک لیست پیوندی با آرایه را نشان می دهد.



پیاده سازی لیست پیوندی با آرایه

برای این پیاده سازی ما میتوان از یک آرایه چند بعدی استفاده کرد که طول ردیف های آن سه است.



پیاده سازی لیست پیوندی با آرایه

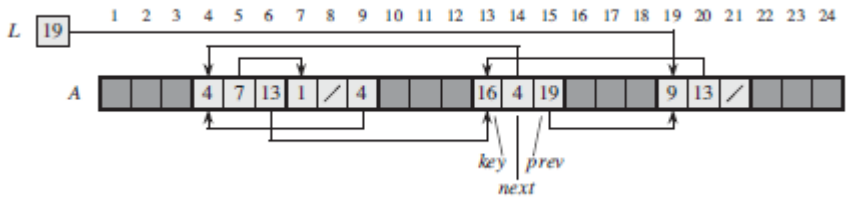
همانطور که در شکل بالادیده می شود، یک آرایه چند بعدی با سه ردیف داریم. ردیف اول اندیس خانه بعدی (next)، ردیف دوم کلید (key) ، و ردیف سوم اندیس خانه قبلی(prev) هر جزء از لیست پیوندی را نگه میدارد. " L " نیز سر لیست پیوندی را مشخص میکند. هر قسمت عمودی از آرایه نمایش یک شی تنها است.خانـــه‌های روشن حاوی عناصر لیست هستند و خانه های تیره نیز بدون استفاده میباشند. برای مقداردهی خانه ((/)) از یک مقدار که در اندیس های حقیقی ظاهر نمیشود (مانند -۱) استفاده میکنیم.

برای نمونه عدد ۴ در ستون دوم از ردیف key قرار دارد و مقدار next آن ۳ میباشد. بنابراین عنصربعدی آن در لیست پیوندی در ستون سوم از آرایه ما قرار دارد که key آن عنصر ۱ است، پس عنصر بعد از عدد ۴ در لیست پیوندی، ۱ است.

از طرفی مقدار prev کلید ۴ ، ۵ بوده و بنابراین عنصر قبلی آن در لیست پیوندی در ستون پنـجم از آرایه ما قرار دارد که key آن ۱۶ است، پس عنصر قبلی عدد ۴ در لیست پیوندی، ۱۶ است.

۲-۲- پیاده سازی لیست پیوندی و آرایه ی چندبعدی با آرایه یک بعدی

حال میخواهیم لیست پیوندی شکل ------ و آرایه چند بعدی شکل -------- را به وسیله یک آرایه یک بعدی نشان دهیم.



پیاده سازی لیست پیوندی با آرایه یک بعدی

شکل بالا نحوه پیاده سازی لیست پیوندی شکل ---- و آرایه چند بعدی شکل ----- در یک آرایه یک بعدی را نشان میدهد.

به این ترتیب که key هر عنصر لیست پیوندی ما در یک خانه از آرایه با اندیس j (که باقیمانده آن بر ۳ ، ۱ است) قرار میگیرد. سپس nextو prev آن عنصر در خانه های j+1 (که باقیمانده آن بر ۳ ، ۲ است)و j+2 (که مضرب ۳ است) گذاشته میشود. همانند قبلL سر لیست پیوندی را مشخص میکند.

برای نمونه در خانه ۱۹ ام عنصر با "key " ۹ قرار دارد. در خانه ۲۰ام (۱+۱۹) اندیس عنصر بعدی عدد ۱۹ قرار دارد که ۱۳ است و چون در خانه ۱۳ ام عنصر ۱۶ قرار دارد پس عنصر بعدی عدد ۹ در لیست پیوندی ۱۶ است. از طرفی در خانه ۲۱ام (۲+۲۰) اندیس عنصر قبلی عدد ۱۹ قرار دارد که " / " است. پس عنصر قبلی برای عدد ۹ وجود ندارد و ۹ در ابتدای لیست پیوندی قرار دارد.

۲-۳- پیدا کردن آدرس خانه i ام در یک آرایه

ما میخواهیم با داشتن آدرس اولین خانه از یک آرایه، آدرس هر کدام از خانه های آرایه را که میخواهیم بدست آوریم. بدست آوردن این آدرس با توجه به جنس دز نظر گرفته شده برای آرایه متفاوت است. در اینجا مبنای جنس آرایه را int در نظر گرفته می شود که هر خانه ۴ بایت فضا را در حافظه اشغال میکند.

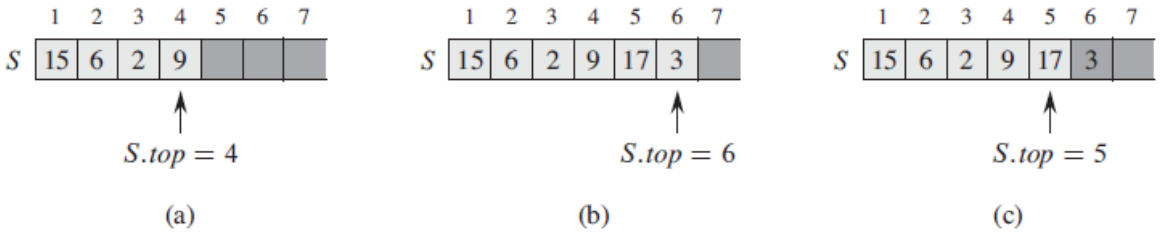
پس برای پیدا کردن خانه مورد نظر کافی است تا ۴ برابر "تعداد خانه های قبل آن خانه" را به آدرس خانهاول اضافه کنیم.

به عنوان مثال دریک آرایه دو بعدی مانند int A[5][3] و با فرضاینکه آدرس خانه ی اول آرایه ۱۰۰۰ است، آدرس خانه ی A[2] به این صورت بدست می آید.

Address of A[2] = 1000 + (2*3*4) = 1024

۳- پشته :

پشته یا "استک" ساختمان داده ای " LIFO "یا " Last In First Out " است، یعنی اولین خروجی از پشته، آخرین ورودی پشته است. همچنین پشته دارای دو عمل PUSH و POP است، push یک متغیر را داخل پشته و روی متغیرهایی که قبلا داخل پشته بوده قرار میدهد و pop یک مغیر را از سر پشته برداشته و به عنوان خروجی بیرون میدهد.



مثالی از پشته

در قسمت a در شکل ----- یک ساختمان داده پشته با ۴ عنصر دیده میشود. در این لحظه عددی که تابع top() میدهد ۴ است که یعنی بالاترین عنصر پشته در خانه چهارم قرار دارد.

در قسمت b در این شکل، دو عدد ۱۷ و ۳ به ترتیب در پشتهpushشده اند. اینبار عدد برگردانده شده توسط تابع top()، ۶ است، چون دو عنصر به پشته ما اضافه شده است.

در قسمت c، ابتدا تابع POP فراخوانی شده و بنابراین عنصر سر پشته که ۳ بود از آن خارج شده است. حالا اینبار عدد برگردانده شده توسط تابع top() ، میشود.

شبه کد تابع PUSH در پشته : (مقدار اولیه top=-1)

```
Int push(Datatype x) {
        If ( is.full() )
                Return -1;
        S[++top] = x;
        Return top;
}
```

شبه کد تابع POP در پشته : (مقدار اولیه top=-1)

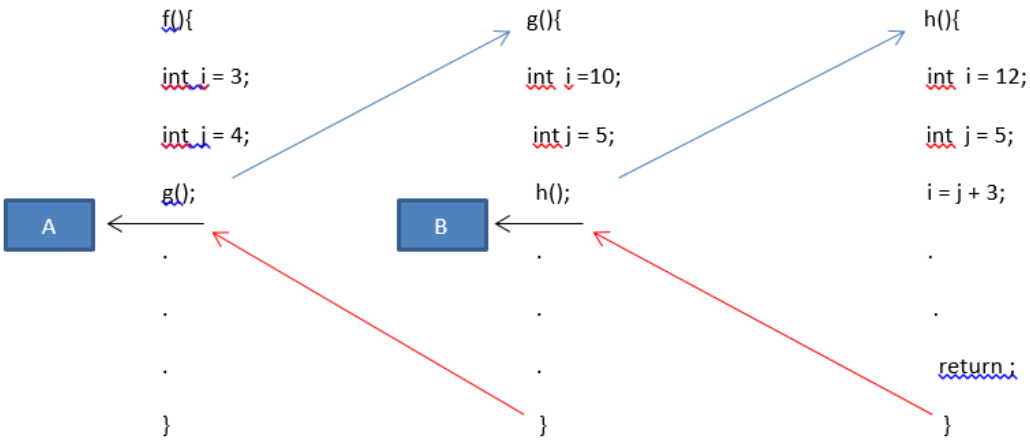
```
Datatype pop() {
        If ( is.empty() )
                Return -1;
        Return S[top--];
}
```

۳-۱- کاربرد های پشته

از کاربردهای متعدد پشته میتوان به مدیریت توابع و عبارت های محاسباتی اشاره کرد.

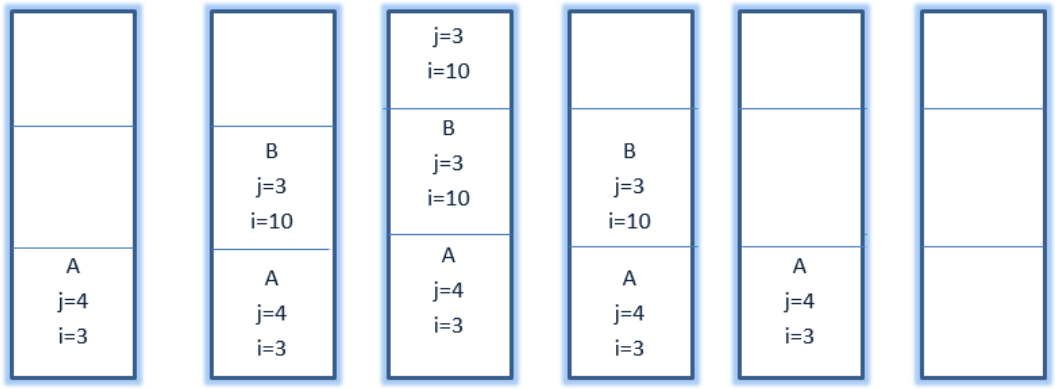
۳-۱-۱- مدیریت توابع

در فراخوانی توابع و پیاده سازی آنها ما از پشته ها و توابع آنها استفاده میکنیم. مثال زیر طرز پیاده سازی و استفاده از این توابع را برای شما روشن میکند :



مدیریت و فراخوانی توابع

برای انجام تابع f() ما از یک پشته استفاده می کنیم. در ابتدا متغیر های خود تابع f() در قسمتی از پشته PUSH میشوند. سپس آدرس مکان A (آدرس بازگشت) و سپس متغیر های تابع g() و آدرس مکان B و در آخر متغیر های تابع h() ، PUSH میشوند. پس از پایان کار تابعh() و خارج شدن از آن، متغیر های آن نیز از پشته POP میشوند و فرآیند کار به آدرس B بازمیگردد و ادامه تابع g() تا پایان انجام شده و پس از اتمام آن متغیر های این تابع نیز از پشته POP شده و فرآیند کار به آدرس A میرود و ادامه تابع f() انجام شده و کار به پایان میرسد; و بدین صورت فرآیند تابع f() با استفاده از یک پشته و دو تابع PUSH و POP آن پیاده سازی می شود.



مراحل فراخوانی و بازگشت از تابع

شکل بالا ۶ مرحله انجام این تابع را به ما نشان می دهد.

۳-۱-۲- عبارت های محاسباتی

اولویت عملگرهای محاسباتی: ۱- (داخل پرانتز) ۲- (یکتایی ها) ۳- (^) ۴- (٪ / *) ۵- (- +)

انواع عبارت های محاسباتی:

الف) پیشوند(prefix): عملگر قبل از عملوند می آید.

ب) میانوند(infix): عملگر وسط از عملوندها می آید.

پ) پسوند(postfix): عملگر بعد از عملوند می آید.

انواع عملگرهای محاسباتی:

الف) یکتایی (unary): مثل ~ ,-- ,++ ,cos ,sin

الف) دوتایی (binary): مثل % ,/ ,* ,- ,+

الف) سه تایی (tinary): مثل a?b:c

۳-۱-۳- تبدیل عبارت میانوندی به پسوندی با استفاده از پشته

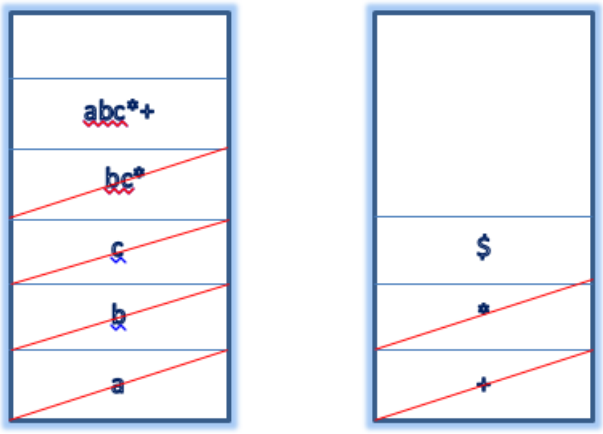
ما میتوانیم این کار را با استفاده از دو پشته انجام دهیم . یک پشته برای " عملوند ها " و یک پشته برای "عملگرها ". از ابتدای عبارت میانوندی شروع میکنیم و عملوند ها را در پشته خود و عملگر ها را نیز در پشته خود PUSH میکنم. در PUSH کردن عملگر ها در پشته باید به این نکته توجه کنیم که یک عملگر فقط روی عملگری با اولویت کمتر از خود PUSH میشود ، یعنی ما نمیتوانیم یک عملگر را روی عملگری با اولویت بیشتر از خود PUSH کنیم. اگر این اتفاق در حال افتادن بود ما باید عملگر قبلی را POP کرده و با توجه به نوع عملگر(یکتایی ، دوتایی یا سه تایی) یک یا دو یا ۳ عنصر از پشته عملوند ها را POP کرده و عملگر را روی آنها اعمال و عبارت پسوندی حاصل را در پشته عملوندها PUSH میکنیم و این کار را تا جایی ادامه میدهم که در پشته عملگرها فقط عملگر $ که نشان دهنده پایان کار است باقی بماند.

نکات:

۱- قبل از انجام عملیات در پایان هر عبارت میانوندی عملگر $ را میگذاریم. این عملگر دارای کمترین اولویت بوده و نشان دهنده پایان عملیات میباشد.

۲- یک عملگر نمیتواند روی همان عملگر در پشته PUSH شود به جز عملگر ^ (توان).

برای مثال عبارت a+b*c$ را به شکل پسوندی تبدیل میکنیم.



مراحل انجام عملیات :

۱- ابتدا به ترتیب a و b و c در پشته عملوند ها، و + و * در پشته عملگر ها PUSH میشوند.

۲- بعد نوبت به PUSH شدن $ میرسد ولی چون اولیتش از * کمتر است نمیتواند وارد شود پس * باید POP شود.

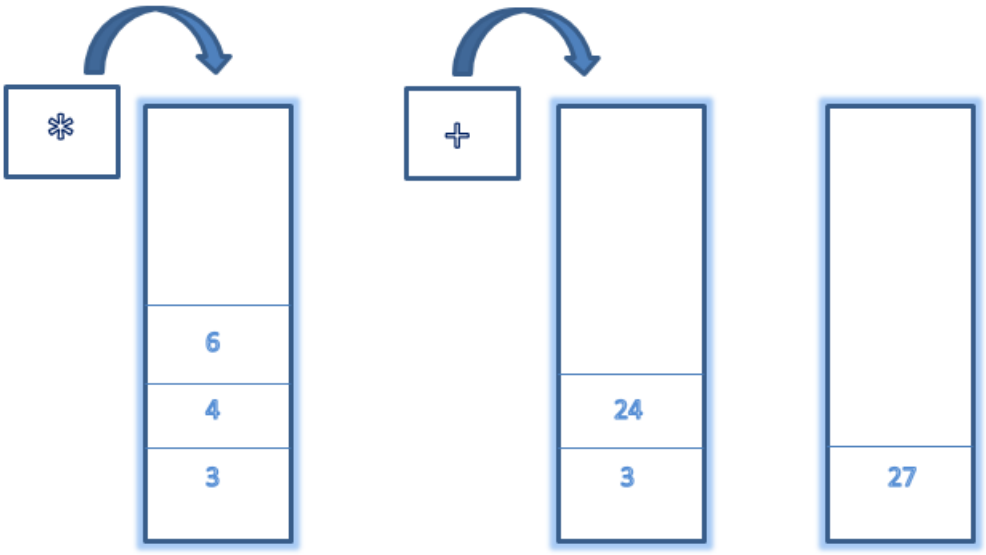
۳- عملگر * و دو عملوند سر پشته عملوندها یعنی b و cPOP شده و حاصل پسوندی آنها یعنی*bc در پشته عملوند ها PUSH میشود.

۴- حالا دوباره $ میخواهد وارد شود ولی چون اولویتش کمتر از + است نمیتواند و برای همین + POP شده و مانند مرحله قبل اینبار cو *bc از پشته عملوندهاPOP شده و +*abc به جای آنها PUSH میشوند.

۵- حالا $ در پشته عملگر ها PUSH میشود بنابراین عملیات تمام است و عبارت پسوندی ما بدست آمده است.

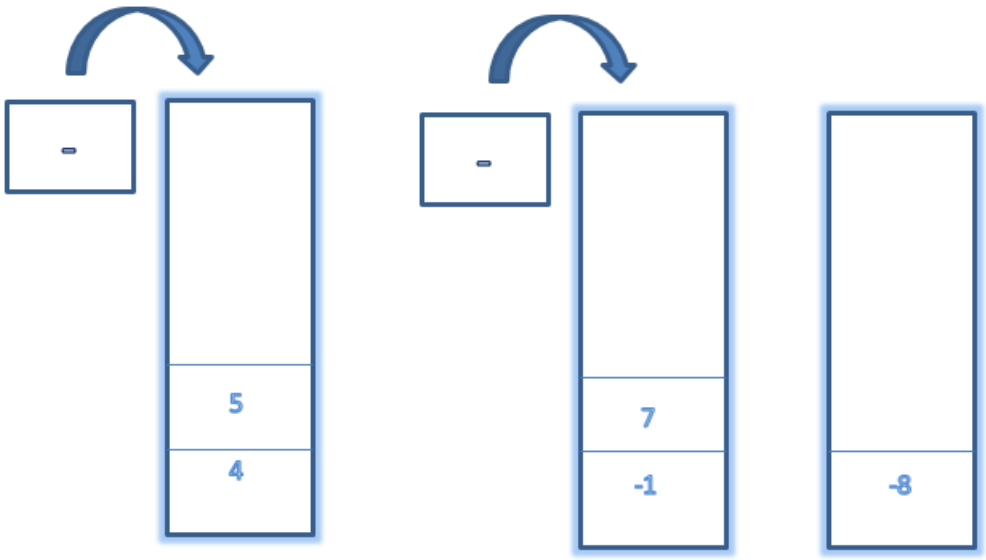
۳-۱-۴- نحوه محاسبه مقدار عددی یک عبارت پسوندی با پشته

به عنوان مثال مقدار عددی عبارت +*346 را محاسبه می کنیم.



از ابتدای عبارت پسوندی خود شروع کرده و عملوندها را در پشته PUSH میکنیم تا جایی که به یک عملگر برسیم.وقتی به عملگر رسیدیم بسته به نوع آن، اگر یکتایی بود عنصر سر پشته، اگر دوتایی بود دو عنصر سر پشته و اگر سه تایی بود ۳ عنصر سر پشته را POP کرده و عملگر را روی آنها اعمال میکنیم و حاصل را در پشته PUSH میکنیم، و این کار را ادامه میدهیم تا جایی که حاصل عبارت ما بدست آید.

شکل زیر محاسبه ی عبارت -7-45 را نشان می دهد.



۴- ساختمان داده‌های ساده

در این فصل نمایشی از مجموعه‌های پویا که به وسیله ساختمان داده‌های ساده‌ای که از اشاره‌گرها استفاده می‌کنند را مورد مشاهده قرار می‌دهیم. با وجود آنکه بسیاری از ساختمان داده‌های پیچیده را می‌توان با اشاره‌گرها پیاده‌سازی کنیم، اما در اینجا فقط ساختمان داده‌های اصلی مانند پشته، صف، لیست پیوندیودرخت‌های ریشه‌دارا مورد بررسی قرار می‌دهیم. ما همچنین روش‌هایی را که به وسیله آن اشیاء و اشاره‌گرها به وسیله آرایه ترکیب می‌کنند را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۴-۱- پشته‌ها و صف‌ها

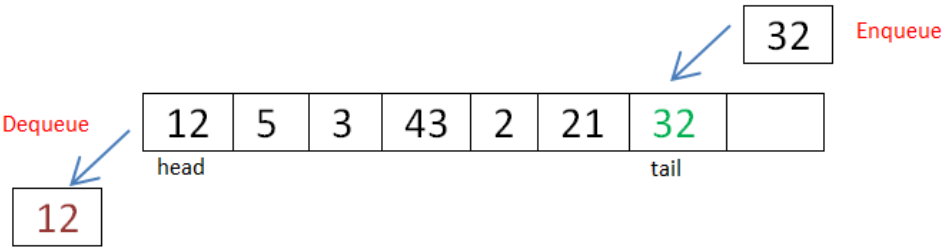
پشته(Stack)و صف(Queue)مجموعه‌های پویا هستند که در آن، عناصر به وسیله عمل پاک کردن (Delete)از مجموعه خارج می‌شوند. در پشته عنصر پاک شده از مجموعه همان آخرین عنصری که وارد آن شده است. به عبارت دیگر در پشته قانون «آخرین ورودی، اولین

خروجی»(Last-in, First-out) برقرار است. به طور مشابه در صف همیشهعنصری پاک می شود که مدت طولانی‌تری در صف بوده است. بنابراین صف با روش «اولین ورودی، اولین خروجی»(First-in, First-out) پیاده‌سازی می‌شود. چندین راه برای پیاده سازی صف و پشته در کامپیوتر وجود دارد. در این قسمت نشان می‌دهیم که چگونه از آرایه برای پیاده سازی هر دو ساختمان داده استفاده کنیم.

۴-۲- صف‌ها

۴-۲-۱- اضافه کردن (Enqueue) و خارج کردن (Dequeue) از صف

عملیات وارد کردن یک عنصر به صف Enqueue و عملیات خارج کردن عنصرDequeueنامیده می‌شود و مانند عمل Popدر پشته،Dequeue هیچ آرگومانی را به عنوان ورودی دریافت نمی کند. ویژگی"اولین ورودی, اولین خروجی" در صف سبب می شود که عملکردیمشابه صف دانشجویان در صف دریافت غذا داشته باشد. هر صف یکابتدا(Head) و یک انتها(Tail)دارد. هرزمانکه یک عنصر وارد صف‌شود، همیشه در انتهای صف قرار میگیرد. درست مانند صف سلف دانشجویان که دانشجوی تازه وارد در آخر صف قرار میگیرد. همچنین همیشه عنصری حذف می شود که در سر صف قرار دارد, مانند دانشجویی که بعد از مدتی طولانی به سر صف سلف رسیده و غذا دریافت میکند. (شکل ۱)



شکل ۱. ورود و خروج از ساختمان داده‌ی صف

صف دو ویژگی ویژگی دارد. Q.headکه سرصف را مشخص می کند وQ.tail که موقعیت مکانی را که عنصرجدید قرار است وارد آن شود را نشان می‌دهد.عناصر در صف در مکان‌های Q.head، Q.head+1 و ... Q.tail-1 قراردارند،به طوری که«دور می زند» یعنی بعد از مکان ۱ مکان nام به صورت دایره‌وار قرار دارد. بنابراین هرگاهQ.head=Q.tailصف خالی است. در حالت اولیه داریم1 = Q.head = Q.tail. وقتی صف خالی است سعی برای حذف کردن یک عنصر از صف با

«زیرریز»همراه است. هرگاهQ.head=Q.tail+1صف پر است و اگر بخواهیم یک عنصر به صف اضافه کنیم آنگاه صف «سر ریز» می کند.

در شبه کدهای زیر کنترل خطای مربوط به «سرریزی» و «زیرریزی» را حذف کرده‌ایم. این شبه کد فرض می‌کند n = Q.length

ENQUEUE (Q, X)

1. Q [Q.TAIL] = X
2. IF Q.TAIL == Q.LENGH
    3. Q.TAIL = 1
4. ELSE
    5. Q.TAIL = Q.TAIL + 1

DEQUEUE (Q)

1. X = Q [Q.HEAD]
2. IF Q.TAIL == Q.LENGTH
    3. Q.HEAD = 1
4. ELSE
    5. Q.HEAD = Q.HEAD +1
6. RETURN X

۴-۲-۲- تمرین‌ها

(تمرین۱) نشان دهید که چگونه می‌توان دو پشته بر روی آرایه A[1..n] پیاده‌سازی کرد به طوری که هیچ‌کدام از پشته‌هاoverflow نکنند مگر آنکه تعداد کل اعضا در هر دو پشته n شود. هزینه عمل push و pop باید O(1) باشد.

(تمرین۲) اگر شکل 10.2 را به عنوان مدل بگیریم نتیجه هر یک از عمل‌های منظم و پشت سر هم Enqueue(Q, 4)، Enqueue(Q,1)، Enqueue(Q, 3)، Dnqueue(Q)، Enqueue(Q, 8)، Dequeue(Q) مشخص کنید. صفی با استفاده از آرایهS[1..6]مشخص کنید.صف در حالت اولیه خالی است.

(تمرین۳) Enqueue و Dequeue را دوباره بنویسید تا underflow و overflow را در یک صف مشخص کنید.

(تمرین۴) پشته اجازه اضافه کردن و خارج کردن عناصر را از یک طرف می‌دهد حال صف اجازه وارد کردن از یک طرف و خارج کردن از طرف دیگر را می‌دهد. یک صف دوسرطراحی کنید که اجازه اضافه کردن و خارج کردن عناصر را از دو طرف بدهد. ۴تابع با هزینه O(1) بنویسید که عمل اضافه کردن و خارج کردن عناصر یک صف دردو سر صف که با استفاده از آرایه پیاده‌سازی می‌شود، را انجام دهد.

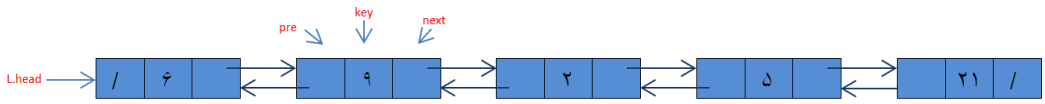
(تمرین۵) نشان دهید که چگونه می‌توان یک صف را با استفاده از دو پشته پیاده‌سازی کرد. هزینه عملیات¬های صف را به دست آورید.

(تمرین۶) نشان دهید که چگونه یک پشته را می توان با استفاده از دو صف پیاده‌سازی کرد. هزینه عملیات‌های پشته را به دست آورید.

۴-۳- لیست‌های پیوندی

لیست‌های پیوندی نوعی از ساختمان داده است که در آن اشیاء در یک ترتیب خطی قرار گرفته‌اند. بر خلاف آرایه که در آن ترتیب‌ها به وسیله اندیس‌های آرایه مشخص می‌شود، ترتیب در لیست‌های پیوندی به وسیله اشاره‌گر داخل هر شی مشخص می‌شود. لیست‌های پیوندی یک نمایش ساده و قابل انعطافی برای مجموعه‌های پویا فراهم می کند.

با توجه به شکل زیر هر یک از عناصر یک لیست پیوندی دو طرفه L ، یک شی است که یک متغییر کلید key و دو متغییر اشاره‌گر: بعدیnext و قبلی prevدارد. یک شی ممکن است متغییرهای جانبی دیگری هم داشته باشد. با در نظر گرفتن عنصر x در لیست، x.nextبه عنصر بعدی و x.prevبه عنصر قبلی اشاره می‌کند. اگر x.prev = NILباشد یعنی عنصر قبل از آن وجود ندارد و این بدان معنا است که x سر لیست است. اگر x.next = NILباشد، یعنی عنصری بعد از آن وجود ندارد این بدان معنا است که x عنصر آخر لیست است. صفتL.headبه اولین عنصرلیست اشاره می‌کند. اگر L.head = NILلیست خالی است.



شکل ۲ ساختمان داده‌ی لیست پیوندی

یک لیست می‌تواند به فرم‌های گوناگون باشد. ممکن است لیست دوطرفه یا یک‌طرفه باشد. ممکن است مرتب شده یا غیرمرتب باشد و همچنین ممکن است حلقوی یا غیرحلقوی باشد. اگر لیست پیوندی یک طرفه باشد، اشاره‌گرprev را از عناصر حذف خواهیم کرد، اگر لیست مرتب باشد ترتیب عناصر کلیدها در لیست ترتیب خطی دارند و عنصر مینیمم در سر لیست و عنصر ماکزیمم در ته لیست قرار دارد. اگر لیست نامرتب باشد عناصر به هر صورتی قرار خواهند داشت. در لیست پیوندی حلقوی اشاره‌گر prev سر لیست، به آخر لیست اشاره می‌کند و اشاره‌گر next از ته لیست به سر لیست اشاره می‌کند. ممکن است که لیست به صورت حلقه نمایش داده شود. توجه داشته باشید در این قسمت فرض می‌کنیم لیست‌ها دو طرفه و نامنظم هستند.

۴-۳-۱- جستجو در لیست پیوندی

تابع List_Search(L, k) اولین عنصری که کلید k را دارد در لیست L پیدا می‌کند که با یک جستجوی خطی ساده انجام می‌شود و اشاره‌گری به آن عنصر باز می‌گرداند. اگر هیچ شی‌ای با کلید k پیدا نشود NIL باز خواهد گرداند. برای لیست پیوندی در شکل بالا تابع List_Search(L, 2)

اشاره‌گری به عنصر سوم باز خواهد گرداند و تابع List_Search(L, 7)، مقدار بازگشتی NIL خواهد داشت.

```
List_Search (L, k)
    1. x = L.head
    2. While x!=NIL and key[x] != k
        3. do x = x.next
    4. return x
```

برای جستجو در یک لیست پیوندی با n عنصر در بدترین حالت با $\Theta(n)$ طول می‌کشد چون باید کل لیست را جستجو کند.

۴-۳-۲- اضافه کردن به لیست پیوندی

تابع List_Insert عنصری را که کلید آن x است را به اول لیست اضافه می‌کند.

```
List_Insert(L, x)
    1. x.next = L.head
    2. If L.head != NIL
        3. L.head.prev = x
    4. L.head = x
    5. x.prev = NIL
```

زمان اجرایی تابع List_Insert برای اضافه کردن یک عنصر به لیست پیوندی n عنصری از $O(1)$ است.

۴-۳-۳- حذف کردن از لیست پیوندی

تابع List_Delete عنصر x را از لیست L حذف خواهد کرد. باید اشاره‌گری به عنصر x داشته باشیم و بعد آن را از لیست حذف خواهیم کرد. اگر بخواهیم عنصری با یک کلید از قبل مشخص

شده را خذف کنیم، ما باید اول List_Search را صدا بزنیم تا اشاره‌گر به آن عنصررا داشته باشیم.

```
List_Delete(L, x)
    1. If x.prev != NIL
        2. x.prev.next = x.next
    3. Else
        4. L.head = x.next
    5. If x.next != NIL
        6. x.next.prev = x.prev
```

تابع List_Delete با هزینه $O(1)$ اجرا می‌شود. اما اگر بخواهیم عنصری را با کلید مشخص خذف کنیم هزینه اجرای آن در بدترین حالت از $\Theta(n)$ است. برای اینکه ما باید اول List_Search را صدا بزنیم.

۴-۳-۴- تمرین

(تمرین ۱) اضافه کردن یک عنصر بر روی یک لیست پیوندی یک طرفه با هزینه $O(1)$ اجرا می شود؟ در مورد حذف کردن چه طور؟

(تمرین ۲) پشته را با استفاده از یک لیست پیوندی L پیاده سازی کنید عملیات‌های push, pop باید باز هم با $O(1)$ اجرا شود.

(تمرین ۳) صف را با استفاده از یک لیست پیوندی L پیاده سازی کنید. عملیات‌های Dequeu, Enqueue باید باز هم با $O(1)$ اجرا شود.

(تمرین ۴) با توجه به تابع List_Search’ که حلقه آن برای هر دفعه باید دو مورد را چک کند. یکی x!=NILو دیگری key[x]!=k نشان دهید که چگونه چک کردن x!=NILرا حذف کنیم.

(تمرین ۵) عملیات اضافه و حذف و جستجو را در مورد فرهنگ لغت با یک لیست پیوندی یک طرفه دایروی پیاده سازی کنید. هزنینه اجرایی آن را محاسبه کنید.

(تمرین ۶) عملگرمجموعه پویا Union دومجموعه مجزای S1, S2 از ورودی می‌گیرد و S = S1 U S2 را باز خواهد گرداند که محتویات تمام اعضای S1, S2 است. مجموعه‌های S1, S2 در این عمل از بین خواهند رفت. نشان دهید که چگونه عملیات Union را با هزینه O(1) با توجه به ساختمان داده مناسب تامین کنیم.

(تمرین ۷) یک تابع معرفی کنید که غیر بازگشتی باشد و یک لیست پیوندی یک طرفه با n عنصر را معکوس سازد. حافظه‌ای بیشتر از حافظه که برای لیست پیوندی بکار می‌رود نگیرید.

(تمرین ۸) توضیح دهید که چگونه یک لیست پیوندی دو طرفه را با یک اشاره‌گر x.npکه جایگزینهر دو اشاره‌گر x.next و x.prevمی‌شود پیاده سازی کنیم. فرض کنید هر اشاره‌گر را بتوان با یک عدد صحیح k بیتی نمایش دهیم و np به صورت زیر تعریف شده است: x.np = x.next XOR x.prev (یعنی np یای انحصاری next و prev است) مقدار NIL صفر است. اطلاعات لازم برای دسترسی به سر لیست را مشخص کنید. نشان دهید که چگونه عملیات Insert, Delete, Search را روی لیست پیاده سازی کنید. نشان دهید که چگونه لیست را معکوس کنیم که هزینه اجرایی آن O(1) باشد.