



# کتاب کوچک سما فورہا

آلن بی. دونی

مترجمین:

سیّد محمد جواد رضویان، سیّد علی آل طہ و محمد مہدی قاسمی نیا

نسخہ ۲/۲/۱



# کتاب کوچک سمافورها

ویرایش دوم

نسخه ۲/۲/۱

حق نشر ۲۰۱۶ آلن بی. دونی

کپی، توزیع و/یا تغییر این سند تحت لایسنس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

(CC BY-NC-SA 4.0) <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>

فرم اصلی این کتاب، سورس کد لاتک است. کامپایل این سورس لاتک سبب تولید یک نمایش کتاب بدون وابستگی به دستگاه خواهد شد که می‌تواند به دیگر فرمت‌ها تبدیل و چاپ گردد.

این کتاب توسط نویسنده با استفاده از لاتک، dvips و ps2pdf حروفچینی شده است که همگی برنامه‌هایی کدباز هستند. سورس لاتک این کتاب در آدرس <http://greenteapress.com/semaphores> موجود است.<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>در حروفچینی ترجمه این کتاب از زی‌لاتک و بسته زی‌پرشین استفاده شده است.

## پیشگفتار

غالب کتاب‌های درسی سیستم‌های عامل در دوره کارشناسی مبحثی در همگام‌سازی دارند که مجموعه‌ای از ابزارهای بدوی (میوتکس، سمافور، ناظر و متغیرهای شرطی) و مسائل کلاسیکی مثل خواننده-نویسنده و تولیدکننده-مصرف کننده را به طور معمول معرفی می‌نمایند.

وقتی که من در برکلی کلاس سیستم‌عامل را برداشتم، و در کالج کالبی<sup>۲</sup> آن را تدریس کردم، این عقیده را یافتم که بیشتر دانشجویان قادر به درک راه‌حل ارائه شده برای اینگونه مسائل بودند، اما تنها برخی از این دانشجویان قادر بودند که خودشان آن راه‌حل را تولید کرده و یا مسائل مشابهی را حل نمایند.

یکی از دلایلی که دانشجویان نمی‌توانند به طور عمیق این قبیل مسائل را بفهمند، این است که این مسائل وقت و تلاش بیشتری نسبت به آنچه در غالب کلاس‌ها صرف می‌شود، نیاز دارند. همگام‌سازی تنها یکی از مباحث زمان‌بر در کلاس سیستم‌عامل است، و گمان نمی‌کنم بتوانم استدلال نمایم که مهمترین آن مباحث است. اما فکر می‌کنم که همگام‌سازی یکی از چالشی‌ترین، جالب‌ترین و سرگرم‌کننده‌ترین بخش‌های سیستم‌عامل است.

با هدف شناساندن اصطلاحات والگوهای همگام‌سازی به گونه‌ای که به صورت مستقل قابل درک باشد و بتوان از آنها برای حل مسائل پیچیده استفاده نمود، اولین ویرایش این کتاب را نوشتم. نوشتن کدهمگام‌سازی چالش‌های مختص به خود را دارد زیرا که با افزایش تعداد اجزا و تعداد تعاملات به طور غیر قابل کنترلی افزایش می‌یابد.

با این وجود در بین راه‌حل‌هایی که دیدم، الگوهایی را یافتم و حداقل به برخی رهیافت‌های روشمند درست برای ترکیب راه‌حل‌ها رسیدم.

در زمانی که سیستم‌عامل را در کالج ولزلی<sup>۳</sup> تدریس کردم این شانس را داشتم تا این رهیافت را بیازمایم. اولین نسخه کتاب کوچک سمافورها را در کنار یکی از کتب درسی استاندارد بکار بردم و همگام‌سازی را به صورت موازی با درس اصلی تدریس می‌کردم. هر هفته به دانشجویان چند صفحه از کتاب را می‌دادم که با یک موعّا تمام می‌شد و گاهی اوقات به راهنمایی مختصر نیز داشت. به آن‌ها می‌گفتم که به راهنمایی نگاه نکنند مگر

<sup>2</sup>Colby College <sup>3</sup>Wellesley College

اینکه گیر افتاده باشند.

همچنین به آن‌ها ابزارهایی برای تست راه حل‌هایشان دادم: یه تخته مغناطیسی کوچک که می توانستند کدهایشان را بنویسند و یک بسته آهنربا برای نمایش تردهایی که کد را اجرا می کنند. نتیجه بسیار چشمگیر بود. هر چه زمان بیشتری در اختیار دانشجویان می گذاشتم، عمق فهمشان بیشتر می شد که تا قبل این ندیده بودم. مهمتر اینکه غالبشان قادر به حل بیشتر معماها بودند. در برخی موارد، همان راه حل های کلاسیک را می یافتند و در مواردی به رهیافت های خلاقانه جدیدی می رسیدند. وقتی که به کالج آلین<sup>۴</sup> منتقل شدم، گام بعدی را با ایجاد کلاس فوق برنامه همگام سازی برداشتم، که در آن کلاس، کتاب **کتاب کوچک سمافورها** و همچنین پیاده سازی ابزارهای بدوی همگام سازی در زبان اسمبلی x86 و پازیکس و پایتون تدریس شد.

دانشجویانی که این درس را گرفتند در یافتن خطاهای ویرایش نخست کمک کردند و چند نفر از آنان راه حل هایی بهتر از راه حل های من ارائه دادند. در پایان ترم، از هر کدام آنان خواستم که یک مسأله جدید (ترجیحاً با یک راه حل) بنویسند. این مشارکت ها را به ویرایش دوم اضافه نمودم.

همچنین، پس از عرضه ویرایش نخست، کنث ریک<sup>۵</sup> مقاله «الگوهای طراحی سمافورها»<sup>۶</sup> را در گروه ویژه ACM علاقمند به تعلیم در علوم کامپیوتر ارائه داد. او در این مقاله مسأله ای را که من به آن «مسأله سوشی بار»<sup>۷</sup> می گویم معرفی نموده و دو راه حل برای اثبات آن ارائه داد و الگوهایی که وی آن ها را «باتوم را منتقل کنید»<sup>۸</sup> و «بخاطر تو انجام این کار را خواهم داد»<sup>۹</sup> نامید را نشان می داد. هنگامی که با این الگوها آشنا شدم، توانستم آن ها را در مسائل ویرایش نخست کتاب به کار برم و راه حل هایی تولید کنم که به نظر بهتر هستند.

تغییر دیگر در ویرایش دوم، نحو<sup>۱۰</sup> آن است. بعد از آنکه ویرایش اول را نوشتم، زبان برنامه نویسی پایتون را آموختم که نه تنها یکی از عالیترین زبان های برنامه نویسی است بلکه یک زبان شبه کد<sup>۱۱</sup> عالی را فراهم می آورد. در نتیجه از یک نحو شبیه به C در ویرایش نخست به نحوی که کاملاً نزدیک به زبان پایتون بود سوئیچ کردم.<sup>۱۲</sup> در حقیقت، شبیه سازی نوشته ام که بسیاری از راه حل های ارائه شده در این کتاب را می تواند اجرا کند. خواننده هایی هم که با زبان پایتون آشنا نیستند نیز (امید دارم) آن را کاملاً واضح ببینند. در مواردی که از ویژگی های مشخص زبان پایتون استفاده می نمایم، نحو زبان و معنای آن را شرح می دهم. امیدوارم این تغییرات کتاب را خوانا تر نماید.

صفحه بندی این کتاب ممکن است کمی عجیب به نظر آید، اما برای صفحات خالی نیز متدی وجود دارد. بعد از هر معما، فضای خالی کافی برای راهنمایی که در صفحه بعد می آید و نیز راه حلی که در صفحه بعد از آن می آید را قرار داده ام. زمانی که این کتاب را در کلاس بکار می برم، صفحاتی چند را در یک زمان به ایشان می دهم

<sup>۱۲</sup> تفاوت اساسی در این است گاهی اوقات از حاشیه به منظور نمایش کدهایی که توسط یک میوتکس محافظت می شوند استفاده می کنم و این می تواند سبب یک خطای نحوی در پایتون شود.

<sup>۴</sup>Olin College <sup>۵</sup>Kenneth Reek <sup>۶</sup>Design Patterns for Semaphores <sup>۷</sup>Sushi Bar Problem <sup>۸</sup>Pass the baton <sup>۹</sup>I'll do it for you <sup>۱۰</sup>syntax <sup>۱۱</sup>pseudocode

و آنان نیز آن صفحات را در کلاسور جمع‌آوری می‌نمایند. سیستم صفحه‌بندی، این امکان را فراهم می‌سازد تا مسائل را بدون صفحات راهنمایی و راه‌حل توزیع نمایم. گاهی اوقات صفحات راهنمایی را تا کرده و منگنه می‌زنم و همراه مساله به دانشجویان می‌دهم تا خودشان تصمیم بگیرند که آیا به آن راهنمایی نگاهی بیندازند و چه زمانی چنین کنند. اگر شما کتاب را روی یک طرف صفحه چاپ می‌کنید، می‌توانید از صفحات سفید صرف نظر نمایید و این سیستم هنوز کار خواهد کرد.

این یک کتاب آزاده است، به این معنی که هر شخصی می‌تواند آن را بخواند، رونوشت بردارد، اصلاح کند و حتی بازپخش نماید با توجه به محدودیت‌های لایسنس کتاب. امیدوارم که افراد، این کتاب را سودمند بیابند، اما همچنین امید دارم که با ارسال اصلاحات، پیشنهادات، و موادی اضافی توسعه آن را ادامه دهند. با تشکر آلن

دونی

نیدهام، ماساچوست

اول ژوئن ۲۰۰۵

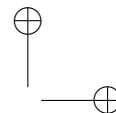
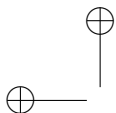
## لیست مشارکت‌کنندگان

در ادامه لیست برخی افرادی که در این کتاب مشارکت داشته‌اند آمده است:

- بسیاری از مسائل این کتاب، گونه‌های دیگری از مسائل کلاسیک هستند که برای اولین بار در مقالات تخصصی و سپس در کتب مرجع مطرح شدند. هرجایی که بدانم یک مساله یا راه حلی از کجا آمده است، در متن کتاب به آن اشاره می‌کنم.
- همچنین از دانشجویان کالج ولزلی که با ویرایش اول این کتاب و نیز دانشجویان کالج آلین که با ویرایش دوم کتاب کار کردند، تشکر می‌نمایم.
- Se Won تصحیحی کوچک -لکن مهم- را در ارائه راه‌حل Tanenbaum نسبت به مساله فیلسوف‌های در حال غذا خوردن ارسال نموده‌اند.
- Daniel Zingaro در مساله Dancer نکته‌ای را متذکر گردید که سبب بازنویسی مجدد آن بخش گردید. امیدوارم اکنون با معنی‌تر شده باشد. علاوه بر این Daniel یک خطا را در نسخه قبلی راه‌حل مساله  $H_2O$  نشان داده‌اند و سال بعد از آن، تعدادی خطاهای تایپی را متذکر شده‌اند.
- Thomas Hansen یک خطای تایپی را در مساله Cigarette smokers یافته است.
- Pascal Rütten به چندین اشکال تایپی از جمله تلفظ نادرست Edsger Dijkstra اشاره نموده است.

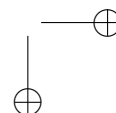
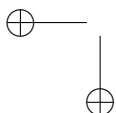
- Marcelo Johann خطایی را در راه حل من نسبت به مساله Dining Savages یافته و آن را اصلاح کرده است.
- Roger Shipman یک مجموعه اصلاحات به علاوه یک گونه جذاب از مساله Barrier را ارسال نموده است.
- Jon Cass مطلبی را مشخص نمود که در مساله فیلسوف‌های در حال غذا خوردن از از قلم افتاده بود.
- Krzysztof Kościuszkiewicz چندین اصلاح از جمله، جا افتادن خطی در تعریف کلاس Fifo را فرستاده است.
- Fritz Vaandrager از دانشگاه Radboud هلند و دانشجویانش Manuel, Marc Schoolderman و Stampe و Lars Lockefeer بنام UPPAAL را به منظور بررسی چندین راه حل این کتاب بکار برده و خطاهایی را در راه حل‌های ارائه شده برای مساله‌های Room Party و Modus Hall یافته‌اند.
- Eric Gorr درست نبودن یک توضیح در فصل سوم را مشخص نموده است.
- Jouni Leppäjärvi در واضح نمودن مبدأ سمافورها کمک نموده است.
- Christoph Bartoschek خطایی را در راه حل مساله رقص انحصاری یافته است.
- Eus یک خطای تایی در فصل سوم را پیدا کرده است.
- Tak-Shing Chan یک خطای خارج از محدوده<sup>۱۳</sup> را در `counter_mutex.c` یافته است.
- Roman V. Kiseliiov چند پیشنهاد برای بهبود ظاهر کتاب ارائه داده و با چند نکته در  $\text{\LaTeX}$  مرا راهنمایی نموده است.
- Alejandro Céspedes در حال کار روی ترجمه اسپانیایی این کتاب است و چندین غلط تایی را در آن یافته است.
- Erich Nahum مشکلی را در تطبیق راه حل Kenneth Reek نسبت به مساله Sushi Bar یافته است.
- Martin Storsjö تصحیحی را در مساله generalized smokers ارسال نموده است.
- Cris Hawkins به یک متغیر بدون استفاده اشاره نموده است.
- Adolfo Di Mare یک "and" از جا افتاده را یافته است.

<sup>13</sup>out-of-bounds



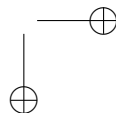
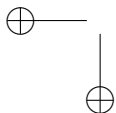
ث

- Simon Ellis یک خطای تایپی را یافته است.
- Benjamin Nash یک خطای تایپی، خطایی در یک راه حل و یک ایراد در راه حل دیگری را یافته است.
- Alejandro Pulver مشکلی را در راه حل مساله Barbershop یافته است.





پیشگفتار ج





# فهرست مطالب

آ	پیشگفتار
۱	۱ معرفی
۱	۱.۱ همگام‌سازی
۲	۲.۱ مدل اجرا
۳	۳.۱ تسلسل به کمک تبادل پیام
۵	۴.۱ عدم قطعیت
۵	۵.۱ متغیرهای اشتراکی
۶	۱.۵.۱ نوشتن‌های همروند
۶	۲.۵.۱ بروزرسانی‌های همروند
۸	۳.۵.۱ انحصار متقابل با تبادل پیام
۹	۲ سمافورها
۹	۱.۲ تعریف
۱۰	۲.۲ نحو
۱۱	۳.۲ چرا سمافورها؟
۱۳	۳ الگوهای همگام‌سازی پایه
۱۳	۱.۳ علامت‌دهی
۱۴	۲.۳ Sync.py
۱۴	۳.۳ قرار ملاقات
۱۷	۱.۳.۳ راهنمای قرار ملاقات

۱۹	.....	راه حل قرار ملاقات	۲.۳.۳
۱۹	.....	بن بست #۱	۳.۳.۳
۲۰	.....	Mutex	۴.۳
۲۱	.....	راهنمای انحصار متقابل	۱.۴.۳
۲۳	.....	راه حل انحصار متقابل	۲.۴.۳
۲۴	.....	Multiplex	۵.۳
۲۵	.....	راه حل مالتی پلکس	۱.۵.۳
۲۵	.....	حصار	۶.۳
۲۷	.....	راهنمای حصار	۱.۶.۳
۲۹	.....	ناراه حل حصار	۲.۶.۳
۳۱	.....	بن بست #۲	۳.۶.۳
۳۳	.....	راه حل حصار	۴.۶.۳
۳۵	.....	بن بست #۳	۵.۶.۳
۳۵	.....	حصار با قابلیت استفاده مجدد	۷.۳
۳۷	.....	ناراه حل حصار با قابلیت استفاده مجدد #۱	۱.۷.۳
۳۹	.....	مساله حصار با قابلیت استفاده مجدد #۱	۲.۷.۳
۴۱	.....	ناراه حل حصار با قابلیت استفاده مجدد #۲	۳.۷.۳
۴۳	.....	راهنمای حصار با قابلیت استفاده مجدد	۴.۷.۳
۴۵	.....	راه حل حصار با قابلیت استفاده مجدد	۵.۷.۳
۴۷	.....	ترن استایل از پیش باگذاری شده	۶.۷.۳
۴۸	.....	اشیاء حصار	۷.۷.۳
۴۹	.....	صف	۸.۳
۵۱	.....	راهنمایی برای معما	۱.۸.۳
۵۳	.....	راه حل صف	۲.۸.۳
۵۵	.....	راهنمای صف انحصاری	۳.۸.۳
۵۷	.....	راه حل صف انحصاری	۴.۸.۳
۵۹	.....	مسائل همگام سازی کلاسیک	۴
۵۹	.....	مسئله تولیدکننده-مصرف کننده	۱.۴
۶۱	.....	راهنمای تولیدکننده-مصرف کننده	۱.۱.۴
۶۳	.....	راه حل تولیدکننده-مصرف کننده	۲.۱.۴

۶۵	بن بست #۴	۳.۱.۴
۶۵	تولیدکننده-مصرف کننده با یک بافر متناهی	۴.۱.۴
۶۷	راهنمای بافر محدود تولیدکننده-مصرف کننده	۵.۱.۴
۶۹	راه حل بافر محدود تولیدکننده-مصرف کننده	۶.۱.۴
۶۹	مساله خوانندگان-نویسندگان	۲.۴
۷۱	راهنمای خوانندگان-نویسندگان	۱.۲.۴
۷۳	راه حل خوانندگان-نویسندگان	۲.۲.۴
۷۶	قحطی	۳.۲.۴
۷۹	راهنمایی خوانندگان-نویسندگان بدون قحطی	۴.۲.۴
۸۱	راه حل خوانندگان-نویسندگان بدون قحطی	۵.۲.۴
۸۳	راهنمایی خوانندگان-نویسندگان با اولویت نویسنده	۶.۲.۴
۸۵	راه حل نویسندگان-خوانندگان با اولویت نویسنده	۷.۲.۴
۸۷	میوتکس بدون قحطی	۳.۴
۹۱	راهنمای میوتکس بدون قحطی	۱.۳.۴
۹۳	راه حل میوتکس بدون قحطی	۲.۳.۴
۹۵	غذا خوردن فیلسوف ها	۴.۴
۹۷	بن بست #۵	۱.۴.۴
۹۹	راهنمایی غذا خوردن فیلسوف ها #۱	۲.۴.۴
۱۰۱	راه حل غذا خوردن فیلسوف ها #۱	۳.۴.۴
۱۰۳	راه حل غذا خوردن فیلسوف ها #۲	۴.۴.۴
۱۰۵	راه حل تنبام	۵.۴.۴
۱۰۷	قحطی تنبام	۶.۴.۴
۱۰۹	مساله سیگاری ها	۵.۴
۱۱۳	بن بست #۶	۱.۵.۴
۱۱۵	راهنمایی مساله سیگاری ها	۲.۵.۴
۱۱۷	راه حل مساله سیگاری	۳.۵.۴
۱۱۸	تعمیم مساله سیگاری ها	۴.۵.۴
۱۱۹	راهنمای تعمیم مساله سیگاری ها	۵.۵.۴
۱۲۱	راه حل تعمیم یافته مساله سیگاری ها	۶.۵.۴

۱۲۳	۵	مسائل همگام‌سازی کمتر-کلاسیک
۱۲۳	۱.۵	مساله غذاخوردن وحشی‌ها
۱۲۵	۱.۱.۵	راهنمایی غذاخوردن وحشی‌ها
۱۲۷	۲.۱.۵	راه حل غذاخوردن وحشی‌ها
۱۲۹	۲.۵	مساله آرایشگاه
۱۳۱	۱.۲.۵	راهنمایی آرایشگاه
۱۳۳	۲.۲.۵	راه حل آرایشگاه
۱۳۵	۳.۵	آرایشگاه FIFO
۱۳۷	۱.۳.۵	راهنمایی آرایشگاه FIFO
۱۳۹	۲.۳.۵	راه حل آرایشگاه FIFO
۱۴۱	۴.۵	مساله آرایشگاه هیلزر
۱۴۲	۱.۴.۵	راهنمایی آرایشگاه هیلزر
۱۴۳	۲.۴.۵	راه حل آرایشگاه هیلزر
۱۴۷	۵.۵	مساله بابا نونل
۱۴۹	۱.۵.۵	راهنمایی مساله بابا نونل
۱۵۱	۲.۵.۵	راه حل مساله بابا نونل
۱۵۳	۶.۵	ساخت $H_2O$
۱۵۵	۱.۶.۵	راهنمایی $H_2O$
۱۵۷	۲.۶.۵	راه حل $H_2O$
۱۵۸	۷.۵	مساله عبور از رودخانه
۱۶۱	۱.۷.۵	راهنمایی عبور از رودخانه
۱۶۳	۲.۷.۵	راه حل عبور از رودخانه
۱۶۵	۸.۵	مساله ترن هوایی
۱۶۷	۱.۸.۵	راهنمایی ترن هوایی
۱۶۹	۲.۸.۵	راه حل ترن هوایی
۱۷۱	۹.۵	مساله ترن هوایی چند ماشینی
۱۷۳	۱.۹.۵	راهنمایی ترن هوایی چند ماشینی
۱۷۵	۲.۹.۵	راه حل ترن هوایی چند ماشینی
۱۷۷	۶	مسائل نه-چندان-کلاسیک
۱۷۷	۱.۶	مساله جستجو-درج-حذف

۱۷۹	راهنمایی جستجو-درج-حذف	۱.۱.۶
۱۸۱	راه حل جستجو-درج-حذف	۲.۱.۶
۱۸۲	مساله سرویس بهداشتی عمومی	۲.۶
۱۸۳	راهنمایی سرویس بهداشتی عمومی	۱.۲.۶
۱۸۵	راه حل سرویس بهداشتی عمومی	۲.۲.۶
۱۸۷	مساله سرویس بهداشتی عمومی بدون قحطی	۳.۲.۶
۱۸۹	راه حل سرویس بهداشتی عمومی بدون قحطی	۴.۲.۶
۱۸۹	مساله عبورکردن میمون	۳.۶
۱۹۰	مساله تالار Modus	۴.۶
۱۹۳	راهنمایی مساله تالار Modus	۱.۴.۶
۱۹۵	راه حل مساله تالار Modus	۲.۴.۶
۱۹۷	مسائل تقریباً غیر کلاسیک	۷
۱۹۷	مساله بار سوشی	۱.۷
۱۹۹	راهنمایی بار سوشی	۱.۱.۷
۲۰۱	ناراه حل بار سوشی	۲.۱.۷
۲۰۳	ناراه حل بار سوشی	۳.۱.۷
۲۰۵	راه حل بار سوشی #۱	۴.۱.۷
۲۰۷	راه حل بار سوشی #۱	۵.۱.۷
۲۰۸	مساله مراقبت از کودکان	۲.۷
۲۰۹	راهنمایی مراقبت از کودکان	۱.۲.۷
۲۱۱	ناراه حل مراقبت از کودکان	۲.۲.۷
۲۱۳	راه حل مرکز مراقبت از کودکان	۳.۲.۷
۲۱۳	مساله توسعه یافته مرکز مراقبت	۴.۲.۷
۲۱۵	راهنمایی مساله توسعه یافته مرکز مراقبت	۵.۲.۷
۲۱۷	راه حل مساله توسعه یافته مرکز مراقبت	۶.۲.۷
۲۱۹	مساله اتاق پارتی	۳.۷
۲۲۱	راهنمای اتاق پارتی	۱.۳.۷
۲۲۳	راه حل اتاق پارتی	۲.۳.۷
۲۲۵	مساله اتوبوس سنا	۴.۷
۲۲۷	راهنمایی مساله اتوبوس	۱.۴.۷

۲۲۹	راه حل مساله اتوبوس #۱	۲.۴.۷
۲۳۱	راه حل مساله اتوبوس #۲	۳.۴.۷
۲۳۳	مساله تالار Faneuil	۵.۷
۲۳۵	راهنمایی مساله تالار Faneuil	۱.۵.۷
۲۳۷	راه حل مساله تالار Faneuil	۲.۵.۷
۲۴۱	راهنمایی مساله توسعه یافته تالار Faneuil	۳.۵.۷
۲۴۳	راه حل مساله توسعه یافته تالار Faneuil	۴.۵.۷
۲۴۵	مساله سالن غذاخوری	۶.۷
۲۴۷	راهنمایی مساله سالن غذاخوری	۱.۶.۷
۲۴۹	راه حل مساله سالن غذاخوری	۲.۶.۷
۲۵۰	مساله توسعه یافته سالن غذاخوری	۳.۶.۷
۲۵۱	راهنمای مساله توسعه یافته سالن غذاخوری	۴.۶.۷
۲۵۳	راه حل مساله توسعه یافته سالن غذاخوری	۵.۶.۷
۲۵۵	۸ همگام سازی در پایتون	
۲۵۶	۱.۸ مساله بررسی کننده میوتکس	
۲۵۹	۱.۱.۸ راهنمایی بررسی کننده میوتکس	
۲۶۱	۲.۱.۸ راه حل بررسی کننده میوتکس	
۲۶۳	۲.۸ مساله دستگاه خودکار کوکاکولا	
۲۶۵	۱.۲.۸ مساله دستگاه خودکار کوکاکولا	
۲۶۷	۲.۲.۸ راه حل دستگاه خودکار کوکاکولا	
۲۶۹	۹ همگام سازی در C	
۲۶۹	۱.۹ انحصار متقابل	
۲۷۰	۱.۱.۹ کد والد	
۲۷۰	۲.۱.۹ کد فرزند	
۲۷۱	۳.۱.۹ خطاهای همگام سازی	
۲۷۳	۴.۱.۹ راهنمایی انحصار متقابل	
۲۷۵	۵.۱.۹ راه حل انحصار متقابل	
۲۷۷	۲.۹ سمافورهای خودتان را بسازید	
۲۷۹	۱.۲.۹ راهنمایی پیاده سازی سمافور	

۲۸۱	پیاده‌سازی سمافور	۲.۲.۹
۲۸۳	جزئیات پیاده‌سازی سمافور	۳.۲.۹

## آ تمیزکاری نخ‌های پایتون

۲۸۷	متدهای سمافور	۱.آ
۲۸۸	ایجاد نخ	۲.آ
۲۸۹	کنترل وقفه‌های صفحه کلید	۳.آ

## ب تمیزکاری نخ‌های POSIX

۲۹۳	کامپایل کد Pthreads	۱.ب
۲۹۴	ایجاد نخ‌ها	۲.ب
۲۹۶	الحاق نخ‌ها	۳.ب
۲۹۶	سمافورها	۴.ب



## فهرست مطالب

ژ

---







## فصل ۱

### معرفی

#### ۱.۱ همگام‌سازی

اصطلاحاً "همگام‌سازی" به معنی وقوع همزمان دو چیز است. در سیستم‌های کامپیوتری همگام‌سازی کمی کلی‌تر است؛ این اصطلاح به رابطه‌های بین رویدادها - هر تعداد رویداد و هر نوع رابطه (قبل، حین، بعد) - اشاره دارد.

غالباً برنامه‌نویسان کامپیوتر با محدودیت‌های همگام‌سازی مواجه‌اند، که این محدودیت‌ها الزاماتی در ارتباط با ترتیب این رویدادها می‌باشد. مثال‌هایی نظیر:

**تسلسل:** رخداد الف باید که پیش از رخداد ب اتفاق بیفتد.

**انحصار متقابل:** رخداد الف و ب نباید در یک زمان رخ دهند.

در زندگی واقعی غالباً محدودیت‌های همگام‌سازی را با کمک یک ساعت بررسی و اعمال می‌کنیم. چگونه می‌فهمیم که رخداد الف قبل از رخداد ب روی داده است؟ اگر زمان وقوع هر دو رویداد را بدانیم، می‌توانیم زمان‌ها را با هم مقایسه کنیم.

در سیستم‌های کامپیوتری غالباً می‌بایست که محدودیت‌های همگام‌سازی را بدون بهره‌بردن از ساعت برآورده نماییم، زیرا که یا هیچ ساعت جهانی وجود ندارد یا اینکه با یک دقت به اندازه کافی خوب، زمان دقیق وقوع رویدادها را نمی‌دانیم.

این کتاب درباره تکنیک‌های نرم‌افزاری برای اعمال‌های محدودیت‌های همگام‌سازی در کامپیوتر است.



## ۲.۱ مدل اجرا<sup>۱</sup>

به منظور درک همگام‌سازی نرم‌افزاری، باید مدلی از چگونگی اجرای برنامه‌های کامپیوتری داشته باشید. در ساده‌ترین مدل، کامپیوترها دستورات را به ترتیب، یکی پس از دیگری اجرا می‌نمایند. در این مدل، همگام‌سازی بدیهی است؛ ترتیب وقایع را با نگاه به برنامه می‌توان بیان نمود. اگر دستور A قبل از دستور B آمده باشد، اول اجرا می‌گردد.

در دو صورت، همگام‌سازی پیچیده‌تر خواهد شد. ممکن است کامپیوتر موازی باشد، بدین معنی که چندین پردازنده در یک زمان در حال اجرا باشد. در این حالت نمی‌توان به سادگی فهمید که دستوری در یک پردازنده قبل از دستور دیگری در پردازنده دیگر اجرا شده است.

و یا ممکن است یک پردازنده چندین نخ<sup>۲</sup> اجرایی داشته باشد. نخ، دنباله‌ای از دستورات است که به ترتیب اجرا می‌شوند. اگر چندین نخ وجود داشته باشد آنگاه پردازنده می‌تواند برای مدتی بر روی یکی از نخ‌ها کار کند و سپس به نخ دیگری منتقل شود و به همین ترتیب ادامه دهد.

به طور کلی برنامه‌نویس هیچ کنترلی روی زمان اجرای نخ‌ها ندارد؛ در واقع سیستم عامل (به خصوص زمان‌بند) در این باره تصمیم می‌گیرد. در نتیجه برنامه‌نویس نمی‌تواند بگوید که دستورات چه زمانی در نخ‌های مختلف اجرا خواهد شد.

برای مقاصد همگام‌سازی، تفاوتی بین مدل موازی و مدل چند نخ وجود ندارد. مساله یکی است: در یک پردازنده (یا یک نخ) ترتیب اجرا مشخص است اما بین پردازنده‌ها (یا نخ‌ها) بیان این ترتیب غیر ممکن است. یک مثال واقعی این مساله را روشن‌تر می‌نماید. تصور کنید که شما و دوستان Bob در شهرهای متفاوتی زندگی می‌کنید. یک روز نزدیک وقت ناهار، شما به این فکر می‌افتید که چه کسی امروز زودتر ناهار خواهد خورد، شما یا Bob. چگونه این را در می‌یابید؟

به سادگی می‌توانید به او زنگ بزنید و پرسید که چه زمانی ناهار خورده است. اما اگر شما با ساعت خودتان در ۵۹/۱۱ غذا را شروع نموده باشید و Bob با ساعت خودش در ۰۱/۱۲، آن وقت چه؟ آیا می‌توانید مطمئن باشید که چه کسی زودتر شروع نموده است؟ تنها در صورتی ممکن است که هر دوی شما نسبت به دقتی بودن ساعت‌هایتان حساس بوده باشید.

سیستم‌های کامپیوتری با مشکل مشابهی مواجه هستند زیرا با وجود اینکه معمولاً ساعت‌هایشان دقیق است اما همیشه در میزان دقت ساعت‌ها محدودیت وجود دارد. به علاوه، اکثر اوقات کامپیوتر زمان وقوع رخدادها را دنبال نمی‌نماید. چرا که تعداد بسیار زیادی رخداد آن هم با سرعتی بسیار در حال وقوع است که ذخیره زمان دقیق همه آن‌ها ممکن نیست.

معملاً با فرض اینکه Bob می‌خواهد دستورات ساده‌ای را دنبال نماید آیا راهی وجود دارد که **تضمین** نمایید فردا شما زودتر از او ناهار خواهید خورد؟

<sup>1</sup>Execution model    <sup>2</sup>thread

## ۳.۱ تسلسل به کمک تبادل پیام

یک راه آن است که به Bob بگویید تا شما به او زنگ نزده‌اید ناهار نخورد. شما نیز اطمینان دهید پس از ناهار زنگ می‌زنید. اگر چه این راهکار بدیهی به نظر می‌رسد لکن ایده پایه آن، تبادل پیام<sup>۳</sup>، راه حلی واقعی برای بسیاری از مسائل همگام‌سازی می‌باشد. جدول زمانی زیر را در نظر بگیرید.

نخ A (شما)	نخ B (Bob)
1 Eat breakfast	1 Eat breakfast
2 Work	2 Wait for a call
3 Eat lunch	3 Eat lunch
4 Call Bob	

اولین ستون لیست اعمالی است که شما انجام می‌دهید؛ به عبارت دیگر نخ اجرای شما. ستون دوم نیز نخ اجرای Bob است. درون یک نخ همیشه می‌توانیم ترتیب اجرای وقایع را بگوییم. ترتیب وقایع را به این صورت می‌توانیم نشان دهیم

$$a_1 < a_2 < a_3 < a_4$$

$$b_1 < b_2 < b_3$$

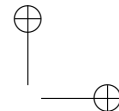
که در آن، رابطه  $a_1 < a_2$  به معنای وقوع  $a_1$  پیش از  $a_2$  است. اگر چه به طور کلی، هیچ راهی برای مقایسه رخدادهای نخ‌های مختلف نداریم؛ برای مثال ایده‌ای از اینکه چه کسی ابتدا صبحانه می‌خورد نداریم (آیا  $b_1 < a_1$  است؟). اما با کمک تبادل پیام (تماس تلفنی) می‌توانیم بگوییم چه کسی زودتر ناهار خورده است ( $a_3 < b_3$ ). با فرض اینکه باب هیچ دوست دیگری نداشته باشد هیچ تماسی جز از شما دریافت نخواهد کرد بنابراین ( $b_2 > a_4$ ). با ترکیب تمامی روابط، داریم

$$b_3 > b_2 > a_4 > a_3$$

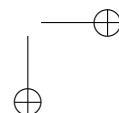
که ثابت می‌کند شما قبل از باب ناهار خورده‌اید. در این حالت، می‌گوییم شما و باب به صورت متوالی<sup>۴</sup> ناهار خورده‌اید زیرا ترتیب وقایع را می‌دانیم. از طرف دیگر صبحانه را به صورت همروند<sup>۵</sup> خورده‌اید زیرا که ترتیب مشخص نیست. مواقعی که درباره رخدادهای همروند صحبت می‌کنیم، اغوا کننده است که بگوییم آن‌ها به صورت همزمان اتفاق افتاده‌اند. تعبیر فوق تا زمانی که تعریف دقیق زیر را در خاطر دارید بلامانع است:

دو واقعه، همروند هستند اگر با نگاه به برنامه نتوانیم بگوییم کدامیک زودتر رخ می‌دهد.

<sup>3</sup>message passing <sup>4</sup>sequential <sup>5</sup>concurrent



گاهی اوقات پس از اجرای برنامه می‌توانیم بگوییم که کدامیک ابتدا رخ داده است، اما غالباً ممکن نیست، و حتی اگر هم بتوانیم، باز هم تضمینی نیست که مرتبه بعد نتیجه‌ای یکسان بگیریم.



## ۴.۱ عدم قطعیت

برنامه‌های همروند اغلب **غیر قطعی**<sup>۶</sup> هستند به این معنی که با نگاه به برنامه نمی‌توانیم بگوییم آن زمانی که برنامه اجرا می‌شود چه اتفاقی خواهد افتاد. در ادامه یک برنامه ساده غیر قطعی آمده است:

نخ A <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">print "yes"</div>	نخ B <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">print "no"</div>
--	---

از آنجایی که دو نخ به صورت همروند اجرا می‌شوند، ترتیب اجرا بستگی به زمان‌بند دارد. در هر اجرای این برنامه، خروجی ممکن است "yes no" یا "no yes" باشد.

عدم قطعیت یکی از مواردی است که اشکال‌زدایی برنامه‌های همروند را مشکل می‌سازد. برنامه‌ای ممکن است ۱۰۰۰ بار بر روی یک سطر به درستی کار کرده و سپس در اجرای ۱۰۰۱ام بسته به تصمیمات خاص زمان‌بند با مشکل مواجه شده و اجرای برنامه متوقف شود.

پیدا کردن این نوع خطاها با بررسی کد تقریباً ناممکن است؛ این نوع خطاها تنها از طریق برنامه‌نویسی دقیق قابل اجتناب هستند.

## ۵.۱ متغیرهای اشتراکی

بیشتر مواقع، غالب متغیرها در اکثر نخ‌ها **محلی**<sup>۷</sup> هستند، بدین معنی که تنها به یک نخ تعلق دارند و سایر نخ‌ها نمی‌توانند به آن‌ها دسترسی داشته باشند. تا زمانی‌که این نکته برقرار است، مشکلات همگام‌سازی کمی وجود دارد زیرا که نخ‌ها دخالتی در آن متغیرها ندارند.

اما گاهی اوقات برخی متغیرها بین دو یا چند نخ به صورت **اشتراکی**<sup>۸</sup> در دسترس هستند؛ این یکی از شیوه‌های تعامل نخ‌ها با یکدیگر است. برای مثال، یک راو تبادل اطلاعات بین نخ‌ها، این است که نخ‌ی مقداری را بخواند و نخ دیگر آن را بنویسد.

اگر نخ‌ها ناهمگام باشند آنگاه با نگاه کردن به کد نمی‌توانیم بگوییم که آیا نخ خواننده، مقداری را که نویسنده نوشته است می‌بیند یا همان مقدار قبلی را خواهد دید. لذا بسیاری از برنامه‌ها محدودیت‌هایی را بر روی خواننده‌ها اعمال می‌نمایند؛ تا زمانی‌که نویسنده مقدار را ننوشت است چیزی را نخواند. این دقیقاً همان مساله تسلسل است که در بخش ۳.۱ آمده است. نوشتن همروند (دو یا بیشتر نویسنده) و بروزرسانی همروند (دو یا بیشتر نخ که خواندن پس از نوشتن دارند)، شیوه‌های دیگری از تعامل نخ‌ها با یکدیگر است. دو بخش بعدی با این تعاملات سروکار خواهد داشت. خواندن همروند متغیرهای اشتراکی که گونه دیگری از این تعامل است عموماً مشکل همگام‌سازی تولید نمی‌نماید.

<sup>۶</sup>non-deterministic <sup>۷</sup>local <sup>۸</sup>shared

### ۱.۵.۱ نوشتن‌های همروند

در مثال بعد،  $x$  یک متغیر اشتراکی است که دو خواننده به آن دسترسی دارند.

نخ A	نخ B
<pre> 1 x = 5 2 print x </pre>	<pre> 1 x = 7 </pre>

کدام مقدار  $x$  چاپ خواهد شد؟ در پایان اجرای تمام این دستورات، مقدار  $x$  چیست؟ این بستگی به ترتیب اجرای هر یک از دستورات دارد که به آن مسیر اجرا<sup>۹</sup> گفته می‌شود.  $a_1 < a_2 < b_1$  یکی از مسیرهای ممکن است که در آن خروجی برنامه ۵ است، درحالی‌که مقدار نهایی ۷ خواهد بود.

معماً: چه مسیری منجر به خروجی ۵ و مقدار نهایی ۵ می‌شود؟

معماً: چه مسیری منجر به خروجی ۷ و مقدار نهایی ۷ می‌شود؟

معماً: آیا مسیری وجود دارد که منجر به خروجی ۷ و مقدار نهایی ۵ شود؟ می‌توانید جواب خود را ثابت کنید؟

پاسخ به چنین سوالاتی یکی از بخش‌های مهم برنامه‌نویسی همروند است: مسیرهای ممکن کدام‌ها هستند و هر یک از این مسیرها چه تأثیراتی دارند؟ آیا می‌توان ثابت نمود که اثری (خواسته) ضروری است و یا اینکه اثری (ناخواسته) غیر ممکن است؟

### ۲.۵.۱ بروزرسانی‌های همروند

بروزرسانی عملی است که مقدار متغیری را خوانده، یک مقدار جدید را بر مبنای مقدار قبلی محاسبه نموده و سپس مقدار جدید را می‌نویسد. رایج‌ترین نوع بروزرسانی، یک افزایش<sup>۱۰</sup> است که مقدار جدید برابر مقدار قبلی به اضافه یک واحد است. مثال بعد متغیر اشتراکی `count` را نشان می‌دهد که بوسیله دو نخ به صورت همزمان بروزرسانی می‌گردد.

نخ A	نخ B
<pre> 1 count = count + 1 </pre>	<pre> 1 count = count + 1 </pre>

در نگاه اول، اینکه یک مشکل همگام‌سازی در اینجا وجود دارد اینقدر واضح نیست. تنها دو مسیر اجرا وجود دارد و هر دو، نتیجه‌ای یکسان تولید می‌نمایند.

مشکل این است که این دستورات قبل از اجرا به زبان ماشین ترجمه می‌شوند و در زبان ماشین، یک بروزرسانی شامل دو گام است: یک خواندن و یک نوشتن. اگر کد را، با یک متغیر موقتی `temp` بازنویسی نماییم، این مشکل واضح‌تر خواهد شد.

<sup>۹</sup>execution path    <sup>۱۰</sup>increment

نخ A

```

1 temp = count
2 count = temp + 1

```

نخ B

```

1 temp = count
2 count = temp + 1

```

اکنون مسیر اجرای زیر را در نظر بگیرید

$$a_1 < b_1 < b_2 < a_2$$

اگر مقدار اولیه  $x$  برابر ۰ باشد، مقدار نهایی چند است؟ از آنجایی که هر دو نخ مقدار اولیه یکسانی را می‌خوانند، هر دو مقدار یکسانی را می‌نویسند. این متغیر تنها یک مرتبه افزایش می‌یابد که احتمالاً آن چیزی نیست که برنامه‌نویس در ذهن خود داشته است.

چنین مسائلی از ظرافت بالایی برخوردار هستند زیرا که همیشه این امکان وجود ندارد که با نگاه کردن به یک برنامه سطح بالا بگوییم کدام عملیات در یک گام انجام شده و کدام‌ها وقفه‌پذیر هستند. در واقع، برخی کامپیوترها نوعی دستور افزایشی را فراهم می‌آورند که به صورت سخت‌افزاری پیاده‌سازی شده است و وقفه‌پذیر نیست. عملی که وقفه‌پذیر نباشید اتمی<sup>۱۱</sup> گفته می‌شود.

خوب اگر ندانیم چه اعمالی اتمی هستند چگونه می‌توانیم برنامه‌هایی همروند بنویسیم؟ یک روش، جمع‌آوری اطلاعات مشخصی درباره هر عمل بر روی هر سکوی سخت‌افزاری است. ایرادات این رهیافت واضح است.

رایج‌ترین جایگزین این است که محتاطانه فرض کنیم تمامی بروزرسانی‌ها و نوشتن‌ها اتمی نیستند و از محدودیت‌های همگام‌سازی به منظور کنترل دسترسی همروند به متغیرهای اشتراکی استفاده نماییم. معمول‌ترین محدودیت انحصار متقابل<sup>۱۲</sup> یا mutex است که در بخش ۱.۱ اشاره شد. انحصار متقابل تضمین می‌نماید در یک زمان خاص فقط یک نخ به متغیر اشتراکی دسترسی دارد که موجب برطرف شدن این نوع خطاهای همگام‌سازی مطرح شده در این بخش می‌گردد.

معماً: فرض کنید ۱۰۰ تا نخ، برنامه زیر را به صورت همزمان اجرا می‌نمایند (اگر با زبان پایتون آشنا نیستند حلقه for یکصد مرتبه بروزرسانی انجام می‌دهد):

```

1 for i in range(100):
2     temp = count
3     count = temp + 1

```

بزرگترین مقدار ممکن count پس از اجرای تمام نخ‌ها چقدر است؟ کوچکترین مقدار ممکن چقدر است؟ راهنمایی: سوال اول ساده ولی دومی به آن سادگی نیست.

<sup>11</sup>atomic <sup>12</sup>mutual exclusion



### ۳.۵.۱ انحصار متقابل با تبادل پیام

همانند تسلل، انحصار متقابل می‌تواند با استفاده از تبادل پیام پیاده‌سازی شود. برای مثال، فرض کنید شما و باب با یک راکتور هسته‌ای سر و کار دارد و آن را از راه دور تحت نظر دارید. غالب زمان‌ها، هر دوی شما چراغ‌های اخطار را زیر نظر دارید اما هر دو اجازه دارید برای ناهار دست از کار بکشید. اینکه چه کسی اول ناهار می‌خورد اهمیتی ندارد اما مهم است که ناهار هر دوی شما همزمان نباشد تا راکتور بدون نظارت باقی نماند! معمولاً: فرض کنید از یک سیستم تبادل پیام (تماس‌های تلفنی) برای اعمال این محدودیت‌ها استفاده می‌کنید. هیچ ساعتی وجود ندارد و شما نمی‌توانید زمان شروع ناهار یا مدت زمان صرف ناهار را پیش‌بینی کنید. حداقل تعداد تماس‌های لازم چقدر است؟







## فصل ۲

# سمافورها

در دنیای واقعی، سمافور یک سیستم از سیگنال‌هایی است که به منظور ارتباط بصری بکار می‌رود این سیگنال‌ها معمولاً پرچم، نور یا مکانیزم دیگری هستند. در نرم‌افزار، سمافور ساختمان داده‌ای است که برای حل انواع گوناگونی از مسائل همگام‌سازی مفید است.

سمافورها توسط Edsger Dijkstra - دانشمند مشهور و اعجوبه کامپیوتر - ابداع گردیده است. از زمان طراحی اولیه، برخی از جزئیات تغییر کرده است ولی ایده اصلی یکسان است.

### ۱.۲ تعریف

سمافور شبیه یک عدد صحیح است اما با سه تفاوت:

۱. زمانیکه سمافوری را ایجاد می‌نمایید مقدار اولیه آن را می‌توانید هر عدد صحیحی قرار دهید، اما پس از آن تنها اعمال مجاز، افزایش و کاهش، آن هم به اندازه یک واحد است و مقدار جاری سمافور را نمی‌توانید بخوانید.
۲. زمانیکه یک نخ، سمافور را کاهش می‌دهد اگر نتیجه مقداری منفی باشد، نخ خودش را مسدود<sup>۱</sup> نموده و تا زمانیکه نخ دیگری آن سمافور را افزایش ندهد نمی‌تواند ادامه دهد.
۳. زمانیکه یک نخ مقدار سمافور را افزایش می‌دهد، اگر نخ‌های دیگری در انتظار باشند آنگاه یکی از نخ‌های در حال انتظار، از حالت انسداد خارج می‌شود.

---

<sup>1</sup>block



وقتی می‌گوییم یک نخ خود را مسدود کرده است منظور این است که به زمان‌بند اعلام می‌نماید که دیگر نمی‌تواند ادامه دهد. تا زمانی که رخدادی سبب رفع انسداد نخ نگردد زمان‌بند مانع اجرای نخ می‌گردد. در استعارات رایج علم کامپیوتر رفع انسداد اغلب بیدار شدن<sup>۲</sup> گفته می‌شود. تمام تعریف همین است، اما این تعریف پی‌آمدهایی در پی دارد که ممکن است بخواهید درباره آن‌ها بیندیشید.

- به طور کلی، نمی‌توان از قبل گفت که کاهش سمافور توسط یک نخ منجر به مسدود شدن آن نخ می‌شود یا نه (در حالت‌های خاص ممکن است بتوانید ثابت کنید که مسدود می‌شود یا خیر).
- پس از اینکه نخ یک سمافور را افزایش داد و نخ دیگری بیدار شد، هر دو نخ به صورت هم‌روند اجرای خود را ادامه می‌دهند. هیچ راهی وجود ندارد که بدانیم کدامیک از این دو نخ، بلافاصله ادامه می‌یابد.
- زمانی که به یک سمافور سیگنال می‌دهید ضرورتاً نمی‌دانید که آیا نخ در حالت انتظار هست یا نه؟ لذا تعداد نخ‌های رفع انسداد شده ممکن است صفر یا یک باشد.

نهایتاً، ممکن است فکر کنید مقدار سمافور چه معنایی دارد؟ اگر مقدار مثبت باشد نشانگر تعداد نخ‌هایی است که می‌توانند بدون مسدود شدن، آن کاهش را دهند. اگر مقدار منفی باشد نشانگر تعداد نخ‌هایی است که مسدود شده و در حالت انتظار هستند. اگر مقدار صفر باشد به این معنی است که هیچ نخ در حالت انتظار نیست اما اگر نخ سمافور را کاهش دهد، مسدود خواهد شد.

## ۲.۲ نحو

در بیشتر محیط‌های برنامه‌نویسی، پیاده‌سازی سمافور به صورت بخشی از زبان برنامه‌نویسی یا سیستم‌عامل موجود است. گاهی اوقات پیاده‌سازی‌های مختلف، اندک توانایی‌های متفاوتی را فراهم آورده و نحو متفاوتی را نیاز دارند.

در این کتاب از یک شبه زبان<sup>۳</sup> ساده به منظور نمایش شیوه عملکرد سمافورها استفاده می‌کنیم. نحو ایجاد یک سمافور و مقداردهی اولیه آن در ادامه آمده است.

نحو مقداردهی اولیه سمافور

```
1 fred = Semaphore(1)
```

تابع Semaphore سازنده‌ای<sup>۴</sup> است که یک سمافور را ایجاد نموده و آن را بر می‌گرداند. مقدار اولیه سمافور به عنوان یک پارامتر به سازنده ارسال می‌گردد.

<sup>۲</sup>waking <sup>۳</sup>pseudo-language <sup>۴</sup>constructor



اعمال سمافور در محیط‌های مختلف نام‌های گوناگونی دارند. رایج‌ترین آن‌ها عبارت است از:

اعمال سمافور

```
1 fred.increment()
2 fred.decrement()
```

و

اعمال سمافور

```
1 fred.signal()
2 fred.wait()
```

و

اعمال سمافور

```
1 fred.V()
2 fred.P()
```

وجود این همه نام ممکن است تعجب برانگیز باشد اما بی‌دلیل نیست. `increment` و `decrement` بیان می‌نمایند که این اعمال چه انجام می‌دهند. `signal` و `wait` شرح می‌دهند که اغلب به چه هدفی به کار می‌روند. و `V` و `P` نام‌های پیشنهادی Dijkstra هستند و او به خوبی می‌دانست که یک نام بی‌معنی بهتر از نامی گمراه‌کننده است.<sup>۵</sup>

بقیه اسمی را گمراه‌کننده می‌دانم زیرا که `increment` و `decrement` هیچ اشاره‌ای به امکان انسداد و رفع انسداد ندارند و سمافورها اغلب به گونه‌ای استفاده می‌شوند که کاری با `signal` و `wait` ندارند. اگر اصرار به نام‌هایی با معنی دارید، نام‌های زیر را به شما پیشنهاد می‌کنم:

اعمال سمافور

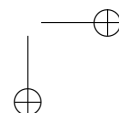
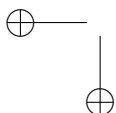
```
1 fred.increment_and_wake_a_waiting_process_if_any()
2 fred.decrement_and_block_if_the_result_is_negative()
```

گمان نمی‌کنم کسی به این زودی این اسمی را بپذیرد. فعلاً تا آن زمان، `wait` و `signal` را برای استفاده انتخاب می‌کنم.

## ۳.۲ چرا سمافورها؟

با نگاه به تعریف سمافورها، اینکه چرا سمافورها مفید هستند اصلاً واضح نیست. درست است که برای حل مسائل همگام‌سازی به سمافورها نیازی نداریم، اما استفاده از آن‌ها مزایایی دارد:

<sup>۵</sup> اگر زبان شما هلندی باشد `V` و `P` آنقدرها هم بی‌معنی نیستند.





- سمافورها محدودیت‌هایی تعمدی تحمیل می‌نمایند که به برنامه‌نویس‌ها کمک می‌کند تا از خطاها بدور باشند.
- راه حل‌هایی که از سمافورها استفاده می‌نمایند اغلب تمیز و سازمان‌یافته هستند به گونه‌ای که اثبات درستی آن‌ها را ساده می‌سازد.
- سمافورها می‌توانند به صورتی کارا در بسیاری از سیستم‌ها پیاده‌سازی شوند، لذا راه حل‌هایی که از سمافورها استفاده نموده‌اند معمولاً قابل حمل و کارا هستند.



## الگوهای همگام سازی پایه

در این فصل تعدادی از مسائل همگام سازی پایه ارائه شده و نشان داده می شود چگونه با استفاده از سمافورها آن ها را حل کنیم. این مسائل شامل موضوعات مختلفی می شود از جمله تسلسل و انحصار متقابل - که قبلاً با آن ها آشنا شده ایم -.

### ۱.۳ علامت دهی

ساده ترین شکل استفاده از یک سمافور احتمالاً مکانیزم **علامت دهی**<sup>۱</sup> است، به این معنی که یک نخ، پیامی به نخ دیگر می فرستد تا وقوع رخدادی را اعلام کند.

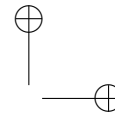
علامت دهی این امکان را فراهم می آورد تا مطمئن شویم که یک قطعه کد در یک نخ، حتماً قبل از قطعه کدی دیگر در نخ دیگری اجرا خواهد شد؛ به عبارت دیگر، مسئله تسلسل را حل می کند.

فرض کنید یک سمافور با نام `sem` و مقدار اولیه ۰ داریم، و نخ های `A` و `B` هر دو به آن دسترسی دارند.

نخ A		نخ B	
1	<code>statement a1</code>	1	<code>sem.wait()</code>
2	<code>sem.signal()</code>	2	<code>statement b1</code>

کلمه `statement` نشان دهنده یک عبارت دلخواه در برنامه است. برای اینکه مثال مشخص تر شود، فرض کنید `a1` یک خط از یک فایل را می خواند، و `b1` آن خط را در صفحه نمایش نشان می دهد. سمافور در این برنامه تضمین می کند که نخ `A` عملیات `a1` را، قبل از آنکه نخ `B` عملیات `b1` را شروع کند، به طور کامل انجام داده

<sup>1</sup>signaling



است.

روش کار به این صورت است: اگر اول نخ B به عبارت `wait` برسد، با مقدار اولیه، یعنی صفر، مواجه می‌شود و مسدود خواهد شد. سپس هر زمان نخ A علامت دهد، نخ B ادامه خواهد داد. به طور مشابه، اگر اول نخ A به عبارت `signal` برسد، مقدار سمافور افزایش می‌یابد، و هنگامی که نخ B به `wait` برسد، بدون وقفه ادامه می‌یابد. در هر صورت، ترتیب `a1` و `b1` تضمین می‌شود. این شیوه استفاده از سمافورها، پایه و اساس نام‌های `signal` و `wait` است، و در این مورد، این اسامی به راحتی به خاطر سپرده می‌شوند. اما متأسفانه، موارد دیگری را خواهیم دید که این اسم‌ها کمتر به ما کمک می‌کنند. حالا که از اسامی بامعنی صحبت به میان آمد، باید بدانیم که `sem` با `msm` نیست. اگر امکان داشته باشد، ایده خوب این است که به یک سمافور نامی دهیم که مشخص کند به چه دلالت دارد. در این مثال نام `a1done` می‌تواند خوب باشد، چرا که `a1done.signal()` به این معنی است که «علامت بده `a1` انجام شده است»، و `a1done.wait()` به این معنی است که «صبر کن تا اینکه `a1` انجام شود».

## ۲.۳ Sync.py

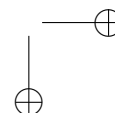
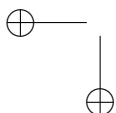
تمرین: درباره استفاده از `sync` بنویسید، از `signal.py` شروع کنید. چرا نخ B به `initComplete` علامت می‌دهد؟

## ۳.۳ قرار ملاقات

معماً: الگوی علامت دهی را طوری تعمیم دهید که بتواند در دو جهت کار کند. نخ A باید منتظر نخ B بماند و بالعکس. به عبارت دیگر اگر کد زیر را داشته باشیم

نخ A		نخ B	
1	<code>statement a1</code>	1	<code>statement b1</code>
2	<code>statement a2</code>	2	<code>statement b2</code>

می‌خواهیم مطمئن شویم که `a1` پیش از `b2` رخ می‌دهد و نیز `b1` قبل از `a2` اتفاق می‌افتد. هنگام نوشتن راه حل خود، نام و مقدار اولیه سمافورها را حتماً مشخص نمایید. راه حل شما نباید قید و بندهای زیادی داشته باشد. مثلاً، ترتیب `a1` و `b1` برای ما اهمیتی ندارد. در راه حل شما، باید امکان هر ترتیبی وجود داشته باشد.





این مسئله همگام سازی یک نام دارد و آن، قرار ملاقات است. ایده آن به این صورت است که دو نخ در یک نقطه از اجرا با یکدیگر قرار ملاقات می گذارند، و تا زمانی که هر دو نرسیده باشند، دیگری حق ادامه ندارد.









### ۱.۳.۳ راهنمای قرار ملاقات

اگر خوش شانس باشید می‌توانید به یک راه‌حل برسید، ولی اگر هم نرسیدید، در ادامه یک راهنمایی آمده است. دو سمافور به نام‌های `aArrived` و `bArrived` ایجاد کنید، و به هر دو مقدار اولیه صفر بدهید. همان طور که از نام‌ها مشخص است، `aArrived` نشان می‌دهد که آیا نخ `A` به محل ملاقات رسیده است، و به همین صورت `bArrived` نیز در مورد نخ `B` می‌باشد.





## ۲.۳.۳ راه حل قرار ملاقات

راه حلی برای مبنای راهنمایی قبل آمده است:

نخ A	نخ B
<pre> 1 statement a1 2 aArrived.signal() 3 bArrived.wait() 4 statement a2 </pre>	<pre> 1 statement b1 2 bArrived.signal() 3 aArrived.wait() 4 statement b2 </pre>

هنگام کار بر روی مساله قبلی، ممکن است کدی مانند زیر را امتحان کرده باشید:

نخ A	نخ B
<pre> 1 statement a1 2 bArrived.wait() 3 aArrived.signal() 4 statement a2 </pre>	<pre> 1 statement b1 2 bArrived.signal() 3 aArrived.wait() 4 statement b2 </pre>

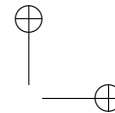
اگرچه این راه حل کار می کند اما احتمالاً بهیچگی کمتری دارد زیرا که ممکن است بین A و B یک بار بیش از آن چیزی که لازم است جابجایی داشته باشد. اگر اول A برسد باید منتظر B بماند. زمانیکه B رسید A را بیدار نموده و ممکن است بلافاصله ادامه یافته و به wait برسد و مسدود شود تا اجازه دهد که A به signal برسد که پس از آن هر دو نخ بتواند ادامه یابد. دوباره سایر مسیرهای ممکن از طریق این کد بیندیشید و متقاعد شوید که در تمامی حالات هیچ نخی نمی تواند ادامه یابد مگر اینکه هر دو رسیده باشند.

## ۳.۳.۳ بن بست #۱

دوباره هنگام کار بر روی مساله قبلی، ممکن است کدی مانند زیر را امتحان کرده باشید:

نخ A	نخ B
<pre> 1 statement a1 2 bArrived.wait() 3 aArrived.signal() 4 statement a2 </pre>	<pre> 1 statement b1 2 aArrived.wait() 3 bArrived.signal() 4 statement b2 </pre>

اگر چنین است، امیدوارم خیلی سریع آن را رد کرده باشید، زیرا که این طراحی مشکلی جدی دارد. با فرض اینکه ابتدا A برسد در خط wait مسدود می شود. زمانیکه B برسد، آن نیز مسدود خواهد شد زیرا که A نمی تواند به aArrived پیام دهد. در این نقطه، هیچکدام از نخ ها ادامه نیافته و هرگز نیز ادامه نمی یابند.



این وضعیت بن بست<sup>۲</sup> نامیده می شود و بوضوح یک راه حل ناموفق برای مساله همگام سازی است. در این حالت، خطا واضح است اما درک امکان رخداد بن بست اغلب همیشه به این روشنی نیست. مثال های بیشتری را بعدا خواهیم دید.

### ۴.۳ Mutex

دومین کاربرد رایج سمافورها اعمال انحصار متقابل است. پیش از این یکی از کاربردهای انحصار متقابل در کنترل دسترسی همروند به متغیرهای اشتراکی را دیده ایم. میوتکس<sup>۳</sup> تضمین می نماید که در هر زمان تنها یک نخ به متغیر اشتراکی دسترسی دارد.

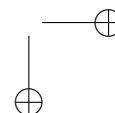
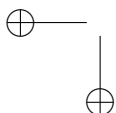
میوتکس شبیه یک توکن<sup>۴</sup> است که از نخ به نخ دیگر منتقل می شود و در هر زمان به یک نخ اجازه ادامه فعالیت می دهد. برای نمونه، در رمان سالار مگس ها<sup>۵</sup> یک گروه از بچه ها از یک صدف به عنوان میوتکس بهره می برند. برای صحبت کردن شما باید صدف را در اختیار داشته باشید. از آنجایی که تنها یک کودک صدف را در اختیار دارد، لذا تنها یک نفر می تواند صحبت کند.<sup>۶</sup>

به طور مشابه، به منظور دسترسی یک نخ به متغیری اشتراکی، باید میوتکس را ”گرفته“ و زمانی که کارش تمام شد آن را ”رها“ کند. در هر زمان تنها یک نخ می تواند میوتکس را در اختیار داشته باشد. معمًا: سمافورهایی به مثال زیر بیفزایید تا انحصار متقابل متغیر اشتراکی count را اعمال نمایند.

نخ A	نخ B
<code>count = count + 1</code>	<code>count = count + 1</code>

<sup>۶</sup> اگرچه این تعبیر در اینجا مفید است ولی می تواند گمراه کننده نیز باشد، همانطوری که در بخش ۶.۵ خواهیم دید.

<sup>۲</sup> deadlock   <sup>۳</sup> mutex   <sup>۴</sup> token   <sup>۵</sup> The Lord of the Flies





### ۱.۴.۳ راهنمای انحصار متقابل

سمافوری با نام `mutex` و مقدار اولیه 1 ایجاد نمایید. مقدار یک به این معنی است که یک نخ می‌تواند ادامه یافته و به متغیر اشتراکی دسترسی داشته باشد؛ مقدار صفر به معنی این است که باید منتظر نخ دیگری بماند تا میوتکس را آزاد نماید.





## ۲.۴.۳ راه حل انحصار متقابل

راه حلی را در ادامه می بینیم:

نخ A	نخ B
<pre> 1 mutex.wait() 2     # critical section 3     count = count + 1 4 mutex.signal() </pre>	<pre> 1 mutex.wait() 2     # critical section 3     count = count + 1 4 mutex.signal() </pre>

از آنجایی که mutex مقدار اولیه 1 را دارد، اولین نخ‌ی که در کد خود به wait می‌رسد می‌تواند بلافاصله ادامه یابد. البته عمل wait روی سمافور موجب کاهش مقدار آن می‌گردد لذا دومین نخ‌ی که به wait می‌رسد باید منتظر پیام‌دهی نخ اول بماند.

عملیات بروزرسانی متغیر حاشیه‌دار شده است تا نشان دهد که درون یک میوتکس قرار دارد.

در این مثال، هر دو نخ کد یکسانی را اجرا می‌نمایند. گاهی اوقات این نوع راه‌حل را <sup>۷</sup>میتقارن می‌نامیم. اگر نخ‌ها کدهای مختلفی را اجرا می‌نمایند این راه‌حل <sup>۸</sup>نامتقارن گفته می‌شود. راه حل‌های متقارن اغلب راحت‌تر تعمیم‌داده می‌شوند. در این حالت، راه‌حل میوتکس می‌تواند هر تعداد نخ هم‌رند را بدون نیاز به هیچگونه تغییری مدیریت نماید. تا زمانی که هر نخ پیش از بروزرسانی متغیر، wait و پس از آن نیز signal را فرا می‌خواند هیچ دو نخ‌ی به صورت همزمان به متغیر count دسترسی نخواهند داشت.

اغلب کدی که به حفاظت نیاز دارد ناحیه بحرانی<sup>۹</sup> نامیده می‌شود، زیرا که جلوگیری از دسترسی همزمان، اهمیتی حیاتی دارد.

در استعارات رایج علم کامپیوتر، گاهی اوقات به طرق دیگری درباره میوتکس‌ها صحبت می‌شود. در تعبیری که تاکنون استفاده نمودیم، میوتکس توکنی است که از یک نخ به نخ دیگر انتقال داده می‌شود.

در تعبیر دیگر، از ناحیه بحرانی به عنوان اتاقی یاد می‌شود که در هر زمان تنها یک نخ اجازه دارد داخل آن باشد. در این تعبیر، میوتکس‌ها قفل<sup>۱۰</sup> نامیده می‌شوند و گفته می‌شود یک نخ پیش از ورود، میوتکس را قفل نموده و هنگام خروج آن را باز می‌نماید. گرچه گهگاهی، کاربران تعابیر را خلط نموده و صحبت از گرفتن<sup>۱۱</sup> و رهانمودن<sup>۱۲</sup> یک قفل می‌نمایند که این تعبیر، آن قدر هم با معنی نیست.

هر دو تعبیر، بالقوه مفید و بالقوه گمراه کننده هستند. هنگام کار بر روی مساله بعدی، هر دو شیوه تفکر را امتحان نموده و ببینید کدام یک شماره به راه‌حل می‌رساند.

<sup>7</sup>symmetric <sup>8</sup>asymmetric <sup>9</sup>critical section <sup>10</sup>lock <sup>11</sup>getting <sup>12</sup>releasing



### Multiplex ۵.۳

معمّاً: راه حل قبل را چنان تعمیم دهید که به چند نخ اجازه دهد به صورت همزمان در ناحیه بحرانی اجرا شوند اما یک حدّ بالا روی تعداد نخ‌های همروند اعمال شود. به عبارت دیگر، بیش از  $n$  نخ به صورت همزمان در ناحیه بحرانی اجرا نشود.

این الگو یک مالتی پلکس<sup>۱۳</sup> نامیده می‌شود. در دنیای واقعی، مساله مالتی پلکس در یک کلوپ شبانه شلوغ رخ می‌دهد زمانی که برای تعداد افرادی که مجاز به حضور در ساختمان در یک زمان هستند یک حداکثر وجود دارد؛ خواه به منظور تامین ایمنی آتش سوزی یا به منظور ایجاد یک انحصار. معمولاً در چنین اماکنی یک مأمور، با نگاه داشتن تعداد افرادی که داخل هستند و جلوگیری از ورود افراد جدید زمانی که اتاق به ظرفیت خود برسد محدودیت همزمانی را تضمین می‌کند. سپس، هر زمان که یک فرد خارج شود فرد دیگری اجازه ورود می‌یابد. تضمین این محدودیت با سمافورها ممکن است سخت به نظر آید اما تقریباً بدیهی است.

<sup>13</sup>multiplex





### ۱.۵.۳ راه حل مالتی پلکس

به منظور اینکه اجرای چند نخ را در ناحیه بحرانی ممکن سازیم، کافی است مقدار اولیه سمافور را  $n$ -حداکثر تعداد نخ‌های مجاز- قرار دهیم.

در هر زمان، مقدار سمافور نشانگر تعداد نخ‌هایی است که می‌توانند داخل شوند. اگر این مقدار صفر باشد آنگاه نخ بعدی تا زمانی که یکی از نخ‌های درونی خارج شده و پیام‌دهی نماید مسدود می‌گردد. هنگامی که تمام نخ‌ها از ناحیه بحرانی خارج شوند مقدار سمافور دوباره  $n$  می‌شود. از آنجایی که این راه حل متقارن است، به طور قراردادی تنها یک کپی از کد نمایش داده می‌شود اما شما باید چندین کپی از کد را که به صورت هم‌روند در چندین نخ اجرا می‌شود در نظر بگیرید.

راه حل مالتی پلکس

```
1 multiplex.wait()
2   critical section
3 multiplex.signal()
```

اگر ناحیه بحرانی پر شده باشد و بیش از یک نخ سر برسند چه اتفاقی می‌افتد؟ البته چیزی که می‌خواهیم این است که تمامی آن‌ها منتظر بمانند. این راه حل دقیقاً همین کار را انجام می‌دهد. هر زمان که یک نخ تازه به صف ملحق شود، سمافور کاهش می‌یابد لذا مقدار سمافور که منفی است نشانگر تعداد نخ‌هایی است که در صف هستند.

زمانی که یک نخ ناحیه بحرانی را ترک می‌کند، به سمافور پیام‌داده و مقدار آن را افزایش می‌دهد که این کار اجازه می‌دهد یکی از نخ‌های در حال انتظار ادامه یابد.

با در نظر گرفتن تعابیر گذشته، در این حالت بهتر است سمافورها به صورت مجموعه‌ای از توکن‌ها دیده شود (تا یک قفل). هر نخ که `wait` را فراخوانی نماید، یکی از توکن‌ها را در اختیار می‌گیرد؛ زمانی که `signal` را فراخواند آن توکن را رها می‌نماید. فقط نخی که توکنی در اختیار دارد می‌تواند به اتاق وارد شود. زمانی که یک نخ می‌رسد اگر هیچ توکنی موجود نباشد باید تا زمانی که نخ دیگری توکنی را رها نماید، منتظر بماند. در دنیای واقعی، گاهی اوقات باجه‌های بلیط فروشی سیستمی مشابه را بکار می‌برند. به مشتری‌هایی که در صف هستند توکن‌هایی داده می‌شود. هر توکن به دارنده آن اجازه خرید یک بلیط را می‌دهد.

### ۶.۳ حصار ۱۴

دوباره مساله قرار ملاقات را از بخش ۳.۳ در نظر بگیرید. راه‌حلی که ارائه دادیم یک محدودیت دارد و آن این است که برای بیشتر از دو نخ کار نمی‌کند.

<sup>14</sup>Barrier



معمّا: راه حل قرار ملاقات را تعمیم دهید. هر نخ باید کد زیر را اجرا نماید:

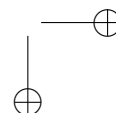
کد حصار

```
1 rendezvous
2 critical point
```

لازمه همگام سازی این است که هیچ نخ `critical point` را اجرا ننماید مگر اینکه تمامی نخ‌ها `rendezvous` را اجرا نموده باشند.

فرض کنید که  $n$  نخ وجود دارد و این مقدار در یک متغیر با نام  $n$  ذخیره شده است و تمامی نخ‌ها به آن دسترسی دارند.

زمانی که  $n - 1$  نخ اول می‌رسند باید تا زمان رسیدن  $n$  امین نخ، مسدود شوند و پس از آن، همگی می‌توانند ادامه یابند.





## ۱.۶.۳ راهنمای حصار

برای بسیاری از مسائل این کتاب، با ارائه متغیرهایی که در راه‌حل‌هایم بکار برده‌ام و توضیح قوانین آن‌ها، راهنمایی‌هایی را فراهم خواهم آورد.

## راهنمای حصار

```
1 n = the number of threads
2 count = 0
3 mutex = Semaphore(1)
4 barrier = Semaphore(0)
```

count تعداد نخ‌های رسیده را نگاه می‌دارد. mutex دسترسی انحصاری به count را به گونه‌ای فراهم می‌آورد که نخ‌ها بتوانند به صورت ایمن آن را افزایش دهند. barrier تا زمانی که تمامی نخ‌ها برسند قفل شده است (صفر یا منفی)؛ سپس باید باز شود (یک یا بیشتر).







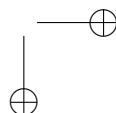
## ۲.۶.۳ نارا‌ه‌حل حصار

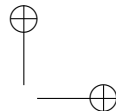
ابتدا راه‌حلی را ارائه می‌دهیم که به طور کامل درست نمی‌باشد، چرا که بررسی راه‌حل‌های ناصحیح برای فهم اینکه چه چیزی نادرست است مفید است.

نارا‌ه‌حل حصار

```
1 rendezvous
2
3 mutex.wait()
4     count = count + 1
5 mutex.signal()
6
7 if count == n: barrier.signal()
8
9 barrier.wait()
10
11 critical point
```

از آنجایی که `count` به وسیله یک `mutex` محافظت می‌شود، تعداد نخ‌هایی که رد می‌شود را می‌شمارد.  $n - ۱$  نخ اول زمانی که به حصار می‌رسند منتظر می‌مانند، چرا که حصار در ابتدا قفل است. زمانی که  $n$ امین نخ می‌رسد حصار را باز می‌نماید. معماً: مشکل این راه‌حل چیست؟

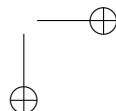
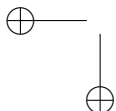


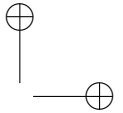
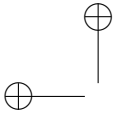


۳۰

الگوهای همگام سازی پایه

---





## ۳.۶.۳ بن بست #۲

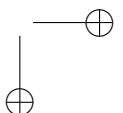
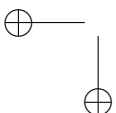
مشکل راه حل قبلی، بن بست است. به عنوان مثال، تصور کنید  $n = 5$  و چهار نخ پشت حصار منتظر هستند. مقدار سمافور، منفی تعداد نخ‌های در صف است که در اینجا ۴- می باشد.

زمانی که پنجمین نخ به حصار پیام می دهد، یکی از نخ‌های در حال انتظار اجازه ادامه کار یافته و سمافور به ۳- افزایش می یابد.

اما پس از آن، دیگر هیچ نخ‌ی به سمافور پیام نداده و هیچ کدام از سایر نخ‌ها نمی توانند از حصار عبور نمایند. این دومین مثال از بن بست است.

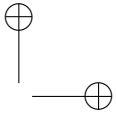
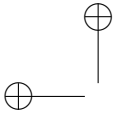
معمّا: آیا این کد همیشه یک بن بست تولید می نماید؟ آیا می توانید یک مسیر اجرایی از طریق این کد بیابید که منجر به بن بست نشود؟

معمّا: این مشکل را حل کنید.









## ۴.۶.۳ راه حل حصار

بالاخره، کد راه حل صحیح مساله حصار در ادامه آمده است:

راه حل حصار

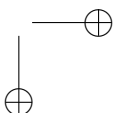
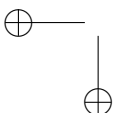
```
1 rendezvous
2
3 mutex.wait()
4     count = count + 1
5 mutex.signal()
6
7 if count == n: barrier.signal()
8
9 barrier.wait()
10 barrier.signal()
11
12 critical point
```

تنها تغییر، یک signal دیگر پس از انتظار برای حصار است. اکنون، پس از اینکه هر نخ عبور کرد، به سمافور پیام می دهد که نخ بعدی می تواند عبور کند.

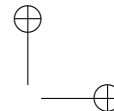
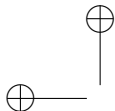
این الگو (یک wait و یک signal بلافاصله پشت سر هم) آنقدر رایج است که یک نام دارد: ترن استایل<sup>۱۵</sup>، زیرا که در یک زمان به تنها یک نخ اجازه عبور می دهد و می تواند قفل گردد تا تمام نخ ها را نگه دارد. در وضعیت آغازین (صفر)، ترن استایل قفل است. نخ  $m$  آن را بار نموده و سپس تمام  $n$  نخ از آن عبور می کنند.

ممکن است خواندن مقدار count بیرون از mutex مخاطره آمیز به نظر رسد؛ اگر چه در اینجا مشکلی وجود ندارد، اما به طور کلی احتمالاً ایده خوبی هم نیست. چند صفحه بعد کد تمیزتری ارائه می دهیم اما فعلاً ممکن است بخواهید این سوالات را در نظر بگیرید: پس از  $m$  امین نخ، ترن استایل در چه وضعیتی است؟ آیا راهی وجود دارد که ممکن باشد حصار بیش از یکبار پیام دهی شود؟

<sup>۱۵</sup>turnstile: تیرکی که معمولاً سه بازوی گردنده دارد و هرکس می خواهد از آن بگذرد کوپن خود را در سوراخ آن انداخته و آن را چرخانده وارد می شود. معمولاً در ورودی ایستگاه های مترو و یا فروشگاه ها وجود دارد.







## ۵.۶.۳ بن بست #۳

از آنجایی که در هر زمان تنها یک نخ می‌تواند از میوتکس عبور کند و نیز در هر زمان تنها یک نخ می‌تواند از ترن استایل عبور کند، ممکن است قرار دادن ترن استایل درون میوتکس منطقی به نظر آید، مانند زیر:

راه حل بدِ حصار

```
1 rendezvous
2
3 mutex.wait()
4     count = count + 1
5     if count == n: barrier.signal()
6
7     barrier.wait()
8     barrier.signal()
9 mutex.signal()
10
11 critical point
```

این ایده بدی است زیرا که می‌تواند سبب بن بست گردد.

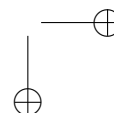
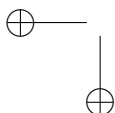
تصور کنید اولین نخ وارد mutex شده و پس از رسیدن به ترن استایل مسدود می‌گردد. از آنجایی که mutex قفل شده است، هیچ نخ دیگری نمی‌تواند وارد گردد، لذا شرط `condition==n` هرگز درست نبوده و هیچ نخی ترن استایل را باز نخواهد کرد.

در اینجا، بن بست کاملاً واضح است، اما یک منشأ رایج بن بست‌ها را نشان می‌دهد: مسدود شدن روی یک سمافور در حالیکه یک mutex در اختیار دارد.

## ۷.۳ حصار با قابلیت استفاده مجدد

اغلب، مجموعه نخ‌های همکار، یک سری از گام‌های یک حلقه را اجرا نموده و پس از هر گام نزد یک حصار همگام‌سازی می‌شوند. برای این کاربرد، به یک حصار با قابلیت استفاده مجدد نیاز داریم که پس از عبور تمامی نخ‌ها از آن، خود را قفل نماید.

معملاً: راه حل حصار را چنان بازنویسی کنید که پس از عبور تمام نخ‌ها، ترن استایل دوباره قفل شود.







## ۱.۷.۳ ناره حل حصار با قابلیت استفاده مجدد #۱

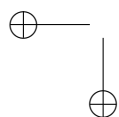
دوباره با یک تلاش ساده برای رسیدن به راه حل، شروع نموده و به تدریج آن را بهبود می دهیم:

ناره حل حصار با قابلیت استفاده مجدد

```
1 rendezvous
2
3
4 mutex.wait()
5     count += 1
6 mutex.signal()
7
8 if count == n: turnstile.signal()
9
10 turnstile.wait()
11 turnstile.signal()
12
13 critical point
14
15 mutex.wait()
16     count -= 1
17 mutex.signal()
18
19 if count == 0: turnstile.wait()
```

توجه کنید که کد پس از ترن استایل بسیار مشابه کد قبل از آن است. دوباره لازم است که دسترسی به متغیر اشتراکی count را با استفاده از میوتکس محافظت کنیم. با این حال متأسفانه این کد به طور کامل صحیح نیست. معنای مشکل چیست؟







### ۲.۷.۳ مساله حصار با قابلیت استفاده مجدد #۱

مشکلی در خط ۸ کد قبل وجود دارد.

اگر  $n - 1$  امین نخ در این نقطه با یک وقفه مواجه شود، و سپس  $n$  امین نخ وارد میوتکس شود، هر دو نخ  $\text{count} = n$  را صحیح یافته و هر دو به ترن استایل پیام خواهند داد. در حقیقت حتی این امکان وجود دارد که تمام نخ‌ها به ترن استایل پیام دهند.

به طور مشابه در خط ۱۹ ممکن است چندین نخ `wait` را اجرا نماید که منجر به بن‌بست خواهد شد. معماً: مشکل را حل نمایید.





۴۰

الگوهای همگام سازی پایه

---







## ۳.۷.۳ ناره حل حصار با قابلیت استفاده مجدد #۲

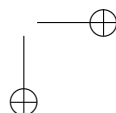
تلاش ذیل، خطای قبل را حل نموده ولی یک مشکل ظریف باقی می ماند.

ناره حل حصار با قابلیت استفاده مجدد

```
1 rendezvous
2
3 mutex.wait()
4     count += 1
5     if count == n: turnstile.signal()
6 mutex.signal()
7
8 turnstile.wait()
9 turnstile.signal()
10
11 critical point
12
13 mutex.wait()
14     count -= 1
15     if count == 0: turnstile.wait()
16 mutex.signal()
```

در هر دو حالت بررسی درون میوتکس صورت می گیرد لذا یک نخ نمی تواند بعد از تغییر شمارنده و قبل از بررسی آن با وقفه مواجه شود.

متأسفانه این کد هنوز صحیح نیست. فراموش نکنید که این کد حصار درون یک حلقه قرار دارد. لذا پس از اجرای آخرین خط هر نخ به rendezvous باز می گردد. معماً: مشکل را بیابید و آن را رفع نمایید.







## ۴.۷.۳ راهنمای حصار با قابلیت استفاده مجدد

همانطوری که مشاهده نمودید، این کد به نخ‌هایی که زودتر از ناحیه بحرانی خود خارج می‌شود اجازه عبور از میوتکس دوم را داده و سپس در حلقه کد خود از میوتکس اول و ترن‌استایل عبور می‌نماید، که در عمل همین نکته سبب می‌شود آن نخ، یک دور جلوتر از دیگر نخ‌ها قرار گیرد.

برای رفع این مساله می‌توانیم از دو ترن‌استایل استفاده نماییم.

راهنمای حصار با قابلیت استفاده مجدد

```
1 turnstile = Semaphore(0)
2 turnstile2 = Semaphore(1)
3 mutex = Semaphore(1)
```

در ابتدا ترن‌استایل اولی قبل و دومی باز است. زمانی که تمامی نخ‌ها به ترن‌استایل اول برسند، آن دومی را قفل و اولی را باز می‌نماییم. آن هنگام که تمامی نخ‌ها به ترن‌استایل دوم برسند اولی را دوباره قفل کرده - که این کار از بازگشت نخ‌ها به ابتدای حلقه جلوگیری می‌نماید - و سپس دومی را باز می‌نماییم.





## ۵.۷.۳ راه حل حصار با قابلیت استفاده مجدد

راهنمای حصار با قابلیت استفاده مجدد

```

1 # rendezvous
2
3 mutex.wait()
4     count += 1
5     if count == n:
6         turnstile2.wait()      # lock the second
7         turnstile.signal()     # unlock the first
8 mutex.signal()
9
10 turnstile.wait()              # first turnstile
11 turnstile.signal()
12
13 # critical point
14
15 mutex.wait()
16     count -= 1
17     if count == 0:
18         turnstile.wait()      # lock the first
19         turnstile2.signal()   # unlock the second
20 mutex.signal()
21
22 turnstile2.wait()             # second turnstile
23 turnstile2.signal()

```

گاهی اوقات به این راه حل، حصار دو-فاز گفته می‌شود زیرا که تمامی نخ‌ها را دوبار مجبور به انتظار می‌کند: یکبار برای اینکه تمام نخ‌ها برسند و بار دیگر برای آنکه تمام نخ‌های ناحیه بحرانی را اجرا نمایند. متأسفانه، این راه حل از نابدیهی‌ترین انواع کد همگام‌سازی است: اطمینان یافتن از صحت این راه حل سخت است. اغلب اینکه یک مسیر خاص از طریق برنامه سبب خطایی گردد، آنچنان آشکار نیست. بدتر اینکه، بررسی پیاده‌سازی یک راه حل آنچنان کمکی نمی‌کند. خطا ممکن است خیلی به ندرت اتفاق افتد، زیرا که مسیر بخصوصی که سبب خطا می‌گردد ممکن است نیازمند ترکیبی فوق‌العاده بی‌بدیل از شرایط باشد. تولید و اشکال زدایی چنین خطاهایی با روش‌های مرسوم تقریباً ناممکن است. تنها جایگزین بررسی دقیق کد و "اثبات" صحت آن است. "اثبات" بین گیومه قرار دادیم زیرا که ضرورتاً منظور این نیست که یک اثبات رسمی برای آن بنویسید (اگرچه متعصب‌هایی وجود دارند که به چنین حمایتی ترغیب می‌نمایند).

نوع اثبات مد نظر بسیار غیر رسمی است. می‌توانیم از مزیت ساختار کد و اصطلاحاتی که توسعه داده‌ایم برای اثبات و سپس نشان دادن یک تعدادی از ادعاهای سطح متوسط درباره برنامه استفاده کنیم. برای نمونه:



۱. فقط  $n$  امین نخ می تواند ترن استایل ها را قفل یا باز نماید.
  ۲. قبل اینکه یک نخ بتواند اولین ترن استایل را باز نماید، باید دومی را بسته باشد و بالعکس؛ بنابراین برای یک نخ، عبور از دیگر نخ ها به اندازه بیش از یک ترن استایل ناممکن است.
- با یافتن انواع صحیح عبارات به منظور اعلام و اثبات، گاهی اوقات می توانید یک راه موجز برای متقاعد کردن خودتان (یا یک همکار شکاک) بیابید که کدتان ضد گلوگه است.



## ۶.۷.۳ ترن استایل از پیش باگذاری شده

یک چیز جالب در رابطه با ترن استایل این است که یک جزء همه منظوره است که می‌توانید آن را در راه حل‌های مختلفی بکار ببرید. اما یک اشکال آن این است که نخ‌ها را مجبور می‌نماید که به صورت ترتیبی عبور نمایند و این ممکن است سبب تعویض بسترهای<sup>۱۶</sup> زیادی بیش از حد نیاز گردد.

در مساله حصار با قابلیت استفاده مجدد، می‌توانیم راه حل را ساده‌تر کنیم اگر نخ‌ی که ترن استایل را از حالت قفل خارج می‌نماید آن را با تعداد سیگنال کافی به منظور عبور نخ‌های لازم، از پیش بارگذاری نماید<sup>۱۷</sup>.  
نحو مورد استفاده در اینجا فرض می‌کند که signal می‌تواند پارامتری دریافت دارد که تعداد سیگنال‌ها را مشخص می‌نماید. این، یک ویژگی استاندارد نیست، اما پیاده‌سازی آن با یک حلقه، آسان خواهد بود. تنها چیزی که باید در ذهن داشت این است که سیگنال‌های چندگانه اتمی نیستند؛ بدین معنی که نخ علامت دهنده ممکن است در میانه حلقه با وقفه روبرو شود. لکن در اینجا مشکلی نیست.

راه حل حصار با قابلیت استفاده مجدد

```

1 # rendezvous
2
3 mutex.wait()
4     count += 1
5     if count == n:
6         turnstile.signal(n)           # unlock the first
7 mutex.signal()
8
9 turnstile.wait()                       # first turnstile
10
11 # critical point
12
13 mutex.wait()
14     count -= 1
15     if count == 0:
16         turnstile2.signal(n)          # unlock the second
17 mutex.signal()
18
19 turnstile2.wait()                      # second turnstile

```

زمانیکه  $n$  امین نخ می‌رسد، ترن استایل اول را با یک سیگنال بازای هر نخ از پیش بارگذاری می‌نماید. زمانیکه  $n$  امین نخ از ترن استایل عبور می‌نماید آخرین توکن را در اختیار گرفته و ترن استایل را دوباره قفل می‌نماید. اتفاق مشابهی در ترن استایل دوم رخ می‌دهد، آن زمان که آخرین نخ از mutex عبور نموده آن را باز می‌نماید.

<sup>۱۷</sup> با تشکر از Matt Tesch بابت این راه حل!

<sup>۱۶</sup> context switch

## ۷.۷.۳ اشیاء حصار

به طور معمول، یک حصار را درون یک شیء محصور<sup>۱۸</sup> می نمایند. در اینجا برای تعریف کلاس، نحو پایتون را بکار می بریم.

کلاس Barrier

```

1 class Barrier:
2     def __init__(self, n):
3         self.n = n
4         self.count = 0
5         self.mutex = Semaphore(1)
6         self.turnstile = Semaphore(0)
7         self.turnstile2 = Semaphore(0)
8
9     def phase1(self):
10        self.mutex.wait()
11        self.count += 1
12        if self.count == self.n:
13            self.turnstile.signal(self.n)
14        self.mutex.signal()
15        self.turnstile.wait()
16
17    def phase2(self):
18        self.mutex.wait()
19        self.count -= 1
20        if self.count == 0:
21            self.turnstile2.signal(self.n)
22        self.mutex.signal()
23        self.turnstile2.wait()
24
25    def wait(self):
26        self.phase1()
27        self.phase2()

```

زمانیکه یک شیء Barrier ایجاد می گردد متد \_\_init\_\_ اجرا می شود و متغیرهای نمونه را مقداردهی اولیه می نماید. پارامتر n تعداد نخ هایی است که باید پیش از اینکه حصار باز شود wait را فراخوانند. متغیر self به شینی اشاره دارد که متد روی آن عمل می نماید. از آنجایی که هر شیء حصار، mutex و ترن استایل های خود را دارد، self.mutex به mutex شیء جاری اشاره می نماید. در اینجا مثالی مشاهده می نمایید که یک شیء Barrier را ایجاد نموده و روی آن منتظر می ماند:

واسط Barrier

```

1 barrier = Barrier(n)           # initialize a new barrier

```

<sup>18</sup>encapsulate





```
2 barrier.wait() # wait at a barrier
```

کدی که حصار را بکار می‌برد می‌تواند phase1 و phase2 را به صورت مجزا فراخواند اگر چیزی وجود داشته باشد که لازم باشد در آن بین اجرا شود.

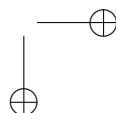
### ۸.۳ صف

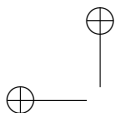
سمافورها می‌توانند به عنوان یک صف نیز استفاده شوند. در این حالت، مقدار اولیه 0 است و معمولاً کد به گونه‌ای نوشته شده است که امکان علامت‌دهی وجود ندارد مگر اینکه یک نخ، در حال انتظار وجود داشته باشد، لذا مقدار سمافور هیچگاه مثبت نیست.

به عنوان مثال، تصور کنید که نخ‌ها، نمایشگر رقصنده‌هایی باشند و دو نوع رقص -جلودار و دنباله‌رو- در دو صف، پیش از ورود به اتاق رقص منتظر هستند. هنگامی که یک جلودار می‌رسد، بررسی می‌کند که آیا هیچ دنباله‌روئی منتظر هست یا خیر. اگر چنین باشد، هر دو می‌توانند داخل شوند در غیر اینصورت می‌بایست منتظر بمانند.

به طور مشابه، زمانی که یک دنباله‌رو می‌رسد، او ابتدا چک می‌کند که آیا جلوداری وجود دارد یا خیر و منطبق با داخل شده یا صبر می‌نماید.

معملاً: کدی بنویسید برای جلودارها و دنباله‌روها که این شرایط در آن صدق کند.





۵۰

الگوهای همگام سازی پایه

---





## ۱.۸.۳ راهنمایی برای معما

در اینجا متغیرهایی آمده است که در راه حل خود بکار برده‌ام:

راهنمایی صف

```
1 leaderQueue = Semaphore(0)
2 followerQueue = Semaphore(0)
```

leaderQueue صف حاوی جلودارهای منتظر هست و followerQueue صف حاوی دنباله‌روهای منتظر هست.





## ۲.۸.۳ راه حل صف

کد مربوط به جلودارها را در اینجا آمده است:

راه حل صف (جلودارها)

```
1 followerQueue.signal()
2 leaderQueue.wait()
3 dance()
```

و در این قسمت کد مربوط به دنباله‌روها را مشاهده می‌نمایید:

راه حل صف (دنباله‌روها)

```
1 leaderQueue.signal()
2 followerQueue.wait()
3 dance()
```

این راه‌حل به همان اندازه که نشان می‌دهد ساده است، تنها یک قرار ملاقات است. هر جلودار دقیقاً به یک دنباله‌رو علامت می‌دهد و هر دنباله‌رو به یک جلودار علامت می‌دهد، لذا این ضمانت می‌کند که جلودارها و دنباله‌روها تنها به صورت جفت جفت اجازه اقدام داشته باشند. اما اینکه آیا آن‌ها واقعاً به صورت جفت جفت وارد عمل می‌شوند واضح نیست. برای هر تعداد از نخ‌ها امکان تجمع قبل از اجرای dance وجود دارد و لذا برای هر تعداد از جلودارها dance پیش از دنباله‌روها ممکن است. بسته به معنای dance این رفتار ممکن است مشکل‌ساز باشد و یا نباشد.

برای اینکه کمی جالب‌تر شود بگذارید محدودیتی بیفزاییم که در آن، هر جلودار تنها با یک دنباله‌رو به صورت هم‌زمان بتواند dance را فراخواند و بالعکس. به عبارت دیگر، باید با کسی که شما را آورده است برقصید.<sup>۱۹</sup> معنای: یک راه‌حل برای این مساله «صف انحصاری» ارائه کنید.

<sup>۱۹</sup> متن آهنگ اجرا شده توسط Shania Twain





## ۳.۸.۳ راهنمای صف انحصاری

متغیرهایی را که در راه حل خود بکار برده ام در ادامه مشاهده می نمایید:

راهنمای صف

```
1 leaders = followers = 0
2 mutex = Semaphore(1)
3 leaderQueue = Semaphore(0)
4 followerQueue = Semaphore(0)
5 rendezvous = Semaphore(0)
```

leaders و followers شمارنده هایی هستند که تعداد رقاص های هر نوع که در حال انتظار هستند در

خود نگه می دارند. میوتکس دسترسی انحصاری به شمارنده ها را ضمانت می کند.

leaderQueue و followerQueue صف هایی هستند که رقاص ها در آن منتظر می مانند.

rendezvous برای بررسی اینکه هر دو نخ رقص را خود به پایان رسانده اند بکار می رود.







## ۴.۸.۳ راه حل صف انحصاری

قطعه کد مربوط به جلودارها:

راه حل صف (جلودارها)

```

1 mutex.wait()
2 if followers > 0:
3     followers--
4     followerQueue.signal()
5 else:
6     leaders++
7     mutex.signal()
8     leaderQueue.wait()
9
10 dance()
11 rendezvous.wait()
12 mutex.signal()

```

زمانی که یک جلودار می‌رسد، میوتکسی که leaders و followers را محافظت می‌کند می‌گیرد. اگر یک دنباله‌رو منتظر باشد، جلودار مقدار followers را کاهش می‌دهد، به یک جلودار سیگنال می‌دهد و سپس dance را فرا می‌خواند، تمام این کارها قبل از آزادسازی mutex انجام می‌شود. این تضمین می‌کند که تنها یک نخ دنباله‌رو وجود دارد که dance را به طور همزمان اجرا نماید. اگر هیچ دنباله‌روی در حالت انتظار نباشد، جلودار باید میوتکس را قبل از انتظار روی leaderQueue رها کند. کد مربوط به دنباله‌روها نیز مشابه است:

راه حل صف (دنباله‌روها)

```

1 mutex.wait()
2 if leaders > 0:
3     leaders--
4     leaderQueue.signal()
5 else:
6     followers++
7     mutex.signal()
8     followerQueue.wait()
9
10 dance()
11 rendezvous.signal()

```

زمانی که یک دنباله‌رو می‌رسد، چک می‌کند که آیا جلوداری در حالت انتظار هست. اگر یکی وجود داشته باشد، دنباله‌رو مقدار leaders را کاهش می‌دهد، به جلودار سیگنال می‌دهد، و dance را اجرا می‌کند، تمامی این کارها بدون آزادسازی mutex انجام می‌شود. در حقیقت در این مورد دنباله‌رو هرگز mutex را رها نمی‌کند؛ جلودار این کار را انجام می‌دهد. لازم نیست نخی که میوتکس را دارد رد گیری کنیم زیرا که می‌دانیم یکی از آن‌ها

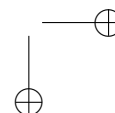


میوتکس را دارد و هر کدام از آن دو نخ می‌تواند آن را آزاد کند. در راه‌حل من همیشه یک جلودار این کار را انجام می‌دهد.

زمانی که یک سمافور به عنوان یک صف استفاده می‌شود،<sup>۲۰</sup> به نظرم بهتر است که “انتظار” را “انتظار برای این صف” بخوانیم و “سیگنال” را “بگذار شخصی از این صف برود”. در این کد، ما هرگز به یک صف سیگنال نمی‌دهیم، مگر اینکه کسی در حال انتظار باشد، در نتیجه مقدار سمافورهای صف به ندرت مثبت می‌باشد. اگرچه این امکان نیز وجود دارد. ببینید آیا می‌توانید بفهمید چگونه ممکن است.

---

<sup>۲۰</sup> سمافوری که به عنوان یک صف بکار می‌رود بسیار شبیه به یک متغیر شرطی است. تفاوت اصلی در این است که نخ‌ها باید میوتکس را به طور صریح پیش از انتظار رها نموده و پس از آن به صورت صریح آن را دوباره در اختیار گیرند (البته اگر آن را نیاز داشته باشد).





## فصل ۴

# مسائل همگام‌سازی کلاسیک

مسائل کلاسیک همگام‌سازی، که تقریباً در هر کتاب درسی سیستم‌عامل وجود دارد را در این فصل بررسی می‌نماییم. این مسائل معمولاً در غالب مسائل جهان واقع ارائه می‌گردد، لذا بیان مساله واضح است و بنابراین دانشجویان می‌توانند شهود خود را بکار بندند.

گرچه برای اکثر موارد، این مسائل در دنیای واقعی رخ نمی‌دهد یا اگر هم رخ دهد راه حل‌های دنیای واقع چندان شبیه کد همگام‌سازی که با آن کار می‌کنیم نیست.

دلیل علاقه‌مندی ما، به اینگونه مسائل این است که شبیه مسائل رایجی هستند که سیستم‌عامل‌ها (و برخی برنامه‌ها) نیاز به حل آن‌ها دارند. برای هر مساله کلاسیک، یک فرمول‌بندی کلاسیک ارائه می‌دهیم و همچنین شباهات آن را به مساله متناظر در سیستم‌عامل بیان می‌نماییم.

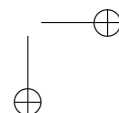
### ۱.۴ مسئله تولیدکننده-مصرف‌کننده

در برنامه‌های چندنخی اغلب یک تقسیم‌بندی از کار بین نخ‌ها وجود دارد. در یک الگوی رایج، برخی نخ‌ها تولیدکننده و برخی مصرف‌کننده هستند. تولیدکننده‌ها عناصری از برخی نوع‌ها را ایجاد نموده و آن‌ها را به یک ساختمان داده می‌افزاید؛ مصرف‌کننده‌ها عناصر را حذف نموده و پردازش می‌کنند.

برنامه‌های رویداد-محور مثال‌های خوبی هستند. یک "رویداد"<sup>۱</sup>، رخدادی است که به پاسخ برنامه نیاز دارد: کاربر کلیدی را فشار می‌دهد یا ماوس را جابجا می‌کند، یک بلوک داده از دیسک می‌رسد، یک بسته از شبکه می‌رسد، یک عمل در حال انتظار تکمیل می‌شود.

---

<sup>1</sup>event





هر زمان که یک رویداد رخ می‌دهد، یک نخ تولیدکننده یک شیء رویداد را ایجاد نموده و آن را به بافر رویداد می‌افزاید. به طور همزمان، نخ مصرف‌کننده، رویدادها را از بافر خارج کرده و آن‌ها را پردازش می‌کند. در این حالت، مصرف‌کننده‌ها "مدیریت‌کننده رویداد"<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند.

چندین محدودیت همگام‌سازی وجود دارد که برای درست کار کردن سیستم نیاز به تحمیل آن‌ها داریم.

- زمانی که یک عنصر به بافر افزوده شده یا از آن حذف می‌گردد، بافر در وضعیتی ناپایدار است. بنابراین نخ‌ها باید دسترسی انحصاری به بافر داشته باشند.

- اگر یک نخ مصرف‌کننده در زمانی که بافر خالی است سر برسد، تا زمانی که یک تولیدکننده عنصر جدیدی را بیفزاید مسدود می‌گردد.

فرض کنید که تولیدکننده‌ها عملیات زیر را بارها و بارها انجام می‌دهند:

کد پایه تولیدکننده

```
1 event = waitForEvent()  
2 buffer.add(event)
```

همچنین فرض کنید مصرف‌کننده‌ها عملیات زیر را اجرا می‌کنند:

کد پایه مصرف‌کننده

```
1 event = buffer.get()  
2 event.process()
```

همانطوری که در بالا مشخص شده، دسترسی به بافر باید انحصاری باشد، اما `waitForEvent` و

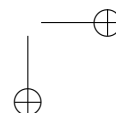
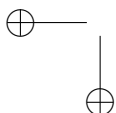
`event.process` می‌توانند به طور همزمان اجرا شوند.

معملاً: دستورات همگام‌سازی را به کد تولیدکننده و مصرف‌کننده بیفزایید تا محدودیت‌های همگام‌سازی

اعمال شود.

---

<sup>۲</sup>event handler



## ۱.۱.۴ راهنمای تولیدکننده-مصرف کننده

در اینجا متغیرهایی آمده است که ممکن است بخواهید استفاده کنید:

مقداردهی اولیه تولیدکننده-مصرف کننده

```
1 mutex = Semaphore(1)
2 items = Semaphore(0)
3 local event
```

بدون تعجب، mutex دسترسی انحصاری را به بافر فراهم می‌آورد. هنگامی که items مثبت است، تعداد عناصر موجود در بافر را نشان می‌دهد. زمانی که منفی است، نشان‌دهنده تعداد نخ‌های مصرف‌کننده در صف می‌باشد.

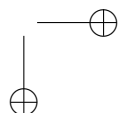
event یک متغیر محلی<sup>۳</sup> است، که در اینجا بدین معنی است که هر نخ نسخه خود را دارد. تاکنون فرض کرده‌ایم که تمام نخ‌ها به تمام متغیرها دسترسی دارند، اما گاهی اوقات بهتر است که به هر نخ یک متغیر الحاقی شود.

راه‌های مختلفی برای پیاده‌سازی این نکته در محیط‌های گوناگون وجود دارد:

- اگر هر نخ پشته زمان اجرای خودش را داشته باشد، آنگاه هر متغیر تخصیص داده شده در پشته، مخصوص به نخ<sup>۴</sup> است.
- اگر نخ‌ها به عنوان اشیا نشان داده شوند، می‌توانیم به هر شیئی نخ یک خصیصه اضافه نماییم.
- اگر نخ‌ها IDهای یکتا داشته باشند، می‌توانیم ID را به عنوان اندیس یک آرایه یا جدول درهم سازی به کار ببریم، و داده‌های هر نخ را در آن ذخیره کنیم.

در بیشتر برنامه‌ها، اغلب متغیرها محلی هستند مگر اینکه به صورت دیگری اعلان شوند، اما در این کتاب بیشتر متغیرها اشتراکی اند، لذا پیش فرض متغیرها اشتراکی هستند مگر اینکه به صراحت به صورت local اعلان شوند.

<sup>3</sup>local variable    <sup>4</sup>thread-specific



## ۲.۱.۴ راه حل تولیدکننده-مصرف کننده

کد تولیدکننده از راه حل من در ادامه آمده است.

راه حل تولیدکننده

```
1 event = waitForEvent()
2 mutex.wait()
3     buffer.add(event)
4     items.signal()
5 mutex.signal()
```

تولیدکننده تا زمان دریافت یک رویداد، نباید دسترسی انحصاری به بافر داشته باشد. چندین نخ به صورت همزمان می‌توانند `waitForEvent` را اجرا نمایند.

سمافور `items` تعداد عناصر موجود در بافر را در خود نگاه می‌دارد. هر زمان که تولیدکننده یک عنصر بیفزاید، با `items` دادن سیگنال یک واحد آن را افزایش می‌دهد. کد مصرف کننده نیز مشابه است.

راه حل مصرف کننده

```
1 items.wait()
2 mutex.wait()
3     event = buffer.get()
4 mutex.signal()
5 event.process()
```

دوباره، عملیات بافر توسط یک میوتکس حفاظت می‌شود اما پیش از اینکه مصرف کننده به آن برسد باید `items` را کاهش دهد. اگر `items` مقدار صفر یا منفی داشته باشد، مصرف کننده تا زمانی که یک تولیدکننده سیگنال دهد مسدود می‌گردد.

اگرچه این راه حل درست است، این امکان وجود دارد که کارایی آن را قدری بهبود بخشید. تصور کنید زمانی که یک تولید به `items` سیگنال می‌دهد حداقل یک مصرف کننده در صف قرار دارد. اگر زمان بند به مصرف کننده اجازه اجرا را بدهد، پس از آن چه اتفاقی می‌افتد؟ بلافاصله روی میوتکس که (هنوز) در اختیار تولیدکننده است مسدود می‌شود.

مسدودسازی و رفع انسداد، اعمال نسبتاً پرهزینه‌ای هستند: انجام غیرضروری آن‌ها می‌تواند به کارایی برنامه آسیب زند. لذا احتمالاً بازنویسی کد تولیدکننده به صورت زیر بهتر باشد.

راه حل بهبود یافته تولیدکننده

```
1 event = waitForEvent()
2 mutex.wait()
3     buffer.add(event)
4 mutex.signal()
5 items.signal()
```

اکنون تا زمانی‌که بدانیم یک مصرف‌کننده می‌تواند به کار خود ادامه دهد برای رفع انسداد آن خود را بزرحمت نمی‌اندازیم (بجز موردی نادر که تولیدکننده دیگری در گرفتن میوتکس، از مصرف‌کننده پیشی می‌گیرد). یک چیز دیگری در رابطه با این راه‌حل وجود دارد که ممکن است یک فرد دقیق را آزار دهد. در بخش راهنمایی ادعا کردیم که سمافور `items` تعداد عناصر موجود در صف را در خود نگاه می‌دارد. اما با نگاه به کد مصرف‌کننده، در می‌یابیم این امکان وجود دارد که چندین مصرف‌کننده بتوانند پیش از اینکه میوتکس را بگیرند و یک عنصر را از بافر بردارند، `items` را کاهش دهند. حداقل برای یک زمان کوتاه، `items` را می‌تواند نادقیق باشد.

ممکن آن را بخواهیم بوسیله چک کردن بافر درون میوتکس مدیریت کنیم:

راه حل معیوب مصرف‌کننده

```
1 mutex.wait()
2     items.wait()
3     event = buffer.get()
4 mutex.signal()
5 event.process()
```

این ایده بدی است.

معتماً: چرا؟



## ۳.۱.۴ بن بست #۴

اگر مصرف کننده کد زیر را اجرا نماید

راه حل معیوب مصرف کننده

```

1 mutex.wait()
2     items.wait()
3     event = buffer.get()
4 mutex.signal()
5
6 event.process()

```

می تواند سبب بروز بن بست گردد. تصور نمایید که بافر خالی است. یک مصرف کننده سر رسیده و میوتکس را گرفته و سپس روی items مسدود می گردد. زمانیکه تولید کننده سر می رسد، روی mutex مسدود شده و سیستم وارد یک توقف تمام اعیار گردد. این مشکل یک خطای رایج در کد همگام سازی است: هر زمان که برای یک سمافور منتظر می مانید در حالیکه یک میوتکس را در دست دارید، خطر بن بست وجود دارد. زمانیکه یک راه حل را نسبت به مساله همگام سازی بررسی می نمایید، باید این نوع از بن بست را مد نظر داشته باشید.

## ۴.۱.۴ تولید کننده-مصرف کننده با یک بافر متناهی

در این مثالی که بالا توضیح داده شد (نخ های کنترل کننده رویداد)، بافر اشتراکی معمولاً نامتناهی است (به طور دقیق تر، با منابع سیستم نظیر حافظه فیزیکی و فضای مبادله<sup>۵</sup> محدود شده است). گرچه در هسته سیستم عامل، محدودیت هایی روی فضای موجود نیز وجود دارد. بافرهایی نظیر درخواست دیسک یا بسته های شبکه معمولاً سائز ثابتی دارند. در این گونه موارد، یک محدودیت همگام سازی دیگر نیز داریم:

- اگر زمانیکه بافر پر است یک تولید کننده برسد، تا زمانیکه یک مصرف کننده عنصری را از بافر حذف کند مسدود می گردد.

فرض کنید که اندازه بافر را می دانیم. آن bufferSize بنامید. از آنجاییکه سمافوری داریم که تعداد عناصر را نگاه می دارد، وسوسه می شویم کدی به صورت زیر بنویسیم.

راه حل معیوب بافر محدود

```

1 if items >= bufferSize:
2     block()

```

<sup>5</sup>swap space



اما نمی‌توانیم چنین کنیم. به یاد آورید مقدار جاری یک سمافور را نمی‌توان بررسی نمود؛ `wait` و `signal` تنها عملیات ما هستند.

معمّا: کد تولیدکننده-مصرف‌کننده‌ای بنویسید که محدودیت بافر-متناهی را مدیریت کند.





## ۵.۱.۴ راهنمای بافر محدود تولیدکننده-مصرف کننده

سمافور دیگری را به منظور نگهداری تعداد فضای موجود در بافر بیفزایید.

مقداردهی اولیه بافر محدود تولیدکننده-مصرف کننده

```
1 mutex = Semaphore(1)
2 items = Semaphore(0)
3 spaces = Semaphore(buffer.size())
```

زمانیکه مصرف کننده عنصری را حذف می کند باید به spaces سیگنال دهد. زمانیکه تولیدکننده می رسد باید spaces را کاهش دهد، که در این نقطه ممکن است تا آن هنگامیکه مصرف کننده بعدی سیگنال دهد مسدود گردد.





## ۶.۱.۴ راه حل بافر محدود تولیدکننده-مصرف کننده

و اما راه حل.

راه حل بافر محدود مصرف کننده

```

1 items.wait()
2 mutex.wait()
3     event = buffer.get()
4 mutex.signal()
5 spaces.signal()
6
7 event.process()

```

کد تولیدکننده تا حدودی متقارن است:

راه حل بافر محدود تولیدکننده

```

1 event = waitForEvent()
2
3 spaces.wait()
4 mutex.wait()
5     buffer.add(event)
6 mutex.signal()
7 items.signal()

```

به منظور اجتناب از بن بست، تولیدکننده ها و مصرف کننده ها پیش از گرفتن میوتکس موجود بودنش بررسی می نمایند. برای بهترین کارایی، آن ها میوتکس را پیش از سیگنال دهی آزاد می نمایند.

## ۲.۴ مساله خوانندگان-نویسندگان

مساله کلاسیک بعدی، که مساله خواننده-نویسنده گفته می شود، مربوط می شود به هر راه حلی که یک ساختمان داده، پایگاه داده یا سیستم فایل خوانده شده و توسط نخ های همروند ویرایش می شود. زمانیکه ساختمان داده نوشته شده یا ویرایش می گردد ضروری است که دیگر نخ ها از خواندن منع گردند تا از دخالت در ویرایشی که در حال انجام است جلوگیری نموده و داده های نامعتبر یا ناپایدار خوانده نشود. همانند مساله تولیدکننده-مصرف کننده، راه حل مساله، متقارن است. خوانندگان و نویسندگان قبل از ورود به ناحیه بحرانی کد متفاوتی را اجرا می نمایند. محدودیت های همگام سازی عبارتند از:

۱. هر تعداد خواننده می تواند به صورت همزمان در ناحیه بحرانی باشد.

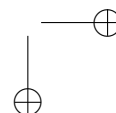
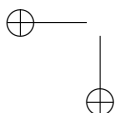
۲. نویسندگان باید دسترسی انحصاری به ناحیه بحرانی داشته باشند.



به عبارت دیگر، یک نویسنده تا زمانی که نخ دیگری (اعم از خواننده یا نویسنده) در ناحیه بحرانی وجود دارد، نمی‌تواند وارد شود و زمانی که یک نویسنده وجود داشته باشد هیچ نخ دیگری نمی‌تواند وارد شود. الگوی انحصاری اینجا ممکن است **انحصار متقابل دسته‌ای**<sup>۶</sup> نامیده شود. یک نخ در ناحیه بحرانی ضرورتاً دیگر نخ‌ها را بیرون نمی‌نماید، اما وجود یک دسته خاص در ناحیه بحرانی دسته‌های دیگر را مانع می‌گردد. معماً: سمافورهایی برای اعمال این محدودیت‌ها به کار برید به گونه‌ای که به خوانندگان و نویسندگان اجازه دسترسی به ساختمان داده را بدهد و از وقوع بن‌بست جلوگیری نماید.

---

<sup>۶</sup>categorical mutual exclusion



## ۱.۲.۴ راهنمای خوانندگان-نویسندگان

مجموعه متغیرهایی که برای حل مساله کافی هستند در ادامه آمده است.

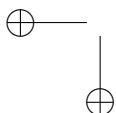
مقداردهی اولیه خوانندگان-نویسندگان

```
1 int readers = 0
2 mutex = Semaphore(1)
3 roomEmpty = Semaphore(1)
```

شمارنده readers تعداد خوانندگان در اتاق را نگاه می‌دارد. mutex شمارنده اشتراکی را حفاظت

می‌نماید.

اگر هیچ نخ (اعم از خواننده یا نویسنده) در ناحیه بحرانی نباشد roomEmpty مقدار 1 دارد و الا 0. نام roomEmpty بر اساس قاعده‌ای که خود قرار گذاشتیم انتخاب گردیده تا اینکه نام سمافور نشانگر شرط مورد نظر باشد. طبق این قرارداد، معمولاً "انتظار" به معنای "انتظار برای برقرار بودن شرط" و "سیگنال" به معنای "علامتی ده که شرط برقرار است" می‌باشد.





## ۲.۲.۴ راه حل خوانندگان-نویسندگان

کد نویسندگان ساده است. اگر ناحیه بحرانی خالی باشد، نویسنده می‌تواند وارد شود اما اثر این ورود این است که از ورود تمامی دیگر نخ‌ها ممانعت به عمل می‌آید.

راه حل نویسندگان

```
1 roomEmpty.wait()
2     critical section for writers
3 roomEmpty.signal()
```

آیا نویسنده آن زمانیکه از اتاق خارج می‌شود، می‌تواند از خالی بودن آن مطمئن باشد؟ بله، زیرا که می‌داند هیچ نخ‌ی نمی‌تواند تا آن زمان که آنجا است وارد شود.

کد خوانندگان مشابه کد حصار است که در بخش قبل دیدیم. تعداد خواننده‌هایی که در اتاق هستند را نگاه می‌داریم لذا می‌توانیم به اولین خواننده‌ای که وارد می‌شود و آخرین خواننده‌ای که خارج می‌شود دسترسی خاص را بدهیم.

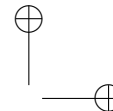
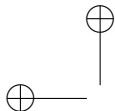
اولین خواننده‌ای که می‌رسد باید منتظر roomEmpty بماند. اگر اتاق خالی باشد، خواننده می‌تواند وارد شده و در همان زمان ورود نویسندگان را ممنوع نماید. خوانندگان بعدی هنوز می‌توانند وارد شوند زیرا که هیچ کدام از آنان منتظر roomEmpty نخواهند ماند.

اگر زمانیکه یک نویسنده در اتاق است خواننده‌ای برسد روی roomEmpty منتظر می‌ماند. از آنجاییکه میوتکس را در اختیار گرفته، هر خواننده بعدی روی mutex تشکیل صف می‌دهند.

راه حل خوانندگان

```
1 mutex.wait()
2     readers += 1
3     if readers == 1:
4         roomEmpty.wait()      # first in locks
5 mutex.signal()
6
7 # critical section for readers
8
9 mutex.wait()
10    readers -= 1
11    if readers == 0:
12        roomEmpty.signal()    # last out unlocks
13 mutex.signal()
```

کد پس از ناحیه بحرانی یکسان است. آخرین خواننده‌ای که اتاق را ترک می‌نماید لامپ خاموش کرده -بدین معنی که به roomEmpty سیگنال می‌دهد- که ورود نویسنده منتظر را ممکن می‌سازد.



دوباره، برای اینکه نشان دهیم این کد درست است، مفید است تعدادی از ادعاهایی که درباره نحوه رفتار برنامه داریم را شرح داده و ثابت کنیم. آیا می‌توانید خودتان را مجاب نمایید که آنچه در ادامه آمده صحیح است؟

- فقط یک خواننده می‌تواند روی `roomEmpty` در صف قرار گیرد اما چندین نویسنده ممکن است در صف قرار گیرند.

- زمانیکه یک خواننده به `roomEmpty` سیگنال می‌دهد اتاق باید خالی باشد.

الگوهای مشابه این کد خواننده رایج هستند: اولین نخ وارد شده به بخش، سمافور (یا صف‌ها) را قفل نموده و آخرین نخ خروجی آن را باز می‌نماید. در واقع، این کد اینقدر رایج است که بهتر است به آن نامی دهیم و آن را به صورت یک شیء بسته‌بندی نماییم.

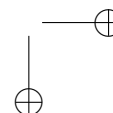
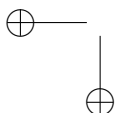
نام این الگو **Lightswitch**<sup>۷</sup> است، شبیه به الگویی که اولین نفری که وارد اتاق می‌شود لامپ را روشن می‌کند (میوتکس را قفل می‌نماید) و آخرین نفری که از اتاق خارج می‌شود آن را خاموش می‌نماید (میوتکس را باز می‌کند). در ادامه تعریف کلاس **Lightswitch** آمده است:

تعریف Lightswitch

```
1 class Lightswitch:
2     def __init__(self):
3         self.counter = 0
4         self.mutex = Semaphore(1)
5
6     def lock(self, semaphore):
7         self.mutex.wait()
8         self.counter += 1
9         if self.counter == 1:
10            semaphore.wait()
11        self.mutex.signal()
12
13    def unlock(self, semaphore):
14        self.mutex.wait()
15        self.counter -= 1
16        if self.counter == 0:
17            semaphore.signal()
18        self.mutex.signal()
```

`lock` یک سمافور را به عنوان پارامتر دریافت می‌دارد و آن را چک نموده و حتی ممکن آن را بگیرد. اگر سمافور قفل باشد، نخ فراخواننده روی `semaphore` مسدود گردیده و تمامی نخ‌های بعدی روی `self.mutex` مسدود می‌گردند. زمانیکه سمافور باز هست، اولین نخ در حال انتظار مجدداً آن را قفل نموده و تمامی نخ‌های در حال انتظار ادامه می‌یابند.

<sup>۷</sup>کلید برق





اگر سمافور در ابتدا باز باشد، اولین نخ آن را قفل نموده و مابقی نخ‌ها ادامه می‌یابند.  
unlock تا زمانی که تمامی نخ‌هایی که lock را فراخوانده‌اند unlock را نیز فراخوانند هیچ اثری نخواهد داشت. زمانی که آخرین نخ unlock را فراخواند سمافور را باز می‌نماید.



با کمک این توابع، می‌توانیم کد خواننده را کمی ساده‌تر بازنویسی نماییم:

مقدار دهی اولیه خوانندگان-نویسندگان

```
1 readLightswitch = Lightswitch()
2 roomEmpty = Semaphore(1)
```

readLightswitch یک شیء Lightswitch اشتراکی است که مقدار شمارنده آن در ابتدا صفر است.

راه حل خوانندگان-نویسندگان (خواننده)

```
1 readLightswitch.lock(roomEmpty)
2 # critical section
3 readLightswitch.unlock(roomEmpty)
```

کد نویسنده بدون تغییر باقی می‌ماند.

همچنین این امکان وجود دارد که بجای ارسال roomEmpty به عنوان یک پارامتر به lock و unlock، ارجاعی به roomEmpty را به عنوان یک خصیصه Lightswitch ذخیره نمود. این رهیافت جایگزین، کمتر مستعد خطا است، اما تصور می‌کنم اگر هر یک از فراخوانی‌های lock و unlock سمافوری که روی آن عمل می‌کند را مشخص نماید خوانایی افزایش می‌یابد.

### ۳.۲.۴ قحطی

آیا خطر بن‌بست در راه‌حل قبل وجود دارد؟ برای اینکه بن‌بستی رخ دهد، باید این امکان برای یک نخ وجود داشته باشد که بر روی یک سمافور منتظر بماند در حالیکه سمافور دیگر را در اختیار دارد و به موجب آن مانع از این شود که خودش سیگنالی دریافت نماید.

در این مثال، بن‌بست ممکن نیست، اما یک مشکل مرتبط وجود دارد که تقریباً به همان اندازه بد است: ممکن است نویسنده دچار قحطی شود.

اگر نویسنده‌ای آن زمان که چندین خواننده در ناحیه بحرانی قرار دارند سر برسد ممکن است برای همیشه در صف منتظر بماند در حالیکه خوانندگان می‌آیند و می‌روند. تا زمانیکه یک خواننده جدید پیش از اینکه آخرین خواننده از خواننده‌های جاری خارج شود برسد، همیشه حداقل یک خواننده در اتاق وجود خواهد داشت.

این وضعیت یک بن‌بست نیست زیرا که برخی نخ‌ها در حال پیشروی هستند، اما این به طور کامل مطلوب نیست. برنامه‌ای نظیر این ممکن است تا زمانیکه بار روی سیستم کم است کار کند، زیرا که فرصت‌های زیادی برای نویسندگان وجود دارد. اما همانطوری که بار سیستم افزایش یابد رفتار سیستم ممکن است به سرعت به زوال گراید (حداقل از دید نویسندگان).



معمّا: این راه حل را به گونه ای توسعه دهید تا زمانیکه یک نویسنده می رسد، خوانندگان موجود بتوانند خاتمه یابند ولی هیچ خواننده جدیدی نتواند وارد شود.





### ۴.۲.۴ راهنمایی خوانندگان-نویسندگان بدون قحطی

راهنمایی در ادامه آمده است. می‌توانید یک ترن‌استایل برای خوانندگان بیفزایید و به نویسندگان اجازه دهید آن را قفل نمایند. نویسندگان باید از طریق ترن‌استایل مشابهی گذر نمایند، اما تا زمانیکه داخل آن هستند باید سمافور roomEmpty را بررسی نمایند. اگر یک نویسنده در ترن‌استایل گیر افتد اثر آن این است که خوانندگان را مجبور می‌نماید روی ترن‌استایل تشکیل صف دهند. سپس زمانیکه آخرین خواننده ناحیه بحرانی را ترک نمود، می‌توانیم مطمئن باشیم که حداقل یک نویسنده در ادامه وارد می‌شود (قبل از آنکه خوانندگان در صف بتوانند ادامه یابند).

مقدار دهی اولیه خوانندگان-نویسندگان بدون قحطی

```
1 readSwitch = Lightswitch()
2 roomEmpty = Semaphore(1)
3 turnstile = Semaphore(1)
```

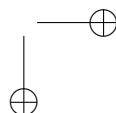
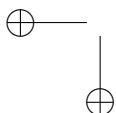
readSwitch تعداد خوانندگان موجود در اتاق را نگاه می‌دارد؛ زمانیکه اولین خواننده وارد شد roomEmpty را قفل نموده و زمانیکه آخرین خواننده خارج شد آن را باز می‌نماید. turnstile برای خواننده‌ها یک ترن‌استایل و برای نویسندگان یک میوتکس است.



۸۰

مسائل همگام سازی کلاسیک

---





## ۵.۲.۴ راه حل خوانندگان-نویسندگان بدون قحطی

کد نویسنده در ادامه آمده است:

راه حل نویسنده بدون قحطی

```

1 turnstile.wait()
2   roomEmpty.wait()
3   # critical section for writers
4 turnstile.signal()
5
6 roomEmpty.signal()

```

اگر یک نویسنده آن زمانیکه چندین خواننده در اتاق وجود دارد برسد، در خط ۲ مسدود می‌گردد، بدین معنی که ترن استایل قفل شده است. این کار، مانع ورود خوانندگان تا زمانیکه یک نویسنده در صف است می‌گردد. کد خواننده در ادامه آمده است:

راه حل خواننده بدون قحطی

```

1 turnstile.wait()
2 turnstile.signal()
3
4 readSwitch.lock(roomEmpty)
5   # critical section for readers
6 readSwitch.unlock(roomEmpty)

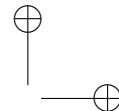
```

زمانیکه آخرین خواننده خارج می‌شود به roomEmpty سیگنال داده و نویسنده در حال انتظار را رفع انسداد می‌نماید. از آنجایی که هیچکدام از خوانندگان در حال انتظار نمی‌توانند از ترن استایل بگذرند، نویسنده بلافاصله وارد ناحیه بحرانی خودش می‌شود.

زمانیکه نویسنده خارج می‌شود turnstile را سیگنال می‌دهد که نخ در حال انتظار اعم از خواننده یا نویسنده را رفع انسداد می‌نماید. بنابراین، این راه حل تضمین می‌نماید که حداقل یک نویسنده می‌تواند ادامه یابد، اما هنوز این امکان برای یک خواننده وجود دارد آن زمان که نویسندگانی در صف وجود دارند وارد شود. بسته به کاربرد، اعطای اولویت بیشتر به نویسندگان ممکن ایده خوبی باشد. برای مثال، اگر خوانندگان ضرب العجلی در بروزرسانی‌های خود نسبت به یک ساختمان داده داشته باشند بهتر است که تعداد خوانندگانی که داده قدیمی را پیش از اینکه نویسنده تغییر خود را اعمال نمایند می‌بیند کمینه باشند.

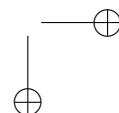
گرچه عموماً بر عهده زمان‌بند و نه برنامه‌نویس است که تعیین نماید کدام نخ در حال انتظار رفع انسداد گردد. برخی زمان‌بندها از یک صف FIFO<sup>۸</sup> استفاده می‌کنند و بدین معنی است که نخ‌ها بهمان ترتیبی که وارد صف شده‌اند رفع انسداد می‌شود. در دیگر زمان‌بندها، انتخاب ممکن است به صورت تصادفی، یا بر اساس الگوی اولویت بر مبنای اولویت نخ‌های در حال انتظار باشد.

<sup>۸</sup>First-In-First-Out



اگر محیط برنامه‌نویسی شما این امکان را بدهد که برخی نخ‌ها را نسبت به مابقی اولویت دهید، آنگاه برای رسیدگی به مساله فوق، راه آسان استفاده از همین امکان است. و اگر محیط برنامه‌نویسی چنین امکانی را به شما ندهد باید بدنبال راه‌حل دیگری باشید.

معمّاً: راه حلی برای مساله خوانندگان-نویسندگان ارائه دهید که اولویت را به نویسندگان دهد. به این معنی که اگر یک نویسنده رسید، هیچ خواننده‌ای مجاز به ورود نباشد تا آن زمان که تمامی نویسندگان سیستم را ترک گفته باشند.





### ۶.۲.۴ راهنمایی خوانندگان-نویسندگان با اولویت نویسنده

طبق معمول، راهنمایی در قالب متغیرهای مورد استفاده در راه حل آمده است.

مقداردهی اولیه خوانندگان-نویسندگان با اولویت نویسنده

```
1 readSwitch = Lightswitch()  
2 writeSwitch = Lightswitch()  
3 noReaders = Semaphore(1)  
4 noWriters = Semaphore(1)
```





## ۷.۲.۴ راه حل نویسندگان-خوانندگان با اولویت نویسنده

کد خواننده در ادامه آمده است:

راه حل خواننده با اولویت نویسنده

```

1 noReaders.wait()
2   readSwitch.lock(noWriters)
3 noReaders.signal()
4
5   # critical section for readers
6
7 readSwitch.unlock(noWriters)
```

اگر یک خواننده درون ناحیه بحرانی باشد، noWriters را در اختیار می‌گیرد، اما noReaders را خیر. بنابراین اگر یک نویسنده برسد می‌تواند می‌تواند noReaders را قفل نماید که سبب در صف قرار گرفتن خوانندگان بعدی می‌گردد.

زمانیکه آخرین خواننده خارج می‌شود، با سیگنال دهی به noWriters اجازه می‌دهد تا نویسندگانی که در صف قرار گرفته‌اند بکار خود ادامه دهند.

کد نویسنده:

راه حل نویسنده با اولویت نویسنده

```

1 writeSwitch.lock(noReaders)
2   noWriters.wait()
3   # critical section for writers
4   noWriters.signal()
5 writeSwitch.unlock(noReaders)
```

زمانیکه یک نویسنده در ناحیه بحرانی است هر دوی noReaders و noWriters را در اختیار می‌گیرد. نسبتاً واضح است که اثر این، تضمین نمودن این است که هیچ خواننده و نویسنده دیگری در ناحیه بحرانی قرار ندارد. به علاوه، اثر کمتر واضح این است که writeSwitch به چندین نویسنده اجازه می‌دهد تا روی noWriters در صف قرار گیرند، اما تا زمانیکه نویسندگان حضور دارند، noReaders را قفل نگاه می‌دارد. فقط زمانیکه آخرین نویسنده خارج می‌شود، خوانندگان می‌توانند وارد شوند.

البته، یک اشکال این راه‌حل این است که اکنون ممکن است خوانندگان دچار قحطی شوند (یا حداقل با تاخیر طولانی مواجه شوند). برای برخی کاربردها شاید بهتر باشد که داده‌های قدیمی با زمان‌های بازگشت پیش‌بینی پذیر، اخذ گردد.



## ۳.۴ میوتکس بدون قحطی

در بخش قبل، با چیزی که من آن را **قحطی دسته‌ای** نامیدم مواجه شدیم، که در آن یک گروه از نخ‌ها (خوانندگان) سبب قحطی دسته دیگر (نویسندگان) می‌گردد. در سطحی ابتدایی‌تر، باید این موضوع **قحطی نخ** را بررسی نماییم (امکان اینکه یک نخ در حالیکه مابقی نخ‌ها به کار خود ادامه می‌دهند، به صورت نامتناهی منتظر بماند). برای اغلب برنامه‌های کاربردی همروند، قحطی پذیرفتنی نیست، لذا باید ضرورت **انتظار محدود**<sup>۹</sup> را اعمال کنیم، بدین معنی که زمان انتظار نخ بر روی یک سمافور (یا هر جای دیگری به همان منظور) باید ثبوتاً متناهی باشد.

تا حدی، زمان‌بند مسبب قحطی است. هر زمان که چندین نخ آماده اجرا هستند، زمان‌بند تصمیم می‌گیرد که کدام یک، در یک پردازنده موازی، کدام مجموعه از نخ‌ها، اجرا شوند. اگر یک نخ هرگز زمانبندی نشود آنگاه دچار قحطی خواهد شد، بدون توجه به اینکه ما با سمافورها چه می‌کنیم.

لذا به منظور اینکه چیزی درباره قحطی بگوییم، باید با تعدادی پیش‌فرض درباره زمان‌بند شروع نماییم. اگر تمایل به یک فرض قوی درباره زمان‌بند داریم، می‌توانیم تصویر نماییم که زمان‌بند یکی از الگوریتم‌های بسیاری که می‌تواند ثابت شود که انتظار محدود را اعمال می‌کند، استفاده می‌نماید. اگر نمی‌دانیم که زمان‌بند از چه الگوریتمی استفاده می‌نماید، سپس می‌توانیم یک فرض ضعیف‌تر در نظر بگیریم:

خصوصیت ۱: اگر تنها یک نخ آماده اجرا هست، زمان‌بند باید اجازه اجرای آن را بدهد.

اگر بتوانیم خصوصیت ۱ را فرض کنیم، سپس می‌توانیم سیستمی بدون قحطی بسازیم. برای مثال، اگر یک تعداد متناهی از نخ‌ها وجود داشته باشد، سپس هر برنامه‌ای که شامل یک حصار باشد دچار قحطی نمی‌گردد، زیرا که نهایتاً تمامی نخ‌ها بجز یکی پشت حصار منتظر می‌ماند که در این نقطه آخرین نخ باید اجرا شود. اگر چه، به طور کلی نوشتن برنامه‌هایی که دچار قحطی نمی‌شوند بدیهی نیست مگر اینکه فرض قوی‌تری نماییم:

خصوصیت ۲: اگر یک نخ آماده اجرا باشد، آنگاه زمانیکه برای اجرا منتظر می‌ماند باید متناهی باشد.

تا اینجا بحث، به طور ضمنی خصوصیت ۲ را فرض نموده‌ایم و به آن ادامه خواهیم داد. از طرف دیگر باید بدانید که بسیاری از سیستم‌های موجود از زمان‌بندهایی استفاده می‌نمایند که این خصوصیت را موکداً تضمین نمی‌نمایند.

حتی با خصوصیت ۲، زمانیکه سمافورها را معرفی می‌کنیم، قحطی چهره نازیبا را دومرتبه نشان می‌دهد. در تعریف یک سمافور، گفتیم زمانیکه یک نخ signal را اجرا می‌نماید، یکی از نخ‌های در حال انتظار را بیدار

<sup>۹</sup>bounded waiting

می‌نماید. اما هیچگاه نگفتم کدام را. قبل از اینکه چیزی درباره قحطی بگوییم باید پیش‌فرض‌هایی درباره رفتار سمافورها در نظر بگیریم.

ضعیف‌ترین فرضی که به منظور اجتناب از قحطی ممکن است به شرح زیر است:

خصوصیت ۳: اگر زمانیکه یک نخ، signal را اجرا می‌نماید، نخ‌هایی در حال انتظار روی سمافور وجود داشته باشد، آنگاه یکی از نخ‌های در حال انتظار باید بیدار شود.

این التزام ممکن است واضح به نظر آید، اما بدیهی نیست. این فرض جلوی یکی از گونه‌های مشکل‌ساز را خواهد گرفت که در آن یک نخ که به یک سمافور سیگنال می‌دهد در حالیکه نخ‌های دیگری در حال انتظار هستند، سپس به اجرای خود ادامه داده و روی همان سمافور منتظر شده و سیگنال خودش را می‌گیرد. اگر این نکته ممکن باشد، آنگاه هیچ کاری برای جلوگیری از قحطی نمی‌توانیم انجام دهیم. با خصوصیت ۳، اجتناب از قحطی امکان‌پذیر می‌گردد، اما حتی برای چیزی به سادگی میوتکس، این امر ساده نیست. برای مثال، سه نخ که در حال اجرای کد زیر هستند را تصویر نمایید:

حلقه میوتکس

```
1 while True:
2     mutex.wait()
3     # critical section
4     mutex.signal()
```

این دستور while یک حلقه بی‌پایان است؛ به عبارت دیگر، به محض اینکه یک نخ، ناحیه بحرانی را ترک می‌نماید به بالای حلقه بر می‌گردد و تلاش می‌کند که میوتکس را دوباره بگیرد. تصور کنید نخ A میوتکس را گرفته و B و C منتظر هستند. زمانی که A خارج می‌شود B وارد می‌گردد اما پیش از اینکه B خارج شود، A دور زده و در صف به C ملحق می‌شود. زمانیکه B خارج می‌شود، هیچ تضمینی وجود ندارد که پس از آن C وارد شود. در واقع، اگر پس از آن A وارد شود و B به صف ملحق شود، آنگاه ما به نقطه شروع بازگشته‌ایم و می‌توانیم این چرخه را تا ابد تکرار کنیم. C قحطی زده می‌شود. وجود این الگو ثابت می‌نماید که میوتکس نسبت به قحطی آسیب‌پذیر است. یک راه‌حل برای این مساله این است که پیاده‌سازی سمافور را به گونه‌ای تغییر دهیم که خصوصیت قوی‌تری را تضمین نماید.

خصوصیت ۴: اگر یک نخ منتظر یک سمافور باشد، آنگاه تعداد نخ‌هایی که قبل از آن بیدار خواهند شد محدود است.

برای مثال، اگر صف تشکیل شده روی سمافور، از نوع FIFO باشد، آنگاه خصوصیت ۴ برقرار است زیرا که زمانیکه یک نخ به صف ملحق می‌شود تعداد نخ‌های جلوی آن، متناهی است و هیچ نخی که پس از آن می‌رسد نمی‌تواند جلوی آن قرار گیرد.



سمافوری که خصوصیت ۴ را دارد گاهی اوقات **سمافور قوی**<sup>۱۰</sup> گفته می‌شود؛ و سمافوری که تنها خصوصیت ۳ را دارد **سمافور ضعیف**<sup>۱۱</sup> گفته می‌شود. نشان داده‌ایم که با سمافورهای ضعیف، راه‌حل میوتکس ساده نسبت به قحطی آسیب‌پذیر هست. در واقع، حدس Dijkstra این بود که حل بدون قحطی مساله میوتکس تنها با کمک سمافورهای ضعیف ممکن نیست.

در ۱۹۷۹ J.M. Morris با حل مساله فوق و در نظر گرفتن اینکه تعداد نخ‌ها متناهی باشد، حدس Dijkstra را رد نمود [۵]. اگر شما به این مساله علاقه‌مند هستید، بخش بعدی راه‌حل او را نشان می‌دهد. در غیر اینصورت، می‌توانید تصور کنید که سمافورها خصوصیت ۴ را دارند و به بخش ۴.۴ بروید.

معملاً: یک راه برای مساله انحصار متقابل با کمک سمافورهای ضعیف بنویسید. راه‌حل شما باید شرط زیر را تضمین نماید: زمانی که یک نخ می‌رسد و تلاش می‌کند به میوتکس وارد شود، روی تعداد نخ‌هایی که می‌توانند پیش از آن ادامه یابند باید یک حدی وجود داشته باشد. می‌توانید تصور نمایید که تعداد کل نخ‌ها متناهی است.

<sup>10</sup>strong semaphore    <sup>11</sup>weak semaphore



## ۱.۳.۴ راهنمای میوتکس بدون قحطی

راه حل Morris مشابه با حصار قابل استفاده مجدد در بخش ۷.۳ است. این راه حل از دو ترن استایل برای ایجاد دو اتاق انتظار قبل از ناحیه بحرانی استفاده می نماید. این مکانیزم در دو فاز عمل می نماید. در طول فاز اول، ترن استایل اول باز است و دومی بسته، لذا نخ‌ها در اتاق دوم مجتمع می گردند. در طول فاز دوم، ترن استایل اول قفل است و لذا هیچ نخ جدیدی نمی تواند وارد شود و ترن استایل دوم باز است، بنابراین نخ‌های موجود می توانند وارد ناحیه بحرانی شوند.

گرچه ممکن است تعداد دلخواهی از نخ‌ها در اتاق انتظار باشند، اما ورود هر کدام از آن‌ها به ناحیه بحرانی پیش از اینکه نخ‌های بعدی برسند تضمین شده است.

در ادامه متغیرهایی که در راه حل بکار بردم آمده است (در تلاش برای واضح تر ساختن ساختار، نام‌هایی را که Morris بکار برده بود، تغییر دادم).

راهنمایی میوتکس بدون قحطی

```

1 room1 = room2 = 0
2 mutex = Semaphore(1)
3 t1 = Semaphore(1)
4 t2 = Semaphore(0)
```

room1 و room2 تعداد نخ‌هایی که در اتاق‌های انتظار هستند را نگهداری می نماید. mutex از شمارنده‌ها محافظت می نماید. t1 و t2 ترن استایل هستند.



## ۲.۳.۴ راه حل میوتکس بدون قحطی

در ادامه راه حل Morris آمده است.

الگوریتم Morris

```

1 mutex.wait()
2   room1 += 1
3 mutex.signal()
4
5 t1.wait()
6   room2 += 1
7   mutex.wait()
8   room1 -= 1
9
10  if room1 == 0:
11      mutex.signal()
12      t2.signal()
13  else:
14      mutex.signal()
15      t1.signal()
16
17 t2.wait()
18   room2 -= 1
19
20  # critical section
21
22  if room2 == 0:
23      t1.signal()
24  else:
25      t2.signal()

```

پیش از ورود به ناحیه بحرانی، یک نخ باید از دو ترن استایل بگذرد. این ترن استایل ها کد را به سه اتاق تقسیم می نمایند. اتاق ۱ خطوط ۲-۸. اتاق ۲ خطوط ۶-۱۸. اتاق ۳ مابقی کد است. شمارنده های room1 و room2 تعداد نخ های هر اتاق را در خود نگه می دارند.

شمارنده room1 به طور معمول با کمک mutex محافظت می شود اما امر حفاظت از room2 بین t1 و t2 تقسیم شده است. به طور مشابه، مسئولیت دسترسی انحصاری به ناحیه بحرانی مشمول هر دوی t1 و t2 است. یک نخ به منظور ورود به ناحیه بحرانی، باید یکی از این دو و نه هر دو را بگیرد. آنگاه پیش از خروج، هر کدام را که گرفته باشد آزاد می نماید.

برای فهم اینکه این راه حل چگونه عمل می نماید، با دنبال نمودن یک نخ در تمام مسیر شروع می کنیم. زمانیکه به خط ۸، mutex و t1 را گرفته است. زمانیکه room1 را بررسی می نماید، که مقدار آن ۰ است، می تواند mutex را رها کرده و سپس ترن استایل دوم (t2) را باز نماید. در نتیجه، در خط ۱۷ منتظر نمانده و می تواند

بدون خطر مقدار room2 را یک واحد کاهش داده و وارد ناحیه بحرانی شود، زیرا نخ‌های بعدی باید روی  $t1$  به صف شوند. با خروج از ناحیه بحرانی، مقدار room2 را صفر می‌بیند و  $t1$  را رها می‌نماید که ما را به نقطه شروع بر می‌گرداند.

البته، راه‌حل اگر بیش از یک نخ وجود داشته باشد جذاب‌تر است. در این حالت، زمانی که نخ مقدم به خط  $\lambda$  می‌رسد، ممکن است دیگر نخ‌ها وارد اتاق انتظار شده و روی  $t1$  صف تشکیل داده باشند. از آنجایی که room1  $> 0$  نخ مقدم،  $t2$  را قفل شده رها نموده و در عوض به  $t1$  سیگنال می‌دهد تا اجازه ورود به اتاق ۲ را به دیگر نخ‌ها بدهد. از آنجایی که  $t2$  هنوز قفل است، هیچ نخ‌ی نمی‌تواند وارد اتاق ۳ بشود.

نهایتاً (چون تعداد نخ‌ها متناهی است)، یک نخ پیش از اینکه دیگر نخ‌ها به اتاق ۱ وارد شوند به خط  $\lambda$  می‌رسد، که در این حالت  $t2$  را باز نموده و به دیگر نخ‌ها اجازه می‌دهد که به اتاق ۳ وارد شوند. نخ‌ی که  $t2$  را باز می‌کند همچنان  $t1$  را نگاه می‌دارد، بنابراین اگر هر کدام از نخ‌های مقدم دوباره به ابتدای کد باز گردد، در خط  $\lambda$  مسدود می‌گردد.

از آنجایی که هر نخ خروجی از اتاق ۳ به  $t2$  سیگنال می‌دهد، به دیگر نخ‌ها اجازه می‌دهد اتاق ۲ را ترک نمایند. زمانی که آخرین نخ اتاق ۲ را ترک می‌نماید،  $t2$  را قفل شده رها می‌کند و  $t1$  را باز می‌نماید که این ما را به نقطه شروع باز می‌گرداند.

برای اینکه ببینیم این راه‌حل چگونه از قحطی جلوگیری می‌نماید، بهتر است که عملکردش را در دو فاز بررسی نماییم. در فاز اول، نخ‌ها در اتاق ۱ بررسی شده، مقدار room1 را یک واحد افزایش داده، و سپس در یک زمان به اتاق ۲ سرازیر می‌شوند. تنها راه قفل نگاه داشتن  $t2$ ، وجود یک جریان ادامه‌دار از نخ‌های به اتاق ۱ است. از آنجایی که تعداد نخ‌ها متناهی است این جریان نهایتاً پایان می‌پذیرد و در آن نقطه  $t1$  قفل می‌ماند و  $t2$  باز می‌شود.

در فاز دوم، نخ‌ها به اتاق ۳ سرازیر می‌شوند. از آنجایی که تعداد نخ‌های موجود در اتاق ۲ متناهی است و هیچ نخ جدیدی نمی‌تواند وارد شود، در نهایت آخرین نخ خارج می‌گردد و در آن زمان  $t2$  قفل شده و  $t1$  باز می‌شود. در پایان فاز اول، می‌دانیم که هیچ نخ‌ی روی  $t1$  منتظر نیست زیرا که  $room1 = 0$ . و در پایان فاز دوم، می‌دانیم که هیچ نخ‌ی روی  $t2$  منتظر نیست زیرا که  $room2 = 0$ .

با یک تعداد متناهی از نخ‌ها، قحطی تنها در صورتی ممکن است که یک نخ بتواند دور زده و از مابقی سبقت گیرد. اما این مکانیزم ترن‌استایل مضاعف، چنین امری را ناممکن می‌سازد لذا قحطی غیر ممکن است. نکته اینکه با وجود سمافورهای ضعیف جلوگیری از قحطی حتی برای ساده‌ترین مسائل همگام‌سازی بسیار سخت است. در ادامه کتاب، هر زمان که از قحطی صحبت می‌کنیم، سمافورهای قوی را مد نظر خواهیم داشت.

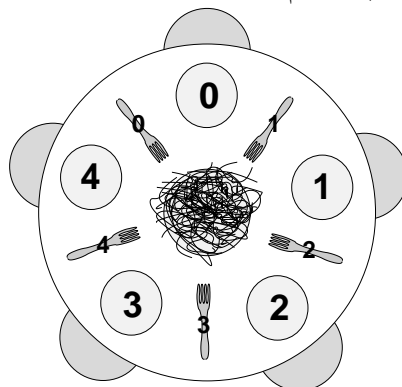
## ۴.۴ غذا خوردن فیلسوف‌ها

مساله غذا خوردن فیلسوف‌ها در سال ۱۹۶۵ توسط دایکسترا مطرح گردید؛ زمانیکه دایناسورها بر زمین حکمرانی می‌کردند [۲]. این مساله در انواع گوناگونی مطرح شده لکن ویژگی‌های استاندارد آن یک میز با پنج بشقاب، پنج چنگال (چوب) و یک کاسه بزرگ از اسپاگتی است. پنج فیلسوف که نشانگر نخ‌های در حال تعامل هستند، کنار میز آمده و حلقه زیر را اجرا می‌نمایند:

حلقه پایه فیلسوف

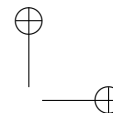
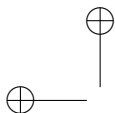
```
1 while True:
2     think()
3     get_forks()
4     eat()
5     put_forks()
```

چنگال‌ها، منابعی را نشان می‌دهند که نخ‌ها باید برای پیشرفت به صورت انحصاری آن‌ها را در اختیار داشته باشند. آن چیزی که مساله را جذاب، غیر واقعی و غیر بهداشتی می‌نماید این است که فیلسوف‌ها برای خوردن نیاز به دو تا چنگال دارند، لذا یک فیلسوف گرسنه باید منتظر همسایه‌اش بماند تا چنگال را زمین بگذارد. تصور کنید که فیلسوف‌ها یک متغیر محلی  $i$  دارند که هر کدام از آن‌ها را با مقداری بین ۰ تا ۴ مشخص می‌کند. به طور مشابه، چنگال‌ها از ۰ تا ۴ شماره‌گذاری شده‌اند، لذا فیلسوف  $i$  چنگال  $i$  را در سمت راست خود دارد و چنگال  $i + 1$  را در سمت چپ. دیاگرام این وضعیت در تصویر آمده است:



با فرض آنکه بدانیم فیلسوف‌ها چگونه `think` و `eat` می‌نمایند، وظیفه ما این است نسخه‌ای از `put_forks` و `get_forks` را بنویسیم که شرایط زیر را برآورده سازد:

- در یک زمان تنها یک فیلسوف بتواند یک چنگال را در اختیار داشته باشد.
- امکان بروز بن‌بست وجود نداشته باشد.



- یک فیلسوف نباید به واسطه انتظار برای به دست آوردن یک چنگال دچار قحطی شود.
  - این امکان وجود داشته باشد که بیش از یک فیلسوف بتوانند به صورت همزمان غذا خورند.
- آخرین نیازمندی، بیان دیگری از این مطلب است که راه‌حل باید کارا باشد؛ به این معنی که باید حداکثر مقدار همروندی را اجازه دهد.
- درباره اینکه eat و think چقدر طول می‌کشد هیچ فرضی در نظر نمی‌گیریم، بجز آنکه eat باید در نهایت خاتمه یابد. در غیر اینصورت، اعمال محدودیت سوم ناممکن است — اگر یک فیلسوف یک از چنگال‌ها را تا ابد نگه دارد، هیچ چیز نمی‌تواند مانع قحطی همسایه‌ها شود.
- برای اینکه ارجاع فیلسوف‌ها به چنگال‌هایشان را ساده نماییم می‌توانیم از توابع left و right استفاده کنیم.

کدام چنگال؟

```
1 def left(i): return i
2 def right(i): return (i + 1) % 5
```

اپراتور % زمانی که مقدار به ۵ برسد آن به ۰ بر می‌گردد؛  $0 = 5 \% 1 + 4$ . از آنجایی که لازم است دسترسی انحصاری به چنگال‌ها را فراهم آوریم، طبیعی است که از لیستی از سمافورها استفاده کنیم، هر کدام برای یک چنگال. در ابتدا تمامی چنگال‌ها موجودند.

متغیرهای غذا خوردن فیلسوف‌ها

```
1 forks = [Semaphore(1) for i in range(5)]
```

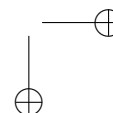
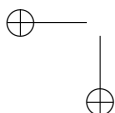
این نماد برای مقداردهی اولیه یک لیست ممکن است برای خوانندگانی که پایتون را به کار نبرده‌اند ناآشنا باشد. تابع range، لیستی با پنج عنصر بر می‌گرداند؛ برای هر عنصر این لیست، پایتون یک سمافور با مقدار اولیه ۱ ساخته و نتیجه را در یک لیست به نام forks گرد می‌آورد.

تلاشی ابتدایی برای put\_fork و get\_fork در ادامه آمده است:

ناراه‌حل غذا خوردن فیلسوف

```
1 def get_forks(i):
2     fork[right(i)].wait()
3     fork[left(i)].wait()
4
5 def put_forks(i):
6     fork[right(i)].signal()
7     fork[left(i)].signal()
```

واضح است که این راه‌حل اولین شرط را برآورده می‌نماید، اما می‌توانیم مطمئن باشیم که دو شرط بعدی برآورده نمی‌شود، زیرا که اگر چنین بود، اصلاً مساله جذابی نبوده و شما می‌توانستید به مطالعه فصل ۵ بپردازید. معنای مشکل کجاست؟







### ۱.۴.۴ بن‌بست #۵

اشکال کار در این است که میز گرد است. در نتیجه، هر فیلسوف می‌تواند یک چنگال را بر گرفته و سپس برای همیشه منتظر چنگال دیگر بماند. بن‌بست!

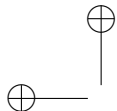
معمّاً: راه حلی برای این مساله ارائه دهید که از بن‌بست جلوگیری نماید.

راهنمایی: یک راه اجتناب از بن‌بست این است که شرایطی که بن‌بست را ممکن می‌سازند را در نظر گرفته و

سپس یکی از آن‌ها را تغییر دهیم. در این مورد، بن‌بست خیلی شکننده است-یک تغییر خیلی کوچک آن را در هم می‌شکند.

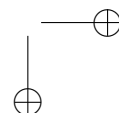
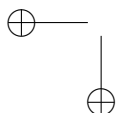






## ۲.۴.۴ راهنمایی غذا خوردن فیلسوف‌ها #۱

اگر تنها چهار فیلسوف در یک زمان مجاز به نشستن سر میز باشند، بن‌بست غیر ممکن می‌گردد. ابتدا، خودتان را متقاعد نمایید که این ادعا درست است، سپس کدی بنویسید که تعداد فیلسوف‌ها را سر میز محدود نماید.





۱۰۰

مسائل همگام سازی کلاسیک

---



## ۳.۴.۴ راه حل غذا خوردن فیلسوف‌ها ۱#

اگر تنها چهار فیلسوف سر میز باشند، آنگاه در بدترین حالت هر کدام یک چنگال را بر می‌دارد. سپس، تنها یک چنگال روی میز باقی مانده و آن چنگال دو همسایه دارد که هر کدام یک چنگال دیگر در دست دارند. بنابراین، هر کدام از همسایه‌ها می‌توانند چنگال باقی‌مانده را برداشته و غذا خورد.

تعداد فیلسوف‌های سر میز را می‌توانیم با مالتی‌پلکسی با نام `footman` که مقدار اولیه ۴ دارد کنترل کنیم. راه‌حل مشابه زیر است:

راه حل غذا خوردن فیلسوف‌ها ۱#

```

1 def get_forks(i):
2     footman.wait()
3     fork[right(i)].wait()
4     fork[left(i)].wait()
5
6 def put_forks(i):
7     fork[right(i)].signal()
8     fork[left(i)].signal()
9     footman.signal()

```

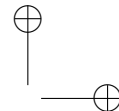
علاوه بر اجتناب از بن‌بست، این راه‌حل تضمین می‌نماید که هیچ فیلسوفی دچار قحطی نشود. تصور کنید که شما سر میز نشسته‌اید و هر دو همسایه شما مشغول غذا خوردن هستند. شما در انتظار برای چنگال سمت راست مسدوده شده‌اید. در نهایتا همسایه سمت راست شما، چنگال را زمین خواهد گذاشت چرا که `eat` نمی‌تواند تا ابد ادامه داشته باشد. از آنجاییکه شما تنها نخ می‌خورید که منتظر آن چنگال هستید، لزوماً پس از آن چنگال به دست خواهید آورد. با استدلالی مشابه، در انتظار برای چنگال سمت چپ‌تان نیز دچار قحطی نخواهید شد.

بنابراین، زمانی که یک فیلسوف می‌تواند سر میز بگذارد محدود است. همچنین این نکته دلالت بر این دارد که زمان انتظار برای ورود به اتاق تا زمانی که `footman` خصوصیت ۴ را دارد، محدود است (بخش ۳.۴ را ببینید).

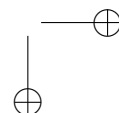
این راه‌حل نشان می‌دهد که با کنترل کردن تعداد فیلسوف‌ها، می‌توانیم از بن‌بست اجتناب نماییم. راه دیگر برای اجتناب از بن‌بست تغییر دادن ترتیبی است که فیلسوف‌ها چنگال‌ها را بر می‌دارند. در نراه‌حل اولیه، فیلسوف‌ها “راست‌دست”<sup>۱۲</sup> هستند؛ به این معنی که ابتدا چنگال سمت راست را بر می‌دارند. اما اگر فیلسوف “چپ‌دست”<sup>۱۳</sup> باشد چه اتفاقی می‌افتد؟

معماً: ثابت کنید که اگر حداقل یکی از فیلسوف‌ها چپ‌دست و حداقل یکی راست‌دست باشد، آنگاه بن‌بست غیر ممکن است.

راهنمایی: بن‌بست تنها زمانی رخ می‌دهد که ۵ فیلسوف یک چنگال را برای در دست دارند و تا ابد منتظر چنگال دیگر می‌مانند. در غیر اینصورت، یکی از آن‌ها می‌تواند هر دو چنگال را برداشته، غذا خورده و خارج شود.



اثبات با برهان خلف است. ابتدا، تصور کنید که بن‌بست ممکن باشد. سپس یکی از فیلسوف‌هایی که در بن‌بست گیر کرده است انتخاب نمایید. اگر آن فیلسوف چپ‌دست باشد، می‌توانید ثابت نمایید که تمامی فیلسوف‌ها چپ‌دست هستند، که این خود یک تناقض است. به طور مشابه، اگر راست‌دست باشد می‌تواند ثابت نمایید که همگی راست‌دست هستند. از هر دو طریق به تناقض می‌رسید؛ بنابراین بن‌بست ناممکن است.





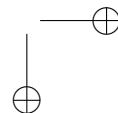
## ۴.۴.۴ راه حل غذا خوردن فیلسوف‌ها #۲

در راه حل متقارن مساله غذا خوردن فیلسوف‌ها، لازم است حداقل یک چپ دست و حداقل یک راست دست سر میز باشند. در این حالت، بن بست غیر ممکن است. راهنمایی قبل طرح کلی اثبات را بیان می‌کند. در ادامه جزئیات آمده است.

دوباره، اگر بن بست ممکن باشد، زمانی رخ می‌دهد که تمامی ۵ فیلسوف یک چنگال را نگاه داشته و منتظر چنگال دیگر بمانند. اگر فرض کنیم فیلسوف  $i$  چپ دست باشد آنگاه او باید چنگال سمت چپ را نگاه داشته و منتظر چنگال سمت راست باشد. بنابراین همسایه سمت راست او (فیلسوف  $k$ ) باید چنگال سمت چپش را نگاه داشته و منتظر همسایه راست خود باشد؛ به عبارت دیگر فیلسوف  $k$  باید چپ دست باشد. با تکرار استدلال مشابه می‌توانیم ثابت کنیم که تمامی فیلسوف‌ها چپ دست هستند که با حکم اولیه که در آن حداقل یک راست دست وجود دارد در تناقض است. لذا بن بست ممکن نیست.

استدلالی مشابه آنچه برای راه حل قبل به کار بردیم ثابت می‌کند که قحطی نیز غیر ممکن است.









## ۵.۴.۴ راه حل تنبام

در راه حل قبل هیچ چیز نادرستی وجود ندارد اما تنها برای تکمیل بحث، بگذارید نگاهی به برخی راه حل‌های جایگزین بیندازیم. یکی از شناخته شده ترین این راه حل‌ها، همانی است که در کتاب معروف سیستم عامل تنبام آمده است [۱۰]. برای هر فیلسوف یک متغیر وضعیت وجود دارد که نشان می‌دهد فیلسوف در کدامیک از حالات تفکر، خوردن و یاد انتظار برای خوردن (گرسنگی) است و یک سمافور که نشان می‌دهد آیا فیلسوف می‌تواند غذا خوردن را آغاز نماید نیز وجود دارد.

متغیرهای راه حل تنبام

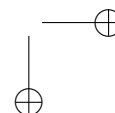
```
1 state = ['thinking'] * 5
2 sem = [Semaphore(0) for i in range(5)]
3 mutex = Semaphore(1)
```

مقدار اولیه state یک لیست ۵ تایی از 'thinking' است. sem یک لیست ۵ تایی از سمافورهای است با مقدار اولیه ۰. و اما کد:

راه حل تنبام

```
1 def get_fork(i):
2     mutex.wait()
3     state[i] = 'hungry'
4     test(i)
5     mutex.signal()
6     sem[i].wait()
7
8 def put_fork(i):
9     mutex.wait()
10    state[i] = 'thinking'
11    test(right(i))
12    test(left(i))
13    mutex.signal()
14
15 def test(i):
16    if state[i] == 'hungry' and
17       state[left(i)] != 'eating' and
18       state[right(i)] != 'eating':
19        state[i] = 'eating'
20        sem[i].signal()
```

تابع test بررسی می‌کند که آیا فیلسوف  $i$  می‌تواند شروع به غذا خوردن نماید، و این در صورتی است که او گرسنه بوده و هیچکدام از همسایه‌هایش در حال غذا خوردن نباشند. اگر چنین باشد، test به سمافور  $i$  سیگنال می‌دهد.



دو راه وجود دارد که یک فیلسوف می‌تواند غذا بخورد. در حالت اول، فیلسوف `get_forks` را اجرا کرده، چنگال‌های موجود را یافته و بلافاصله مشغول خوردن می‌شود. در حالت دوم، یکی از همسایه‌ها در حال غذا خوردن است و فیلسوف روی سمافور خودش مسدود گردیده است. نهایتاً یکی از همسایه‌ها دست از غذا می‌کشد و در این زمان `test` را روی هر دو همسایه خود اجرا می‌نماید. ممکن است که هر دو بررسی موفقیت‌آمیز باشد، و در این حالت همسایه‌ها می‌توانند به صورت هم‌روند مشغول غذا خوردن شوند. ترتیب دو بررسی اهمیتی ندارد. به منظور دسترسی به `state` یا فراخوانی `test`، یک نخ باید `mutex` را بگیرد. بنابراین، عمل بررسی و بروزرسانی آرایه، اتمی است. از آنجایی که یک فیلسوف تنها زمانی می‌تواند مشغول خوردن شود که بدانیم هر دو چنگال موجود است، دسترسی انحصاری به چنگال‌ها تضمین شده است.

هیچ بن‌بستی ممکن نیست، زیرا تنها سمافوری که بیش از یک فیلسوف به آن دسترسی دارد، `mutex` است و هیچ نخ‌ی تا زمانی که `mutex` را در اختیار دارد `wait` را اجرا نمی‌نماید.

اما دومرتبه، قحطی ممکن ولی در اینجا خیلی مستلزم دقت و مهارت است. معماً: یا خودتان را متقاعد نمایید راه حل تنبام از قحطی جلوگیری می‌نماید و یا یک الگوی تکرارشونده بیابید اجازه می‌دهد یک نخ دچار قحطی شود در حالیکه مابقی نخ‌ها به کار خود ادامه می‌دهند.

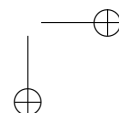


## ۶.۴.۴ قحطی تنبام

متاسفانه، این راه‌حل مصون از قحطی نیست. Gingras نشان داد که الگوهای تکرارشونده‌ای وجود دارد در آن یک نخ برای همیشه منتظر مانده در حالیکه دیگر نخ‌ها می‌آیند و می‌روند [۲].

تصور کنید که می‌خواهیم فیلسوف ° دچار قحطی شود. در ابتدا، ۲ و ۴ سر میز هستند و ۱ و ۳ گرسنه هستند. تصور کنید که ۲ بر می‌خیزد و یک سر میز می‌نشیند؛ سپس ۴ برخواسته و ۳ می‌نشیند. اکنون در وضعیتی قرینه موقعیت شروع هستیم.

اگر ۳ برخیزد و ۴ بنشیند، و سپس برخواسته و ۲ بنشیند، به نقطه شروع بازگشته‌ایم. این حلقه را می‌توانیم تا ابد تکرار نماییم و در این صورت فیلسوف ° دچار قحطی می‌شود. لذا راه‌حل تنبام تمامی ملزومات را بار آورده نمی‌نماید.





## ۵.۴ مساله سیگاری‌ها

مساله سیگاری‌ها در ابتدا توسط Suhas Patil مطرح شد [۷]، و ادعا نمود که این مساله به سمافورها قابل حل نیست. این ادعا با تعدادی شرط همراه است، اما در هر حالت مساله جذاب و چالش برانگیز است. چهار نخ در مساله وجود دارد: یک عامل و سه سیگاری. سیگاری‌ها تا ابد، در حلقهٔ ابتدا انتظار برای مواد مورد نیاز و سپس ساختن و کشیدن سیگار هستند. مواد مورد نیاز شامل تنباکو، کاغذ و کبریت است. فرض می‌کنیم که عامل یک منبع لایزال از این سه ماده لازم دارد و هر سیگاری یک منبع نامتناهی از یکی از این سه ماده لازم را دارد، بدین معنی که یکی از سیگاری‌ها کبریت، دیگری کاغذ و سومی نیز تنباکو دارد. عامل مکرراً دو ماده متفاوت را به صورت تصادفی انتخاب نموده و آن‌ها را به سیگاری‌ها عرضه می‌کند. بسته به اینکه چه موادی انتخاب شده باشد، فرد سیگاری با ماده مکمل خود می‌تواند دو منبع را برداشته و ادامه دهد. برای مثال، اگر عامل تنباکو و کاغذ بر دارد، فرد سیگاری که کبریت دارد می‌تواند هر دو ماده را برداشته و یک سیگار ساخته و سپس به عامل سیگنال دهد.

برای توضیح فرض قبل، عامل نشانگر یک سیستم عامل است که منابع را تخصیص می‌دهد، و سیگاری‌ها نشانگر برنامه‌هایی هستند که به منابع نیاز دارند. مساله این است که اطمینان دهیم اگر منابعی موجود هستند که می‌توانند اجازه ادامه فعالیت برنامه‌های بیشتری را بدهند آن برنامه‌ها باید بیدار شوند. بر عکس، می‌خواهیم از بیدار نمودن برنامه‌هایی که نمی‌توانند به کار خود ادامه دهند اجتناب نماییم. بر طبق این فرض، سه نسخه از این مساله وجود دارد که اغلب در کتاب‌ها مشاهده می‌شود:

**نسخه غیرممکن:** نسخه Patil محدودیت‌هایی روی راه حل تحمیل می‌نماید. اول اینکه، شما اجازه تغییر کد عامل را ندارید. اگر عامل نشانگر یک سیستم عامل باشد، این فرض که شما نمی‌خواهید کد سیستم عامل را هر زمان که یک برنامه جدید می‌آید تغییر دهید بی معنی نیست. محدودیت دوم این است که شما نمی‌توانید از عبارات شرطی یا یک آرایه‌ای از سمافورها استفاده نمایید. با این محدودیت‌ها، مساله قابل حل نیست، اما همانطور که Patil اشاره نموده است محدودیت دوم کاملاً تصنعی است [۶]. با محدودیت‌هایی نظیر این دو، مسائل بسیار غیر قابل حل خواهد شد.

**نسخه جالب:** این نسخه محدودیت اول (عدم امکان تغییر کد عامل) را دارد ولی مابقی را در نظر نمی‌گیرد.

**نسخه بدیهی:** در برخی کتاب‌ها، در خود مساله آمده است که عامل باید بر مبنای مواد موجود به آن فرد سیگاری که می‌تواند ادامه دهد سیگنال ارسال نماید. این نسخه از مساله، جذابیتی ندارد زیرا که تمام فرض اولیه، مواد افزودنی و سیگارها را غیر ضروری می‌نماید. همچنین در عمل، احتمالاً اینکه عامل، اطلاعی از سایر نخ‌ها و آنچه آن‌ها نیاز دارند داشته باشد ایده خوبی نباشد. در نهایت، این نسخه از مساله نیز بسیار ساده است.

طبیعتاً بر روی نسخه جالب تمرکز می‌نمایم. برای تکمیل بیان مساله، باید کد عامل را مشخص نماییم. عامل، سمافورهای زیر را بکار می‌برد:

سمافورهای عامل

```
1 agentSem = Semaphore(1)
2 tobacco = Semaphore(0)
3 paper = Semaphore(0)
4 match = Semaphore(0)
```

عامل در واقع از سه نخ همروند تشکیل شده است: عامل A، عامل B، عامل C. هر کدام از آن‌ها روی agentSem منتظر می‌مانند؛ هر گاه که agentSem سیگنالی دریافت کند، یکی از عامل‌ها بر می‌خیزد و از طریق سیگنال‌دهی به دو سمافور، مواد مورد نیاز را فراهم می‌آورد.

کد عامل A

```
1 agentSem.wait()
2 tobacco.signal()
3 paper.signal()
```

کد عامل B

```
1 agentSem.wait()
2 paper.signal()
3 match.signal()
```

کد عامل C

```
1 agentSem.wait()
2 tobacco.signal()
3 match.signal()
```

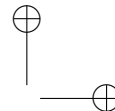
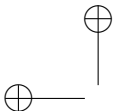
این مساله آنقدرها هم ساده نیست و راه‌حل طبیعی آن کار نمی‌کند. نوشتن کدی مانند زیر، وسوسه‌انگیز است:

سیگاری با کبریت

```
1 tobacco.wait()
2 paper.wait()
3 agentSem.signal()
```

سیگاری با تنباکو

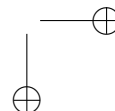
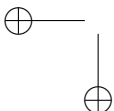
```
1 paper.wait()
2 match.wait()
3 agentSem.signal()
```

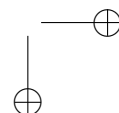


سیگاری با کاغذ

```
1 tobacco.wait()  
2 match.wait()  
3 agentSem.signal()
```

مشکل این راه‌حل کجاست؟









## ۱.۵.۴ بن بست #۶

مشکل راه حل قبل امکان وقوع بن بست است. تصور کنید که عامل تنباکو و کاغذ عرضه می نماید. از آنجایی که فرد سیگاری که در دست خود کبریت دارد منتظر tobacco ممکن است رفع انسداد گردد. اما آن فرد سیگاری که در دست خود تنباکو دارد منتظر paper است، لذا ممکن است او نیز رفع انسداد گردد (احتمال آن نیز زیاد است). سپس اولین نخ روی paper مسدود گردیده و دومی نیز روی match مسدود می گردد و بن بست!







## ۲.۵.۴ راهنمایی مساله سیگاری‌ها

راه حل Parnas، "سه نخ کمکی فروشنده غیر مجاز"<sup>۱۴</sup> را به کار می‌برد که آن‌ها به سیگنال‌هایی که از عامل می‌رسد پاسخ می‌دهند، میزان موجود مواد مورد نیاز را نگه می‌دارند و به سیگاری مناسب سیگنال می‌دهند. متغیرها و سمافورهای اضافی به شرح زیر است:

راهنمایی مساله سیگاری‌ها

```
1 isTobacco = isPaper = isMatch = False
2 tobaccoSem = Semaphore(0)
3 paperSem = Semaphore(0)
4 matchSem = Semaphore(0)
```

متغیرهای بولی نشان می‌دهند که آیا یک ماده مورد نظر وجود دارد یا خیر. فروشنده‌ها tobaccoSem را بکار برده تا به آن فرد سیگاری که تنباکو در دست دارد سیگنال بدهد و به طرقی مشابه به سمافورهای دیگر.

---

<sup>14</sup>pusher





## ۳.۵.۴ راه حل مساله سیگاری

کد یکی از فروشندگان در ادامه آمده است:

فروشنده A

```

1 tobacco.wait()
2 mutex.wait()
3     if isPaper:
4         isPaper = False
5         matchSem.signal()
6     elif isMatch:
7         isMatch = False
8         paperSem.signal()
9     else:
10        isTobacco = True
11 mutex.signal()

```

این فروشنده هر زمان که تنباکو موجود باشد فعال می‌شود. اگر مقدار `isPaper` برابر `true` باشد، می‌داند که فروشنده B نیز در حال حاضر فعال است، لذا می‌تواند به آن فرد سیگاری که در دست خود کبریت دارد سیگنال دهد. به طور مشابه، اگر کبریت موجود باشد می‌تواند به آن فرد سیگاری که در دست خود کاغذ دارد سیگنال دهد.

اگر نسخه‌ی فروشنده A اجرا شود، سپس هر دوی `isMatch` و `isPaper` را `false` می‌بیند و نمی‌تواند به هیچ‌کدام از افراد سیگاری سیگنال دهد لذا مقدار `isTobacco` را `true` می‌نماید. فروشنده‌های دیگر نیز چنین هستند. از آنجایی که تمام کار اصلی را فروشنده‌ها انجام می‌دهند، کد سیگاری بدیهی می‌شود.

فرد سیگاری با تنباکو

```

1 tobaccoSem.wait()
2 makeCigarette()
3 agentSem.signal()
4 smoke()

```

Parnas راه‌حل مشابهی ارائه می‌دهد که متغیرهای بولی را به صورت بیتی در یک متغیر صحیح ذخیره نموده است و سپس عدد صحیح را به عنوان اندیس آرایه‌ای از سمافورها بکار می‌بندد. با این شیوه، راه‌حل او از شرط (یکی از محدودیت‌های تصنعی) اجتناب می‌نماید. کد حاصل کمی خلاصه‌تر است، اما عملکردش آنقدر واضح نیست.

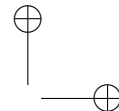


## ۴.۵.۴ تعمیم مساله سیگاری‌ها

Parnas پیشنهاد نمود که اگر عامل را به این صورت دستکاری کنیم که نیازی نباشد که عامل پس از گذاشتن مواد لازم صبر نماید، آنگاه مساله سیگاری‌ها دشوارتر خواهد می‌گردد. در این حالت، باید چند نمونه از یک ماده روی میز موجود باشد.

معمّا: راه‌حل قبل را به گونه‌ای دستکاری کنید که با این تغییر مطابقت داشته باشد.



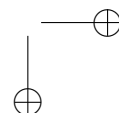


#### ۵.۵.۴ راهنمای تعمیم مساله سیگاری‌ها

اگر عامل، منتظر سیگاری‌ها نماند، ممکن است موارد لازم روی میز انباشته شود. بجای استفاده از مقادیر بولی به منظور ردگیری موارد لازم، به اعداد صحیح برای شمارش آن‌ها نیاز داریم.

راهنمای تعمیم مساله سیگاری‌ها

```
1 numTobacco = numPaper = numMatch = 0
```

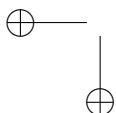




۱۲۰

مسائل همگام سازی کلاسیک

---





## ۶.۵.۴ راه حل تعمیم‌یافته مساله سیگاری‌ها

کد تغییر یافته فروشنده A در ادامه آمده است:

A فروشنده

```

1 tobacco.wait()
2 mutex.wait()
3     if numPaper:
4         numPaper -= 1
5         matchSem.signal()
6     elif numMatch:
7         numMatch -= 1
8         paperSem.signal()
9     else:
10        numTobacco += 1
11 mutex.signal()

```

یک راه تصویرسازی این مساله این است که تصویر نمایید آزمون که عاملی اجرا می‌شود، دو فروشنده ساخته و به هر کدام از آن‌ها یکی از مواد لازم را می‌دهد و آن‌ها را همراه با سایر فروشندگان در یک اتاق قرار می‌دهد. به سبب میوتکس، فروشنده‌ها در اتاقی که سه سیگاری خوابیده و یک میز وجود دارد به ترتیب وارد می‌شوند. هر فروشنده یکی پس از دیگری وارد اتاق شده و مواد روی میز را بررسی می‌نماید. اگر او بتواند یک مجموعه کامل از مواد لازم سیگار را گرد آورد، آن‌ها از روی میز برداشته و سیگاری متناظر را بیدار می‌نماید. و اگر نتواند، مواد همراه خود را روی میز رها کرده و اتاق را بدون اینکه کسی را بیدار کند ترک می‌نماید.

این مثالی از الگویی است که آن را «جدول امتیاز»<sup>۱۵</sup> خوانده و بعداً چندین مرتبه آن را خواهیم دید. متغیرهای numPaper، numTobacco و numMatch وضعیت سیستم را نگاه می‌دارند. از آنجایی که هر نخ از طریق میوتکس به ترتیب وارد می‌شود، مثل اینکه به جدول امتیاز نگاه کرده باشد وضعیت را بررسی نموده و مطابق آن عکس العمل نشان می‌دهد.

<sup>15</sup>scoreboard





## فصل ۵

# مسائل همگام‌سازی کمتر-کلاسیک

### ۱.۵ مساله غذا خوردن وحشی‌ها

این مساله از برنامه‌نویسی همروند Andrews اقتباس شده است [۱].

قبیله‌ای از وحشی‌ها، از یک دیگ بزرگ که می‌تواند  $M$  پرس از مُبلَغ پخته شده را در خود نگاه دارد به صورت مشترک شام می‌خورند. زمانیکه یک وحشی می‌خواهد غذا بخورد، از درون دیگ از خود پذیرایی می‌کند مگر اینکه دیگ خالی باشد. اگر دیگ خالی بود، وحشی آشپز را بیدار نموده و سپس منتظر او می‌ماند تا دومرتبه دیگ را پر نماید.

هر تعداد نخ وحشی می‌تواند کد زیر را اجرا نماید:

کد ناهمگام یک وحشی

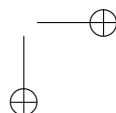
```
1 while True:
2     getServingFromPot()
3     eat()
```

و نخ یک آشپز کد زیر را اجرا می‌نماید:

کد ناهمگام آشپز

```
1 while True:
2     putServingsInPot(M)
```

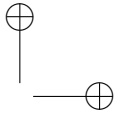
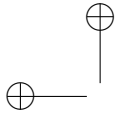
محدودیت‌های همگام‌سازی عبارتند از:





- اگر دیگ خالی باشد وحشی‌ها نمی‌توانند `getServingFromPot` را فراخوانند.
  - آشپز تنها در صورتی می‌تواند `putServingsInPot` را فراخواند که دیگ خالی باشد.
- معمّا: کدی برای وحشی‌ها و آشپز اضافه نمایید که محدودیت‌های همگام‌سازی را برآورده نماید.





## ۱.۱.۵ راهنمایی غذاخوردن وحشی‌ها

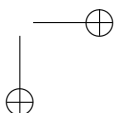
همانند مساله تولیدکننده-مصرف‌کننده در اینجا نیز وسوسه می‌شویم که برای نگهداری تعداد پرس‌ها از سمافور استفاده نماییم. اما به منظور سیگنال‌دهی به آشپز، آن زمانی که دیگ خالی است، یک پیش از اینکه مقدار سمافور را کاهش دهد باید بداند که آیا باید منتظر بماند؟ و ما نمی‌توانیم چنین کاری کنیم.

یک جایگزین این است که جدول امتیاز را به منظور نگهداری تعداد پرس‌ها بکار ببریم. اگر یک وحشی شمارنده را صفر بیابد، آشپز را بیدار نموده و منتظر دریافت سیگنال پرشدن دیگ می‌شود. متغیرهایی را که به کار برده‌ایم در ادامه مشاهده می‌نمایید:

Dining Savages hint

```
1 \begin{lstlisting}[title=\rl      }      {}{}
2 servings = 0
3 mutex = Semaphore(1)
4 emptyPot = Semaphore(0)
5 fullPot = Semaphore(0)
```

جای تعجب نیست که emptyPot نشانگر خالی بودن دیگ است و fullPot بیانگر پر بودن دیگ است.





## ۲.۱.۵ راه حل غذاخوردن وحشی‌ها

راه‌حل در اینجا ترکیبی از الگوی جدول امتیاز با یک قرار ملاقات است. کد آشپز در ادامه آمده است.

راه حل غذاخوردن وحشی‌ها (آشپز)

```
1 while True:
2     emptyPot.wait()
3     putServingsInPot(M)
4     fullPot.signal()
```

کد وحشی‌ها تنها کمی پیچیده‌تر است. از آنجایی که هر وحشی از میوتکس می‌گذرد، دیگ را بررسی می‌نماید. اگر دیگ خالی باشد، به آشپز سیگنال داده و منتظر می‌ماند و الا servings را کاهش داده و پرسی را از دیگ بر می‌دارد.

راه حل غذاخوردن وحشی‌ها (وحشی)

```
1 while True:
2     mutex.wait()
3     if servings == 0:
4         emptyPot.signal()
5         fullPot.wait()
6         servings = M
7         servings -= 1
8         getServingsFromPot()
9     mutex.signal()
10
11     eat()
```

اینکه وحشی بجای آشپز دستور  $M = \text{servings}$  را اجرا می‌کند شاید کمی عجیب بنظر آید. واقعاً ضرورتی به اینکار نبود، زمانی که آشپز `putServingsInPot` را اجرا می‌نماید، می‌دانیم آن وحشی که میوتکس را در اختیار دارد روی `fullPot` منتظر می‌ماند. لذا آشپز به `servings` دسترسی آسانی دارد. اما در این حالت، تصمیم گرفتم که وحشی این کار را انجام دهد چنانکه با نگاه به کد نیز واضح است که تمامی دسترسی‌های به `servings` درون میوتکس انجام می‌پذیرد.

این راه حل، بدون بن‌بست است. تنها امکان بن‌بست زمانی رخ می‌دهد که آن وحشی‌ای که `mutex` را نگاه داشته منتظر `fullPot` می‌ماند. زمانی که او منتظر است، سایر وحشی‌ها روی `mutex` در صف انتظار قرار می‌گیرند. اما نهایتاً آشپز اجرا شده و به `fullPot` سیگنال می‌دهد، و این منجر به این می‌شود که وحشی منتظر ادامه یافته و میوتکس را آزاد نماید.

آیا این راه‌حل فرض نموده است است دیگ نخ-ایمن<sup>۱</sup> است و یا تضمین می‌نماید که `putServingsInPot` و `getServingsFromPot` به صورت انحصاری انجام شوند.

<sup>۱</sup> در برنامه‌نویسی چند نخ، کدی را نخ-ایمن گوئیم که تضمین نماید ساختمان داده‌های اشتراکی بدون دخالت‌های ناخواسته دیگر نخ‌ها، بروزرسانی شود.





## ۲.۵ مساله آرایشگاه

مساله اصلی آرایشگر بوسیله Dijkstra پیشنهاد شد. یک گونه دیگر آن در کتاب اصول سیستم‌های عامل Silberschatz و Galvin آمده است.

یک آرایشگاه شامل یک صف انتظار با  $n$  صندلی و اتاق آرایشگر با صندلی آرایشگر است. اگر هیچ مشتری وجود نداشته باشد آرایشگر می‌خوابد. اگر یک مشتری وارد آرایشگاه شود و تمامی صندلی‌ها اشغال شده باشد، آنگاه مشتری مغازه را ترک می‌نماید. اگر آرایشگر مشغول باشد، اما صندلی موجود باشد، مشتری روی یکی از صندلی‌های خالی می‌نشیند. اگر آرایشگر خواب باشد، مشتری او را بیدار می‌نماید. برنامه‌ای بنویسید که آرایشگر و مشتری‌ها را هماهنگ نماید.

برای اینکه مساله را کمی واقعی‌تر نماییم، اطلاعات زیر را به آن می‌افزاییم:

- نخ‌های مشتری باید تابعی به نام `getHairCut` را فراخواند.
- اگر زمانیکه آرایشگاه پر است یک نخ مشتری برسد، می‌تواند `balk` را که هیچ مقداری بر نمی‌گرداند، فراخواند.
- نخ آرایشگر باید `cutHair` را فراخواند.
- زمانیکه آرایشگر `cutHair` را فرا می‌خواند، باید دقیقاً تنها یک نخ باشد که به طور همزمان `getHairCut` را فرا می‌خواند.

راه حلی ارائه دهید که شرایط فوق را تضمین نماید.



۱۳۰

مسائل همگام سازی کمتر-کلاسیک

---



## ۱.۲.۵ راهنمایی آرایشگاه

راهنمایی آرایشگاه

```
1 n = 4
2 customers = 0
3 mutex = Semaphore(1)
4 customer = Semaphore(0)
5 barber = Semaphore(0)
6 customerDone = Semaphore(0)
7 barberDone = Semaphore(0)
```

n تعداد کل مشتری‌هایی است که می‌توانند در آرایشگاه باشند: سه نفر در اتاق انتظار و یک نفر روی صندلی آرایش.

customers تعداد مشتری‌های درون آرایشگاه را می‌شمارد و بوسیله mutex حفاظت می‌شود.

آرایشگر روی customer منتظر می‌ماند تا یک مشتری وارد شده و سپس مشتری روی barber می‌ماند تا

زمانیکه آرایشگر به او سیگنال نشتن روی صندلی آرایش را بدهد.

پس از آرایش مو، مشتری به customerDone سیگنال می‌دهد و روی barberDone منتظر می‌ماند.



## ۲.۲.۵ راه حل آرایشگاه

این راه حل یک جدول امتیاز و دو قرار ملاقات را ترکیب می نماید. کد مشتری ها در ادامه آمده است.

راه حل آرایشگاه (مشتری)

```

1 mutex.wait()
2     if customers == n:
3         mutex.signal()
4         balk()
5         customers += 1
6 mutex.signal()
7
8 customer.signal()
9 barber.wait()
10
11 # getHairCut()
12
13 customerDone.signal()
14 barberDone.wait()
15
16 mutex.wait()
17     customers -= 1
18 mutex.signal()

```

اگر  $n$  مشتری در آرایشگاه وجود داشته باشد، هر مشتری که می رسد بلافاصله balk را فرا می خواند و آلا هر مشتری به customer سیگال داده و روی barber منتظر می ماند.

کد آرایشگر در ادامه آمده است.

راه حل آرایشگاه (آرایشگر)

```

1 customer.wait()
2 barber.signal()
3
4 # cutHair()
5
6 customerDone.wait()
7 barberDone.signal()

```

هر زمان که یک مشتری سیگنال می دهد، آرایشگر بیدار شده، به barber سیگنال می دهد، و مشغول آرایش یک نفر می شود. اگر آن زمانیکه آرایشگر مشغول است مشتری دیگری برسد، آنگاه در تکرار بعدی آرایشگر بدون اینکه بخواهد از سمافور customer می گذرد.

اسامی customer و barber بر مبنای قرارداد نامگذاری یک قرار ملاقات هستند، لذا customer.wait() به معنای "انتظار برای یک مشتری" است و نه اینکه "مشتری های در اینجا منتظرند".



قرار ملاقات دوم با استفاده از `customerDone` و `barberDone`، تضمین می‌نماید کار آرایش فعلی تمام شده باشد پیش از اینکه آرایشگر به ابتدای حلقه برگردد و به مشتری بعدی اجازه ورود به ناحیه بحرانی دهد. این راه‌حل در `sync_code/barber.py` آمده است (ر.ک. ۲.۳).

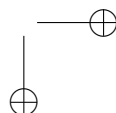




## ۳.۵ آرایشگاه FIFO

در راه حل قبل تضمینی وجود ندارد که مشتریان به همان ترتیبی که می‌رسند سرویس دریافت کنند. تا سقف  $n$  مشتری می‌توانند از ترن استایل گذر کنند، به `customer` سیگنال داده، و روی `barber` منتظر بمانند. زمانیکه آرایشگر به `barber` سیگنال دهد، هر یک از مشتریان ممکن است ادامه دهد. این راه حل را به گونه‌ای تغییر دهید که مشتریان به همان ترتیبی که از ترن استایل عبور می‌کنند سرویس دریافت نمایند.

راهنمایی: می‌توانید به نخ جاری به صورت `self` ارجاع دهید، لذا وقتی می‌نویسد `self.sem = Semaphore(0)`، هر نخ سمافور خودش را می‌گیرد.







## ۱.۳.۵ راهنمایی آرایشگاه FIFO

من از لیستی از سمافورها به نام queue در راه حل خود استفاده می کنم.

راهنمایی آرایشگاه FIFO

```
1 n = 4
2 customers = 0
3 mutex = Semaphore(1)
4 customer = Semaphore(0)
5 customerDone = Semaphore(0)
6 barberDone = Semaphore(0)
7 queue = []
```

زمانی که هر یک از نخ ها از ترن استایل عبور می کند، یک نخ ساخته و آن را در صف قرار می دهد.  
به جای انتظار روی barber، هر نخ روی سمافور خودش منتظر می ماند. وقتی که آرایشگر بیدار می شود،  
یک نخ را از صف خارج کرده و به آن سیگنال می دهد.



## ۲.۳.۵ راه حل آرایشگاه FIFO

در ادامه کد تغییر یافته مشتریان آمده است:

راه حل آرایشگاه FIFO (مشتری)

```
1 self.sem = Semaphore(0)
2 mutex.wait()
3     if customers == n:
4         mutex.signal()
5         balk()
6         customers += 1
7         queue.append(self.sem)
8 mutex.signal()
9
10 customer.signal()
11 self.sem.wait()
12
13 # getHairCut()
14
15 customerDone.signal()
16 barberDone.wait()
17
18 mutex.wait()
19     customers -= 1
20 mutex.signal()
```

و کد آرایشگر به این صورت است:

راه حل آرایشگاه FIFO (آرایشگر)

```
1 customer.wait()
2 mutex.wait()
3     sem = queue.pop(0)
4     mutex.signal()
5
6     sem.signal()
7
8 # cutHair()
9
10 customerDone.wait()
11 barberDone.signal()
```

توجه نمایید که آرایشگر باید mutex را بگیرد تا به صف دسترسی داشته باشد.

این راه حل در `sync_code/barber2.py` آمده است (ر.ک. ۲.۳).



## ۴.۵ مسأله آرایشگاه هیلزر

ویلیام استالینگز [۹] یک نسخه پیچیده‌تر از مسأله آرایشگاه را ارائه می‌دهد، که آن را مدیون رالف هیلزر در دانشگاه ایالتی کالیفرنیا در چیکو می‌داند.

آرایشگاه ما سه تا صندلی، سه تا آرایشگر و اتاق انتظاری دارد که چهار مشتری می‌توانند روی یک کاناپه قرار گیرند و مابقی بایستند. طبق قوانین آتش‌نشانی تعداد کل مشتری‌های داخل آرایشگاه نباید از ۲۰ تجاوز نماید.

اگر ظرفیت مشتری‌های داخل آرایشگاه تکمیل باشد، مشتری جدید وارد مغازه نخواهد شد. زمانیکه داخل است اگر روی کاناپه جا باشد می‌نشیند در غیر اینصورت می‌ایستد. زمانیکه یک آرایشگر آزاد باشد، آن مشتری که بیشترین زمان را روی کاناپه بوده سرویس دریافت می‌کند و اگر مشتریان ایستاده وجود داشته باشند آن فردی که مدت زمان بیشتری را در آرایشگاه بوده است جای او را روی کاناپه خواهد گرفت. زمانیکه آرایش یک مشتری تمام شد، هر آرایشگر می‌تواند اجرت را دریافت دارد، اما از آنجایی که تنها یک صندوق وجود دارد در هر زمان تنها یک مشتری می‌تواند پرداخت خود را انجام دهد. آرایشگران زمان خود را بین آرایش، دریافت وجه و خوابیدن روی صندلی در انتظار مشتری تقسیم می‌نمایند.

به عبارت دیگر، محدودیت‌های همگام‌سازی زیر اعمال می‌شود:

- مشتریان توابع زیر را به ترتیب فرا می‌خوانند: `enterShop`، `sitOnSofa`، `getHairCut`، `pay`.
  - آرایشگران `cutHair` و `acceptPayment` را فرا می‌خوانند.
  - مشتریان اگر ظرفیت آرایشگاه پر باشد نمی‌توانند `enterShop` را فراخوانند.
  - اگر کاناپه پر باشد، مشتری تازه وارد نمی‌تواند `sitOnSofa` را فراخواند.
  - زمانیکه یک مشتری `getHairCut` را فرا می‌خواند متناظراً یک آرایشگر باید `cutHair` را به صورت همزمان اجرا نماید و بالعکس.
  - فراخوانی `getHairCut` به صورت همزمان حداکثر توسط سه مشتری و اجرای `cutHair` به طور همزمان توسط حداکثر سه آرایشگر ممکن باشد.
  - مشتری باید قبل از اینکه آرایشگر بتواند `acceptPayment` را فراخواند، `pay` را اجرا نماید.
  - آرایشگر قبل از خروج مشتری باید `acceptPayment` را اجرا نماید.
- معملاً: کدی بنویسید که محدودیت‌های همگام‌سازی آرایشگاه هیلزر را اعمال نماید.

## ۱.۴.۵ راهنمایی آرایشگاه هیلزر

متغیرهایی که در راه‌حل بکار رفته در ادامه آمده است:

راهنمایی آرایشگاه هیلزر

```
1 n = 20
2 customers = 0
3 mutex = Semaphore(1)
4 sofa = Semaphore(4)
5 customer1 = Semaphore(0)
6 customer2 = Semaphore(0)
7 barber = Semaphore(0)
8 payment = Semaphore(0)
9 receipt = Semaphore(0)
10 queue1 = []
11 queue2 = []
```

mutex از customers که تعداد مشتری‌های درون آرایشگاه را در خود دارد و از queue1 که لیست سمافورهای نخ‌های منتظر برای نشستن روی کاناپه است حفاظت می‌نماید.

queue2 از mutex که لیست سمافورهای نخ‌های منتظر صندلی است حفاظت می‌کند.

sofa یک مالتی‌پلکس است که حداکثر تعداد مشتری‌های روی کاناپه را اعمال می‌کند.

customer1 پیام می‌دهد که یک مشتری در queue1 وجود دارد و customer2 پیام می‌دهد که یک

مشتری در queue2 وجود دارد.

payment پیام می‌دهد که یک مشتری پرداخت داشته است و receipt پیام می‌دهد که آرایشگر اجرت

را دریافت کرده است.

## ۲.۴.۵ راه حل آرایشگاه هیلزر

این راه حل به طور قابل توجهی از آنچه انتظار داشتیم پیچیده تر است. شاید در ذهن هیلزر راه حل ساده تری وجود داشته است لکن این بهترین چیزی است که می توانستیم ارائه دهیم.

راه حل آرایشگاه هیلزر (مشتری)

```

1 self.sem1 = Semaphore(0)
2 self.sem2 = Semaphore(0)
3
4 mutex.wait()
5     if customers == n:
6         mutex.signal()
7         balk()
8         customers += 1
9         queue1.append(self.sem1)
10 mutex.signal()
11
12 # enterShop()
13 customer1.signal()
14 self.sem1.wait()
15
16 sofa.wait()
17     # sitOnSofa()
18     self.sem1.signal()
19     mutex.wait()
20     queue2.append(self.sem2)
21     mutex.signal()
22     customer2.signal()
23     self.sem2.wait()
24 sofa.signal()
25
26 # sitInBarberChair()
27
28 # pay()
29 payment.signal()
30 receipt.wait()
31
32 mutex.wait()
33     customers -= 1
34 mutex.signal()

```

اولین پاراگراف مشابه راه حل قبلی است. زمانیکه یک مشتری می رسد، شمارنده را بررسی نموده آنگاه یا از ورود امتناع ورزیده و یا خودش را به صف می افزاید. سپس به آرایشگر سیگنال می دهد. زمانیکه مشتری از صف خارج می شود، وارد مالتی پلکس می گردد، روی میل می نشیند و خود را به صف دوم

افزاید.

زمانیکه از آن صف خارج می‌شود، آرایش شده، پرداخت انجام داده و خارج می‌شود.

راه حل آرایشگاه هیلزر (آرایشگر)

```

1 customer1.wait()
2 mutex.wait()
3     sem = queue1.pop(0)
4     sem.signal()
5     sem.wait()
6 mutex.signal()
7 sem.signal()
8
9 customer2.wait()
10 mutex.wait()
11     sem = queue2.pop(0)
12 mutex.signal()
13 sem.signal()
14
15 barber.signal()
16 # cutHair()
17
18 payment.wait()
19 # acceptPayment()
20 receipt.signal()

```

هر آرایشگر منتظر یک مشتری می‌ماند تا وارد شده، به سمافور مشتری سیگنال می‌دهد تا او را از صف خارج نماید، سپس منتظر او می‌ماند تا درخواست نشستن روی کاناپه بدهد. این روند، نیاز FIFO را برآورده می‌کند. آرایشگر منتظر مشتری می‌ماند تا به صف دوم ملحق شود و سپس با سیگنال دادن به او اجازه می‌دهد که یک صندلی را مطالبه کند.

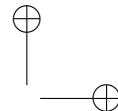
هر آرایشگر تنها به یک مشتری اجازه می‌دهد که روی صندلی بنشیند، لذا حداکثر تا سه آرایش همزمان می‌تواند صورت گیرد. از آنجایی که تنها یک صندوق وجود دارد، مشتری باید mutex را بگیرد. مشتری و آرایشگر نزد صندوق قرار ملاقات گذاشته و سپس هر دو خارج می‌شوند.

این راه حل، محدودیت‌های همگام‌سازی را برآورده می‌نماید، اما نهایت بهره‌برداری را از کاناپه نمی‌کند. از آنجایی که تنها سه آرایشگر وجود دارد، هیچگاه بیش از سه مشتری نمی‌تواند روی کاناپه وجود داشته باشد، لذا ضرورتی به مالتی‌پلکس وجود ندارد.

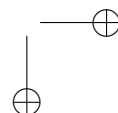
این راه‌حل در `sync_code/barber3.py` آمده است (ر.ک. ۲.۳).

تنها راهی که برای حل مساله به ذهنم می‌رسد این است که یک نوع سومی از نخ ایجاد نمایم که من آن را راهنما می‌نامم. راهنمایان queue1 مدیریت نموده و آرایشگران queue2 را مدیریت می‌نمایند. اگر چهار راهنما و سه آرایشگر وجود داشته باشد کاناپه می‌تواند به طور کامل مورد استفاده قرار گیرد.





این راه حل در `sync_code/barber4.py` آمده است (ر.ک. ۲.۳).





## ۵.۵ مساله بابا نوئل

این مساله از کتاب سیستم‌های عامل ویلیام استالینگز گرفته شده است [۹]، اما او در این مساله نیز خود را مدیون John Trono از کالج Michael در ورمنت می‌داند.

بابا نوئل در مغازه خود در قطب شمال می‌خواهد و فقط در صورتی بیدار می‌شود که یا (۱) تمام نه گوزن از تعطیلات خود اقیانوس آرام جنوبی باز گردند یا (۲) برخی از پری‌ها در ساخت اسباب‌بازی‌ها مشکل داشته باشند؛ به منظور اینکه اجازه دهیم بابا نوئل کمی بخوابد، پری‌ها تنها در صورتی می‌توانند بابا نوئل را بیدار نمایند که سه تا از آن‌ها با مشکل مواجه شوند. زمانیکه سه پری مشکلشان حل شود، هر پری دیگری که آرزوی دیدن بابا نوئل را دارد باید صبر کند تا آن پری‌ها بازگردند. اگر بابا نوئل بیدار شود و سه پری را پشت در مغازه‌اش منتظر بباید و همچنین دریابد که آخرین گوزن شمالی دوباره از مناطق گرمسیری آمده است، بابا نوئل تصمیم می‌گیرد که پری‌ها می‌توانند تا پس از کریسمس منتظر بمانند زیرا که از آن مهمتر، این است که سورتمه خود را آماده کند. (فرض شده است که گوزن شمالی نمی‌تواند مناطق گرمسیری را ترک کند و لذا آن‌ها تا آخرین لحظه ممکن در آنجا می‌مانند.) آخرین گوزن شمالی که می‌رسد باید بابا نوئل را ببرد در حالیکه گوزن‌های دیگر در یک کلبه گرم پیش از اینکه به سورتمه بسته شوند منتظر هستند.

در اینجا تعدادی مشخصه‌های اضافی آمده است:

- پس از اینکه نهمین گوزن رسید، بابا نوئل باید `prepareSleigh` را فراخواند و سپس تمامی گوزن‌ها `getHitched` را فراخواند.
- پس از اینکه سومین پری می‌رسد، بابا نوئل باید `helpElves` را فراخواند. به صورت همزمان، سه پری نیز باید `getHelp` فراخواند.
- هر سه پری پیش از اینکه پری دیگری وارد شود (شمارنده پری‌ها را افزایش دهد) باید `getHelp` را فراخواند.

بابا نوئل باید در یک حلقه اجرا شود لذا او می‌تواند به مجموعه بسیاری از پری‌ها کمک کند. می‌توانیم تصور نماییم که دقیقاً ۹ گوزن شمالی وجود دارد، اما هر تعداد از پری ممکن است.





## ۱.۵.۵ راهنمایی مساله بابا نوئل

راهنمایی مساله بابا نوئل

```
1 elves = 0
2 reindeer = 0
3 santaSem = Semaphore(0)
4 reindeerSem = Semaphore(0)
5 elfTex = Semaphore(1)
6 mutex = Semaphore(1)
```

elves و reindeer شمارنده‌هایی هستند که بوسیله mutex محافظت می‌شوند. پری‌ها و گوزن‌ها از

mutex برای تغییر شمارنده‌ها استفاده می‌کنند؛ بابا نوئل نیز آن را می‌گیرد تا متغیرها را بررسی نماید.

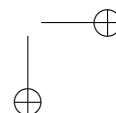
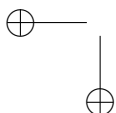
بابا نوئل روی santaSem منتظر می‌ماند تا یا یک پری یا یک گوزن به او سیگنال دهد.

گوزن‌ها روی reindeerSem منتظر می‌مانند تا بابا نوئل به آن‌ها سیگنال دهد که به چراگاه وارد شده و به

سورتمه بسته شوند.

پری‌ها elfTex را بکار می‌برند تا از ورود پری اضافی، آن زمانی که سه پری در حال گرفتن کمک هستند

جلوگیری نمایند.

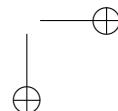
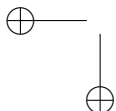




۱۵۰

مسائل همگام سازی کمتر-کلاسیک

---



## ۲.۵.۵ راه حل مساله بابا نوئل

کد بابا نوئل بسیار آسان است. به یاد داشته باشید که کد او همیشه در حلقه اجرا می‌شود.

راه حل مساله بابا نوئل (بابا نوئل)

```

1 santaSem.wait()
2 mutex.wait()
3     if reindeer >= 9:
4         prepareSleigh()
5         reindeerSem.signal(9)
6         reindeer -= 9
7     else if elves == 3:
8         helpElves()
9 mutex.signal()

```

زمانیکه بابا نوئل بیدار می‌شود، بررسی می‌نماید کدامیک از دو شرط برقرار است و متناسب با آن با گوزن‌ها و یا با پری‌های منتظر تعامل می‌نماید. اگر ۹ گوزن در حال انتظار باشند، بابا نوئل `prepareSleigh` را فراخوانده و سپس نه بار به `reindeerSem` سیگنال می‌دهد تا به گوزن‌ها اجازه دهد که `getHitched` را فراخوانند. اگر پری‌های در حال انتظاری وجود داشته باشد، بابا نوئل فقط `helpElves` را فرا می‌خواند. هیچ نیازی به این نیست که پری‌ها منتظر بابا نوئل شوند؛ زمانیکه آن‌ها به `santaSem` سیگنال می‌دهند می‌توانند بلافاصله `getHelp` را فراخوانند.

بابا نوئل نباید شمارنده `elves` را کاهش دهد زیرا که پری‌ها در راه خروج‌شان اینکار را انجام می‌دهند. کد گوزن‌ها در ادامه آمده است:

راه حل مساله بابا نوئل (گوزن‌ها)

```

1 mutex.wait()
2     reindeer += 1
3     if reindeer == 9:
4         santaSem.signal()
5 mutex.signal()
6
7 reindeerSem.wait()
8 getHitched()

```

گوزن نهم به بابا نوئل سیگنال می‌دهد و به گوزن‌های دیگر که روی `reindeerSem` منتظر هستند ملحق می‌گردد. زمانیکه بابا نوئل سیگنال می‌دهد تمامی گوزن‌ها `getHitched` را اجرا می‌نمایند. کد پری‌ها نیز مشابه است، بجز اینکه زمانیکه سومین پری می‌رسد باید ورود پری بعدی را مانع شود تا آن هنگامی که سه تای اول `getHelp` را اجرا نمایند.

راه حل مساله بابا نونل (پری‌ها)

```
1 elfTex.wait()
2 mutex.wait()
3     elves += 1
4     if elves == 3:
5         santaSem.signal()
6     else
7         elfTex.signal()
8 mutex.signal()
9
10 getHelp()
11
12 mutex.wait()
13     elves -= 1
14     if elves == 0:
15         elfTex.signal()
16 mutex.signal()
```

اولین دو پری در همان زمانی که mutex را آزاد می‌نمایند elfTex را نیز آزاد می‌نمایند، اما آخرین پری elfTex را نگاه می‌دارد که مانع از ورود پری‌های دیگر می‌گردد تا زمانی که تمامی سه پری getHelp را فراخوانند. آخرین پری که خارج می‌شود elfTex را آزاد می‌نماید و این به دسته بعدی پری‌ها اجازه ورود می‌دهد.



۶.۵ ساخت  $H_2O$ 

این مساله برای حداقل یک دهه جزء اصلی کلاس سیستم عامل در U.C. Berkeley بود. بنظر می‌رسد که بر مبنای تمرینی در کتاب «برنامه‌نویسی همروند» اندرو می‌باشد [۱].

دو نوع نخ وجود دارد: اکسیژن و هیدروژن. به منظور ترکیب این نخ‌ها به مولکول‌های آب، باید حصار بسازیم که هر نخ تا زمانیکه یک مولکول کامل آماده باشد منتظر بماند. هر نخ که از حصار عبور می‌نماید، باید bond فراخواند. شما باید تضمین نمایید که تمامی نخ‌های یک مولکول پیش از نخ‌های مولکول بعدی bond را فراخوانند. به عبارت دیگر:

- اگر زمانیکه یک نخ اکسیژن به حصار می‌رسد هیچ نخ هیدروژنی حاضر نباشد، باید برای دو نخ هیدروژن منتظر بماند.
- اگر زمانیکه یک نخ هیدروژن به حصار می‌رسد هیچ نخ دیگری حاضر نباشد، باید منتظر یک نخ اکسیژن و یک نخ دیگر هیدروژن بماند.

نباید نگران تطابق صریح نخ‌ها باشیم، بدین معنی که نخ‌ها از اینکه با چه نخ‌های دیگری جفت می‌شوند ضرورتاً اطلاعی ندارند. نکته کلیدی تنها این است نخ‌ها به صورت مجموعه‌های کامل از حصار عبور می‌نمایند؛ بنابراین اگر ما دنباله نخ‌هایی که bond را فرا می‌خوانند بررسی کنیم و آن‌ها را به گروه‌های سه‌تایی تقسیم کنیم هر گروه باید شامل یک نخ اکسیژن و دو نخ هیدروژن باشد. معماً: یک کد همگام‌سازی برای مولکول‌های اکسیژن و هیدروژن بنویسید که این شرایط را برآورده نمایند.





۱.۶.۵ راهنمایی H<sub>2</sub>O

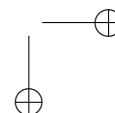
متغیرهایی که در راه حل بکار برده ام را در زیر مشاهده می نمایید:

راهنمایی ساخت آب

```
1 mutex = Semaphore(1)
2 oxygen = 0
3 hydrogen = 0
4 barrier = Barrier(3)
5 oxyQueue = Semaphore(0)
6 hydroQueue = Semaphore(0)
```

oxygen و hydrogen شمارنده هایی هستند که بوسیله mutex حفاظت می شوند. barrier جایی است که هر مجموعه ای از سه نخ پس از فراخوانی bond و پیش از اجازه فعالیت به نخ های بعدی، یکدیگر را ملاقات می کنند.

oxyQueue سمافوری است که نخ های اکسیژن روی آن منتظر می مانند؛ hydroQueue سمافوری است که نخ های هیدروژن روی آن منتظر می مانند؛ از آنجایی که از قرارداد نام گذاری برای صف ها استفاده می نمایم، لذا oxyQueue.wait() بمعنای «به صف اکسیژن محلق شو» است و oxyQueue.signal() بمعنای «یک نخ اکسیژن از صف آزاد نما» می باشد.





۲.۶.۵ راه حل H<sub>2</sub>O

در ابتدا hydroQueue و oxyQueue قفل هستند. زمانیکه یک نخ اکسیژن می‌رسد دو بار به hydroQueue سیگنال می‌دهد تا به دو هیدروژن اجازه ادامه کار دهد. سپس نخ اکسیژن منتظر نخ‌های هیدروژن می‌ماند تا برسند.

## کد اکسیژن

```

1 mutex.wait()
2 oxygen += 1
3 if hydrogen >= 2:
4     hydroQueue.signal(2)
5     hydrogen -= 2
6     oxyQueue.signal()
7     oxygen -= 1
8 else:
9     mutex.signal()
10
11 oxyQueue.wait()
12 bond()
13
14 barrier.wait()
15 mutex.signal()

```

هر نخ اکسیژن که وارد می‌شود، میوتکس را می‌گیرد و جدول امتیاز را بررسی می‌نماید. اگر حداقل دو نخ هیدروژن منتظر وجود داشته باشد، به دو تای آنها و خودش سیگنال می‌دهد و سپس با هم پیوند شیمیایی برقرار می‌نمایند. اگر دو نخ هیدروژن وجود نداشته باشد، میوتکس را آزاد نموده و منتظر می‌ماند. پس از پیوند (خط ۱۲)، نخ‌ها نزد حصار منتظر می‌مانند تا تمامی هر سه نخ با هم تشکیل پیوند دهد و سپس نخ اکسیژن میوتکس را آزاد می‌نماید. از آنجایی که تنها یک نخ اکسیژن در هر مجموعه وجود دارد، تضمین می‌شود که به mutex تنها یک بار سیگنال داده می‌شود.

کد هیدروژن نیز مشابه است:

## کد هیدروژن

```

1 mutex.wait()
2 hydrogen += 1
3 if hydrogen >= 2 and oxygen >= 1:
4     hydroQueue.signal(2)
5     hydrogen -= 2
6     oxyQueue.signal()
7     oxygen -= 1
8 else:
9     mutex.signal()
10

```

```

11 hydroQueue.wait()
12 bond()
13
14 barrier.wait()

```

یک ویژگی غیر معمول این راه‌حل این است که نقطه خروج از میوتکس مبهم است. در برخی حالات، نخ‌ها وارد میوتکس شده، شمارنده را بروزرسانی نموده و از میوتکس خارج می‌شوند. اما زمانی که آن نخ تشکیل دهنده یک مجموعه کامل می‌رسد، باید به منظور ممانعت از نخ‌های دیگر میوتکس را نگه دارد تا زمانی که مجموعه فعلی bond را فراخواند.

پس از فراخوانی bond، سه نخ نزد حصار منتظر می‌مانند. زمانی که حصار باز می‌شود، می‌دانیم که تمامی سه نخ bond را فراخوانده‌اند و یکی از آن‌ها میوتکس را نگه داشته است. نمی‌دانیم که کدام نخ میوتکس را نگه داشته است اما از آنجایی تنها یکی از آن‌ها میوتکس را آزاد می‌نماید دانستش اهمیتی ندارد. با توجه به اینکه می‌دانیم تنها یک نخ اکسپژن وجود دارد، آن را قادر به انجام اینکار می‌سازیم.

ممکن است این راه‌حل نادرست به نظر آید، زیرا که تا کنون عموماً اینگونه درست بود که یک نخ باید قفلی را نگه دارد تا بتواند آن را آزاد نماید. اما هیچ قاعده‌ای نمی‌گوید که این نکته باید درست باشد. اینجا یکی از آن حالت‌هایی است که نگاه به میوتکس به عنوان توکنی که نخ‌ها باید آن گرفته و آزاد نمایند کمی گمراه کننده است.

## ۷.۵ مساله عبور از رودخانه

این مساله از مجموعه مسائل نوشته توسط انتونی ژوزف<sup>۲</sup> در دانشگاه برکلی<sup>۳</sup> است، اما اینکه نویسنده اصلی خود او است یا نه را نمی‌دانم. این مساله از این جنبه که یک گونه خاص از حصار در آن وجود دارد که تنها در ترکیب‌های معینی، به نخ‌ها اجازه عبور می‌دهد مشابه مساله  $H_2O$  است.

یک جایی نزدیک ردموند<sup>۴</sup> ایالت واشنگتن، یک قایق پارویی وجود دارد که بوسیله هر دوی هکرهای لینوکس و کارمندان مایکروسافت برای عبور از یک رودخانه بکار می‌رود. قایق دقیقاً چهار نفر در خود جا می‌دهد و ساحل رودخانه را با تعداد بیشتر یا کمتری ترک نخواهد کرد. به منظور تضمین امنیت مسافران، همشینی یک هکر با سه کارمند مایکروسافت مجاز نمی‌باشد و بالعکس. هر ترکیب دیگری امن است.

هر نخ که سوار قایق می‌شود باید تابع board را صدا زند. تضمین نمایید که تمامی چهار نخ سوار بر قایق، board را پیش از هر نخ دیگری که متعلق به سری بعدی است صدا زند.

پس از اینکه هر چهار نخ board را صدا زدند، دقیقاً یکی از آن‌ها باید تابع rowBoat را فراخواند تا نشان دهد که آن نخ پاروها را خواهد گرفت. اینکه کدام نخ این تابع را صدا می‌زند تا آن زمانیکه یکی اینکار انجام می‌دهد اهمیتی ندارد.

<sup>2</sup>Anthony Joseph <sup>3</sup>U.C. Berkeley <sup>4</sup>Redmond



نگران جهت حرکت سفر نباشید. فرض کنید که تنها رفت آمد از یک جهت مورد توجه ما است.







## ۱.۷.۵ راهنمایی عبور از رودخانه

متغیرهایی که در حل مساله بکار برده‌ام در ادامه آمده است:

راهنمایی عبور از رودخانه

```

1 barrier = Barrier(4)
2 mutex = Semaphore(1)
3 hackers = 0
4 serfs = 0
5 hackerQueue = Semaphore(0)
6 serfQueue = Semaphore(0)
7 local isCaptain = False

```

hackers و serfs تعداد هکرها و کارمندان منتظر سوار شدن را می‌شمرد. از آنجایی که هر دو اینها بوسیله mutex محافظت می‌شوند، می‌توانیم شرایط هر دو متغیر را بدون نگرانی درباره بروزرسانی نابهنگام بررسی نماییم. این یک مثال دیگری از یک جدول امتیاز است.

hackerQueue و serfQueue به ما اجازه می‌دهند که تعداد هکرها و کارمندانی که گذر می‌نمایند را کنترل نماییم. barrier تضمین می‌کند که تمامی چهار نخ، پیش از اینکه کاپیتان rowBoat را فراخواند board را فراخوانند.

isCaptain یک متغیر محلی است که نشان می‌دهد کدام نخ باید rowBoat را فراخواند.



## ۲.۷.۵ راه حل عبور از رودخانه

ایده اصلی این راه حل این است که هر نخ ورودی یکی از شمارنده‌ها را بروزرسانی نموده و سپس بررسی می‌نماید که آیا مجموعه را تکمیل می‌نماید، خواه اینکه چهارمین نخ از هم‌نوعان خودش باشد و یا اینکه یک جفت ترکیبی از جفت‌های ممکن را تکمیل نماید.

کد هکرها را ارائه خواهیم کرد؛ کد کارمندان مایکروسافت هم گزینه آن است (البته بجز اینکه ۱۰۰۰ بار بزرگتر، پر از باگ، و شامل یک مرورگر توکار است).

راه حل عبور از رودخانه

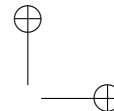
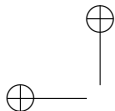
```

1 mutex.wait()
2   hackers += 1
3   if hackers == 4:
4       hackerQueue.signal(4)
5       hackers = 0
6       isCaptain = True
7   elif hackers == 2 and serfs >= 2:
8       hackerQueue.signal(2)
9       serfQueue.signal(2)
10      serfs -= 2
11      hackers = 0
12      isCaptain = True
13   else:
14       mutex.signal()      # captain keeps the mutex
15
16 hackerQueue.wait()
17
18 board()
19 barrier.wait()
20
21 if isCaptain:
22     rowBoat()
23     mutex.signal()      # captain releases the mutex

```

از آنجایی که هر نخ از طریق بخش انحصار متقابل به ترتیب وارد می‌شود، بررسی می‌نماید که یک خدمه کامل آماده سوار شدن قایق هست یا خیر؟ اگر چنین بود، به نخ‌های متناسب سیگنال داده، خودش را به عنوان کاپیتان معرفی نموده، و میوتکس می‌گیرد تا مانع نخ‌های اضافی شود تا آن زمان که قایق رانده شود. تعداد نخ‌هایی که سوار شده‌اند را حصار نگاه می‌دارد. زمانیکه آخرین نخ می‌رسد، تمامی نخ‌ها با هم ادامه می‌یابند. کاپیتان rowBoat را فراخوانده و در نهایت میوتکس را آزاد می‌نماید.





## ۸.۵ مساله ترن هوایی

این مساله از کتاب «برنامه‌نویسی همروند» اندرو<sup>۵</sup> اقتباس شده است، اما او این مساله را متعلق به تز کارشناسی ارشد جی.اس. هرمن<sup>۶</sup> می‌داند.

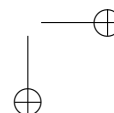
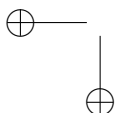
فرض کنید  $n$  نخ رهگذر و یک ماشین وجود دارد. رهگذران پی‌درپی منتظر سوار شدن ماشین هستند؛ ماشینی که گنجایش  $C$  رهگذر را دارد و  $C < n$ . این ماشین زمانی می‌تواند در مسیر حرکت کند که پر باشد.

جزئیات بیشتر در ادامه آمده است:

- رهگذران باید board و unboard فراخوانند.
  - ماشین باید run، load و unload را فراخواند.
  - رهگذران نمی‌توانند سوار شوند مگر اینکه ماشین load را فراخوانده باشد.
  - ماشین نمی‌تواند حرکت کند مگر اینکه  $C$  رهگذر سوار شده باشند.
  - مسافران نمی‌توانند پیاده شوند جز اینکه ماشین unload را فراخوانده باشد.
- معمًا: کدی برای رهگذران و ماشین بنویسید که این محدودیت‌ها را اعمال نماید:

---

<sup>5</sup> Andrews   <sup>6</sup> J. S. Herman





## ۱.۸.۵ راهنمایی ترن هوایی

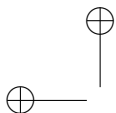
راهنمایی ترن هوایی

```
1 mutex = Semaphore(1)
2 mutex2 = Semaphore(1)
3 boarders = 0
4 unboarders = 0
5 boardQueue = Semaphore(0)
6 unboardQueue = Semaphore(0)
7 allAboard = Semaphore(0)
8 allAshore = Semaphore(0)
```

mutex از passengers محافظت می نماید- تعداد مسافرانی را که boardCar را فراخونده اند می شمارد

رهگذران پیش از سوار شدن روی boardQueue و پیش پیاده شدن روی unboardQueue منتظر می مانند.

allAboard نشان می دهد که ماشین پر است. allAshore نشان می دهد که ماشین خالی شده است.





## ۲.۸.۵ راه حل ترن هوایی

کد نخ ماشین در ادامه آمده است:

راه حل ترن هوایی (ماشین)

```

1 load()
2 boardQueue.signal(C)
3 allAboard.wait()
4
5 run()
6
7 unload()
8 unboardQueue.signal(C)
9 allAshore.wait()
```

زمانیکه ماشین می‌رسد، به  $C$  رهگذر سیگنال می‌دهد، سپس منتظر آخرین رهگذر می‌شود که به allAboard سیگنال می‌دهد. پس از حرکت، به  $C$  اجازه پیاده‌شدن را می‌دهد و سپس منتظر allAshore می‌گردد.

راه حل ترن هوایی (رهگذر)

```

1 boardQueue.wait()
2 board()
3
4 mutex.wait()
5     boarders += 1
6     if boarders == C:
7         allAboard.signal()
8         boarders = 0
9 mutex.signal()
10
11 unboardQueue.wait()
12 unboard()
13
14 mutex2.wait()
15     unboarders += 1
16     if unboarders == C:
17         allAshore.signal()
18         unboarders = 0
19 mutex2.signal()
```

طبیعتاً مسافران پیش از سوارشدن منتظر ماشین می‌شوند و پیش از ترک آن نیز منتظر توقف ماشین می‌مانند. آخرین مسافری که پیاده می‌شود به ماشین سیگنال می‌دهد و شمارنده مسافران را ریست می‌نماید.

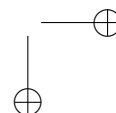




## ۹.۵ مساله ترن هوایی چند ماشینی

راه حل ارائه شده، قابل تعمیم به حالتی که بیش از یک ماشین وجود داشته باشد نیست. به منظور انجام اینکار، باید تعدادی محدودیت اضافی را برآورده نماییم:

- تنها یک ماشین در هر لحظه می تواند مسافرگیری نماید.
  - چندین ماشین به صورت همزمان می توانند روی مسیر باشند.
  - از آنجایی که ماشین ها نمی توانند از یکدیگر سبقت بگیرند، باید به همان ترتیبی که مسافرگیری نموده اند، مسافران پیاده نمایند.
  - تمام نخ های سوار یک ماشین باید پیش از سوار شدن نخ های بعدی از ماشین پیاده شوند.
- معمًا: راه حل قبلی را چنان تغییر دهید که محدودیت های اضافی را نیز اعمال کند. می توانید فرض کنید که  $m$  ماشین وجود دارد و هر کدام یک متغیر محلی به نام  $i$  دارند که محتوی شناسه ای بین  $۰$  و  $m - ۱$  است.





## ۱.۹.۵ راهنمایی ترن هوایی چند ماشینی

دو لیست از سمافورها را به منظور نگهداشتن ترتیب ماشین‌ها بکار برده‌ام. یکی از این لیست‌ها نشانگر ناحیه مسافگیری و لیست دیگر نشانگر ناحیه پیاده‌کردن مسافران است. هر لیست شامل یک سمافور بازای هر ماشین است. در هر لحظه، فقط یک سمافور از هر لیست باز است، لذا به این وسیله می‌توانیم، ترتیب را در سوارکردن یا پیاده‌کردن نخ‌ها اعمال کنیم. در ابتدا، تنها سمافورهای ماشین  $\circ$  باز هستند. هر ماشین که وارد محل سوارکردن (پیاده‌کردن) می‌شود، روی سمافور خودش منتظر می‌ماند؛ و هر زمان که خارج می‌شود به ماشین بعدی در خط سیگنال می‌دهد.

راهنمایی ترن هوایی چند ماشینی

```

1 loadingArea = [Semaphore(0) for i in range(m)]
2 loadingArea[0].signal()
3 unloadingArea = [Semaphore(0) for i in range(m)]
4 unloadingArea[0].signal()

```

تابع `next` شناسه ماشین بعدی در دنباله را محاسبه می‌نماید (بعد از  $m - 1$  به  $\circ$  باز می‌گردد):

پیاده‌سازی `next`

```

1 def next(i):
2     return (i + 1) % m

```





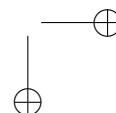
## ۲.۹.۵ راه حل ترن هوایی چند ماشینی

کد تغییر یافته ماشین در ادامه آمده است:

راه حل ترن هوایی چند ماشینی (ماشین)

```
1 loadingArea[i].wait()
2 load()
3 boardQueue.signal(C)
4 allAboard.wait()
5 loadingArea[next(i)].signal()
6
7 run()
8
9 unloadingArea[i].wait()
10 unload()
11 unboardQueue.signal(C)
12 allAshore.wait()
13 unloadingArea[next(i)].signal()
```

کد رهگذران بدون تغییر باقی می ماند.









## فصل ۶

# مسائل نه-چندان-کلاسیک

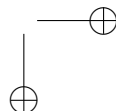
### ۱.۶ مساله جستجو-درج-حذف

این مساله از کتاب «برنامه‌نویسی همروند» اندرو است [۱].

سه نوع نخ به یک لیست پیوندی یکطرفه به صورت مشترک دسترسی دارند: نخ‌های جستجوگر، درج‌کننده و حذف‌کننده. جستجوگرها تنها لیست را بررسی می‌نمایند؛ بنابراین این نوع نخ‌ها می‌توانند به صورت همزمان با یکدیگر عمل کنند. درج‌کننده‌ها عناصر جدید را به انتهای لیست می‌افزایند؛ درج‌ها باید به صورت انحصاری انجام شود تا از درج همزمان عناصر جدید توسط دو درج‌کننده ممانعت بعمل آید. با اینوجود یک درج می‌تواند به موازات هر تعداد جستجو انجام شود. در نهایت حذف‌کننده‌ها، عناصر از هر جایی در لیست حذف می‌کنند. حداکثر یک فرآیند حذف‌کننده در هر زمان می‌تواند به لیست دسترسی داشته باشد، و همچنین حذف باید به صورت انحصاری و بدون حضور جستجوگرها و درج‌کننده‌ها انجام شود.

معملاً: کدی برای جستجوگرها، درج‌کننده‌ها و حذف‌کننده‌ها بنویسید که این نوع از انحصار متقابل دسته‌ای سه‌گانه را اعمال نماید.





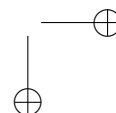


## ۱.۱.۶ راهنمایی جستجو-درج-حذف

راهنمایی جستجو-درج-حذف

```
1 insertMutex = Semaphore(1)
2 noSearcher = Semaphore(1)
3 noInserter = Semaphore(1)
4 searchSwitch = Lightswitch()
5 insertSwitch = Lightswitch()
```

insertMutex تضمین می‌نماید که در یک زمان تنها یک درج کننده در ناحیه بحرانی خودش است. noSearcher و noInserter نشان می‌دهند که هیچ جستجوگر و درج کننده‌ای در نواحی بحرانی خودشان قرار ندارند؛ یک حذف کننده باید هر دوی اینها را نگاه دارد تا بتواند وارد شود. searchSwitch و insertSwitch توسط جستجوگرها و درج کننده‌ها برای بیرون نگاه داشتن حذف کننده استفاده می‌شود.





۱۸۰

مسائل نه-چندان-کلاسیک

---



## ۲.۱.۶ راه حل جستجو-درج-حذف

راه حل در ادامه آمده است:

XXXXXXXXXX (XXXXXXXXXX)

```
1 searchSwitch.wait(noSearcher)
2 # critical section
3 searchSwitch.signal(noSearcher)
```

تنها چیزی که یک جستجوگر باید نگران آن باشد حذف کننده است. اولین جستجوگری که وارد می شود noSearcher را گرفته و آخرینی که خارج می شود آن را آزاد می نماید.

XXXXXXXXXX (XXXXXXXXXX)

```
1 insertSwitch.wait(noInserter)
2 insertMutex.wait()
3 # critical section
4 insertMutex.signal()
5 insertSwitch.signal(noInserter)
```

مشابهاً، اولین درج کننده noInserter گرفته و آخرینی که خارج می شود آن را آزاد می نماید. از آنجایی که جستجوگرها و درج کننده ها برای سمافورهای متفاوتی رقابت می کنند، می توانند به صورت همزمان در ناحیه بحرانی خودشان باشند. اما insertMutex تضمین می نماید که تنها یک درج کننده در یک لحظه در ناحیه بحرانی باشد.

XXXXXXXXXX (XXXXXXXXXX)

```
1 noSearcher.wait()
2 noInserter.wait()
3 # critical section
4 noInserter.signal()
5 noSearcher.signal()
```

از آنجایی که حذف کننده هر دوی noInserter و noSearcher را می گیرد، دسترسی انحصاری تضمین شده است. البته، هر زمانی که بینیم نخي بیش از یک سمافور را گرفته است، باید بن بست بررسی نماییم. با بررسی نمودن چند سناریو، شما باید قادر باشید که خودتان را متقاعد نمایید که این راه حل عاری از بن بست است.

به عبارت دیگر، مانند بسیاری از مسائل انحصار متقابل دسته ای، این مساله نیز مستعد قحطی است. همانطوری که در مساله خوانندگان-نویسندگان دیدیم، گاهی اوقات می توانیم این مشکل را با اختصاص اولویت به یک دسته از نخ ها بر طبق معیارهای خاص برنامه حل کنیم. اما به طور کلی نوشتن یک راه حل کارا (که حداکثر درجه همزمانی را ممکن سازد) و از قحطی جلوگیری نماید سخت است.

## ۲.۶ مساله سرویس بهداشتی عمومی

این مساله را زمانی که یکی از دوستانم موقعیت خود را در تدریس فیزیک در کالج کالی<sup>۱</sup> رها نمود و در زیراکس<sup>۲</sup> مشغول به کار شد نوشتم.<sup>۳</sup>

او در یک اتاقک در زیرزمین یک ساختمان کار می‌کرد و نزدیک‌ترین توالت زنانه دو طبقه بالاتر بود. او به رئیس خود پیشنهاد داد که توالت مردانه طبقه خودشان مختص به جنس خاصی نباشد. رئیس موافقت نمود در صورتیکه محدودیت همگام‌سازی زیر بتواند فراهم آید:

- مردها و زن‌ها به طور همزمان نمی‌توانند با هم در دستشویی باشند.

- هرگز نباید بیش از سه کارمند ساعت کاری خود را در دستشویی تلف کنند.

البته راه حل باید از بن‌بست جلوگیری نماید. گرچه فعلاً نگران قحطی نباشید. می‌توانید فرض کنید که با سرویس بهداشتی تمام سمافورهای مورد نیاز شما فراهم آمده است.

<sup>۳</sup> بعداً دریافتم که مساله‌ای تقریباً یکسان با این مساله در کتاب «برنامه‌نویسی همروند» اندرو وجود دارد [۱].

<sup>۱</sup>Colby College    <sup>۲</sup>Xerox



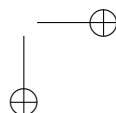
## ۱.۲.۶ راهنمایی سرویس بهداشتی عمومی

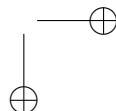
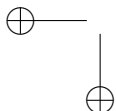
متغیرهایی که در راه حل بکار برده ام در ادامه آمده است:

راهنمایی سرویس بهداشتی عمومی

```
1 empty = Semaphore(1)
2 maleSwitch = Lightswitch()
3 femaleSwitch = Lightswitch()
4 maleMultiplex = Semaphore(3)
5 femaleMultiplex = Semaphore(3)
```

اگر اتاق خالی باشد مقدار empty برابر ۰ است در غیر اینصورت ۱. maleSwitch این امکان را به مردان می دهد که مانع ورود زن ها به اتاق شوند. زمانیکه اولین مرد وارد می شود، لایت سوئیچ، empty را قفل نموده تا مانع ورود بانوان گردد؛ زمانیکه آخرین مرد خارج می شود، empty را باز نموده تا ورود بانوان را ممکن سازد. بانوان نیز عملی مشابه با استفاده از femaleSwitch انجام می دهند. maleMultiplex و femaleMultiplex تضمین می نمایند که بیش از سه زن یا سه مرد در یک لحظه در سیستم نباشند.









## ۲.۲.۶ راه حل سرویس بهداشتی عمومی

کد بانوان در ادامه آمده است:

راه حل سرویس بهداشتی عمومی (بانوان)

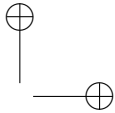
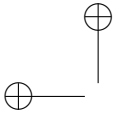
```
1 femaleSwitch.lock(empty)
2   femaleMultiplex.wait()
3     # bathroom code here
4   femaleMultiplex.signal()
5 female Switch.unlock(empty)
```

کد آقایان نیز مشابه است.

آیا با این راه حل مشکلی دارد؟

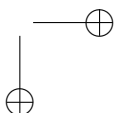
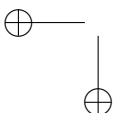






### ۳.۲.۶ مساله سرویس بهداشتی عمومی بدون قحطی

مشکل راه حل قبلی این است که قحطی را ممکن می سازد. در حالیکه یک مرد منتظر ورود است ممکن است یک صف طولانی از بانوان و وارد شوند و بالعکس.  
معمًا: مشکل را حل کنید:





### ۴.۲.۶ راه حل سرویس بهداشتی عمومی بدون قحطی

همانطوری که پیش از این دیدیم، می‌توانیم از ترن‌استایل استفاده کنیم تا یک نوع نخ مانع جریان دیگر انواع نخ گردد. این مرتبه به کد آقایان نگاه خواهیم انداخت:

راه حل سرویس بهداشتی عمومی بدون قحطی (آقایان)

```

1 turnstile.wait()
2   maleSwitch.lock(empty)
3 turnstile.signal()
4
5   maleMultiplex.wait()
6   # bathroom code here
7   maleMultiplex.signal()
8
9 maleSwitch.unlock (empty)
```

تا زمانیکه مردانی در اتاق وجود دارند، مردان تازه از راه رسیده از ترن‌استایل عبور خواهند نمود و وارد می‌شوند. آن زمانیکه یک مرد می‌رسد اگر یک تعدادی خانم داخل اتاق باشند، مرد مورد نظر درون ترن‌استایل مسدود شده و از ورود تمامی کسانی که پس از او می‌رسند (اعم از زن یا مرد) جلوگیری خواهد شد تا زمانیکه افراد داخل اتاق آنجا را ترک نمایند. در این نقطه، مردی که درون ترن‌استایل هست وارد شده و ورود سایر مردان را نیز ممکن می‌سازد.

کد بانوان نیز مشابه است، لذا اگر مردانی درون اتاق باشند و یک خانم برسد، آن خانم درون ترن‌استایل گیر خواهد افتاد و مانع ورود مردان دیگر می‌شود.

این راه‌حل ممکن است کارا نباشد. اگر سیستم مشغول باشد، اغلب چندین نخ مرد وزن وجود خواهد داشت که روی ترن‌استایل صف بسته‌اند. هر زمان که empty سیگنال داده می‌شود، یک نخ ترن‌استایل را ترک نموده و نخ دیگر وارد خواهد شد. اگر نخ جدید از جنس مخالف باشد آن نخ بی‌درنگ مسدود خواهد شد و مانع نخ‌های دیگر می‌گردد. بنابراین معمولاً در هر زمان تنها ۱ تا ۲ نخ در سرویس بهداشتی هستند و سیستم از تمام ظرفیت همزمانی موجود بهره نخواهد برد.

### ۳.۶ مساله عبورکردن میمون

این مساله از کتاب «سیستم‌های عامل: طراحی و پیاده‌سازی» تنبام اخذ شده است [۱۰]. یک جایی در پارک ملی کروگر در افریقای جنوبی<sup>۴</sup> یک دره عمیق با یک تک طناب که بین این دره کشیده شده است وجود دارد. میمون‌ها می‌توانند با کمک دست‌هایشان با آویزان شدن از آن طناب از روی دره عبور نمایند، اما اگر دو میمون در

<sup>۴</sup>Kruger National Park, South Africa

دو جهت مخالف در میانه راه به یکدیگر برسند، تا سر حد مرگ خواهند جنگید. علاوه بر این، طناب تنها تحمل وزن ۵ میمون را دارد. اگر میمون‌های بیشتری به طور همزمان روی طناب باشند پاره خواهد شد. تصور کنید که می‌توانیم استفاده از سمافورها را به میمون‌ها آموزش دهیم، دوست داریم که یک برنامه همگام‌سازی با ویژگی‌های زیر طراحی نماییم:

- هنگامیکه یک میمون شروع به عبور نموده است، تضمین شده باشد بدون اینکه با میمونی از روبرو مواجه شود به طرف دیگر برسد.
  - هیچگاه بیشتر از ۵ میمون روی طناب نباشد.
  - یک جریان پیوسته از میمون‌ها که در یک جهت عبور می‌کند نباید برای همیشه مانع میمون‌های جهت مخالف شود (بدون قحطی).
- به دلایلی که واضح است راه حل این مساله را نخواهم گفت.

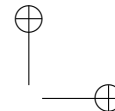
## ۴.۶ مساله تالار Modus

این مساله توسط Nathan Karst یکی از دانشجویان Olin که طی زمستان ۲۰۰۵ در تالار Modus<sup>۵</sup> زندگی می‌کرده نوشته شده است.

زمستان، خصوصاً پس از یک بارش سنگین برف، ساکنان تالار Modus یک مسیر خندق مانند بین محل اقامت مقوایی‌شان و بقیه محوطه کالج ایجاد نمودند. هر روز برخی از ساکنین برای رفت و آمد بین کلاس‌ها، غذا خوردن و معاشرت از طریق این مسیر اقدام می‌نمایند؛ از دانشجویان تبدلی که روزانه برای رفتن به Tier 3 از ماشین استفاده می‌کنند صرف نظر می‌کنیم. همچنین از جهت عابرین در حال حرکت نیز چشم‌پوشی می‌کنیم. به دلایلی نامعلومی، دانشجویانی که در تالار غربی زندگی می‌کنند گاهی اوقات، زندگی در Mods را ضروری می‌دانند.

متأسفانه، مسیر آنقدر عریض نیست که دو نفر بتوانند در کنار هم راه بروند. اگر دو نفر از Mods در یک نقطه از مسیر همدیگر را ببینند، یک نفر از آن‌ها با خوشحالی از مسیر خارج شده داخل برف می‌رود تا جا به دیگری دهد. وضعیت مشابهی برای دو ساکن ResHall در عبور از مسیرها رخ خواهد داد. گرچه اگر یک نفر از Mods (heathen) با یک نفر از ResHall (prude) به هم برسند، یک کشمکش خشن به وقوع خواهد پیوست و گروهی که در اکثریت است پیروز است؛ بدین معنی که آن دسته‌ای که جمعیت بیشتری دارد گروه دیگر را وادار به انتظار می‌نماید.

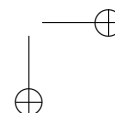
<sup>۵</sup> تالار Modus یکی از چندین نام مستعار برای ساختمان‌های ماژولار است که همچنین به نام Mods نیز شناخته می‌شود و جایی است که برخی دانشجویان در زمانی که تالار اقامتی دوم در حال ساخته شدن است در آنجا زندگی می‌کنند.



این مساله شبیه مساله عبور میمون‌ها است (منتهی با بیش از یک راه)، به همراه یک پیچیدگی مضاعف که کنترل ناحیه بحرانی بوسیله قانون اکثریت تعیین می‌شود. این قانون، پتانسیل یک راه حل کارا و بدون قحطی را نسبت به مساله انحصار دسته‌ای دارد.

قحطی ممکن نیست زیرا تا زمانی که یک دسته، ناحیه بحرانی را کنترل می‌نماید، اعضای دسته دیگر به صف می‌پیوندند تا زمانی که تبدیل به اکثریت شوند. سپس آن‌ها می‌توانند تا زمانی که منتظر خالی شدن ناحیه بحرانی هستند مانع ورود رقیبان جدید گردند. انتظار می‌رود این راه حل، کارا باشد زیرا که نخ‌ها را در قالب دسته‌ها عبور داده لذا حداکثر همروندی در ناحیه بحرانی را ممکن می‌سازد.

معملاً: کدی بنویسید که انحصار دسته‌ای با قانون اکثریت را پیاده‌سازی نماید.









## ۱.۴.۶ راهنمایی مساله تالار Modus

متغیرهایی که در راه حل بکار برده ام در ادامه آمده است.

راهنمایی مساله تالار Modus

```
1 heathens = 0
2 prudes = 0
3 status = 'neutral'
4 mutex = Semaphore(1)
5 heathenTurn = Semaphore(1)
6 prudeTurn = Semaphore(1)
7 heathenQueue = Semaphore(0)
8 prudeQueue = Semaphore(0)
```

heathens و prudes شمارنده هستند و status وضعیت میدان را نگاه می دارد که می تواند 'neutral'، 'heathens rule'، 'prudes rule'، 'transition to heathens' و یا 'transition to prudes'. هر سه تای این متغیرها با mutex در یک الگوی جدول امتیاز معمولی محافظت می شوند.

heathenTurn و prudeTurn دسترسی به میدان را به نحوی کنترل می نمایند که می توانیم در مدت انتقال مانع یکی از دو طرف شویم.

heathenQueue و prudeQueue جایی هستند که نخ ها پس از ورود و پیش از گرفتن میدان، منتظر می مانند.





## ۲.۴.۶ راه حل مساله تالار Modus

کد heathen ها در ادامه آمده است:

راه حل مساله Modus

```
1 heathenTurn.wait()
2 heathenTurn.signal()
3
4 mutex.wait()
5 heathens++
6
7 if status == 'neutral':
8     status = 'heathens rule'
9     mutex.signal()
10 elif status == 'prudes rule':
11     if heathens > prudes:
12         status = 'transition to heathens'
13         prudeTurn.wait()
14         mutex.signal()
15         heathenQueue.wait()
16 elif status == 'transition to heathens':
17     mutex.signal()
18     heathenQueue.wait()
19 else:
20     mutex.signal()
21
22 # cross the field
23
24 mutex.wait()
25 heathens--
26
27 if heathens == 0:
28     if status == 'transition to prudes':
29         prudeTurn.signal()
30     if prudes:
31         prudeQueue.signal(prudes)
32         status = 'prudes rule'
33     else:
34         status = 'neutral'
35
36 if status == 'heathens rule':
37     if prudes > heathens:
38         status = 'transition to prudes'
39         heathenTurn.wait()
40
41 mutex.signal()
```

هر دانشجویی که می‌رسد باید حالات زیر را در نظر گیرد:

- اگر میدان خالی بود، دانشجو مدعی عبور heathen ها می‌شود.
  - اگر الان heathen ها مسئول هستند ولی ورودی جدید توازن را بهم زند، او ترن استایل prude را قفل نموده و سیستم به حالت transition می‌رود.
  - اگر prude ها مسئول بودند اما ورودی جدید توازن به هم زند، این فرد به صف ملحق می‌گردد.
  - اگر سیستم در حال انتقال کنترل به heathen است، ورودی جدید به صف ملحق می‌شود.
  - در غیر اینصورت، نتیجه می‌گیرم که یا heathen ها مسئول هستند و یا سیستم در حال انتقال کنترل به prude است. در هر حالت، این نخ می‌تواند ادامه یابد.
- به طور مشابه، هر دانشجویی که خارج می‌شود باید چندین حالت را در نظر گیرد.
- اگر او آخرین فرد heathen باشد که می‌رود باید شرایط زیر را در نظر گیرد:

- اگر سیستم در حالت transition است، بدین معنی که ترن استایل prude قفل شده است، آن فرد باید آن را باز نماید.

- اگر prude هایی منتظر هستند، او باید به آن‌ها سیگنال داده و status را چنان بروزرسانی نماید که prude ها مسئول هستند. و اگر چنین نباشد وضعیت جدید، "neutral" است.

- اگر آن فرد، آخرین نفر heathen که می‌رود نباشد، هنوز باید این امکان را بررسی نماید که آیا رفتن او، توازن را بر هم می‌زند یا نه؟ در این حالت، او ترن استایل heathen را می‌بندد و انتقال را آغاز می‌نماید.

یک مشکل بالقوه این راه‌حل این است که هر تعداد نخ ممکن است در خط ۳ متوقف شوند، جاییکه آن‌ها باید از ترن استایل گذشته باشند ولی هنوز وارد نشده‌اند. تا زمانی که آن نخ‌ها وارد شوند، شمرده نمی‌شوند، لذا توازن قدرت ممکن است بازگویی تعداد نخ‌هایی که از ترن استایل عبور نموده‌اند نباشد. همچنین زمانی که تمام نخ‌ها که وارد شده‌اند خارج نیز شده باشند یک انتقال پایان می‌پذیرد. در آن نقطه، ممکن است نخ‌هایی (از هر دو نوع) وجود داشته باشند که از ترن استایل گذر کرده باشند.

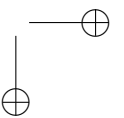
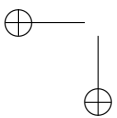
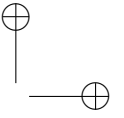
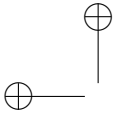
این رفتارها کارایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد — این راه‌حل همروندی حداکثری را تضمین نمی‌کند — اما این نکات، اگر بپذیرید که «قانون اکثریت» تنها به نخ‌هایی که برای رای‌گیری ثبت نام نموده‌اند اعمال می‌شود، درستی راه‌حل را تحت تاثیر خود قرار نمی‌دهد.

## فصل ۷

# مسائل تقریباً غیر کلاسیک

### ۱.۷ مساله بار سوشی

این مساله از یک مساله پیشنهاد شده توسط Kenneth Reek الهام گرفته شده است. [۸]. که یک بار سوشی با پنج صندلی را تصور کنید. اگر زمانیکه شما می‌رسید یک صندلی خالی وجود داشته باشد، شما می‌توانید بلافاصله بنشینید. اما اگر زمانیکه می‌رسید تمامی پنج صندلی پر باشد به این معنی است که تمامی آن‌ها با هم مشغول غذا خوردن هستند و شما باید پیش از نشستن منتظر بمانید تا تمام آن‌ها بار را ترک نمایند. معمولاً: کدی برای مشتریان در حال ورود/خروج به/از بار سوشی بنویسید که این نیازها را اعمال نماید.



## ۱.۱.۷ راهنمایی بار سوشی

متغیرهای بکار رفته در ادامه آمده است:

راهنمایی بار سوشی

```
1 eating = waiting = 0
2 mutex = Semaphore(1)
3 block = Semaphore(0)
4 must_wait = False
```

eating و waiting تعداد نخ‌های منتظر و نشسته در بار را در خود نگاه می‌دارند. mutex از هر دو شمارنده محافظت می‌نماید. must\_wait نشان می‌دهد که بار پر است و مشتری‌های جدید باید روی block مسدود گردند.



۲۰۰

مسائل تقریباً غیر کلاسیک

---





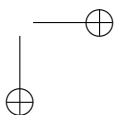
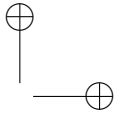
## ۲.۱.۷ ناره حل بار سوشی

راه حل نادرستی که Reek برای نشان دادن یکی از مشکلات این مساله به کار می برد در ادامه آمده است:

ناره حل بار سوشی

```
1 mutex.wait()
2 if must_wait:
3     waiting += 1
4     mutex.signal()
5     block.wait()
6
7     mutex.wait()      # reacquire mutex
8     waiting -= 1
9
10    eating += 1
11    must_wait = (eating == 5)
12    mutex.signal()
13
14    # eat sushi
15
16    mutex.wait()
17    eating -= 1
18    if eating == 0:
19        n = min(5, waiting)
20        block.signal(n)
21        must_wait = False
22    mutex.signal()
```

معمًا: این راه حل چه مشکلی دارد؟



## ۳.۱.۷ ناراه حل بار سوشی

مشکل در خط ۷ است. اگر یک مشتری زمانیکه بار پر است برسد تا زمانیکه منتظر است تا سایر مشتریان بار را ترک کنند باید از میوتکس صرف نظر کند. زمانیکه آخرین مشتری بار را ترک می کند، او به block سیگنال می دهد که منجر به بیدار شدن حداقل تعدادی از مشتریان منتظر می شود و must\_wait را False می کند. اما زمانیکه مشتریان بیدار می شوند، آن ها باید میوتکس را بگیرند و این بدین معنی است که آن ها باید با نخ های که جدیداً وارد می شوند رقابت نمایند. اگر نخ های جدیدی که می رسند میوتکس را اول بگیرند، آنگاه آن ها می توانند پیش از نخ های منتظر تمامی صندلی ها را بگیرند. این فقط یک مساله بی عدالتی نیست؛ زیرا که ممکن است بیش از ۵ نخ به طور همزمان در ناحیه بحرانی قرار گیرند که محدودیت های همگام سازی مساله را خدشه دار می نمایند.

Reek دو راه حل برای این مشکل ارائه می دهد که در دو بخش بعدی آمده است.

معمّاً: ببینید آیا می توانید دو راه حل صحیح متفاوت برای این مساله ارائه دهید.

راهنمایی: هیچکدام از این راه حل ها هیچ متغیر اضافی بکار نمی برد.



## ۴.۱.۷ راه حل بار سوشی ۱#

تنها دلیلی که یک مشتری در حال انتظار باید میوتکس را مجدداً بگیرد، بروز رسانی وضعیت eating و waiting است لذا یک راه برای حل این مشکل این است که مشتری در حال خروج —کسی که در حال حاضر میوتکس را دارد— این بروز رسانی را انجام دهد.

راه حل بار سوشی ۱#

```

1 mutex.wait()
2 if must_wait:
3     waiting += 1
4     mutex.signal()
5     block.wait()
6 else:
7     eating += 1
8     must_wait = (eating == 5)
9     mutex.signal()
10
11 # eat sushi
12
13 mutex.wait()
14 eating -= 1
15 if eating == 0:
16     n = min(5, waiting)
17     waiting -= n
18     eating += n
19     must_wait = (eating == 5)
20     block.signal(n)
21 mutex.signal()

```

زمانیکه آخرین مشتری در حال خروج میوتکس را آزاد می‌کند، eating نیز بروز رسانی شده لذا مشتری‌هایی که جدیداً وارد می‌شوند وضعیت درست را می‌بینند و در صورت لزوم مسدود می‌شوند. Reek این الگورا "به خاطر تو این کار را انجام خواهم داد" نامیده است زیرا که نخ در حال خروج کار را انجام می‌دهد که منطقاً به نظر می‌رسد که متعلق به نخ‌های در حال انتظار است. اشکال این راهکار این است که تایید اینکه وضعیت به درستی به روز رسانی می‌شود کمی سخت است.



## ۵.۱.۷ راه حل بار سوشی #۱

راه حل دیگر Reek بر پایه ایده غیر معمول است که ما می توانیم یک میوتکس را از نخ به نخ دیگر منتقل نماییم. به عبارت دیگر، یک نخ می تواند یک قفل را بگیرد و سپس نخ دیگری می تواند آن را آزاد نماید. تا زمانیکه هر دو نخ می دانند که قفل منتقل شده است هیچ مشکلی با این موضوع وجود ندارد.

## راه حل بار سوشی #۲

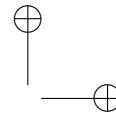
```

1 mutex.wait()
2 if must_wait:
3     waiting += 1
4     mutex.signal()
5     block.wait()      # when we resume, we have the mutex
6     waiting -= 1
7
8 eating += 1
9 must_wait = (eating == 5)
10 if waiting and not must_wait:
11     block.signal()    # and pass the mutex
12 else:
13     mutex.signal()
14
15 # eat sushi
16
17 mutex.wait()
18 eating -= 1
19 if eating == 0: must_wait = False
20
21 if waiting and not must_wait:
22     block.signal()    # and pass the mutex
23 else:
24     mutex.signal()

```

اگر کمتر از ۵ مشتری در بار وجود داشته باشد و هیچ مشتری منتظر نباشد، یک مشتری جدید فقط مقدار eating را افزایش داده و میوتکس را رها می کند. پنجمین مشتری مقدار must\_wait را برابر True می نماید. اگر must\_wait مقدار صحیح داشته باشد تا زمانیکه آخرین مشتری در بار مقدار آن را ناصحیح نموده و به block سیگنال دهد مشتری های جدید مسدود می شوند. این قابل درک است که نخ سیگنال دهنده از میوتکس صرف نظر نموده و نخ منتظر آن را می گیرد. در هر حال به یاد داشته باشید که این نکته بوسیله برنامه نویس غیر قابل درک است و چیزی است که در توضیحات، مستند شده است و لکن به وسیله معانی سمافورها اعمال نشده است. این وظیفه ما است که معنی درست را دریابیم.

زمانیکه نخ منتظر ادامه می یابد، در می یابیم که آن نخ میوتکس را دارد. اگر نخ های منتظر دیگری وجود داشته باشد، آن نخ به block سیگنال می دهد که دومرتبه میوتکس را به نخ منتظر می دهد. این فرآیند به این



صورت ادامه می‌یابد که اگر هیچ صندلی و یا نخ منتظر وجود نداشته باشد هر نخ میوتکس را به دیگری می‌دهد. در هر حالت، آخرین نخ میوتکس را آزاد نموده و می‌رود که بنشیند. از آنجاییکه میوتکس از یک نخ به نخ دیگر منتقل می‌شود مشابه آنچه در مسابقه دو امدادی رخ می‌دهد Reek این الگورا "باتوم را منتقل کنید" می‌نامد. یک چیز خوب در رابطه با این راه‌حل این است که تایید پایدار بودن بروزرسانی eating و waiting آسان است. و یک نقطه ضعف آن این است که تایید صحیح بکار رفتن میوتکس سخت‌تر است.

## ۲.۷ مساله مراقبت از کودکان

این مساله را Max Hailperin در کتابش، «سیستم‌های عامل و میان‌افزارها»<sup>۱</sup>، نوشته است [۴]. در یک مرکز مراقبت از کودکان، قوانین دولتی حضور دائم یک بزرگسال را برای هر سه بچه الزامی می‌نماید. معماً: کدی برای سه نخ کودک و یک نخ بزرگسال بنویسید که این محدودیت را در یک ناحیه بحرانی اعمال نماید.

---

<sup>1</sup>Operating Systems and Middleware







## ۱.۲.۷ راهنمایی مراقبت از کودکان

پیشنهاد Hailperin این است که این مساله با یک سمافور تقریباً قابل حل است.

راهنمایی مراقبت از کودکان

```
1 multiplex = Semaphore(0)
```

`multiplex` تعداد توکن‌های موجود را می‌شمارد که هر توکن اجازه ورود یک نخ کودک را می‌دهد. با ورود

برزگسالان، آن‌ها به `multiplex` سه بار سیگنال می‌دهند؛ و با خروجشان، سه بار `wait` را فرا می‌خوانند. اما

این راه حل یک اشکال دارد.

معنّا: این مشکل چیست؟







## ۲.۲.۷ ناراه حل مراقبت از کودکان

آنچه در ادامه آمده مشابه کد بزرگسال در ناراه حل Hailperin است:

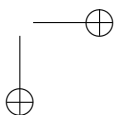
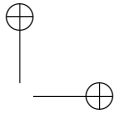
ناراه حل مراقبت از کودکان (بزرگسال)

```
1 multiplex.signal(3)
2
3 # critical section
4
5 multiplex.wait()
6 multiplex.wait()
7 multiplex.wait()
```

مشکل احتمال وقوع بن‌بست است. تصور نمایید که سه کودک و دو بزرگسال در مرکز مراقبت از کودکان وجود دارد. مقدار `multiplex` برابر ۳ است، لذا هر کدام از بزرگسالان باید بتوانند که بروند. اما اگر هر دو بزرگسال در یک لحظه بخواهند بروند، ممکن است توکن‌های موجود را بین خود تقسیم نمایند و هر دو مسدود شوند.

معمّا: این مشکل را با حداقل تغییرات، رفع نمایید.





## ۳.۲.۷ راه حل مرکز مراقبت از کودکان

افزودن یک میوتکس مشکل را حل می نماید.

راه حل مرکز مراقبت از کودکان (بزرگسال)

```

1 multiplex.signal(3)
2
3 # critical section
4
5
6 mutex.wait()
7     multiplex.wait()
8     multiplex.wait()
9     multiplex.wait()
10 mutex.signal()
```

اکنون سه عمل `wait` اتمی هستند. اگر سه توکن موجود باشد، نخ‌ی که میوتکس را می‌گیرد تمامی هر سه توکن را گرفته و خارج می‌شود. اگر توکن کمتری وجود داشته باشد، اولین نخ روی میوتکس مسدود خواهد شد و نخ‌های بعدی روی میوتکس تشکیل صف می‌دهند.

## ۴.۲.۷ مساله توسعه یافته مرکز مراقبت

یک ویژگی این راه حل این است که نخ بزرگسال در انتظار خروج می‌تواند جلوی ورود نخ‌های کودک را بگیرد. تصور نمایید که ۴ کودک و ۲ بزرگسال وجود دارد، لذا مقدار `multiplex` برابر ۲ است. اگر یکی از بزرگسالان بخواهد که برود، باید دو توکن را نگاه دارد و سپس منتظر سومی بماند. اگر یک نخ کودک برسد، گرچه قانوناً می‌تواند وارد شود ولی منتظر خواهند ماند. از منظر بزرگسالی که تلاش می‌کند تا خارج شود، این امر خوب است، اما اگر شما در تلاش برای حداکثر کردن بهره‌وری مرکز مراقبت از کودکان هستید این مساله خوب نیست. معماً: راه حلی برای این مشکل ارائه دهید که از انتظارهای غیرضروری اجتناب نماید. راهنمایی: به رقصندگان در بخش ۸.۳ بیندیشید.





## ۵.۲.۷ راهنمایی مساله توسعه یافته مرکز مراقبت

متغیرهای بکار رفته در راه حل در اینجا آمده است:

راهنمایی مساله توسعه یافته مرکز مراقبت

```
1 children = adults = waiting = leaving = 0
2 mutex = Semaphore(1)
3 childQueue = Semaphore(0)
4 adultQueue = Semaphore(0)
```

children، adults، waiting و leaving تعداد کودکان، بزرگسالان، کودکان در انتظار ورود و

بزرگسالان در انتظار خروج را نگاه می دارند؛ این متغیرها بوسیله mutex محافظت می شوند.

در صورت لزوم، کودکان برای ورود روی childQueue منتظر می مانند. بزرگسالان به منظور خروج روی

adultQueue منتظر می مانند.







## ۶.۲.۷ راه حل مساله توسعه یافته مرکز مراقبت

این راه حل، از راه حل زیبای Hailperin کمی پیچیده تر است، اما تقریباً ترکیبی از الگوهایی است که پیش از این دیده ایم: یک تابلوی امتیاز، دو صف و "بخاطر تو این کار را انجام خواهم داد". کد کودک در ادامه آمده است.

راه حل توسعه یافته مرکز مراقبت از کودکان (کودک)

```

1 mutex.wait()
2     if children < 3 * adults:
3         children++
4         mutex.signal()
5     else:
6         waiting++
7         mutex.signal()
8         childQueue.wait()
9
10 # critical section
11
12 mutex.wait()
13     children--
14     if leaving and children <= 3 * (adults-1):
15         leaving--
16         adults--
17         adultQueue.signal()
18 mutex.signal()

```

وقتی کودکان وارد می شوند، بررسی می نمایند که آیا به اندازه کافی بزرگسال وجود دارد و یا (۱) children را یک واحد افزایش داده و وارد می شود و یا (۲) waiting را یک واحد افزایش داده و مسدود می گردد. زمانی که کودکان خارج می شوند، بررسی می نمایند که آیا نخ بزرگسالی در انتظار برای خروج وجود دارد و اگر مقدور باشد به آن سینگال می دهند.

کد بزرگسال در ادامه آمده است:

راه حل توسعه یافته مرکز مراقبت از کودکان (بزرگسال)

```
1 mutex.wait()
2     adults++
3     if waiting:
4         n = min(3, waiting)
5         childQueue.signal(n)
6         waiting -= n
7         children += n
8 mutex.signal()
9
10 # critical section
11
12 mutex.wait()
13     if children <= 3 * (adults-1):
14         adults--
15         mutex.signal()
16     else:
17         leaving++
18         mutex.signal()
19         adultQueue.wait()
```

بزرگسالان همانطوری که وارد می شوند اگر کودکانی در حال انتظار باشند به آن ها سیگنال می دهند. قبل از خروج، بررسی می نمایند که آیا به اندازه کافی بزرگسال باقی می ماند یا خیر؟. اگر به تعدادی کافی بودند، adults را یک واحد کم کرده و خارج می شوند. در غیر اینصورت leaving را یک واحد افزایش داده و مسدود می گردند. زمانیکه یک نخ بزرگسال در انتظار خروج است، به عنوان یکی از بزرگسالان موجود در ناحیه بحرانی شمرده می شود، لذا کودکان بیشتری می توانند وارد شوند.

### ۳.۷ مساله اتاق پارتی

این مساله را زمانیکه در کالج کالبی بودم نوشتم. در یک ترم به سبب اینکه یک دانشجو مدعی شده بود که شخصی از طرف رئیس دفتر دانشجویان در غیاب او اتاقش را واریسی کرده است منازعه‌ای رخ داد. اگرچه ادعا به صورت عمومی مطرح شد، رئیس دفتر دانشجویان قادر به اظهار نظر در مورد آن نبود، لذا هرگز نفهمیدیم واقعاً چه اتفاقی افتاده است. این مساله را برای این نوشتن تا یکی از دوستانم را که معاون مسکن دانشجویی بود دست بیندازم. محدودیت‌های همگام‌سازی زیر نسبت دانشجویان و مدیریت دانشجویی اعمال می‌گردد:

۱. هر تعداد دانشجو می‌تواند به طور همزمان در یک اتاق باشد.
  ۲. مدیریت دانشجویی تنها در صورتی می‌تواند وارد اتاقی شود که یا هیچ دانشجویی در اتاق نباشد (به منظور هدایت یک تفحص) و یا بیش از ۵۰ دانشجو در اتاق باشد (به منظور برهم زدن پارتی).
  ۳. زمانیکه مدیریت دانشجویی در اتاق هست هیچ دانشجویی دیگری ممکن نیست وارد شود ولی دانشجویان ممکن است اتاق را ترک کنند.
  ۴. مدیریت دانشجویی ممکن نیست اتاق را ترک گوید مگر اینکه تمامی دانشجویان آن را ترک کرده باشند.
  ۵. تنها یک مدیریت دانشجویی وجود دارد لذا نباید بین چند مدیر انحصار اعمال کنید.
- معملاً: برای دانشجویان و مدیریت دانشجویی یک کد همگام‌سازی بنویسید که تمامی این محدودیت‌ها را اعمال نماید.



## ۱.۳.۷ راهنمای اتاق پارتی

## راهنمای اتاق پارتی

```
1 students = 0
2 dean = 'not here'
3 mutex = Semaphore(1)
4 turn = Semaphore(1)
5 clear = Semaphore(0)
6 lieIn = Semaphore(0)
```

students تعداد دانشجویان داخل اتاق را می‌شمارد و dean وضعیت مدیر است که علاوه بر 'not here' همچنین می‌تواند "waiting" و یا "in the room". mutex از students و dean محافظت می‌نماید لذا این نیز مثالی دیگر یک جدول امتیاز است.

turn ترن‌استاپلی است که مانع ورود دانشجویان به اتاق زمانی که مدیر در اتاق است می‌گردد.

clear و lieIn به صورت قرار ملاقات‌هایی بین یک دانشجو و مدیر (که یک نمونه کامل دیگر از رسوایی است) بکار می‌رود.



## ۲.۳.۷ راه حل اتاق پارتی

این مساله‌ای سخت است. من پیش اینکه با این یکی روبرو شوم روی نسخه‌های زیادی کار کردم. این نسخه که در ویرایش اول این کتاب عرضه گردید کاملاً درست بود، اما گهگاهی مدیر ممکن بود وارد اتاق شود و سپس دریابد که نه می‌تواند به جستجو پردازد و نه می‌تواند پارتی را متوقف کند، لذا او می‌بایست در سکوتی خجالت‌بار آنجا را ترک کند.

Matt Tesch یک راه حل نوشت که جلوی این حقارت را می‌گرفت، اما نتیجه اینقدر پیچیده بود که به سختی توانستیم خود را متقاعد کنیم که راه حل درست است. اما آن راه حل مرا به این راه حل که کمی خواناتر است رهنمون گردید.

راه حل اتاق پارتی (مدیر)

```

1 mutex.wait()
2     if students > 0 and students < 50:
3         dean = 'waiting'
4         mutex.signal()
5         lieIn.wait()      # and get mutex from the student.
6
7     # students must be 0 or >= 50
8
9     if students >= 50:
10        dean = 'in the room'
11        breakup()
12        turn.wait()       # lock the turnstile
13        mutex.signal()
14        clear.wait()      # and get mutex from the student.
15        turn.signal()     # unlock the turnstile
16
17    else:                  # students must be 0
18        search()
19
20 dean = 'not here'
21 mutex.signal()
```

زمانیکه مدیر می‌رسد، سه حالت وجود دارد: اگر دانشجویانی داخل اتاق بوده و ۵۰ نفر یا بیشتر نباشد مدیر باید صبر کند. اگر ۵۰ یا تعدادی بیشتر دانشجوی در اتاق باشد مدیر پارتی را متوقف نموده و منتظر خروج دانشجویان می‌ماند. اگر هیچ دانشجویی وجود نداشته باشد، مدیر به جستجو پرداخته و سپس اتاق را ترک می‌کند. در دو حالت اول، مدیر باید برای یک قرار ملاقات با یک دانشجوی صبر کند لذا از mutex صرف نظر می‌کند تا بنیستی رخ ندهد. زمانیکه مدیر بر می‌خیزد، باید جدول امتیاز را تغییر دهد بنابراین نیاز دارد تا میوتکس را دوباره بگیرد. این، مشابه وضعیتی است که در مساله بار سوشی دیدیم. راه‌حلی که انتخاب کردم الگوی “باتوم را منتقل کنبد” است.

راه حل اتاق پارتی (دانشجو)

```

1 mutex.wait()
2     if dean == 'in the room':
3         mutex.signal()
4         turn.wait()
5         turn.signal()
6         mutex.wait()
7
8     students += 1
9
10    if students == 50 and dean == 'waiting':
11        lieIn.signal()
# and pass mutex to the dean
12    else:
13        mutex.signal()
14
15 party()
16
17 mutex.wait()
18     students -= 1
19
20    if students == 0 and dean == 'waiting':
21        lieIn.signal()          # and pass mutex to the dean
22    elif students == 0 and dean == 'in the room':
23        clear.signal()          # and pass mutex to the dean
24    else:
25        mutex.signal()

```

سه حالت وجود دارد که ممکن است یک دانشجو مجبور شود به مدیر سیگنال دهد. اگر مدیر در حال انتظار است، پنجاهمین دانشجویی که وارد می شود یا آخرین دانشجویی که خارج می شود باید به lieIn سیگنال دهد. اگر مدیر داخل اتاق است (و در حالیکه منتظر است تا تمامی دانشجویان خارج شوند)، آخرین دانشجویی که خارج می شود باید به clear سیگنال دهد. در تمامی سه حالت، قابل درک است که میوتکس از یک دانشجو به مدیر منتقل می گردد.

بخشی از این راه حل که ممکن است واضح نباشد این است چطور در می یابیم در خط ۷ از کد مدیر، مقدار students باید صفر و یا نباید کمتر از ۵۰ باشد. نکته در فهم این است تنها دوراه برای رسیدن به این دونقطه وجود دارد: یا شرط اولی نادرست بود که در اینصورت students یا صفر است و یا کمتر پنجاه نیست؛ یا مدیر زمانیکه یک دانشجو سیگنال داد روی lieIn منتظر بوده است و دوباره به این معنی است که students یا صفر است و یا کمتر از ۵۰ نیست.



۴.۷ مساله اتوبوس سنا<sup>۲</sup>

این مساله در اصل بر مبنای اتوبوس سنا در کالج Wellesley بود. مسافران به ایستگاه اتوبوس آمده و منتظر اتوبوس می‌شوند. زمانیکه اتوبوس می‌رسد، تمامی مسافران منتظر boardBus را فرا می‌خوانند اما هر کسی که در حین سوارشدن مسافران می‌رسد باید منتظر اتوبوس بعدی بماند. ظرفیت اتوبوس ۵۰ نفر است، اگر بیش از ۵۰ نفر منتظر باشند، برخی باید منتظر اتوبوس بعدی بمانند.

زمانیکه تمامی مسافران منتظر سوار شدند، اتوبوس می‌تواند depart را فراخواند. اگر اتوبوس زمانی برسد که هیچ مسافری وجود نداشته باشد می‌تواند بلافاصله حرکت کند.

معمًا: کدی بمنظور همگام‌سازی بنویسید که تمامی این محدودیت‌ها را اعمال کند.

---

<sup>2</sup><https://www.wellesley.edu/housingtransp/transportation/shuttlebuses>







## ۱.۴.۷ راهنمایی مساله اتوبوس

متغیرهایی که در راه حل بکار برده ام در ادامه آمده است:

راهنمای مساله اتوبوس

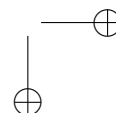
```
1 riders = 0
2 mutex = Semaphore(1)
3 multiplex = Semaphore(50)
4 bus = Semaphore(0)
5 allAboard = Semaphore(0)
```

mutex از riders که تعداد مسافران منتظر را نگه می دارد محافظ می کند؛ multiplex تضمین می کند

که بیش از ۵۰ مسافر در سکوی سوار شدن وجود نداشته باشد.

مسافران روی سمارفور bus منتظر می مانند و این سمارفور زمانی که اتوبوس می رسد سیگنال دریافت می دارد.

اتوبوس روی سمارفور allAboard منتظر می ماند و این سمارفور زمانی که آخرین دانشجو سوار شد سیگنال دریافت می کند.





## ۲.۴.۷ راه حل مساله اتوبوس #۱

کد اتوبوس در ادامه آمده است. دوباره از الگوی "باتوم را منتقل کنید" استفاده می‌کنیم.

راه حل مساله اتوبوس (اتوبوس)

```

1 mutex.wait()
2 if riders > 0:
3     bus.signal()          # and pass the mutex
4     allAboard.wait()      # and get the mutex back
5 mutex.signal()
6
7 depart()
```

زمانیکه اتوبوس می‌رسد، mutex را می‌گیرد تا از ورود کسانیکه بعداً می‌رسند به سکوی سوار شدن جلوگیری نماید. اگر هیچ مسافری وجود نداشته اتوبوس بلافاصله محل را ترک می‌نماید. در غیر اینصورت، به bus سیگنال داده و منتظر می‌ماند تا مسافران سوار شوند. کد مسافران نیز در اینجا آمده است:

راه حل مساله اتوبوس (مسافران)

```

1 multiplex.wait()
2     mutex.wait()
3     riders += 1
4     mutex.signal()
5
6     bus.wait()            # and get the mutex
7 multiplex.signal()
8
9 boardBus()
10
11 riders -= 1
12 if riders == 0:
13     allAboard.signal()
14 else:
15     bus.signal()          # and pass the mutex
```

multiplex تعداد مسافران موجود در محل انتظار را کنترل می‌کند، گرچه مسافران تا زمانیکه riders را یک واحد افزایش ندهند وارد محل انتظار می‌گردند.

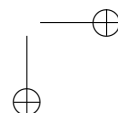
مسافران تا زمانیکه اتوبوس برسد روی سمافور bus منتظر می‌مانند. زمانیکه یک مسافر بیدار می‌شود (سیگنال دریافت می‌کند)، قابل فهم است که میوتکس را دارد. پس از سوار شدن هر مسافر یک واحد از مقدار riders کم می‌کند. اگر تعداد مسافران بیشتری در حال انتظار باشند، مسافری که در حال سوار شدن است به bus سیگنال داده و میوتکس را به مسافر بعدی منتقل می‌کند. آخرین مسافر به allAboard سیگنال داده و میوتکس را به اتوبوس پس می‌دهد. نهایتاً اتوبوس میوتکس را رها کرده و حرکت می‌کند.



۲۳۰

مسائل تقریباً غیر کلاسیک

معمّاً: آیا می‌توانید راه حلی برای این مساله با کمک الگوی “بخاطر تو انجام این کار را خواهم داد” بیابید؟



## ۳.۴.۷ راه حل مساله اتوبوس #۲

این راه حل را Grant Hutchins ارائه داد که متغیرهای کمتری نسبت به راه حل قبلی بکار می برد و مستلزم انتقال میوتکس نیست.

راه حل #۲ مساله اتوبوس (مقداردهی اولیه)

```

1 waiting = 0
2 mutex = new Semaphore(1)
3 bus = new Semaphore(0)
4 boarded = new Semaphore(0)

```

waiting تعداد مسافران در ناحیه سوارشدن است که بوسیله mutex حفاظت می شود. bus زمانیکه اتوبوس رسیده است سیگنال می دهد؛ boarded سیگنال می دهد که یک مسافر سوار شده است. کد اتوبوس در ادامه آمده است.

راه حل اتوبوس (اتوبوس)

```

1 mutex.wait()
2 n = min(waiting, 50)
3 for i in range(n):
4     bus.signal()
5     boarded.wait()
6
7 waiting = max(waiting-50, 0)
8 mutex.signal()
9
10 depart()

```

اتوبوس mutex را می گیرد و در طی فرآیند سوارشدن مسافران آن را نگاه می دارد. حلقه به نوبت به هر مسافر سیگنال داده و منتظر او می ماند تا سوار شود. با کنترل تعداد سیگنال ها، اتوبوس از اینکه بیش از ۵۰ مسافر سوار شوند جلوگیری می نماید.

زمانیکه تمامی مسافران سوار شدند، اتوبوس مقدار waiting را بروزرسانی می نماید که این مثالی از الگوی "بخاطر تو این کار را انجام خواهم داد" است. کد مسافران از دو الگوی ساده استفاده می نماید: یک میوتکس و یک قرار ملاقات.

Bus problem solution (riders)

```

1 \begin{lstlisting}[title=\rl  }    )}}]{}
2 mutex.wait()
3     waiting += 1
4 mutex.signal()
5
6 bus.wait()

```



```
7 board()
8 boarded.signal()
```

چالش: اگر مسافران زمانی که اتوبوس در حال مسافرگیری است برسند و آن‌ها را مجبور کنید که منتظر اتوبوس بعدی بمانند ممکن است که رنجیده خاطر شوند. آیا می‌توانید راه حلی بیابید که اجازه دهد تا مسافرینی که بعداً می‌رسند بدون نقض دیگر محدودیت‌ها سوار اتوبوس شوند.





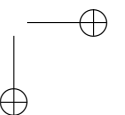
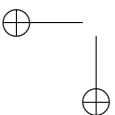
## ۵.۷ مساله تالار Faneuil

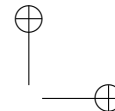
این مساله بوسیله Grant Hutchins تحت تاثیر یک دوست که برای سوگند شهربندی به تالار Faneuil بوستون رفته بود نوشته شده است.

”سه نوع نخ وجود دارد: مهاجران، تماشاگران، و یک قاضی. مهاجران باید در یک صف منتظر مانده، مدارک را به منظور احراز هویت ارائه داده و سپس بنشینند. قاضی در یک زمانی وارد ساختمان می شود. زمانی که قاضی در ساختمان است، هیچکس نمی تواند وارد شود و مهاجران نمی توانند محل را ترک کنند ولی تماشاگران می توانند سالن را ترک گویند. زمانی که تمامی مهاجران احراز هویت شدند قاضی می تواند تابعیت آن ها را تایید کند. پس از تایید، مهاجران گواهی شهربندی خود را دریافت می کنند. قاضی در زمانی پس از تایید محل را ترک می گوید. تماشاگران اکنون نیز مانند قبل می توانند وارد شوند. پس از اینکه مهاجران گواهی خود را گرفتند ممکن است سالن را ترک کنند.

برای روشن تر نمودن این محدودیت ها، بگذارید نخ ها را مقید به اجرای اعمالی کنیم و محدودیت ها را روی این اعمال بگذاریم.

- مهاجران باید enter, checkIn, sitDown, swear, getCertificate و leave فراخوانند.
- قاضی enter, confirm و leave را فرا می خواند.
- تماشاگران enter, spectate و leave را فرا می خوانند.
- زمانی که قاضی در ساختمان است، هیچ کس نمی تواند enter را فراخواند و مهاجران نمی توانند leave را فراخوانند.
- تا زمانی که تمامی مهاجرانی که enter را فراخوانده اند checkIn را اجرا نکرده اند قاضی نمی تواند confirm را فراخواند.
- تا زمانی که قاضی confirm اجرا نکرده باشد مهاجران نمی توانند getCertificate را فراخوانند.



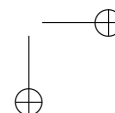


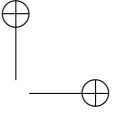
## ۱.۵.۷ راهنمایی مساله تالار Faneuil

راهنمایی مساله تالار Faneuil

```
1 noJudge = Semaphore(1)
2 entered = 0
3 checked = 0
4 judge = 0
5 mutex = Semaphore(1)
6 confirmed = Semaphore(0)
7 allSignedIn = Semaphore(0)
```

noJudge مانند یک ترن استایل برای مهاجران و تماشاگران در حال ورود عمل می نماید؛ همچنین از entered که تعداد مهاجران درون اتاق را می شمرد محافظت می نماید. checked تعداد مهاجرانی که احراز هویت شده اند را می شمرد و بوسیله mutex حفاظت می شود. confirmed علامت می دهد که قاضی confirm را اجرا نموده است.





## ۲.۵.۷ راه حل مساله تالار Faneuil

کد مهاجران در ادامه آمده است:

راهنمایی مساله تالار Faneuil (مهاجر)

```
1 noJudge.wait()
2 enter()
3 entered++
4 noJudge.signal()
5
6 mutex.wait()
7 checkIn()
8 checked++
9
10 if judge = 1 and entered == checked:
11     allSignedIn.signal()           # and pass the mutex
12 else:
13     mutex.signal()
14
15 sitDown()
16 confirmed.wait()
17
18 swear()
19 getCertificate()
20
21 noJudge.wait()
22 leave()
23 noJudge.signal()
```

مهاجران برای ورود از یک ترن استایل گذر کرده و زمانیکه قاضی در اتاق است این ترن استایل قفل می‌گردد. مهاجران پس از ورود به منظور احراز هویت و بروزرسانی checked باید mutex را بگیرند. اگر یک قاضی در حال انتظار باشد آخرین مهاجری که احراز هویت می‌شود به allSignedIn سیگنال داده و میوتکس را به قاضی منتقل می‌کند.

کد قاضی در ادامه آمده است:

راهنمایی مساله تالار Faneuil (قاضی)

```
1 noJudge.wait()
2 mutex.wait()
3
4 enter()
5 judge = 1
6
7 if entered > checked:
8     mutex.signal()
```

```

9      allSignedIn.wait()
# and get the mutex back.
10
11     confirm()
12     confirmed.signal(checke
13     entered = checked = 0
14
15     leave()
16     judge = 0
17
18     mutex.signal()
19     noJudge.signal()

```

قاضی noJudge را نگه می‌دارد تا مانع ورود مهاجران و تماشاگران گردد و نیز mutex را نگه می‌دارد تا به entered و checked دسترسی داشته باشد.

اگر قاضی در لحظه‌ای برسد که تمامی مهاجرانی که داخل شده‌اند احراز هویت نیز شده باشند، می‌تواند بلافاصله کار را خود ادامه دهد. در غیر اینصورت، باید از میوتکس صرف نموده و منتظر بماند. زمانیکه آخرین مهاجر احراز هویت شد به allSignedIn سیگنال می‌دهد، و قابل درک است که قاضی دومرتبه میوتکس را خواهد گرفت.

قاضی پس از فراخوانی confirm، به confirmed بازای هر مهاجری که احراز هویت شده است یک مرتبه سیگنال می‌دهد و سپس مقدار شمارنده‌ها را صفر می‌کند (مثالی از "بخاطر تو این کار را انجام خواهیم داد"). سپس قاضی محل را ترک نموده mutex و noJudge را رها می‌نماید.

پس از اینکه قاضی به confirmed سیگنال داد، مهاجران swear و getCertificate را به صورت همزمان فرا می‌خوانند و سپس قبل از خروج، منتظر ترن استایل noJudge می‌شوند که باز شود. کد تماشاگران ساده است؛ تنها محدودیتی که آن‌ها باید رعایت کنند ترن استایل noJudge است.

راهنمایی مساله تالار Faneuil (تماشاگر)

```

1 noJudge.wait()
2 enter()
3 noJudge.signal()
4
5 spectate()
6
7 leave()

```

توجه: در این راه حل ممکن است مهاجران پس از اینکه گواهی خود را گرفتند بوسیله قاضی دیگری که برای سوگند دادن دسته بعدی مهاجران در حال ورود است گیر بیفتند. اگر چنین اتفاقی بیفتد، آن‌ها باید در تمام مدت زمان مراسم سوگند گروه دیگر صبر کنند.

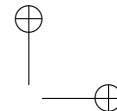
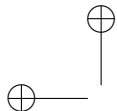


معمّا: این راه حل را چنان دستکاری کنید که محدودیت اضافی زیر را اعمال نماید. پس از اینکه قاضی خارج می شود تمامی مهاجرانی سوگند خورده اند باید قبل از اینکه قاضی بعدی وارد شود خارج شوند.









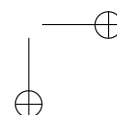
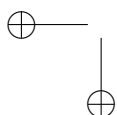
## ۳.۵.۷ راهنمایی مساله توسعه یافته تالار Faneuil

راه حل من از متغیرهای اضافی زیر بهر می برد:

راهنمایی مساله تالار Faneuil

```
1 exit = Semaphore(0)
2 allGone = Semaphore(0)
```

از آنجایی که مساله توسعه یافته مستلزم یک قرار ملاقات اضافی است، آن را با دو سمافور حل می نمایم.  
راهنمایی دیگر: استفاده مجدد از الگوی "باتوم را منتقل کنید" را مفید یافتم.





## ۴.۵.۷ راه حل مساله توسعه یافته تالار Faneuil

نیمه بالایی این راه حل مشابه قبل است. تفاوت از خط ۲۱ شروع می شود. در اینجا مهاجران منتظر قاضی می مانند تا خارج شود.

راهنمایی مساله تالار Faneuil (مهاجر)

```
1 noJudge.wait()
2 enter()
3 entered++
4 noJudge.signal()
5
6 mutex.wait()
7 checkIn()
8 checked++
9
10 if judge = 1 and entered == checked:
11     allSignedIn.signal()           # and pass the mutex
12 else:
13     mutex.signal()
14
15 sitDown()
16 confirmed.wait()
17
18 swear()
19 getCertificate()
20
21 exit.wait()                       # and get the mutex
22 leave()
23 checked--
24 if checked == 0:
25     allGone.signal()               # and pass the mutex
26 else:
27     exit.signal()                  # and pass the mutex
```

برای قاضی، تفاوت از خط ۱۸ شروع می شود. زمانیکه قاضی آماده ترک محل است، نمی تواند noJudge را آزاد کند زیرا که این کار ممکن است سبب ورود مهاجران بیشتر و یا یک قاضی دیگر شود. در عوض، به exit سیگنال می دهد و این کار خروج یک مهاجر را مجاز می سازد و mutex را منتقل می کند. مهاجری که سیگنال را دریافت می کند مقدار checked را یک واحد کاهش می دهد و سپس باتوم را به مهاجر بعدی می دهد. آخرین مهاجری که خارج می شود به allGone سیگنال داده و میوتکس را دومرتبه به قاضی می دهد. این بازگرداندن خیلی ضروری نیست ولی این ویژگی خوب را دارد که قاضی هر دوی mutex و noJudge را رها می نماید تا خیلی تر و تمیز به این مرحله پایان دهد.

راهنمایی مساله تالار Faneuil (قاضی)

```
1 noJudge.wait()
2 mutex.wait()
3
4 enter()
5 judge = 1
6
7 if entered > checked:
8     mutex.signal()
9     allSignedIn.wait()
10    # and get the mutex back.
11
12 confirm()
13 confirmed.signal(checked)
14 entered = 0
15
16 leave()
17 judge = 0
18
19 exit.signal()                # and pass the mutex
20 allGone.wait()              # and get it back
21 mutex.signal()
22 noJudge.signal()
```

کد تماشاگر در مساله توسعه یافته بدون تغییر است.

## ۶.۷ مساله سالن غذاخوری

این مساله بوسیله Jon Pollack در کلاس Synchronization من در کالج Olin نوشته شده است. دانشجویان در سالن غذاخوری dine را فراخوانده و سپس leave را صدا می‌زنند. پس از فراخوانی dine و پیش از فراخواندن leave، وضعیت یک دانشجو "آماده برای خروج" در نظر گرفته می‌شود. محدودیت همگام‌سازی که در مورد دانشجویان اعمال می‌شود این است به منظور حفظ وجهه اجتماعی، یک دانشجو هرگز ممکن نیست که سر یک میز تنها بنشیند. یک دانشجو در صورتی ممکن است تنها نشسته باشد که اگر پیش از اینکه او dine را تمام کرده باشد هر دانشجوی دیگری که dine را فراخوانده leave را فراخواند. معماً: کدی بنویسید که این محدودیت را اعمال نماید.





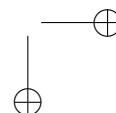
## ۱.۶.۷ راهنمایی مساله سالن غذاخوری

راهنمایی مساله سالن غذاخوری

```
1 eating = 0
2 readyToLeave = 0
3 mutex = Semaphore(1)
4 okToLeave = Semaphore(0)
```

eating و readyToLeave شمارنده‌هایی هستند که بوسیله mutex حفاظت می‌شوند لذا این یک الگوی جدول امتیاز معمول است.

اگر یک دانشجو آماده ترک میز باشد، اما دانشجوی دیگری ممکن است سر میز تنها بماند، او باید روی okToLeave منتظر مانده تا دانشجوی دیگری این وضعیت را تغییر داده و سیگنال دهد.







## ۲.۶.۷ راه حل مساله سالن غذاخوری

اگر این محدودیت‌ها را تحلیل نماییم، متوجه خواهیم شد که تنها یک وضعیت وجود دارد که یک دانشجو باید در آن صبر کند و آن این است که یک دانشجو در حال خوردن غذا است و یک دانشجو تمایل به ترک میز دارد. اما تنها دو راه برای خلاصی از این وضعیت وجود دارد: ممکن است دانشجوی دیگری برای غذا خوردن برسد و یا دانشجویی که غذا می‌خورد غذایش تمام شود.

در هر حالت، دانشجویی که به دانشجوی منتظر سیگنال می‌دهد شماره‌ها را بروزرسانی می‌نماید لذا دانشجوی منتظر نباید مجدداً میوتکس را بگیرد. این، مثال دیگری از الگوی "به خاطر تو این کار را انجام خواهیم داد" است.

راه حل مساله سالن غذاخوری

```

1  getFood()
2
3  mutex.wait()
4  eating++
5  if eating == 2 and readyToLeave == 1:
6      okToLeave.signal()
7      readyToLeave--
8  mutex.signal()
9
10 dine()
11
12 mutex.wait()
13 eating--
14 readyToLeave++
15
16 if eating == 1 and readyToLeave == 1:
17     mutex.signal()
18     okToLeave.wait()
19 elif eating == 0 and readyToLeave == 2:
20     okToLeave.signal()
21     readyToLeave -= 2
22     mutex.signal()
23 else:
24     readyToLeave--
25     mutex.signal()
26
27 leave()
```

زمانیکه دانشجو وارد می‌شود، اگر ببیند که یک دانشجو در حال غذا خوردن است و یک دانشجو منتظر ترک کردن است اجازه می‌دهد که دانشجوی منتظر برود و مقدار readyToLeave را برای او یک واحد کاهش می‌دهد.

پس از صرف غذا، دانشجو سه حالت را بررسی می‌نماید:

- اگر تنها یک دانشجو در حال غذا خوردن سر میز باشد، دانشجویی که قصد ترک دارد باید از میوتکس صرف نظر نموده و منتظر بماند.
- اگر دانشجویی که در حال ترک میز است دریابد که دانشجوی دیگری منتظر اوست، او به آن دانشجوی منتظر سیگنال داده و مقدار شمارنده را برای هر دوی‌شان بروزرسانی می‌نماید.
- در غیر اینصورت، فقط مقدار readyToLeave را یک واحد کاهش داده و میز را ترک می‌نماید.

### ۳.۶.۷ مساله توسعه‌یافته سالن غذاخوری

مساله سالن غذاخوری اگر یک مرحله دیگر به آن بیفزاییم کمی چالشی‌تر می‌شود. همانطوری که دانشجویان برای خوردن غذا می‌آیند `getFood`، `dine` و سپس `leave` را فرا می‌خوانند. پس از فراخوانی `getFood` و پیش از فراخوانی `dine` یک دانشجو در وضعیت "آماده برای خوردن" در نظر گرفته می‌شود. به طور مشابه، پس از فراخوانی `dine` یک دانشجو در وضعیت "آماده برای خروج" در نظر گرفته می‌شود. محدودیت همگام‌سازی مشابهی اعمال می‌گردد: یک دانشجو هرگز به تنهایی سر یک میز نمی‌نشیند. یک دانشجو در صورتی تنها در نظر گرفته می‌شود اگر

- زمانیکه هیچ کس دیگری سر میز نباشد و هیچ کس دیگری آماده غذا خوردن نباشد او `dine` را فراخواند و یا
- هر کس دیگری که `dine` را فراخوانده پیش از اینکه او `dine` را تمام کند `leave` را فراخواند.

معمّاً: کدی بنویسید که این محدودیت‌ها را اعمال نماید.

## ۴.۶.۷ راهنمای مساله توسعه‌یافته سالن غذاخوری

متغیرهایی که در راه‌حل خود بکار برده‌ام در ادامه آمده است:

راهنمای مساله توسعه‌یافته سالن غذاخوری

```
1 readyToEat = 0
2 eating = 0
3 readyToLeave = 0
4 mutex = Semaphore(1)
5 okToSit = Semaphore(0)
6 okToLeave = Semaphore(0)
```

readyToEat, eating و readyToLeave شمارنده‌هایی هستند که بوسیله mutex محافظت

می‌شوند.

اگر یک دانشجو در وضعیتی است که نمی‌تواند ادامه دهد، باید روی okToSit یا okToLeave منتظر

بماند تا دانشجوی دیگری وضعیت را تغییر داده و سیگنال دهد.

همچنین بازای هر نخ از یک متغیر به نام hasMutex استفاده کردم تا با کمک آن بتوانم بررسی نمایم که آیا

آن نخ میوتکس را دارد یا نه.



## ۵.۶.۷ راه حل مساله توسعه یافته سالن غذاخوری

دومرتبه، اگر محدودیت‌ها را تحلیل نماییم، در می‌یابیم که تنها یک وضعیت وجود دارد که یک دانشجوی آماده غذاخوردن باید صبر کند و آن این است که هیچ کسی در حال غذاخوردن نبوده هیچ کس دیگری نیز آماده غذاخوردن نیست. و تنها راه خروج از این وضعیت این است که فرد دیگری که آماده غذاخوردن است برسد.

راه حل مساله توسعه یافته سالن غذاخوری

```

1  getFood()
2
3  mutex.wait()
4  readyToEat++
5  if eating == 0 and readyToEat == 1:
6      mutex.signal()
7      okToSit.wait()
8  elif eating == 0 and readyToEat == 2:
9      okToSit.signal()
10     readyToEat -= 2
11     eating += 2
12     mutex.signal()
13 else:
14     readyToEat--
15     eating++
16     if eating == 2 and readyToLeave == 1:
17         okToLeave.signal()
18         readyToLeave--
19     mutex.signal()
20
21 dine()
22
23 mutex.wait()
24 eating--
25 readyToLeave++
26 if eating == 1 and readyToLeave == 1:
27     mutex.signal()
28     okToLeave.wait()
29 elif eating == 0 and readyToLeave == 2:
30     okToLeave.signal()
31     readyToLeave -= 2
32     mutex.signal()
33 else:
34     readyToLeave--
35     mutex.signal()
36
37 leave()

```



مشابه راه حل قبلی، در این راه حل نیز الگوی "بخاطر تو این کار را انجام خواهم داد" را بکار بردم چنانکه دانشجوی منتظر نباید دو مرتبه میوتکس را بگیرد.

تفاوت اصلی بین این راه حل و راه حل قبلی در این است که اولین دانشجویی که به یک میز خالی می‌رسد باید منتظر بماند و دانشجوی دوم به هر دو اجازه می‌دهد که ادامه یابند. در هر حالت، نمی‌بایست وجود دانشجویان در حال انتظار برای خروج را بررسی کنیم چرا که سر یک میز خالی کسی نیست که بتواند آن را ترک نماید!



## فصل ۸

# همگام‌سازی در پایتون

با استفاده از شبه‌کد، از برخی جزئیات نازیبای همگام‌سازی در دنیای واقعی اجتناب کرده‌ایم. در این فصل، نگاهی به کدهای واقعی همگام‌سازی در پایتون می‌اندازیم و در فصل بعد به کدهای C می‌نگریم. پایتون یک محیط چندنخی منطقاً خوشایند فراهم می‌آورد که با اشیاء سمافور کامل می‌گردد. این محیط چندنخی، نقطه ضعف‌هایی نیز دارد اما چندین کد تمیزکاری در پیوست آ وجود که باعث می‌شود اوضاع کمی بهتر شود.

مثالی ساده در ادامه آمده است:

```
1 from threading_cleanup import *
2
3 class Shared:
4     def __init__(self):
5         self.counter = 0
6
7 def child_code(shared):
8     while True:
9         shared.counter += 1
10        print shared.counter
11        time.sleep(0.5)
12
13 shared = Shared()
14 children = [Thread(child_code, shared) for i in range(2)]
15 for child in children: child.join()
```

خط اول کد تمیزکاری از پیوست آ را اجرا می‌نماید؛ این خط را در مثال‌های بعدی نشان نخواهیم داد. Shared یک نوع شیء است که حاوی متغیرهای اشتراکی خواهد بود. متغیرهای عمومی نیز بین نخ‌ها

مشترک هستند، اما ما هیچ متغیری عمومی را در این مثال‌ها بکار نخواهیم برد. متغیرهایی که به واسطه تعریف شدن داخل یک تابع محلی محسوب می‌شوند باز به این معنی که مختص به یک نخ باشند نیز محلی هستند. کد فرزند یک حلقه بی‌پایان است که مقدار counter را یک واحد افزایش داده، مقدار جدید را چاپ کرده و سپس به مدت ۵۰۰ به خواب می‌رود. نخ والد shared و دو فرزند را ایجاد نموده و سپس منتظر فرزندان می‌ماند تا خاتمه یابند (که در این حالت چنین نخواهد بود).

## ۱.۸ مساله بررسی‌کننده میوتکس

دانشجویان کوشا در همگام‌سازی درخواست یافت که فرزندان بروزرسانی‌های ناهمگامی نسبت به counter اعمال می‌کنند که این کار، امن نیست. اگر این کد را اجرا کنید ممکن است خطاهایی ببینید، اما احتمالاً نخواهید دید. مساله‌ای ناخوشایند درباره خطاهای همگام‌سازی این است که غیر قابل پیش‌بینی هستند، بدین معنی که حتی با تست‌های گسترده نیز ممکن آن خطاها آشکار نکند. برای تشخیص خطاها معمولاً ضروری است که عمل جستجوی خطا را خودکار نماییم. در این حالت، می‌توانیم خطاها را با دنبال کردن مقادیر counter تشخیص دهیم.

```

1 class Shared:
2     def __init__(self, end=10):
3         self.counter = 0
4         self.end = end
5         self.array = [0]* self.end
6
7     def child_code(shared):
8         while True:
9             if shared.counter >= shared.end: break
10            shared.array[shared.counter] += 1
11            shared.counter += 1
12
13 shared = Shared(10)
14 children = [Thread(child_code, shared) for i in range(2)]
15 for child in children: child.join()
16 print shared.array

```

در این مثال، shared حاوی یک لیست است (که به غلط array نامیده شده است) و تعداد دفعاتی که هر مقدار شمارنده استفاده شده است را نگه می‌دارد. با هر اجرای حلقه، فرزندان مقدار counter را بررسی نموده و اگر مقدار آن از end بیشتر شود خاتمه می‌یابند. اگر مقدار از حد مجاز نگذرد، از مقدار counter به عنوان اندیسی برای array استفاده نموده و مدخل متناظر را یک واحد افزایش می‌دهند. سپس مقدار counter را





یک واحد اضافه می نمایند.

اگر هر چیز به درستی عمل کند، هر مدخل آرایه باید دقیقاً یک بار به میزان یک واحد افزایش یابد. زمانیکه فرزندان خاتمه می یابند، والد از join باز می گردد و مقدار array را چاپ می کند. زمانیکه برنامه را اجرا کردم مقدار زیر را گرفتم

[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]

که مایوسانه صحیح است. اگر اندازه آرایه را افزایش دهیم، ممکن است انتظار خطاهای بیشتری را داشته باشیم، اما بررسی نمودن نتیجه نیز مشکل تر می شود.



می‌توانیم چک کردن را با ایجاد یک هیستوگرام از نتایج آرایه به صورت خودکار درآوریم:

```
1 class Histogram(dict):
2     def __init__(self, seq=[]):
3         for item in seq:
4             self[item] = self.get(item, 0) + 1
5
6 print Histogram(shared.array)
```

اکنون زمانیکه برنامه را اجرا کنیم مقدار زیر را دریافت می‌دارم

```
{1: 10}
```

بدین معنی که مقدار ۱ همانطوری که انتظار می‌رفت ۱۰ مرتبه ظاهر شده است. هیچ خطایی تاکنون رخ نداده، اما اگر مقدار end را بزرگتر کنیم، اوضاع جالب‌تر می‌شود:

```
end = 100, {1: 100}
end = 1000, {1: 1000}
end = 10000, {1: 10000}
end = 100000, {1: 27561, 2: 72439}
```

وای! زمانیکه end به اندازه کافی بزرگ باشد که تعویض بسترهای زیادی بین فرزندان وجود داشته باشد، خطاهای همگام‌سازی نمایان می‌شود. در این حالت، مقدار خیلی زیادی خطا دریافت می‌کنیم که نشان می‌دهد برنامه در یک الگوی تکراری افتاده است که نخ‌ها دائماً در ناحیه بحرانی دچار وقفه می‌گردند. این مثال یکی از خطرات خطاهای همگام‌سازی را نشان می‌دهد که این خطاها ممکن است بندرت رخ دهند اما تصادفی نیستند. اگر یک خطا در هر میلیون، یک مرتبه رخ دهد، بدین معنی نیست که یک میلیون بار پشت سر هم اتفاق نیفتد.

معمّاً: کد همگام‌سازی به این برنامه اضافه نمایید که دسترسی انحصاری به متغیرهای اشتراکی را اعمال نماید. می‌توانید کد این بخش را از [greenteapress.com/semaphores/counter.py](https://greenteapress.com/semaphores/counter.py) دانلود کنید.



### ۱.۱.۸ راهنمایی بررسی کننده میوتکس

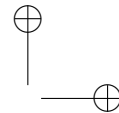
نسخه‌ای از Shared که بکار برده‌ام در ادامه آمده است:

```
1 class Shared:
2     def __init__(self, end=10):
3         self.counter = 0
4         self.end = end
5         self.array = [0]* self.end
6         self.mutex = Semaphore(1)
```

تنها تغییر، سمافوری است که mutex نامگذاری شده است که تعجیبی هم ندارد.







## ۲.۱.۸ راه حل بررسی کننده میوتکس

راه حل در ادامه آمده است:

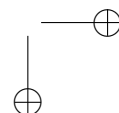
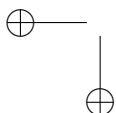
```
1 def child_code(shared):
2     while True:
3         shared.mutex.wait()
4         if shared.counter < shared.end:
5             shared.array[shared.counter] += 1
6             shared.counter += 1
7             shared.mutex.signal()
8         else:
9             shared.mutex.signal()
10            break
```

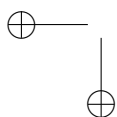
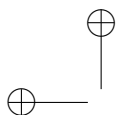
گرچه این مساله، مشکل ترین مساله همگام سازی این کتاب نیست، اما ممکن است شما درک درست جزئیات را کمی مستلزم زیرکی بدانید. بخصوص که فراموشی سیگنال دهی به میوتکس قبل از شکستن حلقه سبب بن بست می گردد.

من این راه حل را با `end = 1000000` اجرا کردم و نتیجه زیر را گرفتم:

```
{1: 1000000}
```

البته، این بدین معنی نیست که راه حل من درست است اما برای شروع خوب است.





## ۲.۸ مساله دستگاه خودکار کوکاکولا

برنامه بعدی، عملیات افزودن/برداشتن کوکاکولا به/از دستگاه خودکار کوکاکولا توسط تولیدکنندگان/مصرف‌کنندگان را شبیه‌سازی می‌نماید.

```

1 import random
2
3 class Shared:
4     def __init__(self, start=5):
5         self.cokes = start
6
7     def consume(shared):
8         shared.cokes -= 1
9         print shared.cokes
10
11    def produce(shared):
12        shared.cokes += 1
13        print shared.cokes
14
15    def loop(shared, f, mu=1):
16        while True:
17            t = random.expovariate(1.0/mu)
18            time.sleep(t)
19            f(shared)
20
21    shared = Shared()
22    fs = [consume]*2 + [produce]*2
23    threads = [Thread(loop, shared, f) for f in fs]
24    for thread in threads: thread.join()

```

ظرفیت ماشین ۱۰ کوکاکولا است و ماشین در ابتدا نیمه‌پر است. لذا متغیر اشتراکی cokes برابر ۵ است. برنامه ۴ نخ ایجاد می‌نماید: دو تولیدکننده و دو مصرف‌کننده. هر دوی آن‌ها تابع loop را اجرا می‌نمایند اما تولیدکننده produce و مصرف‌کننده consume را فرا می‌خواند. این توابع دسترسی ناهمگامی به یک متغیر اشتراکی دارند که این نوع دسترسی در اینجا پذیرفتنی نیست.

در هر اجرای حلقه، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان برای یک مدتی به خواب می‌روند که مقدار آن به صورت تصادفی از یک توزیع نمایی با میانگین  $\mu$  تعیین می‌شود. از آنجایی که دو تولیدکننده و دو مصرف‌کننده وجود دارد، در هر ثانیه به طور میانگین دو کوکاکولا به ماشین افزوده شده و دو کوکاکولا مصرف می‌گردد.

بنابراین به طور متوسط میزان کوکاکولاها ثابت است، اما در کوتاه مدت، این مقدار می‌تواند به صورت فزاینده‌ای متفاوت باشد. اگر برنامه را برای مدتی اجرا کنید، احتمالاً مقدار cokes را زیر صفر و یا بیشتر از ۱۰ خواهید دید. البته که هیچکدام از این دو نباید اتفاق بیفتند.



معمّا: کدی به این برنامه بیفزایید که محدودیت‌های همگام‌سازی زیر را اعمال نماید:

- دسترسی به `cokes` باید به صورت انحصاری باشد.
- اگر مقدار کوکاکولا صفر است، مصرف‌کننده باید تا زمانی که کوکاکولا افزوده شود مسدود گردد.
- اگر مقدار کوکاکولا ۱۰ است، تولیدکننده باید تا زمانی که کوکاکولایی مصرف شود مسدود گردد.

برنامه را می‌توانید از آدرس زیر دانلود کنید: [greenteapress.com/semaphores/coke.py](https://greenteapress.com/semaphores/coke.py)





## ۱.۲.۸ مساله دستگاه خودکار کوکاکولا

متغیرهای اشتراکی که در راه حل خود بکار برده ام به شرح زیر است:

Listing:

```
1 class Shared:
2     def __init__(self, start=5, capacity=10):
3         self.cokes = Semaphore(start)
4         self.slots = Semaphore(capacity-start)
5         self.mutex = Semaphore(1)
```

الان cokes یک سمافور است (بجای عدد صحیح ساده)، که سبب می شود چاپ مقدار آن مستلزم مقداری زیرکی گردد. البته که شما هرگز نباید به مقدار یک سمافور دسترسی داشته باشید و پایتون با روش معمول خود، هیچکدام از شیوه های تقلب که در برخی از پیاده سازی ها را مشاهده می نمایید فراهم نمی کند. اما جالب است بدانید که مقدار یک سمافور در یک ویژگی خصوصی به نام `_Semaphore__value` ذخیره شده است. همچنین، موردی که نمی دانید این است که در واقع پایتون هیچ محدودیتی در دسترسی به ویژگی های خصوصی اعمال نمی نماید. البته که شما هرگز نباید از این امکان استفاده کنید اما فکر کردم دانستن این نکته شاید برایتان جالب باشد.



## ۲.۲.۸ راه حل دستگاه خودکار کوکاکولا

اگر شما بقیه کتاب را خوانده باشید، با چیزی که حداقل به خوبی کد زیر است نباید هیچ مشکلی داشته باشید:

```
1 def consume(shared):
2     shared.cokes.wait()
3     shared.mutex.wait()
4     print shared.cokes.value()
5     shared.mutex.signal()
6     shared.slots.signal()
7
8 def produce(shared):
9     shared.slots.wait()
10    shared.mutex.wait()
11    print shared.cokes._Semaphore__value
12    shared.mutex.signal()
13    shared.cokes.signal()
```

اگر این برنامه را برای مدتی اجرا کنید، باید بتوانید تایید کنید که تعداد کوکاکولاها در ماشین هرگز منفی و یا

بیشتر از ۱۰ نمی‌شود. بنابراین این راه‌حل به نظر درست می‌آید.

لااقل تا الان.



## فصل ۹

# همگام‌سازی در C

در این بخش یک برنامه چندنخی و همگام به زبان C خواهیم نوشت. پیوست **ب** کدهای کاربردی فراهم می‌آورد که من از آن‌ها به منظور دلچسب‌تر نمودن کد C استفاده می‌کنم. مثال‌های این بخش مبتنی بر آن کدهاست.

### ۱.۹ انحصار متقابل

با تعریف ساختاری که حاوی متغیرهای اشتراکی است شروع خواهیم کرد:

```
1 typedef struct {
2     int counter;
3     int end;
4     int *array;
5 } Shared;
6
7 Shared *make_shared (int end)
8 {
9     int i;
10    Shared *shared = check_malloc (sizeof (Shared));
11
12    shared->counter = 0;
13    shared->end = end;
14
15    shared->array = check_malloc (shared->end * sizeof(int));
16    for (i=0; i<shared->end; i++) {
17        shared->array[i] = 0;
18    }
19    return shared;
```

20 }

counter یک متغیر اشتراکی است که بوسیله نخ‌های هم‌رند مقدارش یک واحد یک واحد افزایش می‌یابد تا به مقدار end برسد. از array به منظور بررسی خطاهای همگام‌سازی، بارگیری مقدار counter پس از هر افزایش، استفاده خواهیم کرد.

### ۱.۱.۹ کد والد

کدی که نخ والد به منظور ایجاد نخ‌ها و سپس انتظار برای اتمام آن‌ها بکار می‌برد در ادامه آمده است:

```

1 int main ()
2 {
3     int i;
4     pthread_t child[NUM_CHILDREN];
5
6     Shared *shared = make_shared (100000);
7
8     for (i=0; i<NUM_CHILDREN; i++) {
9         child[i] = make_thread (entry, shared);
10    }
11
12    for (i=0; i<NUM_CHILDREN; i++) {
13        join_thread (child[i]);
14    }
15
16    check_array (shared);
17    return 0;
18 }
```

حلقه اول نخ‌های فرزند را ایجاد می‌نماید؛ حلقه دوم منتظر می‌شود تا آن‌ها کارشان را تمام کنند. زمانیکه کار آخرین فرزند پایان یابد، نخ والد check\_array را به منظور بررسی خطاها فراخوانی می‌نماید. make\_thread و join\_thread در پیوست [ب](#) تعریف شده‌اند.

### ۲.۱.۹ کد فرزند

کدی که توسط هر کدام از فرزندان اجرا می‌شود در ادامه آمده است:

```

1 void child_code (Shared *shared)
2 {
3     while (1) {
4         if (shared->counter >= shared->end) {
```



```
5     return;  
6     }  
7     shared->array[shared->counter]++;  
8     shared->counter++;  
9     }  
10 }
```

در هر اجرای حلقه، نخ‌های فرزند از counter به عنوان اندیس array استفاده نموده و عنصر متناظر را یک واحد افزایش می‌دهد. سپس مقدار counter را یک واحد افزایش داده و اتمام کار را بررسی می‌کند.

### ۳.۱.۹ خطاهای همگام‌سازی

اگر هر چیز به درستی عمل همایید، هر عنصر array باید یک واحد افزایش یابد. لذا به منظور بررسی خطاها، تنها تعداد عناصری را که نیستند 1 می‌شماریم.

```
1 void check_array (Shared *shared)  
2 {  
3     int i, errors=0;  
4  
5     for (i=0; i<shared->end; i++) {  
6         if (shared->array[i] != 1) errors++;  
7     }  
8     printf ("%d errors.\n", errors);  
9 }
```

این برنامه را (بهمراه کدهای تمیزکاری) می‌توانید از آدرس زیر دانلود نمایید:

[greenteapress.com/semaphores/counter.c](http://greenteapress.com/semaphores/counter.c)

اگر برنامه را کامپایل و اجرا نمایید، خروجی برنامه باید مشابه زیر باشد:

Starting child at counter 0

10000

20000

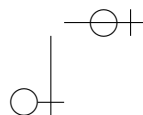
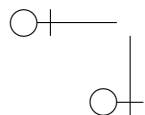
30000

40000

50000

60000

70000





80000

90000

Child done.

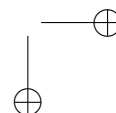
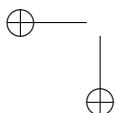
Starting child at counter 100000

Child done.

Checking...

0 errors.

البته که تعامل میان فرزندان بسته به جزئیات سیستم عامل و همچنین دیگر برنامه‌های در حال اجرا روی کامپیوتر دارد. در مثالی که دیدید، پیش از اینکه نخ‌های دیگری آغاز به کار نمایند یک نخ، از 0 تا end حلقه را به طور کامل و به تنهایی طی می‌کند لذا تعجبی ندارد که هیچ خطای همگام‌سازی وجود نداشته باشد. اما همانطور که end بزرگتر می‌شود، تعویض بسترهای بیشتری بین فرزندان وجود دارد. در سیستم من، خطاها زمانی شروع شد که end به ۱۰۰۰۰۰۰۰۰ رسید. معنای سمافورها را به منظور اعمال دسترسی انحصاری به متغیرهای اشتراکی بکار برید و برنامه را دومرتبه اجرا نمایید تا نشان دهید که خطایی وجود ندارد.





## ۴.۱.۹ راهنمایی انحصار متقابل

نسخه‌ای از Shared که در راه‌حل بکار برده‌ام، در زیر آمده است:

Listing:

```

1 typedef struct {
2     int counter;
3     int end;
4     int *array;
5     Semaphore *mutex;
6 } Shared;
7
8 Shared *make_shared (int end)
9 {
10     int i;
11     Shared *shared = check_malloc (sizeof (Shared));
12
13     shared->counter = 0;
14     shared->end = end;
15
16     shared->array = check_malloc (shared->end * sizeof(int));
17     for (i=0; i<shared->end; i++) {
18         shared->array[i] = 0;
19     }
20     shared->mutex = make_semaphore(1);
21     return shared;
22 }
```

خط ۵ متغیر mutex را به عنوان یک سمافور اعلان می‌نماید و خط ۲۰ مقدر اولیه 1 را به آن اختصاص

می‌دهد.



## ۵.۱.۹ راه حل انحصار متقابل

نسخه همگام‌سازی شده کد فرزند در ادامه آمده است:

```
1 void child_code (Shared *shared)
2 {
3     while (1) {
4         sem_wait(shared->mutex);
5         if (shared->counter >= shared->end) {
6             sem_signal(shared->mutex);
7             return;
8         }
9
10        shared->array[shared->counter]++;
11        shared->counter++;
12        sem_signal(shared->mutex);
13    }
14 }
```

هیچ نکته شگفت‌انگیزی در اینجا وجود ندارد؛ تنها پیچیدگی مساله این است که به یاد داشته باشید که پیش از دستور `return` میوتکس را آزاد نمایید.

کد این راه‌حل را می‌توانید از آدرس زیر دانلود نمایید. [greenteapress.com/semaphores/counter\\_mutex.c](https://greenteapress.com/semaphores/counter_mutex.c)



## ۲.۹ سمافورهای خودتان را بسازید

رایج‌ترین ابزارهای همگام‌سازی برای برنامه‌هایی از Pthreads استفاده می‌نمایند میوتکس‌ها و متغیرهای شرطی هستند و نه سمافورها. برای شرحی از این ابزارها، کتاب «برنامه‌نویسی با نخ‌های POSIX»<sup>۱</sup> اثر Butenhof را پیشنهاد می‌کنم.

معملاً: میوتکس‌ها و متغیرهای شرطی را مطالعه نموده و سپس با استفاده از آن‌ها یک پیاده‌سازی از سمافورها بنویسید.

ممکن است بخواهید از کد کاربردی زیر را در راه‌حل خود استفاده کنید. این بسته‌بندی من از میوتکس‌های Pthreads است.

```

1 typedef pthread_mutex_t Mutex;
2
3 Mutex *make_mutex ()
4 {
5     Mutex *mutex = check_malloc (sizeof(Mutex));
6     int n = pthread_mutex_init (mutex, NULL);
7     if (n != 0) perror_exit ("make_lock failed");
8     return mutex;
9 }
10
11 void mutex_lock (Mutex *mutex)
12 {
13     int n = pthread_mutex_lock (mutex);
14     if (n != 0) perror_exit ("lock failed");
15 }
16
17 void mutex_unlock (Mutex *mutex)
18 {
19     int n = pthread_mutex_unlock (mutex);
20     if (n != 0) perror_exit ("unlock failed");
21 }
```

<sup>1</sup>Programming with POSIX Threads

و بسته‌بندی من از متغیرهای شرطی Pthreads:

```
1 typedef pthread_cond_t Cond;
2
3 Cond *make_cond ()
4 {
5     Cond *cond = check_malloc (sizeof(Cond));
6     int n = pthread_cond_init (cond, NULL);
7     if (n != 0) perror_exit ("make_cond failed");
8     return cond;
9 }
10
11 void cond_wait (Cond *cond, Mutex *mutex)
12 {
13     int n = pthread_cond_wait (cond, mutex);
14     if (n != 0) perror_exit ("cond_wait failed");
15 }
16
17 void cond_signal (Cond *cond)
18 {
19     int n = pthread_cond_signal (cond);
20     if (n != 0) perror_exit ("cond_signal failed");
21 }
```

## ۱.۲.۹ راهنمایی پیاده‌سازی سمافور

تعریف ساختار سمافورهایم در ادامه آمده است:

```
1 typedef struct {
2     int value, wakeups;
3     Mutex *mutex;
4     Cond *cond;
5 } Semaphore;
```

مقدار سمافور در `value` قرار می‌گیرد. `wakeups` تعداد سیگنال‌های در حال انتظار را می‌شمارد که در واقع تعداد نخ‌هایی است که بیدار شده‌اند اما هنوز اجرایشان ادامه نیافته است. دلیل وجود `wakeups` برای برآورده شدن خصوصیت ۳ سمافورها است که در بخش ۳.۴ شرح داده شد.

`mutex` دسترسی انحصاری به `value` و `wakeups` را فراهم می‌آورد؛ اگر نخ‌ها روی سمافور منتظر باشند در واقع روی متغیر شرطی `cond` منتظر می‌مانند.

کد مقداردهی اولیه این ساختار در ادامه آمده است:

```
1 Semaphore *make_semaphore (int value)
2 {
3     Semaphore *semaphore = check_malloc (sizeof(Semaphore));
4     semaphore->value = value;
5     semaphore->wakeups = 0;
6     semaphore->mutex = make_mutex ();
7     semaphore->cond = make_cond ();
8     return semaphore;
9 }
```



۲۸۰

همگام سازی در C

---





## ۲.۲.۹ پیاده‌سازی سمافور

پیاده‌سازی من از سمافورها با کمک میوتکس‌ها و متغیرهای شرطی Pthread در ادامه آمده است:

```
1 void sem_wait (Semaphore *semaphore)
2 {
3     mutex_lock (semaphore->mutex);
4     semaphore->value--;
5
6     if (semaphore->value < 0) {
7         do {
8             cond_wait (semaphore->cond, semaphore->mutex);
9             } while (semaphore->wakeups < 1);
10        semaphore->wakeups--;
11    }
12    mutex_unlock (semaphore->mutex);
13 }
14
15 void sem_signal (Semaphore *semaphore)
16 {
17     mutex_lock (semaphore->mutex);
18     semaphore->value++;
19
20     if (semaphore->value <= 0) {
21         semaphore->wakeups++;
22         cond_signal (semaphore->cond);
23     }
24     mutex_unlock (semaphore->mutex);
25 }
```

غالب این کد سر راست است؛ تنهای چیزی که ممکن است کمی پیچیدگی داشته باشد حلقه `do...while`.

در خط ۷ است. این کاربردی غیر معمول از یک متغیر شرطی است، اما در اینجا ضروری است.

معنّا: چرا نمی‌توانیم حلقه `do...while` را با یک حلقه `while` جایگزین نماییم؟





### ۳.۲.۹ جزئیات پیاده‌سازی سمافور

با یک حلقه `while`، این پیاده‌سازی خصوصیت ۳ را نخواهد داشت. ممکن است یک نخ سیگنال داده و در ادامه اجرا سیگنال خودش را بگیرد.

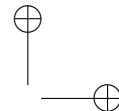
با حلقه `do...while`، زمانیکه یک نخ سیگنال می‌دهد تضمین می‌شود که یکی از نخ‌های در حال انتظار، سیگنال را دریافت نماید حتی اگر نخ دیگری پیش از ادامه یافتن یکی از نخ‌های منتظر، میوتکس را در خط ۳ بگیرد.<sup>۲</sup>

---

<sup>۲</sup> «»» HEAD البته این تضمین تقریبی است. چرا که یک بیداری نادرست در زمانی مناسب می‌تواند این تضمین را خدشه‌دار کند. برای توضیحات بیشتر لینک [http://en.wikipedia.org/wiki/Spurious\\_wakeup](http://en.wikipedia.org/wiki/Spurious_wakeup) را مطالعه نمایید.

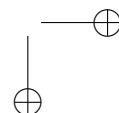
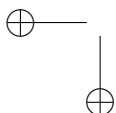


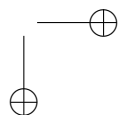
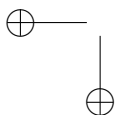


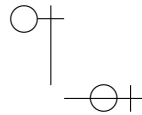
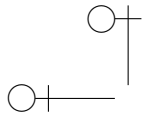


## کتاب نامه

- [1] Gregory R. Andrews. *Concurrent Programming: Principles and Practice*. Addison-Wesley, 1991.
- [2] Edsger Dijkstra. Cooperating sequential processes. 1965. Reprinted in *Programming Languages*, F. Genuys, ed., Academic Press, New York 1968.
- [3] Armando R. Gingras. Dining philosophers revisited. *ACM SIGCSE Bulletin*, 22(3):21–24, 28, September 1990.
- [4] Max Hailperin. *Operating Systems and Middleware: Supporting Controlled Interaction*. Thompson Course Technology, 2006.
- [5] Joseph M. Morris. A starvation-free solution to the mutual exclusion problem. *Information Processing Letters*, 8:76–80, February 1979.
- [6] David L. Parnas. On a solution to the cigarette smokers' problem without conditional statements. *Communications of the ACM*, 18:181–183, March 1975.
- [7] Suhas Patil. Limitations and capabilities of Dijkstra's semaphore primitives for coordination among processes. Technical report, MIT, 1971.
- [8] Kenneth A. Reek. Design patterns for semaphores. In *ACM SIGCSE*, 2004.
- [9] William Stallings. *Operating Systems: Internals and Design Principles*. Prentice Hall, fourth edition, 2000.
- [10] Andrew S. Tanenbaum. *Modern Operating Systems*. Prentice Hall, second edition, 2001.







## پیوست آ

# تمیزکاری نخ‌های پایتون

در مقایسه با بسیاری از محیط‌های چندنخی، نخ‌های پایتون خیلی خوب هستند، اما چند تا ویژگی وجود دارد که مرا آزار می‌دهد. خوشبختانه، با یک کد کوچک تمیزکاری می‌توان این مساله را برطرف نمود.

## ۱. آ. متدهای سمافور

در ابتدا متدهای سمافورهای پایتون `acquire` و `release` نامیده می‌شد که انتخابی کاملاً معقول است، اما پس از چندین سال کار روی این کتاب، به `signal` و `wait` عادت کرده‌ام. خوشبختانه می‌توانم با تعریف زیرکلاس نسخه سمافور موجود در ماژول `threading` شیوه خودم را داشته باشم.

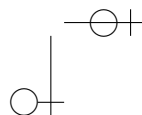
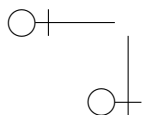
تغییر نام سمافور

```
1 import threading
2
3 class Semaphore(threading._Semaphore):
4     wait = threading._Semaphore.acquire
5     signal = threading._Semaphore.release
```

زمانیکه این کلاس تعریف شده باشد، می‌توانید با استفاده از نحو این کتاب به ایجاد و دستکاری سمافورها بپردازید.

مثال سمافور

```
1 mutex = Semaphore()
2 mutex.wait()
3 mutex.signal()
```



## ۲.آ ایجاد نخ

ویژگی دیگری از ماژول `threading` که مرا می‌رنجاند، واسطه<sup>۱</sup> ایجاد و شروع نخ‌ها است. شیوه معمول، متغیرهای کلمه‌کلیدی و دو گام نیاز دارد.

مثال نخ (شیوه معمول)

```
1 import threading
2
3 def function(x, y, z):
4     print x, y, z
5
6 thread = threading.Thread(target=function, args=[1, 2, 3])
7 thread.start()
```

در این مثال، ایجاد نخ هیچ اثر فوری ندارد. اما زمانیکه `start` را فراخوانی می‌کنید، نخ جدید، تابع هدف را با آرگومان‌های داده شده اجرا می‌نماید. این شیوه در زمانیکه شما باید کاری را روی نخ پیش از شروع آن انجام دهید عالی است، ولی من تقریباً هرگز چنین نمی‌کنم. همچنین گمان می‌کنم که آرگومان‌های `target` و `args` نازیبا است.

خوشبختانه هر دوی این مسائل را می‌توانیم با چهار خط کد حل نماییم.

کلاس نخ تمیزکاری شده

```
1 class Thread(threading.Thread):
2     def __init__(self, t, *args):
3         threading.Thread.__init__(self, target=t, args=args)
4         self.start()
```

اکنون می‌توانیم نخ‌ها را با یک واسطه زیباتر ایجاد نماییم و آن‌ها به طور خودکار شروع می‌شوند.

مثال نخ (به روش من)

```
1 thread = Thread(function, 1, 2, 3)
```

این روش وامدار شیوه‌ای است که می‌پسندم و آن ایجاد چندین نخ با یک ادراک لیست است.

مثال چند نخ

```
1 threads = [Thread(function, i, i, i) for i in range(10)]
```

<sup>1</sup>interface





## آ.۳ کنترل وقفه‌های صفحه کلید

یکی دیگر از مشکلات کلاس `threading` این است که `Thread.join` با کلیدهای `Ctrl-C` که سیگنال `SIGINT` را تولید می‌نماید و پایتون آن را به یک `KeyboardInterrupt` ترجمه می‌نماید- دچار وقفه نمی‌شود.



لذا اگر کد زیر را بنویسید:

برنامه توقف‌ناپذیر

```

1 import threading, time
2
3 class Thread(threading.Thread):
4     def __init__(self, t, *args):
5         threading.Thread.__init__(self, target=t, args=args)
6         self.start()
7
8 def parent_code():
9     child = Thread(child_code, 10)
10    child.join()
11
12 def child_code(n=10):
13     for i in range(n):
14         print i
15         time.sleep(1)
16
17 parent_code()

```

درخواهید یافت که کد فوق با Ctrl-C یا SIGINT دچار وقفه نمی‌شود.<sup>۲</sup> راه‌حل من برای این مساله از os.wait و os.fork استفاده می‌کند لذا این راه‌حل تنها روی سیستم‌های UNIX و Macintosh کار می‌کند. شیوه کار بدین صورت است: پیش از ایجاد نخ‌های جدید، برنامه تابع watcher را که یک فرآیند جدید را ایجاد می‌کند فراخوانی می‌نماید. فرآیند جدید برمی‌گردد و مابقی برنامه را اجرا می‌کند. فرآیند اصلی منتظر تکمیل فرآیند فرزند می‌ماند، از این رو نام آن watcher است.

The watcher

```

1 import threading, time, os, signal, sys
2
3 class Thread(threading.Thread):
4     def __init__(self, t, *args):
5         threading.Thread.__init__(self, target=t, args=args)
6         self.start()
7
8 def parent_code():
9     child = Thread(child_code, 10)
10    child.join()
11
12 def child_code(n=10):
13     for i in range(n):
14         print i

```

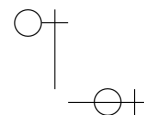
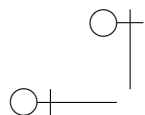
<sup>۲</sup> در زمان این نگارش، این باگ به شماره ۱۱۶۷۹۳۰ گزارش شده است ولی هنوز باز بوده و وضعیت آن نامشخص است.

```
15         time.sleep(1)
16
17     def watcher():
18         child = os.fork()
19         if child == 0: return
20         try:
21             os.wait()
22         except KeyboardInterrupt:
23             print 'KeyboardInterrupt'
24             os.kill(child, signal.SIGKILL)
25         sys.exit()
26
27     watcher()
28     parent_code()
```

اگر این نسخه از برنامه را اجرا کنید، باید بتوانید با استفاده از Ctrl-C آن را دچار وقفه نمایید. مطمئن نیستیم ولی گمان می‌کنم که ارسال SIGINT به فرآیند watcher تضمین شده است لذا این یکی از آن مسائلی است که نخ‌های والد و فرآیند باید با آن برخورد نمایند.

تمامی این کد را در فایلی تحت نام `threading_cleanup.py` قرار داده‌ام که شما می‌توانید آن را از [greenteapress.com/semaphores/threading\\_cleanup.py](http://greenteapress.com/semaphores/threading_cleanup.py) دانلود نمایید. مثال‌های فصل ۸ با درک این نکته که این کد پیش از کد مثال، اجرا می‌گردد ارائه شده است.





## پیوست ب

# تمیزکاری نخ‌های POSIX

در این بخش، چند کد کاربردی که از آن به منظور خوشایندتر نمودن چند نخ‌ی در C استفاده می‌کنم را ارائه می‌دهم. مثال‌های بخش ۹ بر پایه این کد هستند.

احتمالاً محبوب‌ترین استاندارد چندنخی که در C استفاده می‌شود POSIX Threads یا به اختصار Pthreads است. استاندارد POSIX یک مدل نخ و یک واسطه برای ایجاد و کنترل نخ‌ها تعریف می‌نماید. غالب نسخه‌های UNIX یک پیاده‌سازی از Pthreads را فراهم می‌نمایند.

## ب.۱ کامپایل کد Pthreads

استفاده از Pthreads شبیه استفاده از غالب کتاب‌های C است:

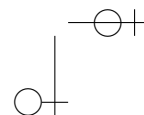
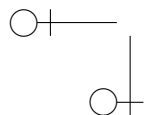
- در ابتدای برنامه‌تان باید فایل‌های سرآمد<sup>۱</sup> را وارد نمایید.
- کدی می‌نویسید که توابع تعریف‌شده توسط Pthreads را فراخوانی می‌نماید.
- با کامپایل برنامه، آن را به کتابخانه Pthreads متصل می‌نمایید.

من در مثال‌هایم از سرآمدهای زیر استفاده می‌کنم:

سرآمدها

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
```

<sup>1</sup>headers files



```

3 #include <pthread.h>
4 #include <semaphore.h>

```

دوتای اول سرآمدهای استاندارد هستند؛ سرآمد سوم برای Pthreads و چهارمی هم برای سمافورها. به منظور کامپایل با کتابخانه Pthreads در gcc، می‌توانید از گزینه -l در خط فرمان استفاده نمایید:

```

1 gcc -g -O2 -o array array.c -lpthread

```

دستور فوق array.c را با اطلاعات اشکال‌زدایی و بهینه‌سازی کامپایل نموده، به کتابخانه Pthreads متصل کرده و فایل اجرایی با نام array ایجاد می‌نماید.

اگر شما به زبانی مانند پایتون که مکانیزم مدیریت استثناء را فراهم می‌آورد عادت دارید، احتمالاً زبان‌هایی نظیر C که برای بررسی شرایط خطا نیاز به تصریح دارند برای شما آزار دهنده خواهند بود. اغلب برای کمتر کردن این مشکل، درون توابع خودم، فراخوانی توابع کتابخانه‌ای را همراه با کد بررسی خطای آن‌ها، مجتمع می‌نمایم. برای نمونه، نسخه malloc که مقدار خروجی را بررسی می‌نماید در ادامه آمده است.

```

1 void *check_malloc(int size)
2 {
3     void *p = malloc (size);
4     if (p == NULL) {
5         perror ("malloc failed");
6         exit (-1);
7     }
8     return p;
9 }

```

## ب.۲ ایجاد نخ‌ها

با آن توابع Pthread که می‌خواهم از آن‌ها استفاده کنم کاری مشابه انجام داده‌ام: در ادامه بسته‌بندی خود را از pthread\_create مشاهده می‌نمایید.

```

1 pthread_t make_thread(void *(*entry)(void *), Shared *shared)
2 {
3     int n;
4     pthread_t thread;
5
6     n = pthread_create (&thread, NULL, entry, (void *)shared);
7     if (n != 0) {
8         perror ("pthread_create failed");
9         exit (-1);
10    }

```

```

11 return thread;
12 }

```

مقدار بازگشتی `pthread_create` از نوع `pthread_t` است که می‌توانید آن را به صورت دستگیره‌ای<sup>۲</sup> برای نخ جدید در نظر بگیرید. نیازی نیست نگران پیاده‌سازی `pthread_t` باشید اما باید بدانید که از لحاظ معنایی یک نوع ابتدایی است<sup>۳</sup>. بدین معنی است که می‌توانید یک دستگیره نخ را به عنوان یک مقدار تغییرناپذیر در نظر بگیرید، لذا می‌توانید بدون مشکلی مقدار آن کپی یا ارسال نمایید. در اینجا بدین سبب به این نکته اشاره نمودم که این مطلب برای سمافورها صحیح نمی‌باشد و تا دقیقه‌ای دیگر به آن می‌پردازم.

اگر `pthread_create` موفقیت‌آمیز باشد، مقدار 0 را بر می‌گرداند و تابع من دستگیره نخ جدید را بر می‌گرداند. اگر خطایی رخ دهد، `pthread_create` یک کد خطا بر می‌گرداند و تابع من پیام خطا را چاپ نموده و خارج می‌شود.

پارامترهای `pthread_create` مقداری توضیح می‌طلبد. با پارامتر دوم، `Shared`، شروع می‌کنیم که یک ساختار تعریف شده توسط کاربر است که محتوی متغیرهای اشتراکی است. دستور `typedef` زیر یک نوع جدید ایجاد می‌نماید.

```

1 typedef struct {
2     int counter;
3 } Shared;

```

در این جا، تنها متغیر اشتراکی `counter` است. تابع `make_shared` فضای لازم برای ساختار `Shared` را تخصیص داده و محتوای آن را مقداردهی اولیه می‌نماید.

```

1 Shared *make_shared ()
2 {
3     int i;
4     Shared *shared = check_malloc (sizeof (Shared));
5     shared->counter = 0;
6     return shared;
7 }

```

اکنون یک داده ساختار اشتراکی داریم، اجازه دهید به `pthread_create` برگردیم. اولین پارامتر اشاره‌گری به یک تابع است که اشاره‌گر `void` را دریافت نموده و یک اشاره‌گر `void` بر می‌گرداند. اگر نحو تعریف این نوع برای دیدگانتان ناآشنا است، بدانید که تنها نیستید. در هر حال، هدف این پارامتر، تعیین تابعی است که با اجرای نخ جدید، شروع خواهد شد. به طور قراردادی این تابع `entry` نامگذاری می‌شود.

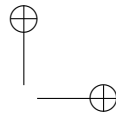
```

1 void *entry (void *arg)

```

<sup>۳</sup> مثل یک عدد صحیح، برای نمونه این عدد صحیح همان چیزی است که `pthread_t` در تمام پیاده‌سازی‌هایی که از آن می‌دانم است.

<sup>۲</sup>handle



```
2 {  
3     Shared *shared = (Shared *) arg;  
4     child_code (shared);  
5     pthread_exit (NULL);  
6 }
```

پارامتر `entry` باید به صورت یک اشاره‌گر `void` تعریف شود، اما در این برنامه می‌دانیم که واقعاً اشاره‌گری به یک ساختار `Shared` است لذا می‌توانیم مطابق آن تبدیل نوع را انجام داده و سپس آن را به `child_code` ارسال کنیم و این کد کار اصلی را انجام می‌دهد.

زمانیکه `child_code` باز می‌گردد، `pthread_exit` را فراخوانی می‌نماییم و این تابع می‌تواند برای ارسال یک مقدار به هر نخ (معمولاً نخ والد) که به این نخ ملحق می‌شود، بکار رود. در این جا، نخ فرزند کار خاصی انجام نمی‌دهد، لذا مقدار `NULL` ارسال می‌کنیم.

### ب.۳ الحاق نخ‌ها

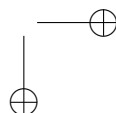
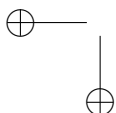
زمانیکه یک نخ بخواهد منتظر اتمام نخ دیگری بشود، تابع `pthread_join` را صدا می‌زند. در ادامه بسته‌بندی `pthread_join` آمده است:

```
1 void join_thread (pthread_t thread)  
2 {  
3     int ret = pthread_join (thread, NULL);  
4     if (ret == -1) {  
5         perror ("pthread_join failed");  
6         exit (-1);  
7     }  
8 }
```

پارامتر، دستگیره نخ است که می‌خواهید منتظر آن بمانید. تمامی کاری این تابع انجام می‌دهد فراخوانی `pthread_join` و بررسی نتیجه است.

### ب.۴ سمافورها

استاندارد POSIX یک واسط برای سمافورها تعریف می‌نماید. این واسط بخشی از Pthreads نیست، اما غالب سیستم‌های مبتنی برای یونیکس که Pthreads را پیاده‌سازی می‌نمایند سمافورها را نیز فراهم می‌آورند. اگر با Pthreads مواجه شدید که سمافور ندارد خودتان می‌توانید سمافور خودتان را ایجاد نمایید؛ ر.ک. بخش ۲.۹.





سمافورهای POSIX از نوع `sem_t` هستند. نیازی به اطلاع از پیاده‌سازی این نوع ندارید، اما باید بدانید که از لحاظ معنایی تنها یک ساختار است به این معنی که اگر آن را به یک متغیر نسبت دهید یک کپی از محتوای یک ساختار ایجاد نموده‌اید. کپی کردن یک سمافور تقریباً ایده بدی است. در POSIX، رفتار کپی تعریف نشده است. در برنامه‌هایم، از حروف بزرگ برای اشاره به انواعی استفاده می‌کنم که معنای ساختاری دارند و همیشه آن را به اشاره‌گرها دستکاری می‌کنم. خوشبختانه براحتی می‌توان یک بسته‌بندی برای `sem_t` ایجاد نمود که رفتاری مشابه یک شیء محض داشته باشد. در ادامه `typedef` و بسته‌بندی ایجاد و مقداردهی اولیه سمافورها آمده است:

```

1 typedef sem_t Semaphore;
2
3 Semaphore *make_semaphore (int n)
4 {
5     Semaphore *sem = check_malloc (sizeof(Semaphore));
6     int ret = sem_init(sem, 0, n);
7     if (ret == -1) {
8         perror ("sem_init failed");
9         exit (-1);
10    }
11    return sem;
12 }
```

تابع `make_semaphore` مقدار اولیه سمافور را به عنوان پارامتر می‌گیرد. فضای لازم برای یک `Semaphore` را تخصیص داده و آن را مقداردهی اولیه می‌نماید و اشاره‌گری به `Semaphore` بر می‌گرداند. تابع `sem_init` فرم قدیمی گزارش خطای یونیکس را استفاده می‌کند که در صورت بروز خطا مقدار -1 را بر می‌گرداند. یک چیز جالب در رابطه با این توابع بسته‌بندی این است که لازم نیست به خاطر بسپاریم که هر تابع چه سبک گزارش خطا را بکار می‌برد.

با این تعاریف، می‌توانیم کدی به زبان C بنویسیم که تقریباً شبیه یک زبان برنامه‌نویسی واقعی است:

```

1 Semaphore *mutex = make_semaphore(1);
2 sem_wait(mutex);
3 sem_post(mutex);
```

سمافورهای POSIX بجای `signal` از `post` استفاده می‌کنند و این آزاددهنده است اما می‌توانیم آن را

برطرف کنیم:

```

1 int sem_signal(Semaphore *sem)
2 {
3     return sem_post(sem);
4 }
```

تمیزکاری تا همین حد کافی است.