

به نام خدا

درس شبکه‌های کامپیوتری

نیم سال دوم سال تحصیلی ۱۴۰۳-۱۴۰۴

استاد درس: دکتر امیرمهدی صادق زاده



دانشکده مهندسی کامپیوتر

تمرین اول

مهلت تحویل : ساعت ۲۳:۵۹ جمعه ۲۲ فروردین ۱۴۰۴

نکات و قواعد

۱. سوالات خود را زیر پیام مربوطه در Quera مطرح نمایید
۲. لطفا مطابق تاکید پیشین، حتما آداب نامه‌ی انجام تمرین های درسی را رعایت نمایید. در صورت تخطی از آیین نامه، در بهترین حالت مجبور به حذف درس خواهید شد.
۳. همه‌ی فایل های مربوط به پاسخ خود را در یک فایل فشرده و با نام CN_HW1_FirstName_LastName ذخیره کرده و ارسال نمایید.

پرسش	سوال ۱	سوال ۲	سوال ۳	سوال ۴	سوال ۵	سوال ۶	سوال ۷	سوال ۸	جمع نمرات
بارم	۱۰	۱۴	۸	۱۰	۸	۱۲	۸	۳۰	۱۰۰

سوال ۱ (۱۰ نمره)

شبکه‌های دسترسی آخرین بخش از زیرساخت شبکه هستند که دستگاه‌های کاربران نهایی (مانند خانه‌ها، کسب‌وکارها و دستگاه‌های موبایل) را به اینترنت گسترده متصل می‌کنند. این شبکه‌ها نقش حیاتی در تعیین کیفیت خدمات (QoS) تجربه‌شده توسط کاربران دارند. شبکه‌های دسترسی می‌توانند با استفاده از فناوری‌های مختلفی مانند DSL، کابل، فیبر نوری تا خانه (FTTH) و بی‌سیم (Wi-Fi، 4G/5G) پیاده‌سازی شوند.

الف) در مورد فناوری‌های شبکه دسترسی تحقیق کنید و در مورد فناوری‌های DSL (خط اشتراک دیجیتال)، کابل (HFC - فیبر-کواکسیال ترکیبی)، FTTH (فیبر نوری تا خانه) و بی‌سیم (Wi-Fi و 4G/5G) موارد زیر را مقایسه و تحلیل کنید.

- **پهنای باند:** حداکثر نرخ داده قابل دستیابی.
- **تأخیر:** تأخیرهای معمول تجربه‌شده توسط کاربران.
- **مقیاس‌پذیری:** توانایی پشتیبانی از تعداد کاربران در حال رشد.
- **هزینه:** هزینه‌های زیرساخت و نگهداری.
- **پوشش:** گستره جغرافیایی و محدودیت‌ها.

(به صورت جدول مقایسه کنید)

ب) یک شهر کوچک با جمعیت ۱۰,۰۰۰ نفر قصد دارد زیرساخت شبکه دسترسی خود را ارتقا دهد. این شهر دارای ویژگی‌های زیر است:

- **چیدمان جغرافیایی:** ترکیبی از مناطق شهری و روستایی، با برخی مناطق دورافتاده.
- **تراکم کاربران:** بالا در مناطق شهری، پایین در مناطق روستایی.
- **کاربردها:** کاربران به اینترنت پرسرعت برای استریمینگ، بازی‌های آنلاین و کار از راه دور نیاز دارند.

بر اساس تحلیل بخش (الف)، مناسب‌ترین فناوری شبکه دسترسی (یا ترکیبی از فناوری‌ها) را برای این شهر پیشنهاد دهید. پیشنهاد خود را با استدلال دقیق توجیه کنید.

ج) در مورد نقش اجزای کلیدی معماری شبکه دسترسی مانند DSLAM، CMTS، OLT در ارائه خدمات اینترنت به کاربران نهایی توضیح دهید. هم چنین توضیح دهید اگر یکی از این اجزا خراب شود (مانند DSLAM در شبکه DSL)، چگونه کاربران متصل به آن شبکه تحت تأثیر قرار می‌گیرند؟ راه‌حلی برای کاهش چنین خرابی‌ها پیشنهاد دهید.

د) یک شبکه دسترسی برای یک پردیس دانشگاهی طراحی کنید که از موارد زیر پشتیبانی کند:

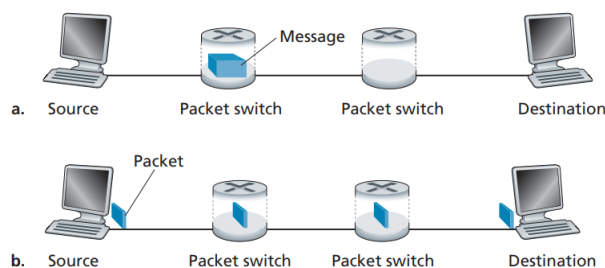
○ مناطق پرتراکم: کلاس‌ها، کتابخانه‌ها و خوابگاه‌ها.

○ مناطق کم‌تراکم: پارکینگ‌ها، زمین‌های ورزشی و امکانات تحقیقاتی دورافتاده.

طراحی شما باید شامل ترکیبی از فناوری‌های سیمی و بی‌سیم و توجیه برای استفاده از هر کدام از فناوری‌ها باشد.

سوال ۲ (۱۴ نمره)

در شبکه‌های مدرن مبتنی بر سوئیچینگ بسته‌ای^۱، مانند اینترنت، میزبان مبدأ، پیام‌های لایه کاربردی بزرگ را (مانند تصاویر با وضوح بالا، جریان‌های ویدیویی یا مجموعه داده‌های بزرگ) به بسته‌های کوچک‌تر تقسیم می‌کند تا انتقال آن‌ها به صورت کارآمد انجام شود. میزبان مقصد سپس این بسته‌ها را مجدداً به هم متصل می‌کند تا پیام اصلی را بازسازی کند. این فرآیند، که به عنوان تقسیم پیام شناخته می‌شود، برای بهینه‌سازی عملکرد شبکه بسیار مهم است. شکل زیر انتقال پیام را از مبدأ به مقصد، هم با تقسیم و هم بدون تقسیم، نشان می‌دهد. فرض کنید یک پیام به اندازه 10^6 بیت نیاز است از یک میزبان مبدأ به یک میزبان مقصد در شبکه‌ای با توپولوژی نشان داده‌شده در شکل ارسال شود. پهنای باند هر لینک در شبکه ۵ مگابیت بر ثانیه است. تأخیرهای انتشار، صف‌بندی و پردازش را ناچیز در نظر بگیرید، مگر اینکه خلاف آن ذکر شود.



انتقال پیام: (a) بدون تقسیم پیام; (b) با تقسیم پیام

^۱ Packet Switching

الف) انتقال بدون تقسیم پیام:

- اگر پیام به صورت یک واحد یک پارچه و بدون تقسیم ارسال شود، چه مدت زمان لازم است تا پیام از میزبان مبدأ به اولین سوئیچ بسته‌ای منتقل شود؟
- با توجه به اینکه هر سوئیچ از سوئیچینگ بسته‌ای ذخیره و ارسال استفاده می‌کند، کل تأخیر انتها به انتها برای انتقال پیام از میزبان مبدأ به میزبان مقصد چقدر است؟
- اگر شبکه به جای تعداد سوئیچ‌های نشان داده شده در شکل N سوئیچ داشته باشد، کل تأخیر چگونه تغییر می‌کند؟ یک فرمول کلی برای تأخیر کل بر حسب N به دست آورید.

ب) انتقال با تقسیم پیام:

- فرض کنید پیام به ۱۰۰ بسته تقسیم شده است و هر بسته ۱۰,۰۰۰ بیت طول دارد. چه مدت زمان لازم است تا اولین بسته از میزبان مبدأ به اولین سوئیچ منتقل شود؟
- در حالی که اولین بسته از اولین سوئیچ به دومین سوئیچ منتقل می‌شود، دومین بسته به طور همزمان از میزبان مبدأ به اولین سوئیچ ارسال می‌شود. دومین بسته در چه زمانی به طور کامل در اولین سوئیچ دریافت می‌شود؟
- اگر شبکه N سوئیچ داشته باشد، یک عبارت کلی برای زمانی که بسته K ام به طور کامل در اولین سوئیچ دریافت می‌شود، به دست آورید.

ج) تحلیل مقایسه‌ای:

- کل زمان لازم برای انتقال فایل از میزبان مبدأ به میزبان مقصد را در حالتی که از تقسیم پیام استفاده می‌شود، محاسبه کنید. این نتیجه را با پاسخ بخش (الف) مقایسه کنید و تفاوت‌ها را توضیح دهید.
- اگر اندازه بسته‌ها ثابت نباشد (مثلاً برخی بسته‌ها ۸,۰۰۰ بیت و برخی دیگر ۱۲,۰۰۰ بیت باشند)، نتایج چگونه تغییر می‌کند؟ یک تحلیل دقیق ارائه دهید.

د) ازدحام شبکه و بافرینگ:

- فرض کنید یکی از لینک‌های شبکه دچار ازدحام شود و پهنای باند مؤثر آن به ۲ مگابیت بر ثانیه کاهش یابد. این موضوع چگونه تأخیر انتها به انتها را در هر دو حالت تقسیم و بدون تقسیم پیام تحت تأثیر قرار می‌دهد؟

- اگر سوئیچ‌ها اندازه بافر محدودی داشته باشند، این موضوع چگونه انتقال بسته‌های تقسیم‌شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد؟ در مورد احتمال از دست رفتن بسته‌ها و پیامدهای آن بحث کنید.

ه) مدیریت خطا و قابلیت اطمینان:

- تقسیم پیام سربار اضافی برای تشخیص و تصحیح خطا ایجاد می‌کند. اگر هر بسته به یک هدر ۱۰۰ بیتی برای بررسی خطا نیاز داشته باشد، این موضوع چگونه زمان انتقال کل را در هر دو حالت تقسیم و بدون تقسیم پیام تحت تأثیر قرار می‌دهد؟
- در مورد اینکه تقسیم پیام چگونه قابلیت اطمینان شبکه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بحث کنید. چه مکانیسم‌هایی (مانند ارسال مجدد یا تصحیح خطای پیش‌رو) ممکن است برای مدیریت خطا در بسته‌های تقسیم‌شده استفاده شوند؟

و) شرایط پویای شبکه:

- فرض کنید شبکه به دلیل تغییرات در ترافیک، تغییرات پویایی در پهنای باند تجربه کند. به عنوان مثال، پهنای باند یکی از لینک‌ها بین ۲ مگابیت بر ثانیه و ۵ مگابیت بر ثانیه نوسان می‌کند. این تغییرات چگونه تأخیر انتها به انتها را در انتقال‌های تقسیم‌شده و یک‌پارچه تحت تأثیر قرار می‌دهد؟
- تقسیم‌بندی تطبیقی (مانند تنظیم اندازه بسته‌ها بر اساس شرایط شبکه) چگونه می‌تواند عملکرد را در چنین سناریوهایی بهبود بخشد؟

سوال ۳ (۸ نمره)

فرض کنید در مرورگر وب خود روی یک لینک کلیک می‌کنید تا یک صفحه وب را دریافت کنید. آدرس IP مربوط به این URL در حافظه کش (cache) میزبان محلی شما ذخیره نشده است، بنابراین برای به دست آوردن آدرس IP، نیاز به یک جستجوی DNS است. فرض کنید که ۴ سرور DNS بررسی می‌شوند تا میزبان شما آدرس IP را دریافت کند. زمان‌های رفت و برگشت (RTT) برای این بررسی‌ها به ترتیب عبارتند از:

- $RTT_1 = 50$ میلی‌ثانیه

- $RTT_2 = 100$ میلی‌ثانیه

- $RTT_3 = 150$ میلی‌ثانیه

- $RTT_4 = 200$ میلی‌ثانیه

همچنین فرض کنید که صفحه وب مرتبط با این لینک شامل سه شیء است: یک فایل HTML کوچک و دو تصویر کوچک. زمان رفت و برگشت (RTT) بین میزبان محلی و سرور حاوی این شیء‌ها را $RTT_0 = 300$ میلی‌ثانیه در نظر بگیرید. اگر زمان انتقال همه شیء‌ها را صفر فرض کنیم، در شرایط زیر چقدر زمان از لحظه کلیک روی لینک تا دریافت همه شیء‌ها توسط کلاینت طول می‌کشد؟

الف) استفاده از HTTP غیرپایا (Non-persistent) بدون اتصالات موازی TCP

ب) استفاده از HTTP غیرپایا با مرورگری که برای ۳ اتصال موازی پیکربندی شده است

ج) استفاده از HTTP پایا (Persistent)

سوال ۴ (۱۰ نمره)

یک لینک ۵۰ متری را در نظر بگیرید که در آن یک فرستنده می‌تواند با نرخ ۵۰۰ بیت بر ثانیه در هر دو جهت داده ارسال کند. فرض کنید که بسته‌های حاوی داده اندازه‌های متغیر دارند: ۵۰٪ از بسته‌ها ۱۰۰,۰۰۰ بیت و ۵۰٪ دیگر ۳۰۰,۰۰۰ بیت طول دارند. بسته‌های حاوی فقط کنترل (مثلاً ACK یا handshaking) ۵۰۰ بیت طول دارند. فرض کنید که N اتصال موازی هر کدام $\frac{1}{N}$ از پهنای باند لینک را دریافت می‌کنند.

حال پروتکل HTTP را در نظر بگیرید و فرض کنید که هر شیء دانلود شده اندازه متغیر دارد: ۵۰٪ از شیء‌ها ۱۰۰ کیلوبایت و ۵۰٪ دیگر ۳۰۰ کیلوبایت طول دارند. شیء اولیه دانلود شده شامل ۲۰ شیء ارجاع شده از همان فرستنده است. علاوه بر این، فرض کنید که یک تأخیر پردازش^۲ به اندازه ۰.۱ ثانیه در سرور برای هر درخواست و یک تأخیر صف‌بندی^۳ به اندازه ۰.۰۵ ثانیه در روتر برای هر بسته وجود دارد.

الف) آیا دانلود موازی از طریق نمونه‌های موازی HTTP غیر پایا (non-persistent) در این حالت منطقی است؟ (محاسبات انجام شود)

ب) حال HTTP پایا (persistent) را در نظر بگیرید. آیا انتظار دارید که بهبود قابل توجهی نسبت به حالت غیر پایا وجود داشته باشد؟ پاسخ خود را توجیه و توضیح دهید.

^۲ Processing delay

^۳ Queuing delay

سوال ۵ (۸ نمره)

شما در حال تحلیل عملکرد سیستم DNS برای یک کلاینت هستید که می‌خواهد به دامنه `www.example.com` دسترسی پیدا کند. فرآیند `resolve` شدن DNS شامل چندین سرور DNS است، و سرور DNS محلی کلاینت هیچ ورودی کش‌شده‌ای برای `www.example.com` ندارد. سلسله مراتب DNS برای این دامنه به شرح زیر است:

۱. سرور DNS ریشه (Root DNS Server): دامنه سطح بالای `.com` را `resolve` می‌کند.
۲. سرور DNS سطح بالا (TLD DNS Server): سرور معتبر (authoritative) برای `example.com` را `resolve` می‌کند.
۳. سرور DNS معتبر (Authoritative DNS Server): آدرس IP مربوط به `www.example.com` را `resolve` می‌کند.

فرض کنید:

- زمان رفت و برگشت (RTT) بین کلاینت و سرور DNS محلی ۱۰ میلی‌ثانیه است.
 - RTT بین سرور DNS محلی و سرور DNS ریشه ۵۰ میلی‌ثانیه است.
 - RTT بین سرور DNS محلی و سرور DNS سطح بالا (TLD) ۴۰ میلی‌ثانیه است.
 - RTT بین سرور DNS محلی و سرور DNS معتبر ۳۰ میلی‌ثانیه است.
 - سرور DNS محلی پاسخ‌های DNS را به مدت ۶۰ ثانیه کش می‌کند.
 - کلاینت ۱۰ درخواست متوالی به `www.example.com` در مدت ۲ دقیقه ارسال می‌کند.
- الف) زمان کل `resolve` شدن DNS را برای اولین درخواست به `www.example.com` محاسبه کنید. زمان را به بخش‌های زیر تقسیم کنید:

- زمان `resolve` شدن سرور DNS ریشه.
- زمان `resolve` شدن سرور DNS سطح بالا (TLD).
- زمان `resolve` شدن سرور DNS معتبر.
- زمان کل `resolve` شدن DNS.

ب) اگر سرور DNS محلی آدرس `IP resolve` شده را کش کند، برای درخواست‌های بعدی چقدر زمان ذخیره می‌شود؟
 زمان کل `resolve` شدن DNS را برای همه ۱۰ درخواست در مدت ۲ دقیقه محاسبه کنید.

- ج) فرض کنید زمان TTL (زمان زنده ماندن) رکورد DNS در سرور DNS محلی به ۳۰ ثانیه کاهش یابد. زمان کل resolve شدن DNS را برای همه ۱۰ درخواست در مدت ۲ دقیقه مجدداً محاسبه کنید.
- د) دو راهکار برای کاهش زمان resolve شدن DNS پیشنهاد دهید. انتخاب‌های خود را توجیه کنید.

سوال ۶ (۱۲ نمره)

فرض کنید می‌خواهید یک فایل با حجم $F = 40$ گیگابایت را بین N همتا (peer) توزیع کنید. سرور آپلود (ارسال) با نرخ $u_s = 20$ مگابایت بر ثانیه انجام می‌دهد، و هر همتا نرخ دانلود $d_i = 2$ مگابایت بر ثانیه و نرخ آپلود u دارد. برای مقادیر $N = 10, 100, 1000$ و $u = 300$ کیلوبیت بر ثانیه، ۷۰۰ کیلوبیت بر ثانیه، و ۲ مگابایت بر ثانیه می‌باشد. علاوه بر این، محدودیت‌های زیر را در نظر بگیرید:

- خروج همتاها (Peer Churn): همتاها ممکن است پس از دریافت فایل از شبکه خارج شوند. فرض کنید که ۲۰٪ از همتاها هر ۵ دقیقه شبکه را ترک می‌کنند.
- نرخ‌های آپلود ناهمگون: به جای نرخ آپلود ثابت u ، فرض کنید که نرخ‌های آپلود همتاها از یک توزیع نرمال با میانگین u و انحراف معیار $0.2u$ پیروی می‌کنند.
- نوسانات پهنای باند: نرخ آپلود سرور u_s به مرور زمان نوسان دارد و از یک الگوی سینوسی با دوره‌ی ۱۰ دقیقه و دامنه‌ی $\pm 10\%$ از u_s پیروی می‌کند.
- تأخیر شبکه: تأخیر بین سرور و همتاها ۵۰ میلی‌ثانیه و تأخیر بین همتاها ۱۰۰ میلی‌ثانیه است.

- الف) حداقل زمان توزیع را برای هر ترکیب از N و u در دو حالت کلاینت-سرور و نظیر به نظیر (P2P) محاسبه کنید و محدودیت‌های بالا را در نظر بگیرید. (یک جدول تهیه کنید که نتایج را برای همه ترکیب‌های N و u خلاصه کند).
- ب) تأثیر خروج همتاها، نرخ‌های آپلود ناهمگون، نوسانات پهنای باند، و تأخیر شبکه را بر زمان توزیع تحلیل کنید.
- ج) راهکارهایی پیشنهاد دهید تا اثرات این محدودیت‌ها کاهش یابد و زمان توزیع بهبود پیدا کند.

سوال ۷ (۸ نمره)

یک کلاینت DASH وظیفه دارد کیفیت ویدئو را براساس شرایط شبکه تنظیم کند. در هر لحظه‌ی t ، این کلاینت اطلاعات زیر را در اختیار دارد:

- پهنای باند در دسترس B_t بر حسب Mbps (مگابیت بر ثانیه).
- سطح بافر فعلی L_t بر حسب ثانیه
- بیت‌ریت آخرین قطعه‌ی دانلود شده R_t بر حسب Mbps
- زمان دانلود آخرین قطعه D_t بر حسب ثانیه

کیفیت‌های در دسترس ویدئو به شرح زیر است: ۱Mbps، ۲Mbps، ۴Mbps و ۸Mbps.

الگوریتم تطبیق بیت‌ریت کلاینت به این صورت است:

- اگر $L_t < 5$ ثانیه باشد، بیت‌ریت را به پایین‌ترین مقدار (۱Mbps) کاهش بده.
- اگر $L_t > 10$ ثانیه باشد و $B_t \geq 2R_t$ ، به بیت‌ریت بالاتر برو.
- در غیر این صورت، همان بیت‌ریت قبلی را حفظ کن.

(الف) تحلیل پایداری الگوریتم:

توضیح دهید که آیا این الگوریتم می‌تواند از توقف پخش (rebuffering) جلوگیری کند یا خیر، در حالی که پهنای باند شبکه بین ۱Mbps و ۱۰Mbps هر ۵ ثانیه تغییر می‌کند.

(ب) تصمیم‌گیری غیربهبینه:

یک سناریو را نشان دهید که در آن این الگوریتم با وجود این که پهنای باند کافی وجود دارد، بیت‌ریت مناسبی انتخاب نمی‌کند. توضیح دهید که چرا این اتفاق می‌افتد و یک روش بهبود برای رفع این مشکل پیشنهاد دهید.

(ج) مشکل نوسان بافر (Buffer Oscillation):

برخی از کلاینت‌های DASH دچار نوسان بافر می‌شوند، به این معنی که سطح بافر بین مقادیر خیلی پایین و خیلی بالا تغییر می‌کند و باعث ناپایداری کیفیت ویدئو می‌شود. توضیح دهید که چرا این الگوریتم ممکن است باعث نوسان بافر شود.

سوال ۸ (تمرین عملی) (۳۰ نمره)

معرفی سامانه کلاس مجازی

در این تمرین قصد داریم یک سامانه کلاس مجازی ساده پیاده سازی کنیم. این سامانه یک محیط مجازی برای کلاس درس است که در آن دانشجویان (کلاینت‌ها) و استاد (سرور) می‌توانند با یکدیگر تعامل داشته باشند. این سامانه از پروتکل‌های شبکه مانند SMTP (برای ارسال ایمیل) و FTP (برای انتقال فایل) استفاده می‌کند. همچنین، برای ارتباطات بلادرنگ مانند چت، از سوکت‌های TCP/IP بهره می‌برد که یک مکانیزم پایه‌ای در شبکه‌های کامپیوتری است.

اجزای سامانه

این سامانه از دو بخش اصلی تشکیل شده است:

۱. سرور (استاد):

- سرور به عنوان مرکز کنترل عمل می‌کند و تمام ارتباطات را مدیریت می‌کند.
- استاد می‌تواند یک پیام برای همه دانشجویان ارسال کند. (broadcast)
- استاد میتواند فایل با یک اسم مشخص را از سرور FTP دانلود کند.
- استاد میتواند لیست فایل‌های موجود در سرور FTP را مشاهده کند.
- استاد پس از ورود هر دانشجو به کلاس یک ID به دانشجو اختصاص می‌دهد و پیام ورود دانشجو به کلاس را برای همه ارسال می‌کند.

۲. کلاینت‌ها (دانشجویان):

- دانشجویان میتوانند وارد کلاس مجازی شوند و در کلاس مجازی برای استاد پیام ارسال کنند. استاد پیام‌های ارسال شده از سمت دانشجویان را برای همه دانشجوها ارسال می‌کند.
- دانشجویان می‌توانند برای استاد ایمیل ارسال کنند.
- دانشجویان می‌توانند تکالیف (فایل‌ها) خود را در سرور FTP آپلود کنند.
- دانشجویان می‌توانند فایل‌های ارسال شده خود را از سرور FTP دانلود کنند. برای این کار باید ابتدا در قالب یک پیام از استاد اجازه بگیرند و منتظر بمانند تا استاد پاسخ دهد. در صورتی که استاد تایید داد می‌توانند فایل را دانلود کنند.

برای سرور ایمیل از کتابخانه `smtplib` و برای مدیریت فایل ها از `ftplib` در پایتون استفاده شده است. برای راه اندازی سرور `ftp` می توانید روی ماشین خود یک سرور `FTP` راه اندازی کنید یا از سرور `ftp` آنلاین مشخص شده در کد استفاده کنید.

برخی جزییات سامانه (از قبیل دستورات موجود برای کلاینت و سرور) در داخل کد اولیه `server.py` و `client.py` مشخص شده است. این کد فقط یک ساختار اولیه ارائه می دهد و تکمیل آن بر عهده شما می باشد.

در این تمرین نوشتن **گزارش اجباری** می باشد و لازم است تا حداقل ۳ کلاینت به سرور متصل شوند و از تبادل پیام در کلاس مجازی و سایر قابلیت‌های سامانه نظیر ارسال ایمیل، دانلود و آپلود فایل گزارش کاملی از خروجی برنامه نوشته شود.