

به نام خدا



دانشگاه تهران

دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر

سیستم‌های نهفته‌ی بی‌درنگ

تمرین احراز هویت مبتنی بر حرکت

(Motion-based Authentication)

با هدف آشنایی با سیستم عامل اندروید و استفاده از سنسورهای تلفن همراه

اساتید:

دکتر مهدی کارگهی، دکتر مهدی مدرسی

نیمسال دوم ۱۴۰۲-۱۴۰۳

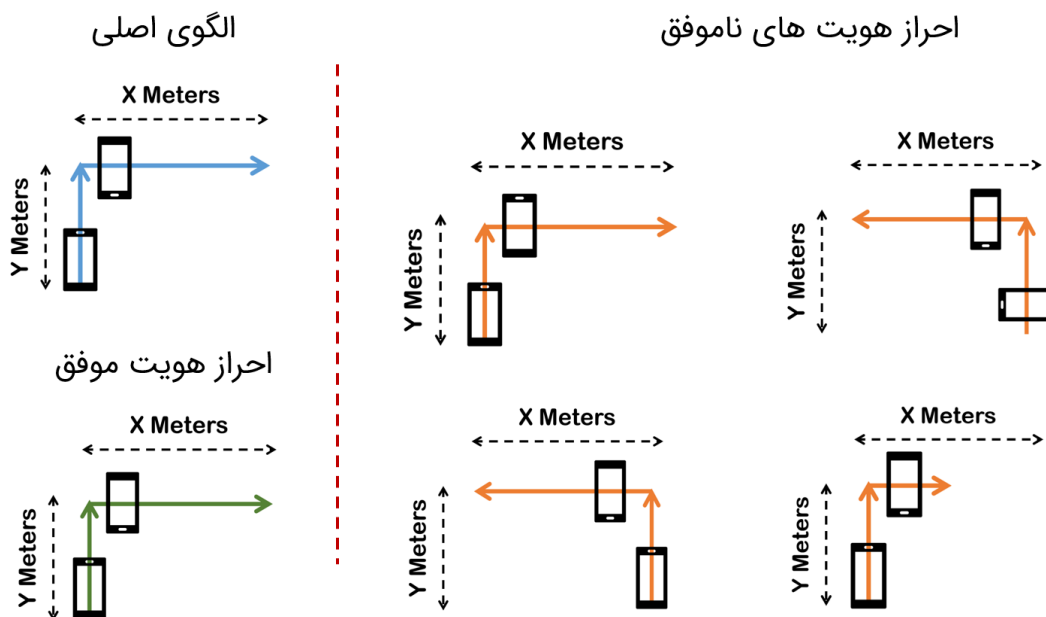
۱- مقدمه

امروزه تلفن های همراه هوشمند پیشرفت چشم گیری کرده اند و دارای قدرت پردازشی بالا، تنوعی از سنسورهای مختلف با دقت بالا و پشتیبانی از شبکه های ارتباطی هستند. بعلاوه، تمام این امکانات در ابعاد پایین و وزن کم در اختیار کاربران قرار گرفته اند. سؤال اساسی اینجاست که چطور می توان از این امکانات که همیشه همراه است، استفاده نمود؟ آیا می توان از یک تلفن همراه در کاربردهای صنعتی و تجاری به جای سامانه نهفته مرسوم استفاده نمود؟ چه محدودیتهایی برای این کار وجود دارد؟ به دنبال پاسخی برای سوالات فوق هستیم.

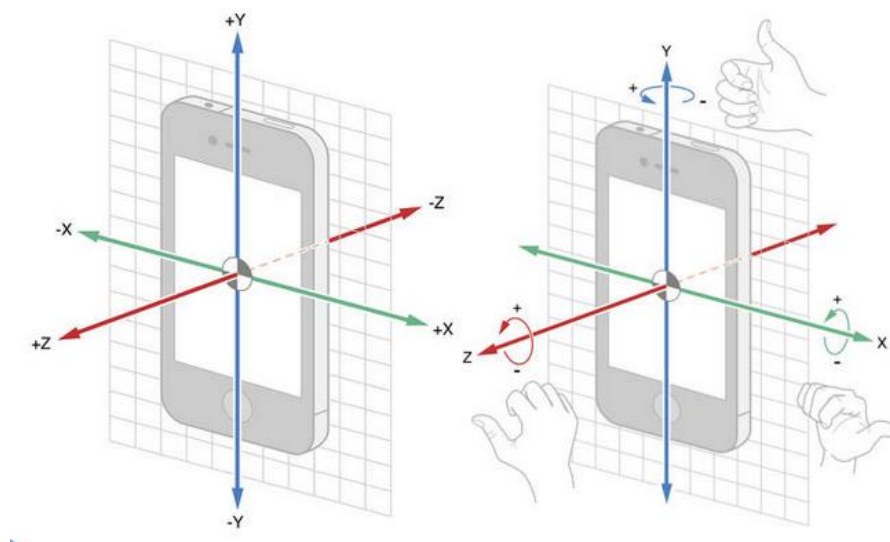
در این تمرین قرار است با سیستم عامل اندروید و امکاناتی که جهت تعامل با سنسورهای موبایل (این [لینک](#) را مطالعه کنید) در اختیار ما قرار می دهد آشنا شویم. همچنین با برخی محدودیت هایی که سیستم عامل جهت استفاده از سنسورها و ارتباط با سخت افزار لایه پایین ایجاد می کند، آشنا خواهیم شد.

۲- شرح تمرین

در این تمرین هدف این است که با استفاده از سنسورهای شتابسنج (accelerometer) وژیروسکوپ (gyroscope) در تلفن هوشمند با سیستم عامل اندروید، یک سیستم احراز هویت بر پایه حرکت تلفن هوشمند بسازیم. شکل ۱ صورت کلی این تمرین را نشان می دهد که در ادامه به بیان جزئیات خواهیم پرداخت.



شکل ۱ - احراز هویت بر پایه حرکت دستگاه



شکل ۲ - جهت بردارهای ژيروسکوپ و شتابسنج بر روی میز

برنامه اندرویدی شامل دو مرحله اصلی است: در مرحله ذخیره‌سازی یک الگوی حرکتی را از کاربر دریافت و ذخیره کرده و در مرحله احراز هویت حرکت دستگاه را با الگوی ذخیره شده مقایسه می‌کند (بررسی تطابق یا عدم تطابق). همان‌طور که در شکل بالا مشخص شده است، برای شروع دستگاه را بر روی میز (سطح دو بعدی) قرار می‌دهیم. ملاک الگوی احراز هویت، حرکت در چهار جهت اصلی مرتبط با محورهای X و Y (بالا، پایین، چپ، راست) به همراه مسافت تقریبی طی شده در هر جهت خواهد بود. ضمن این که قبل از حرکت در هر جهت، دستگاه روی میز می‌تواند در چهار زاویه مختلف نسبت به جهت مثبت محور Y شکل ۲ (معادل چرخش دستگاه حول محور Z) به اندازه‌های 0° ، 90° ، 180° و 270° درجه قرار داشته باشد که در روند احراز باید در نظر گرفته شود.

به عبارتی، حرکات دستگاه بر روی سطح دو بعدی دارای مشخصات زیر است:

۱. دستگاه می‌تواند با یکی از زوایای ذکر شده در یکی از جهت‌های مشخص شده حرکت کند.
۲. پارامتر بعدی برای که در احراز هویت موثر است مسافت طی شده دستگاه است.
۳. در نتیجه برای تعیین الگوی احراز هویت، باید هر سه پارامتر در نظر گرفته شود. (به عنوان مثال دستگاه با چرخش 90° درجه حول محور Z در جهت راست محور X حدوداً به اندازه مسافت A جابجا شده است).
۴. می‌توانید به جای مسافت مختصات شروع و پایان هر حرکت را ملاک احراز هویت قرار دهید. (دقت کنید که محیط حرکت دو بعدی است و مکان اولیه قرارگیری دستگاه $(0,0)$ در نظر گرفته می‌شود).
۵. نکته‌ی حائز اهمیت این است که اگر الگو مثلاً شامل سه حرکت باشد، این حرکات باید در قالب موجودیت حرکت به همراه مشخصات ذکر شده ذخیره شوند و در مرحله‌ی اقدام به احراز هویت این سه حرکت مورد بررسی و مقایسه قرار بگیرند.
۶. نیاز است در انجام دوباره‌ی هر یک از مراحل (ثبت الگو و اقدام به احراز هویت) تاریخچه‌ی مورد قبلی پاک شده و حرکات جدید ثبت شوند.
۷. دکمه‌های مورد نیاز در برنامه: دکمه شروع فرآیند الگوبرداری، دکمه پایان فرآیند الگوبرداری، دکمه شروع فرآیند احراز هویت، دکمه پایان فرآیند احراز هویت برای عملیات تطبیق و گزارش نتیجه.

۳- پیاده‌سازی

برای پیاده‌سازی این تمرین ابتدا نیاز است تا [فریمورک Qt](#) را بر روی سیستم خود نصب کنید، راهنمای نصب این فریمورک در تمرین اول در اختیار شما قرار گرفته است. پس از نصب لازم است تا [کتابخانه‌های مربوط به استفاده از سنسور ها](#) در این فریمورک را مطالعه کنید.

همچنین برای پیاده‌سازی رابط کاربری برنامه، این فریمورک دو ابزار در اختیار ما قرار می‌دهد؛ [Qt Widgets](#) برای پیاده‌سازی رابط کاربری با performance بالا به زبان CPP و [Qt Quick](#) برای پیاده‌سازی رابط‌های کاربری غنی (از جهت گرافیک) با استفاده از زبان‌های QML و JavaScript پیشنهاد می‌شود که برای پیاده‌سازی رابط کاربری از Qt Quick استفاده گردد.

۳-۱ محاسبه‌ی مسافت

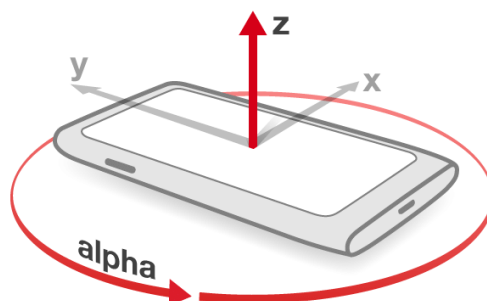
سنسور شتاب‌سنج در هر سیکل، شتاب حرکت در سه بعد را در اختیار شما قرار می‌دهد. برای پیاده‌سازی این تمرین نیاز است تا شتاب با استفاده از شتاب در محورهای X و Y به محاسبه‌ی مسافت طی شده در هر حرکت بپردازید که این امر به وسیله‌ی معادلات سینماتیکی حاکم بر دستگاه امکان پذیر است.

$$\Delta x = \frac{1}{2} a \Delta t$$

در این معادله Δt نشان دهنده زمان بین هر دو سیکل است. شما می‌توانید نرخ نمونه برداری از سنسور را با واحد هرتز تنظیم کنید بنابراین تغییرات زمان برابر است با ۱ تقسیم بر نرخ نمونه برداری. برای مثال اگر از نرخ نمونه برداری ۱۰۰ هرتز استفاده کنیم، این مقدار حدود $\frac{1}{100}$ ثانیه می‌باشد. شتاب a توسط شتاب‌سنج به دست می‌آید^۱.

۳-۲ محاسبه‌ی زاویه دستگاه

مورد بعدی که باید به آن توجه کنیم؛ تغییر زاویه دستگاه در صفحه نسبت به زاویه قرارگیری دستگاه در محور Z ژيروسکوپ است. به شکل زیر توجه کنید.



شکل ۳ - تغییر زاویه دستگاه در محور Z

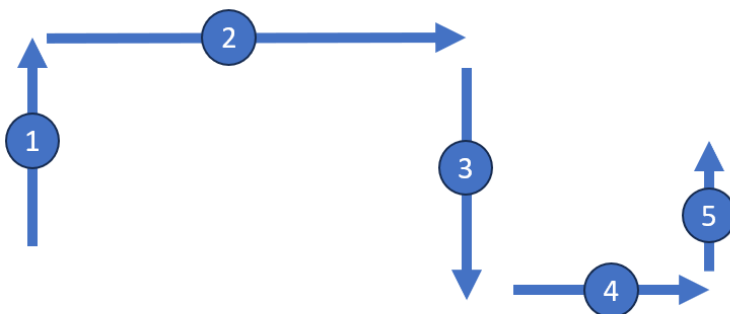
^۱ ممکن است برای کاهش نویز سَمپل‌برداری به این نیاز داشته باشید که بر روی داده‌ها یک فیلتر را اعمال کنید که می‌توانید به این [لینک](#) رجوع کنید و از دقیقه ۲۳ به بعد را مشاهده کنید. همچنین توضیحات تکمیلی در این [لینک](#) نیز برای پیاده‌سازی این فیلتر موجود می‌باشد.

در این شکل می‌بینیم که دستگاه، در محور Z ژيروسکوپ (که عمود به صفحه می‌باشد) می‌تواند دوران داشته باشد. ژيروسکوپ سرعت زاویه‌ای را به صورت رادیان بر ثانیه به عنوان خروجی می‌دهد. با نمونه برداری از سنسور ژيروسکوپ در محور Z می‌توان پی برد که بین دو نقطه در زمان چقدر سرعت زاویه‌ای داشته‌ایم (معادل تغییر سرعت زاویه‌ای). به این صورت که با ضرب کردن سرعت زاویه‌ای در زمان، مقدار زاویه طی شده توسط دستگاه را محاسبه می‌شود و به این ترتیب می‌توان متوجه شد که دستگاه در حین حرکت در کدام یک از چهار حالت ذکر شده قرار دارد (چهار زاویه 0° ، 90° ، -90° ، 180° نسبت به جهت مثبت محور Y در شکل ۲). در صورت نیاز به کاهش نویز سمپل برداری به پاورقی شماره ۱ مراجعه کنید.

۳-۳ بدست آوردن جهت حرکت

در ادامه باید جهت حرکت دستگاه در محورهای X و Y را بدست آوریم (چپ، راست، بالا، پایین). برای این منظور می‌بایست با آنالیز مسافت های طی شده در هر سیکل، جهت‌هایی که دستگاه در آنها حرکت کرده است را بدست بیاوریم. به عنوان مثال، اگر دستگاه به ترتیب به سمت های بالا، چپ، پایین و بالا حرکت کرده است، با آنالیز جابجایی‌های بدست آمده باید به ۴ بردار با جهت‌های مذکور دست پیدا کنیم. بردار حرکت را می‌توانید با ذخیره‌ی نقطه‌ی آغاز و پایان حرکت در آن جهت خاص مشخص نمایید.

۳-۴ ذخیره سازی حرکت دستگاه



شکل ۴ - نمونه‌ای از مسیر حرکت دستگاه

در انتها باید حرکت دستگاه را به تعداد تغییر جهت های حرکت دستگاه تقسیم کرده و ذخیره کنید. به عنوان مثال، دستگاه مسیری مطابق با شکل ۳ را طی کرده و در هر بخش از حرکت، به ترتیب دارای زوایای زیر بوده است:

- ۱- 0° درجه
- ۲- 90° درجه
- ۳- 0° درجه
- ۴- 180° درجه
- ۵- -90° درجه

داده‌ای که در انتها از کل مسیر حرکت ذخیره می‌کنید (مثلا در قالب یک کد JSON)، به شکل زیر خواهد بود:

```
{
  "path": [
    {
      "start": {"x": 0, "y": 0},
      "end": {"x": 0, "y": 0},
      "direction": "top",
      "angle": 0
    },
    {
      "start": {"x": 0, "y": 0},
      "end": {"x": 0, "y": 0},
      "direction": "right",
      "angle": 90
    },
    {
      "start": {"x": 0, "y": 0},
      "end": {"x": 0, "y": 0},
      "direction": "bottom",
      "angle": 0
    },
    {
      "start": {"x": 0, "y": 0},
      "end": {"x": 0, "y": 0},
      "direction": "right",
      "angle": 180
    },
    {
      "start": {"x": 0, "y": 0},
      "end": {"x": 0, "y": 0},
      "direction": "top",
      "angle": -90
    }
  ]
}
```

دقت کنید که با تغییر زاویه ی دستگاه، محوری که جهت ها در آنها معنی پیدا می‌کنند متفاوت خواهد شد. به عنوان مثال، در حرکت شماره ی ۲، دستگاه ۹۰ درجه چرخش داشته، بنابراین جهت حرکت که راست است، از سمت راست محور X به سمت بالا (مثبت) محور Y تغییر پیدا می‌کند. در نتیجه لازم است تا با توجه به زاویه ی دستگاه جهت درست را تشخیص دهید (تمامی مختصات ها در کد JOSN فوق مقدار صفر دارند اما مقادیر واقعی متفاوت است).

۳-۵ تغییرات شتاب در طول حرکت

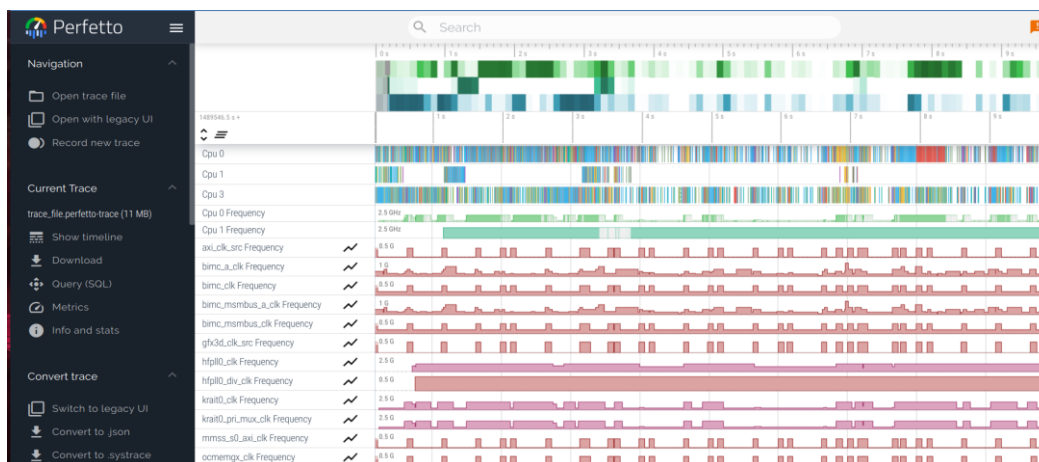
هنگامی که دستگاه در جهتی حرکت می‌کند، در ابتدای حرکت شتاب مثبت و در انتها شتابی منفی خواهد داشت، باید توجه شود که شتاب منفی انتهای حرکت مادامی که سرعت منفی نشده و همچنین مقدار جابجایی از مبدا تا آن نقطه رو به افزایش است، در جهت قبلی حرکت بوده و جهت حرکت دستگاه برعکس نشده است.

خروجی: برای تحویل این تمرین، کد سورس برنامه و یک خروجی apk تحویل خواهید داد که در آن سیستم احراز هویت با توضیحات بالا ساخته شده باشد.

نمره امتیازی برای پیاده سازی: مسیر حرکت دستگاه در محیط را به صورت آنلاین بر روی صفحه نمایش دستگاه نمایش دهید، برای این کار لازم است تا ابتدا نقاط بدست آمده در طول حرکت را بر روی یک نمودار دو بعدی رسم کنید و بعد از آنالیز مسیر، نقاط نمایش داده شده را حذف نموده و سپس بردارهای بدست آمده را به شکلی دقیق تر و بدون اعوجاج رسم کنید. در رسم مسیر حرکت نیازی به اعمال زاویه نیست و صرفاً رسم مسیر جابجایی دستگاه مورد پذیرش است.

۴- ابزار Profile and Trace

ابزاری که شرکت گوگل برای انجام عمل Profiling و Tracing در اختیار برنامه نویسان قرار داده است، [Perfetto](#) نام دارد. این ابزار به ما کمک می‌کند تا بتوانیم از برنامه‌ای که نوشتیم، گزارش تهیه کنیم. این ابزار با نمونه برداری از سیستم و نشان دادن این داده‌ها به صورت گرافیکی به ما کمک می‌کند که عملکرد برنامه را تجزیه و تحلیل کنیم. برای مثال، در صورتی که بخواهیم تعداد Context Switch را در زمان‌بند بدانیم، باید به پارامترهایی که زمان‌بند از آن‌ها نگهداری می‌کند دسترسی پیدا کنیم. ابزارهای بر پایه trace به این پارامترها دسترسی پیدا می‌کنند و اطلاعات مورد نیاز را برای ما فراهم می‌نمایند.



شکل ۵- تصویری از محیط ابزار Perfetto

برای آشنایی بیشتر با مفاهیم این ابزار می‌توانید از [راهنمای ۱](#) و [راهنمای ۲](#) استفاده کنید. برای مثال، طبق دستورالعمل این ابزار برای اندروید با ورژن پایین تر از ۹ به شکل زیر عمل می‌کنیم:

```
curl -O https://raw.githubusercontent.com/google/perfetto/master/tools/record_android_trace
chmod +x record_android_trace

# See ./record_android_trace --help for more
./record_android_trace -o trace_file.perfetto-trace -t 10s -b 32mb \
sched freq idle am wm gfx view binder_driver hal dalvik camera input res memory

# Or use the configuration https://perfetto.dev/docs/concepts/config
./record_android_trace -c config.pbt -o trace_file.perfetto-trace
```

این دستور به ما کمک می‌کند که یک Trace از سیستم را دریافت کرده و در سیستم ذخیره کنیم.

برای پاسخ کامل به سوالات بخش بعدی، نیاز به تنظیم ابزار Perfetto مطابق با راهنمای بخش [Config](#) است. همچنین، در فرآیند استفاده از ابزارهای Profiling برای Heap و Call Stack نیاز است که اندروید شما از نسخه ۱۱ جدیدتر باشد.

۵- سوالات

۱) با استفاده از ابزار Perfetto از دستگاه داده جمع‌آوری کنید و عملیات Trace و Profile را انجام دهید. طبق راهنمای این ابزار و بعد از جمع‌آوری داده به سوالات زیر پاسخ دهید.

- از وقتی که درخواست خواندن داده به یک سنسور داده شده تا گرفتن داده چه اتفاقاتی در سطح سیستم‌عامل افتاده و چقدر زمان سپری شده است؟
- زمان بین خواندن دو داده متوالی از سنسور در Perfetto را با دوره نمونه‌برداری که در کد خود پیکربندی نموده‌اید، مقایسه کنید.
- آیا در فراخوانی‌های سیستمی، تعارضی (انتظار مشغول یک Thread تا زمانی که Thread دیگر کار خود را تمام کند) بین پردازش‌ها (مثلاً استفاده از کتابخانه مربوط به گرافیک) و بروزرسانی سنسورها وجود دارد؟ پاسخ خود را توجیه کنید.
- مدت زمان لازم برای پردازش داده سنسورها را با زمان سایر پردازش‌های CPU مقایسه نمایید.

۲) بهترین دوره تناوب برای خواندن مقادیر سنسور شتاب‌سنج (وژیروسکوپ) چه مقدار است؟ با استدلال توجیه شود.

۳) در مورد سنسورهای hardware-based و software-based تحقیق نمایید و هر یک را تشریح نمایید. هر کدام از سنسورهای مورد استفاده در این تمرین در کدام دسته قرار می‌گیرند؟

۴) چه تفاوتی بین تعریف سنسور به صورت wake-up و non-wake-up وجود دارد؟ ضمن تشریح مزایا و معایب هر کدام، مشخص کنید که انجام این کار تاثیری بر نحوه دریافت بروزرسانی سنسورها و نتیجه تشخیص مسیر دارد؟

۶- نکات مهم

- پیشنهاد می‌شود که برای پیاده‌سازی این تمرین از زبان‌های C++ و Qml در محیط Qt استفاده نمایید. استفاده از سایر زبان‌ها مانند Java یا Kotlin و محیط اندروید استودیو بلامانع خواهد بود.
- گزارش کار باید کامل و شامل موارد زیر باشد:
 - نحوه شکست کار بین اعضا
 - مفروضات
 - طراحی مفهومی و ساختار برنامه اندرویدی
 - مشخصات سکوی نرم‌افزاری و سخت‌افزاری در پیاده‌سازی
 - ابزارهای مربوط و کتابخانه‌های مورد استفاده
 - تنظیمات آزمایش‌ها و سناریوهای تست
 - تصاویر مربوط به خروجی برنامه و تصاویر Perfetto
 - گزارش نتایج و پاسخ به سوالات مطرح شده
 - مراجع
- علاوه بر کدها، فایل apk مربوط به پیاده‌سازی را نیز آپلود کنید. دقت کنید که فایل apk شما باید سازگار با اندرویدهای 8 به بالا باشد.
- کد برنامه شما باید روی گوشی واقعی تست شده باشد (شبیه‌ساز اندروید کافی نیست).
- برای مطالعه برخی منابع به V_P_N نیاز خواهید داشت. می‌توانید از ابزارهایی مانند شکن و ابزار ۴۰۳ استفاده کنید.
- هرگونه شباهت در کدها و گزارش‌ها به عنوان تقلب در نظر گرفته خواهد شد.
- تسلط به تمام بخش‌های تمرین از راه اندازی ابزارها تا کدهای نوشته شده الزامی است و در تحویل، از بخش‌های مختلف سوال پرسیده خواهد شد.
- ویدیویی جهت آشنایی با محیط Qt Creator و ساخت برنامه‌های اندروید در فریمورک Qt در اختیارتان قرار خواهد گرفت.

موفق باشید