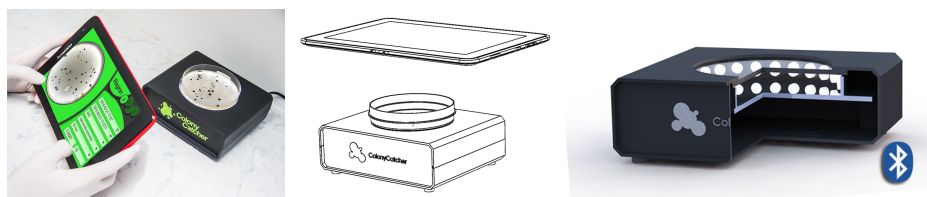


ColonyCatcher - zpracování obrazu Petriho misek

Jakub Adámek*



Abstrakt

Analýza Petriho misek je jednou ze základních úloh v mikrobiologických laboratořích, avšak nikoli nejjednodušší. Správná analýza a vyhodnocení Petriho misek může přispět k záchraně lidského života. Práce se zabývá automatickou analýzou obrazu Petriho misek a počítáním bakteriálních kolonií. Cílem práce je vytvořit mobilní aplikaci a případná příslušenství, která by byla schopná konkurovat komerčním řešením. ColonyCatcher je aplikace určená pro mobilní zařízení se systémem Android, která je schopná pomocí spodní osvětlovací jednotky pořídit snímek Petriho misky a nadále jej analyzovat a určit počet bakteriálních kolonií. Součástí práce je popis osvětlovací jednotky a také algoritmů, které jsou použity pro počítání bakteriálních kolonií. Následuje popis použití aplikace ColonyCatcher, která provede laboranta analýzou Petriho misky v pěti snadných krocích. Přínosem práce je dostupnější aplikace a její příslušenství pro všechny mikrobiologické laboratoře.

Klíčová slova: Počítání kolonií — Analýza Petriho misek — Zpracování obrazu

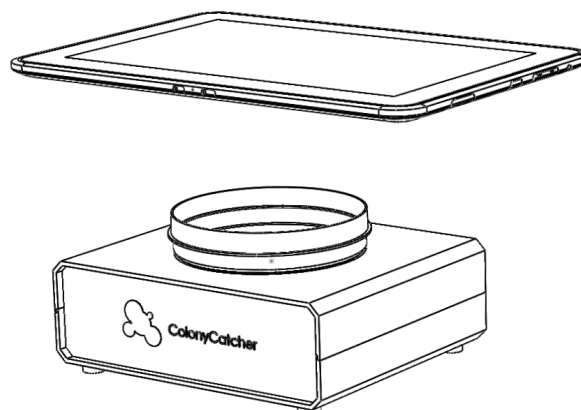
Příložené materiály: [Demonstrační video](#) — [Příložené soubory](#)

*xadame17@stud.fit.vutbr.cz, Fakulta informačních technologií, Vysoké učení technické v Brně

1. Úvod

Mobilní zařízení stávají nedílnou součástí každodenního života a dostávají se i do odvětví, kde nemohly konkurovat stolním počítačům. Využití těchto zařízení stále roste v různých odvětvích průmyslu, výzkumu a nově se dostává i do oblasti medicíny. Je zřejmé, že v medicíně tato zařízení neslouží k přímému léčení pacientů, ale mohou velice usnadnit vyhodnocování nejruznějších testů, které se ještě donedávna vyhodnocovaly ručně případně za pomoci drahých strojových řešení. V laboratorní medicíně je bez nadsázky nespočet různých druhů testů. Na tyto testy jsou využívány specializované přístroje s nejruznější funkcí a s použitím velkého spektra technologií.

Pokud bychom chtěli všechny tyto přístroje nahradit mobilními zařízeními, nebylo by to v dnešní době možné. Existuje řada testů, která by se dala provádět



Obrázek 1. Ukázka použití ColonyCatcher

i na mobilních zařízeních bez použití nebo s minimálním použitím dalších zdrojů (Obrázek 1). Jedním z takových testů je počítání a analýza bakteriálních kolonií na Pet-

riho misce.



Obrázek 2. Aplikace ColonyCatcher a příslušenství

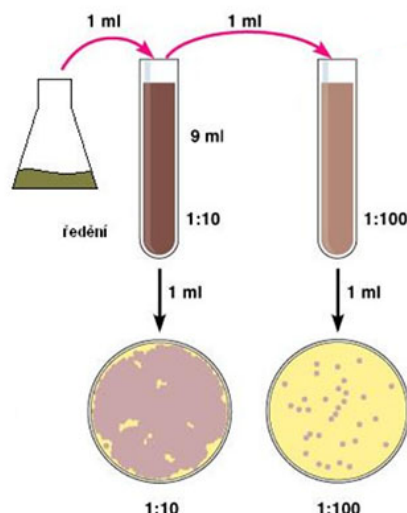
Počítání kolonií na Petriho misce, je jednou ze základních úloh, která se v mikrobiologických laboratořích provádí. Tato úloha je poměrně zdoluhavá a tím pádem může být i nákladná [1]. Některé fáze přípravy a analýzy Petriho misek se urychlit nedají, jelikož mají svůj biologický základ, avšak samotná analýza, tedy počítání kultivovaných kolonií lze urychlit několika cestami. Jednou z možností urychlení analýzy je použití podpůrných prostředků pro počítání kolonií jako jsou tlakové tužky, nebo použití automatických jednotek pro celkové vyhodnocení Petriho misek. Cílem této práce je vytvořit dostupnou mobilní aplikaci, která bude pomocí analýzy obrazu počítat bakteriální kolonie na Petriho misce (Obrázek 2). Přínosem aplikace, je urychlení práce se vzorky, kdy laborant nebude muset kolonie počítat ručně, a také snížení nákladů laboratoří, které nebudou muset kultivovat vzorky ve více ředěních. Velkým přínosem aplikace je možnost uložení dat včetně obrazové informace o Petriho misce k pozdější diskuzi a rozpravě.

Z důvodu zaměření aplikace na mikrobiologickou praxi je součástí práce velmi stručný popis přípravy analýzy Petriho misek.

2. Teorie mikrobiologické praxe

Počítání kolonií na Petriho miskách slouží k mikrobiologickému rozboru a rozpravě o zkoumaném vzorku. Vzorkem může být prakticky cokoli, co je potřeba vyšetřit na přítomnost bakterií. Výsledkem počítání bakteriálních kolonií je výpočet CFU¹, což je hodnota identifikující počet životaschopných bakteriálních buněk ve vzorku [2]. Aby tato hodnota mohla být určena, je zapotřebí správně připravit vzorek. Takováto příprava vzorku se skládá ze tří základních kroků.

¹CFU: Colony Forming Unit and Calculation., <http://technologyinscience.blogspot.cz/2011/11/cfu-colony-forming-unit-calculation.html>



Obrázek 3. Ředění mikrobiologického vzorku. [3]

Homogenizace je postup rovnoměrného rozptýlení přítomných organismů ve vzorku nebo v jeho ředěních [3].

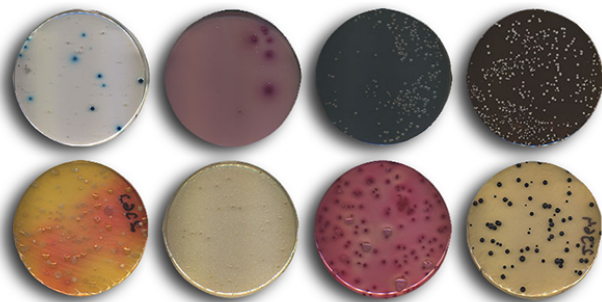
Ředěním vzorku dochází ke zmenšení počtu organismů, které budou očkované na živnou půdu. Jelikož se živé organismy vzájemně ovlivňují, dochází při vysokých koncentracích k potlačování růstu. V praxi se provádí více ředění i kvůli snadnosti počítání, jelikož se lépe počítá miska, na které je nízký počet kolonií než miska, na které jsou stovky kolonií. Prováděním více ředění také rostou náklady na analýzu vzorku. První ředění se provádí smícháním vzorku s devítinásobným množstvím ředícího roztoku. Každé následné ředění je prováděno smísením 1 ml předchozího ředění a 9 ml ředícího roztoku, tak jak je vidět na obrázku 3.

Očkování vzorku je poslední fází přípravy testu. Jedná se o způsob nanesení vzorku nebo jeho ředění na živnou půdu. Existuje celá řada speciálních testů, při kterých se nanáší více ředění na jednu Petriho misku například Miles & Misra test [4] a Spirálový test [5].

Agar neboli živná půda, je přírodní polysacharid² s vysokou mírou gelující schopností³. Jinými slovy se jedná o gelovou hmotu, která se vlévá do Petriho misky a na její ztuhlý povrch se očkuje vzorek nebo jeho ředění. Existuje celá řada agarů, které mají rozdílné chemické vlastnosti a tím ovlivňují růst kolonií. Půdy se dělí do dvou základních skupin na selektivní a neselektivní. Selektivní půdy podporují růst pouze určitého typu bakterií nebo jen bakterií jednoho rodu. Na neselektivních půdách se mohou objevit nejrůznější typy

²lineární polymer galaktózy

³Shijun L.: All About Agar, Science Buddies, http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project_ideas/MicroBio_Agar.shtml



Obrázek 4. Různé druhy živných pūd.

bakterií. Ukázka některých druhů živných pūd je na obrázku 4.

Na závěr celé procedury se naočkovaná Petriho miska nechá kultivovat nejčastěji 24 hodin při 37 °C [6]. Během kultivace na misce narostou bakteriální kolonie a ty jsou následně spočítány. Pro samostatný výsledek a výpočet CFU se použije vzorec 1.

$$CFU/ml = \frac{\Sigma c}{V * d} \quad (1)$$

Kde:

- Σc : počet kolonií na Petriho misce
- V : objem vzorku na misce
- d : diluční⁴ faktor

Vypočítané CFU je následně porovnáno s normami, které určují, zda je vzorek v pořádku, nebo je vzorek již příliš kontaminovaný bakteriemi.

3. Analýza současného stavu

Existující nástroje pro usnadnění počítání bakteriálních kolonií je možné rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou podpůrné nástroje, které využívají tlakových senzorů a laborant manuálně označuje kolonie, které jsou následně počítány. Druhou skupinou jsou automatické stanice a software pracující s analýzou obrazu. Tato zařízení se skládají z akvizičních jednotek, které obsahují kameru a řadu osvětlení, a pomocí softwaru se vyhodnocuje obraz pořízený kamerou⁵. Osvětlení v akvizičních jednotkách je řešeno kruhovými pásy LED diod umístěnými nad i pod vzorkem, z důvodu lepšího prosvětlení agarů a získání vyššího kontrastu kultivovaných kolonií. Softwarové řešení umožňuje uživateli vybírat regiony na Petriho miskách pro výpočet CFU a tím případně odstranit nechtěné artefakty na Petriho misce nebo od sebe odlišit různá ředění. Tato komerční řešení jsou často velmi drahá a jejich pořizovací cena

⁴Faktor zředění: jedná se o konstantu, která udává míru zředění vzorku na Petriho misce.

⁵Interscience, SCAN1200, 2004, <http://www.interscience.fr/Scan-r-1200-290>

je v řádu statisíců korun. Z tohoto důvodu nejsou dostupná do všech laboratoří a mohou si je dovolit pouze laboratoře, které zpracovávají desítky Petriho misek denně.

Správné osvětlení vzorku může být problémem, a proto je nutné jej vyřešit. Horní osvětlení je možné do jisté míry nahradit příznivými světelnými podmínkami v laboratoři případně diodovým bleskem umístěným v mobilních zařízeních. Avšak spodní osvětlení nelze takto snadno nahradit, proto je nutné vytvořit jednoduchou osvětlovací jednotku, která bude komunikovat s aplikací a bude plně nahrazovat komerční řešení osvětlení. Aplikace by měla umožňovat výběr regionu pro počítání kolonií, výpočet CFU a také rozdělení nalezených kolonií do skupin podle velikosti a barvy.

Aplikace by měla splňovat základní požadavky laborantů k počítání kolonií, jako jsou možnost výběru regionu, manuální počítání a úprava kolonií, výběr skupin kolonií podle barev a velikosti, možnost uložení reportu k pozdější rozpravě. Zároveň by měla být dostupná pro každého a získat si tak své příznivce, případně si najít cestu do velkého počtu mikrobiologických laboratoří.

4. Realizace řešení

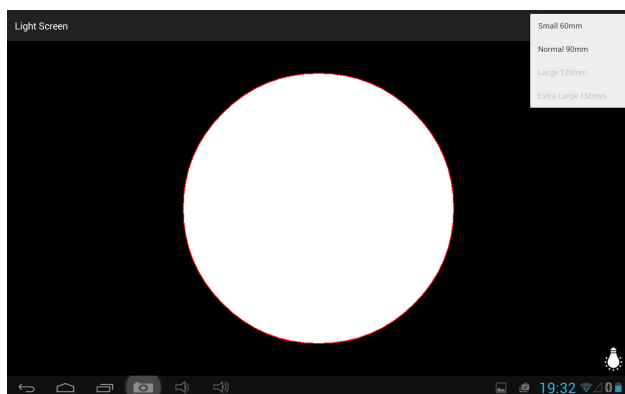
Pro správné zpracování některých typů agarů je zapotřebí vzorek prosvětlovat ze spodní strany Petriho misky. Toto prosvětlení zlepšuje kontrast kolonie vůči agaru a tím dostaneme jasnější informace o objektech na Petriho misce. Spodní osvětlení nahrazuje změnu barvy pozadí při pořizování snímku. Velké množství agarů je částečně nebo úplně průhledné, a tedy jejich výslednou barvu na snímku ovlivňuje barva pozadí misky. Ve všech případech se používá bílá nebo černá barva. Bílé pozadí se nahrazuje světlem z důvodu získání lepšího kontrastu agarů a kolonií a také při změně pozadí není nutné nikterak manipulovat se vzorkem. Na základě těchto vlastností byly vytvořeny následující akviziční jednotky.

4.1 Osvětlovací jednotky

ColonyCatcher Light Screen je jednoduchá aplikace pro mobilní zařízení se systémem Android, která má za úkol pomocí jasu displeje prosvětlit Petriho misku ze spodní strany. Aplikace obsahuje jednoduché menu s výběrem misky, kterou je možné položit na vyznačené místo na displeji. Light Screen využívá přepočtu jemnosti displeje zařízení a jeho rozlišení pro výpočet reálné velikosti Petriho misky (Obrázek 5). Dále aplikace obsahuje už jen jediné tlačítko, pomocí kterého se rozsvítí nebo zhasíná displej pod Petriho miskou.

Uživatel si jednoduše v menu vybere velikost Petri-

ho misky, kterou používá a položí ji na displej zařízení. Pro tuto aplikaci je vhodné používat větší mobilní zařízení, například tablety, které mají větší displej a tím pádem také více podporovaných rozměrů misek. Po položení misky na displej, může uživatel pomocí tlačítka v levém dolním rohu jednoduše měnit zapnutí případně vypnutí osvit.



Obrázek 5. ColonyCatcher Light Screen

ColonyCatcher Light je jednoduchá bluetooth osvětlovací jednotka pro analýzu obrazu Petriho misek, která slouží jako spodní osvětlovací panel. ColonyCatcher Light se skládá z několika dílů, které jsou snadno dostupné. Celková pořizovací cena osvětlovací jednotky nepřesáhne pět set korun. Osvětlovací jednotka se skládá z těchto základních částí:

1. **Krycí box** - umělohmotná černá konstrukční krabička o rozměrech 150x130x50 mm s kruhovým otvorem (Obrázek 6).
2. **Krycí sklo** nebo čirý polyakrylát o průměru 95 mm pro vyplnění otvoru v krycím boxu.
3. **Pás LED** - pás bílých LED diod k osvětlení vzorku.
4. **Uchytný kruh** - slouží k uchycení a chlazení LED diodového pásu.
5. **Rozdělovací plát** - Rozdělovací plát slouží jako černé pozadí při vypnutém osvětlení.
6. **Plošný spoj** je umístěn ve spodní části osvětlovací jednotky. A řídí veškerou logiku a připojení k aplikaci.
7. **BTM-112** bluetooth modul, pro komunikaci mezi osvětlovací jednotkou a mobilní aplikací.

Osazený plošný spoj, který slouží jako řídicí jednotka pro ovládání osvětlení a komunikaci s aplikací, má následující technické specifikace.

- **ATmega-8** - řídicí mikročip.
- **BTM-112** - komunikační bluetooth modul.
- **Napájení** - 12 V.
- **Výkon** - 15W.



Obrázek 6. Řez modelem osvětlovací jednotky

- **Stabilizátor napětí** na 3,3 V pro BTM-112.
- **Spínací relé.**

Schéma zapojení a návrh plošného spoje včetně programu pro mikročip jsou součástí přiložených materiálů.

Použití osvětlovací jednotky je velmi snadné. Po připojení osvětlovací jednotky do sítě pomocí 12 V adaptéru laborant položí Petriho misku na krycí sklo do vytvořeného otvoru. Pro první připojení je nutné osvětlovací jednotku spárovat s mobilním zařízením. Po spárování je již připojování osvětlovací jednotky k aplikaci plně automatické. V aplikaci pro rozsvícení osvětlovací jednotky stačí už jen kliknout na tlačítko označené ikonou pro spodní osvit.

4.2 Analýza obrazu Petriho misky

Po pořízení snímku Petriho misky je možné provést analýzu a počítání kolonií. Celá analýza je rozdělena do několika dílčích částí. První částí je určení barevného kanálu obrazu, ve kterém by se mohlo nacházet nejvíce informací o koloniích případně určit kanál, ve kterém je nejvyšší kontrast kolonie k agaru. Nejprve je vstupní snímek rozdělen do tří obrazů ve stupních šedi, každý z těchto obrazů reprezentuje jeden barevný kanál. Na každém kanálu je provedena konvoluce s využitím Sobelových konvolučních jader **A** a **B**.

$$A = \frac{1}{4} \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix} \quad B = \frac{1}{4} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Následně se vypočítá velikost gradientu každého pixelu v obraze podle rovnice 3 [7], kde G_R a G_S jsou výsledné obrazy po konvoluci s jednotlivými jádry 2.

$$G(i, j) = \sqrt{G_R(i, j)^2 + G_S(i, j)^2} \quad (3)$$

V dalším kroku se určí celková velikost gradientu obrazu jako suma hodnot všech pixelů obrazu G . Kanál s nejvyšším celkovým gradientem je použit při následné analýze.

Pro získání šedotónový obraz je vypočtena hodnota globálního prahu metodou Otsu. Metoda Otsu pracuje s údaji histogramu. Výsledný práh metody je vybrán na základě rozdělení pixelů do dvou skupin, a to takových, aby měly hodnoty pixelu v každé skupině co nejmenší rozptyl 4, nebo aby rozptyl mezi skupinami byl co největší 5.

$$\sigma_w^2(T) = \omega_0(T)\sigma_0^2(T) + \omega_1(T)\sigma_1^2(T) \quad (4)$$

$$\sigma_b^2(T) = \omega_0(T)\omega_1(T)(\mu_0(T) - \mu_1(T))^2 \quad (5)$$

Pro výpočet $\omega_0(T)$ a $\omega_1(T)$ platí následující rovnice 6:

$$\omega_0(T) = \sum_{i=0}^{T-1} p(i) \quad \omega_1(T) = \sum_{i=T}^N p(i) \quad (6)$$

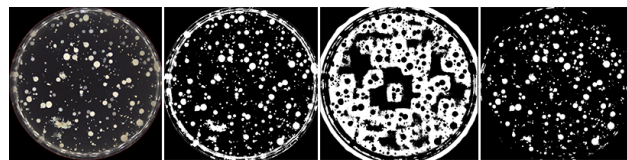
Hodnota p_i je hodnota relativního histogramu v jasu i . N je počet úrovní jasu a T je práh [8]. V dalším kroku se vytvoří inverzní obraz k šedotónovému obrazu, pro který je také spočítána hodnota odpovídajícího prahu metodou Otsu. Oba obrazy jsou následně prahované podle vypočtených prahů a podle rovnice 7, kde T je vypočtený práh a $f(i, j)$ je hodnota daného pixelu [9].

$$g(i, j) = \begin{cases} 255 & \text{pro } f(i, j) \geq T, \\ 0 & \text{pro } f(i, j) < T \end{cases} \quad (7)$$

Ve vyprahovaných obrazech jsou hledány kruhové objekty, které mají plochu větší než je nastavená minimální velikost hledané bakteriální kolonie. Kruhovitost C je počítána pomocí rovnice 8, kde O je obvod nalezeného objektu a S je jeho plocha. Tento test nám určuje, zda jsou bakteriální kolonie světlejší než agar nebo naopak. Pokud jsou nalezeny objekty, jejichž kruhovitost a plocha splňují nastavené parametry pouze v jednom z vyprahovaných obrazů, pak je známa informace o tom, zda jsou bakteriální kolonie světlejší než agar nebo naopak. V takovém případě se bude dále zpracovávat původní nebo inverzní šedotónový obraz. Pokud jsou takové objekty nalezeny v obou případech obrazů, nebo v žádném, je nutné nadále tyto obrazy správně propojit.

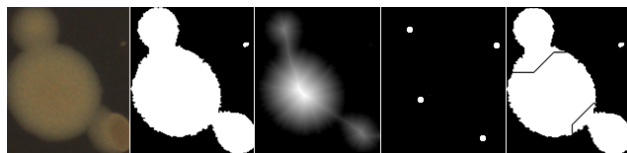
$$C = \frac{O^2}{S} - 4\pi \quad (8)$$

Pokud je na základě předchozího testu nutné obraz propojit, použije se adaptivní prahování původního i inverzního obrazu a do jednoho obrazu jsou vykreslovány pouze objekty s odpovídajícími parametry.



Obrázek 7. Propojení obrazu. Zleva: Původní obraz, prahovaný původní obraz, prahovaný inverzní obraz, výsledek

Na obrázku 7 je vidět spojení obrazů. Nejprve se provede adaptivní prahování původního obrazu, následně inverzního. V obou případech jsou vyhledány objekty odpovídajících vlastností a jsou vykresleny do původního obrazu. Pokud se obrazy nemusí propojovat, prahuje se pouze odpovídající obraz z předchozího testu. Výsledný obraz je ořezán regionem, který uživatel zadal, nebo profilem a velikostí zadané misky, čímž se odstraní okraje misky a v případě regionu i nechtěné objekty. Nalezené objekty jsou považovány za bakteriální kolonie, které mohou být ale srostlé.



Obrázek 8. Postup rozdělení kolonií. Zleva: Výřez z původního obrázku, nalezený objekt, distanční transformace, lokální maxima, výsledné rozdělené kolonie

Srostlé kolonie jsou rozdělovány pomocí algoritmu watershed, tak jak je vidět na obrázku 8. Obraz je chápán jako terén nebo topografický reliéf, který je postupně zaplavován vodou. Povodí jsou z počátečních bodů, což jsou lokální minima, zaplavovány vodou. V místech, kde by se voda ze dvou různých povodí mohla slít, jsou vytvořeny hráze. Proces postupného zaplavování je zastaven ve chvíli, kdy se dosáhne nevyššího bodu terénu neboli maxima v obraze. Výsledkem je obraz rozdělený do regionů, jednotlivých povodí oddělených hrázi. Vzniklé hráze jsou nazývány watersheds. Použitý algoritmus je implementován v knihovně OpenCV a popsán v [10].

V první fázi se provede distanční transformace, následně jsou hledány lokální maxima ve výsledném obrazu. Tato maxima jsou použita jako výchozí body pro algoritmus watershed. Rozdělené kolonie jsou započítány mezi ostatní. Následně je pro každou kolonii určena její průměrná barva ze vstupního obrazu, podle které může uživatel kolonie rozdělit do skupin.

5. ColonyCatcher

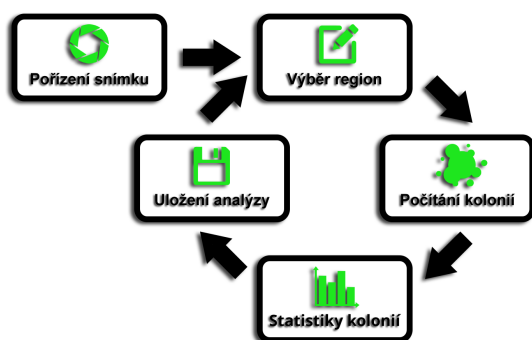
Vytvořená aplikace ColonyCatcher je aplikace pro mobilní zařízení se systémem Android. Aplikace je imple-

mentována v programovacím jazyce Java s využitím Android SDK a knihovny OpenCV.

5.1 Použití

Aplikace ColonyCatcher je velmi snadná na ovládání a pro analýzu Petriho misek je použit jednoduchý systém pěti kroků, které uživatele provedou celou analýzou od pořízení snímku až po uložení dat na MySQL serveru. Pro každou laboratoř je vytvořen účet. Ke každému účtu může mít přístup libovolný počet uživatelů, kteří mohou provádět analýzy a ukládat výsledky na server nebo prohlížet již vytvořené analýzy. V nastavení aplikace může laborant zadat své uživatelské jméno a heslo, které bude automaticky použito pro přihlášení k serveru. V opačném případě bude aplikace vyžadovat přihlašovací údaje. Po ověření uživatele má laborant možnost vytvořit nový test pomocí následujících pěti kroků, které jsou uvedeny na obrázku 9.

Schéma aplikace



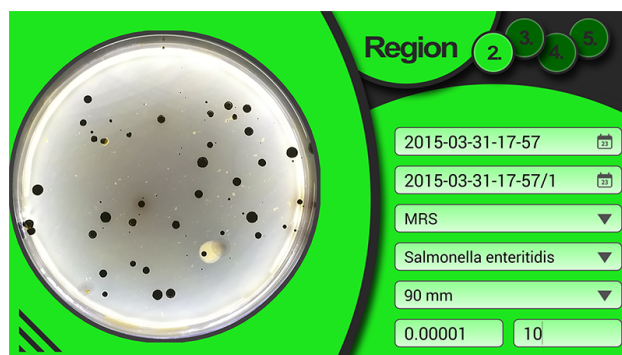
Obrázek 9. Uživatelské schéma aplikace

Pořízení snímku je první obrazovkou analýzy kolonií. Přes celou obrazovku je vidět náhled živé kamery s vyznačenou kružnicí, kam by měl uživatel umístit obraz Petriho misky. Na této obrazovce je možné ovládat osvětlení. Horní, pokud mobilní zařízení nějaké má, nebo spodní osvětlení ColonyCatcher Light pomocí bluetooth.

Výběr regionu je obrazovka určená pro vložení základních údajů o Petriho misce, jak je vidět na obrázku 10. V levém rohu se skrývá menu, pomocí kterého je možné na Petriho misku vyznačit region, který se bude analyzovat. Na obrázku 10 je Petriho miska se vzorkem bakterie rodu *Salmonella*, na které je rovnoměrně rozetřen vzorek po celé ploše, a proto v tomto případě je vybraný region celá Petriho miska.

Počítání kolonií je další obrazovkou, na které jsou zobrazeny nalezené kolonie a jejich počet. Laborant má možnost na této obrazovce kolonie manuálně přidávat, nebo je odebírat, případně může kolonie filtrovat podle jejich velikosti.

Statistiky kolonií slouží k výpočtu CFU v daném



Obrázek 10. ColonyCatcher výběr regionu

regionu. Kolonie je možné rozřadit do skupin podle velikosti nebo podle barvy. V každé takovéto skupině je spočítáno CFU a porovnáno s celkovým CFU misky. Kolonie rozřazené do skupin jsou barevně rozlišeny na obrázku. Na této obrazovce je také možné zobrazit informace o jednotlivých koloniích.

Uložení analýzy je poslední obrazovkou aplikace ColonyCatcher. V této části má laborant tři možnosti výběru. První možností je analýzu uložit a odeslat report k archivaci na server. Další možností je přidat k provedené analýze další region na tomtéž snímku misky, čímž se dočasně uloží výsledky analýzy a uživatel se přesune do druhého kroku, pro výběr nového regionu a bude pokračovat v analýze. Vytvořený report bude obsahovat analýzu více regionů jedné Petriho misky. Poslední možností je ukončit analýzu a odejít na úvodní obrazovku aplikace.

6. Závěr

Cílem práce bylo vytvořit alternativní aplikaci a případně příslušenství pro mikrobiologické laboratoře k počítání bakteriálních kolonií na Petriho misce. V rámci práce byla vytvořena osvětlovací jednotka, která může nahrazovat komerční akvizici jednotky. Také byla vytvořena první verze aplikace ColonyCatcher pro mobilní zařízení se systémem Android. Aplikace slibuje ušetření nákladů laboratoří při analýze Petriho misek a možnost uložení výsledků analýzy pro pozdější diskuzi a rozpravu. Aplikace je dostupnější než automatická komerční řešení, jejichž pořizovací ceny se pohybují v řádech statisíců korun. Mezi komerčním řešením a vytvořenou aplikací existuje několik rozdílů. Tím hlavním rozdílem je, že komerční řešení mají konstatní osvětlení a umístění Petriho misky od objektivu, čímž je možné snadněji vyladit vlastnosti obrazu. Vytvořená aplikace ColonyCatcher je přímo závislá na vlastnostech fotoaparátu, který je umístěn v mobilním zařízení. Pokud má zařízení lepší kamerový modul, například díky možnosti ostření, lze jednoznačně dosáhnout lepších výsledků než u zařízení s méně kval-

itním kamerovým modulem. Dalším hlavním rozdílem je výpočetní výkon. Komerční řešení jsou často dodávány s výkonnými počítači, které snadno překonají i ty nejvýkonnější mobilní zařízení. Díky těmto vlastnostem je analýza rychlejší.

Myslím, že cíle práce byly splněny, avšak i přesto je možné aplikaci dále vylepšovat. Proto následující práce se bude zabývat optimalizací rychlostí algoritmů a jejich použitím. Jedna z možností urychlení výpočtu je použití paralelních algoritmů. Také je možné aplikaci rozšířit o další testy, jako například o test inhibičních zón, při kterých se testuje rezistivita bakterie na antibiotika. Součástí následujících prací na projektu bude také evaluace vytvořeného řešení, která bude dlouhodobější, vyzkoušení aplikace na různých mobilních zařízeních a porovnání výsledků s komerčním řešením na různých typech Petriho misek. Evaluace by také měla zahrnout a porovnat míru spokojenosti a použitelnosti zařízení v laboratořích oproti komerčním řešením.

Literatura

- [1] Julák J. *Praktická cvičení a semináře z lékařské mikrobiologie*. Karolinum, Praha, Česká Republika, 2003. ISBN 80-246-0750-6.
- [2] Kaprálek F. *Základy bakteriologie*. Karolinum, Praha, Česká Republika, 2000. ISBN 80-7184-811-5.
- [3] Horáčková Š. *Mikrobiologická kontrola prostředí*. VŠCHT Praha, Praha, Česká Republika, 2014. http://tresen.vscht.cz/tmt/ESO/LOTP/LOTP_11_Mikrobiologie.pdf.
- [4] Miles A., Misra S. *The estimation of the bactericidal power of the blood*. J Hyg, London, Velká Británie, November 1938. 38: 732–749 20475467.
- [5] Peeler J. Maturin L. *BAM: Aerobic Plate Count*. U.S. Food and Drug Administration, New Hampshire, USA, 2001. <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm063346.htm>.
- [6] Kaprálek F. *Fyziologie bakterií*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, Česká Republika, 1986. ISBN 14-600-86.
- [7] Španěl M. Beran V. *Obrazové segmentační techniky*. Vysoké Učení Technické v Brně, Brno, Česká Republika, 2006. <http://www.fit.vutbr.cz/~spanel/segmentace>.
- [8] Morse B. *Thresholding*. Brigham Young University, Provo, UT, Pravo, UT, 2000. http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/MORSE/threshold.pdf.
- [9] Košek M. Linka A., Volf P. *Segmentace prahováním*. Technická univerzita Liberec, Liberec, Česká Republika, 2013. http://e-learning.tul.cz/cgi-bin/elearning/elearning.fcgi?ID_tema=67&ID_obsah=1206&stranka=publ_tema&akce=polozka_vstup.
- [10] Meyer F. *Color Image Segmentation*. ICIP92, Singapur, 1992. ISBN 0-85296-543-5.